



REVISTA DA

UNIFEFE



Tecnologias: Engenharia, Produção & Construção

Revista de Divulgação Científica do Centro Universitário de Brusque | Vol. 1, No 27, 2022 | ISSN 1679-8708

Rua Dorval Luz, nº 123 - Bairro Santa Terezinha - 88352-400 - Brusque/ SC
Telefone (47) 3211 7000 | unifebe.edu.br

Reitora

Rosemari Glatz

Vice-Reitor e

Pró-Reitor de Administração

Sergio Rubens Fantini

Pró-Reitor de Graduação

Sidnei Gripa

Pró-Reitora de

Pós-graduação, Pesquisa,

Extensão e Cultura

Edinéia Pereira da Silva

Coordenação Editorial

Rafaela Bohaczuk Venturelli Knop

Rosemari Glatz

Mantenedora

Fundação Educacional

de Brusque (FEBE)

Mantida

Centro Universitário

de Brusque (UNIFEBE)

Endereço

Rua Dorval Luz, 123 | Bairro
Santa Terezinha Brusque - SC |
CEP: 88352-400

+55 (47) 3211 7000

unifebe.edu.br

editora@unifebe.edu.br

**Conselho Editorial da Revista
UNIFEBE**

Angela Sikorski Santos;

Rafaela Bohaczuk Venturelli Knop;

Anna Lúcia Martins Mattoso

Eliane Kormann Tomazoni

Günther Lothar Pertschy

Jamaica de Sousa

Jeisa Benevenuti

João Derli de Souza Santos

Josely Cristiane Rosa

Julia Wakiuchi

Leilane Marcos

Marcelius Oliveira de Aguiar

Roberto Carlos Klann

Roberto Heinzle

Rosana Paza

Thiago dos Santos

Wallace Nobrega Lopo

Vivian Siffert Wildner

Aline Mara Novack

Produção Editorial

Equipe Editora da UNIFEBE

Projeto Gráfico e Diagramação

Jamaica de Sousa

Peterson Paulo Vanzuita

Revisão

Rosana Paza

A PROBLEMÁTICA DAS MICOTOXINAS E DE SUAS INTERAÇÕES COM O PLANTIO DE ARROZ E A ÁGUA

THE PROBLEM OF MYCOTOXINS AND THEIR INTERACTIONS WITH RICE CROP AND WATER

Francisco Maximo Striulli Junior¹

Raquel Bonati Moraes Ibsch²

RESUMO: Alguns metabólitos secundários produzidos por determinados tipos de fungos são denominados micotoxinas. Micotoxinas são toxinas passíveis de intoxicar animais e seres humanos, trazendo malefícios à saúde por serem carcinogênicos, mutagênicos, imunossupressores, além de outras características. Estas micotoxinas podem contaminar alimentos, a água e até mesmo o ar. O objetivo desta revisão bibliográfica é explicar sobre a diversidade das micotoxinas e os problemas que estas podem trazer aos seres vivos e suas interações com o meio ambiente, em especial as interações entre as micotoxinas presentes na água e o arroz nela cultivado.

Palavras-chave: Micotoxinas; Fungo; Água; Arroz.

ABSTRACT: Some secondary metabolites produced by specific kinds of fungi are denominated mycotoxins. As the name suggests, they are toxins that can intoxicate animals and humans, bringing harm to health as carcinogenic, mutagenic, immunosuppressive pathogens. Besides several other characteristics. These mycotoxins may contaminate food, water and even the air. This review intent to explain the problems caused to living beings by mycotoxins, how it interacts with the environment and its diversity, in special the interactions between mycotoxins in water and rice crop.

A Problemática Das Micotoxinas E De Suas Interações Com O Plantio De Arroz E A Água

Keywords: *Mycotoxins; Fungi; Water; Rice*

1 INTRODUÇÃO

Este trabalho tem como objetivo apresentar uma revisão bibliográfica abordando a problemática das micotoxinas e suas interações com o meio ambiente mais precisamente a água, cultura de arroz chegando até os seres humanos.

Os fungos, também conhecidos como mofo ou mesmo bolores, são microrganismos multicelulares eucariontes filamentosos. Cepas específicas são utilizadas há séculos para alterar o paladar de alimentos. Entretanto, nem todas alteram os sabores para melhor; a grande maioria dos fungos deterioram os alimentos trazendo a eles aspecto pútrido e odores desagradáveis (DINIZ, 2002).

Alguns espécimes de fungos podem metabolizar micotoxinas, das quais destacam-se: as aflatoxinas, ocratoxinas, zearalenona, patulina e fumomisin (MURPHY et al., 2006). Com relação aos fungos e as micotoxinas, inúmeras espécies de fungos podem produzir um mesmo tipo de micotoxinas e a mesma espécie de fungo pode produzir vários tipos de micotoxinas. Contudo, os fungos necessitam de um ambiente e condições favoráveis para que estes metabólitos secundários sejam produzidos, dentre os quais, destacam-se umidade, temperatura, pH, entre outros (PEREIRA et al., 2002).

Quando se fala que há fungos presentes nos alimentos, não é correto afirmar que estes virão a metabolizar micotoxinas devido às condições necessárias para o mesmo, caso estas já tenham sido metabolizadas. Eliminar os fungos não garante a

A Problemática Das Micotoxinas E De Suas Interações Com O Plantio De Arroz E A Água

extinção das micotoxinas, (DINIZ, 2002) muito pelo contrário, a maioria das micotoxinas é termo estável, isto é, é resistente a certos tipos de tratamentos térmicos ou processos de desidratação.

Inúmeras são as formas através das quais as micotoxinas podem chegar aos seres humanos. Diretamente, quando se consome cereais ou derivados contaminados ou mesmo ingestão de água contaminada, ou indiretamente, quando os animais se alimentam de rações contaminadas e/ou se contaminam no ambiente ao ingerir água contaminada, podendo vir a secretar essas micotoxinas em ovos, leite, carne, que posteriormente serão ingeridos por seres humanos (MOLIN & VALENTINI, 1999).

A contaminação de alimentos e *commodities* por fungos toxigênicos é uma realidade. Aproximadamente um quarto das safras de grãos são afetadas por micotoxinas (BHAT et al. 2010). Estas contaminações são favorecidas por práticas ruins durante a colheita, transporte e armazenamento, os quais favorecem a proliferação dos fungos, aumentando, assim, os riscos de contaminação pelas micotoxinas, como pode-se observar na figura 1.

A contaminação da água por micotoxinas causa preocupação, pois, mesmo em países de primeiro mundo, estas substâncias foram encontradas em águas que passaram por tratamento de potabilidade. (AYOFEMI, 2019). Outra problemática são os esporos dos fungos que sobrevivem ao tratamento de água (DE TONI et al. 2011) e que podem se estabelecer em pontos favoráveis de baixo fluxo e se proliferar, formando biofilmes que se tornam cada vez mais resistentes ao cloro.

A Problemática Das Micotoxinas E De Suas Interações Com O Plantio De Arroz E A Água

Figura 1 - Fatores que afetam a produção de micotoxinas na cadeia alimentar.



Fonte: adaptado de agrifirm

2.1 MICOTOXINAS – DEFINIÇÃO E ORIGEM

Segundo Gonzalez et al. (2001) micotoxina é uma palavra derivada dos termos grego, *mykes*, que significa fungo, e do latim *toxicum*, veneno (toxina). Recebe este nome por serem metabólitos secundários provenientes de fungos multicelulares e

A Problemática Das Micotoxinas E De Suas Interações Com O Plantio De Arroz E A Água

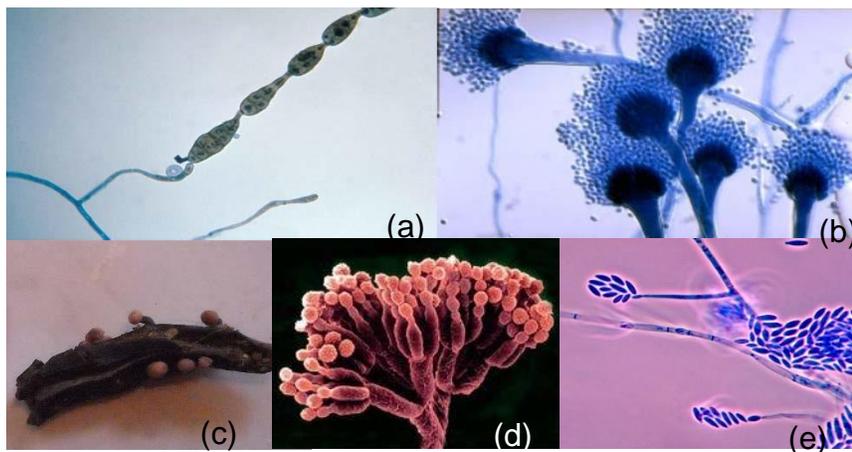
filamentosos, que podem contaminar os alimentos e o meio ambiente.

Na Inglaterra, em 1962, inúmeros perus jovens morreram após a ingestão de uma ração à base de amendoim, provenientes do Brasil e da África. Após estudos para diagnóstico do motivo das mortes, chegou-se à conclusão que foi um metabólito secundário produzido por *Aspergillus flavus*. Segundo Vitorino (2011) esta foi a primeira vez que a palavra micotoxina foi utilizada, dando início aos estudos relacionados ao assunto.

As micotoxinas são produzidas por fungos que podem ser observados nas imagens a seguir, tidos como toxigênicos, principalmente dos gêneros *Alternaria*,

Aspergillus, *Claviceps*, *Penicillium* e *Fusarium* (BHAT et al. 2010), que podem ser observadas na figura 2.

Figura 2 – Imagem de *Alternaria*(a), *Aspergillus*(b), *Claviceps*(c), *Penicillium*(d) e *Fusarium*(e).

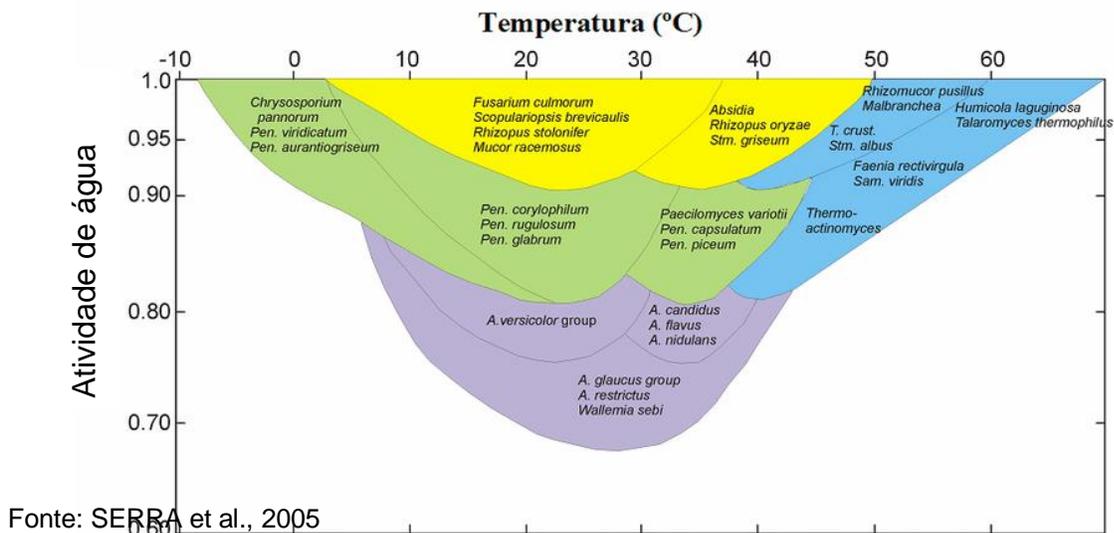


O clima é um fator crucial para o favorecimento da proliferação de fungos.

A Problemática Das Micotoxinas E De Suas Interações Com O Plantio De Arroz E A Água

Umidade e temperatura elevadas são parâmetros primordiais, favorecendo os fatores intrínsecos, principalmente a atividade de água dos substratos (GARCIA et al., 2018), como pode ser observado na Figura 3. Entretanto, fungos do gênero *Fusarium*, podem produzir grande quantidade da micotoxina zeralenona em ambientes com alta umidade, porém com temperatura abaixo de 10°C (DOMIJAN et al. 2005).

Figura 3 - Correlação entre fungos, atividade de água e temperatura.



As micotoxinas tem uma variação química considerável entre uma e outra, mas são basicamente compostos orgânicos de baixa massa molecular, por serem moléculas minúsculas e muito estáveis tornando-as muito difíceis de serem eliminadas. Desta forma, a entrada na cadeia alimentar é facilitada, sem alteração de suas características tóxicas (OMAR 2013).

Sabe-se que as micotoxinas são muito tóxicas. Porém, assim como todas as substâncias, os efeitos dependem da dose e da frequência com que são ingeridas. No caso das micotoxinas, por exemplo, 10 mg.kg⁻¹ ou menos podem causar sérias doenças (ELTARIKI et al., 2018), podendo chegar a letalidade ou causar alterações nos

A Problemática Das Micotoxinas E De Suas Interações Com O Plantio De Arroz E A Água

órgãos internos de humanos e animais, por ingestão de doses homeopáticas ao longo do tempo (SHEPHARD, 2008).

A maioria dos fungos é facilmente controlada pelos tratamentos térmicos usuais; entretanto, as toxinas geradas por eles são um problema, pois a maioria delas são termoestáveis. Isso significa que os tratamentos térmicos e processos de desidratação comumente utilizados não os afetam (MOLIN & VALENTINI, 1999). Os efeitos dessas toxinas não aparecem a curto prazo devido ao seu efeito cumulativo, vindo a surgir após um longo período de ingestão de alimentos contaminados, sendo estes de origem vegetal ou animal (PRADO, 2014).

No quadro 1 pode-se observar informações correlacionando os fungos com as possíveis micotoxinas que podem vir a produzir e suas reações no corpo humano.

Quadro 1 - Correlação entre os fungos, principais micotoxinas produzidas e problemas por elas causados.

Fungos	Micotoxinas	Ações
<i>Aspergillus clavatus</i>	Triptoquivalona, nortriptoquivalona, triptoquivalina, citocalasina E e K, e patulina	Neurotóxicas
<i>Aspergillus flavus</i> , <i>A. parasiticus</i> , <i>A. nomius</i>	Aflatoxinas tipos: B1, B2, G1 e G2	Genotóxicas, Teratogênicas, Hepatotóxicas, Carcinogênicas, Mutagênicas, Imunossupressoras
<i>Claviceps paspali</i>	Paspalitrem A, B, C e paspalina (Indolditerpenos)	Neurotóxicas
<i>Claviceps purpurea</i>	Ergotamina, ácido lisérgico e ergonovina	Neurotóxicas

A Problemática Das Micotoxinas E De Suas Interações Com O Plantio De Arroz E A Água

<i>Fusarium graminearum</i> , <i>F. culmorum</i>	Zearalenona	Problemas reprodutivos; Aborto; Efeito estrogênico
<i>Fusarium sporotrichioides</i> , <i>F. graminearum</i> , <i>F. poae</i> , e <i>F. culmorum</i> , <i>Myrothecium</i> spp. e <i>Trichothecium</i> spp.	Tricotecenos tipos: A (toxina T-2, seus metabólitos desacetilados) e B (deoxinivalenol e seus derivados acetilados - nivalenol, etc)	Problemas gastrointestinais (afeta o rúmen em doses altas), hemorragias, vômitos e dermatites

Fonte: Adaptado de VEDOVATTO et al., 2020

Quadro 1 - Correlação entre os fungos, principais micotoxinas produzidas e problemas por elas causados. (continuação)

Fungos	Micotoxinas	Ações
<i>Fusarium proliferatum</i> e <i>F. verticillioides</i>	Fumonisina tipos: B1 (maior importância zootécnica) e B2	Problemas gastrointestinais (afeta o rúmen em doses altas)
<i>Neotyphodium lolii</i> <i>Acremonium lolii</i>	Paxilina, lolitreto B, ergovalina, peramina	Neurotóxicas, Mitotóxicas
<i>Neotyphodium coenophialum</i>	Ergot alcaloides	Neurotóxicas e alterações da circulação sanguínea
<i>Penicillium</i> spp.	Ocratoxina, patulina e citrinina	Problemas gastrointestinais e pulmonares
<i>Pithomyces</i> sp.	Esporidesmina	Toxicidade biliar e hepática, Nefrotoxicidade

A Problemática Das Micotoxinas E De Suas Interações Com O Plantio De Arroz E A Água

Fonte: Adaptado de VEDOVATTO et al., 2020

Os fungos dos gêneros *Aspergillus*, *Penicillium* e *Fusarium*, destacam-se como principais produtores de micotoxinas, responsáveis por, aproximadamente, dois terços das micotoxinas conhecidas (ELTARIKI et al., 2018).

Dentre os milhares de espécimes de fungos, estima-se que duzentas delas produzam micotoxinas, sendo que algumas dessas possam produzir vários tipos de micotoxinas simultaneamente (TRABULSI, 2004).

2.2 MICOTOXINAS E SUA CORRELAÇÃO COM A AGRICULTURA

Culturas de cereais podem ser contaminadas por fungos devido a fatores regionais, tais como clima, temperatura, umidade relativa e chuva (VALMORBIDA, 2016). Uma vez que o *Fusarium* e *Aspergillus* invadem a cultura de arroz, as práticas de prevenção são cruciais para conter a contaminação e a disseminação (BERTUZZI et al., 2019).

Assim como as práticas em campo são importantes, também as características de armazenamento (umidade,) estão diretamente ligadas à concentração das micotoxinas (ELTARIKI et al., 2018).

A prevalência e frequência de fungos micotoxigênicos isolados de diferentes tipos de cultura podem ser observadas na tabela 1.

A Problemática Das Micotoxinas E De Suas Interações Com O Plantio De Arroz E A Água

Tabela 1 - Prevalência e frequência de fungos micotoxigênicos isolados de diferentes tipos de cultura e origem.

Amostras	Origem	Tipo de Fungo	Prevalência (%)	Frequência (%)
Milho	Malásia	<i>Aspergillus flavus</i>	87	99
		<i>Aspergillus niger</i>	83	95
		<i>Fusarium verticillioides</i>	47	51
		<i>Penicillium sp</i>	5	3.1
Amido de milho	Arábia Saudita	<i>Aspergillus flavus</i>	53	11.4
Grãos (trigo, arroz, café)	Marrocos	<i>Aspergillus niger</i>	-	14.10
		<i>Aspergillus flavus</i>	-	11
		<i>Penicillium sp.</i>	-	24.33
		<i>Fusarium sp.</i>	-	1
Leguminosas (feijão, soja, amendoim)	Líbia	<i>Aspergillus sp.</i>	11.7 - 45	-
		<i>Penicillium sp.</i>	6 - 71.17	-
Amido de milho, Trigo	Iraque	<i>Aspergillus flavus</i>	-	24.70
		<i>Aspergillus niger</i>	-	33.2
		<i>Aspergillus ochraceus</i>	-	4.41
		<i>Alternaria alternata</i>	-	12.53
		<i>Fusarium oxysporum</i>	-	9.97
		<i>Rizopus stolonifer</i>	-	7.70
		<i>Curvularia lunata</i>	-	1.85
		<i>A. niger</i>	83.3	-

A Problemática Das Micotoxinas E De Suas Interações Com O Plantio De Arroz E A Água

Grãos de café, amendoim, milho, frutas secas, arroz, uva	Brasil	<i>A. ochraceus</i>	53.3	-
		<i>A. flavus Cladosporium</i>	16.6 - 25.0	-
		<i>Penicillium</i>	10.0	-
		<i>A. parasiticus</i>	19,6	-
		<i>A. steynii</i>	-	1,12
		<i>A. niger</i>	-	31
Sementes de <i>adlay</i>	Coréia	<i>F. incarnatum</i>	-	11.67
		<i>F. kyushuense</i>	10.33	-
		<i>F. fujikuroi</i>	8.67	-
		<i>F. concentricum</i>	6.00	-
		<i>F. asiaticum</i>	5.67	-

Fonte: Adaptado de ELTARIKI et al., 2018

2.3 O POSICIONAMENTO DO BRASIL QUANTO A PRODUÇÃO DE ARROZ

Para Katsurayama (2017), o arroz é amplamente consumido no mundo e, por esse motivo, é necessário garantir sua qualidade, principalmente em países como o Brasil em que o arroz faz parte da dieta diária com um consumo anual médio de 45 kg por pessoa.

O Brasil está entre os 10 maiores produtores de arroz do mundo, ocupando a nona colocação, com estimativa de produção de setembro de 2020 até setembro de 2021, de 11.747.000 toneladas, com o estado de Santa Catarina produzindo, sozinha, 10,68%, atrás apenas do Rio Grande do Sul que produz 70,46% (CONAB, 2021).

O Brasil possui basicamente dois tipos sistemas de plantio: de terras altas, conhecido também como arroz sequeiro, cujo o plantio é executado em terras secas

A Problemática Das Micotoxinas E De Suas Interações Com O Plantio De Arroz E A Água

com irrigação suplementar por aspersão; e o de várzea, também conhecido como arroz irrigado, o qual é restritamente situado às várzeas dos rios, sendo a água é utilizada para inundar a plantação (KATSURAYAMA, 2017).

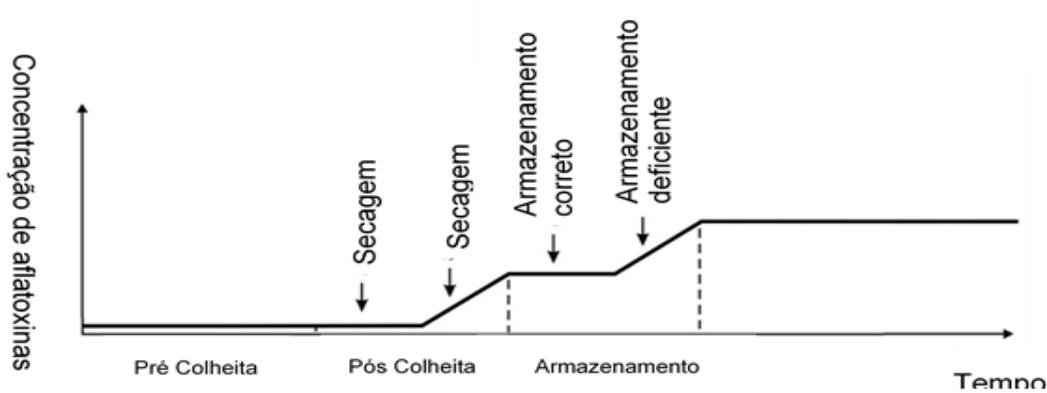
De todo arroz produzido no Brasil, 92,16 % é produzido pelo sistema de várzea (CONAB, 2021). Um fato preocupante é que o arroz é um excelente substrato para a proliferação de fungos e, conseqüentemente, de micotoxinas (KJER et al., 2010).

2.4 AS MICOTOXINAS E O ARROZ

A possibilidade de se descrever uma única condição que venha a favorecer a contaminação ou proliferação de fungos toxigênicos é inexistente, devido as características bioquímicas e ecológicas que se diferem entre as espécies. A cultura de arroz pode ser infectada antes da colheita, após e durante a secagem/armazenamento como se pode observar nas Figuras 4, por, principalmente, *Fusarium ssp*, *Aspergillus ssp* e *Penicillium ssp*, que podem vir a produzir micotoxinas (KATSURAYAMA 2017).

A Problemática Das Micotoxinas E De Suas Interações Com O Plantio De Arroz E A Água

Figura 4 - Gráfico de formação e concentração de aflatoxinas por unidade de tempo



Fonte: PITT et al., 2013

Os limites máximos aceitáveis no Brasil, referente às micotoxinas presentes nos alimentos são definidos pela INSTRUÇÃO NORMATIVA nº 88, de 26 de março de 2021 e podem ser observados no quadro 2.

Quadro 2 - Limites máximos aceitáveis para micotoxinas em alimentos Brasil.

Toxina	Categoria de alimento	Limite (mcg/kg)
Aflatoxina B1, B2, G1, G2	Alimentos à base de cereais para alimentação infantil (lactentes e crianças de primeira infância)	1
	Cereais e produtos de cereais, exceto milho e derivados, incluindo cevada maltada	5
Desoxinivalenol (DON)	Alimentos à base de cereais para alimentação infantil (lactentes e crianças de primeira infância)	200
	Alimentos à base de cereais para alimentação infantil (lactentes e crianças de primeira infância)	2

A Problemática Das Micotoxinas E De Suas Interações Com O Plantio De Arroz E A Água

Ocratoxina A	Cereais e produtos de cereais, incluindo cevada maltada	10
	Cereais para posterior processamento, incluindo grão de cevada	20
Zeralenona	Alimentos à base de cereais para alimentação infantil (lactentes e crianças de primeira infância)	20
	Arroz beneficiado e derivados	100
	Arroz integral	400

Fonte: Adaptado de BRASIL (2021)

As espécies de fungos citados, todas podem estar presentes no solo, alimentos, vegetação, ar e água, com ressalva especial para a espécie *Penicillium ssp*, que pode se desenvolver em temperaturas de refrigeração (DALLMANN et al. 2021).

Normalmente os contaminantes que afligem as plantações de arroz se encontram nas camadas mais externas do grão que, por arraste do processo de irrigação, podem ser transportados aos mananciais e rios podendo vir a contaminar todo o ecossistema que entre em contato, atingindo plantas, animais e seres humanos usuários do recurso (LEITE et al 2012).

Na tabela 2 pode ser observado um compilado de informações sobre a ocorrência de aflatoxinas (AFT) totais em arroz e seus derivados, em diversos países.

A Problemática Das Micotoxinas E De Suas Interações Com O Plantio De Arroz E A Água

Tabela 2 - Compilado de informações sobre a ocorrência de aflatoxinas totais em arroz e seus derivados.

PRODUTO DE ARROZ	N.O AMOSTRAS	INCIDÊNCIA DE AFT (%)	MINIMO-MAXIMO (mcg/Kg)	PAÍS
Arroz polido	166	40	0-176,31	Brasil
Arroz em casca	27	97	0-31,72	Brasil
Farelo	19	89	0-207,04	Brasil
Quirera	18	94	0-19,42	Brasil
Arroz polido	88	6	2,1-7,7	Coreia
Arroz polido	10	80	0-50	Uganda
Arroz polido	80	0	0	Coreia do Sul
Arroz integral	80	7,5	0-2,7	Coreia do Sul
Arroz parabolizado	1511	38	<5->30	Índia
Arroz integral	9	100	0,025-8,7	Filipinas
Arroz polido	68	94	0 - 8,7	Filipinas
Arroz em casca	16	100	27,7-371,9	Nigéria
Arroz polido	5	100	27,7-371,10	Nigéria
Arroz polido	100	56	<0,05- > 21,4	Turquia
Arroz parabolizado	32	9	0-74	Brasil
Arroz polido	26	23	0-2,04	Brasil
Arroz polido	36	2	0-1,2	Brasil
Óleo de farelo de arroz cru	20	75	236-956	Índia
Óleo de farelo de arroz refinado	20	30	traco-28	Índia
Farelo de arroz (<i>de-oiled</i>)	30	66,7	7-114	Índia
Arroz em casca	675	70,7	0,1-308	Índia
Arroz polido	525	64,1	0,5-3,5	Índia
Arroz em casca	40	0	0	Brasil

Fonte: Adaptado de KATSURAYAMA (2017)

A Problemática Das Micotoxinas E De Suas Interações Com O Plantio De Arroz E A Água

2.5 AS MICOTOXINAS E A ÁGUA

Fontes de água potável, principalmente as de céu aberto, contêm diversos tipos de contaminantes biológicos, tais como bactérias, vírus, protozoários e fungos, (PEREIRA et al. 2010). Este fato vem alarmando os pesquisadores, pois estima-se que os vírus, as bactérias, os fungos e os protozoários presentes na água potável sejam responsáveis por 1,3 milhões de mortes de crianças no mundo, todos os anos (SUPONG et al. 2017).

Atualmente, estes parâmetros não são exigidos nas análises de água tratada, porém, com os estudos mais recentes sobre os efeitos das micotoxinas, há uma crescente preocupação quanto a sua presença nos sistemas de água tratada (MHLONGO et al. 2019).

Os fungos até então não eram considerados quando a discussão era sobre os patógenos transmitidos pela água. Entretanto, devido às atuais circunstâncias, estão sendo considerados como um problema emergente de qualidade da água (ASHBOLT 2015).

Mesmo assim, estes parâmetros não são exigidos nas análises de água tratada e com os estudos mais recentes sobre os efeitos das micotoxinas, há um aumento da preocupação com a presença das mesmas nos sistemas de água tratada (MHLONGO et al. 2019). Segundo Babič et al. (2017) a Suécia é o único país que inclui medidas de monitoramento fúngico às diretrizes de potabilidade da água.

Para Sammon et al. (2010) os principais gêneros de fungos presentes nas mais variadas fontes de água como por exemplo, reservatórios, canos, rios, águas subterrâneas, entre outros são: *Cladosporium*, *Penicillium*, *Aspergillus*, *Fusarium*, *Trichoderma*, *Pithomyces*, *Alternaria*, *Peecilomyces*, *Acremonium*, *Epicoccum* e *Curvularia*. Dentre estes o gênero mais comumente encontrado é o do *Aspergillus*.

A Problemática Das Micotoxinas E De Suas Interações Com O Plantio De Arroz E A Água

A maioria destes são fungos demáceos que podem secretar melanina ou pigmento semelhante em suas paredes celulares, tornando-as espessas e com esporos hidrofóbicos que traz resistência ao tratamento de água convencional (BABIČ et al., 2017).

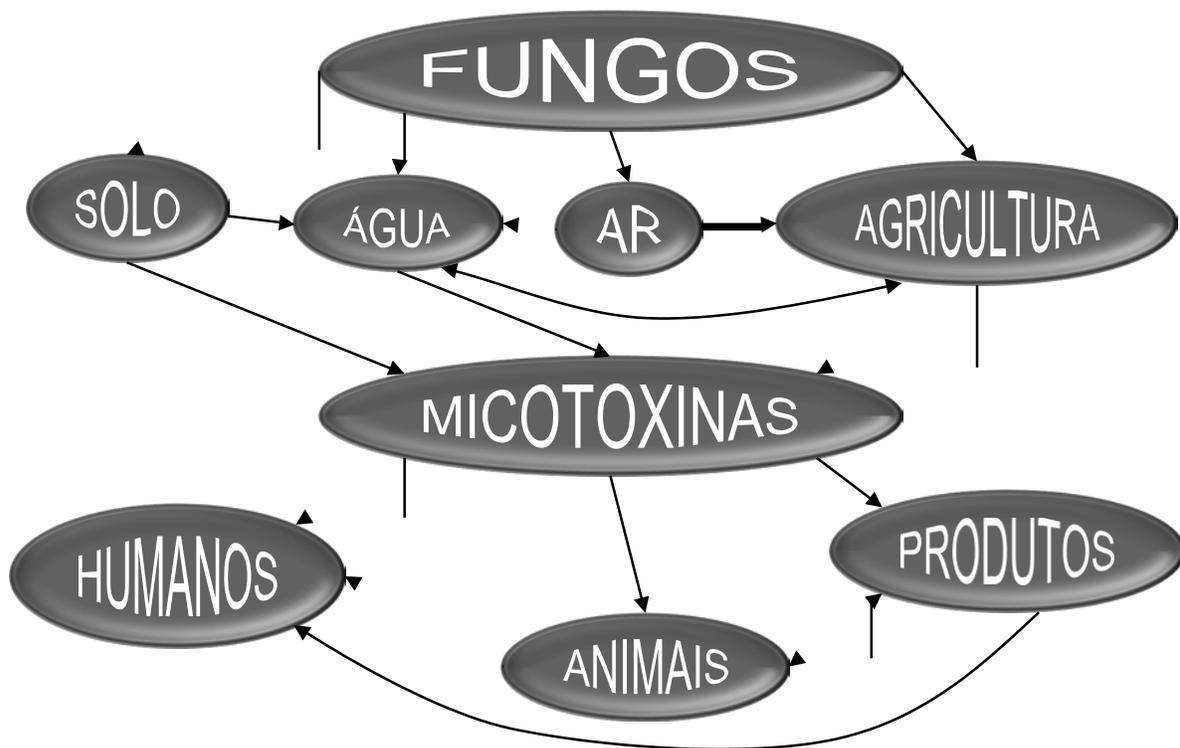
Quando fungos conseguem transpassar o processo de tratamento de água eles podem se abrigar em pontos no sistema de abastecimento, como reservatórios, estagnando-se em zonas mortas onde os resíduos de desinfetantes não os afetam, havendo a formação de biofilmes (OLIVEIRA et al., 2016).

Quando estes fungos se estabelecem nos tubos, dependendo do material que este é constituído, pode sofrer corrosão devido aos ácidos orgânicos produzidos por estes fungos, (GRABIN´SKAŁONIEWSKA et al., 2007). Além do ácido, estes fungos podem secretar outros tipos de metabólitos, como micotoxinas. Entretanto, mesmo com a ausência de fungos, a água pode não estar livre das micotoxinas, pois estas podem resistir muito tempo após os fungos serem eliminados (PITT et al., 2000).

Na figura 5 é apresentado um diagrama de como as micotoxinas podem chegar aos seres humanos, iniciando com os fungos existentes no solo, ar, água e nas culturas agrícolas. Estes fungos podem vir a produzir micotoxinas que contaminam os produtos e subprodutos gerados no meio agrícola, contaminando, por consequência, os animais e os seres humanos que também podem receber estas micotoxinas de todos os meios contaminados.

A Problemática Das Micotoxinas E De Suas Interações Com O Plantio De Arroz E A Água

Figura 5 - Diagrama com as interações existentes entre os metabolitos fúngicos até acontaminação de animais e humanos.



Fonte: Adaptado de AL-GABR et al., 2014.

Parâmetros como temperatura e pH são condições críticas para favorecer o crescimento e a resistência dos fungos no ambiente aquático (HUSSAIN et al.2011). Com as colônias de fungos estabelecidas não é incomum encontrar bactérias juntamente com esses fungos devido às suas interações, podendo variar de uma colônia desordenada de hifas fúngicas e células bacterianas altamente organizadas

A Problemática Das Micotoxinas E De Suas Interações Com O Plantio De Arroz E A Água

(FREY- KLETT et al., 2011).

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A ocorrência de micotoxinas na cadeia alimentar é inevitável devido as inúmeras e possíveis fontes de proliferação de fungos toxigênicos. Deste modo, constitui sério problema a ser avaliado.

Com foco na saúde, observa-se que o monitoramento das micotoxinas nos alimentos derivados de cereais, águas dos sistemas de distribuição e até mesmo no campo é de extrema importância. Alguns mecanismos de formação ainda são desconhecidos, sendo necessário o levantamento de dados, principalmente devido a não regulamentação dos órgãos de vigilância, que acompanham a formação das toxinas apenas nos produtos finais. Deste modo, é essencial a implementação das boas práticas agrícolas, a fim de evitar a proliferação dos fungos e, com isso, evitar a produção desses metabólitos tão nocivos à saúde humana e animal.

Em paralelo é importante o acompanhamento dos patógenos, desenvolvimento de novos agentes de controle fúngico que não agredam ao meio ambiente e que sejam economicamente viáveis para beneficiar tanto o produtor rural quanto ao consumidor final.

Fica como sugestão para trabalhos futuros o levantamento regional dos fungos e micotoxinas encontradas na agricultura, especialmente se a região for produtora de arroz irrigado e gado de corte, com rios utilizados como fonte de água potável para a população.

A Problemática Das Micotoxinas E De Suas Interações Com O Plantio De Arroz E A Água

REFERÊNCIAS

AL-GABR, Hamid Mohammad; ZHENG, Tianling; YU, Xin. Fungi contamination of drinking water. **Reviews of Environmental Contamination and Toxicology Volume 228**, p. 121-139, 2014.

ASHBOLT, Nicholas J. Microbial contamination of drinking water and human health from community water systems. **Current environmental health reports**, v. 2, n. 1, p. 95-106, 2015. AYOFEMI OLALEKAN ADEYEYE, S. **Aflatoxigenic fungi and mycotoxins in food: a review**. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, p. 1–13, 2019.

AYOFEMI OLALEKAN ADEYEYE, Samuel. Aflatoxigenic fungi and mycotoxins in food: a review. **Critical reviews in food science and nutrition**, v. 60, n. 5, p. 709-721, 2020.

BABIČ, Monika Novak et al. Fungal contaminants in drinking water regulation? A tale of ecology, exposure, purification and clinical relevance. **International journal of environmental research and public health**, v. 14, n. 6, p. 636, 2017.

A Problemática Das Micotoxinas E De Suas Interações Com O Plantio De Arroz E A Água

BERTUZZI, Terenzio et al. Mycotoxins and related fungi in Italian paddy rice during the growing season and storage. **Toxins**, v. 11, n. 3, p. 151, 2019. BHAT, R., Rai, R. V., & Karim, A. A. **Mycotoxins in Food and Feed: Present Status and Future Concerns**. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 9, p. 57-81, 2010.

BHAT, Rajeev; RAI, Ravishankar V.; KARIM, Abd A. Mycotoxins in food and feed: present status and future concerns. **Comprehensive reviews in food science and food safety**, v. 9, n. 1, p. 57-81, 2010.

BRASIL, Federativa; BRASÍLIA, D. F. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Secretaria de Defesa Agropecuária. Disponível em: Acesso em**, v. 5, n. 10, p. 2016, 2021.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Monitoramento agrícola. Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos**. Brasília, 12º Levantamento, p. 18, 2021.

CONAB. Séries históricas das safras: grãos - por produtos. 2021b. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras>. Acesso em: 12 out. 2021.

DALLMANN, Ellen Paola et al. Micotoxinas e seu alarmante alcance à bovinocultura: Revisão. **PUBVET**, v. 15, p. 169, 2021. DA SILVA, D. D., DA COSTA, R. V., COTA, L.,

LANZA, F., & GUIMARAES, E. **Micotoxinas em cadeias produtivas do milho: riscos à saúde animal e humana**. Embrapa Milho e Sorgo-Documents (INFOTECA-E), 2015.

DE TONI, Pierre Sonigo-Arianna; REILLY, Kate. A REVIEW OF FUNGI IN DRINKING WATER AND THE IMPLICATIONS FOR HUMAN HEALTH. 2011.

A Problemática Das Micotoxinas E De Suas Interações Com O Plantio De Arroz E A Água

DINIZ, S.P.S.S. **Micotoxinas**. São Paulo: Livraria e Editora Rural. 2002. 181p.

DOMIJAN, Ana-Marija et al. Fumonisin B1, fumonisin B2, zearalenone and ochratoxin A contamination of maize in Croatia. **Food additives and contaminants**, v. 22, n. 7, p. 677-680, 2005.

ELTARIKI, Fuzia Elfituri Muftah et al. Genetic Diversity of Fungi Producing Mycotoxins in Stored Crops. **Journal of Pure and Applied Microbiology**, v. 12, n. 4, p. 1815-1823, 2018.

FREY-KLETT, Pascale et al. Bacterial-fungal interactions: hyphens between agricultural, clinical, environmental, and food microbiologists. **Microbiology and molecular biology reviews**, v. 75, n. 4, p. 583-609, 2011.

GARCIA, Marcelo Valle et al. Fungi in spices and mycotoxigenic potential of some Aspergilli isolated. **Food microbiology**, v. 73, p. 93-98, 2018.

GONÇALEZ, E.; PINTO, M. M.; FELICIO, J. D. DIVULGAÇÃO TÉCNICA. **Biológico, São Paulo**, v. 63, n. 1/2, p. 15-19, 2001.

GRABIŃSKA-ŁONIEWSKA, A. et al. Occurrence of fungi in water distribution system. **Polish Journal of Environmental Studies**, v. 16, n. 4, p. 539-547, 2007.

HUSSAIN, T., ISHTIAQ, M., HUSSAIN, A. & SULTANA, K. **Study of drinking water fungi and its pathogenic effects on human beings from District Bhimber, Azad Kashmir, Pakistan**. Pakistan Journal of Botany 43 (5), 2581–2585. 2011.

KATSURAYAMA, Aline Machado; TANIWAKI, Marta Hiromi. Fungos e aflatoxinas no arroz: ocorrência e significado na saúde do consumidor. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 20, 2017.

KJER, Julia et al. Methods for isolation of marine-derived endophytic fungi and their bioactive secondary products. **Nature protocols**, v. 5, n. 3, p. 479-490, 2010.

A Problemática Das Micotoxinas E De Suas Interações Com O Plantio De Arroz E A Água

LEITE, Clarice Caldeira et al. Análises quali e quantitativas de micotoxinas em águas da cadeia produtiva do arroz por CCD e CCDAE. **Química Nova**, v. 35, p. 1955-1960, 2012.

MHLONGO, Ntombie Thandazile; TEKERE, Memory; SIBANDA, Timothy. Prevalence and public health implications of mycotoxigenic fungi in treated drinking water systems. **Journal of water and health**, v. 17, n. 4, p. 517-531, 2019.

MOLIN, R.; VALENTINI, M.L. Simpósio sobre micotoxinas em grãos. **Fundação Cargil**.

208p. 1999.

MURPHY, Patricia A. et al. Food mycotoxins: an update. **Journal of food science**, v. 71, n. 5, p. R51-R65, 2006.

OLIVEIRA, Helena et al. Fungi from a groundwater-fed drinking water supply system in Brazil. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 13, n.3, p. 304, 2016.

OMAR, H. E. M. Mycotoxins-induced oxidative stress and disease. **Mycotoxin and Food Safety in Developing Countries. Rijeka, Croatia: InTech**, p. 63-92, 2013.

PEREIRA, Maria Marluca Gomes; DE CARVALHO, ELIANA PINHEIRO; PRADO, Guilherme. Crescimento e produção de aflatoxinas por *Aspergillus flavus* e *Aspergillus parasiticus*. **Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**, v. 20, n. 1, 2002.

PITT, J. I. et al. Mycotoxins and toxigenic fungi. **Medical mycology**, v. 38, n. sup1, p. 41-46, 2000.

PITT, J. I.; TANIWAKI, Marta H.; COLE, M. B. Mycotoxin production in major crops as influenced by growing, harvesting, storage and processing, with emphasis on the achievement of Food Safety Objectives. **Food control**, v. 32, n. 1, p. 205-215, 2013.

A Problemática Das Micotoxinas E De Suas Interações Com O Plantio De Arroz E A Água

PRADO, Guilherme. Contaminação de alimentos por micotoxinas no Brasil e no mundo.

Gerai: **Revista de Saúde Pública do SUS/MG**, v. 2, n. 2, p. 13-26, 2017.

SAMMON, Noel B. et al. Incidence and distribution of microfungi in a treated municipal water supply system in sub-tropical Australia. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 7, n. 4, p. 1597-1611, 2010.

SAVI, Geovana Dagostim; DOS SANTOS ZENAIDE, Fernanda. Micotoxinas: riscos à saúde humana pela ingestão diária de alimentos contaminados e sua ocorrência em amostras clínicas. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 4, p. e24942482-e24942482, 2020.

SERRA, Rita. Micoflora das uvas portuguesas e seu potencial para a contaminação das uvas com micotoxinas, com destaque para a ocratoxina A. 2005.

SHEPHARD, Gordon S. Impact of mycotoxins on human health in developing countries.

Food Additives and contaminants, v. 25, n. 2, p. 146-151, 2008.

SUPONG, A.; BHOMICK, P. C.; SINHA, D. Waterborne pathogens in drinking water-existing removal techniques and methods. **MOJ Toxicology**, v. 3, p. 146-147, 2017.

TRABULSI, Luiz Rachid; ALTERTHUM, Flávio. Microbiologia. 5ª edição. São Paulo: Atheneu, p. 24-27, 2008.

VALMORBIDA, Roberta et al. Fungos e micotoxinas em grãos de milho (*Zea mays* L.) e seus derivados produzidos no estado de Rondônia, Região Norte do Brasil. 2016.

VEDOVATTO, M. G. et al. Micotoxinas na dieta de bovinos de corte: revisão.

Archivos de zootecnia, v. 69, n. 266, p. 234-244, 2020.

A Problemática Das Micotoxinas E De Suas Interações Com O Plantio De Arroz E A Água

VITORINO, Orlanda Cristina Leonardo. **Micotoxinas na alimentação e na saúde animal humana**. 2012. Tese de Doutorado.



Otimização Do Processo De Tratamento De Efluentes De Uma Indústria De Alimentos Para
Melhoria Da Eficiência E Produtividade

OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES DE UMA INDÚSTRIA DE ALIMENTOS PARA MELHORIA DA EFICIÊNCIA E PRODUTIVIDADE

OPTIMIZATION OF THE EFFLUENT TREATMENT PROCESS OF A FOOD
INDUSTRY TO IMPROVE ITS EFFICIENCY AND PRODUCTIVITY

André Heck Debatin¹

Me. Raquel Bonati Moraes Ibsch²

RESUMO: O impacto da descarga de estações de tratamento de efluente (ETE) em corpos d'água é uma questão de grande preocupação para a maioria das organizações. Uma série de legislações, normas e políticas ambientais estabelecem padrões e valores orientadores para definir o nível de tratamento necessário a fim de garantir que o impacto ambiental causado pelo descarte do esgoto tratado seja aceitável. Nessa concepção, o objetivo desse estudo é a proposta de otimização do processo, o aumento da eficiência da estação de tratamento de efluente e a redução de gastos com produtos químicos. O estudo foi realizado em uma empresa de alimentos localizada, no estado de Santa Catarina. Controlando o Ph de entrada, analisando se é necessário utilizar hidróxido de sódio na estação e fazendo o teste inicial, a empresa poupara tempo e otimizará o processo.

Palavras-chave: Tratamento; Efluentes; Água, ETE.

ABSTRACT: *The impact of discharge from effluent treatment plants (ETP) into water bodies is a matter of great concern to most organizations. A series of environmental legislation, norms and policies establish standards and guiding values to define the level of treatment necessary to ensure that the environmental impact caused by the disposal of treated sewage is acceptable. In this conception, the*

Otimização Do Processo De Tratamento De Efluentes De Uma Indústria De Alimentos Para
Melhoria Da Eficiência E Produtividade

objective of this study is to propose the optimization of the process, the increase in the efficiency of the effluent treatment plant and the reduction of expenses with chemical products. The study was carried out in a food company located in the state of Santa Catarina. By controlling the input Ph, analyzing whether it is necessary to use sodium hydroxide at the station, and carrying out the initial test, the company will save time and optimize the process.

Keywords: *Treatment; Effluents; Water, ETP.*

1 INTRODUÇÃO

Devido à grande capacidade de aplicação da água, seja ela de uso direto ou indireto, o cuidado com sua cadeia de consumo e a destinação dos resíduos gerados pelo seu uso são um grande desafio. A disponibilidade de recursos hídricos tem sido tema de discussão nas últimas décadas. Entretanto, a maioria dos países têm feito pouco progresso na proteção eficaz desse recurso natural. No Brasil, onde estão localizadas as maiores reservas de água do planeta, muitos rios não existem mais ou transformaram-se em canais naturais de esgoto. A poluição da água é um problema mundial e o seu controle ou redução são um dos principais desafios de gestão ambiental em nível global (VON SPERLING, 2005).

Qualquer alteração física, química ou biológica em um corpo hídrico pode ser definida como poluição hídrica (PEREIRA, 2003). A legislação em vigor define os parâmetros e padrões de tratamento de efluentes, os quais estão incluídos na Resolução nº 357 de 2005 e complementada pela Resolução nº 430 de 13 de maio de 2011, ambas estabelecidas pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Existem duas motivações fundamentais para o tratamento de efluentes: proteger o meio ambiente e proteger a saúde pública. Os efluentes industriais e o esgoto doméstico são os principais responsáveis pela redução do oxigênio nos corpos d'água, bem como pelo aporte na contribuição de sólidos, nutrientes e microrganismos patogênicos. A introdução de alta carga orgânica gera uma demanda de oxigênio que atende às necessidades dos microrganismos responsáveis pela degradação, e esses

Otimização Do Processo De Tratamento De Efluentes De Uma Indústria De Alimentos Para
Melhoria Da Eficiência E Produtividade

compostos orgânicos são usados como fontes de energia por si próprios (TUCCI, 2013).

Assim, o objetivo deste estudo é a otimização do processo e aumento da eficiência da estação de tratamento de efluentes, bem como a redução de gastos com produtos químicos de uma empresa de alimentos localizada no sul do país, no estado de Santa Catarina. Para isto, foram estipulados os seguintes objetivos específicos: monitorar as análises da estação de tratamento de efluente bruto (afluente) e do efluente tratado e, por fim, propor melhorias relacionadas à operação e gerenciamento da ETE.

O artigo foi construído em cinco partes. A primeira é formada pela introdução, contendo a contextualização e os objetivos da pesquisa. Na segunda parte são apresentados o referencial teórico, a legislação ambiental relacionada e a estação de tratamento de efluentes. Na terceira parte é evidenciada a metodologia de pesquisa e na quarta são discutidos os resultados e discussão dos mesmos. Por fim, quinta parte são apresentadas as conclusões e recomendações para trabalhos futuros, assim como as referências utilizadas para a fundamentação, realização e discussão do trabalho, respectivamente.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Desde o início da civilização a humanidade desenvolveu-se ao longo de rios, oceanos e fontes de água. Atualmente, cerca de 50% da população mundial vive em um raio de 150 quilômetros da costa. O desvio e o uso extensivo de rios também são de grande importância para o desenvolvimento das áreas mais centrais de vários países. Deste modo, observa-se que a água é um recurso extremamente importante, não apenas para o desenvolvimento de nossa espécie, mas também para nossa própria sobrevivência. Esse entendimento, aliado às consequências do abuso dos recursos hídricos na história, requer o desenvolvimento de métodos para regenerar esse recurso extremamente importante e destruído pela modernidade (SCOTT et al., 2018).

Até a década de 1970, o ambiente industrial ainda carecia de medidas de proteção ou prevenção ambiental, mas algumas consequências já são visíveis, como

Otimização Do Processo De Tratamento De Efluentes De Uma Indústria De Alimentos Para
Melhoria Da Eficiência E Produtividade

por exemplo, a qualidade da água potável que diminuiu. Em 1972 foi realizada a primeira reunião da Organização das Nações Unidas (ONU) para discussão de questões ambientais, em Estocolmo, com estruturação das primeiras leis de controle ambiental. Por outro lado, a água residual está se tornando cada vez mais um fator gerador de custos, fazendo com que a indústria desenvolva métodos cada vez mais eficazes e práticos para gerenciar seus resíduos (CAVALCANTI, 1994).

Portanto, para coordenar a poluição das águas causada pelos meios industriais e pela população, é necessário formular alguns parâmetros sanitários para o efluente, pois esses costumam ser acompanhados por um grande número de poluentes.

2.1 LEGISLAÇÃO AMBIENTAL

No Brasil, a legislação ambiental nacional é mais abrangente em termos de normas de descarte de efluentes industriais, mas não é a única que legisla sobre a poluição da água nas instituições receptoras. Além disso, as legislações estadual e municipal também devem ser consideradas. Os parâmetros e normas nacionais são formulados pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), que é um órgão nacional consultivo e deliberativo do Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA). A legislação ambiental aplicável é definida de acordo com a Lei nº 6.938/81, que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, regulamentada atualmente pela Resolução CONAMA nº 357/2005 (BRASIL, 2005) e completada pela portaria CONAMA nº 430/2011 (BRASIL, 2011).

Conforme o Art. 16 da Resolução Conama nº 430/2011, os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados diretamente no corpo receptor desde que obedeçam as condições e padrões previstos neste artigo, resguardadas outras exigências cabíveis, conforme a seguir:

Condições de lançamento de efluentes:

- a) pH entre 5 a 9;
- b) temperatura: inferior a 40°C, sendo que a variação de temperatura do corpo receptor não deverá exceder a 3°C no limite da zona de mistura;
- c) materiais sedimentáveis: até 1 mL/L em teste de 1 hora em

Otimização Do Processo De Tratamento De Efluentes De Uma Indústria De Alimentos Para
Melhoria Da Eficiência E Produtividade

cone Imhoff. Para o lançamento em lagos e lagoas, cuja velocidade de circulação seja praticamente nula, os materiais sedimentáveis deverão estar virtualmente ausentes;

d) regime de lançamento com vazão máxima de até 1,5 vez a vazão média do período de atividade diária do agente poluidor, exceto nos casos permitidos pela autoridade competente;

e) óleos e graxas:

1. óleos minerais: até 20 mg/L;

2. óleos vegetais e gorduras animais: até 50 mg/L;

f) ausência de materiais flutuantes; e

g) Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO 5 dias a 20°C): remoção mínima de 60% de DBO sendo que este limite só poderá ser reduzido no caso de existência de estudo de autodepuração do corpo hídrico que comprove atendimento às metas do enquadramento do corpo receptor.

O não cumprimento destes padrões de lançamento estabelecidos antes do descarte do efluente no meio ambiente implica desde multa até cinco anos de cadeia, segundo disposto na Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998 (BRASIL, 1998).

2.2 Estação de tratamento de efluentes

Segundo Von Sperling (2005), as pesquisas sobre o tratamento de efluentes sanitários existentes enfatizam a construção de estações de tratamento de efluente (ETE) para coletar todo o efluente e encaminhá-lo para um local específico para tratamento. Um dos principais avanços implementados nas ETEs foi a utilização de um sistema de aeração de ar difuso no processo biológico aerado, geralmente com um difusor de bolha fina. Esta tecnologia é altamente adotada e recomendada para ETEs compactas devido a eficiência de processamento e seus baixos custos operacionais, principalmente devido ao menor consumo de energia (FARRUGIA, 2013).

Otimização Do Processo De Tratamento De Efluentes De Uma Indústria De Alimentos Para
Melhoria Da Eficiência E Produtividade

Alguns fatores ambientais são devido às interrupções ocasionais devido a falhas no sistema de processamento. Essa é uma característica da ETE, pois o tratamento de efluentes não pode ser interrompido e seu fechamento costuma causar impactos ambientais (DAVIGNOM et al., 2002). No caso de tratamento de efluentes, especialmente os com alta carga microbiana, sólidos suspensos, pH ácido ou alcalino, alta temperatura, nutrição excessiva, etc., haverá a degradação dos receptores ao longo da cadeia de abastecimento e escoamento de rios afluentes (MAZZER & CAVALCANTI, 2004).

Nesse sentido, as tecnologias de tratamento de efluentes líquidos ou águas residuais são divididas em diferentes grupos de processos biológicos, físicos e químicos, de acordo com as características do efluente a ser tratado. Esta definição da tecnologia de remoção de carga orgânica do efluente é necessária para a caracterização físico-química do mesmo. A caracterização é realizada por meio da análise de indicadores de qualidade, como sólidos totais, temperatura, cor, odor, turbidez, Demanda Química de Oxigênio (DQO), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Potencial Hidrogênio (pH) e Oxigênio Dissolvido (OD). (MAZZER e CAVALCANTI, 2004).

Os parâmetros de qualidade indicam as características dos esgotos ou dos corpos hídricos receptores. Os parâmetros importantes no tratamento de efluentes são aqueles previstos nas exigências legais, demanda de projeto, operação e análise de desempenho das ETEs (JORDÃO e PESSOA, 2005). Conforme Mota (2003), a cor e turbidez se referem, principalmente, ao aspecto estético do efluente. A presença de sólidos dissolvidos é indicativa da condição de chegada do efluente e altera a cor no efluente que chega à ETE. Já a turbidez se deve ao conteúdo de sólidos em suspensão, microrganismos e algas, que conferem nebulosidade ao líquido (RICHTER & NETTO, 2007).

A temperatura é muito importante no tratamento do efluente (METCALF e EDDIE, 2003). O valor do pH também é um parâmetro importante no controle da ETE, especialmente em processos anaeróbios de oxidação: quando o valor de pH é inferior a 5,0, a taxa de nitrificação é inibida (SANT' ANNA, 2010). De acordo com as características do efluente a ser tratado, pode-se utilizar um sistema de tratamento por meio de processos químicos, físicos ou biológicos. O processo físico inclui o uso

Otimização Do Processo De Tratamento De Efluentes De Uma Indústria De Alimentos Para Melhoria Da Eficiência E Produtividade

de tanques, caixas de areia, grade, peneira, decantador, etc. Os processos biológicos são realizados usando microrganismos para a redução da carga orgânica de águas residuais. Em processos químicos, por exemplo, pode-se utilizar hipoclorito de sódio, hidróxido de cálcio ou outros agentes químicos para a redução e oxidação da matéria orgânica. Geralmente, processos biológicos aeróbios englobam lodos ativados, filtro biológico, lagoas aeradas e processos anaeróbios (GUIMARÃES & NOUR, 2001; SPERLING, 2005).

A partir desses fatores, uma ETE funcional é necessária para que o efluente não cause problemas ambientais e sociais, visto que a matéria orgânica presente no efluente pode levar a uma diminuição do oxigênio dissolvido, causando a morte de peixes e outros organismos aquáticos, escurecimento da água e aparecimento de maus odores (BRAGA et al., 2005).

2.2.1 Operações de tratamento de efluentes

As estações de tratamento de efluentes têm como prioridade atender e seguir a legislação ambiental vigente e algumas ainda são utilizadas para o enquadramento do efluente em padrões para um posterior reuso da água na própria indústria. Para poder cumprir os padrões exigidos conforme a legislação para o devido tratamento e para posterior descarga poluidora seja no curso hídrico ou para reuso, existem algumas operações unitárias a serem consideradas para o devido tratamento, de acordo com o processo operado na indústria (CARVALHO, 2011).

Na atualidade, sabe-se que alguns processos, como os físicos, químicos e biológicos, são essenciais para que a carga poluidora do efluente seja tratada com eficiência, já que a amplitude destes tratamentos compõe todas as fontes de impurezas do efluente a serem consideradas (CQR, 2013).

Processos físicos: removem impurezas grosseiras não dissolvidas no efluente e que podem ser separadas por meio de processos físicos. Entre estas impurezas estão englobados sólidos em suspensão, sedimentáveis e flutuantes. Além disso, processos físicos também podem ser capazes de remover matéria orgânica e

Otimização Do Processo De Tratamento De Efluentes De Uma Indústria De Alimentos Para
Melhoria Da Eficiência E Produtividade

inorgânica em suspensão coloidal. Estes processos também têm a finalidade de desinfecção e estabilização do descarte. Alguns dos processos mais populares que podem ser citados são o de gradeamento, separação de óleos e gorduras, sedimentação, caixa de areia, tanque de equalização, entre outros (CQR, 2013).

Processos químicos: envolvem a remoção de contaminantes por processos químicos, por meio de interações entre efluente e reagentes dosados, tais como agentes de coagulação, floculação, neutralização de pH, oxidação, redução e desinfecção. Também utilizados quando se torna necessário o condicionamento do efluente para posteriores processos. Os processos químicos mais populares na atualidade envolvem clarificação química, coagulação com agentes coagulantes, oxidação por ozônio, troca iônica, entre outros (CQR, 2013).

Processo biológico: Além de digerir as substâncias orgânicas do efluente por meio da biomassa, as reações bioquímicas também são utilizadas para eliminar os poluentes de fontes orgânicas, reduzindo assim os valores dos parâmetros relacionados, como a demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e a química Demanda de oxigênio. Esses dois parâmetros são muito importantes para identificar a toxicidade e o grau de poluição do efluente e estão sempre presentes nos padrões estabelecidos para análise da qualidade da água. Esses processos podem incluir reatores anaeróbios, reatores aeróbios, filtros biológicos, lagoas etc. (ARAÚJO, 2015).

Os processos físicos, químicos e biológicos estão contidos em diferentes etapas (níveis) nas estações de tratamento de efluentes industriais, envolvendo operações unitárias. Essas etapas visam o tratamento mais eficaz, bem como contemplar as operações envolvidas em cada processo da forma mais harmoniosa e consistente. Normalmente, essas etapas são projetadas de forma contínua, com uma etapa participando diretamente da outra, tornando tudo um grande e único processo integrado de tratamento de esgoto. Segundo Giordano (1999), os níveis de tratamento são definidos como primário, secundário e terciário.

2.2.2 Nível Preliminar de Tratamento

O tratamento preliminar de efluentes em uma indústria é localizado no início dos processos, sendo o primeiro receptor do efluente, que se baseia na remoção,

Otimização Do Processo De Tratamento De Efluentes De Uma Indústria De Alimentos Para Melhoria Da Eficiência E Produtividade

principalmente, de sólidos grosseiros e areia. Os mecanismos de remoção aplicados nesta etapa são de ordem unicamente física, logo trata-se de processos físicos (SPERLING, 2005).

A principal importância da remoção destes sólidos logo no início do processo de tratamento do efluente é a proteção dos dispositivos de transporte, como bombas e tubulações, preservação das unidades de tratamento subsequentes, além da proteção dos corpos receptores. Já quando se trata da areia, sua retirada é essencial para evitar a possibilidade de obstrução de tubulações e tanques pela posterior sedimentação e facilitar o transporte de líquidos, principalmente através de lodos, em suas diversas fases (SPERLING, 2005).

2.2.3 Nível Primário de Tratamento

Segundo Sperling (2005), esta fase do tratamento tem como objetivo a remoção de sólidos em suspensão sedimentáveis e sólidos flutuantes, por meios físicos ou químicos. Os sólidos em suspensão não grosseiros podem ser parcialmente removidos em unidades de sedimentação, chamados de decantadores, em que durante a passagem vagarosa, ou estadia na unidade, ocorre a decantação de particulados com maior densidade que a água. Para otimização deste processo e maior sedimentação de fundo em menor tempo, são comumente utilizados agentes químicos, chamados agentes coagulantes, para a formação de um aglomerado maior de material, aumentando assim sua densidade e tornando o processo mais eficiente, esse corpo de fundo sólido adquirido no final do processo é denominado lodo primário. Já quando se trata de poluentes com menor densidade que a água, estes ficam dispostos na superfície do tanque e são removidos, manualmente ou mecanicamente, para o posterior tratamento.

A alcalinidade indica a quantidade de íons na água que reagem para neutralizar os íons hidrogênio. Portanto a medição da capacidade da água de neutralizar os ácidos, servindo assim para expressar a capacidade de tamponamento da água, ou seja, sua condição de resistir a mudanças do pH. Os principais constituintes da

Otimização Do Processo De Tratamento De Efluentes De Uma Indústria De Alimentos Para
Melhoria Da Eficiência E Produtividade

alcalinidade são os bicarbonatos (HCO_3^-), carbonatos (CO_3^{2-}) ou hidróxidos (OH^-) (RICHTER e NETTO, 1991).

2.2.4 Nível Secundário de Tratamento

Com o principal objetivo de remover a matéria orgânica presente no efluente, os tratamentos biológicos que ocorrem durante estas operações afetam tanto a matéria orgânica em suspensão, que já foi parcialmente retirada no tratamento primário, quanto a matéria orgânica dissolvida, a qual não é removida por processos de ordem meramente física ou química, como os até este nível (SPERLING, 2005). Com essa remoção os valores de DQO e DBO também foram reduzidos, como representado por Aygun, Nas & Berkay (2008), que mensuraram uma média de remoção de DQO em um reator biológico de 95% considerando escala de bancada. Em relação a remoção de DBO, Sperling (2005), enquadra a remoção num intervalo de 60 a 99%. Logo, entende-se que depois dos processos secundários de tratamento, os efluentes apresentam-se bem mais clarificados e tratados, apresentando assim, um índice de toxicidade bem inferior quando comparado com as características iniciais.

Existem dois tipos de tratamentos biológicos atualmente aplicados ao tratamento de efluentes industriais: os realizados na ausência de oxigênio, chamados tratamentos anaeróbios, e os na presença de oxigênio, chamados tratamentos aeróbios.

Sistemas de tratamento aeróbio: A matéria orgânica que será consumida pelos microrganismos aeróbios obrigatórios e facultativos será em parte convertida em CO_2 e H_2O e em parte em mais biomassa, que fará parte do lodo aeróbio. Para um processo interessante comercialmente é importante destacar a necessidade de um sistema de aeração, para a depuração na presença de oxigênio se dar de forma mais rápida, um tanque de decantação para o lodo formado, além de um sistema para recirculação do lodo, para evitar o acúmulo e conseqüente poluição do efluente (DA COSTA; DA SILVA; MARTINS, 2009).

Otimização Do Processo De Tratamento De Efluentes De Uma Indústria De Alimentos Para
Melhoria Da Eficiência E Produtividade

Sistemas de tratamento anaeróbio: o grande sucesso dos reatores biológicos anaeróbios veio com a introdução de reatores de alta taxa, que conseguem tratar de forma contínua e eficiente uma grande quantidade de efluentes. Neste tipo de reatores são encontradas biomassas formadas por microrganismos anaeróbios obrigatórios ou facultativos, presentes no lodo em que será percorrido pelo efluente; este lodo, por sua vez, fica disposto diferentemente de acordo com o reator escolhido. Um exemplo de reator muito utilizado é o reator de fluxo ascendente de alta eficiência, UASB, também conhecido no Brasil como RALF, em que o efluente percorrerá o lodo anaeróbio de baixo para cima e durante o caminho a matéria orgânica será oxidada (SYLVESTRE, 2013).

2.2.4 Nível Terciário de Tratamento

O tratamento terciário não é tão comumente implantado normalmente, pois vem como um tratamento extra para quando os efluentes apresentam toxicidade elevada por presença de alguma substância específica, ou ainda como polimento final para o despejo ou reuso. Para esses casos é implementado mais um nível de tratamento para o efluente, que objetiva a remoção dos poluentes específicos, usualmente tóxicos ou compostos não biodegradáveis, ou ainda um tratamento complementar, caso o efluente, após o tratamento secundário, ainda não se enquadrar nas especificações desejadas (DOS SANTOS, et al., 2011).

A partir desta etapa, obtém-se água de qualidade superior, com uma elevada remoção de matéria orgânica, bactérias patogênicas e nutrientes, tais como nitrogênio, fósforo e sódio, que quando em excesso são prejudiciais para a qualidade da água (SILVA FILHO, 2009).

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O trabalho foi realizado com o objetivo de otimizar o processo, melhorar a

Otimização Do Processo De Tratamento De Efluentes De Uma Indústria De Alimentos Para
Melhoria Da Eficiência E Produtividade

eficiência da estação de tratamento de efluente e a proporcionar a redução de gastos com produtos químicos.

Quanto ao método, suas características são principalmente relacionadas às pesquisas quantitativa e qualitativa.

Os parâmetros utilizados para a avaliação da eficiência da ETE foram os físico-químicos, normatizados pela Resolução CONAMA nº. 430/2011, tais como DBO, DQO, pH, temperatura, sólidos, entre outros.

3.1 METODOLOGIA 5W2H

Para cada causa raiz, foi proposta como solução um plano de ação definido pelo método 5W2H. Neste plano de ação, cada causa raiz foi destacada com uma ação própria, com definição de um responsável, sua forma de execução, local e prazo (FM2S, 2017). Para isso foram respondidas as seguintes questões:

- O que? (What): quais as atividades a serem executadas;
- Quando? (When): prazo para que sejam completadas essas atividades;
- Onde? (Where): local onde serão desenvolvidas essas atividades;
- Quem? (Who): responsável pela realização da atividade;
- Por quê? (Why): razão pela qual deve-se realizar essa atividade;
- Como? (How): método, ou maneira, pela qual será realizada a atividade;
- Quanto? (How much): custo da atividade.

Em uma tabela, em que as colunas são as perguntas anteriormente descritas e as linhas são as etapas do plano de ação, são organizadas as respostas às questões. Versões mais simples podem ser empregadas dependendo da complexidade de cada situação (PORTAL ADMINISTRAÇÃO, 2014).

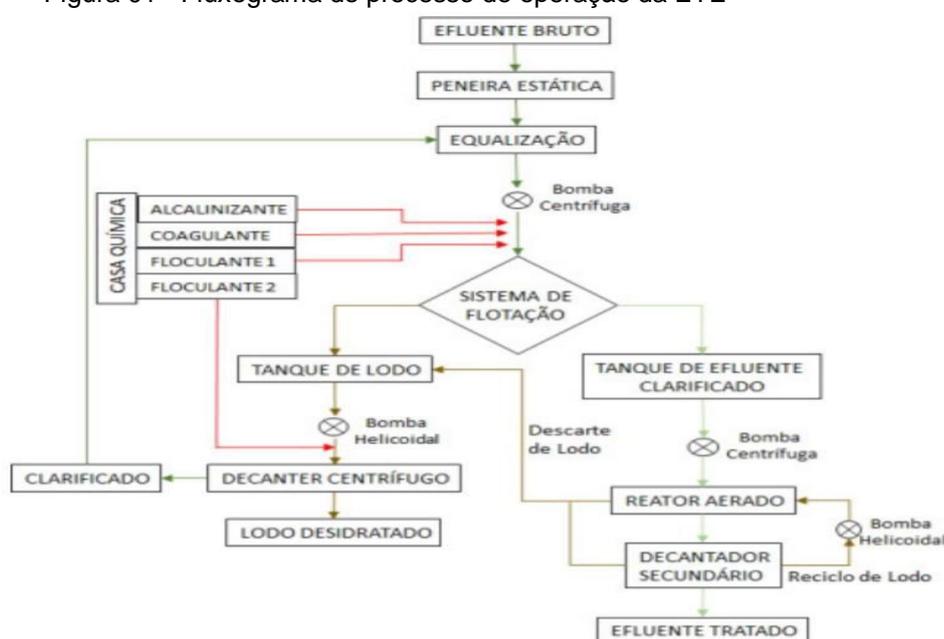
3.2 UNIDADE DE ANÁLISE

Otimização Do Processo De Tratamento De Efluentes De Uma Indústria De Alimentos Para
Melhoria Da Eficiência E Produtividade

A unidade de análise escolhida foi uma indústria alimentícia, localizada no estado de Santa Catarina, onde a empresa necessitava de algumas melhorias em seu processo de tratamento de efluentes, bem como otimização de processo por conta dos produtos químicos utilizados, juntamente com um ajuste da quantidade de reagentes.

Para a estação de tratamento onde se baseia toda a pesquisa, foi desenvolvido um fluxograma do processo de operação, conforme Figura 01.

Figura 01 - Fluxograma do processo de operação da ETE



Fonte: O autor. 2021.

3.3 ANÁLISE DO CASO

Com base nos dados e evidências do caso à luz do referencial teórico, observou-se que a unidade estava com um gasto excessivo em hidróxido de sódio, na qual o mesmo é utilizado para a limpeza dos equipamentos. Seu destino final, após a lavagem, era ir para a cisterna de equalização como efluente, chegando à estação de tratamento com um pH elevado.

Além do uso para a limpeza dos equipamentos, o hidróxido de sódio ainda estava sendo utilizado na estação para elevar o pH do resíduo, um processo estava

Otimização Do Processo De Tratamento De Efluentes De Uma Indústria De Alimentos Para Melhoria Da Eficiência E Produtividade

sendo erroneamente executado. A unidade acabava elevando o pH para que, posteriormente, com a adição do Policloreto de alumínio (PAC), o mesmo baixasse e desempenhasse a etapa de coagulação do tratamento.

Sabe-se que o Policloreto de alumínio (PAC) é eficaz, atuando adequadamente na faixa de pH 4,0 a 10,0. Ou seja, para esta situação, o Policloreto de alumínio (PAC) tem o objetivo de atuar na coagulação, podendo fazer esse papel em uma ampla escala de pH. Desta forma, não é necessário o uso excessivo de hidróxido de sódio na estação, melhorando a eficiência do processo e reduzindo gastos.

Atualmente o efluente entra na estação e o operador faz um reprocesso do mesmo, pois a empresa não possui o equipamento *jar test*, ou seja, não sendo coletada uma amostra inicial e realizado o tratamento do teste.

Para iniciar o processo, é medido o pH com o auxílio de um pHmetro e o tratamento inicia, visto que tudo vai sendo ajustado após o início do tratamento, sendo um pouco demorado fazer os ajustes necessários. Deste modo, todo efluente é devolvido à cisterna e iniciado novamente. Muitas vezes, todas as dosagens são feitas novamente até todos os devidos ajustes serem realizados. Esta questão seria facilmente resolvida pelo equipamento de teste, o qual otimizaria o tempo e minimizaria os gastos com a estação.

Após todos os ajustes serem feitos para que o pH do efluente fosse corrigido, ou seja, de 8,0 até 9,0 e que a coagulação após a adição do Policloreto de alumínio (PAC) também se encontre de acordo com o esperado, é dada a sequência no tratamento conforme a fluxograma do processo de operação da ETE descrito na Figura 01.

3.4 TESTE APLICADO

Foi coletada a amostra da cisterna de equalização para realizar o tratamento teste em laboratório. Para tanto, foram utilizados:

- Amostra de efluente;
- Béquer;
- Policloreto de alumínio (PAC) 1%;

Otimização Do Processo De Tratamento De Efluentes De Uma Indústria De Alimentos Para
 Melhoria Da Eficiência E Produtividade

- Hidróxido de sódio 0,1%;
- *Jar test*;
- Pipeta automática;
- pHmetro.

No equipamento *jar test*, adaptado com béqueres de 1000 ml, foram colocadas três amostras de 1000 ml de efluente, sendo então agitados por 60 segundos para homogeneização em uma rotação de 40 rpm. Logo após foi feita a correção de pH com hidróxido de sódio a 0,1%. O hidróxido de sódio foi adicionado aos poucos ao efluente, cerca de 0,5 mg a cada 60 segundos, possibilitando que as amostras ficassem com pH igual a 8,50. Após a correção de pH no efluente foi calculada a quantidade de Policloreto de alumínio (PAC) que deveria ser adicionada para que o processo de coagulação ocorresse.

Os cálculos realizados consideraram que 1 mg de hidróxido de sódio equivale a 1,25 de alcalinidade e que 1 mg de Policloreto de alumínio (PAC) equivale a 0,35 de alcalinidade.

Para replicar as quantidades utilizadas no tratamento teste para a estação de tratamento, foi utilizado o cálculo conforme apresentado na Equação 01

$$v = \frac{Q \cdot p \cdot t}{d \cdot 1000} \quad \text{Equação 01}$$

Onde

v = volume a ser adicionado durante o tratamento (mL/min)

Q = vazão da estação (m³/h)

p = quantidade de reagente utilizado no teste (mL)

t = tempo que deve ser adicionado o reagente (s)

d = densidade do reagente.

Otimização Do Processo De Tratamento De Efluentes De Uma Indústria De Alimentos Para
 Melhoria Da Eficiência E Produtividade

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1 RESULTADOS 5W2H

Conforme explicado anteriormente, para identificação dos problemas e apresentação possíveis soluções, foi utilizada a ferramenta 5W2H, conforme apresentado na Tabela 01.

Tabela 01 – Plano de ação com a ferramenta 5W2H

PLANO DE AÇÃO COM O MÉTODO 5W2H						
O QUE	POR QUE	ONDE	QUANDO	POR QUE M	COMO	QUANT O
Limpeza e calibração do pHmetro	Resultados mais precisos	Na estação de tratamento de efluente	Imediatamente	Pelo operador	Com o auxílio de água destilada e soluções tampão	-
Correção do uso de hidróxido de sódio	Por contido em excesso	Na estação de tratamento de efluente	Imediatamente	Pelo operador	Quando o hidróxido de sódio for utilizado na limpeza não precisará ser utilizado na estação se o pH estiver de acordo	-
Adquirir um Jar Test/ fazer teste manual	Tratamento teste	Na estação de tratamento de efluente	Imediatamente	Pela empresa	Fazendo uma análise de custos e benefícios	Em média de R\$ 6.500,00 caso seja adquirido um jar teste.

Otimização Do Processo De Tratamento De Efluentes De Uma Indústria De Alimentos Para
 Melhoria Da Eficiência E Produtividade

Fazer tratamento teste	Para definir a quantidade dos reagentes	Na estação de tratamento de efluente	Após adquirir o jar test, ou começar a fazer o teste manual	Pelo analista químico	Replicar as quantidades da análise na escala da ETE	-
------------------------	---	--------------------------------------	---	-----------------------	---	---

Fonte: O autor, 2021.

4.2 ANÁLISE DO CASO

Constatou-se que a unidade de análise tem um gasto excessivo com hidróxido de sódio, pois é utilizado tanto na limpeza dos equipamentos como na estação, juntamente com água em forma de efluente. Deste modo, a cisterna de equalização do efluente apresenta pH elevado, em torno de 8,20 até 9,0. Por este motivo, concluímos que o tratamento pode iniciar sem a adição de mais hidróxido de soda, evitando seu excesso.

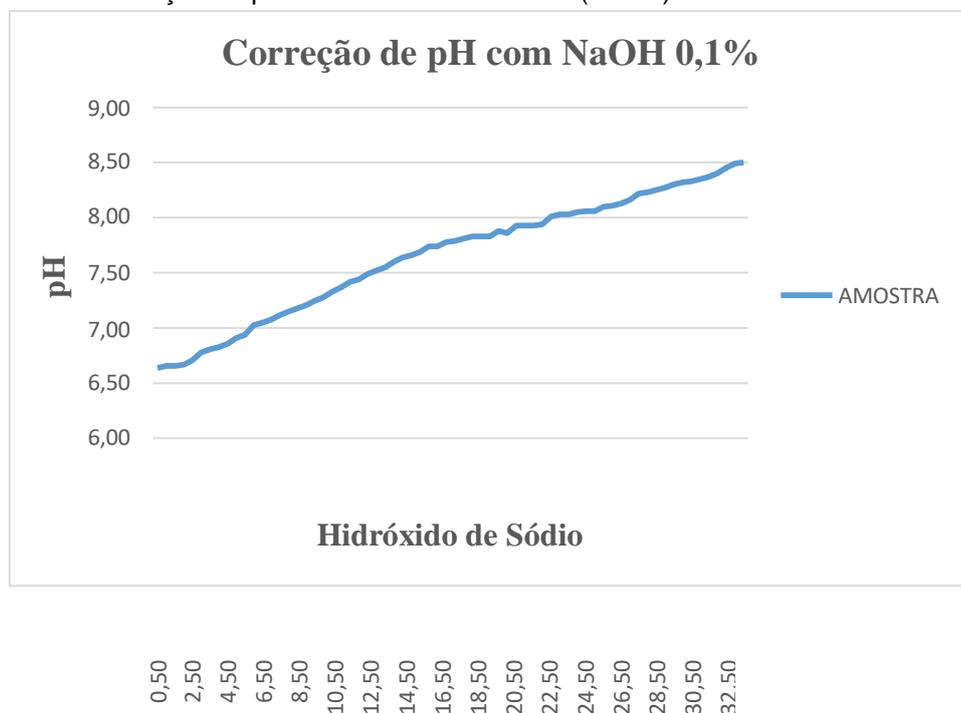
Infelizmente a empresa não possui o equipamento *jar test*; deste modo, o efluente é reprocessado até que a coagulação esteja adequada ao tratamento. Com aquisição do equipamento, o tratamento teste será realizado antes da estação ser ligada, onde já será definido quanto de cada reagente deverá ser utilizado na estação, economizando tempo e recursos.

3.3 TESTE APLICADO

O teste realizado em laboratório foi feito em triplicata para precisão dos resultados. O pH de entrada estava em torno de 6,66; deste modo, foi adicionado 0,5 mg de hidróxido de sódio a cada 60 s, até pH final das amostras igual a 8,50 conforme observado no gráfico da Figura 02.

Otimização Do Processo De Tratamento De Efluentes De Uma Indústria De Alimentos Para
Melhoria Da Eficiência E Produtividade

Figura 02 – Correção de pH com Hidróxido de sódio (NaOH)



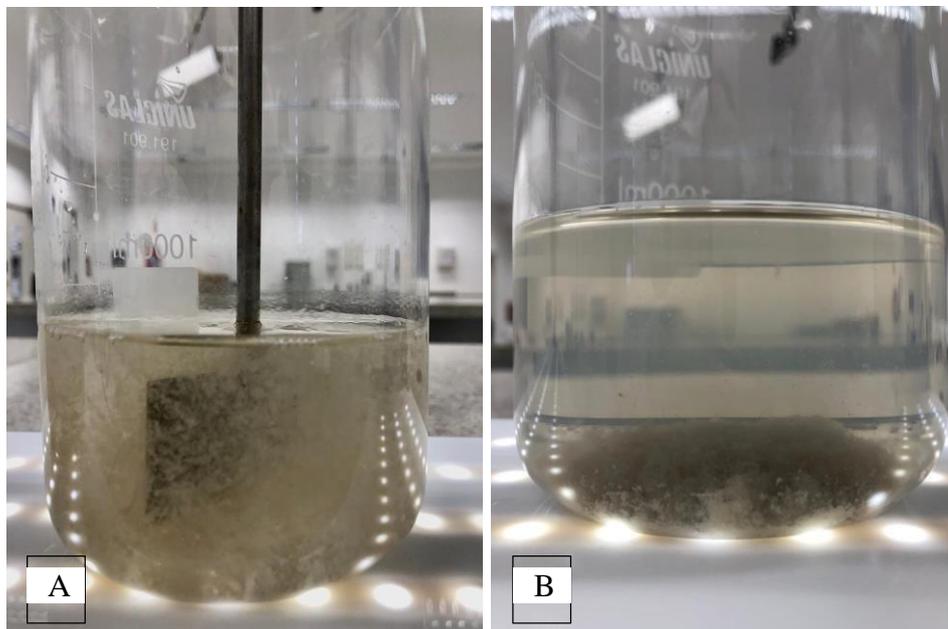
Fonte: O autor, 2021.

Para a correção do pH foram utilizados 34,00 mL de hidróxido de sódio. Com essa informação foi descoberta a alcalinidade. Onde 1 mL de hidróxido de sódio equivale a 1,25 de alcalinidade, ou seja, 34,00 mL equivalem a 42,5 de alcalinidade. Sabendo-se que 1 mL de Policloreto de alumínio (PAC) equivale a 0,35 de alcalinidade, para 42,5 de alcalinidade foram utilizados 121,43 mL de Policloreto de alumínio (PAC) .

A solução de hidróxido de sódio estava a 0,1% e a de Policloreto de alumínio (PAC) estava a 1%, então as 121,43 mL a serem utilizadas foram divididas por 10 para igualar o percentual de solução. Deste modo, em 1000 ml de amostra, após a adição de 34,00 mL de hidróxido de sódio à 0,1% foram adicionados 12,143 mL de Policloreto de alumínio (PAC) à 1% para a devida coagulação, conforme o teste realizado e apresentado na Figura 03.

Otimização Do Processo De Tratamento De Efluentes De Uma Indústria De Alimentos Para
Melhoria Da Eficiência E Produtividade

Figura 03 – Aplicação de Policloreto de alumínio (PAC) para a coagulação, sendo (A) durante a aplicação e (B) após a aplicação



Fonte: O autor, 2021.

Para replicar as quantidades em escala industrial, foi utilizada a Equação 01.

$$v_{\text{hidróxido de sódio}} = \frac{Q * p * t}{d * 1000}$$

$$v_{\text{hidróxido de sódio}} = \frac{3 * 34 * 60}{1,53 * 1000}$$

$$v_{\text{hidróxido de sódio}} = 4 \text{ mL/min}$$

$$v_{\text{Policloreto de alumínio}} = \frac{Q * p * t}{d * 1000}$$

$$v_{\text{Policloreto de alumínio}} = \frac{3 * 121,43 * 60}{1,36 * 1000}$$

1000

Otimização Do Processo De Tratamento De Efluentes De Uma Indústria De Alimentos Para
Melhoria Da Eficiência E Produtividade

$$v_{\text{Policloreto de alumínio}} = 16,07 \text{ mL/min}$$

Todas as análises realizadas pelo órgão fiscalizador constataram que a estação opera dentro dos parâmetros exigidos pela legislação, contudo, se a empresa realizar o tratamento teste antes de ligar a estação, os mesmos terão aumento da eficiência no tratamento, além da otimização do processo de tratamento como um todo, além da redução dos custos de operação.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As organizações devem responsabilizar-se por um novo paradigma ambiental, adotando em seu planejamento a gestão ambiental como um instrumento de diretrizes para cumprir ações que eliminem ou minimizem os impactos ambientais significativos causados por suas atividades.

Ao longo do tempo de realização do estudo, as análises realizadas no efluente constataram que o tratamento feito na estação apresenta todos os seus parâmetros de acordo com o exigido pela legislação do CONAMA.

Para evitar reprocessamento, economizar tempo e evitar gastos excessivos com reagentes químicos, sugere-se que a empresa adquira o equipamento *jar test*, com o qual o operador poderá avaliar o efluente equalizado antes de iniciar o tratamento na estação, ou faça o teste manual com béqueres, economizando tempo e recursos.

Em relação ao uso do hidróxido de sódio a empresa deverá avaliar o pH do efluente que está entrando na estação, pois esta substância é utilizada na limpeza dos equipamentos e segue para a estação misturada com água em forma de efluente; neste caso o pH da cisterna de equalização estará elevado, ou seja, não será necessário mais necessária a dosagem de hidróxido de sódio na estação, poupando recursos e otimizando o processo de tratamento.

6 REFERÊNCIAS

ARAÚJO, R. R.; DIAS, L. S.; BENINI, S. M. **Água: tratamento, efluentes e solos**. Editora ANAP, 1. ed. p. 128. Tupã – SP, 2015.

AYGUN, A.; NAS, B.; BERKTAY, A. **Influence of high organic loading rates on COD removal and sludge production in moving bed biofilm reactor**, Environmental Engineering Science, V.25, p. 1311-1316. 2008.

BEUREN, I. M. (2004). **Como elaborar trabalhos monográficos em contabilidade**. Teoria e prática (2a ed.). São Paulo: Atlas.

BRAGA, B., HESPANHOL, I., CONEJO, J. G. L., MIERZWA, J. C., BARROS, M. T. L., Veras, M., Porto, M., Nucci, N., Nucci, J., Juliano, N., & Eiger, S. (2005). **Introdução à Engenharia Ambiental** (2a ed.). São Paulo: Prentice Hall.

BRASIL. Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998. **Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências**. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9605.htm>. Acesso em: 01 set. 2021.

BRASIL. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. **Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, como também estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências**. Publicada no DOU nº 053, de 18/03/2005, p. 58-63. Disponível em: < <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>>. Acesso em: 01 set. 2021.

BRASIL. Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. **Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-COONAMA**. Publicada no DOU nº 92, de 16/05/2011, p. 89. Disponível em: < <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>>. Acesso em: 01 set. 2021.

Otimização Do Processo De Tratamento De Efluentes De Uma Indústria De Alimentos Para
Melhoria Da Eficiência E Produtividade

CARVALHO, K. Q.; et al. **Tratamento de efluentes**. Caderno para o Sistema Escola Técnica Aberta do Brasil – e-Tec. 1. ed. Curitiba: Ed. UTFPR, 2011.

CAVALCANTI, C.; et al. **DESENVOLVIMENTO E NATUREZA: Estudos para uma sociedade sustentável**. INPSO/FUNDAJ. Instituto de Pesquisas Sociais, Fundação Joaquim Nabuco, Ministério da Educação, Governo Federal, Recife, Brasil. Outubro 1994. p. 262.

CONAMA. **Conselho Nacional do Meio Ambiente**. Ministério do Meio Ambiente, Departamento de Apoio ao Conselho Nacional do Meio Ambiente – DCONAMA. Brasília – DF. Disponível em: < <http://www2.mma.gov.br/port/conama/>>. Acesso em: 29 ago. 2021.

CQR – Conselho Regional de Química. **Operação de Estação de Tratamento de Efluentes Líquidos Processo físico-químico**. Ribeirão Preto, SP, 2013. Disponível em:

<https://www.crq4.org.br/sms/files/file/2013_09_28_Apostila_ETE_Ribeirão_Preto_site.pdf>. Acesso em: 01 set. 2021.

DA COSTA, A. P. J.; DA SILVA, A. L.; MARTINS, R. S. **Um estudo sobre estações de tratamento de efluentes industriais e sanitários da empresa Dori Alimentos LTDA**. REGRAD – Revista de Graduação UNIVEM, v. 1, ano 2, p. 6-22. Marília – SP, 2009.

DAVIGNON, A., PIERRE, C. V., Kligerman, D. C., Silva, H. V. O., Barata, M. M. L., & Malheiros, T. M. M. (2002). **Manual de auditoria ambiental de estações de tratamento de esgotos**. Rio de Janeiro: Qualitymar

DOS SANTOS, D. V.; et al. **Engenharia do Meio Ambiente Tratamento Terciário de Esgoto**. Faculdade de Ciências Exatas e Tecnológicas – FACET, graduação em Engenharia de Petróleo. Itaperuna, nov. 2011.

FARRUGIA, B. (2013). Conheça como funciona uma estação de tratamento de efluentes. **Revista TAE**, 2(12).

FM2S. **5W2H**: o que é e como utilizá-lo para elaborar seus planos de ação?

Otimização Do Processo De Tratamento De Efluentes De Uma Indústria De Alimentos Para
Melhoria Da Eficiência E Produtividade

2017. Disponível em: . Acesso em 29 de outubro de 2021.

GIORDANO, G. **TRATAMENTO E CONTROLE DE EFLUENTES INDUSTRIAIS.**

Revista ABES, v. 4. ed. 76. 2004.

GUIMARÃES, J. R., & Nour, E. A. A. (2001). Tratando nossos esgotos: processos que imitam a natureza. **Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola**, 1(1), 19-30.

JORDÃO, E. P., & Pessoa, C. C. (2005). **Tratamento de esgotos domésticos** (4a ed.). Rio de Janeiro: SEGRAC.

MAZZER, C., & Cavalcanti, O. A. (2004). Introdução à gestão ambiental de resíduos. **Infarma**, 16(11-12), 67- 77.

METCALF, L., & Eddy, H. P. (2003). **Wastewater engineering: Treatment, disposal, reuse** (4a ed.). New Delhi: McGraw-Hill.

MOTA, S. (2003). **Introdução a engenharia ambiental.** Rio de Janeiro: ABES.

PEREIRA, R. S. **Poluição hídrica: causas e consequências.** Instituto de Pesquisas Hidráulicas – UFRGS. 2003. Disponível em: <<https://www.docsity.com/pt/poluicao-hidrica-causas-e-consequencias/4735875/>> . Acesso em: 29 ago. 2021.

PORTAL ADMINISTRAÇÃO. 5W2H: Como utilizar e suas vantagens.

Administração. 2014. Disponível em: < <https://www.portal-administracao.com/2014/12/5w2h-o-que-e-e-como-utilizar.html> >. Acesso em 29 de outubro de 2021.

Richter, C. A., & Netto, J. M. A. (2007). **Tratamento de água: tecnologia atualizada.** São Paulo: Edgard Blücher.

RICHTER, C. A.; NETTO, J. M. A. **Tratamento de água: tecnologia atualizada.** São Paulo: Edgard Blücher. 1991. 332 p.

Sant'Anna Jr., G. L. (2010). **Tratamento biológico de efluentes: fundamentos e aplicações.** Rio de Janeiro: Interciência

Otimização Do Processo De Tratamento De Efluentes De Uma Indústria De Alimentos Para
Melhoria Da Eficiência E Produtividade

SCOTT, W. C.; et al. **Spatial and temporal influence of onsite wastewater treatment systems, centralized effluent discharge, and tides on aquatic hazards of nutrients, indicator bacteria, and pharmaceuticals in a coastal bayou.**

Science of the Total Environment 650. p. 354-364. Texas – EUA, 2018.

SILVA FILHO, A. **Tratamento terciário de efluentes de uma indústria de refrigerantes visando ao reuso – Um estudo de caso.** Dissertação de mestrado, Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos, UFRJ. Rio de Janeiro - RJ, 2009.

SPERLING, M. V. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** 3. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental.p. 169-215. UFMG, 2005.

SYLVESTRE, S. H. Z. **Desempenho de sistemas de reatores anaeróbios e aeróbios na remoção de coliformes e ovos de helmintos de águas residuárias de suinocultura.** Dissertação de mestrado, Microbiologia Agropecuária, UNESP/Jaboticabal – SP, 2013.

TUCCI, C. E. M. (2013). **Hidrologia: ciência e aplicação** (4a ed.). Porto Alegre: UFRGS

VON SPERLING, M. (2005). **Princípios do Tratamento biológico de águas residuárias. Vol.1. Introdução à qualidade de águas e o tratamento de esgotos** (3ª ed.) Belo Horizonte. UFMG

TINGIMENTO DE POLIÉSTER SEM PURGA, GRANDE DIFICULDADE PELA DIVERSIDADE DE ÓLEO

POLYESTER DYEING WITHOUT BLEEDING, GREAT DIFFICULTY DUE TO THE DIVERSITY OF OIL

Sandy Carolaine Vanelli¹
Francisco Odisi²

RESUMO: O processo de purga é uma etapa necessária na fase do pré-tingimento. Consiste na remoção das impurezas impregnadas na malha. Entre as impurezas encontram-se óleos de ensimagem e parafinas que não são removidos pelo simples processo de lavagem. A utilização de emulgadores diminui a tensão superficial entre o óleo e a água facilitando a mistura e consequentemente a remoção dos mesmos sem purga gerando economia de tempo e água. Os tecidos de poliéster são fabricados a partir de fios sintéticos para diferentes finalidades de utilização. As composições dos óleos para os processos de fabricação também são diferentes necessitando emulgadores diferentes para a sua remoção e garantir a qualidade de acabamento do tecido. Os testes para medir a eficiência de remoção de óleos de um emulgador são realizados no laboratório da empresa de tingimento, em Brusque, auxiliados pelo técnico da empresa de desenvolvimento de emulgadores da cidade de Pomerode. Para os testes da extração dos óleos foi utilizado o aparelho Oil Extractor. A eficiência do emulgador é medida pela razão da quantidade de óleo removida e a quantidade da amostra em branco. O meio, ácido, neutro ou alcalino deve ser observado, pois interfere diretamente na eficiência de um emulgador.

Palavras-chave: Tingimento. Poliéster. Emulgador.

ABSTRACT: *The purging process is a necessary step in the pre-dyeing stage. It consists in the removal of impurities impregnated in the mesh. Among the*

¹ Acadêmica do curso de Engenharia Química da UNIFE. *E-mail:* sandy.vanelli@hotmail.com

² Professor orientador Francisco Odisi. *E-mail:* francisco@unifebe.edu.br

Tingimento De Poliéster Sem Purga, Grande Dificuldade Pela Diversidade De Óleo

impurities are sizing oils and paraffins, that are difficult to remove by a simple washing process. The use of emulators reduces the surface tension between oil and water, facilitating their mixing and, consequently, their removal without purging, saving time and water. Polyester fabrics are made from synthetic yarns for different purposes. The compositions of oils for the manufacturing processes are also different, requiring different emulgents to remove them and ensure the quality of the fabric's finish. The tests to measure the efficiency of removing oil from an emulator were carried out in the dyeing company's laboratory in Brusque, assisted by a technician from the emulator development company in the city of Pomerode. For the oil extraction tests, we used an oil Extractor device. The efficiency of the emulator is measured by the ratio of the amount of oil removed and the amount of blank sample. The medium, acid, neutral or alkaline must be observed, as it directly interferes with the efficiency of an emulator.

Keywords: *Dyeing. Polyester. Emulator.*

1 INTRODUÇÃO

Com a globalização do mercado muitas empresas procuram se modernizar objetivando tornarem-se mais competitivas. A indústria tem se preocupado muito com o desenvolvimento de tecnologias de otimização de processos que visam a redução de desperdícios. Esse trabalho visa tirar a purga e entrar em um tingimento direto e dentro do banho do tingimento emulsionar o óleo para que não interfira no corante, manter emulsionado quando elevado a uma temperatura a 135°C sob pressão.

O uso de fibras sintéticas está cada vez mais presente em artigos de vestuário, cama e mesa. Nos últimos anos, o consumo do tecido de poliéster tem aumentado no país e no mundo, por apresentar características únicas como: facilidade para secar, ter uma elevada resistência a não amassar, apresentar um baixo custo benefício e ser facilmente misturada com outros tipos de insumos fibrosos.

Durante o processo de fabricação ocorre a adição de um óleo lubrificante, conhecido como ensimagem às fibras de poliéster, com o intuito de

Tingimento De Poliéster Sem Purga, Grande Dificuldade Pela Diversidade De Óleo

reduzir o atrito com os equipamentos. A adição se dá antes da frisagem, para que haja maior contato da fibra com o algodão. A porcentagem de óleo que permanece na fibra é controlada pelo fabricante, pois em excesso pode comprometer a qualidade da fibra para o cliente.

Para uma boa produtividade final e a malha não sair com manchas de óleo, é realizada uma preparação chamada purga. Ela consiste em fazer uma limpeza na malha, além de oferecer ao substrato hidrofiliidade suficiente para que este possa ser processado no beneficiamento. Tanto fibras naturais, como sintéticas, são submetidas a este processo, que é constituído normalmente de aplicação de um detergente e de um emulgador em meio alcalino.

Assim, torna-se imprescindível testar a eficiência de cada emulgador desenvolvido que levado à escala industrial produza os resultados desejados visando economia com maior qualidade de acabamento de cada tipo de tecido sintético de poliéster.

O presente trabalho apresentará, num primeiro momento, uma contextualização sobre o assunto, em seguida, serão apresentados os procedimentos metodológicos do laboratório para a escala industrial, as análises dos resultados e por fim, conclusão a respeito dos resultados obtidos.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 FIBRAS TÊXTEIS

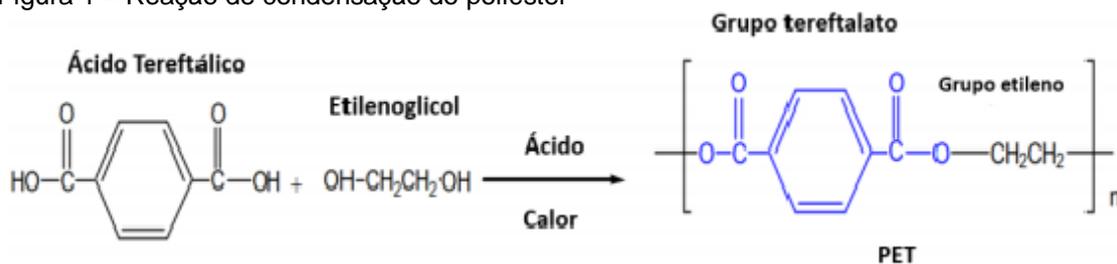
Segundo Kuasne (2008) “As fibras têxteis são elementos filiformes caracterizados pela flexibilidade, finura e grande comprimento em relação à dimensão transversal máxima sendo aptas para aplicações têxteis”. As principais fibras utilizadas para a confecção dos tecidos na região do Vale de Itajaí são: fibras de algodão, viscose, fibras sintéticas como o poliéster, a poliamida, entre outras.

Cada uma delas requer processos de industrialização e produção de tecidos de acordo com suas propriedades físicas e químicas.

2.2 Poliéster

“Essa fibra é constituída por uma macromolécula caracterizada por diversas funções multiésteres. A sua produção é fundamentada na reação da síntese de um ácido dicarboxílico com um glicol, em que, normalmente, utiliza-se ácido tereftálico (TPA) e etileno glicol ” (ARAÚJO, 2009), conforme Figura 1.

Figura 1 – Reação de condensação do poliéster



Fonte: Adaptado de Cardoso (2009).

A produção dessa fibra tem aumentado com o passar dos anos. Por possuir uma característica de hidrofobicidade na natureza das fibras, para o tingimento é utilizado corantes dispersos. Esses corantes possuem baixo peso molecular e baixa solubilidade em água.

A matéria-prima principal do processo de produção de fibras sintéticas é o petróleo e, a partir da sua sinterização química, produz polímeros.

O processo de fiação do polímero se dá em quatro etapas: (a) pelo escoamento do polímero através de um capilar; (b) pelo relaxamento das tensões internas da fibra; (c) pelo alongamento do material extrudado; e (d) solidificação dos fios. As duas primeiras etapas dependem da temperatura, pressão e viscosidade do polímero. A terceira etapa determina a orientação molecular e a quarta compreende o resfriamento dos fios.

Após tomar forma de fios, estes passam para estiragem, é um processo onde os filamentos são submetidos a uma tensão constante, formado por rolos aquecidos com velocidades diferentes, onde os fios tem seu diâmetro diminuído e são alongados em até três vezes, resultando no aumento da resistência mecânica.

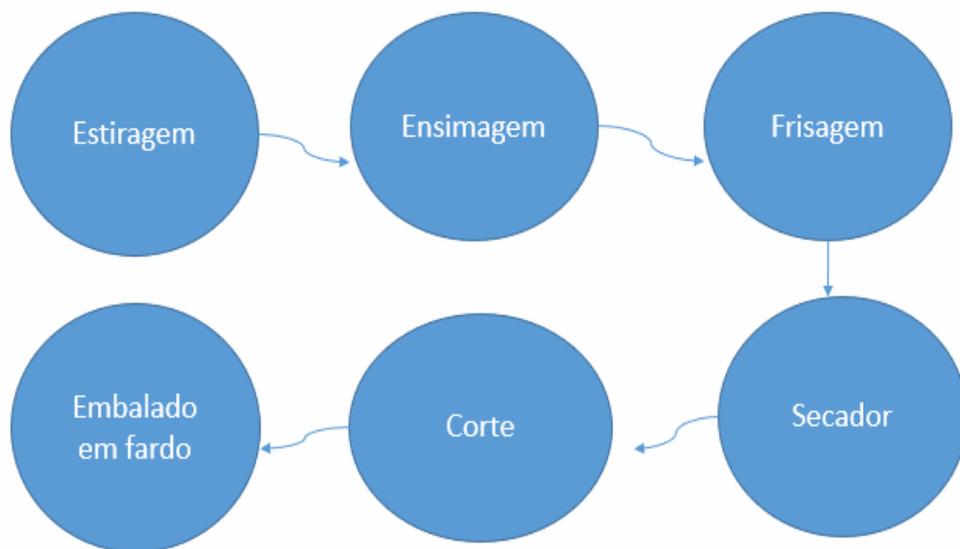
Após o fio passa pelo processo de ensimagem, onde é adicionado o óleo lubrificante com o intuito de diminuir o atrito com o equipamento. É esse óleo que

Tingimento De Poliéster Sem Purga, Grande Dificuldade Pela Diversidade De Óleo

muitas vezes é um interferente na fase do tingimento, causando os chamados reprocesso que é indesejável para a empresa.

Assim que o fio é formado, as fibras passam pelo processo de frisagem para que ela fique com ondulações, facilite a processabilidade e formação de fios na tecelagem. Posteriormente ela segue para o secador para a retirada de água do processo produtivo, é cortada de acordo com o tamanho exigido pelo cliente e embalada em fardos. (mostrados nos fluxogramas da Figura 2 e 3)

Figura 2 – processo de produção da fibra de poliéster



Fonte: A autora (2021).

Figura 3 - Após os fios serem formados



Fonte: A autora (2021)

2.3 PROPRIEDADES DAS FIBRAS DE POLIÉSTER

A fibra de poliéster possui uma alta resistência a tensão, ao calor, alto ponto de fusão, boa resistência ao amassar, uma boa estabilidade a luz, e uma boa resistência a ácidos e bactérias.

O poliéster possui uma grande dificuldade ao tingimento, devido esse polímero possuir uma estrutura cristalina e de alta orientação, sendo necessária uma grande quantidade de energia para tingi-lo. Além disso, possui reduzido poder de absorver umidade.

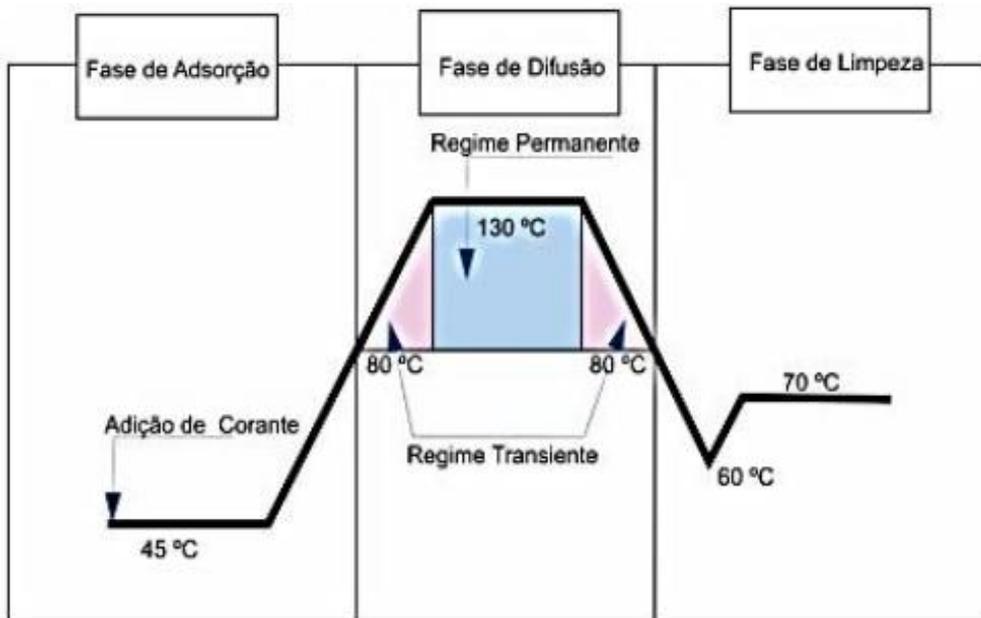
2.4 TINGIMENTO

Salem, (2010) diz que o tingimento é um processo de aplicação de corantes em fibras têxteis visando alterar a sua cor de origem. As aplicações de corantes, também pode ser efetuado com pigmentos através do auxílio de ligantes. Dessa forma, podemos dizer que o tingimento é uma modificação física ou química da fibra têxtil, de modo que o olho humano ao ser sensibilizado pela reflexão da luz tem a percepção de cor.

O tingimento nada mais é o processo de aplicação de corante aos substratos têxteis, visando alterar sua cor de origem. O tingimento de poliéster é realizado, geralmente, sob pressão e temperatura de 135°C e com corantes dispersos. Ocorre em três fases sucessivas: adsorção, difusão e limpeza (Figura 4).

Tingimento De Poliéster Sem Purga, Grande Dificuldade Pela Diversidade De Óleo

Figura 4 – Mecanismos do tingimento de poliéster



Fonte: Andrade (2018).

Na fase de adsorção, as moléculas dos corantes se dissolvem. Com o aquecimento do banho a energia térmica aumenta entrando no início do campo de adsorção. Com o banho em altas temperaturas, há uma transferência de massa de moléculas do corante da fase aquosa externa para a superfície e interior da fibra. Em seguida, ocorre a distribuição do corante dentro da fibra até que atinja o equilíbrio da saturação chamado de fase da difusão.

Conforme apresentado por Salem (2010):

Após o tingimento com corante disperso normalmente, o corante fica depositado sobre a superfície da fibra por não ter sido totalmente difundido no seu interior. Por isso, é importante fazer uma lavagem reductiva após o tingimento do tecido, com a finalidade de eliminar o corante superficial, o qual pode influenciar na redução da solidez do tingimento. A cinética do tingimento é definida pela velocidade de deslocamento do corante para a superfície da fibra, bem como a velocidade de adsorção e difusão para o interior da fibra. Nessa etapa também pode-se compreender a influência de certas variáveis do tingimento sobre essas velocidades, tais como: concentração de corante e eletrólitos pH, temperatura e relação de banho.

2.5 ENSIMAGEM

Nas etapas de produção da fibra de poliéster é adicionado um óleo lubrificante, com o intuito de diminuir o atrito com o equipamento. Esse processo

Tingimento De Poliéster Sem Purga, Grande Dificuldade Pela Diversidade De Óleo

é conhecido como ensimagem, o qual garante a energia estática e melhora algumas características da fibra de poliéster.

Existem diversos tipos de óleos no mercado, de diferentes fornecedores e com diferentes características. Um tipo de óleo adicionado às fibras de poliéster é baseado em éster poli-glicólico de ácido graxo com aditivos especiais, tendo a função de neutralizar as cargas estáticas, diminuir o coeficiente de atrito e aumentar a coesão fibra a fibra.

“Outro óleo que pode ser adicionado é aquele com propriedades de lubrificar os fios sintéticos, evitando o aquecimento por atrito, evitando assim o rompimento do fio e a parada do processo para reparo” (STEINKE, 2004).

Para cada tipo de fibra, existe um óleo específico a ser aplicado. A ensimagem, além de melhorar a característica da fibra não deve agredi-la, tem que permanecer na superfície, não pode ser volátil, tem que preservar o toque e outras propriedades das fibras.

2.6 PURGA

O processo de purga, também conhecido como cozimento, é um processo de preparação da malha que visa eliminar as gorduras, ceras, resinas e demais impurezas naturais do algodão ou fibras naturais.

No caso de fibras sintéticas, a purga tem como objetivo eliminar as parafinas e óleos de ensimagem, adicionados a esta durante o processo de fiação e tecelagem. O principal objetivo da purga é oferecer ao substrato hidrofiliabilidade suficiente para que este possa ser processado no beneficiamento.

A purga, normalmente é constituída de aplicação de um detergente e de um emulgador em meio alcalino.

2.7 EMULGADOR

O emulgador tem a propriedade de promover misturas entre substâncias apolares que, quando misturados, permanecem em fases separadas. Como é o

Tingimento De Poliéster Sem Purga, Grande Dificuldade Pela Diversidade De Óleo

caso do óleo misturado com a água. O óleo e o emulgador possuem um HLB (Hydrophile- Lipophile Balance) ou EHL (Equilíbrio Hidrófilo-Lipofílico). Se o HLB do emulgador for próximo ao do óleo é mais fácil sua remoção. Porém, como não conhecemos o HLB do óleo e sim do emulgador pela fórmula dele existe um cálculo para fazer o balanço químico. Exemplo, se o emulgador tem um HLB igual a 14 e o óleo tiver um HLB igual a 5 não será possível a dissolução, pois em química semelhante dissolve semelhante. Então o óleo deveria também estar perto de 14.

Analisando o estágio indicado na Figura 5, a água e o óleo apresentam-se separados; já no segundo estágio, é possível verificar que o agente emulsionante (o emulgador) proporcionou que a água e o óleo se misturaram e, no terceiro estágio, é demonstrada a mistura aquecida à temperatura de 80°C .

Figura 5 – Estágios do emulsionante, da água e do óleo



Fonte: A autora (2021).

O emulgador é uma substância que pode reduzir a tensão superficial dos líquidos, pois é um agente tensoativo o qual se localiza na interface de dois líquidos, impedindo que as gotículas se juntem novamente.

Foi realizado um teste com 1g/l de óleo, 1,5g/l de emulgador A e 200ml de água a 135°C a 20min. Após aquecida, a mistura foi deixada resfriar por uma hora e meia. Pode-se observar na Figura 6 que a emulsão ficou estável, pois não houve separação de fases nas misturas. Isso quer dizer que, provavelmente o HLB do emulsionante era muito próximo ao HLB do óleo.

Figura 6 – Emulsão estável



Fonte: A autora (2021).

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Como não se conhece a origem da malha, empresa de terceiro, com diferentes tipos de óleo de tecelagem e do próprio fio. Para o elastano, por exemplo, são três tipos diferentes de óleo utilizados. Por isso, sempre que a malha chega na tinturaria é feito um processo chamado purga, para tentar remover a maior quantidade possível de óleo.

O óleo é um interferente na fase do tingimento. Se o óleo não for removido causa manchas no tecido pós tingimento, degrada o elastano, precipita o corante, tendo o chamado reprocesso, que é indesejável para a empresa.

É feito a purga para diminuir esse percentual de problemas. Mas com o passar do tempo também aumenta o tempo de tingimento, aumenta o custo, consome mais água, consome mais vapor, ou seja, toda empresa deseja eliminar esse processo.

Quando não se conhece o óleo é usado um emulgador na tentativa e erro. Se na emulsão separa dentro do tingimento o corante acaba indo para o meio oleoso e dentro do meio oleoso ele não dispersa, acaba ficando em cima da malha de poliéster em placas.

Neste trabalho foi testado emulgadores que mantém este óleo

Tingimento De Poliéster Sem Purga, Grande Dificuldade Pela Diversidade De Óleo

emulsionado, podendo extinguir o processo de preparação chamado purga. São utilizados vários emulgadores para testes, pela simples razão de não se conhecer o óleo do fio e aquele utilizado pela tecelagem para a confecção do tecido. É preciso testar o HLB do emulgador e escolher aquele mais próximo do HLB do óleo.

Uma purga demora em torno de 40 a 50 minutos, mais a queima do cavaco para aquecer a água, mais os produtos de tingimento utilizados. Em uma purga é gasto 10 litros para cada quilo de material, ou seja, cada 100 quilos de malhas são gastos 1000 litros de água.

No laboratório da empresa de tingimento que se inicia este trabalho para diminuir custos, aumentar a produtividade, reduzir o tempo do processo com menor consumo de água, melhorar a qualidade e fazer mais ciclos por máquina.

Para atingir os objetivos propostos e testar hipóteses experimentais formuladas, realizaram-se experimentos utilizando a extração de óleo oil extractor. Este aparelho realiza cada teste, levando em torno de cinco minutos. Existem outros aparelhos para a extração de óleo da malha, que demoram muito mais tempo.

3.1 EXTRAÇÃO DE ÓLEO OIL EXTRACTOR

3.1.1 Equipamento

- a) Balança analítica;
- b) Oil extractor

3.1.2 Reagente

O reagente utilizado foi o éter de petróleo.

3.1.3 Material

Materiais utilizados:

- a) Amostra do tecido a ser analisado de aproximadamente 2,0 g;
- b) Pinça;

Tingimento De Poliéster Sem Purga, Grande Dificuldade Pela Diversidade De Óleo

c) Esquema de montagem do extrator (Figura 7).

Figura 7 – Extrator de óleo



Fonte: A autora (2021).

3.1.4 Execução de ensaio

Primeiramente foi aquecido o dispositivo para a temperatura próxima ao ponto de ebulição do solvente a ser utilizado para a extração. Para Éter de Petróleo entre 85 e 90°C. Foram então pesados o recipiente de coleta (PI) e a amostra a ser analisada (PM). A amostra foi introduzida na extremidade inferior do tubo de extração. Foram adicionados 5mL do solvente, alocado o êmbolo e comprimido a amostra cinco vezes conforme mostrado na Figura 8. O líquido extraído foi direcionado para o recipiente de coleta. E por fim, foi pesado o recipiente de coleta (PF). Esse procedimento foi realizado em triplicata.

Os testes realizados, nos respectivos tecidos, são apresentados nos anexos. Os emulgadores variam a sua eficiência de acordo com a variação da composição do tecido e a variação do pH, principalmente. Um emulgador após

Tingimento De Poliéster Sem Purga, Grande Dificuldade Pela Diversidade De Óleo

o seu desenvolvimento deve ser testado e avaliado para a sua correta aplicação nos tecidos. Deve também apresentar melhor eficiência na remoção do óleo com o objetivo de dispensar a preparação para o tingimento.

Figura 8 – Alocado o embolo e comprimido a amostra



Fonte: A autora (2021).

3.1.5 Cálculo realizado

O cálculo da porcentagem da quantidade de óleo presente na amostra foi realizado mediante a Equação 1.

$$\% \text{ de óleo} = \frac{(PF - PI)}{PM} \times 100 \quad \text{Equação (1)}$$

Onde:

PF = peso final do recipiente

PI = peso inicial do recipiente

PM = peso inicial da amostra analisada

3.1.6 Tabela

Em seguida, serão apresentadas as receitas utilizadas para execução dos ensaios experimentais, a fim de verificar o emulgador mais eficiente nos respectivo pH do meio. Para saber qual emulgador é mais eficiente foi feito uma purga em meio neutro, ácido e alcalino. Para formar o meio ácido foi utilizado o ácido acético. Para o meio alcalino a soda cáustica. As concentrações encontram-se especificadas nas receitas da Tabela 1. A temperatura e o pH das soluções devem ser conhecidas. Pois, a eficiência de um emulgador e do processo de tingimento apresentam melhores resultados quando são aplicados em meios mais favoráveis. Estes cuidados devem ser ainda maiores para poliéster.

Tabela 1 – Receita utilizada para fazer os ensaios experimentais

PRODUTOS	UND	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
EMULGADOR A	g/L	1,5	1,5	1,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
EMULGADOR B	g/L	-	-	-	1,5	1,5	1,5	-	-	-	-	-	-
EMULGADOR C	g/L	-	-	-	-	-	-	1,5	1,5	1,5	-	-	-
EMULGADOR D	g/L	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,5	1,5	1,5
SODA CÁUSTICA	g/L	-	0,5	-	-	0,5	-	-	0,5	-	-	0,5	-
ÁCIDO ACÉTICO	g/L	-	-	0,5	-	-	0,5	-	-	0,5	-	-	0,5
PRODUTOS	UND	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
EMULGADOR E	g/L	1,5	1,5	1,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
EMULGADOR F	g/L	-	-	-	1,5	1,5	1,5	-	-	-	-	-	-
EMULGADOR G	g/L	-	-	-	-	-	-	1,5	1,5	1,5	-	-	-
EMULGADOR H	g/L	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,5	1,5	1,5
SODA CÁUSTICA	g/L	-	0,5	-	-	0,5	-	-	0,5	-	-	0,5	-
ÁCIDO ACÉTICO	g/L	-	-	0,5	-	-	0,5	-	-	0,5	-	-	0,5

Fonte: A autora (2021).

Conforme mostrado na Tabela 1, todos os testes foram realizados com a relação de banho 1:10. Essa relação indica a quantidade de banho que o equipamento necessita para cada quilo de material têxtil. O peso da malha foi de 5g, logo, a quantidade de água utilizada foi 50 ml a 80°C em um tempo de 10 minutos.

Para fazer os testes, e saber qual emulgador é mais eficiente foi preciso fazer uma purga utilizando 1,5 g/L de emulgador e 0,5 g/L de soda cáustica ou ácido acético, conforme mostrado na Tabela 1. Sabendo qual é o emulgador

Tingimento De Poliéster Sem Purga, Grande Dificuldade Pela Diversidade De Óleo

mais eficiente é possível fazer um procedimento semelhante na escala industrial utilizando esse emulgador no tingimento direto, sem fazer a preparação.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Em parceria com a empresa da cidade de Pomerode, foram realizados testes com os emulgadores, para avaliar a sua eficiência na remoção do óleo em cada tipo de artigo seguindo as receitas, conforme descrito na Tabela 1. Os artigos analisados foram: Crepe 150/144 com 96% poliéster e 4% elastano; Helanca com 100% poliéster; Malha Canelada 150/144 com 96% poliéster, 4% elastano; e Suplex fio 200/96.

Nos testes, também foram analisados os meios de melhor eficiência entre meio ácido, alcalino e neutro. A porcentagem de óleo que possui a malha, de procedimento da tecelagem foi avaliada por meio de um aparelho chamado Oil Extractor construído especificamente para estes tipos de separações (Figura 7).

A quantidade de remoção de óleo na amostra pelo emulgador expresso em porcentagem, encontra-se calculado pela Equação 2.

$$\% \text{ de remoção} = \frac{(\%Pb - \%amostra)}{\%Pb} \times 100 \quad \text{Equação (2)}$$

Onde: %Pb = percentual de óleo da prova em branco

% amostra = % do óleo

A prova em branco é constituída pela extração de óleo realizado no Oil Extractor da malha crua, proveniente da tecelagem. Assim que a malha chega na empresa é submetida a esse teste, realizado em triplicata, feito a média obtendo-se assim a prova em branco.

Para obter a % do óleo, primeiramente é feito um purga na malha apresentado na Tabela 1, e em seguida feito a extração de óleo novamente no Oil Extrator e por fim realizado o cálculo da Equação 2.

Nas Tabelas 2 à 5 são apresentados os emulgadores cujos testes apresentaram os melhores resultados sobre os respectivos tecidos e meios.

Tabela 2 – Crepe 150/144 com 96% poliéster e 4% elastano

Tingimento De Poliéster Sem Purga, Grande Dificuldade Pela Diversidade De Óleo

EMULGADORES	MEIO	% DE ÓLEO	% DE REMOÇÃO
	NEUTRO	0,65	75,74
EMULGADOR A	ALCALINO	2,14	20,15
	ÁCIDO	0,2	92,54
	NEUTRO	1,37	48,88
EMULGADOR B	ALCALINO	1,22	54,48
	ÁCIDO	0,45	83,21
	NEUTRO	1,29	51,87
EMULGADOR C	ALCALINO	2,24	16,42
	ÁCIDO	2,1	21,64
	NEUTRO	2,31	13,8
EMULGADOR D	ALCALINO	2,38	11,19
	ÁCIDO	2,31	13,8
	NEUTRO	0,8	70,15
EMULGADOR E	ALCALINO	2,4	10,45
	ÁCIDO	0,96	64,18
	NEUTRO	1,68	37,31
EMULGADOR F	ALCALINO	1,75	34,7
	ÁCIDO	1,2	55,22
	NEUTRO	0,9	66,42
EMULGADOR G	ALCALINO	2,01	25
	ÁCIDO	2	25,37
	NEUTRO	1,93	27,98
EMULGADOR H	ALCALINO	1,99	25,75
	ÁCIDO	2,1	21,64
	PROVA EM BRANCO	2,68	

Fonte: A autora (2021)

Para o crepe o emulgador mais eficiente foi o EMULGADOR A em meio ácido, o qual removeu 92,54% do óleo.

Tabela 3 – Helanca com 100% poliéster

Tingimento De Poliéster Sem Purga, Grande Dificuldade Pela Diversidade De Óleo

EMULGADORES	MEIO	% DE ÓLEO	% DE REMOÇÃO
	NEUTRO	0,05	97,3
EMULGADOR A	ALCALINO	0,15	91,89
	ÁCIDO	0,1	94,59
	NEUTRO	0,2	89,19
EMULGADOR B	ALCALINO	0,36	80,54
	ÁCIDO	0,16	91,35
	NEUTRO	0,36	80,54
EMULGADOR C	ALCALINO	0,45	75,68
	ÁCIDO	0,1	94,58
	NEUTRO	1,18	36,22
EMULGADOR D	ALCALINO	0,72	61,08
	ÁCIDO	0,5	72,97
	NEUTRO	0,05	97,3
EMULGADOR E	ALCALINO	1	45,94
	ÁCIDO	0,15	91,89
	NEUTRO	0,89	51,89
EMULGADOR F	ALCALINO	1,26	31,89
	ÁCIDO	0,1	94,59
	NEUTRO	1,05	43,24
EMULGADOR G	ALCALINO	0,35	81,08
	ÁCIDO	1,05	43,24
	NEUTRO	0,7	62,16
EMULGADOR H	ALCALINO	0,8	56,76
	ÁCIDO	1,2	35,14
	PROVA EM BRANCO	1,85	

Fonte: A autora (2021).

Para a helanca obteve-se o melhor resultado em meio neutro utilizando o mesmo EMULGADOR A, o qual removeu 94,59% do óleo.

Tabela 4 – Malha canelada 150/144 com 96% poliéster e 4% elastano

Tingimento De Poliéster Sem Purga, Grande Dificuldade Pela Diversidade De Óleo

EMULGADORES	MEIO	% DE ÓLEO	% DE REMOÇÃO
	NEUTRO	0,72	52,63
EMULGADOR A	ALCALINO	0,51	66,45
	ÁCIDO	0,82	46,05
	NEUTRO	0,8	47,37
EMULGADOR B	ALCALINO	0,84	44,74
	ÁCIDO	0,77	49,34
	NEUTRO	0,74	51,32
EMULGADOR C	ALCALINO	0,92	39,47
	ÁCIDO	0,95	37,5
	NEUTRO	0,58	61,84
EMULGADOR D	ALCALINO	0,9	40,79
	ÁCIDO	0,98	35,53
	NEUTRO	0,71	53,29
EMULGADOR E	ALCALINO	0,87	42,76
	ÁCIDO	0,67	55,92
	NEUTRO	0,94	38,16
EMULGADOR F	ALCALINO	0,69	54,6
	ÁCIDO	0,1	93,42
	NEUTRO	1,16	23,68
EMULGADOR G	ALCALINO	0,58	61,84
	ÁCIDO	0,8	47,37
	NEUTRO	1,06	30,26
EMULGADOR H	ALCALINO	0,91	40,13
	ÁCIDO	0,92	39,47
	PROVA EM BRANCO	1,52	

Fonte: A autora (2021).

Para esse artigo o EMULGADOR F em meio ácido apresentou uma melhor eficiência, e removeu 93,42 % do óleo.

Tabela 5 – Suplex fio 200/96

Tingimento De Poliéster Sem Purga, Grande Dificuldade Pela Diversidade De Óleo

EMULGADORES	MEIO	% DE ÓLEO	% DE REMOÇÃO
	NEUTRO	1,16	37,63
EMULGADOR A	ALCALINO	0,91	51,08
	ÁCIDO	0,25	86,56
	NEUTRO	1,06	43,01
EMULGADOR B	ALCALINO	1,1	40,86
	ÁCIDO	0,6	67,74
	NEUTRO	0,36	80,64
EMULGADOR C	ALCALINO	1,01	45,7
	ÁCIDO	1,11	40,32
	NEUTRO	1,31	29,57
EMULGADOR D	ALCALINO	1,3	30,11
	ÁCIDO	0,54	70,97
	NEUTRO	1,45	22,04
EMULGADOR E	ALCALINO	0,91	51,08
	ÁCIDO	0,45	75,81
	NEUTRO	1,42	23,66
EMULGADOR F	ALCALINO	0,95	48,92
	ÁCIDO	1,2	35,48
	NEUTRO	0,6	67,74
EMULGADOR G	ALCALINO	0,55	70,43
	ÁCIDO	1,01	45,7
	NEUTRO	0,91	51,08
EMULGADOR H	ALCALINO	1,41	24,19
	ÁCIDO	0,65	65,05
	PROVA EM BRANCO	1,86	

Fonte: A autora (2021).

Para o suplêx fio 200/96 o melhor resultado foi obtido pelo EMULGADOR A, em meio ácido, o qual removeu 86,56 % do óleo.

Depois de feito os testes de eficiência em escala laboratorial, o emulgador foi testado em escala industrial e obteve-se o resultado esperado. Assim, o processo de preparação com a demorada purga para remoção dos

Tingimento De Poliéster Sem Purga, Grande Dificuldade Pela Diversidade De Óleo

óleos, fase pré-tingimento, pode ser dispensada resultando em ganho significativo de tempo, economia de água e produtos adicionais além da energia consumida neste processo.

5 CONCLUSÃO

O tingimento de poliéster sem a devida preparação caracteriza uma grande dificuldade para garantir a qualidade final do tecido tingido, com tonalidade de cor sem mancha, devido às diversidades de óleos encontrados e desenvolvidos pelos fabricantes. Porém, os testes experimentais no laboratório da empresa – tinturaria auxilia identificar a quantidade de óleo existente em cada lote de malha permitindo assim, levar para a escala industrial o emulgador com melhor eficiência e que tem o HBL mais próximo do óleo a ser removido com maior economia e qualidade.

Os resultados alcançados através dos ensaios realizados, nos mostram que quando determinamos o emulgador mais eficiente para os tipos de óleos encontrados nas malhas de poliéster, podemos tingir sem ter a necessidade de purgar. Realizamos em produção 126 lotes de 300 kg, com uma eficiência de 98%. Ainda necessitam de alguns ajustes, mas através desse trabalho, a empresa mudou os processos de tingimento de poliéster, retirando todas as purgas e passou a tingir em banho único.

O HLB do EMULGADOR A apresentou o melhor resultado. Este emulgador foi mais eficiente para três artigos analisados, crepe 150/144 removendo 92,54% do óleo, helanca com 100% poliéster removendo 94,59% do óleo e o suplex fio 200/96 removendo 86,56% do óleo. Com o PH entre 7,50 – 8,50, tendo maior eficiência em meio neutro e ácido, considerado ótimo para o processo de preparação do tingimento.

Para a malha canelada 150/144 o emulgador que apresentou melhor eficiência foi o EMULGADOR F em meio ácido removendo 93,42% do óleo.

Os objetivos foram alcançados, pois tingir sem purgar, sem a preparação é o que toda tinturaria deseja, evita muitos desperdícios. Diminui o consumo de água, diminui processo, tempo, efetivamente aumenta a produtividade e melhora a qualidade. Com isso, uma empresa vai fazer mais ciclo por máquina por dia.

Tingimento De Poliéster Sem Purga, Grande Dificuldade Pela Diversidade De Óleo

Pois hoje uma purga dura em torno de 40 a 50 minutos, tendo mais a queima do cavaco para aquecer essa água, mais os produtos utilizados, tingindo direto evita todos esses desperdícios e aumenta a produtividade.

Uma avaliação sobre os testes realizados permite concluir que o tingimento sem purga pode ser efetuado para todos os tipos de tecidos com base em fibra sintética de poliéster.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, que sempre foi meu refúgio e alicerce. Por todas as vezes que me ouviu, me abençoou e nunca me deixou desistir. Tudo que sou e quero ser, pertence a Ti Deus.

Agradeço aos meus queridos e amados pais, Sérgio José Vanelli e Angela Aparecida Martinenghi Vanelli por toda dedicação e amor. Por sonharem os meus sonhos e não medir esforços para realizá-los, mesmo quando as coisas pareciam ser impossíveis para nós. Obrigada por serem meu bem mais precioso e por nunca me deixarem desistir.

Ao meu irmão Adner Gabriel Vanelli, por ser alegria constante, e por estar sempre disposto a me ajudar. Estaremos juntos por toda vida. Agradeço ao meu namorado, Elton Dada, por sempre estar ao meu lado, pela paciência e todo amor. Obrigada por me incentivar bastante.

Ao meu querido orientador Francisco Odisi, pelo conhecimento transmitido durante toda graduação, especialmente nesses últimos semestres. Agradeço pela orientação acadêmica e pelas vezes que além de professor e referência profissional, foi um grande amigo.

Agradeço ao Amilton Schroeder e toda a equipe da EKONOVA pelo conhecimento transmitido, por não ter medido esforços para me ajudar. Por tirar todas as minhas dúvidas e ter cedido alguns equipamentos.

A todos os professores que foram essenciais na minha trajetória acadêmica. Especialmente quero agradecer a coordenadora do curso Rafaela Bohaczuk Venturelli Knop e a professora Raquel Bonati Moraes Ibsch por toda ajuda e dizer que vocês são uma inspiração profissional que admiro muito.

Agradeço a empresa Tinturaria e estamparia MH por ter cedido o espaço

Tingimento De Poliéster Sem Purga, Grande Dificuldade Pela Diversidade De Óleo

para as realizações dos experimentos e por acreditarem em mim. Por terem me dado a oportunidade de fazer parte dessa empresa incrível. Prometo dar o meu melhor. Agradeço a todos os meus amigos de trabalho.

Agradeço a todos os meus amigos da faculdade e todos que acreditaram em mim. A UNIFEBE e ao curso de engenharia química, por tantas experiências agregadas na minha vida pessoal e profissional.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, A. T. **Reutilização de banhos de tingimento de poliéster em batelada com corantes dispersos**. 2018. 151 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Programa de Pós-Graduação em Estudos Culturais, Escola de Artes, Ciências e Humanidades, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/100/100133/tde-08112018-155640/publico/CORRIGIDA_Augusto_Tairum_de_Andrade.pdf. Acesso em: 20 ago. 2021.

ARAÚJO, B. A. T. **Utilização de microemulsão na remoção da cor de efluentes têxteis contendo corantes dispersos**. 2009. 95 f. Dissertação (Mestrado em Físico-Química) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2009. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/bitstream/123456789/17633/1/BethATA DISSERT.pdf>. Acesso em: 10 ago. 2021.

CARDOSO, S. G. **Estudo das propriedades mecânicas e dos mecanismos de fratura de fibras sintéticas do tipo náilon e poliéster em tecidos de engenharia**. 2009. 151f. Tese (Doutorado em Ciências) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/85/85134/tde-26092011-151933/publico/2009CardosoEstudo.pdf>. Acesso em: 15 ago. 2021.

KUASNE, A. **Curso têxtil em malharia e confecção**: fibras têxteis. Centro Federal de Educação Tecnológica de Santa Catarina. (Apostila) Araranguá, 2008. Disponível em: https://wiki.ifsc.edu.br/mediawiki/images/8/88/Apostila_fibras.pdf. Acesso em: 16 ago. 2021.

SALEM, V. **Tingimento têxtil**: fibras, conceitos e tecnologias. São Paulo: Blucher: Golden Tecnologia, 2010.

STEINKE, A. **Estágio supervisionado em engenharia de produção**: DISAMTEX. Blumenau, SC, dez. 2004.

PRODUÇÃO DE CORANTES NATURAIS PARA A INDÚSTRIA TEXTIL

PRODUCTION OF NATURAL COLORINGS FOR THE TEXTILE INDUSTRY

Ana Beatriz Haag¹

Msc. Raquel Bonati
Moraes Ibsch²

Resumo: Antes mesmo de surgirem os corantes artificiais, na pré-história os homens já utilizavam plantas e outros recursos, tais como: flores, sementes, cascas, dentre outros, para fazer pinturas, colorir utensílios e, mais tarde, tingir tecidos. A indústria têxtil no Brasil tem grande importância na geração de empregos e na economia do país. Entretanto, é a indústria que mais gera efluentes, os quais são de difícil degradação, podendo causar impactos ambientais graves. Desta maneira, o presente trabalho tem por objetivo pesquisar e identificar métodos para o desenvolvimento de corantes naturais para a indústria têxtil tornando viável e vantajosa sua utilização. Assim, os impactos ambientais, causados pelos efluentes gerados pelos corantes artificiais, poderão ser minimizados. Para tanto, foi realizada pesquisa bibliográfica em livros, teses e artigos científicos. Ainda há muitos obstáculos para a completa substituição dos corantes sintéticos pelos naturais, principalmente por sua instabilidade e custo; porém, através dos corantes naturais é possível obter a mesma qualidade de tingimento que os corantes sintéticos. Além disso, a procura por produtos sustentáveis e menos agressivos ao meio ambiente e à saúde está crescendo cada vez mais, estimulando o investimento em pesquisas para que as empresas possam adotar tal tecnologia.

Palavras-chave: Corantes. Naturais. Têxtil. Sustentabilidade.

Acadêmica do curso de Engenharia Química da UNIFE. E-mail: ana.haag@unife.edu.br

Professora orientadora. Mestre em Engenharia Química. E-mail: raquel.moraes@unife.edu.br

Abstract: *Even before the appearance of artificial dyes, in prehistory men already used plants and other resources such as flowers, seeds, bark, among others, to make paintings, color utensils and, later, dye fabrics. The textile industry in Brazil has great importance in generating jobs and in the country's economy, but it is the industry that generates the most effluents and that are difficult to degrade, which can cause serious environmental impacts. In this way, the present work aims to research and identify ways and methods to develop natural dyes in the textile industry in an effective and economical way, making their use viable and advantageous in order to minimize the environmental impacts caused by the effluents of artificial dyes. To this end, bibliographic research was carried out in books, theses and scientific articles. There are still many obstacles to the complete replacement of synthetic dyes by natural ones, mainly because of their instability and cost; however, through natural dyes it is possible to obtain the same dyeing quality as synthetic dyes. In addition, the demand for sustainable products that are less aggressive to the environment and health is growing more and more, stimulating investment in research so that companies can adopt such technology.*

Keywords: Dyes. Natural. Textile. Sustainability

1 INTRODUÇÃO

Os corantes podem ser classificados em: corantes naturais e sintéticos. Os naturais são pigmentos com origem direta da natureza, extraídos de plantas ou minerais (PENZETE, *et al.*, 2014). Já os corantes artificiais são sintetizados por meio dos hidrocarbonetos aromáticos, obtidos principalmente do petróleo (FERRARI, 2013). Entre os corantes naturais encontramos os corantes diretos que são usados em tecidos de algodão e linho, mas também podem ser usados em materiais proteicos como seda e lã, pois conseguem formar ligações iônicas com os resíduos carboxilato das proteínas, apesar de poucos corantes naturais pertencerem a essa classificação. Encontram-se também os corantes de tina que são usados particularmente em lã e algodão. Para estes tipos de corantes, é realizada a reação

Produção De Corantes Naturais Para A Industria Textil

química de uma substância incolor chamada de leuco que, em contato com o ar, sofre oxidação e tinga a peça. Porém a cor do tecido se desbota gradativamente de acordo com as lavagens pois o corante não possui nenhuma ligação química com o tecido, estando apenas depositado sobre ele. E, no caso dos corantes que necessitam de mordentes, estes são elementos que são misturados com o corante quando não se pode aplicá-lo diretamente na peça (ARAÚJO, 2006). “Os mordentes preparam as fibras e as ajuda a absorver melhor o corante, o uso de mordentes geralmente produzirá cores melhores, mais vívidas e mais permanentes” (OLIVEIRA, 2018, p.16).

Alguns corantes quando aplicados diretamente no tecido não possuem uma boa fixação, por conta disso são adicionadas em solução com esses corantes uma substância chamada de mordentes (ARAÚJO, 2006, p.41). “Os mordentes preparam as fibras e as ajuda a absorver melhor o corante, o uso de mordentes geralmente produzirá cores melhores, mais vívidas e mais permanentes” (OLIVEIRA, 2018, p.16).

Para realizar esta pesquisa questionou-se se seria possível produzir corantes naturais de forma vantajosa e econômica para as empresas e para o meio ambiente; bem como sobre quais seriam os impactos causados pelos corantes artificiais e efluentes gerados pelas indústrias têxteis.

Deste modo, este trabalho tem como objetivo principal fazer uma revisão bibliográfica para identificar métodos para produção de corantes naturais, bem como verificar sua viabilidade e aplicação. Como objetivo específico este estudo busca utilizar matérias-primas típicas ou de fácil acesso na região de Santa Catarina, além de estimular a pesquisa sobre esse tema, principalmente por parte das indústrias do segmento.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 A INDÚSTRIA TÊXTIL NO BRASIL

O processo de industrialização no Brasil teve início pelas indústrias têxteis, no século XIV, mas já com a chegada dos portugueses em 1500, era visível que os

Produção De Corantes Naturais Para A Industria Textil

Índios já realizavam práticas artesanais que entrelaçavam fibras vegetais com finalidade de proteção corporal (REVISTA TEXTÍLIA, 2006).

Em 1844, iniciou-se a primeira política industrial brasileira, estimulando a industrialização e, principalmente, no ramo têxtil que foi o pioneiro em todo esse processo. Naquela época, o Brasil era dependente do exterior, até subirem as tarifas em até 30%. Entretanto, as etapas até a industrialização de fato foram lentas, entre os períodos de 1844 a 1913 (REVISTA TEXTÍLIA, 2006).

A produção de algodão já era considerada matéria-prima básica da indústria têxtil em 1864. Neste ano, já estavam em funcionamento 20 fabricas, 15.000 fusos e 385 teares. A Primeira Guerra Mundial (1914 – 1918) é considerada um agente decisivo para estabilizar definitivamente a indústria têxtil no Brasil, pois a impossibilidade de importar suprimentos têxteis e tecidos funcionou como estímulo para o crescimento dessa indústria. Entretanto, com o fim da primeira guerra mundial e a volta da importação dos produtos europeus, as atividades têxteis novamente enfraqueceram devido à dificuldade em competir com esses produtos e pela incompatibilidade de preços, já que os produtos europeus eram vendidos a um preço bem inferior aos oferecidos pelo Brasil (REVISTA TEXTÍLIA, 2004).

Contudo, em 1929, a economia mundial entrou em crise e o Brasil teve uma nova oportunidade de crescimento industrial com a mesma dificuldade de importação que ocorreu na Primeira Guerra Mundial, substituindo produtos importados por mercadorias produzidas no próprio país para o abastecimento das mesmas (REVISTA TEXTÍLIA, 2006). Foi durante o governo de Getúlio Vargas, que teve como principal proposta tornar o Brasil independente de importações definitivamente, que a industrialização brasileira foi efetivada (CASTELLAR; MARTINS, 2006).

Com a chegada da Segunda Guerra Mundial (1939 a 1945) novas oportunidades no mercado se abriram para a indústria brasileira. Muitas fábricas surgiram nesse período e as já existentes se ampliaram com o objetivo de atender a demanda do mercado interno e exportar para a Europa e para os Estados Unidos. Em 1993 as vendas voltaram a cair por motivos políticos, mas é a partir disso que começam os investimentos na modernização industrial para a redução de custos (REVISTA TEXTÍLIA, 2006).

2.2 GERAÇÃO DE EFLUENTES TÊXTEIS

Segundo Nunes (2019) os resíduos das indústrias têxteis têm baixos níveis de degradação, apresentando assim grande potencial de poluição, principalmente dos mananciais, pois as suas características químicas lhe conferem grande estabilidade, tornando-os muito persistentes ao meio ambiente.

Um dos principais impactos causados pela indústria têxtil é referente a grande utilização da água, que tem utilidade desde a lavagem, coloração e secagem da matéria prima (FERREIRA, 2011). A água que foi utilizada pela indústria pode ser um poluente por quantidades significativas de restos de corantes sintéticos, metais pesados e uma elevada demanda de oxigênio (ALMEIDA; DILARRI; CORSO, 2016). Para complementar a ideia dos resíduos líquidos Dellamatrice (2005) afirma que esses resíduos gerados não têm fácil degradação, tornando-os persistentes no meio ambiente e por isso são muito poluentes.

Entre os resíduos sólidos pode-se destacar resíduos vindos da queima dos combustíveis para as caldeiras como cinzas e fuligens (FIEMG, 2014). Está presentetambém a formação de resíduos gasosos lançados também pela queima dos combustíveis (FIEMG, 2014), o dióxido de enxofre, monóxido de carbono e o óxido de nitrogênio são exemplos de gases lançados na atmosfera provenientes aos processos têxteis (LEÃO *et al.*, 2002).

Deste modo, o uso dos corantes naturais é uma alternativa para eliminar ou reduzir o uso dos corantes sintéticos com o objetivo de uma maior sustentabilidade na empresa. Sobre este ponto, Balan (2017, p. 152) afirma que:

As empresas têxteis têm preocupações de caráter ambiental, especialmente em relação a seus processos industriais de produção, confecção e moda, buscando por reestruturações organizacionais e operacionais, contemplando uma gestão ambiental adequada para o setor. Procuram atender às exigências de um novo padrão de produção sustentável e responder aos clientes que passam a exigir das empresas melhoria contínua, com ênfase na capacidade de oferecer produtos e serviços que respeitem a natureza.

2.3 EXTRAÇÃO DO AÇAFRÃO E URUCUM PARA TINGIR ALGODÃO

O açafrão é obtido através da secagem da raiz de cúrcuma, que é uma planta muito utilizada pela indústria alimentícia e farmacêutica (PEIXOTO, 2004). Segundo Diniz, Franciscatti e L. Silva (2011) realizaram experimentos em laboratório com tecidos de algodão cru. Para o tingimento, utilizaram açafrão em pó colocado em água destilada fervente e variaram os mordentes, (vinagre, sal e erva mate). Os tecidos foram deixados de molho por 30 minutos antes da lavagem e o tingimento foi realizado com o açafrão em álcool etílico após lavagem, os testes foram secos em estufa.

O mesmo experimento foi feito com sementes de urucum, planta tropical de origem Amazônica com coloração vermelha. Para a extração do urucum, as sementes foram imersas em água, em temperatura ambiente, por 30 minutos para que o corante fosse extraído. Após essa etapa, foi realizada a lavagem e posterior secagem em estufa; o mesmo foi feito para urucum em água fervente.

Para a extração do açafrão foram eficazes as amostras com água quente e álcool, independente dos mordentes. O único mordente não tão eficaz foi a erva mate pois deixou um tom esverdeado no tecido. Para o urucum também não foi eficaz a água em temperatura ambiente pois gerou algumas manchas no tecido. Os melhores resultados foram com água fervente e vinagre pois aumentaram a fixação da cor.

2.4 EXTRAÇÃO DE PIGMENTOS ATRAVÉS DA CASCA DE JABUTICABA

“As antocianinas são uma alternativa viável para o fornecimento da cor vermelha aos alimentos, a partir de fontes naturais. São solúveis em água, o que facilita sua incorporação em sistemas aquosos” (SILVA, *et al.*, 2010, p. 429).

Foram maceradas as cascas da jabuticaba com etanol 70% com pH em 2,0 e em temperatura em 30°C. O extrato obtido foi filtrado e logo submetidos a secagem por atomização em mini spray dryer. Os testes de estabilidade dos corantes foram

Produção De Corantes Naturais Para A Industria Textil

realizados colocando o extrato em placas de petri, sob aplicação de três lâmpadas fluorescentes de 40W (temperatura mantida em $2,5 \pm 2^{\circ}\text{C}$). As cascas de jaboticaba se provaram eficazes como corantes naturais por conta de sua alta concentração de antocianicos.

2.5 O USO DA CEBOLA COMO CORANTE NATURAL

Segundo Lima e Bezerra (2012) a cebola tem origem asiática e na sua casca há uma substância conhecida como quercetina, responsável por sua coloração amarela, que pode ser usada como corante têxtil.

No experimento realizado por Oliveira (2018), foram utilizados 100 gramas de casca de cebola, em 7 litros de água, deixando em repouso por 7 dias para que o extrato fosse retirado. Depois, o líquido foi filtrado e adicionado de cloreto de sódio como mordente. Nesta solução foram mergulhados 42,258 gramas de tecido mantidos a 60°C , por 30 minutos. Os corantes foram eficazes nos testes, principalmente com relação à sua afinidade com o algodão, a seda e o poliéster. No artigo de Castro (2019) foram elaborados métodos de tingir tecidos para fabricar bolsas com corantes naturais. Foi realizada a extração do caroço de abacate seco, casca de cebola, romã e erva-mate, todos já secos e adquiridos em uma loja de materiais orgânicos. Como mordentes foram utilizados sal branco e acetato de alumínio e aquecimento a 90°C por, aproximadamente, 40 minutos (FERREIRA, 2005).

A segunda fase do experimento foi a lavagem dos tecidos e secagem, esse processo foi repetido duas vezes, sendo perceptível a cor desbotada em algumas amostras, após a segunda lavagem. As cores obtidas nos tecidos tingidos com caroço de abacate, casca de cebola, romã e erva mate foram respectivamente rosa claro, laranja avermelhado, palha dourado e cinza esverdeado.

“Nos processos de tingimento tivemos resultados positivos em quase todos os experimentos de fixação de cor, como apresentados neste trabalho, porém não tivemos sucesso com a beterraba mesmo tentando abordagens diferentes” (CASTRO, 2019, p. 42).

2.6 OBTENÇÃO DE CORANTES NATURAIS UTILIZANDO CASCAS DE ARVORES NATIVAS

Para a utilização de cascas de arvores brasileiras como corante natural sua forma de colheita pode ser direta, com cortes da casca ou extração dos galhos, ou indireta, coletando galhos e cascas que caíram das arvores. Um dos seus compostos com coloração mais eficaz são os taninos que tem alta fixação em fibras proteicas e podem ser utilizados para auxiliar na fixação de outros corantes naturais (SILVA, *et al.*, 2018).

Outro modo de coletar matéria-prima de árvores nativas é fazendo reutilização de resíduos das madeireiras, onde esse material seria descartado.

Deste modo, é possível reduzir os resíduos fazendo com que os mesmos tenham um novo ciclo de vida útil, ao invés de serem descartados (SILVA, *et al.*, 2018).

Bechtold, Mahmud-Ali e Mussak (2007) fizeram testes extraíndo cascas da planta *Fraxinus excelsior L.* Os testes foram em lã e o tingimento foi pelo processo de esgotamento, em uma proporção de 1 grama de casca para 1 grama de substrato têxtil. Como mordente foi adicionado sulfato de ferro (II) com concentração à 3g/L. O tingimento com este corante natural se mostrou eficaz para cores mais escuras.

Para fazer o tingimento de seda com extrato da planta *Rhizophora apiculata*, por processo de esgotamento em temperatura de 90°C durante 60 minutos, com pH igual a 3. A coloração da seda variou de acordo com os mordentes de sais metálicos adicionados, e apresentou tonalidades de marrom-avermelhado, variando do tom médio ao escuro. O tecido passou por testes de fixação da cor e foram resistentes a fricção, umidade e luz (PUNRATTANASIN, *et al.*, 2013).

No entanto, problemas com a estabilidade ainda podem afetar a cor e a qualidade dos corantes naturais. Deste modo, é necessário adicionar agentes que

Produção De Corantes Naturais Para A Industria Textil

possibilitem a estabilização das soluções. A revisão bibliográfica feita por Schiozer e Barata (2013) apresenta os fatores de degradação dos pigmentos naturais e condições para governar sua estabilidade usando compostos de clorofilas, betalaínas, carotenóides e antocianinas.

Para uma breve explicação, basicamente, os corantes vegetais podem ser das seguintes classes de pigmentos: clorofilas, flavonóides e carotenóides, também de origem das betalaínas e melaninas. A definição de pigmento é a substância que resulta em cor e está presente em flores, frutos, folhas, fungos e bactérias (SCHIOZER; BARATA, 2013).

O pigmento clorofila é o mais abundante na natureza e está presente nas proteínas dos cloroplastos das plantas. Essas proteínas quando se ligam a esse pigmento alteram suas propriedades físicas, tais como a solubilidade e a estabilidade de suas moléculas (SCHIOZER; BARATA, 2013).

Quando em solução, as clorofilas possuem uma coloração azul-esverdeada ou amarela-esverdeada e podem ser quantificadas através de espectrofotometria ou cromatografia líquida de alta eficiência. As ligações entre suas moléculas são frágeis e se rompem com facilidade. Uma das suas fontes de extração mais aplicadas é a planta *Medicago sativa*, mais conhecida popularmente como Alfafa (STREIT *et al.*, 2005).

As beterrabas são as principais fontes do pigmento vermelho-escuro das betalaínas, porém o pigmento extraído é instável e facilmente afetado pela luz, oxigênio, temperatura, variação do pH e umidade (REYNOSO, *et al.*, 1997). E é justamente por essa vulnerabilidade às condições físicas que seu uso está restrito aos corantes alimentícios (JACKMAN; SMITH, 1996).

2.7 ALTERNATIVAS SUSTENTÁVEIS PARA A INDÚSTRIA TÊXTIL

A contaminação do solo é um dano causado pelos despejos de material, tais como retalhos de tecidos e agrotóxicos. Já a contaminação da água é proveniente de efluentes dos processos químicos de tinturarias, efluentes esses contaminados por corantes, alvejantes e fixadores. (BERLIN, 2012).

Sobre a indústria têxtil, o processo de tingimento utiliza uma grande

Produção De Corantes Naturais Para A Industria Textil

quantidade de detergentes e corantes o que acaba gerando resíduos que, obrigatoriamente, necessitam de tratamento antes de serem descartados no meio ambiente (CASTRO, 2010).

Existem alguns estudos que buscam alternativas para tratar os efluentes gerados e diminuir a poluição e contaminação pelos produtos químicos lançados no meio ambiente. Sobre este tema, Toniollo, Zancan e Wust (2015, p. 2) afirmam:

Para minimizar os danos dos corantes tóxicos, é possível substituí-los por produtos biodegradáveis, bem como pela sua remoção do meio aquático. Nesse sentido, ressalta-se que a remoção de corantes no Brasil está sendo feita por meio de adsorção, processo este que envolve a retenção de um fluido (adsorvido), no caso o corante por uma superfície sólida (adsorvente). A grande vantagem deste processo é a possibilidade de recuperação do corante concentrado e a reutilização do adsorvente no processo. Este processo utiliza o carvão ativado como composto para realização da remoção, todavia, o custo é elevado e não é eficiente para todos os corantes.

Durante o processo de tingimento, o tecido passa por três etapas, sendo elas: limpeza, para retirar a goma do tecido e prepará-lo para receber a coloração, tingimento, etapa onde o tecido recebe a pigmentação juntamente com químicos para auxiliar na fixação e, por fim, o acabamento, o qual serve para fazer lavagens e retirar o excesso de corante e as texturizações (CASTRO, 2010). “Esses químicos se dispersam não somente no final do processo de acabamento dos tecidos, mas durante o processo de tingimento e fixação também, visto que nem sempre é possível reaproveitar o material que já se dissolveu em água” (NARIMATSU, *et al.*, 2020, p.6).

De acordo com Balan (2017) os tingimentos naturais são ótimas alternativas para inserir práticas sustentáveis a às empresas do ramo têxtil, como forma de eliminar os corantes sintéticos tóxicos e os efluentes prejudiciais gerados por eles. Isso porque os corantes obtidos de plantas, caules, sementes e flores são renováveis, biodegradáveis e não são tóxicos à natureza.

Além disso, as cores geradas por pigmentos naturais são harmoniosas e compatíveis entre si, possibilitando misturá-las e fazer novos tons. Entretanto, deve ser considerada a origem do corante natural (animal ou vegetal), sua extração e o

Produção De Corantes Naturais Para A Industria Textil

método utilizado para aplicação a fim de definir as condições de obtenção do corante desejado (BALAN, 2017).

Outra questão importante a ser debatida é que se em um processo têxtil optamos por fazer tingimentos utilizando corantes naturais visando a sustentabilidade, deve-se usar também uma fibra sustentável, seja ela de origem animal ou vegetal. Entre os principais exemplos podemos citar o algodão orgânico, linho e seda. Portanto, trabalhar com tecidos e corantes naturais faz com que a indústria gere menos impactos ao meio ambiente e se torne verdadeiramente sustentável (NARIMATSU, *et al.*, 2020).

O uso do algodão deve ser avaliado quando se busca um desenvolvimento sustentável. No cultivo do algodão, principalmente nos procedimentos para o plantio e a adubação, são usados pesticidas e agrotóxicos nas plantas que são prejudiciais ao meio ambiente e à saúde humana. Essas substâncias são, na maioria das vezes, usadas em maior quantidade que o indicado, causando a poluição do ar, água e do solo (SANTOS, 1997).

O algodão está relacionado também com outros tipos de resíduos da indústria. Apesar dos resíduos líquidos serem abordados com mais frequência, incluindo os corantes, detergentes e as soluções químicas em geral, o processo têxtil também gera muitos efluentes sólidos, com destaque para o descaroçamento dos algodões, restos de tecidos, fios, cascas de piolhos de algodão, além de matérias-primas não processadas, tais como barbantes, colchas, redes, fitas e pavio. Os materiais provenientes de matéria-prima orgânica podem ser reutilizados como adubo orgânico ou até mesmo para rações de animais. Já a maior parte da matéria-prima não processada pode ser comercializada para a confecção de fios menos nobres ou ainda reincorporada no processo produtivo (TONIOLLO; ZANCAN; WUST, 2015).

Outra proposta como alternativa para o uso do algodão, que é pode ser responsável por vários impactos ao meio ambiente, é substituí-lo por fibra da proteína de soja, a qual é uma fibra têxtil derivada polímeros sintetizados que não prejudicam a natureza. Além disso, seus resíduos, por serem provenientes de proteínas, podem ser usados para a produção de ração animal (VALLE, *et al.*, 2004)

Produção De Corantes Naturais Para A Industria Textil

No artigo de Narimatsu (2020) realizou-se um experimento com cinco amostras de tecidos vindos de fibras naturais. As fibras vegetais usadas foram algodão, algodão cru, linho e linho cru; e como fibra de origem animal foi utilizada a seda. Os corantes foram extraídos das plantas: açafrão, barbatimão, hibisco, jatobá, erva-mate e urucum. A dissolução das plantas foi realizada por processo físico- químico através da fervura em água e adicionado álcool etílico ou amônia como mordentes. Por fim, como processo bioquímico foi realizada a fermentação do material (FERREIRA, 1998).

De acordo com Ferreira (1998), em relação aos mordentes, devem ser aplicados antes do tingimento. Isso proporciona uma fixação mais homogênea do corante usado. Entretanto, se for aplicado durante o processo de tingimento pode ocorrer o aparecimento de manchas no tecido provenientes de uma fixação parcial do corante. A aplicação do mordente depois do tingimento é usada normalmente quando se deseja alterar a cor do tecido. É importante destacar que, para cada cor desejada, deve-se utilizar um tipo diferente de mordente.

No caso do artigo em questão, para as fibras vegetais utilizaram como mordente, para auxiliar na fixação da cor, o cloreto de sódio. Já para os tecidos de fibra animal, foi usado o ácido acético.

O processo de coloração do tecido foi realizado por imersão em água quente e fria. Para as aplicações em água fria (temperatura ambiente), o tecido foi preparado com o mordente imerso em um recipiente juntamente com o corante e deixados de molho durante a noite; depois expostos a luz durante o dia para que oar oxidasse e evitasse manchas. No método da água quente, os tecidos foram colocados em banhos de 30 a 60 minutos, com temperatura de 90°C; após o banho, foram lavados e secos na sombra (NARIMATSU, *et al.*, 2020). As variedades de cores obtidas foram: barbatimão resultou em tons de marrom, açafrão tingiu em tons de amarelo, o hibisco deixou os tecidos em tons de rosa, os tecidos tingidos com jatobá ficaram com tons de marrom avermelhado, a erva-mate fez com que ficassem com tons esverdeados e crus e com o urucum as amostras obtiveram cores laranjas e marrons também. Todo esse processo gerou resíduos. Dos materiais em pó, sobrou um efluente semelhante a uma borra orgânica e os

Produção De Corantes Naturais Para A Industria Textil

materiais em cascas, folhas e flores geraram resíduos mais grossos, tais como pedaços das matérias-primas. Entretanto, esses resíduos podem facilmente ser empregados em cultivo de outras plantas (NARIMATSU, *et al.*, 2020).

E, por esse motivo, “os corantes naturais são menos poluentes que os corantes sintéticos, não cancerígenos e não tóxicos, podendo por isso ser classificados como menos perigosos a saúde, além de, proporcionar a obtenção de cores suaves, brilhantes e agradáveis” (SILVA, 2018, p 12).

É importante ressaltar que, apesar deste trabalho enfatizar impactos da indústria têxtil e alternativas para eles, a sustentabilidade de uma cidade, país ou do mundo não depende de uma empresa ou um governo. Sobre este ponto, Torresi, Pardini e Ferreira (2010) afirmam:

A conservação do meio ambiente deve ser estar inserida em uma política dedesenvolvimento do país, mas é importante enfatizar que ela não pode ser de apenas uma pessoa ou um governo. O meio ambiente deve ser um cuidado de todos com tudo. Os cidadãos devem estar permanentemente alertas para os perigos das ações mais inocentes que são realizadas no meio ambiente. A implementação de ações sustentáveis envolve atos e ações simples como ir a um supermercado, o uso racional de água nas residências, a manipulação adequada do lixo etc., mas deve envolver também atitudes radicais quanto ao consumismo exagerado.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

3.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

A pesquisa do presente estudo é classificada como exploratória e documental, de natureza qualitativa, utilizando como técnica de coleta de dados a pesquisa bibliográfica em teses, dissertações, artigos e revistas científicas. Deste modo, foi realizada uma revisão de literatura com a finalidade de identificar formas de aplicações viáveis e sustentáveis para a indústria têxtil, principalmente para otingimento dos tecidos, usando matérias-primas nativas da região de Brusque.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Produção De Corantes Naturais Para A Industria Textil

Como apresentado anteriormente, os efluentes da indústria têxtil geram grandes impactos ao meio ambiente pela grande quantidade de químicos utilizados em todos os seus processos até adquirir o produto final da linha ou tecido. Considerando essa afirmativa, quando o objetivo é produzir uma moda sustentável é importante não considerar apenas os aspectos de economia de energia e consumo consciente, mas também adequadas condições de trabalho e reorganização de todas as etapas da produção desde a fibra têxtil até a obtenção do produto (BERLIN,2012).

Quando o assunto em pauta é a aplicação de uma indústria sustentável, é importante que se aplique a todos os processos, como por exemplo a problemática do algodão. Normalmente, para o seu cultivo, são usados agrotóxicos e pesticidas que prejudicam o solo e poluem o meio ambiente, fazendo com que o uso do algodão não seja 100% sustentável, portanto, a forma de cultivá-lo deve passar por mudanças juntamente com o corante utilizado.

Foram obtidos resultados positivos nos estudos realizados pelos pesquisadores, cujo objetivo era produzir corantes naturais e com fibras de origem animal e vegetal. As amostras de tecidos foram tingidas com sucesso mostrando serem eficazes na substituição dos corantes sintéticos, com e sem necessidade de mordentes. Deste modo, é possível concluir que é possível a implementação dos corantes naturais na indústria têxtil visando a sustentabilidade da empresa e a preservação do meio ambiente.

5 CONCLUSÃO

Com base em todos os aspectos apresentados anteriormente, podemos concluir que as atividades têxteis, iniciadas desde 1500 na colonização do Brasil, são importantes para o desenvolvimento do país e têm participação em seu crescimento econômico.

Entretanto, as indústrias têxteis podem trazer graves consequências à degradação do solo, da água e até mesmo do ar, pela grande quantidade de

Produção De Corantes Naturais Para A Industria Textil

produtos químicos usados em suas etapas produtivas e pelos efluentes gerados a partir dessas etapas. Por isso, os efluentes e resíduos gerados devem ser tratados e descartados de forma correta. Além disso, a preocupação com a futura escassez dos recursos naturais que utilizamos no dia a dia é uma motivação para a apresentação de alternativas sustentáveis mostradas anteriormente.

É possível a utilização dos corantes naturais na indústria de forma que seja vantajoso para o meio ambiente como forma de reduzir os impactos ambientais e preservar a natureza. Sendo assim, é importante incentivar a indústria a financiar pesquisas para o desenvolvimento de novos métodos para a produção sustentável de tecidos e de seu tingimento.

Este artigo, por meio de análise bibliográfica, apresentou alguns métodos de extração que possibilitam aplicar os corantes naturais com matérias-primas vegetais que são de fácil acesso na região de Santa Catarina. Com isso, espera-se conscientizar e estimular as indústrias e a comunidade para levarem em consideração a questão da garantia de qualidade dos produtos e os aspectos sustentáveis, com recursos extraídos da natureza para a produção industrial, os efluentes gerados e a forma como devem ser tratados.

Referências

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. Site institucional. Disponível em: <www.abnt.org.br.> Acesso em: 22. jun 2015.

BARBIERI, J. C; **Gestão ambiental empresarial: conceito, modelos e instrumento**. 2 ed. São Paulo: Saraiva, 2007.

ALMEIDA, E. J. R.; DILARRI, G.; CORSO, C. R. **A indústria têxtil no Brasil: Uma revisão dos seus impactos ambientais e possíveis tratamentos para os seus efluentes**. Projeto Qualidade da Água, Boletim das Águas - Ministério Público Federal, Brasília/DF, p. 1 - 18, nov. 2016.

BALAN, Doralice de Souza Luro. Corantes naturais de aplicação têxtil: avaliação preliminar da toxicidade de urucum *Bixa orellana* L. (Malvales: Bixaceae) e hibisco *Hibiscus sabdariffa* L. (Malvales: Malvaceae). **Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v. 4, n. 7, p. 151-157, 2017. Disponível em: <http://revista.ecogestaoBrasil.net/v4n7/v04n07a15.pdf>. Acesso em: 05 jun.2022.

Produção De Corantes Naturais Para A Industria Textil

BERLIM, Lilyan. **Moda e sustentabilidade: uma reflexão necessária.** São Paulo: Estação das Letras e Cores, 2012.

BECHTOLD, T.; MAHMUD-ALI, A.; MUSSAK, R. Reuse of ash-tree (*Fraxinus excelsior* L.) bark as natural dyes for textile dyeing: process conditions and process stability. **Coloration Technology**, v. 123, p. 271–279, 2007c. disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1478-4408.2007.00095.x>. Acesso em: 15 jun.2022.

CASTELLAR, Sonia Maria Vanzella & MARTINS, Elvio Rodrigues. **Geografia: O Desenvolvimento Industrial Brasileiro e o Processo de Concentração Industrial. Modulo 6.** Secretaria de Estado da Educação de São Paulo, São Paulo, 2004.

CASTRO, Carla Daila de. A SUSTENTABILIDADE E OS CORANTES NATURAIS: COLEÇÃO DE BOLSAS PARA O PÚBLICO “VERDE”. 2019. 56 f. TCC (Graduação) - Curso de Tecnólogo em Têxtil e Moda., Faculdade de Tecnologia de Americana – Ministro Ralph Biasi, Americana, Sp, 2019. Disponível em: http://ric.cps.sp.gov.br/bitstream/123456789/4011/1/20192S_CASTROCarlaDailade_OD0796.pdf. Acesso em: 02 jun. 2022.

ELLAMATRICE, P.M. **Biodegradação e toxicidade de corantes têxteis e efluentes da ETA de Americana.** Tese (Doutorado em Ecologia de Agro ecossistemas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.2005.

DE ARAÚJO, Maria Eduarda Machado. Corantes naturais para têxteis—da antiguidade aos tempos modernos. **Conservar patrimônio**, n. 3-4, p. 39-51, 2006. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/5136/513653427004.pdf>. Acesso em 20 jun.2022.

DINIZ, Juliana Furian; FRANCISCATTI, Patricia; SILVA, Taís Larissa. < b> Tingimento de Tecidos de Algodão com Corantes Naturais Açafrão (Cúrcuma) e Urucum. **Iniciação Científica CESUMAR**, v. 13, n. 1, 2011. disponível em: <https://periodicos.unicesumar.edu.br/index.php/iccesumar/article/view/1903/1231A> cesso em: 05 jun.2022.

FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE MINAS GERAIS – FIEMG. **Guia Técnico Ambiental da Indústria Têxtil.** 2014.

FERREIRA, D. D. M *et al.* **Gestão do processo têxtil - contribuições à sustentabilidade dos recursos hídricos.** Santa Catarina. Disponível em:<http://www.excelenciaemgestao.org/Portals/2/documents/cneg5/anais/T8_0177_0695.pdf> Acesso em: 8 jun. 2022.

FERREIRA, Eder Lopes. **Tingimento vegetal: teoria e prática sobre tingimento com corantes naturais.** São Paulo: Ministério do Meio Ambiente, 2005.

Produção De Corantes Naturais Para A Industria Textil

JACKMAN, R. L. AND SMITH, J. L. Anthocyanins and Betalains. In: Hendry, G.A.F.; Houghton, I.D. (Eds). **Natural Food Colorants** (2. ed.). Glasgow: Blackie Academic and professional, p.249- 250, 1996.

LEÃO, M. D. *et al.* **Controle ambiental na indústria têxtil: acabamento de malhas**. Projeto Minas Ambiente. Editora Segrac. Belo Horizonte, 2002.

LIMA, F. Oliveira; BEZERRA, A. S. Flavonoides e radicais livres. **Disciplinarum Scientia**. 13 (1): 111-124. (2012).

NUNES, Giovanna Ribeiro. **Geração e tratamento de efluentes da indústria têxtil**. 2019. 69 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Química, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2019 Disponível em: file:///C:/Users/wagne/Downloads/GeracaoTratamentoEfluentes%20(6).pdf. Acesso em: 02 jun. 2022.

NARIMATSU, Bárbara Mayume Galeti *et al.* Corantes naturais como alternativa sustentável na indústria têxtil. **Revista Valore**, v. 5, p. 5030, 2020. Disponível em: <https://revistavalore.emnuvens.com.br/valore/article/view/507/421>. Acesso em: 02 jun.2022.

OLIVEIRA, Leandro Gilson de. **Análise teórica conceitual sobre os resíduos industriais têxteis**. 2011. 34 f. TCC (Graduação) - Curso de Geografia e Meio Ambiente, Universidade “Presidente Antônio Carlos” – Unipac, Barbacena, 2011. Disponível em: <https://ri.unipac.br/repositorio/wp-content/uploads/2019/07/Leandro-Gilson-de-Oliveira.pdf>. Acesso em: 02 jun. 2022.

OLIVEIRA, Mônica Cristina Bácoli Teixeira de. **Aplicação dos corantes naturais urucum e casca de cebola no tingimento de tecidos planos: ensaios de solidez à lavagem e à fricção**. 2018. Disponível em: http://ric.cps.sp.gov.br/bitstream/123456789/3269/1/20182S_OLIVEIRAMonicaCristinaBacoliTeixeirade_OD0562.pdf. Acesso em: 08 jun. 2022.

PEIXOTO, A. M. *et al.* **Enciclopédia agrícola brasileira**. São Paulo, SP: Editora da Universidade de São Paulo, 2004.

PUNRATTANASIN, N. *et al.* Silk fabric dyeing with natural dye from mangrove bark (*Rhizophora apiculata* Blume) extract. **Industrial Crops and Products**, v. 49, p. 122–129, 2013. Disponível em: <https://coek.info/pdf-silk-fabric-dyeing-with-natural-dye-from-mangrove-bark-rhizophora-apiculata-blum.html>. Acesso em: 18 jun.2022.

Revista Textília, set. 2006. **História da Indústria Têxtil no Brasil**. Disponível em: <<http://www.fashionbubbles.com/moda/historia-da-industria-textil-no-brasil/>> Acesso em: 10 jun.2022.

Produção De Corantes Naturais Para A Industria Textil

REYNOSO, R.; GARCIA, F.A.; MORALES D.; MEJIA, E.G. Stability of Betalain Pigments from a Cactacea Fruit. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.45,p.2884-2889, 1997. Disponível em:<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPAT-2010/11550/1/PA09018.pdf>. Acesso em: 10 jun.2022.

SANTOS, Simone. Impacto ambiental causado pela indústria têxtil. **UFSC-Engenharia de Produção e Sistemas-PPGEP-Centro Tecnológico-Trindade-Florianópolis, SC, 1997.** Disponível em:https://abepro.org.br/biblioteca/ENEGERP1997_T60.PDF. Acesso em:02 jun.2022.

SCHIOZER, Adriana Lopes *et al.* **Estabilidade de corantes e pigmentos de origem vegetal.** 2013.Disponível em: file:///C:/Users/wagne/Downloads/1.pdf. Acesso em: 01 jun. 2022.

SILVA, GJF da *et al.* Formulação e estabilidade de corantes de antocianinas extraídas das cascas de jabuticaba (*Myrciaria ssp.*) Formulation and stability of anthocyanins's colorants formulated with peels jabuticaba (*Myrciaria ssp.*). **Alimentos e Nutrição Araraquara**, v. 21, n. 3, p. 429-436, 2010.Disponível em: <http://200.145.71.150/seer/index.php/alimentos/article/view/1256/1256>. Acesso em: 05 jun.2022.

SILVA, Márcia Gomes da. **Tingimento de seda e lã com corante natural eucalipto.** 2013. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Maringá. Disponível em: <http://repositorio.uem.br:8080/jspui/handle/1/3832>. Acesso em:10 jun.2022.

SILVA, Márcia Gomes da. **Corantes Naturais no Tingimento e Acabamento Antimicrobiano e Anti- UV de Fibras Têxteis.** Tese de Doutorado:Doutoramento em Engenharia Têxtil. Universidade do Minho: 2018. Disponível em:<http://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/56523/3/Tese%20Marcia%20o%20mes%20da%20Silv%20a.pdf>. Acesso em: 16 jun. 2022

SILVA, P. M. S. *et al.* **Cascas de árvores nativas como corante natural têxtil.** Disponível em:https://www.researchgate.net/profile/Patricia-Silva-10/publication/322865510_Cascas_de_arvores_nativas_como_corante_natural_texil/links/5a735d94a6fdcc53fe1469cf/Cascas-de-arvores-nativas-como-corante-natural-textil.pdf. Acesso em: 01 jun.2022.

STREIT, N.M.; CANTERLE, L.P.; CANTO, M.W.; HECKTHEUER, L.H.H. TheChlorophylls. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.35, n.3, p.748-755, 2005.Disponível em:<https://www.scielo.br/j/cr/a/dWwJymDzZRFwHhchRTpvbqK/abstract/?lang=pt>. Acesso em 20 jun.2022.

Produção De Corantes Naturais Para A Industria Textil

TONIOLLO, Michele; ZANCAN, Natália Piva; WÜST, Caroline. **Indústria têxtil: sustentabilidade, impactos e minimização.** In: VI Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental. 2015. p. 1-5. Disponível em: <http://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2015/V-029.pdf> . Acesso em: 01 jun.2022.

TORRESI, Susana I.; PARDINI, Vera L.; FERREIRA, Vitor F. O que é sustentabilidade? Química nova, v. 33, p. 1-1, 2010.

VALLE, C.B. do; EUCLIDES, V.P.B.; PEREIRA, J.M.; VALÉRIO, J.R.; PAGLIARINI, M.S.; MACEDO, M.C.M.; LEITE, G.G.; LOURENÇO, A.J.; FERNANDES, C.D.; DIAS-FILHO, M.B.; LEMPP, B.; POTT, A.; SOUZA, M.A. de. **O capim-xaraés (Brachiaria brizantha cv. Xaraés) na diversificação das pastagens de braquiárias.** Campo Grande: Embrapa Gado de Corte, 2004.



TINGIMENTO NATURAL EM ARTIGOS TÊXTEIS: UMA MEDIDA SUSTENTÁVEL.

NATURAL DYEING IN TEXTILE ARTICLES: A SUSTAINABLE MEASURE

Ivo Marcelo Andrietti Filho¹

Msc. Raquel Bonati Moraes Ibsch²

RESUMO

Considerando a importância dos produtos coloridos e seu impacto no meio ambiente na sociedade atual, o processo de purificação ecológica representa um avanço significativo no preparo têxtil, pois apresenta as vantagens técnicas de redução de substâncias sintéticas no processo na indústria têxtil. Considerando que o processo de tingimento têxtil é reconhecido como um dos processos industriais mais nocivos ao ambiente, é de extrema importância encontrar métodos alternativos e amigos do ambiente. Através desta pesquisa, foi possível concluir que diversos corantes naturais podem ser utilizados no processo do tingimento das fibras têxteis.

Palavras-chave: Tingimento. Natural. Corantes. Têxtil.

ABSTRACT

Considering the importance of colored products and their impact on the environment in today's society, the ecological purification process represents a significant advance in textile preparation, as it presents the technical advantages of reducing synthetic substances in the process in the textile industry. Considering that textile dyeing process is recognized as one of the most harmful industrial processes to the environment, it is extremely important to find alternative and environmentally friendly methods. Through this research, it was possible to conclude that several natural dyes can be used in the process of dyeing textile fibers.

Keywords: Dyeing. Natural. Dyes. Textile.

Acadêmico do curso de Engenharia Química da UNIFE. E-mail: ivomandrietti@unifebe.edu.br

Professora orientadora. Mestre em Engenharia Química. E-mail: raquel.moraes@unifebe.edu.br

Tingimento Natural Em Artigos Têxteis: Uma Medida Sustentável.

1. INTRODUÇÃO

A customização de tecidos não é uma prática recente. Há pelo menos 4.000 anos a humanidade já realiza esse tipo de atividade. Em lugares como o Peru pré-colombiano, a China e a Índia, a prática de misturar corantes ao algodão foi bastante comum por longos períodos de tempo. Por milênios, o tingimento de tecidos era uma prática artesanal. Os tecidos eram tratados e tingidos em pequenas oficinas caseiras. No entanto, com o avanço da indústria química e com a Revolução industrial, ocorrida a partir da segunda metade do século XVIII, os processos artesanais foram, aos poucos, se tornando parte da produção em larga escala (MARTINE, 1993; SACHS, 1994; HOBBSAWN, 1996).

Embora não seja possível afirmar com precisão quando as primeiras fibras têxteis passaram a receber o tingimento natural, achados arqueológicos indicam que o tingimento natural tem sido aplicado há, pelo menos 6.000 anos. Entre 4.000 e 3.000 a.C. o tingimento natural já estava estabelecido na China, Índia e América do Sul. Um achado arqueológico do Egito Antigo revelou material tingido de índigo datado de 2.500 anos a.C., além disso um cinto, foi encontrado em Tebas na tumba de Tutancâmon, que morreu em 1.352 a.C. cujo foi tingido com raiz de madder, que é uma espécie de herbácea da família das rubiáceas, originária da região do Mediterrâneo (TOMAZELI, 2020).

O uso de corantes naturais começou há milhares de anos, havendo evidências entre os artigos egípcios, China e Índia. No Brasil, os corantes naturais têm importante relação com sua história, a começar pelo nome do país, proveniente da madeira de Pau-brasil, importante fonte de corante vermelho no século XVI. (CHASSOT, 1994).

O uso da técnica de tingir é, portanto, milenar, sendo empregados, originalmente, corantes obtidos da própria natureza para tal fim. Com o crescimento da população e, conseqüentemente, do consumo, e mais tarde, com os avanços tecnológicos, foi necessário sintetizar os corantes a partir de matérias primas sintéticas, possibilitando assim aumentar em grande escala sua produção. Isto ocasionou a substituição dos corantes naturais pelos sintéticos, principais responsáveis pela poluição gerada nas indústrias têxteis atualmente e que apresentam extrema dificuldade de remoção no tratamento dos efluentes. Tais efluentes podem causar, se não forem tomados os cuidados necessários,

Tingimento Natural Em Artigos Têxteis: Uma Medida Sustentável.

impactos ambientais negativos e sérios fatores de risco à saúde humana (TRINDADE *et al.*, 2014; RAINERT *et al.*, 2017).

Segundo Konar e Samanta (2011) o tingimento com corantes naturais apresenta cores de tons bege e confortáveis, dificilmente conseguidos com corantes sintéticos, além dos pigmentos poderem ser extraídos de matérias primas que estão facilmente ao nosso redor, permitindo-nos uma gama de experiências com as cores. No entanto, existe uma grande dificuldade em se reproduzir as cores uma vez obtidas naturalmente, pois a quantidade de pigmento difere, em uma mesma planta, de uma parte para outra, de uma estação reprodutiva para outra e de um indivíduo para outro. Além disso, as tonalidades de cores são facilmente influenciáveis até mesmo pelo tipo de material utilizado para o processo, como as panelas ou mordentes (fixadores) utilizados.

Segundo a Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecção (ABIT), a indústria têxtil brasileira ocupa a quinta posição mundial em produção. No Brasil, é o segundo setor maior empregador da indústria de transformação, perdendo apenas para alimentos e bebidas juntos (ABIT, 2019).

Além disso, o aumento da procura de produtos têxteis e o aumento proporcional da sua produção, bem como a utilização de corantes sintéticos, contribuíram em conjunto para que as águas residuais de tingimento se tornassem uma das fontes substanciais de graves problemas de poluição nos tempos atuais. (OGUGBUE; SAWIDIS, 2011).

Atualmente, a indústria têxtil é responsável pela geração de muitos efluentes com elevados níveis de coloração, demanda bioquímica de oxigênio, sólidos suspensos e baixas concentrações de oxigênio dissolvido. Dentre outras espécies químicas presentes no meio, especial atenção tem sido dada aos corantes reativos, principalmente em função da sua elevada toxicidade e resistência ao ataque microbiano (KAMINATA, 2008).

Deste modo, a utilização de corantes naturais na indústria têxtil tem por objetivo minimizar os impactos ao meio ambiente e à saúde humana. O uso de corantes naturais já pode ser considerada uma opção factível à indústria têxtil, sendo possível obter diversos produtos tingidos com tais corantes.

Visto que atualmente os métodos de tingimento industrial possuem alto

Tingimento Natural Em Artigos Têxteis: Uma Medida Sustentável.

nível de poluição ambiental, este trabalho tem como objetivo fazer um levantamento bibliográfico a respeito de matérias-primas viáveis para a extração de corantes naturais, com possibilidade de uso na indústria têxtil, através de técnicas de tingimento natural. O presente estudo visou avaliar a viabilidade técnica do uso de pigmentos vegetais no tingimento de tecidos como alternativa à utilização de corantes sintéticos por meio do uso de insumos e técnicas com menor potencial poluidor, quando comparados aos métodos tradicionais de tingimento.

2. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

2.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

A pesquisa do presente estudo é classificada como exploratória e documental, de natureza qualitativa, utilizando como técnica de coleta de dados a pesquisa bibliográfica em teses, dissertações, artigos e revistas científicas, para apresentação da revisão de literatura e a busca por matérias-primas e métodos de extração para tingimento natural.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 CORANTES

Os corantes podem ser definidos como substâncias que, quando aplicadas a um substrato, fornecem cor por meio do processo de alteração (pelo menos temporariamente) de qualquer estrutura cristalina de uma substância colorida. Este material com considerável capacidade de coloração é amplamente utilizado em vários segmentos de indústria, incluindo a têxtil (OGUGBUE; SAWIDIS, 2011).

Estima-se que cerca de 10.000 tipos de corantes são produzidos em escala industrial, sendo cerca de 30% destes disponíveis para a indústria têxtil (GUARATINI e ZANONI, 2000).

Segundo Almeida *et al.* (2016) devido a sua estrutura química, os corantes

Tingimento Natural Em Artigos Têxteis: Uma Medida Sustentável.

se tornam moléculas de difícil degradação, permanecendo no meio ambiente por um longo período de tempo. Outro problema da utilização de corantes sintéticos, também relacionado a sua estrutura química, é que muitas vezes eles são compostos inibidores de microrganismos, fazendo com que sua chance de degradação natural no meio ambiente seja ainda menor.

Beltrame (2000) destaca os corantes mais agressivos em termos de poluição, são eles: corantes à cuba, os quais têm ótimas propriedades de fixação no algodão, mas podem causar sérios problemas ecológicos; corantes de enxofre, que produzem resíduos altamente tóxicos; corantes pré-metalizados, cujos mais comuns usam complexos estáveis de cromo, que também geram uma desvantagem ecológica no tratamento dos resíduos.

Em se tratando da conservação ambiental, o setor industrial precisa alterar sua forma de produção buscando alternativas menos impactantes ao ambiente. Em relação a crise ambiental, um dos setores que precisa ser observado mais de perto é a moda (NARIMATSU et al., 2020).

Segundo Almeida, Dilarri e Corso (2016), os corantes naturais podem ser considerados sustentáveis, renováveis e biodegradáveis, isso porque muitas plantas utilizadas são facilmente encontradas, possuem rápido crescimento e seu cultivo é simples, além de gerarem boas oportunidades econômicas para agricultores e para as indústrias com a proposta eco amigável.

Os corantes naturais, por sua vez, são extraídos de fontes como plantas, minerais e animais, são em sua grande maioria facilmente biodegradáveis. No entanto, são mais instáveis e por isso chamados “não-substantivos” necessitando do auxílio de fixadores (mordentes) que induzam a fixação da cor ao tecido, podendo para isso serem utilizados sais metálicos que tenham afinidade as duas partes e que, por meio de ionização, formarão ligações que irão facilitar a ligação entre pigmento e fibra. Além disso, segundo Rodrigues (2014), associar tanino a sais metálicos proporciona melhor resultado na fixação da cor ao tecido.

Os pigmentos envolvidos na fotossíntese são as clorofilas “a” e “b”. As clorofilas são os pigmentos naturais mais abundantes nas plantas, comuns em todas as células fotossintéticas (STREIT et al., 2005). A clorofila “a” é o pigmento utilizado na fase fotoquímica, enquanto os demais constituem os chamados

Tingimento Natural Em Artigos Têxteis: Uma Medida Sustentável.

pigmentos acessórios (KLUGE et al., 2005).

Picolli (2008) justifica que, sendo a luz um dos fatores a serem considerados como um problema para alguns corantes naturais, a escolha do segmento a ser aplicado é de grande importância para melhores resultados, por exemplo; utilizar em roupas noturnas.

Várias espécies nativas podem ser usadas como corantes naturais para tingir tecidos. Isso inclui o pinheiro-paraná (*Araucaria angustifolia*). Esta espécie pertence à fitogeografia da Mata Atlântica e existe nas seguintes vegetações: campo de altitude, florestas estacionais semidecíduais e florestas mistas. Ocorre nos estados de Minas Gerais, Rio de Janeiro, São Paulo, Paraná, Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Vários estudos avaliaram o uso desses corantes no tingimento de algodão, sendo demonstrado uma tecnologia ativa e viável (SILVA et al. 2021).

3.2 FIBRAS TEXTEIS

As fibras têxteis possuem várias fontes e esse critério é vulgarmente utilizado para sua classificação. As fibras podem ser de origem natural quando extraídas na natureza sob uma forma que as torna aptas para o processamento têxtil, ou de origem não natural quando produzidas por processos industriais (KUASNE, 2008).

As fibras de origem vegetal provêm de caules, folhas, frutos e sementes. Já as fibras animais são obtidas a partir do pelo de animais como, por exemplo, a lã da ovelha, e de secreções glandulares de larvas, no caso da seda, produzida pelo bicho-da-seda (PEZZOLO, 2013).

Entre as principais se encontram as fibras de algodão orgânico, linho e seda. Há que se considerar, portanto, que ao se trabalhar com tecidos naturais juntamente com corantes naturais, pode-se obter uma moda menos impactante ao ambiente, ou seja, realmente sustentável (NARIMATSU et al., 2020).

No século XVIII, na Europa, antes do aparecimento do algodão, as fibras utilizadas eram a lã, o linho e a seda. Mas já nos fins do mesmo século os Ingleses conseguiram fabricar um tecido a que deram o nome de "JULINE". Este tecido era composto de fios de algodão e de linho, sendo o seu sucesso tal que

Tingimento Natural Em Artigos Têxteis: Uma Medida Sustentável.

a sua fabricação era insuficiente para consumo, vendo-se as indústrias na necessidade de importarem grande quantidade de fio produzido em outros países (KUASNE, 2008).

3.3 EXTRAÇÃO DE PIGMENTOS NATURAIS

Em um estudo promovido por Narimatsu *et al.* (2020), optou-se pela utilização de corantes vegetais extraídos de raízes, folhas, flores e sementes, que originaram os corantes à base de açafrão, barbatimão, jatobá, erva-mate, hibisco e urucum.

No estudo de Cruz *et al.* (2007), foram analisados pigmentos foliares de três híbridos, sendo estes resultantes de cruzamentos entre *Bixa Orellana* tipos: fruto verde piloso X fruto vermelho liso.

Já o estudo de Kunz, *et al.* (2019) visou analisar a viabilidade técnica do uso de pigmentos vegetais no tingimento de tecidos como alternativa à utilização de corantes sintéticos por meio do uso de insumos e técnicas com menor potencial poluidor, quando comparados a um método tradicional. Foram analisadas a fixação dos corantes por meio da solidez à fricção e lavagem, bem como a brancura e hidrofinitude do tecido. Em relação ao efluente gerado, foram analisados o pH, turbidez, demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e a demanda química de oxigênio (DQO).

A extração do conteúdo de pigmentos foliares pode ser de caráter destrutivo ou não, baseando-se na absorvância e reflectância destes. O método destrutivo é o mais comum, utilizando solventes orgânicos, como a acetona 80% e o éter (LICHTENTHALER, 1987).

3.4 TINGIMENTO

Os materiais têxteis podem ser tingidos utilizando processos descontínuos, contínuos ou semi-contínuos. O tipo de processo utilizado depende de muitas características, incluindo o tipo de material como tal fibra, fio, tecido, construção de tecido e vestuário, bem como o tipo genérico de fibra, tamanho dos lotes de corantes e requisitos de qualidade no tecido tingido. Entre

Tingimento Natural Em Artigos Têxteis: Uma Medida Sustentável.

estes processos, o processo por lotes é o método mais comum utilizado para tingir materiais têxteis (PRZYSTAŚ; ZABŁOCKA-GODLEWSKA; GRABIŃSKA-SOTA, 2012).

Segundo o estudo realizado por Kunz, *et al.* (2019), segundo a norma brasileira NBR ABNT 10187/88, a solidez da cor é definida como a resistência da cor dos materiais têxteis aos diferentes agentes, aos quais possam ser expostos durante sua fabricação e uso subsequente. Determina, ainda, que as alterações e transferências de cor devem ser avaliadas visualmente em comparação a uma escala de tons de cinza padronizada e quantificada com números de 1 a 5, em que o valor 5 qualifica a não-transferência de cor e os valores 1 e 2 qualificam alta transferência, não têxteis comerciáveis.

3.4.1 Tingimento natural

Os processos de tingimento em substratos têxtil realizado a partir de matérias-primas vegetais, animais e minerais são caracterizados por não gerar danos ao meio ambiente, se extraídos de forma consciente, esses materiais podem trazer ao longo prazo uma melhoria para o desenvolvimento sustentável, uma das grandes preocupações da sociedade contemporânea (SANTOS, 2016).

Alguns exemplos de matérias-primas vegetais com potenciais usos para o tingimento natural:

- Folhas de eucalipto (*Eucalyptus*), são secas ao sol e após trituradas são adicionadas a água destilada, virando uma solução onde o extrato é utilizado para dar cor as fibras têxteis (SILVA, 2018);
- Sementes de urucum (*Bixa orellana L.*), o corante é o produto final da filtração do precipitado, obtido após a fervura das sementes em carbonato de sódio e acidificação do precipitado da reação. Pode também ser obtido pela fervura das sementes em acetato de etila. Outro método de extração do corante é a partir da solução de hidróxido de sódio (BALAN, 2017);
- Cebola (*Allium cepa*), pode ser utilizada somente a casca, que é deixada em solução por um período de tempo e após o líquido filtrado é utilizado no tingimento, ou pode ser triturada por completo e o filtrado obtido da emulsão é utilizado como tingidor (OLIVEIRA, 2018);

Tingimento Natural Em Artigos Têxteis: Uma Medida Sustentável.

- Curcuma (*Curcuma domestica Valet*), a planta é macerada e dissolvida em água destilada para então ser levada à fervura em banho-maria, sendo que o produto deste processo é filtrado e utilizado como corante (VANKAR, 2017);
- Hibisco (*Hibiscus sabdariffa*, *Hibiscus mutabilis*, dentre outros), por meio da extração realizada utilizando água destilada ou solução de hidróxido de sódio, a solução obtida é utilizada como corante (34) ou extraído por meio de etanol acidificado com ácido cítrico (BALAN, 2017);
- Cochonilha, sendo que o corante é obtido após um processo de maceração do inseto em moinho para obtenção de um pó fino, sendo este por sua vez adicionado ao hexano para a extração da cera. A mistura é agitada e filtrada, e do resíduo são extraídos os metabólitos potenciais a corante (CRIZEL, 2017);
- *Monascus sp*, onde por meio vegetal ou animal ocorre a captura dos carotenoides produzidos pelo fungo, que irão ser utilizados como corante (VENIL, 2020);
- *Fusarium oxysporum*, obtido após a fermentação do fungo em meio compatível, sendo que o caldo produzido é adicionado ao acetato de etila e em seguida a separação de fases, o corante é coletado (SILVA, 2013).

Para compreender melhor o processo de tingimento por corantes naturais, foi realizado um experimento com tecidos de origem natural (seda, algodão e linho) que foram tingidos com corantes naturais (açafraão, barbatimão, hibisco, jatobá, erva-mate e urucum), que deram origem às seguintes cores: tons de marrom, tons de amarelo e ocre, tons de rosa escuro ao claro, tons de marrom avermelhado, tons levemente esverdeados e crus e por fim, tons de laranja ao marrom. A partir dos resultados obtidos, verificou-se a possibilidade de utilização de tais corantes em escala industrial (NARIMATSU et al., 2020).

Num estudo de tingimento têxtil com o objetivo de restabelecer a prática do tingimento natural, a química analítica foi utilizada como ferramenta de investigação para controlar os resíduos e aperfeiçoar a tecnologia, com vista a colocar no mercado produtos de alta qualidade e o aproveitamento adequado dos recursos naturais foi utilizado como um corante natural. O estudo propôs sua



Tingimento Natural Em Artigos Têxteis: Uma Medida Sustentável.

interação com diferentes fibras (algodão, cânhamo e seda), e a interação de diferentes fixadores: acetato de cobre, acetato de ferro e cloreto de sódio. No decorrer do trabalho foram utilizados métodos analíticos e instrumentais, que são métodos de absorção atômica para análise de resíduos e planejamento de fatores para otimização do tingimento. A técnica de tingimento tem se mostrado eficaz, conforme comprovado pelo estudo de planejamento fatorial, que otimiza o tingimento por meio da análise da interação de influências, podendo-se comprovar na análise dos resíduos um método ambientalmente adequado (SCHMIDT; ANDRADE, 2020).

3.5 MÉTODOS PARA EXTRAÇÃO DE CORANTES NATURAIS

A bixina, pigmento majoritário do anato, é o único dos carotenóides isolados e identificados que possui um grupo carboxílico livre, sendo ele, portanto, um alvo potencial e seletivo para reação com NaOH e formação do sal da bixina, podendo a forma protonada ser reconstituída pela adição de um ácido (MERCADANTE *et al.*, 1999).

Os métodos de extração dos pigmentos da *Bixa orellana L.*, seja para determinação da composição química ou averiguação de atividades sobre organismos vivos, são realizados com o uso de solventes, tais como propilenoglicol, óleo, água pura e soluções alcalinas (SHUHAMA *et al.*, 2003). Dependendo do solvente utilizado, a extração pode ser mais ou menos seletiva, de acordo com as conveniências de cada trabalho (MERCADANTE *et al.*, 1999).

A extração de sementes de urucum com NaOH é um procedimento rápido, de fácil execução e baixo custo, podendo ser executada em aulas práticas de química orgânica (COSTA *et al.*, 2004).

O corante "*in natura*" foi extraído diretamente das sementes da planta *Bixa orellana* por extração em meio alcalino, seguido de purificação em meio ácido e secagem em estufa a 70 °C (COSTA; CHAVES, 2005). O corante líquido e o corante em pó "*in natura*" foram caracterizados por varredura em espectrofotômetro UV-VIS (UV-1650pc SHIMADZU) entre 300 e 700 nm obtendo-se uma banda máxima de absorção em 454 nm em ambos casos (BECHTOLD; MUSSAK, 2009).

Tingimento Natural Em Artigos Têxteis: Uma Medida Sustentável.

Hiscox & Israelstam (1979) sugeriram que o DMSO, sigla para a substância chamada de dimetilsulfóxido ou sulfóxido de dimetilo é um método superior ao da acetona na extração de clorofila a e b em algas verdes e para extração de pigmentos de plantas superiores.

O método da acetona é moroso, pois requer maceração e centrifugação, o que limita sua aplicação em situação de campo. Enquanto, o solvente DMSO requer apenas imersão do material foliar em um conhecido volume deste solvente, eliminando-se as etapas subsequentes (BARNES *et al.*, 1992).

O DMSO possui elevada capacidade de difusão através de membranas semipermeáveis, pois é altamente higroscópico e miscível em água em todas as proporções, sendo reconhecido também por sua eficácia como carreador de proteínas, o que proporciona agilidade no processo. (RONEN *et al.*, 1984)

Os resultados obtidos de Cruz *et al.* (2007) da extração, tanto de clorofila a quanto de clorofila b, pelos métodos de DMSO, foram superiores aos apresentados pelo método da acetona 80%, nos híbridos estudados de *B.orellana*. Estes resultados diferem, parcialmente, dos resultados obtidos por outros autores (BARNES *et al.*, 1992) que apontam para a ineficiência do DMSO na extração total da clorofila b em plantas *in vivo*. Em urucum, foi obtida uma maior razão entre clorofila a/b pelo método de extração da acetona 80% demonstrando, assim, a eficiência do DMSO como extrator de clorofila b para os híbridos em questão na condição de campo.

3.6 EXPERIMENTOS DE TINGIMENTO

No experimento realizado por Gonçalves *et al.* (2020), utilizou-se o tecido de poliamida com gramatura de 200 g/m² obtido de uma empresa têxtil da região de Blumenau, sem nenhum beneficiamento (cru).

Dognini *et al.* (2018), realizou seu experimento utilizando o urucum que foi colhido na cidade de Brusque – SC. As cápsulas foram abertas para a retirada das sementes. A quantidade de sementes utilizada foi de trinta gramas, estas foram divididas em quatro experimentos.

Após os tingimentos de Dognini *et al.* (2018), realizaram-se análises comparativas nos diferentes métodos de tingimento e entre as várias quantidades

Tingimento Natural Em Artigos Têxteis: Uma Medida Sustentável.

de eletrólitos adicionadas. Para realizar a análise de cor, utilizou-seo aparelho de espectrofotômetro (modelo Datacolor®). A análise de cor apresenta dados sobre a composição da cor fixada no tecido. No primeiro experimento com a adição da barrilha e do sal, houve uma intensificação na corconsiderável, mas a quantidade de carbonato de sódio está em excesso, tornando-se inviável economicamente e podendo haver problemas de má igualização devido a alta concentração de eletrólito.

No processo realizado por Kunz, *et al.* (2019), foram utilizadas três amostras de tecido 100 % algodão (tricoline) de 1 m² cada. Os tratamentos selecionados utilizaram como base para extração do corante a beterraba (*Beta vulgaris esculenta*), cascas de cebola (*Allium cepa*) e repolho roxo (*Brassica oleracea*).

O trabalho realizado por Kunz, *et al.* (2019), através de operações unitárias, primeiramente foi realizada a extração do corante de vegetais por meio de trituração, adição de H₂O, NH₃ e álcool Etilico 70%, filtração e tratamento de efluente. Posteriormente, foram realizadas várias analogias comportamentais e de qualidade do tecido como hidrofília, brancura, solidez à fricção e à lavagem. As características do efluente também foram analisadas (pH, turbidez, DBO e DQO) foram analisadas.

De acordo com Kunz, *et al.* (2019), os resultados foram significativos nos diferentes materiais têxteis, através da utilização dos corantes naturais, constata-se a viabilidade da substituição dos corantes químicos. Os tecidos apresentaram tingimento satisfatório ao método utilizado, obtiveram resultados de solidez equiparáveis aos tecidos tingidos industrialmente, com levedesbotamento ao secar e heterogeneidade em algumas áreas do tecido. Todavia o tecido tingido com repolho roxo apresentou pequenos pontos isolados de ferrugem, que sugerem alguma falha na etapa de mordentagem utilizando o NH₄Fe(SO₄)₂. Após a purga do tecido foi possível analisar o grau de limpeza efetuado, quantificando sua brancura e sua hidrofília.

Os testes de solidez à fricção apresentaram valores entre 4 e 5 para todos os tecidos. O tecido tingido com repolho roxo obteve o maior resultado entre os tingidos utilizando a metodologia experimental, enquanto os tingidos com beterraba e casca de cebola apresentaram resultados entre 4 e 5. Todos os

Tingimento Natural Em Artigos Têxteis: Uma Medida Sustentável.

tecidos tingidos industrialmente apresentaram o valor 5 para solidez à fricção e valores entre 4 e 5 para solidez à lavagem, o tecido semelhante ao tingimento com casca de cebola apresentou o menor resultado – 4,12, o que sugere que dentre todas as amostras, esta é a que mais transfere cor. Os referidos valores situam-se em intervalos próximos aos encontrados por Ibrahim *et al* (2011), que obtiveram valores, em testes de solidez à fricção, entre 4 e 5 para açafrão e hena, e 3 a 4 para casca de cebola.

Bechtold *et al.* (2006), encontraram valores, para o teste de solidez à lavagem, de 4 a 5 para framboesas, 5 para cerejas e 5 para uvas, denotando valores próximos aos encontrados.

Os valores de DBO e DQO apresentados por Kunz, *et al.* (2019), ficaram muito acima dos valores permitidos por legislação: valores entre 1.796,3 mg/L e 2.032,9 mg/L para DBO e 2.4316,8 mg/L e 2.6778,5 mg/L para DQO. É necessário, no entanto, salientar que os valores apresentados foram de efluentes coletados imediatamente após cada etapa do processo, não tendo passado por nenhum tipo de tratamento, o que se mostra extremamente necessário.

De qualquer modo, os processos utilizados para a extração dos corantes naturais configuram-se como menos agressivos e podem representar uma redução nos valores de DBO₅ e DQO de até metade dos encontrados em processos industriais, como evidenciado por Haddar *et al.* (2014).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Por meio do experimento de Kunz, *et al.* (2018), principalmente, pode-se concluir que a metodologia experimental utilizada é eficiente em processos artesanais de tingimento de tecidos, mas carece de aprimoramento de seus métodos para a fixação e uniformidade das cores.

De acordo com o estudo de Dognini *et al.* (2018), com o corante natural urucum, produtos com menos poluição ambiental e agressividade ao meio ambiente estão se tornando cada vez mais atrativos, por outro lado, precisamos aumentar a produção industrial.

Em relação ao processo de tingimento, muitas vezes é difícil observar a interação entre as moléculas do corante natural e as fibras do tecido e posterior

Tingimento Natural Em Artigos Têxteis: Uma Medida Sustentável.

fixação. Devido à baixa afinidade química, é necessário um mordente para melhor aderência ao corante, e isso acontece. Mordentes (agentes fixadores) são geralmente sais de elementos inorgânicos, como cloreto de sódio (NaCl), ferro ou cobre; eles atuam complexando moléculas de corante para alterar sua estrutura de fibrila, fixando assim a cor no tecido (SCHMIDT; ANDRADE, 2020).

É necessário considerar a imprevisibilidade das cores, a incapacidade de reproduzi-las e seu elevado grau de degradabilidade como características que exigem cuidados especiais com os tecidos tingidos artesanalmente, principalmente durante a lavagem, amaciamento e secagem dos mesmos.

Alguns autores, como Ibrahim *et al.* (2011), Bechtold *et al.* (2006), Yusuf *et al.* (2017), obtiveram resultados semelhantes, mas ponderaram que é possível reduzir a imprevisibilidade das cores ao serem padronizados certos parâmetros, como pH, temperatura e tempo de execução do processo de extração dos corantes naturais. No entanto, ressalta-se que cada corante requer cuidados distintos, dificultando a padronização em grande escala.

Os efluentes gerados no processo de tingimento natural, apesar de apresentarem grande quantidade de matéria orgânica, são mais facilmente tratados por processos biológicos, uma vez que na maioria dos processos utiliza-se consideravelmente menor quantidade de materiais químicos e sintéticos quando comparado à indústria têxtil e não possuem em sua composição substâncias xenobióticas e recalcitrantes, tornando o processo de tratamento desses efluentes viável.

É possível, no entanto, que por meio de pesquisas mais avançadas, haja o aprimoramento da técnica, reduzindo assim o teor de matéria orgânica nos efluentes gerados, menor consumo de água e diminuição de utilização de substâncias químicas e mordentes, que também constituem um componente tóxico na cadeia produtiva do tecido quando utilizado em grandes quantidades. Propõem-se, ainda, pesquisas para verificar a possibilidade e eficiência de se utilizar compostos alternativos que substituam algum dos propostos nessa metodologia em busca de tornar o processo menos oneroso e ambientalmente sustentável (Kunz, *et al.*, 2018).

Analisando os resultados dos autores apresentados pode-se observar a complexidade referente a utilização de corantes naturais na indústria têxtil,

Tingimento Natural Em Artigos Têxteis: Uma Medida Sustentável.

principalmente pela replicabilidade de cores e viabilidade de processos específicos que demandam maiores compreensões do tema abordado.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através deste trabalho de pesquisa, pode-se concluir que diversos métodos de tingimento com corantes naturais podem ser considerados viáveis, considerando os parâmetros de qualidade e sustentabilidade. De acordo com o conteúdo estudado, pode-se desenvolver métodos qualificados para introduzir no mercado novos produtos voltados para a sustentabilidade, o empreendedorismo e a integração social a fim de minimizar os problemas socioeconômicos e socioambientais. Principalmente porque, cada vez mais, busca-se por produtos menos poluentes e agressivos ao meio ambiente, além da necessidade de produção industrial em maior escala e com aumento de produtividade.

REFERÊNCIAS

ABIT. Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecção. Disponível em: www.abit.org.br. Acesso em: 18 maio 2022.

ALMEIDA, E. J. R.; DILARRI, G.; CORSO, C. R. **A indústria têxtil no Brasil:** Uma revisão dos seus impactos ambientais e possíveis tratamentos para os seus efluentes. Departamento de Bioquímica e Microbiologia, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro – SP, 2016.

BALAN, Doralice de Souza Luro. **Corantes naturais de aplicação têxtil:** avaliação preliminar da toxicidade de urucum *Bixa orellana* L. (Malvales: Bixaceae) e hibisco *Hibiscus sabdariffa* L.(Malvales: Malvaceae). Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade, 2017. ISSN 2359-1412.

BARNES, J.D.; BALAGUER, L.; MANRIQUE, E.; ELVIRA, S.; DAVISON, A.W. 1992. **A reappraisal of the use of DMSO for the extraction and determination of chlorophylls a and b in lichens and higher plants.** Environmental and

Tingimento Natural Em Artigos Têxteis: Uma Medida Sustentável.

Experimental Botany,32: 85- 100.

BECHTOLD, T., MUSSAK, R., MAHMUD-ALI, A., GANGLBERGER, E., GEISSLER, S. Extraction of natural dyes for textile dyeing from coloured plant wastes released from the food and beverage industry. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, 86, 2006, 233-242.

BECHTOLD, T.; MUSSAK, R. **Handbook of Natural Colorants**. Leopold-Franzens University, Austria. John Wiley & Sons Ltd. 2009. ISBN: 978-0-470-51199-2.

BELTRAME, Leocádia Terezinha Cordeiro. **Caracterização de Efluente Têxtil e Proposta de Tratamento**. Dissertação de Mestrado, UFRN, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Área de concentração: Pesquisa e Desenvolvimento de Tecnologias Regionais, Natal: 2000.

CHASSOT, A. A. **Ciência através dos Tempos**. 14^a. Diss. Ed., S. Paulo: Moderna, 1994.

COSTA, Charllyton Luis S. da Costa *et al.* Extração de pigmentos das sementes de Bixa orellana L: Uma alternativa para disciplinas experimentais de química orgânica. **Extração de pigmentos das sementes de Bixa orellana L: Extração de pigmentos das sementes de Bixa orellana L**, Universidade Federal do Piauí, v. 28, ed. 1, p. 149-152, 9 set. 2004. Disponível em: <http://old.scielo.br/pdf/qn/v28n1/23053.pdf>. Acesso em: 24 maio 2022.

CRIZEL, Rosane Lopes. **Prospecção de pigmentos produzidos por cochonilhas Ceroplastes spp. para aplicação em alimentos**. Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas. Pelotas, 2017.

CRUZ, Ana Claudia Ferreira da *et al.* Métodos Comparativos na Extração de Pigmentos Foliares de Três Híbridos de Bixa orellana L. **Métodos Comparativos na Extração de Pigmentos Foliares de Três Híbridos de Bixaorellana L.**,

Tingimento Natural Em Artigos Têxteis: Uma Medida Sustentável.

Revista Brasileira de Biociências, v. 5, p. 777-779, 2007. Disponível em: <http://old.scielo.br/pdf/qn/v28n1/23053.pdf>. Acesso em: 24 maio 2022.

DOGNINI, Deise Amorim, LOPO, Wallace Nóbrega, PAZA, Rosana. **Proposta metodológica na utilização de corantes naturais no tingimento de produtos 100% algodão com auxílio de eletrólito.** 6º Congresso Científico Têxtil e Moda. 2018.

FREYRE, G. **Casa-grande & Senzala:** formação da família brasileira sob o regime da economia patriarcal. 30ª ed. Rio de Janeiro: Record, 1995.

GONÇALVES, Marcel Jefferson *et al.* Estudo da viabilidade do tingimento da poliamida com corante natural de urucum. **Estudo da viabilidade do tingimento da poliamida com corante natural de urucum,** Universidade Regional de Blumenau, v. 9, p. 571-585, 2020.

GUARATINI, C. C. I.; ZANONI, M. V. B. Corantes têxteis. **Química Nova**, v.23, n.1, p.71-79, São Paulo, 2000.

HADDAR, W., BAAKA, N., MEKSI, N., ELKSIBI, I., FAROUK MHENNI, M. Optimization of an ecofriendly dyeing process using the wastewater of the olive oil industry as natural dyes for acrylic fibers. **Journal of Cleaner Production**, 66, 2014, 546-554.

HISCOX, J. D.; ISRAELSTAM, G. F. 1979. **A method for the extraction of chlorophyll from leaf tissue without maceration.** Canadian Journal of Botany. 57, 1332-1334.

HOBSBAWN, E. **Era dos Extremos:** O Breve Século XX: 1914-1991. São Paulo: Companhia das Letras, 1996.

IBRAHIM, N. A., EL GAMAL, A. R., GOUDA, M., MAHROUS, F. **A new approach for natural dyeing and functional finishing of cotton cellulose.** **Carbohydrate Polymers.** 82, 2010, 1205-1211.

Tingimento Natural Em Artigos Têxteis: Uma Medida Sustentável.

KUASNE, Angela. Curso Têxtil em malharia e confecção 2º módulo. **Curso Têxtil em malharia e confecção 2º módulo**: Fibras têxteis, Araranguá, p. 1-90,2008.

KAMINATA. Oswaldo Teruo. **Aproveitamento do lodo gerado no tratamento de efluente da indústria de lavanderia têxtil na produção de bloco de cerâmica vermelha**. Universidade Estadual de Maringá, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana, Maringá: PR, 2010.

KONAR, A. E SAMANTA, A. K. **Dyeing of Textiles with Natural Dyes**. India, 2011.

KUNZ, Luana Fraga Delfino *et al.* Análise Técnica E Ambiental do Tingimento Têxtil Com Corantes Vegetais. **Análise Técnica E Ambiental do Tingimento Têxtil Com Corantes Vegetais**, Universidade do Estado de Minas Gerais, v. 14, ed. 1, p. 7-13, 29 mar. 2019.

KLUGE, R.A.; LCB – 311. 2005. **Fisiologia Vegetal**: apontamentos de aulas teóricas de fotossíntese. ESALQ / USP.

LICHTENTHALER, H.K. 1987. **Chlorophyll and carotenoids**: pigments of photosynthetic biomembranes. In: COLOWICK, S.P.; KAPLAN, N.O. (Eds.) *Methods in Enzymology*, V. 148. San Diego: Academic Press. p.350-382.

MERCADANTE, A. Z.; Steck, A.; Pfander, H.; Briton, G.; *Phytochemistry* 1997, 46, 1379; Mercadante, A. Z.; Steck, A.; Pfander, H.; Briton, G; **Phytochemistry** 1999, 52, 135.

NARIMATSU, Bárbara Mayume Galeti *et al.* Corantes naturais como alternativa sustentável a indústria têxtil. **Corantes naturais como alternativa sustentável a indústria têxtil**, Universidade CESUMAR, Maringá/PR, p. 0-14, 6 jun. 2020.

OLIVEIRA, Mônica Cristina Bácoli Teixeira de. **Aplicação dos corantes naturais urucum e casca de cebola no tingimento de tecidos planos**: ensaios de solidez à lavagem e à fricção. Americana, 2018.

Tingimento Natural Em Artigos Têxteis: Uma Medida Sustentável.

PICOLLI, Heiderose Herpich. **Determinação do Comportamento Tintorial de Corantes Naturais em substrato de Algodão**: Dissertação de Mestrado, Florianópolis-SC, 2008.

PEZZOLO, Dinah Bueno. **Tecidos: história, tramas, tipos e usos**. 4. ed. rev. e atual. São Paulo: Senac São Paulo, 2013.

PRZYSTAŚ W, ZABŁOCKA-GODLEWSKA E, GRABIŃSKA-SOTA E. **Biological Removal of Azo and Triphenylmethane Dyes and Toxicity of Process By-Products**. Water Air Soil Pollut 2012; 223 (4) 1581-1592.

RAINERT, K. T.; Nunes, H.C.A.; GONÇALVES, M. J.; TAVARES, L. B. B.

Equilibrium, kinetic and thermodynamic studies on the removal of reactive dye RBBR using discarded SBS paperboard coated with pet as an adsorbent. Desalination and Water Treatment, v. 86, p. 203-2012. 2017. doi: 10.5004/dwt.2017.21299.

RODRIGUES, J. **A possibilidade da utilização de taninos como mordentes em corantes naturais amazônicos**. In: Colóquio de Moda. 10. Congresso Brasileiro de Iniciação Científica em Design e Moda, 1., 2014. **Anais...** p.1-12.

RONEN, R.; GALUN, M. 1984. **Pigment extraction from lichens with dimethylsulfoxide (DMSO) and estimation of chlorophyll degradation**. *Environmental and Experimental Botany*. 24: 239 - 245.

SANTOS, Adeilson Florencio Dos. Tingimento natural. **Tingimento natural: Medida sustentável para o segmento de moda gala dress**, Apucarana, p. 1-167, 2016.

SCHMIDT, Rita de Cássia dos Reis, ANDRADE, Henrique Carvalho de. **Tecnologia sustentável de tingimento de tecidos visando o controle de resíduos tóxicos, considerando a avaliação de estratégias para a geração**

Tingimento Natural Em Artigos Têxteis: Uma Medida Sustentável.

de renda. Braz. J. of Develop., Curitiba, v. 6, n. 7, p. 44743-44759 jul. 2020.

SHUHAMA, I. K.; Aguiar, M. L.; Oliveira, W. P.; Freitas, L. A. P.; J. **Food Engin.** 2003, 59, 93.

SILVA, Márcia Gomes da. **Corantes Naturais no Tingimento e Acabamento Antimicrobiano e Anti-UV de Fibras Têxteis.** Universidade do Minho Escola de Engenharia, 2018.

SILVA, P M S; ROSSI, QUEIROZ, T R S; COSTA, S A; COSTA, S M. **Corante extraído do pinhão para o tingimento de algodão e lã.** 2017. Disponível em: <http://www.cinm.org.br/cinm/anais/2017/03_03_01_Corante%20extra%C3%A3o.pdf>. Acesso em 10 de novembro de 2021.

SILVA, Wesley Santiago da. **Produção de pigmentos fúngicos e seu uso no tingimento de tecidos.** Dissertação (Mestrado) apresentada ao programa de Pós Graduação em Tecnologias para o Desenvolvimento Sustentável da Universidade Federal de São João Del Rei, Universidade Federal de São João Del Rei. Ouro Branco, Minas Gerais, 2013

STREIT, N.M.; CANTERLE, L.P.; CANTO, M.W.; HECKTHEUER, L.H.H. 2005. **As clorofilas.** Santa Maria: Ciência Rural, 35 (3):748-755.

TRINDADE, N. 8.; ROSSI, T.; ARAÚJO, M. C.; LEITE, A. S.; ROSA, J. M. **Otimização de processo:** estudo para a redução de água em tingimentos de algodão com pigmento urucum. II Congresso Têxtil e Científico de Moda - Contexmod. São Paulo. 2014. Disponível em <http://www.contexmod.net.br/index.php/segundo/article/view/195/0>.

TOMAZELI, Vanessa. **Um Pouco da História do Tingimento Natural:** História. [S. l.]: Pano da Terra, 8 jun. 2020. Disponível em: <https://panodaterra.com/blog/f/um-pouco-da-hist%C3%B3ria#:~:text=Embora%20n%C3%A3o%20seja%20poss%C3%ADvel%20afirmar,h%C3%A1%20pelo%20menos%206.000%20anos>. Acesso em: 22 maio 2022.

Tingimento Natural Em Artigos Têxteis: Uma Medida Sustentável.

VANKAR, Padma Shree. **Natural Dyes for Textiles Sources, Chemistry and Applications**. Elsevier Ltd, 2017.

VENIL, C.K.; Velmurugan, P.; Dufossé, L.; Renuka Devi, P.; Veera Ravi, A. **Fungal Pigments: Potential Coloring Compounds for Wide Ranging Applications in Textile Dyeing**. J. Fungi. 2020. <https://doi.org/10.3390/jof6020068>

YUSUF, M., MOHAMMAD, F., SHABBIR, M. Ecofriendly and effective dyeing of wool with anthraquinone colorants extracted from *Rubia cordifolia* roots: Optimization, colorimetric and fastness assay. **Journal of King Saud University – Science**, 29, 2017, 137-144.



ESTUDO DE VIABILIDADE E OTIMIZAÇÃO PARA INOVAR A LINHA DE PRODUÇÃO INDUSTRIAL DE ARGAMASSA DE REJUNTAMENTO

Eduardo Cordeiro de Macedo¹
Francisco Odisi²

RESUMO: O aprimoramento da linha de produção de uma empresa passa pela sua capacidade de inovações. Todo o processo que visa implantar novas tecnologias como misturadores, elevadores de canecas, embaladoras e enfardadoras para produção de argamassa de rejuntamento devem ser estudados por meio de fluxogramas detalhados e layout organizado. Os cálculos dos custos acompanhados de balanços de energia e massa, dispostos na forma de tabelas, auxilia nas tomadas de decisões sobre a viabilidade nos novos investimentos na linha de produção. Os estudos demonstraram uma redução geral de 33% em relação ao trabalho manual, aproveitamento total das embalagens, e redução 25% de perdas do produto, e embora haja um aumento considerável no consumo da energia elétrica, cujo o investimento é compensado pelo dobro da produtividade. Com a automação das operações unitárias básicas de fabricação da argamassa de rejuntamento envolvendo o peneiramento, misturador dos ingredientes, transporte, silagem e empacotamentos garantem a uniformidade produtiva com qualidade aceitável e segura do produto em embalagens de 1 kg com 1% de erro para mais, permitidos e controláveis, sem desperdícios desnecessários decorrentes de falhas operacionais.

Palavras-chave: Argamassa; Rejuntos; Processos.

1 INTRODUÇÃO

O aumento das construções civis, fez com que a demanda de argamassas crescesse no mercado. Esse crescimento estimulou a instalação de novas indústrias do setor e por outro lado desafiando as empresas existentes com melhorias e inovações.

¹Acadêmico do curso de Engenharia Química da UNIFE. *E-mail:* macedo.eduardo@outlook.com.br

²Professor orientador. Mestre. *E-mail:* francisco@unifebe.edu.br

Essas inovações trazem o desafio de investimentos para que haja reduções de custos mantendo a qualidade do produto. Segundo JACOSKI et al (2014), o setor das argamassas constitui importante foco de estudos no âmbito da tecnologia dos materiais e processos, com vistas à promoção da inovação, constituindo-se em um dos principais produtos empregados no mercado da construção civil mundial, e que se encontra em alta nas pesquisas por processos e métodos inovadores.

Este estudo aborda a viabilidade econômica em inovar o processo de produção da argamassa de rejuntamento. Como objetivo geral, busca-se estudar a viabilização econômica em investir na compra de uma máquina embaladora e enfardadora para a produção da argamassa de rejuntamento.

Como objetivos específicos, propõe: amenizar a perda de ingredientes durante a embalagem do rejunte e garantir a confiabilidade das inscrições constantes nas embalagens especialmente no que se refere ao peso do conteúdo final; substituir o misturador para homogeneizar o produto em menor tempo; diminuir número de funcionários na produção e amenizar erros de empacotamentos.

Devido ao desperdício encontrado na produção e a escassez de mão de obra, o estudo traz uma proposta de equilibrar o processo mantendo a qualidade do produto, sem sofrer desorganização por carência de profissionais no setor de argamassas.

Durante os estudos que visam o aperfeiçoamento da produtividade com menor perda, serão considerados diversos equipamentos para atender a nova demanda da máquina embaladora de argamassa de rejuntamento. Estes equipamentos como elevador de canecas e silo devem atender a nova demanda como dobro da produtividade.

Sendo assim, com os problemas em desperdícios de produto e embalagens, leva-se em consideração a importância da inovação, amenizando problemas diários, diminuindo custos nos processos e contribuindo com um melhor ambiente de trabalho viabilizando o investimento.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Com o crescimento do setor de construção civil a demanda de produção da argamassa de rejuntamento vem se destacando no mercado. Utilizada para impermeabilizar os espaçamentos deixados entre as cerâmicas, os rejuntos são produzidos através de um conjunto de operações unitárias. A Tabela 1 mostra as principais operações de equipamentos para a produção em escala industrial de rejunte.

Tabela 1: Equipamentos e controle de processos

Equipamentos	Temperatura de Trabalho	Pressão de Trabalho
Silos	22°C	1 atm
Peneira	22°C	1 atm
Esteira Transportadora	22°C	1 atm
Compressor	22°C	1 atm
Balança	22°C	1 atm
Misturador	22°C	1 atm
Rosca Transportadora	22°C	1 atm
Empacotador	22°C	7 bar

Fonte: Adaptado de FARIAS et al, 2017.

2.1 EQUIPAMENTOS

2.1.1 Silos

“Silos são equipamentos destinados ao armazenamento de grãos e materiais secos a granel cereais, cimento, cal, minérios em geral, materiais químicos” (OASIS INDUSTRIAL, 2017).

“Os silos fabricados para armazenando de matérias-primas para argamassase rejuntos são silos construídos em aço inoxidável, com a base cônica e com aberturade alimentação na parte inferior, conforme indicado pelo fabricante” (FARIAS et al., 2017, p. 233).

2.1.2 Peneira

“O peneiramento é uma operação unitária utilizada para separar os componentes de uma mistura heterogênea entre sólidos ou determinar o tamanho das partículas, podendo ser realizado de forma mecânica ou manual” (DE MATOS,2015).

Na linha de produção da argamassa de rejuntamento é importante manter os resultados granulométricos em ordem, devido ao rejuntamento em locais pequenos.

2.1.3 Esteira Transportadora

“As esteiras (ou correias) transportadoras são amplamente utilizadas em diversas atividades industriais, particularmente em transporte de grãos, produção de cimento, fertilizantes, mineração, papel e celulose, etc” (ZURICH, 2012).

Na produção da argamassa de rejuntamento, a maioria das esteiras trabalham de forma horizontal, transportando matérias-primas até o misturador para ocorrer a homogeneização.

2.1.4 Compressor

Alguns equipamentos no setor de argamassas necessitam de pressão para seu funcionamento. Sendo assim o compressor tem como finalidade fornecer ar para o seu melhor desempenho da produção.

2.1.5 Balança

Em toda linha de produção envolvendo materiais com alta quantidade de

grânulos a balança tem um papel fundamental. Em uma linha de produção da argamassa de rejuntamento, a balança tem como objetivo pesar a matérias-primas etambém o produto acabado, evitando o excesso de massa nas embalagens.

2.1.6 Misturador

“O objetivo básico de um misturador/homogeneizador de sólidos é atingir um grau de homogeneização que satisfaça os requisitos pré-determinados no menor tempo possível” (ENGENDRAR, 2021).

Segundo o Sebrae (2021) “os misturadores horizontais (tipo aletas/pás internas) tem um alto custo na aquisição, porém sua manutenção é uma das mais baixas entre os misturadores, fazendo seu custo-benefício um dos mais atraentes”.

2.1.7 Roscas transportadoras

É usada na produção de rejunte com a finalidade de transportar a mistura homogeneizada para o empacotamento do mesmo.

JMS (2021), fornecedor de roscas transportadoras, diz que estes equipamentos funcionam instalados na horizontal, vertical ou inclinada. Os equipamentos são desenvolvidos de acordo com o material a ser transportado e sua respectiva capacidade necessária, principalmente destinado a material granulado em unidades armazenadoras. Estas roscas transportadoras, hélices helicoidais podem ser fabricados em diversos materiais de acordo com sua aplicação. Elas podem ser acionadas através de polias e correias ou motor redutor conforme necessidade.

2.1.8 Embaladora

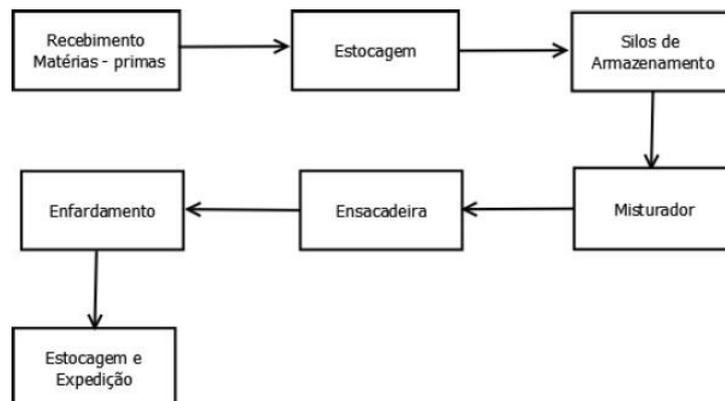
A máquina embaladora recebe a mistura homogeneizada pela rosca transportadora e separa a quantidade programada para cada embalagem. As embalagens devem conter a quantidade exata para que não haja perda, sendo assim, algumas máquinas mais recentes tem um sensor de pesagem facilitando seu processo.

2.2 Processos de Fabricação

2.3 Componentes da argamassa de rejuntamento

Segundo Farias et al (2017), as matérias-primas para o rejunte contém cimento branco, dolomita e pigmentos. Quando usadas (devido sua demanda menor) serão conduzidas até os seus respectivos silos de armazenamento, para então serem conduzidas ao misturador e assim ser embalados como ingredientes da argamassa de rejuntamento, enfardados e expedidos, como pode ser visto no diagrama de blocos a seguir:

Figura 1 – Diagrama de blocos do processo de fabricação.



Fonte: FARIAS et al., 2017.

A argamassa de rejuntamento é um conjunto de elementos em pó e diante disto, vale ressaltar-se de forma breve suas matérias-primas.

2.3.1 Aglomerante

“Os aglomerantes são materiais pulverulentos que se hidratam em presença de água formando uma pasta resistente capaz de aglutinar agregados, dando origem às argamassas e concretos” (RIBEIRO, 2000).

2.3.2 Agregado

Segundo Ribeiro (2000) considera como agregado uma denominação genérica dada aos materiais para se obterem as argamassas e concretos. De outro lado afirma ainda, que, os agregados apresentam-se em forma de grãos, tais como areias e britas, sendo que devem ser inertes, para não provocar reações indesejáveis no produto.

2.3.3 Polímeros

Ponciano (2011) afirma que os polímeros são encontrados na forma de pó redispersível melhorando a sua aderência e resistente à temperatura. Os polímeros atuam nas argamassas pré-fabricadas como aglutinante polimérico seco e são os principais responsáveis por uma boa aderência entre o substrato e o revestimento. Isso assume uma importância decisiva quando são utilizados materiais de baixa porosidade, onde não é possível uma fixação mecânica ou cimentação da argamassa necessitando da colagem química através da formação do filme polimérico colante.

2.3.4 Aditivos

Mehta e Monteiro (1994) citam que a “ASTM C 125 define o aditivo como

um material, além da água, agregados, cimentos hidráulicos e fibras, empregado como um constituinte do concreto ou argamassa e adicionado na betoneira imediatamente antes ou durante a mistura”.

Os aditivos na argamassa de rejuntamento têm como objetivo aumentar a qualidade do produto e melhorar sua aplicação, reduzindo a exsudação e segregação, retardando e acelerando o tempo de pega, aumentando sua plasticidade sem aumentar o teor de água e etc.

2.3.5 Pigmentos

Oliveira et al (1998) “definem pigmento um particulado sólido, orgânico ou inorgânico, branco, preto, colorido ou fluorescente insolúvel no substrato no qual venha a ser incorporado, que não reaja quimicamente ou fisicamente com este”. Ainda segundo estes autores, a classificação dos pigmentos pode ser de vários modos: com base na origem, cor, constituição química, método de preparação e uso.

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Diante do entendimento da sua natureza este estudo se caracteriza como pesquisa aplicada, quantitativa e exploratória. Esta pesquisa quantifica os dados de forma geral de um processo de fabricação de argamassa de rejuntamento, sendo de interesse o resultado da amostra visando melhorias.

Este trabalho constitui uma etapa inicial de um processo de pesquisa mais amplo, em que se procura esclarecer e definir a natureza de um problema e gerar mais informações que possam ser adquiridas para a realização de futuras pesquisas conclusivas.

Para a execução do trabalho realizou-se acompanhamento da produção da argamassa de rejuntamento, onde analisou-se passo a passo cada processo.

Iniciou-se acompanhando o abastecimento de dolomita nos silos, em seguida, transportou-se a dolomita através de roscas transportadoras até a

balança. Pesou-se a dolomita e despejou na esteira transportadora até o misturador. Em seguida realizou-se o mesmo procedimento com cimento e os pigmentos. Após o transporte das matérias primas até o misturador, misturou-se o mesmo até ocorrer a homogeneização. Logo, transportou-se o material homogeneizado até a máquina de empacotamento. Empacotou-se a argamassa de rejuntamento em uma massa de 1 kg, e por fim seguiu-se para o enfardamento, onde enfardou-se em fardos de até 20 kg.

A máquina que se encontra instalada atualmente na produção mede as quantidades conforme regulagem manual, baseado pela pressão da argamassa de rejuntamento com muita variação no peso final da embalagem contendo o produto.

4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

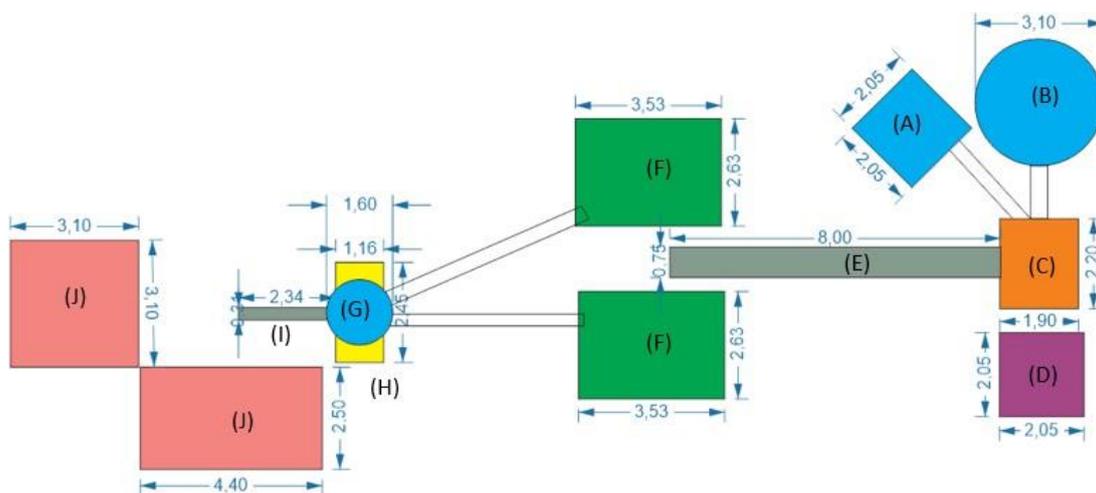
4.1 LAYOUT ATUAL DE PRODUÇÃO

Conforme ilustra a Figura 2, o processo atual funciona começando com o abastecimento dos silos (A e B). O silo A é abastecido com cimento cinza, enquanto o B é abastecido com dolomita. Cimento cinza é utilizado quando a produção está a fabricar cores cinzas, ou seja, as outras cores serão produzidas utilizando dolomita, cimento branco e pigmentos. Em seguida, através das roscas transportadoras, o material dos silos é transportado para a balança (C). Com o manuseio do operário é feita a pesagem do material até obter-se o peso sugerido pela fórmula de produção. Quando não é utilizado o cimento cinza, o operário faz o peneiramento do cimento branco (D), junto a balança. Feito a pesagem, esses materiais são transportados por uma esteira (E) até o misturador (F), onde ocorre a homogeneização. A pesagem dos pigmentos é feita de modo separado e inserido junto a esteira para o misturador. Com a homogeneização finalizada, a mistura é transportada por roscas até o silo (G), que acondiciona o material para o abastecimento da máquina embaladora (H), que se encontra abaixo do silo,

Estudo De Viabilidade E Otimização Para Inovar A Linha De Produção Industrial De Argamassa De Rejuntamento

conforme ilustra a figura 3. Com o produto embalado, é feito o transporte através da esteira (I) até o operário onde é realizado a pesagem do produto acabado, que em seguida, enfardará o produto em sacos de até 20 pacotes de 1kg cada. Feito isto, será estocado os fardos de 20kg na área (J), para que outro operário faça o selamento. E por fim, é feito o armazenamento ou o despacho para os clientes.

Figura 2 – Layout atual do processo de produção de argamassa de rejuntamento.



Fonte: O Autor, 2021.

Na produção atual, o processo conta com uma embaladora do ano de 1991, com capacidade de produção de 20 pacotes de 1 kg por minuto, como mostra a figura 3.

Figura 3 – Silo e atual máquina embaladora



Fonte: O Autor, 2021.

4.2 EMBALADORA

A etapa onde o produto é embalado pode apresentar variações no peso e por fim trazer prejuízo. No processo de pesagem de cada kg de argamassa de rejuntamento, o erro que é de 1% para mais.

A tabela 2 a seguir demonstra a média de peso em 1 minuto de trabalho retirada da máquina empacotadora atual.

Estudo De Viabilidade E Otimização Para Inovar A Linha De Produção Industrial De Arganassa De Rejuntamento

Tabela 2: Média de peso da empacotadora do atual.

CONTROLE DE PESO (g)			
1	1055	11	1050
2	1065	12	1035
3	1025	13	1040
4	1055	14	1040
5	1050	15	1075
6	1025	16	1050
7	1010	17	1035
8	1035	18	1020
9	1055	19	1035
10	1055	20	1045
MÉDIA			1042,75

Fonte: O Autor, 2021.

Diante dos resultados na tabela 2, observa-se erros contínuos de pesagem. Os números foram obtidos no acompanhamento da produção, junto ao operador responsável do empacotamento que também faz o acerto manual do peso final.

Em vista deste problema operacional frequente, calculou-se a perda e custo anual deste produto, conforme mostra a tabela 3 e tabela 4 a seguir.

Tabela 3 – Informações para o cálculo de perda e custo do produto.

SIGLAS	ESPECIFICAÇÕES	VALORES	UNIDADES
PI	Peso ideal (g)	1000	g
PE	Peso com 1% de erro (g)	1010	g
MP	Média de peso (g)	1042	g
HDT	Horas por dia de trabalho	9	h
M	Minutos	60	m
MS	Dias do Mês trabalhado	22	dias
ANO	Dias do Ano trabalhado	220	dias
PV	Preço de venda	1,42	R\$
PC	Preço de custo	0,56	R\$

Fonte: O Autor, 2021.

Estudo De Viabilidade E Otimização Para Inovar A Linha De Produção Industrial De Argamassa De Rejuntamento

Tabela 4 – Cálculo de perda e custo do produto.

CÁLCULO DE DESPERDÍCIO			
Por minuto (g)	MP-PE	32	g/m
Por hora (g)	32*M	1920	g/h
Por dia (g)	1920*HDT	17280	g/dia
Por mês (g)	17280*MS	380160	g/mês
Por ano (g)	17280*ANO	3801600	g/ano
CÁLCULO DE CUSTO, VENDA E LUCRO POR ANO			
Por ano, com 1% de erro	3801600 / PE	3763,96	kg
Valor de venda (VV)	3763,96 * PV	R\$ 5.344,82	R\$
Valor de custo (VC)	3763,96 * PC	R\$ 2.107,82	R\$
Valor de lucro	VV-VC	R\$ 3.237,01	R\$

Fonte: O Autor, 2021.

As informações especificadas na Tabela 3, detalham o raciocínio que se obteve para a realização do cálculo na Tabela 4, que mostra o cálculo das perdas médias ocorridas durante um ano de operações que é de 3763,96 kg.

Considerou-se o uso de (ano) com 220 dias desconsiderando os meses janeiro e dezembro, pois são meses com menos dias trabalhos devidos as férias coletivas e redução natural dos trabalhos de construção.

Os cálculos ilustrados na Tabela 4 definem o desperdício anual da argamassa de rejuntamento e seu custo.

Ressalta-se novamente que a média de desperdício obtida foi realizada acompanhando o processo da argamassa de rejuntamento.

No acompanhamento das pesagens das embalagens, constatou-se outro problema no processo da máquina embaladora. Após a mistura preencher a embalagem com a massa de 1kg, a máquina embaladora tem o processo de selamento da mesma. Segundo o operador, nesse processo de selamento há falhas mecânicas e ocasiona desperdícios de embalagens. Segundo o mesmo, são desperdiçadas em torno de 80 embalagens por dia. Portanto, calculou-se o valor de desperdício com as embalagens conforme demonstra a tabela 6:

Tabela 5 – Informações para o cálculo de desperdício de embalagem.

SIGLAS	ESPECIFICAÇÕES	VALORES
MED	MÉDIA DE EMBALANEGS POR DIA	80
VE	VALOR DE CADA EMBALAGEM R\$	0,18
MÊS	DIAS TRABALHADOS POR MÊS	22
ANO	DIAS TRABALHADOS POR ANO	220

Estudo De Viabilidade E Otimização Para Inovar A Linha De Produção Industrial De Argamassa De Rejuntamento

Fonte: O Autor, 2021.

Tabela 6 – Cálculo de desperdício de embalagem.

CÁLCULO DE DESPERDÍCIO DE EMBALAGEM		
MED*VE	R\$	14,40 por dia
14,4*MÊS	R\$	316,80 por mês
14,4*ANO	R\$	3.168,00 por ano

Fonte: O Autor, 2021.

No processo da argamassa de rejuntamento observou-se falhas mecânicas e operacionais. Os cálculos realizados trouxeram valores de desperdícios baseando-se em informações industriais.

A máquina embaladora possui uma potência de 3677,495 W para realizar o empacotamento e selamento dos pacotes. Portanto, calculou-se o consumo de energia da máquina de empacotamento atual, conforme a Tabela 7.

Tabela 7 – Informações técnicas sobre o consumo de energia elétrica da embaladora atual.

ESPECIFICAÇÃO	POTÊNCIA (W)	Nº HORAS TRABALHADOS POR MÊS	CONSUMO DE ENERGIA POR MÊS (Kw)	VALOR MÉDIO KWH (R\$)	CUSTO ENERGIA ELÉTRICA R\$
MOTOR	3677,495	198	728,14	0,75	546,1

Fonte: O Autor, 2021.

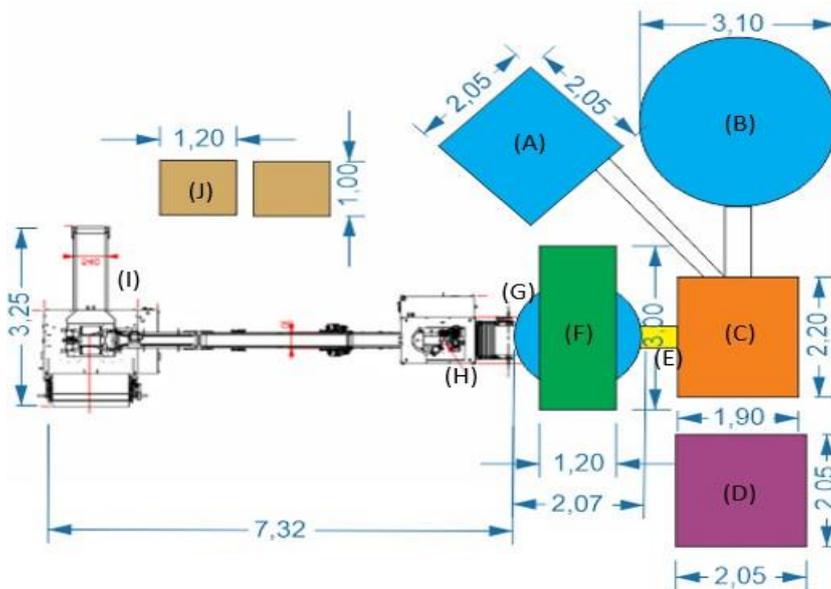
As informações foram cedidas pelo responsável de produção ao acompanhamento no processo.

4.3 LAYOUT PROPOSTO PARA PRODUÇÃO

Conforme mostra Figura 4, a nova linha de produção proposta terá a mesma base de abastecimento nos silos (A e B), o mesmo processo até a balança (C) e peneiramento do cimento branco (D). Entretanto, na frente da balança (C) será colocado um elevador de canecas (E), onde o pó já com sua pesagem ideal cairia no mesmo e seria transportado para o misturador Ribbon Blender (F). Após realizar-se a mistura, através de uma válvula borboleta o produto cairia no silo (G) embaixo do misturador (F). Com a mistura homogeneizada dentro do silo (G), roscas transportadoras enviarão o material até a nova máquina embaladora (H). A partir

disto, a mistura cairá na máquina para o processo de embalagem. Com o produto embalado, as embalagens serão transportadas através de esteiras até a máquina enfardadora (I). Com os enfardamentos realizados, o operário o transportará os fardos de 20 kg para a paletização (J). E por fim, o produto será armazenado ou despachado para os clientes.

Figura 4 – Layout da proposta linha de fabricação de argamassas de rejuntamento.



Fonte: O Autor, 2021.

4.4 MISTURADOR

4.4.1 MISTURADOR

A produção de argamassa de rejuntamento exige tempo para completar a homogeneização das matérias primas. Os misturadores utilizados para este processo têm capacidade de 1250 kg por hora, ou seja, a demanda dos outros produtos fabricados exige que a homogeneização ocorra mais rápida para que possam ser fabricados alinhadamente. Estes misturadores trabalham rotacionando verticalmente.

Estudo De Viabilidade E Otimização Para Inovar A Linha De Produção Industrial De Argamassa De Rejuntamento

A figura 5 ilustra o misturador utilizado na atual linha de produção de argamassa de rejuntamento. Apesar de antigo, esse misturador já sofreu alterações e pode se dizer que o seu modelo é semelhante a um misturador bicônico.

Figura 5 – Misturador atual.



Fonte: O Autor, 2021.

Este misturador possui um motor de 7354,99 W para efetuar a homogeneização. Sendo assim, calculou-se o consumo de energia elétrica do mesmo.

Tabela 8 – Informações técnicas sobre o consumo de energia elétrica do misturador atual.

ESPECIFICAÇÃO	POTÊNCIA (W)	Nº HORAS TRABALHADOS POR MÊS	CONSUMO DE ENERGIA POR MÊS (Kw)	VALOR MÉDIO KWH (R\$)	CUSTO ENERGIA ELÉTRICA R\$
MOTOR	7354,99	198	1456,288	0,75	1092,21

Fonte: O Autor, 2021.

4.4.2 MISTURADOR RIBBON BLENDER

Estudo De Viabilidade E Otimização Para Inovar A Linha De Produção Industrial De Arganassa De Rejuntamento

Figura 6 – Misturador Ribbon Blender.



Fonte: Máquinas Premiata, 2021.

Com o aumento de quantidade de pacotes por minuto, estuda-se a modificação e implementação de outros equipamentos, como a substituição do misturador que tem o objetivo diminuir o tempo de homogeneização das misturas em 50%. No tempo restante outros produtos podem ser homogeneizados como por exemplo: Autonivelante, pastilhas, rígido e flexível.

O misturador Ribbon Blender tem a capacidade de misturar 2500 kg em tornode 30 minutos. Possui uma potência de 22064,7 W. Sendo assim, calculou-se o seu consumo de energia na tabela 9.

Tabela 9 – Informações para cálculo do consumo de energia do misturador a ser implantado com 30cv.

ESPECIFICAÇÃO	POTÊNCIA (W)	Nº HORAS TRABALHADOS POR MÊS	CONSUMO DE ENERGIA POR MÊS (Kw)	VALOR MÉDIO KWH (R\$)	CUSTO ENERGIA ELÉTRICA R\$
MOTOR	22064,7	198	4368,81	0,75	3276,6

Fonte: O Autor, 2021.

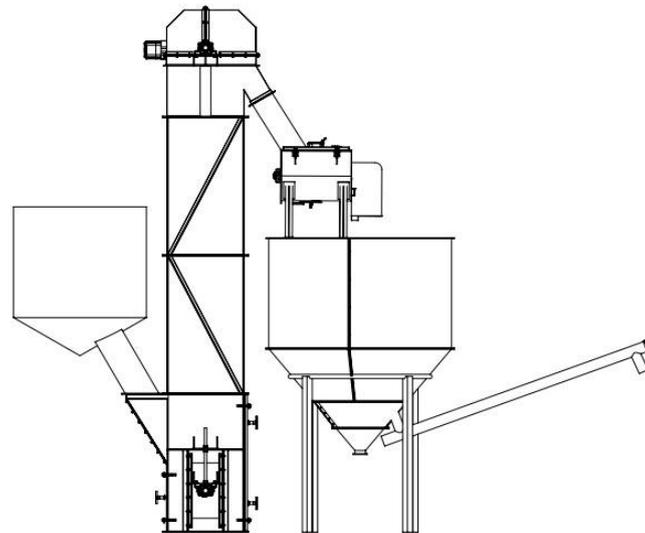
Com o aumento da capacidade de mistura devido ao novo misturador, o consumo de energia tende a crescer, como pode se observar na tabela 9.

Esse crescimento de energia neste processo é esperado devido a sua capacidade de homogeneização ser maior em menor tempo. O misturador Ribbon Blender também poderá ser utilizado na fabricação de outros produtos, e na

utilização de outros projetos.

4.4.3 ELEVADOR DE CANECAS E SILO

Figura 7 – Imagem ilustrativa da linha de produção proposta.



Fonte: O Autor, 2021.

Um elevador de canecas beneficiaria a produção devido seu baixo custo de manutenção.

Trata-se de um transportador vertical onde o produto é descartado pela ação da força centrífuga, fornecida quando as canecas passam pelo tambor de acionamento. Esse elevador deve ser regulado de forma correta para que a velocidade do mesmo não prejudique o destino do descarregamento do material no processo.

As canecas são movidas através de um motor de 5516,4 W. Devido a esse motor, calculou-se o seu consumo de energia na tabela 10.

Estudo De Viabilidade E Otimização Para Inovar A Linha De Produção Industrial De Argamassa De Rejuntamento

Tabela 10 – Informações técnicas sobre o consumo de energia elétrica do

ESPECIFICAÇÃO	POTÊNCIA (W)	Nº HORAS TRABALHADOS POR MÊS	CONSUMO DE ENERGIA POR MÊS (Kw)	VALOR MÉDIO KWH (R\$)	CUSTO ENERGIA ELÉTRICA R\$
MOTOR	5516,4	198	1092,21	0,75	819,16

elevador decanecas.

Fonte: O Autor, 2021.

4.5 EMBALADORA

Segundo o produtor da máquina MG 250, ela possui uma produção de 40 empacotamentos por minuto. Além disto, ela consta com uma balança própria e consensor de pesagem, onde trará mais precisão no empacotamento.

Além do setor de argamassas, essa embaladora é utilizada para embalar outros tipos de produtos, como arroz, açúcar e etc. Diante disto, a figura 8 traz características e informações técnicas da embaladora.

Figura 8 – Empacotadora automática e suas características técnicas.

Estudo De Viabilidade E Otimização Para Inovar A Linha De Produção Industrial De Arganassa De Rejuntamento



	MG 250
Largura da embalagem (mm) <i>Bag width / Ancho del embalaje</i>	75 a 250
Comprimento da embalagem (mm) <i>Bag length / Largo del embalaje</i>	65 a 350
Largura máxima do filme (mm) <i>Maximum plastic roll film / Ancho máximo de la bobina</i>	535
Largura mínima do filme (mm) <i>Minimum plastic roll width / Ancho mínimo de la bobina</i>	170
Velocidade mecânica (ciclos/min) <i>Mechanical speed (cycles/min) / Velocidad mecánica (ciclos/min)</i>	80
Diâmetro externo da bobina (mm) <i>External reel diameter / Diámetro externo de la bobina</i>	600
Diâmetro interno da bobina (mm) <i>Internal reel diameter / Diámetro interno de la bobina</i>	70 a 90
Tensão de trabalho (Volt) <i>Voltage / Tensión de trabajo</i>	220/440
Pressão de trabalho (bar) <i>Operating pressure / Presión de trabajo</i>	7
Peso do equipamento - sem dosador (kg) <i>Weight of equipment (without doser) / Peso del equipo (sin dosificador)</i>	1100

Fonte: Catálogo de produtos Indumak, 2021.

Sendo assim, com a precisão de pesagem já incluída na máquina é possível obter maior controle do peso ideal. Este controle de peso considera-se 1010 g em cada pacote devido a margem de erro de 1%, ou seja, o material empacotado deverá ter a massa entre 1000 a 1010 g. Devido a isto, calculou-se o custo da margem de erro de produção pela nova embaladora conforme a tabela 11 e tabela 12.

Tabela 11 – Informações para o cálculo de perda e custo do produto.

SIGLAS	ESPECIFICAÇÕES	VALORES	UNIDADES
PI	Peso ideal (g)	1000	g
PE	Peso com 1% de erro (g)	1010	g
MP	Média de peso (g)	1010	g
HDT	Horas por dia de trabalho	9	h
M	Minutos	60	m
MS	Dias do Mês trabalhado	22	dias
ANO	Dias do Ano trabalhado	220	dias
PV	Preço de venda	1,42	R\$
PC	Preço de custo	0,56	R\$

Fonte: O Autor, 2021.

Estudo De Viabilidade E Otimização Para Inovar A Linha De Produção Industrial De Argamassa De Rejuntamento

Tabela 12 – Cálculo de custo com margem de erro de 1%.

CÁLCULO DE DESPERDÍCIO			
Por minuto (g)	PE-PI	10	g/m
Por hora (g)	10*M	600	g/h
Por dia (g)	1920*HDT	5400	g/dia
Por mês (g)	17280*MS	118800	g/mês
Por ano (g)	17280*ANO	1188000	g/ano
CÁLCULO DE CUSTO, VENDA E LUCRO POR ANO			
Por ano, com 1% de erro	3801600 / PE	1176,24	kg
Valor de venda (VV)	3763,96 * PV	1670,26	R\$
Valor de custo (VC)	3763,96 * PC	658,69	R\$
Valor de lucro	VV-VC	1011,56	R\$

Fonte: O Autor, 2021.

Diante das informações levantadas, calculou-se o custo da margem de erro aceitável no processo de argamassa de rejuntamento na tabela 12. Lembra-se que essa margem de erro é usada para evitar quaisquer tipos de constrangimentos na venda do produto, ou seja, o produto deve ser vendido com a massa líquida entre 1000g a 1010g.

Além disto, calculou-se o consumo de energia da máquina embaladora proposta através das informações na Tabela 13.

Tabela 13 – Informações técnicas sobre o consumo de energia elétrica da embaladora MG250.

ESPECIFICAÇÃO	POTÊNCIA (W)	Nº HORAS TRABALHADOS POR MÊS	CONSUMO DE ENERGIA POR MÊS (Kw)	VALOR MÉDIO KWH (R\$)	CUSTO ENERGIA ELÉTRICA R\$
MOTOR	3500	198	693,00	0,75	519,75

Fonte: O Autor, 2021.

A informação da potência da máquina embaladora MG250 foi fornecida pelo fabricante.

4.6 EMFARDADORA

Com objetivo de reduzir o número de funcionários de 3 para 2 em turno único,

Estudo De Viabilidade E Otimização Para Inovar A Linha De Produção Industrial De Arganassa De Rejuntamento

pois a máquina completaria o processo, o empacotamento de 40 sacos por minuto pela máquina MG250 serão transportados por uma esteira transportadora até a máquina enfardadora MK, onde acontecerá o enfardamento e selamento do produto embalado, e economizando a mão de obra de uma pessoa.

A enfardadora MK é utilizado em linhas de produção onde requer velocidade de produção. Sendo assim, a figura 9 mostra suas características e informações técnicas.

Figura 9 – Enfardadora e suas características técnicas.



	MK 30	MK 40
Comprimento do fardo (mm) <i>Bag length / Largo del embalaje</i>	400 a 750	400 a 750
Largura máxima do filme (mm) <i>Maximum plastic roll film / Ancho máximo de la bobina</i>	1200	1400
Largura mínima do filme (mm) <i>Minimum plastic roll width / Ancho mínimo de la bobina</i>	600	600
Velocidade mecânica (ciclos/min) <i>Mechanical speed (cycles/min) / Velocidad mecánica (ciclos/min)</i>	15	12
Diâmetro externo da bobina (mm) <i>External roll diameter / Diámetro externo de la bobina</i>	500	500
Diâmetro interno da bobina (mm) <i>Internal roll diameter / Diámetro interno de la bobina</i>	70 a 90	70 a 90
Tensão de trabalho (Volt) <i>Voltage / Tensión de trabajo</i>	220 a 440	220 a 440
Pressão de trabalho (bar) <i>Operating pressure / Presión de trabajo</i>	7	7
Peso do equipamento (kg) <i>Weight of equipment / Peso del equipo</i>	1100	1200

Fonte: Catálogo de produtos Indumak, 2021.

O processo de enfardamento da máquina MK também fará uma economia de espaço na produção. O espaço (J) da figura 2 ficará livre para acessos de empilhadeiras, estocagem de materiais ou reaproveitamento do espaço com outro equipamento.

Portanto, com o aumento de número de máquinas no processo, realizou-se o cálculo de consumo de energia da máquina enfardadora, conforme ilustra a Tabela 14.

Tabela 14 – Informações técnicas sobre o consumo de energia elétrica da enfardadora MK.

ESPECIFICAÇÃO	POTÊNCIA (W)	Nº HORAS TRABALHADOS POR MÊS	CONSUMO DE ENERGIA POR MÊS (Kw)	VALOR MÉDIO KWH (R\$)	CUSTO ENERGIA ELÉTRICA R\$
MOTOR	5000	198	990,00	0,75	742,5

Fonte: O Autor, 2021

A informação da potência da máquina enfardadora MK foi fornecida pelo fabricante.

4.7 INVESTIMENTOS

Os equipamentos propostos para a inovação da linha de produção da argamassa de rejuntamento, foram orçados separadamente. As máquinas MG 250 e MK, os valores obtidos foram através do fornecedor. Por outro lado, o orçamento dos demais equipamentos foram simulados por uma empresa localizada na cidade de Ilhota – SC. Sendo assim, os valores de investimentos propostos para essa inovação na linha de produção de argamassa de rejuntamento se encontram na tabela 15.

Tabela 15 – Custo dos investimentos para otimização de processo.

INVESTIMENTOS	
MG 250 MK	R\$ 365.000,00
MISTURADOR ELEVADOR DE CANECAS SILO	R\$ 367.000,00
TOTAL	R\$ 732.000,00

Fonte: O Autor, 2021.

Vale ressaltar que os equipamentos, misturador, elevador de canecas e silo foram orçados com os valores de equipamentos novos. Existe a possibilidade de comprar os mesmos ao meio de pesquisas em sites de leilões e até em ferro velho desucatas, mas, olhando neste ponto de vista, os equipamentos usados teriam que realizar inspeções para ver a possível necessidade de reformas.

4.7.1 Custos dos processos

Com a possibilidade de inovação na linha de produção de argamassa de

Estudo De Viabilidade E Otimização Para Inovar A Linha De Produção Industrial De Arganassa De Rejuntamento

rejuntamento, é válido apresentar as economias que podem trazer esta inovação. A tabela 16 e 17 ilustra os valores dos custos de cada linha de produção, a atual e a proposta.

Tabela 16 – Custos do processo atual.

CÁLCULO DE CUSTOS NO PROCESSO ATUAL			
PESAGEM	DESPERDÍCIO	R\$ 3.237,01	por ano
EMBALADORA	ENERGIA	R\$ 5.461,08	por ano
EMBALAGENS	DESPERDÍCIO	R\$ 3.168,00	por ano
FUNCIONÁRIOS	3 FUNCIONÁRIOS	R\$ 89.127,00	por ano
MISTURADOR	ENERGIA	R\$ 10.922,16	por ano
TOTAL		R\$ 111.915,25	

Fonte: O Autor, 2021.

Tabela 17 – Custos no processo proposto.

CÁLCULO DE CUSTOS NO PROCESSO PROPOSTO			
PESAGEM	DESPERDÍCIO	R\$ 1.011,56	por ano
EMBALADORA	ENERGIA	R\$ 5.197,50	por ano
FUNCIONÁRIOS	2 FUNCIONÁRIOS	R\$ 59.418,00	por ano
MISTURADOR	ENERGIA	R\$ 32.766,48	por ano
ENFARDADORA	ENERGIA	R\$ 7.425,00	por ano
ELEVADOR DE CANECAS	ENERGIA	R\$ 8.191,62	por ano
TOTAL		R\$ 114.010,16	

Fonte: O Autor, 2021.

Observa-se que a linha de produção proposta oferece economias em desperdício de material por embalagem, energia elétrica na máquina embaladora e números de funcionários. Por outro lado, há maior consumo de energia no misturadore acréscimo de dois equipamentos na conta de energia. A diferença de custos destas linhas de produção é de R\$ 2094,91, ou seja, o processo proposto se torna mais caro, mas apresentam melhorias no processo e ambiente de trabalho.

O custo de funcionário foi baseado em salário bruto mais FGTS e vale alimentação, algo em torno de R\$ 2.193,00 por mês. Por outro lado, para o cálculo anual considerou-se o 13º salário.

Diante dos cálculos elaborados na tabela 16 e Tabela 17, identifica-se que o processo proposto terá um maior custo de produção. De outro modo, essa

otimização na linha de produção da argamassa de rejuntamento amenizará perdas e desperdícios de material além de duplicar a produção. Sendo assim, calculou-se a produção anual de cada máquina, e multiplicou-se pelo valor de venda e valor de custo conforme ilustra a tabela 18.

Tabela 18 – Cálculo de produção anual de cada máquina e lucro por ano.

PRODUÇÃO DE CADA MÁQUINA					
	HORA	DIA	MÊS	ANO	
MÁQUINA ATUAL	1.200	10.800	237.600	2.376.000	kg
MG 250	2.400	21.600	475.200	4.752.000	kg
CÁLCULO DO LUCRO POR ANO					
	R\$/PCT	MÁQUINA ATUAL	MG250		
PREÇO DE VENDA	R\$ 1,42	R\$ 3.373.920,00	R\$ 6.747.840,00		
PREÇO DE CUSTO	R\$ 0,56	R\$ 1.330.560,00	R\$ 2.661.120,00		
SALDO		R\$ 2.043.360,00	R\$ 4.086.720,00		

Fonte: O Autor, 2021.

Diante dos cálculos ilustrados na tabela 18, a máquina MG250 tem o dobro de produção e sucessivamente maior lucro de venda. Ressalte-se que nestes valores estão inclusos custos como logísticos, matéria prima, mão de obra e outros.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por todos esses aspectos, conclui-se que os investimentos propostos para a otimização da linha de produção de argamassa de rejuntamento devem ser analisados de forma dissociada. O estudo para investir nas máquinas embaladora e enfardadora apresentaram resultados esperados, pois a máquina embaladora aumentará a produção, amenizará as perdas em pesagens e embalagens, e por outro lado, a máquina enfardadora economizará em mão de obra.

Quanto ao investimento no misturador para fazer a homogeneização em menor tempo, esse estudo apresentou maior custo do que o equipamento atual, devido seu maior consumo de energia. Cabe a outros estudos e pesquisas para saber a viabilidade.

Estudo De Viabilidade E Otimização Para Inovar A Linha De Produção Industrial De Argamassa De Rejuntamento

Já o elevador de canecas é um investimento viável devido a seu baixo custo de manutenção em maior tempo de trabalho, mas, sua aplicação dependerá de estudos específicos para que sua implementação esteja dentro daquilo que a linha de produção possa oferecer.

O silo é um equipamento fundamental em setores que envolvem quantidades grandes de grãos e grânulos. Esse equipamento no setor de argamassas em geral é responsável por armazenar as matérias primas com maiores volumes. Em razão disto, o investimento em um silo deve ter estudos específicos para que não haja prejuízo na economia industrial. Além disto, pode ocupar espaços que poderiam ser reaproveitados por outros equipamentos ou armazenamentos de produtos e matérias primas.

Sendo assim, leva-se a crer que os investimentos para as inovações nos equipamentos de produção de argamassa de rejuntamento são viáveis. O acréscimo no consumo de energia elétrica em função do aumento considerável da potência do misturador é compensado pela diminuição das perdas dos produtos, aproveitamento total das embalagens, redução de mão de obra e aumento de produção de 20 para 40 pacotes por minuto.

REFERÊNCIAS

DE MATOS, Simone Pires. Peneiramento. *In: OPERAÇÕES unitárias - Fundamentos, Transformações e Aplicações dos Fenômenos Físicos e Químicos.* [S. l.: s. n.], 2015.p. 64.

ENGENDRAR. Misturador em V. *In: Equipamentos Industriais* . [S. l.], 2021. Disponível em: <http://www.engendrar.com.br/arquivos/boletim/misturador-v.pdf>. Acesso em: 27 ago. 2021.

FARIAS, Caroline Menegaz; GEREMIAS, Cleber; WOLFF, Fernanda; LONARDI, Gislaiane; DE CAMPOS, Karoline Mendes. Estudo da viabilidade técnico-

econômica para a instalação de uma indústria de argamassas e rejuntas. **Silos**, [s. /], p. 232-233, 2017. Disponível em:

<https://repositorio.animaeducacao.com.br/bitstream/ANIMA/4088/1/PCC%20corrigido%20197..%20%20%2015.12%281%29.pdf>. Acesso em: 27 ago. 2021.

INDUMAK. MG 250. [S. /], 2021. Disponível em:

https://d335luupugsy2.cloudfront.net/cms/files/42285/1528804785CATALOGO_IN DUMAK_MG-250.pdf. Acesso em: 23 set. 2021.

INDUMAK. MK 30 e MK 40. [S. /], 2021. Disponível em:

https://d335luupugsy2.cloudfront.net/cms/files/42285/1521573354CATALOGO_M K3 0_-_MK40.pdf. Acesso em: 23 set. 2021.

JACOSKI, Claudio Alcides; F. COSTELLA, Marcelo; RIGON, Mateus. ESTUDO PATENTOMÉTRICO DE ARGAMASSAS NO BRASI: Introdução. **XV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**, [S. /], p. 1157, 12 nov. 2014. Disponível em:

https://www.researchgate.net/profile/Claudio-Jacoski/publication/301434595_Estudo_patentometrico_de_argamassas_no_Brasil/links/5730a3b408ae100ae5573e28/Estudo-patentometrico-de-argamassas-no-Brasil.pdf. Acesso em: 10 nov. 2021.

JMS. Rosca transportadora. Disponível em:

<http://www.jmsequipamentos.com.br/roscatransportadora/>. Acesso em: 27 ago. 2021.

MATTAR, F. N. Pesquisa de marketing. 3.ed. São Paulo: Atlas, 2001.

MEHTA, P.K., MONTEIRO, P.J.M. Concreto: estrutura, propriedades e materiais. 1. ed. Editora PINI. São Paulo, 1994.

OASIS INDUSTRIAL SERVICE. Silos metálicos. Disponível em: <http://www.oasisindustrial.com.br/Silos-e-Moegas>. Acesso em: 27 ago. 2021.

OLIVEIRA, A.P.N; BONDIOLI, F. e MANFREDINI, T. Pigmentos Inorgânicos: Projeto, Produção e Aplicação Industrial. Santa Catarina, 1998.

PONCIANO, Pedro Paulo. ESTUDO DO DESEMPENHO DE REJUNTE FABRICADO COM AGREGADO DE MICROESFERAS DE VIDRO. **Polímeros**, [s. l.], 2011.

Disponível em:

https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/ISMS-8ZVGYQ/1/disserta_o_pedro_vi_tereza_revisada_08_de_outubro.pdf. Acesso em: 28 ago. 2021

PREMIATA. **Misturador Ribbon Blender**. [S. l.], 2021. Disponível em: <https://www.maquinaspremiata.com.br/produto/misturador-ribbon-blender>. Acesso em: 12 out. 2021.

RIBEIRO, C.C. Materiais de construção civil, 1ª Edição, Belo Horizonte, 2000.

SEBRAE. Equipamentos. *In: Como montar uma fábrica de argamassa e rejunte.* [S. l.], 2021. Disponível

em: <https://www.sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/ideias/como-montar-uma-fabrica-de-argamassa-e-rejunte,62497a51b9105410VgnVCM1000003b74010aRCRD>.

Acesso em: 27 ago. 2021.

ZURICH. Esteiras transportadoras. **INTRODUÇÃO**, [s. l.], 2012. Disponível em:

Estudo De Viabilidade E Otimização Para Inovar A Linha De Produção Industrial De Arganassa De Rejuntamento

https://www.zurich.com.br/-/media/project/zwp/brazil/docs/risk-engineering/publicacoes-tecnicas/informativo_risk_engineering_consolidado_esteiras_transportadoras_a02.pdf. Acesso em: 27 ago. 2021.

EXTRAÇÃO E APLICAÇÃO DE COAGULANTE VEGETAL À BASE DE TANINOPARA O TRATAMENTO DE EFLUENTES TÊXTEIS

EXTRACTION AND APPLICATION OF TANNIN-BASED VEGETABLE COAGULANT FOR THE TREATMENT OF TEXTILE EFFLUENTS

Cíntia Merisio Pedrini¹

Dra. Rafaela Bohaczuk Venturelli Knop²

RESUMO: Pesquisas comprovam que os resíduos vegetais, principalmente cascas deárvores, possuem propriedades que podem ser extraídas, como o tanino, que posteriormente, pode ser aplicado como coagulante no tratamento de efluentes têxteis. A indústria têxtil, de grande relevância na região do Vale do Itajaí, é responsável por gerar grande quantidade de efluentes oriundos do beneficiamento têxtil. Diante desse cenário, objetivou-se utilizar a casca de *Pinus taeda* e do *Eucalyptus grandis* para realizar a extração dos taninos em autoclave e aplicar como coagulante no tratamento de efluentes industriais têxteis. Para a extração dos taninos,utilizou-se como solventes, a água destilada, sulfito de sódio ou hidróxido de sódio. As soluções tânicas obtidas foram submetidas a ensaios *Jar test*, sendo utilizadas como coagulantes no tratamento de efluentes coletados em uma indústria têxtil da região. O solvente que obteve melhor resultado nas duas espécies, foi o sulfito de sódio. Em comparação ao eucalipto, o *Pinus taeda* apresentou-se mais eficaz no processo de coagulação e floculação do efluente em análise. Destaca-se ainda que opH do efluente obtido no tratamento atende o padrão imposto pela Legislação dos Recursos Hídricos do estado de Santa Catarina.

Palavras-chave: tratamento; efluente têxtil; coagulante vegetal; tanino.

ABSTRACT: *Researches prove that plant residues, mainly tree bark, have properties that can be extracted, such as tannin, which can later be applied as a coagulant in the treatment of textile effluents. The textile industry, of great importance in the Vale do*

Extração E Aplicação De Coagulante Vegetal À Base De Tanino Para O Tratamento De Efluentes Têxteis

Itajaí region, is responsible for generating a large amount of effluent from textile processing. In this scenario, the objective was to use the bark of Pinus taeda and Eucalyptus grandis to extract tannins in an autoclave and apply it as a coagulant in the treatment of textile industrial effluents. For the extraction of tannins, distilled water, sodium sulphite or sodium hydroxide were used as solvents. The tannic solutions obtained were submitted to Jar test tests, being used as coagulants in the treatment of effluents collected in a textile industry. The solvent that obtained the best results in both species was the sodium sulphite. Compared to eucalyptus, Pinus taeda was more effective in the coagulation and flocculation process of the effluent under analysis. It is also noteworthy that the pH of the effluent obtained in the treatment meets the standard imposed by the Water Resources Legislation in the state of Santa Catarina.

Keywords: *treatment; textile effluent; vegetable coagulant; tannin.*

1 INTRODUÇÃO

No contexto mundial da escassez de água, há uma demanda crescente por tecnologias que permitam o tratamento eficaz de efluentes em vários segmentos da indústria. A degradação do meio ambiente e suas repercussões na qualidade de vida denotam a importância da busca por metodologias capazes de promover a descontaminação das águas residuais.

A indústria têxtil é uma das indústrias de maior potencial poluidor, sendo reconhecida pela elevada demanda de água ($>100 \text{ L.kg}^{-1}$ de tecido produzido), e pela heterogeneidade dos produtos químicos sintéticos utilizados nos diferentes processos integrantes da produção, o que contribui para a geração de grandes volumes de um efluente extremamente complexo e variável (VAJNHANDL e VALH, 2014).

De acordo com o Instituto Nacional do Câncer, o EPA (Agência de Proteção Ambiental) e o ETAD (Associação sobre Ecologia e Toxicologia para Corantes e Pigmentos Orgânicos), alguns corantes são metabolizados em agentes

Extração E Aplicação De Coagulante Vegetal À Base De Tanino Para O Tratamento De Efluentes Têxteis

cancerígenos quando ingeridos por organismos aquáticos (SILVA, 2007). Além disso, seus efeitos podem ser observados a longo prazo, o que torna ainda mais relevante o tratamento adequado do efluente têxtil.

De acordo com Di Bernardo e Dantas (2005), os métodos de coagulação tradicionais utilizam sais de alumínio ou ferro, que permitem a clarificação do efluente gerado na indústria. Em contrapartida, o lodo residual formado por estes coagulantes, apresentam elevadas concentrações de alumínio ou ferro, normalmente entre 10.000 a 50.000 mg.kg⁻¹, gerando preocupações com a sua disposição final. Contudo, o alumínio é acumulativo no organismo, está relacionado a redução de neurotransmissores e tem sido apontado como um dos precursores do Mal de Alzheimer (MARTINS *et al.*, 2014). A partir dos estudos de Ferreira *et al.* (2008), evidenciou-se uma relação de 68.0% entre sais de alumínio e a Doença de Alzheimer.

Estudos vêm demonstrando que os resíduos vegetais podem ser utilizados para extração de tanino e ser aplicados como coagulantes no tratamento de efluentes líquidos. Os coagulantes são adicionados ao efluente com o intuito de reduzir a barreira de energia que impede a aproximação entre as partículas, criando condições para a aglutinação das mesmas e posterior extração por sedimentação (UNICAMP, 2021).

Deve-se ressaltar também que, o coagulante vegetal à base de Tanino, pode ajudar a eliminar o odor desagradável em estações de tratamento de efluentes, originado pela ação de microrganismos associados a grande quantidade de sulfato adicionada na etapa de coagulação. O sulfato, originário do coagulante tradicional Sulfato de Alumínio, é reduzido a Sulfeto, provocando o mau cheiro (CRUZ, 2004).

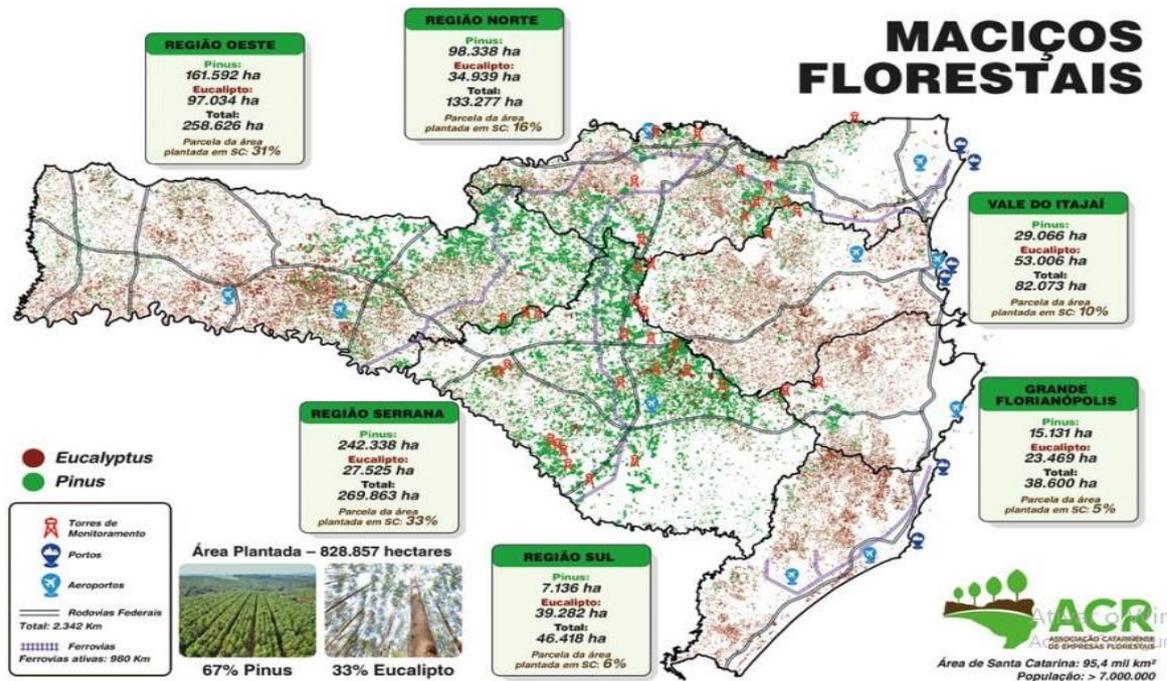
Segundo Teixeira (2003), os resíduos florestais como cascas de árvores, folhas e galhos, gerados pelas empresas de diversos segmentos industriais de base florestal não têm sido aproveitados corretamente devido ao desconhecimento de técnicas de extração de tanino ou à inexistência de tecnologias disponíveis a serem transferidas.

De acordo com o Anuário Estatístico de Base Florestal para o estado de Santa Catarina, a área com florestas plantadas em Santa Catarina é atualmente de 828,9

Extração E Aplicação De Coagulante Vegetal À Base De Tanino Para O Tratamento De Efluentes Têxteis

mil hectares. Desta totalidade, 67% (553,6 mil hectares) é ocupada com pinus e cercade 33% (275,3 mil hectares) com eucalipto, como demonstra a Figura 1. Os números apresentados no anuário demonstram a existência de, aproximadamente, 5,6 mil empresas relacionadas ao setor florestal madeireiro em atividade no estado de Santa Catarina.

Figura 1 - Mapa logístico florestal de 2020



Fonte: ASSOCIAÇÃO CATARINENSE DE EMPRESAS FLORESTAIS (2020)

Visto que Santa Catarina e principalmente a região do Vale do Itajaí possuem grande relevância no setor madeireiro, apresenta uma grande geração de resíduos de cascas de pinus e eucalipto que não são aproveitadas para extração de tanino vegetal, que pode ser aplicado como coagulante biodegradável no tratamento de água e efluentes.

Desse modo, este trabalho tem como objetivo reaproveitar a casca de Pinus e de Eucalipto para a extração dos taninos, bem como testar sua eficiência como coagulante no tratamento de efluentes gerados na indústria têxtil.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 TRATAMENTO DE EFLUENTES TÊXTEIS

Observa-se cada vez mais a necessidade de conscientização sobre os problemas relacionados à escassez e poluição de água. Logo, com a degradação do meio ambiente e suas repercussões na qualidade de vida, denota-se um grande interesse por parte das indústrias e principalmente de setores ambientais, pelo tratamento adequado dos efluentes oriundos de cada indústria.

O tratamento de efluentes, em geral ocorre em algumas etapas, geralmente denominadas de tratamento primário, secundário, terciário e quaternário. O tratamento primário consiste em procedimentos físicos com finalidade de remover sólidos grosseiros. O tratamento secundário possui função de remover elementos solúveis que não são removidos com métodos simples. Os tratamentos terciário e quaternário são etapas com aplicabilidade de retirar contaminantes específicos, não retirados previamente (HOPPER, 2007).

A Figura 2 demonstra um fluxograma simplificado das etapas existentes no processamento têxtil.

Figura 2 - Etapas do processamento têxtil



Fonte: Starling (2016)

A partir da Figura 2, pode-se observar a variedade de compostos químicos que podem estar presentes no efluente têxtil, gerando alta variabilidade e complexidade. Segundo VAJNHANDL e VALH (2014), tal variabilidade não ocorre apenas entre indústrias distintas, mas ocorre dentro de uma mesma indústria, o que depende do ciclo produtivo no qual ela se encontra, podendo, assim, influenciar negativamente a eficácia do tratamento biológico convencional, principalmente se considerados os compostos tóxicos presentes no efluente da indústria têxtil.

A indústria têxtil gera efluentes com composição extremamente heterogênea e uma grande quantidade de material tóxico e recalcitrante, o que torna seu tratamento difícil. Esses efluentes apresentam uma forte coloração, com grande quantidade de sólidos suspensos, pH altamente flutuante, temperatura elevada, grandes concentrações de Demanda Química de Oxigênio (DQO), considerável quantidade de metais pesados (ex. cromo (Cr), níquel (Ni) ou cobre (Cu)), compostos orgânicos clorados e surfactantes (CISNEROS; ESPINOZA e LITTER; 2002).

2.2 TANINOS VEGETAIS

O uso de uma matéria prima renovável, tal como os taninos vegetais, apresenta uma menor contribuição de ânions sulfatos ao lodo final, menor geração de massa de lodo, e obtenção de um lodo orgânico com maior facilidade de eliminação (CRUZ *et al.*, 2004).

São considerados taninos, os compostos fenólicos que precipitam proteínas, que podem ser encontrados na forma de monômeros, oligômeros e até polímeros de elevado peso molecular (TANAC, 2021).

A coagulação é o processo através do qual o agente coagulante adicionado à água, reduz as forças que tendem a manter separadas as partículas em suspensão. A floculação é a aglomeração dessas partículas por meio de transporte de fluido, formando partículas maiores que possam sedimentar (RICHTER & AZEVEDO NETO, 2007).

A denominação tanino é empregada para definir duas classes diferentes de

Extração E Aplicação De Coagulante Vegetal À Base De Tanino Para O Tratamento De Efluentes Têxteis

compostos químicos fenólicos, que são os chamados taninos hidrolisáveis e taninos condensados.

Desse modo, Sartorini (2012), afirma que “os taninos hidrolisáveis são os responsáveis pela defesa das plantas contra os herbívoros e os taninos condensados asseguram a defesa contra microrganismos patogênicos”. Ambos, contém fortes propriedades germicidas e são responsáveis pela durabilidade natural da madeira.

2.3 UTILIZAÇÃO DE TANINOS COMO COAGULANTE NO TRATAMENTO DE EFLUENTES

Segundo Cruz (2004), no ano de 1982 iniciou-se o desenvolvimento de produtos para substituir o uso de sais metálicos no tratamento de água e efluentes, buscando alternativas de utilização dos taninos, além do curtimento de couro. Objetivou-se a utilização de agentes coagulantes/floculantes oriundos de fontes renováveis e que fossem biodegradáveis após sua utilização, característica dada pela presença de açúcares na sua composição, que são facilmente degradados pelos tratamentos biológicos.

Atualmente, os taninos possuem uma vasta aplicabilidade em diversos setores das indústrias. “No entanto, uma aplicação que vem se destacando em relação às demais é a utilização dessas substâncias no tratamento de água como coagulante, substituindo assim os sais de alumínio e eventualmente os de ferro” (SKORONSKI *et al.*, 2014). Tais metais, a longo prazo podem ser precursores da contaminação do solo, da água e conseqüentemente dos seres vivos.

A esse propósito, “os taninos atuam em sistemas de partículas coloidais, neutralizando cargas e formando pontes entre estas partículas, sendo este processo responsável pela formação de flocos e conseqüente sedimentação” (GRAHAM *et al.*, 2008).

Portanto, na próxima seção, serão apresentados os procedimentos metodológicos utilizados para a extração dos taninos da casca do pinus e do eucalipto, para posterior aplicação como coagulante no tratamento de efluentes

têxteis.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

3.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

A pesquisa do presente estudo é classificada como experimental, de natureza aplicada, utilizando uma abordagem exploratória, tanto quali quanto quantitativa. Também, deve-se ressaltar a pesquisa bibliográfica em teses, dissertações, artigos e revistas científicas, para apresentação da revisão de literatura e a busca por metodologias experimentais.

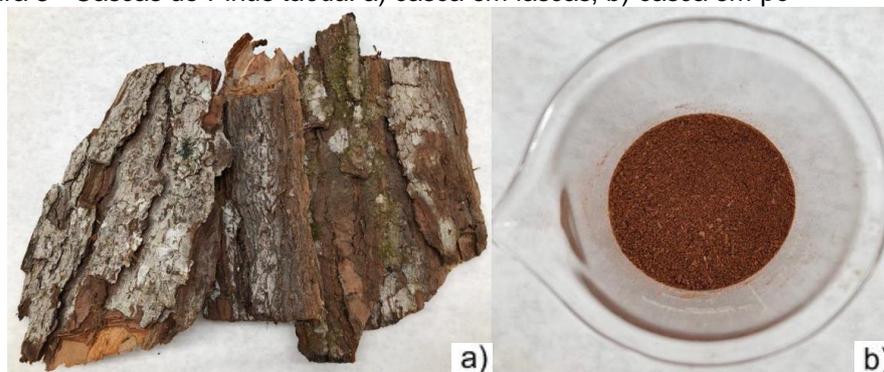
3.2 COLETA E PREPARAÇÃO DO MATERIAL

As amostras de cascas de *Eucalyptus grandis* e *Pinus taeda* foram coletadas em propriedade particular, situada no município de Botuverá - SC.

As cascas foram reduzidas a fragmentos menores com a utilização de um moinho de facas, e posteriormente secas em estufa a 80°C por duas horas. Após a secagem, o extrato foi macerado com o auxílio de um cadinho com pistilo e peneirado em peneira convencional de cozinha.

A seguir, nas Figuras 3 e 4, são apresentadas fotografias das cascas do eucalipto e pinus que foram utilizadas nas amostras para realização dos testes, bem como o extrato seco, pronto para aplicação do solvente e extração.

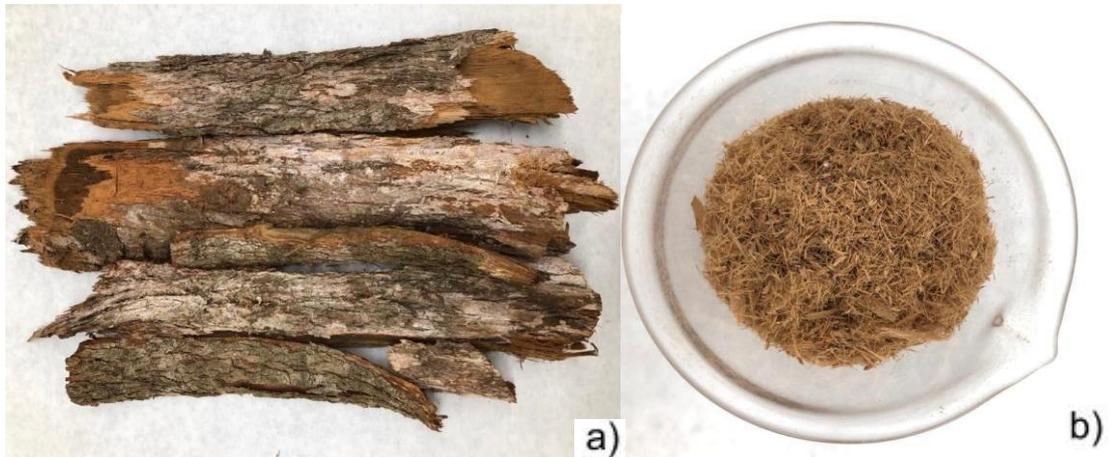
Figura 3 - Cascas de *Pinus taeda*. a) casca em lascas, b) casca em pó



Fonte: a autora (2021).

Extração E Aplicação De Coagulante Vegetal À Base De Tanino Para O Tratamento De Efluentes Têxteis

Figura 4 - Cascas de *Eucalyptus grandis*. a) casca em lascas, b) casca em pó

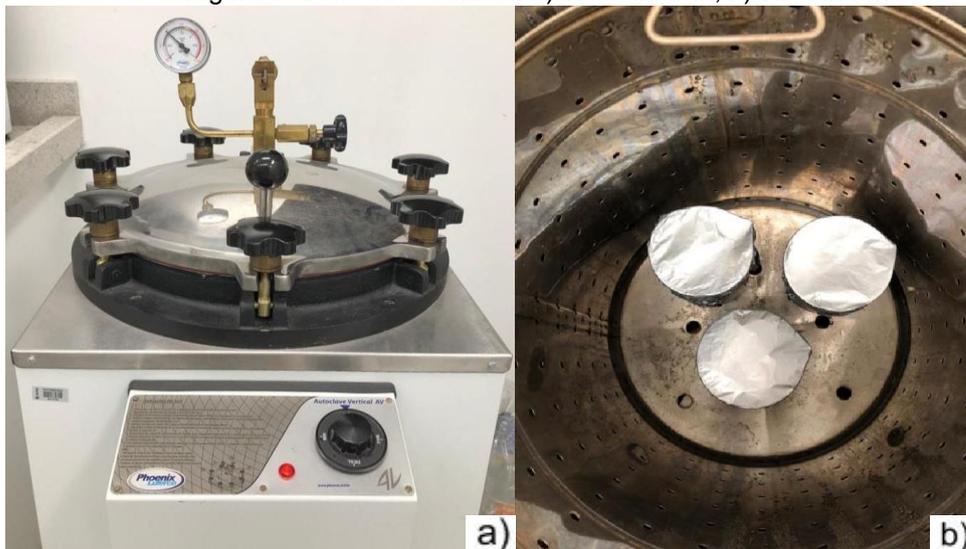


Fonte: a autora (2021).

3.3 EXTRAÇÃO DE TANINOS DO PINUS E EUCALIPTO

Os taninos foram extraídos em autoclave vertical, como ilustrada na Figura 5, com capacidade volumétrica de 15 litros e tampa dotada de manômetro e termômetro. Utilizou-se 1 Kg/cm^{-3} de pressão e uma temperatura de 120°C , por um período de 2 horas.

Figura 5 - Autoclave vertical. a) vista externa, b) vista interna



Fonte: a autora (2021).

Extração E Aplicação De Coagulante Vegetal À Base De Tanino Para O Tratamento De Efluentes Têxteis

Para realização dos testes, empregou-se uma relação licor:casca igual a 15:1.

Os tratamentos estão esquematizados na Tabela 1, abaixo:

Tabela 1 - Tipos de extração com solventes diferentes *Em relação ao peso seco da casca

Testes	Material	Espécie	Extração
P1	10g casca seca	<i>Pinus taeda</i>	H ₂ O destilada
P2	10g casca seca	<i>Pinus taeda</i>	H ₂ O destilada + 5% Na ₂ SO ₃ *
P3	10g casca seca	<i>Pinus taeda</i>	H ₂ O destilada + 10% NaOH*
E1	10g casca seca	<i>Eucalyptus grandis</i>	H ₂ O destilada
E2	10g casca seca	<i>Eucalyptus grandis</i>	H ₂ O destilada + 5% Na ₂ SO ₃ *
E3	10g casca seca	<i>Eucalyptus grandis</i>	H ₂ O destilada + 10% NaOH*

Fonte: a autora (2021).

Para cada teste utilizaram-se 10 g da casca em pó, juntamente com 150 mL de água destilada. Nos testes P2 e E2, alocou-se 5% de sulfito de sódio (Na₂SO₃) e nos testes P3 e E3, utilizaram-se 10% de hidróxido de sódio (NaOH) para alcançar maior teor de extração de polifenóis, conforme afirma Vieira *et al.* (2014). Os béqueres foram tampados com papel alumínio para evitar contaminações e obter a condensação do vapor d'água, mantendo assim o volume inicial de água e evitando uma possível perda de produtos por volatilização.

Após o ciclo completo da autoclave, no dia seguinte, peneira-se o produto com uma peneira convencional (Figura 6), a fim de separar o restante da casca, do licor extraído que contém o tanino.

Figura 6 - Solução obtida na autoclave após o peneiramento



Fonte: a autora (2021).

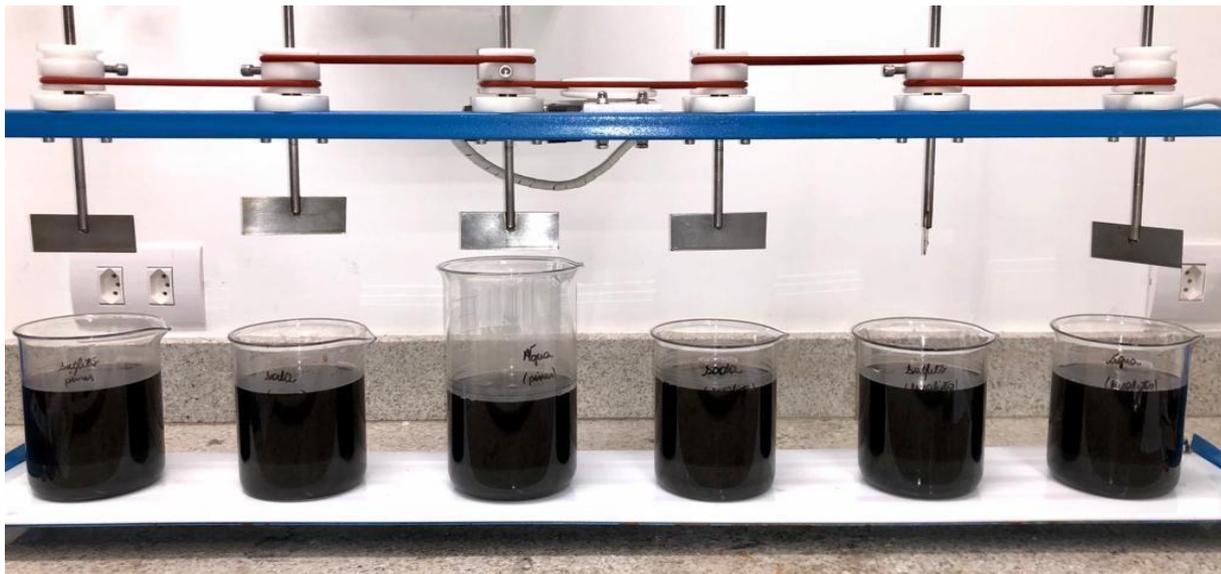
3.3 ENSAIO DE COAGULAÇÃO EM *JAR TEST* PARA SIMULAÇÃO NOTRATAMENTO DE EFLUENTE

O efluente bruto para utilização no ensaio de coagulação/floculação foi coletado em uma empresa de beneficiamento têxtil do Vale do Itajaí e armazenada em 2 galões de 5 litros. Antes do ensaio, mediu-se o pH e a temperatura da amostra.

Para o ensaio, utilizaram-se as soluções tânicas obtidas através da extração em autoclave da casca do eucalipto e do pinus.

Mediu-se seis amostras de 500 mL do efluente bruto para aplicação no *Jar Test* Alfakit de 6 cubetas, conforme a Figura 7, a seguir.

Figura 7 - Amostras de efluente preparadas para o ensaio no equipamento *Jar test*



Fonte: a autora (2021).

Três amostras foram testadas com 2 mL de cada solução tânica obtida das cascas do *Eucalyptus grandis* e as três amostras restantes, também com 2 mL das soluções tânicas obtidas a partir da casca do *Pinus taeda*, para comparação entre as duas cascas de espécies distintas. O ensaio foi realizado a uma velocidade de agitação de 160 rpm por 4 minutos e mais 15 min em velocidade baixa, de 30 rpm.

Após a coagulação/floculação e 1 hora de sedimentação, adicionaram-se 2mL de descolorante químico de uma solução 1:10. Agitou-se por 2 minutos em

Extração E Aplicação De Coagulante Vegetal À Base De Tanino Para O Tratamento De Efluentes Têxteis

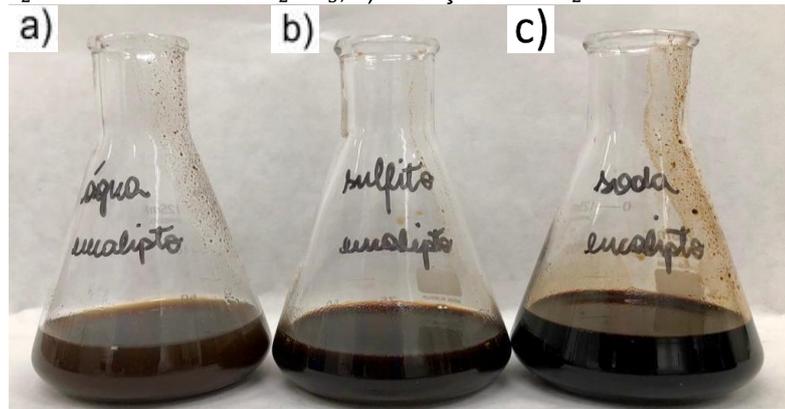
velocidade rápida de 160 rpm e observou-se a decantação, com o arraste das substâncias coloridas presentes no efluente, em um período de 30 minutos.

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1 EXTRAÇÃO DE TANINOS

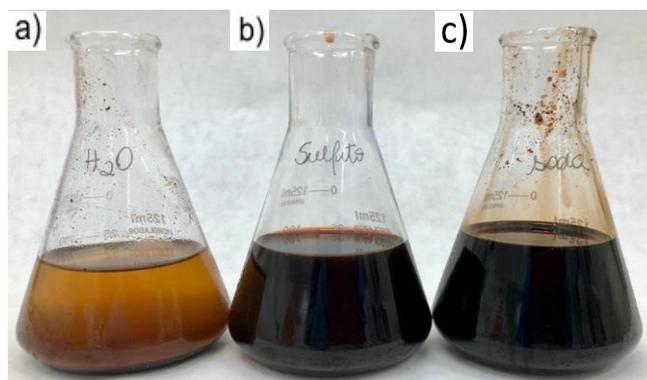
A partir dos três métodos de extração realizados na autoclave e do peneiramento, obteve-se as soluções tânicas das duas espécies estudadas. A seguir, as Figuras 8 e 9, demonstram o licor obtido das cascas do *Eucalyptus grandis* e do *Pinus taeda*

Figura 8 - Soluções tânicas extraídas do *Eucalyptus grandis*. a) extração com H₂O destilada, b) extração com H₂O destilada + 5% Na₂SO₃, c) extração com H₂O destilada + 10% NaOH



Fonte: a autora (2021).

Figura 9 - Soluções tânicas extraídas do *Pinus taeda*. a) extração com H₂O destilada, b) extração com H₂O destilada + 5% Na₂SO₃, c) extração com H₂O destilada + 10% NaOH



Fonte: a autora (2021).

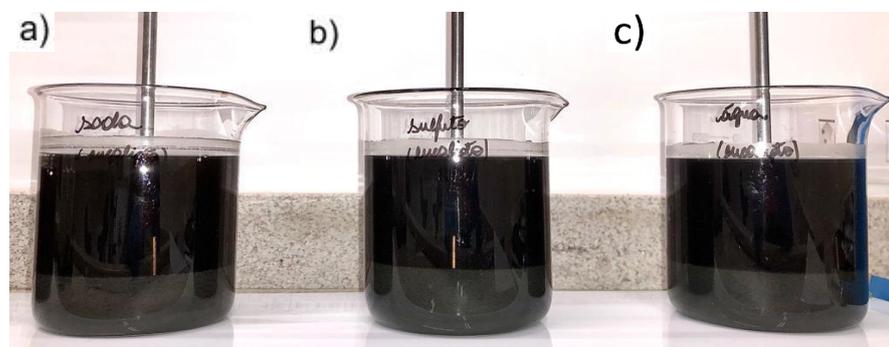
Observa-se que as soluções obtidas da casca do pinus tiveram um melhor rendimento, resultando no dobro da quantidade de licor extraído do *Eucalyptus grandis*. Isso se deve pelo fato de a casca moída de eucalipto ter um aspecto diferente do pinus. O pinus apresenta um aspecto de pó; já o eucalipto assemelha-se a uma palha fina, criando maior volume dentro do béquer e conseqüentemente absorvendo mais água.

4.2 APLICAÇÃO DA SOLUÇÃO TÂNICA NO EFLUENTE

Após o preparo dos béqueres com 500 mL de efluente têxtil, no equipamento *Jar Test*, pipetou-se 2 mL de cada solução tânica obtida, com uma concentração de 6,67%, o que resultou em 133 mg de solução tânica em cada amostra, tanto a extraída do pinus como do eucalipto.

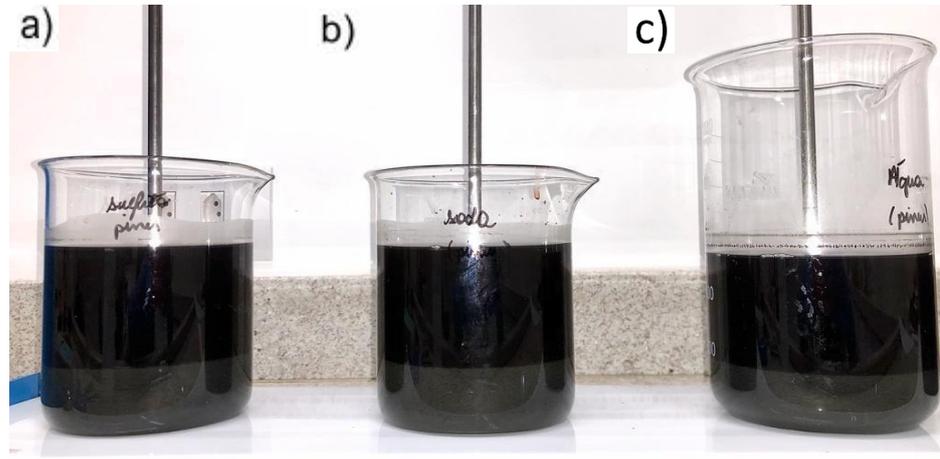
Após uma hora de decantação, com adição de coagulante, pôde-se observar (Figura 10 e Figura 11), que os testes utilizando a solução extraída com o sulfito 5% apresentaram maior decantação do lodo em ambas as espécies. Quanto ao tamanho dos flocos gerados, o coagulante extraído das cascas de pinus formou flocos maiores e mais densos.

Figura 10 - Amostras após 1 hora de sedimentação utilizando coagulante extraído do eucalipto. a) coagulante extraído com H₂O destilada + 10% NaOH, b) coagulante extraído com H₂O destilada + 5% Na₂SO₃, c) coagulante extraído com H₂O destilada



Fonte: a autora (2021)

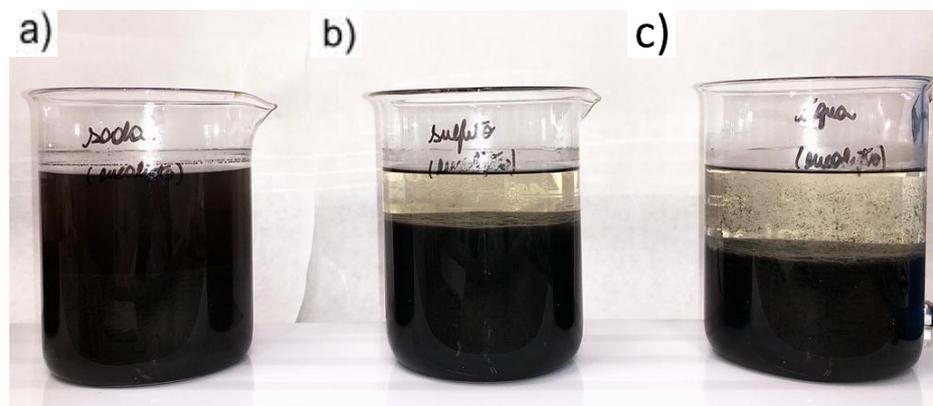
Figura 11 - Amostras após 1 hora de sedimentação utilizando coagulante extraído do pinus. a) coagulante extraído com H₂O destilada + 5% Na₂SO₃, b) coagulante extraído com H₂O destilada + 10% NaOH, c) coagulante extraído com H₂O destilada



Fonte: a autora (2021).

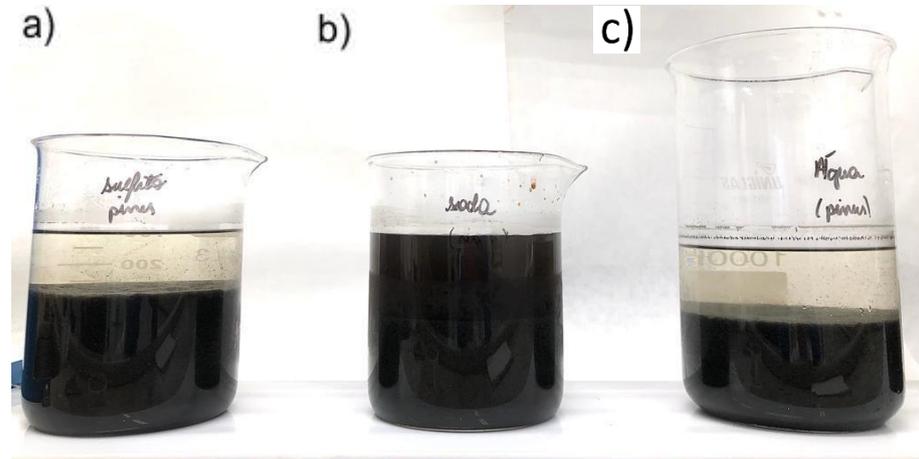
Após adição do descolorante para clarificação da água, observou-se novamente que as amostras utilizando coagulante extraído com sulfito 5% obteve maior quantidade de lodo sedimentado e apresentou coloração próxima as amostras em que foi utilizado coagulante extraído somente com água destilada. As Figuras 12e 13, a seguir, foram registradas após 30 minutos de repouso.

Figura 12 - Amostras após 30 minutos de sedimentação utilizando coagulante extraído do eucalipto. a) coagulante extraído com H₂O destilada + 10% NaOH, b) coagulante extraído com H₂O destilada + 5% Na₂SO₃, c) coagulante extraído com H₂O destilada



Fonte: a autora (2021).

Figura 13 - Amostras após 30 minutos de sedimentação utilizando coagulante extraído do pinus. a) coagulante extraído com H₂O destilada + 5% Na₂SO₃, b) coagulante extraído com H₂O destilada + 10% NaOH, c) coagulante extraído com H₂O destilada



Fonte: a autora (2021).

A partir das imagens apresentadas nas Figuras 12 e 13, pode-se afirmar que as amostras com coagulante extraído do *Pinus taeda*, após a adição do descolorante, apresentaram coloração mais clara. A amostra em que utilizou-se o coagulante extraído com hidróxido de sódio 10% apresentou coloração predominante escura, assim, necessitaria de uma quantidade superior de descolorante para tornar-se incolor.

4.2.1 Análise da variação do pH

Aferiu-se o pH após todas as adições de coagulante e constatou-se que não houve alteração de muita relevância, como demonstra a Tabela 2. O pH permanece neutro a levemente alcalino, entre 7,3 a 7,83. O que se torna um benefício na utilização desse tipo de coagulante vegetal.

Extração E Aplicação De Coagulante Vegetal À Base De Tanino Para O Tratamento De Efluentes Têxteis

Tabela 2 - Variação do pH após adição do coagulante *Em relação ao peso seco da casca

Espécie	Extração	pH do efluente bruto	pH após adição do coagulante
<i>Pinus taeda</i>	H ₂ O destilada	7,37	7,38
<i>Pinus taeda</i>	H ₂ O destilada + 5% Na ₂ SO ₃ *	7,37	7,30
<i>Pinus taeda</i>	H ₂ O destilada + 10% NaOH*	7,37	7,83
<i>Eucalyptus grandis</i>	H ₂ O destilada	7,37	7,38
<i>Eucalyptus grandis</i>	H ₂ O destilada + 5% Na ₂ SO ₃ *	7,37	7,42
<i>Eucalyptus grandis</i>	H ₂ O destilada + 10% NaOH*	7,37	7,70

Fonte: a autora (2021).

A Legislação de recursos hídricos do estado de Santa Catarina, que contém os padrões de emissão de efluentes líquidos, é encontrada no Art. 19, do Decreto nº14.250, de 5 de junho de 1981. De acordo com o decreto, o pH do efluente deve obedecer aos valores entre 6,0 a 9,0, para que possa ser lançado nos corpos hídricos. Portanto, a partir dos resultados obtidos, pode-se afirmar que, após o tratamento com o coagulante vegetal extraído, não é necessário ajuste de pH antes do lançamento do efluente tratado no rio.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Mediante o desenvolvimento desta pesquisa, pôde-se observar que é extremamente relevante realizar o tratamento de efluentes de forma correta e principalmente através de uma forma menos agressiva ao meio ambiente. Por isso, a importância da utilização do coagulante vegetal, obtido a partir de resíduos de cascas de pinus e eucalipto.

A partir do uso de três solventes diferentes para a extração em autoclave do tanino, obtido da casca do *Pinus taeda* e *Eucalyptus grandis*, constatou-se que a utilização do sulfito de sódio 5% influenciou significativamente no rendimento da

Extração E Aplicação De Coagulante Vegetal À Base De Tanino Para O Tratamento De Efluentes Têxteis

extração dos taninos nas duas espécies estudadas. Em ambas as espécies, o coagulante apresentou melhor desempenho na coagulação.

Comparando os resultados do tratamento com o coagulante extraído do pinus e do eucalipto, a casca do pinus apresenta maior concentração de substâncias capazes de limpar o efluente e formar flocos maiores para sedimentação.

Analisando os valores do pH final do efluente após o tratamento, salienta-se que o mesmo pode ser lançado aos corpos hídricos, dispensando a necessidade de inserção de agentes químicos para adequar o pH exigido na Legislação de Recursos Hídricos do estado de Santa Catarina, encontrada no Art. 19, do Decreto nº 14.250, de 5 de junho de 1981.

Esses fatores, permitem concluir que o tanino é um coagulante vegetal de simples obtenção e muito eficiente para o tratamento de efluentes têxteis. Assim, a substituição de coagulantes químicos pelo tanino contribui para um tratamento de efluentes mais limpo e biodegradável.

Destaca-se ainda que é possível realizar um estudo a respeito da utilização da massa da solução tânica que ficou na peneira, para avaliar se há ativos de tanino retidos após a secagem. Além de testes para definir a quantidade ótima do coagulante e do descolorante. Ressalta-se a possibilidade de uma pesquisa comparativa entre o tanino vegetal obtido com o tanino comercial, o Tanfloc. Assim, a partir da extração em autoclave, também pode-se realizar o cálculo percentual do teor de taninos condensados obtidos e a viabilidade do processo de extração para aplicação na indústria.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO CATARINENSE DE EMPRESAS FLORESTAIS. Biblioteca.

Mapa

logístico florestal 2020. Maciços florestais. Santa Catarina.2020. Disponível em: <http://www.acr.org.br/uploads/biblioteca/mapa-logistico-florestal-2020.pdf>
Acesso em: 17 ago. 2021.

CISNEROS, R. L.; ESPINOZA, A. G. e LITTER, M. N. **Fotodegradação de um corante azo da indústria têxtil.** Revista Chemosphere, v. 48, Edição 4, p. 393-

Extração E Aplicação De Coagulante Vegetal À Base De Tanino Para O Tratamento De Efluentes Têxteis

399, Julho de 2002. Disponível em:

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0045653502001170>

> Acesso em 08 set. 2021.

CRUZ, João Guilherme Heinz. **Alternativas para aplicação de coagulante vegetal à base de tanino no tratamento de efluente de uma lavanderia industrial.** 2004. Dissertação (Mestrado profissionalizante em engenharia com ênfase em Engenharia Ambiental e Tecnologias Limpas) - Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

DI BERNARDO, L.; Dantas, A. D. B. **Métodos e técnicas de tratamento de água.** USP - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005. Disponível em: <<https://repositorio.usp.br/single.php?id=001478143>> Acesso em: 29 Ago. 2021.

FERREIRA, P.C., Piai, K.A.; Takayanagui, A.M.M., Segura-Muñoz, S.I. **Alumínio como fator de risco para doença de Alzheimer.** Revista Latino-americana de Enfermagem, 16(1), 2008. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rlae/v16n1/pt_22.pdf.> Acesso em: 2 ago. 2021.

GRAHAM, N.; GANG, F.; FOWLER, G.; WATTS, M. **Characterisation and coagulation performance of a tannin-based cationic polymer: a preliminary assessment.** Colloids and Surface A: Physicochem. Eng. Aspects, 327, p. 9-16.2008.

HOPPER, Daniela Pacheco. **Tratamento de efluentes de indústrias têxteis utilizando processos oxidativos avançados.** 2007. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2007. Disponível em: <<https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/6047>> Acesso em: 17 ago. 2021.

MARTINS, A.A., Oliveira, R.M.S., Guarda, E.A.(2014) **Potencial de uso de compostos orgânicos como coagulantes, floculantes e adsorventes no**

Extração E Aplicação De Coagulante Vegetal À Base De Tanino Para O Tratamento De Efluentes Têxteis

tratamento de água e efluentes. X Fórum Ambiental da Alta Paulista, 10(12),168-183.

RICHTER, C. A.; AZEVEDO NETO, J. M. de. **Tratamento de Água: Tecnologia atualizada.** 7 ed. São Paulo: Ed. Edgard Blücher Ltda, 332 p., 2007. Disponível em:

<<https://docplayer.com.br/10039472-Analise-preliminar-comparativa-da-utilizacao-de-coagulantes-organicos-e-inorganicos-para-o-tratamento-de-agua.html>> Acesso em: 30 Ago. 2021.

SANTA CATARINA. **Decreto 14.250, de 05 de junho de 1981.** Regulamenta dispositivos da Lei nº 5.793, de 15 de outubro de 1980, referentes à proteção e à melhoria da qualidade ambiental. Santa Catarina. Disponível em: <http://www.cadastro.aguas.sc.gov.br/sirhsc/conteudo_visualizar_dinamico.jsp?idEmpresa=29&idMenu=497&idMenuPai=496> Acesso em: 12 Nov. 2021.

SARTORI, Caroline Junqueira. **Avaliação dos teores de compostos fenólicos nascascas de Anadenanthera peregrina (angico-vermelho).** 2012. 94p. 2012. Tese de Doutorado. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira - Universidade Federal de Lavras, Lavras.

SILVA, Kesia Karina de Oliveira Souto. **Caracterização do efluente líquido no processo de beneficiamento do índigo têxtil.** 2007. 156 f. Dissertação (Pós- graduação em Engenharia Mecânica), Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2007.

SKORONSKI, Everton; B. Niero, M. Fernandes, M.V. Alves; V. Trevisan. **Estudo da aplicação de tanino no tratamento de água para abastecimento captada no rio Tubarão, na cidade de Tubarão, SC.** Revista Ambiente & Água, v. 9, n. 4, p. 679, 2014.

STARLING, Maria Clara Vieira Martins. **Aplicação de foto-fenton solar em efluente têxtil visando à obtenção de água de reuso.** Dissertação (Mestrado em

Extração E Aplicação De Coagulante Vegetal À Base De Tanino Para O Tratamento De Efluentes Têxteis

Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia - 2016

TANAC. **Tanfloc: Coagulante/Floculante de origem vegetal.** Tanac S.A – T. Weibull, 199 – Montenegro, Rio Grande do Sul. Brasil. 2021. Disponível em:

<https://www.tanac.com.br/novo/wp-content/uploads/2021/06/CT_TANFLOC_SG_PT_0-1.pdf> Acesso em: 30 Ago. 2021.

TEIXEIRA, Lincoln Cambraia. **Resíduos florestais: tecnologias disponíveis e suas tendências de uso.** In: SEMINÁRIO DE PRODUTOS SÓLIDOS DE MADEIRADE EUCALIPTO, 2. 2003, Belo Horizonte. Anais... Viçosa: UFV, 2003, p. 191-203.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS. Faculdade de Engenharia Civil. Biblioteca didática de Tecnologias Ambientais. **Coagulação.** Disponível em: <http://www.fec.unicamp.br/~bdta/coagulacao.htm>. Acesso em: 28 set. 2021.

VAJNHANDL, S.; VALH, J. V. **The status of water reuse in European textile sector.** *Journal of Environmental Management*, v. 141, p. 29-35, 2014.

VIEIRA, M. C.; RCC Lelis; BC Silva; GL Oliveira. Tannin extraction from the bark of *Pinus oocarpa* var. *oocarpa* with sodium carbonate and sodium bisulfite. **FLORAM - Floresta e Ambiente.** Seropédica, v. 18, n. 1, p. 1-8, 2011. DOI: 10.4322/floram.2011.017. Disponível em: <<https://floram.org/article/10.4322/floram.2011.017/pdf/floram-18-1-1.pdf>> Acesso em: 12 out. 2021.

REMOÇÃO DE UMIDADE DE LODO TÊXTIL POR SECAGEM TÉRMICA

REMOVAL OF HUMIDITY FROM TEXTILE SLUDGE BY THERMAL DRYING

Pierre Arthur Münch¹

Me. Francisco Odisi²

RESUMO: O tratamento de efluentes industriais têxteis necessita passar por tratamento biológico de lodos ativados para eliminar a alta carga orgânica presente no mesmo. Tal processo gera lodo desaguado com alta umidade. Este requer correta composição e destinação final conforme a Lei 12.305, de 02 de agosto de 2010, que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos. O objetivo deste artigo é demonstrar a redução da umidade do lodo mediante a instalação de um secador térmico. Para a realização dos testes, utilizou-se lodo proveniente da estação de tratamento de efluentes de uma indústria têxtil localizada no município de Guabiruba – SC. Para determinação da umidade de equilíbrio, o lodo inicialmente passou por um processo de desaguamento em filtro prensa de esteira, seguido de secagem térmica em rama. Desta secagem, obteve-se 87% de remoção de umidade, gerando uma redução de 66% no volume total do lodo encaminhado para aterro sanitário. Esse processo de secagem do lodo residual de tingimento reflete ganhos tanto em custos para a empresa quanto em menor volume descartado na natureza.

Palavras-chave: lodo; secagem; desumidificação.

ABSTRACT: *The textile industry treatment of effluents needs to go through biologic treatment of activated sludge in order to eliminate its high organic rates. This process generates dewatered sludge with high humidity, requiring the right*

¹ Acadêmico do curso de Engenharia Química da UNIFE. *E-mail:* pierremunch@unifebe.edu.br

² Professor orientador. Mestre. *E-mail:* francisco@unifebe.edu.br

way and composition to dispose it, according to the law 12.305 from 2nd August, 2010, which instituted the Política Nacional de Resíduos Sólidos. The purpose of this article is to demonstrate the reduction of sludge humidity through the installation of a thermal dryer. In order to reproduce the tests, the sludge was collected from a textile industry effluents treatment station, located in the town of Guabiruba – SC. In order to determine the equilibrium humidity ratio, the sludge was submitted to a dewatering process in a belt filter press, followed by a dryer process in a thermal dryer machine. In this situation, the humidity removal reaches 87%, generating a 66% reduction in the total volume of sludge sent to landfill. This process of textile sludge drying reflects gains both in costs for the company and in a smaller volume discarded in nature.

Keywords: sludge; drying; dehumidification;

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, a indústria têxtil é notável no que diz respeito à geração de empregos e riqueza. Dados da Associação Brasileira da Indústria Têxtil – ABIT (2021) constatam que o Brasil é o quarto maior produtor de malhas e denim no mundo, gerando 11% dos empregos e 6,6% do faturamento das empresas de transformação. Este setor emprega 1,5 milhão de brasileiros diretamente e 8 milhões de brasileiros indiretamente. O faturamento da cadeia têxtil e de confecção brasileiro é de, aproximadamente, R\$185,7 bilhões por ano, o que demonstra a grande relevância do setor em território nacional.

Nunes, (2019) diz que a água é essencial para a indústria têxtil, sendo usada de diferentes maneiras. No beneficiamento, a água é utilizada basicamente em todas as etapas, de modo direto nos processos de lavagem, tingimento e amaciamento, e de modo indireto para realizar aquecimento ou resfriamento nos processos.

“Exceto pelos volumes de águas incorporados aos produtos e pelas perdas por evaporação, as águas tornam-se contaminadas por resíduos do processo

Remoção De Umidade De Lodo Têxtil Por Secagem Térmica

industrial ou pelas perdas de energia térmica, originando assim os efluentes líquidos”(GIORDANO, 2004).

Manu et al., (2001) diz que a característica mais marcante do efluente têxtil é a cor. Os corantes que não se fixam as fibras durante o processo de tingimento continuam nas águas dos efluentes. Devido à sua própria natureza, os corantes são altamente detectáveis a olho nu, sendo visíveis em alguns casos mesmo em baixas concentrações. Além da deterioração estética dos corpos de água, os corantes também causam danos à flora e fauna no meio ambiente. Os corantes e os pigmentos são fabricados para serem resistentes à biodegradação aeróbia onde, sem tratamento adequado, podem persistir no meio ambiente por longos períodos de tempo.

De acordo com Sezerino & Bento (2005):

O tratamento biológico de esgotos e efluentes industriais tem o objetivo de remover a matéria orgânica dissolvida e em suspensão ao transformá-la em sólidos sedimentáveis (flocos biológicos) e gases. Tal processo ocorre com a presença de microrganismos, em sua maioria bactérias. Estas possuem a característica especial de formarem massas capazes de adsorver partículas em suspensão – a floculação biológica. A formação dessas massas de maior tamanho e densidade, chamadas de flocos biológicos, confere à biomassa suspensa capacidade de rápida sedimentação.

Estes flocos biológicos precisam ser retirados do sistema, pois tornam o lodo muito denso e criam um ambiente que não é propício para a sobrevivência dos microrganismos ali presentes, responsáveis pela degradação da matéria orgânica. Com o auxílio de uma bomba, os flocos, na forma de lodo líquido, são encaminhados ao adensador, de onde são condicionados e sofrem desaguamento via filtro prensa de esteira. Entretanto, o volume de lodo desaguado que é gerado é elevado, devido à alta umidade presente no mesmo. O material ainda precisa ser descartado conforme a Política Nacional de Resíduos Sólidos no art. 36, alínea V, tendo um custo elevado para sua destinação final.

O presente trabalho tem por objetivo investigar as possibilidades de diminuir a quantidade de água existente no lodo proveniente da estação de tratamento de efluentes de uma indústria têxtil localizada no município de Guabiruba/SC, gerando economia no transporte e descarte residual do material, mediante a instalação de

umsecador térmico.

Para um melhor entendimento dos objetivos deste trabalho e melhor apreciação desta pesquisa, classificou-se a mesma como exploratória. Os dados do estudo de caso foram tratados de forma quantitativa, pois requereram o uso de recursos e técnicas de estatística, a fim de traduzir em números os conhecimentos gerados. Detectou-se também a necessidade da pesquisa bibliográfica no momento em que se fez uso de materiais já elaborados, como documentos eletrônicos e livros físicos, na busca e alocação de conhecimento para correlacionar com os assuntos pertinentes ao presente artigo.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 TRATAMENTO DE EFLUENTES PELO MÉTODO DE LODOS

ATIVADOS Segundo Rosa, Fraceto e Moschini-Carlos (2012):

O tratamento biológico por lodos ativados é o mais utilizado pela maioria das indústrias para degradação da matéria orgânica do efluente, principalmente na indústria têxtil. É constituído por um tanque de aeração em que o efluente é misturado com o lodo ativado por microrganismos (bactérias, fungos e protozoários), agitado e aerado, ocorrendo a oxidação da matéria orgânica para, em sequência, passarem por sedimentação em decantadores e serem novamente separados. A maior parte do lodo (biomassa) é recirculada de volta para o tanque de aeração, e os microrganismos continuam no meio por um longo tempo, e a menor parte é retirada para tratamento específico.

2.2 ETAPAS PARA REDUÇÃO DE UMIDADE DO LODO

Os processos de tratamento da fase líquida do efluente dão origem a um material com elevado teor de umidade. Nestas condições, de acordo com Batista (2015), toda e qualquer operação subsequente relativa ao manejo do lodo deve considerar a remoção de umidade como uma medida imprescindível, visto que tanto volume quanto teor de sólidos serão fatores determinantes nos custos operacionais na seleção das alternativas de disposição final.

A redução do teor de água é efetuada por processos físicos (adensamento, filtração, flotação, evaporação), eventualmente precedidos por processos

Remoção De Umidade De Lodo Têxtil Por Secagem Térmica

preparatórios de condicionamento, que visam facilitar e/ou acelerar o processo de separação de água (VAN HAANDEL & ALÉM SOBRINHO, 2006).

2.2.1 ADENSAMENTO

“O adensamento consiste no aumento da concentração de sólidos presentes no lodo. É mais usado nos processos de tratamento primário, lodos ativados e filtros anaeróbios percoladores, tendo importantes implicações no dimensionamento e na operação de digestores” (GONÇALVES et al., 2001).

2.2.2 CONDICIONAMENTO

A etapa de condicionamento tem como objetivo principal a preparação do lodo para a fase seguinte, a desidratação, melhorando a capacidade de captura de sólidos do sistema de desaguamento. Para isto, como afirma Gonçalves et al. (2001), “procura-se obter uma modificação do tamanho, da superfície específica, da distribuição e da interação das partículas de lodo, promovendo a formação de agregados maiores (flocos), por meio dos processos de coagulação e floculação”. O condicionamento pode ser realizado através da utilização de produtos químicos inorgânicos ou orgânicos.

2.2.2 DESIDRATAÇÃO

De acordo com Batista (2015), “o processo de desidratação ou desaguamento tem por objetivo reduzir o volume do lodo, produzindo um material com comportamento mecânico próximo ao dos sólidos”. A realização do desaguamento pode se dar por meio de duas formas: o não mecanizado e o mecanizado.

O desaguamento não mecanizado, como o nome já indica, é aquele que não utiliza meios mecânicos, utilizando apenas agentes naturais como a gravidade

Remoção De Umidade De Lodo Têxtil Por Secagem Térmica

e a evaporação. Este processo pode ser realizado por meio de leitos de secagem, lagoas de lodo e filtração por geotêxtil (HEDLUND, 2016).

“O desaguamento mecanizado é muito utilizado em substituição aos meios naturais. Os equipamentos que podem ser utilizados neste desaguamento são centrifugas, filtros prensa de esteira, filtros prensa de placas, filtros a vácuo e prensa desaguadora tipo parafuso” (PEREIRA, 2011)

2.2.3 DETERMINAÇÃO DA UMIDADE DE EQUILÍBRIO

O teor de umidade de equilíbrio, também denominado umidade de equilíbrio higroscópico, é o teor de umidade na qual a pressão de vapor d'água no produto é igual à do ar que o envolve, ou seja, não existe nenhum tipo de troca entre eles (Carvalho et al., 2018).

Conforme Novais e Ferreira (2012), ao prolongar a secagem do sólido em condições constantes de temperatura, umidade e velocidade do ar, pode-se alcançar velocidade de secagem zero, “que representa o conteúdo mínimo de umidade que se pode obter numa secagem de duração infinita e denomina-se umidade de equilíbrio. Qualquer umidade acima da de equilíbrio é chamada de umidade livre”.

2.3 DETERMINAÇÃO DO TEOR DE SÓLIDOS E DE UMIDADE

A análise do teor de sólidos/umidade serve para determinar a quantidade de água em uma determinada substância e é de extrema importância em diversos processos industriais, “pois pode afetar a vida útil, usabilidade, processabilidade e qualidade de um produto” (SIQUEIRA, 2019). Os teores de sólidos e de umidade podem ser calculados por meio das equações 1 e 2, respectivamente.

Remoção De Umidade De Lodo Têxtil Por Secagem Térmica

$$\%Teor\ de\ sólidos = \frac{massa\ da\ amostra\ seca}{massa\ total\ da\ amostra} * 100$$

1)

$$massa\ total\ da\ amostra$$

$$\%Teor\ de\ umidade = \frac{massa\ do\ solvente}{massa\ total\ da\ amostra} * 100$$

(2)

2.4 FILTRO PRENSA DE ESTEIRA

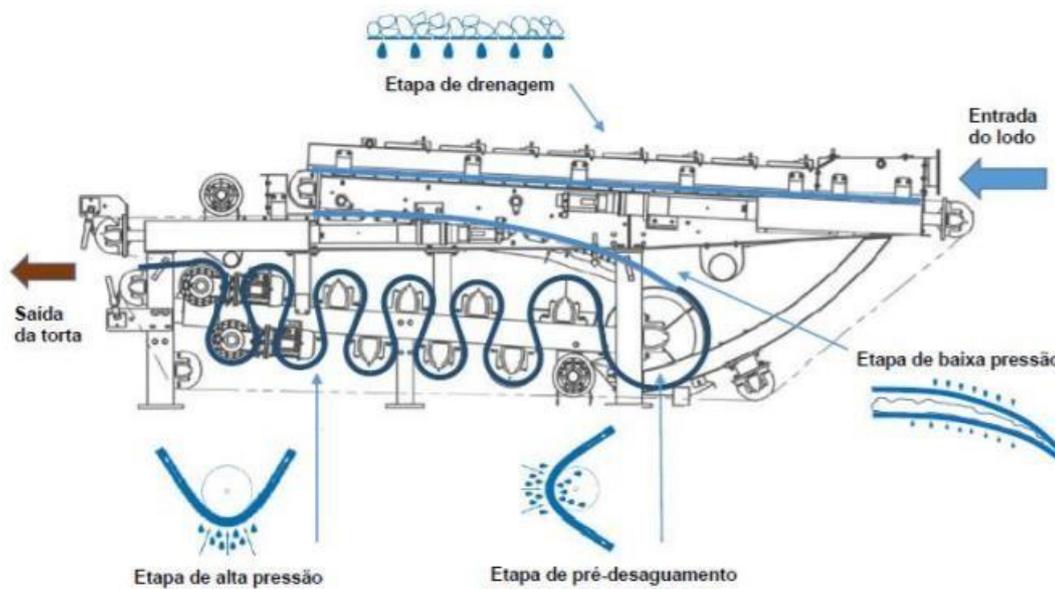
“O filtro-prensa de esteira é um dispositivo para desidratação mecânica de lodos de operação contínua, que combina a drenagem por gravidade com compressão mecânica” (David, 2002). O processo de desidratação pode ser dividido em três processos básicos, sendo eles o condicionamento químico, drenagem por ação da gravidade e a compactação mecânica.

David (2002) diz que o condicionamento químico consiste em adicionar um polímero que ocasionará a floculação do lodo antes da alimentação da máquina. Em seguida, o lodo é depositado em uma esteira porosa onde perde grande parte da água livre até atingir uma consistência mais viscosa. Na parte da compactação mecânica, o lodo adensado é introduzido entre duas esteiras porosas que se movimentam em uma série de rolos onde é prensado progressivamente.

O filtro-prensa de esteira tem como vantagens o baixo custo de energia elétrica e baixo valor na aquisição, porém as desvantagens dele são o elevado nível de ruído e o grande número de rolamentos (geralmente entre 40 a 50), o que requerem bom controle na manutenção do equipamento (FERREIRA & NISHIYAMA, 2003). “Dependendo da concentração inicial de sólidos secos e da origem do lodo, com o uso de um filtro-prensa de esteira pode-se obter um lodo desidratado com umidade de 15 a 60% no final do processo” (Soto & Orrico, 2009).

Figura 01 – exemplo de filtro prensa de esteira.

Remoção De Umidade De Lodo Têxtil Por Secagem Térmica



Fonte: MORVAI, 2018.

2.5 SECAGEM TÉRMICA DE LODOS

A separação entre as fases líquida e sólida nos processos de tratamento dos lodos gerados em ETEs é uma tarefa difícil e dispendiosa, comparada às demais operações do tratamento de esgotos.

Pinheiro (2012) diz que a secagem térmica consiste na aplicação de calor ao lodo visando a evaporação da umidade presente e, por consequência, o aumento da concentração de sólidos totais.

David (2002) define a secagem térmica como um processo de melhoria da qualidade dos lodos que gera como produto final biossólidos Classe A, que podem ser aplicados ao uso agrícola sem grandes restrições.

Para Sperling et al. (2001) o processo de secagem térmica é bastante flexível, podendo ser conduzido para a formação de “pellets” que poderão ser aplicados na agricultura, como material combustível, ou disposto em aterro sanitário, caso não haja alternativa de uso.

David (2002) define como principal objetivo da secagem térmica a redução do teor de umidade presente no lodo, sugerindo que a secagem térmica pode atingir concentrações de sólidos totais da ordem de 90 a 95%, o que reduz

Remoção De Umidade De Lodo Têxtil Por Secagem Térmica

significativamente a massa final dos lodos gerados. Outro objetivo definido pelo autor é a eliminação dos organismos patogênicos através da aplicação de calor.

2.5 SECADOR DE LODO

O secador rotativo é um tipo de secador que opera por batelada, e pode ser do tipo direto ou indireto. Crispim (2015) diz que no secador rotativo do tipo direto, o lodo entra em contato direto com o fluxo de ar quente ao longo do seu percurso, já no secador rotativo do tipo indireto, o cilindro por onde circula o lodo é encamisado por outro cilindro, por onde circula ar quente, vapor ou até mesmo um óleo térmico.

Serão tomadas como base as informações do secador indireto Bruthus F 5.6.1, da fabricante Albrecht, de Joinville/SC. O mesmo pode ser visualizado nas imagens 02 e 03.

Figura 02 – secador indireto de lodos Bruthus F 5.6.1.



Fonte: Albrecht, 2021.

Remoção De Umidade De Lodo Têxtil Por Secagem Térmica

Figura 03 – lavador de gases e transportador helicoidal de lodo seco.



Fonte: Albrecht, 2021.

2.5.1 FUNCIONAMENTO

O secador recebe o lodo proveniente do sistema de desaguoamento na moegade alimentação do secador, onde um transportador helicoidal é responsável pela dosagem na moega de transferência e alimentação do secador. O material é distribuído uniformemente dentro do secador, formando um leito que é transportado mecanicamente por um helicóide.

O sistema de calefação indireta que compõe o corpo do secador e o helicóide proporcionam aumento do rendimento de secagem, controle apurado de temperatura e alta eficiência térmica, o que na prática traduz-se em baixo custo de produção e preservação das propriedades do produto final.

Os gases contaminados com material particulado (finos) são direcionados ao lavador de gases, com retorno do condensado para estação de tratamento e os gases remanescentes são liberados para atmosfera.

O secador tem capacidade de entrada de até 270 kg/h, requer o lodo desaguoado a no mínimo 80% de umidade e retira cerca de 60% da umidade de

Remoção De Umidade De Lodo Têxtil Por Secagem Térmica

entrada. O equipamento consome cerca de 6,3 kW/h e requer uma vazão de vapor de 300 kg/h.

As maiores vantagens da implantação do secador rotativo são quanto aos custos de manuseio, transporte e disposição do lodo, por meio da redução de peso, volume e umidade.

2.5.2 MATERIAIS UTILIZADOS NA FABRICAÇÃO

Para a confecção do secador indireto, utilizam-se os materiais listados no Quadro 01, conforme especificação do fabricante. Pelo fato de ser utilizado polímero catiônico na etapa de condicionamento do lodo, percebe-se que o material com maior predominância na composição é o aço inox 304, pelo fato deste apresentar excelente resistência à corrosão.

Quadro 01 – componentes do secador indireto e seus respectivos materiais.

Parte do secador	Componente	Material
Alimentação	Moega	Aço inox 304
	Calha dos transportadores	Aço inox 304
	Helicóide	Aço inox 304
Câmara de secagem	Berço	Aço inox 304
	Helicóide	Tubo Schedule 40 ASTM A-53
	Isolamento	Lã de rocha
	Revestimento externo	Aço inox 304
Descarga de substrato seco	Calha	Aço inox 304
	Helicóide	Aço inox 304
	Estrutura	Aço carbono galvanizado e pintado
Exaustão	Lavador de gases	Aço inox 304
	Exaustor	Aço inox 304

Fonte: Albrecht, 2021.

2.6 DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA

Remoção De Umidade De Lodo Têxtil Por Secagem Térmica

Define-se massa específica de uma substância como a razão entre sua massa e seu volume V , como segue na equação 3. Sua unidade no Sistema Internacional(SI) é kg/m^3 .

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (3)$$

Fernandez & Mikowski, (2016) dizem que a massa específica do lodo pode variar de acordo com a condição em que o mesmo se encontra. Lodos líquidos, da forma que são retirados dos decantadores, apresentam valores de massa específica semelhantes aos da água ($\rho = 1.000 \text{ kg/m}^3$). Se o mesmo for desaguado ou seco, essa propriedade sofrerá alteração.

2.7 DISPOSIÇÃO FINAL DOS RESÍDUOS SÓLIDOS

No Brasil, o gerenciamento adequado dos resíduos inicia-se pela sua classificação ambiental, de acordo com a norma NBR 10.004 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004). Segundo essa norma os resíduos são classificados em: classe I – perigosos; classe II – não perigosos; classe IIA – não inertes; resíduos classe IIB – inertes, sendo o lodo proveniente das ETE's de indústrias têxteis caracterizado como classe II.

De acordo com Pereira & Garcia (2017), “o lodo produzido em uma ETE corresponde a cerca de 1 a 2% do volume do efluente tratado, entretanto o tratamento e a disposição final desse resíduo representam de 30 a 50% do custo operacional da estação”.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

3.1 PRODUÇÃO DE LODO DESAGUADO NO FILTRO PRENSA DE ESTEIRA

Para a aferição da produção de lodo por parte do filtro prensa de esteira, abriu-se o registro do lodo proveniente do tanque de condicionamento e cronometrou-se o tempo decorrido até o fechamento do mesmo. Após o lodo ser desaguado na prensa, pesou-se a massa gerada no processo em balança semi analítica. As aferições foram realizadas em triplicata.

3.2 DETERMINAÇÃO DA UMIDADE DE EQUILÍBRIO

Para os testes relativos à determinação da umidade de equilíbrio do lodo por secagem térmica, utilizou-se uma chapa de aço inox, com dimensões de 28cm x 33cm. Os testes ocorreram em triplicata, onde foi disposta a quantidade de cem gramas de lodo na chapa, conforme Figura 04, sendo a mesma pesada a cada cinco minutos, a fim de verificar a remoção da massa de água (em gramas) presente na amostra.

Figura 04 – amostras de lodo prontas para secagem.



Fonte: o autor, 2021.

Remoção De Umidade De Lodo Têxtil Por Secagem Térmica

A chapa com o material foi disposta dentro da máquina denominada de rama(Figuras 05 e 06), que faz uso do vapor gerado na caldeira para secagem dos tecidos da empresa. Nesta situação, as temperaturas se mantiveram constantes durante todos os testes, estando a superfície em 142°C e o ar em 152°C.

Figura 05 – rama.



Fonte: o autor, 2021.

Figura 06 – chapas de inox com lodo para secagem no interior da rama.



Fonte: o autor, 2021.

As amostras permaneceram na máquina até que as últimas três medições não sofressem mais variação, tendo atingido o ponto de equilíbrio de umidade.

Os dados obtidos foram anotados e dispostos em forma de tabela, e posteriormente utilizados nos cálculos realizados.

3.3 DETERMINAÇÃO DAS MASSAS ESPECÍFICAS

Para a determinação da massa específica do lodo, o mesmo foi adicionado à uma proveta com capacidade de 1.000 ml. Verificou-se o volume ocupado pelo material, o qual foi posteriormente pesado em balança semi analítica, sendo a massa específica calculada através da Equação 3. O processo foi realizado para o lodo antes de passar pelo desaguamento, para o lodo desaguado e para o lodo que passou por secagem térmica. Em todos eles, aferiu-se em triplicata.

3.3 DETERMINAÇÃO DOS TEORES DE SÓLIDO E UMIDADE

Para a determinação dos teores de sólidos e umidade, pesaram-se as amostras de lodo antes e depois de passarem pela etapa de desaguamento, bem como posterior à secagem, sendo calculados pelas equações 1 e 2, respectivamente.

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1 PRODUÇÃO DE LODO DESAGUADO NO FILTRO PRENSA DE ESTEIRA

A produção de lodo desaguado (prensado) foi aferida e está disposta na Tabela 01. Com base nos resultados, calculou-se a média aritmética simples e o

Remoção De Umidade De Lodo Têxtil Por Secagem Térmica

desvio padrão das mesmas.

Tabela 01 – produção do filtro prensa (em kg).

Teste	Massa (kg)
01	5,700
02	2,556
03	2,207
Média kg/min	3,488 ± 1,924
Média kg/h	209,28 ± 115,432

Fonte: o autor, 2021.

Considerando que a prensa opera cerca de 15 horas por dia, tem-se que a média da produção diária de lodo desaguado é de 3.139,20 kg.

4.2 DETERMINAÇÃO DA UMIDADE DE EQUILÍBRIO

As amostras permaneceram na rama pelo período de uma hora, momento em que foi constatada a estabilização das massas secas das três amostras, conforme dados apresentados na Tabela 02. Com esses dados, pode-se elaborar um gráfico para cada teste, resultando na curva de secagem do material, como seguem nas figuras 07, 08 e 09.

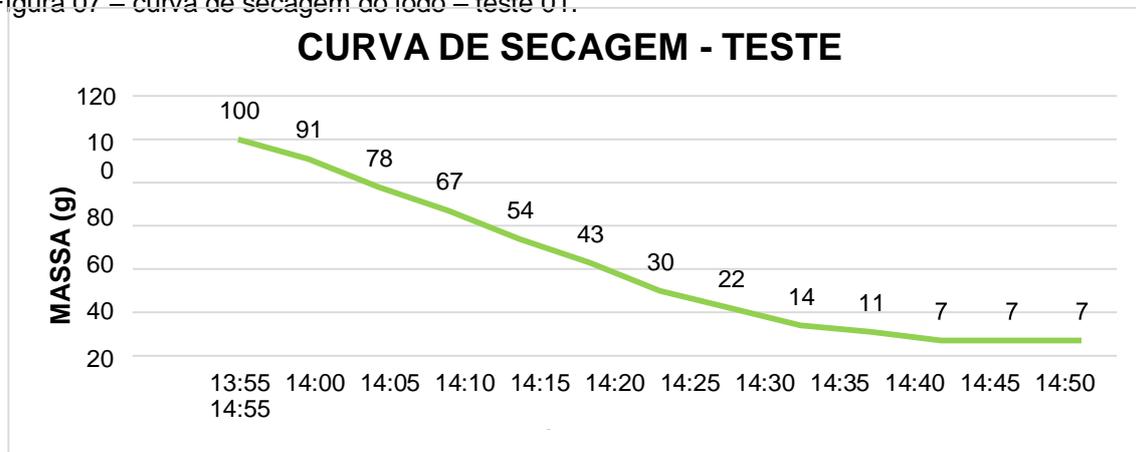
Remoção De Umidade De Lodo Têxtil Por Secagem Térmica

Tabela 02 – perdas de massa após cada período de secagem.

Hora	Massa teste 01 (g)	Massa teste 02 (g)	Massa teste 03 (g)
13:55	100	100	100
14:00	91	87	86
14:05	78	73	71
14:10	67	60	55
14:15	54	45	41
14:20	43	32	27
14:25	30	21	18
14:30	22	15	13
14:35	14	10	8
14:40	11	9	7
14:45	7	7	7
14:50	7	7	7
14:55	7	7	7

Fonte: o autor, 2021.

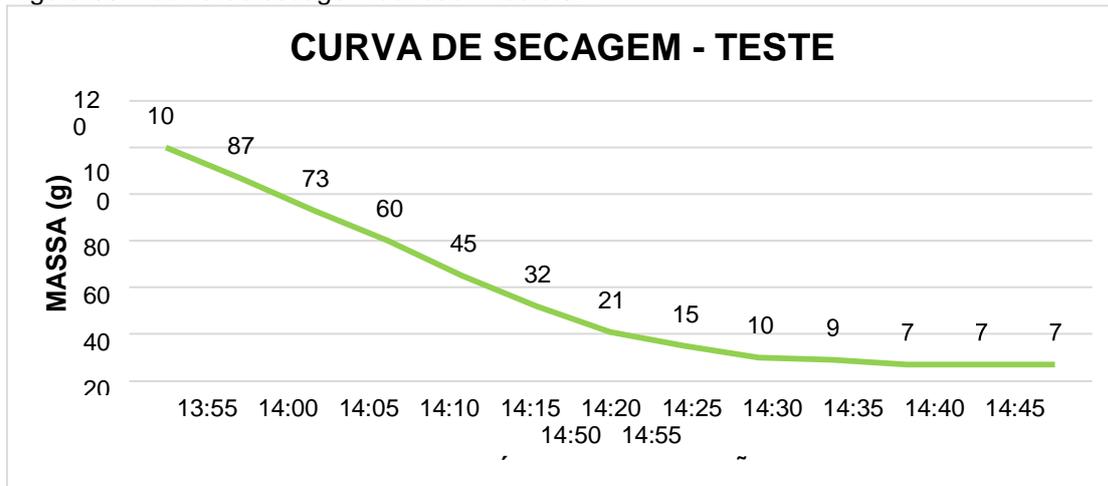
Figura 07 – curva de secagem do lodo – teste 01.



Fonte: o autor, 2021.

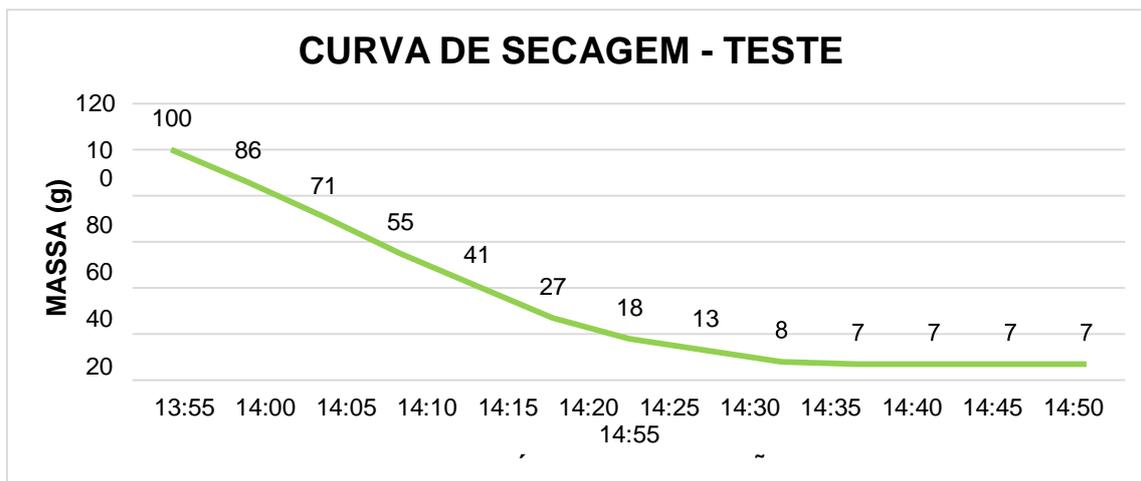
Remoção De Umidade De Lodo Têxtil Por Secagem Térmica

Figura 08 – curva de secagem do lodo – teste 02.



Fonte: o autor, 2021.

Figura 09 – curva de secagem do lodo – teste 03.

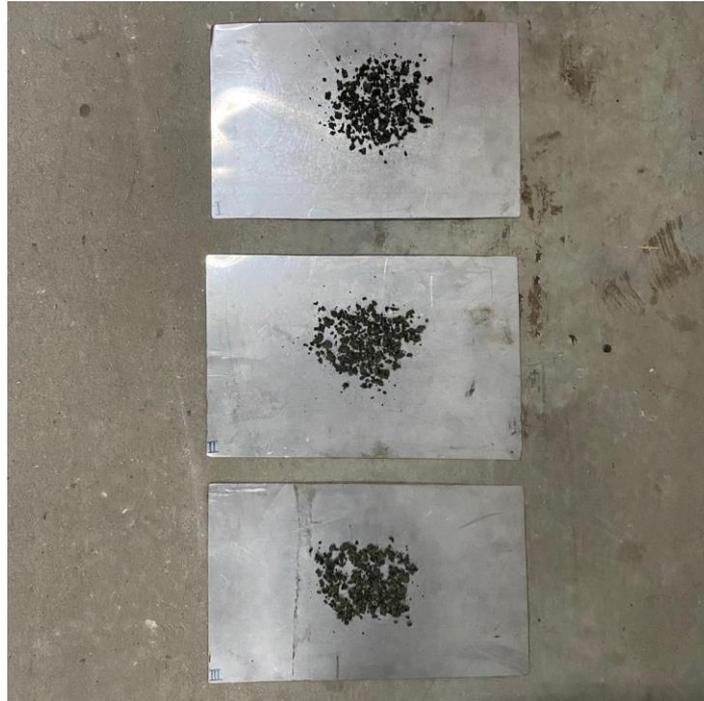


Fonte: o autor, 2021.

As amostras retiradas após a secagem podem ser visualizadas na Figura 10, onde percebe-se a diminuição do volume de lodo quando comparada com a Figura 04

Remoção De Umidade De Lodo Têxtil Por Secagem Térmica

Figura 10 – chapas de inox com o lodo pós secagem.



Fonte: o autor, 2021.

Na Figura 09 é possível perceber que a amostra do teste 03 chegou ao equilíbrio cinco minutos antes das demais. Isso foi devido ao fato de que, no momento de realização do teste, esta amostra ficou em uma região do maquinário que possuía maior ventilação de ar quente, contribuindo para alcançar tal resultado mais rapidamente.

Outra rodada de testes de secagem de amostras de lodo foi realizada na estufa do laboratório de Engenharia Química da UNIFEBE, porém sem concluí-lo. O tempo de secagem neste tipo de estufa demora muito, por falta de ventilação e muita variação da temperatura, pelas constantes aberturas para aferição das massas para constatar a perda de umidade, demorando muito tempo até atingir a estabilização na temperatura solicitada.

Os dados experimentais da Tabela 03 demonstram a perda regular de umidade pelas três amostras colocadas sobre a superfície da rama, conforme Figura 10, na temperatura de 152°C e sob ventilação natural.

3.3 DETERMINAÇÃO DAS MASSAS ESPECÍFICAS

As massas específicas dos lodos pré desaguamento, desaguado e pós secagem térmica foram calculadas utilizando a massa e o volume das amostras utilizando a Equação 3. Os dados estão dispostos na Tabela 03.

Tabela 03 – massa, volume e massa específica de cada teste dos lodos pré desaguamento, desaguado e pós secagem.

Teste	Parâmetros	Lodo pré desaguamento	Lodo desaguado	Lodo pós secagem
Teste 01	Massa (kg)	0,522	0,210	0,007
	Volume (L)	0,510	0,230	0,017
	ρ (kg/m ³)	1.023,530	913,040	411,760
Teste 02	Massa (kg)	0,325	0,086	0,007
	Volume (L)	0,325	0,120	0,017
	ρ (kg/m ³)	1.015,620	716,670	411,760
Teste 03	Massa (kg)	0,440	0,113	0,007
	Volume (L)	0,440	0,150	0,017
	ρ (kg/m ³)	1.000,000	753,330	411,760

Fonte: o autor, 2021.

Pela diferença nas massas específicas iniciais entre as amostras, comparadas com a massa específica do lodo no final do processo de secagem, verifica-se a rigorosa uniformidade do padrão das propriedades físicas do lodo.

De posse destes dados, calculou-se a média aritmética simples e o desvio padrão dos parâmetros para cada tipo de lodo. Os mesmos constam na Tabela 04.

Tabela 04 – médias e desvios dos parâmetros de massa, volume e massa específica dos testes realizados para o lodo pré desaguamento, desaguado e pós secagem.

Lodo	Massa (kg)	Volume (L)	ρ (kg/m ³)
Pré desaguamento	0,429 ± 0,099	0,425 ± 0,093	1.013,05 ± 11,974
Desaguado	0,136 ± 0,065	0,167 ± 0,057	794,35 ±

Remoção De Umidade De Lodo Têxtil Por Secagem Térmica

			104,413
Pós secagem	0,007 ± 0,000	0,017 ± 0,000	411,76 ± 0,000

Fonte: o autor, 2021.

4.4 DETERMINAÇÃO DO TEOR DE SÓLIDOS E DO TEOR DE UMIDADE

Com base nos dados da Tabela 04, calculou-se o teor de sólidos médio contido nas amostras de lodo desaguado e de lodo pós secagem, por meio da Equação 1. O teor da perda de umidade média das amostra pela Equação 2. Os dados são apresentados na Tabela 05.

Tabela 05 – teor de sólidos e teor de umidade médio nas amostras de lodo desaguado e pós secagem.

Dados	Lodo desaguado	Lodo pós secagem
Massa total (kg)	0,429	0,1
Massa seca (kg)	0,136	0,007
Massa do solvente (kg)	0,293	0
Teor de sólidos (%)	31,7	7
Teor de umidade (%)	68,3	7

Fonte: o autor, 2021.

4.5 BALANÇO DE MASSA NO SECADOR

Utilizando a massa de lodo desaguado retirado por dia na prensa como base de cálculo e as informações coletadas sobre o secador indireto na fundamentação, montou-se o balanço de massa no secador, determinando-se as massas e umidades de entrada e saída. Os resultados encontram-se na Tabela 06. A umidade de entrada representa apenas o que está adentrando o secador. Parte desta umidade já foi retirada pela prensa desaguadora, onde o lodo apresentava umidade inicial de 100%. Interpolou-se para encontrar a massa específica do material de saída e, pela Equação 03, calculou-se o volume equivalente ocupado em uma caixa de lodo.

Remoção De Umidade De Lodo Têxtil Por Secagem Térmica

Tabela 06 – balanço de massa no secador.

	Parâmetro	Valor
Entrada	Umidade (%)	68,3
	Massa (kg)	3.139,20
	ρ (kg/m ³)	794,35
	V equivalente (m ³)	3,95
Saída	Umidade (%)	12,15
	Massa (kg)	558,46
	ρ (kg/m ³)	479,82
	V equivalente (m ³)	1,16

Fonte: o autor, 2021.

Considerando que cada caixa de lodo comporta a quantidade de 7m³ e os valores de volume equivalentes da Tabela 06, calculou-se o tempo necessário para encher a caixa com os diferentes tipos de lodo. Também foi realizado o cálculo do custo de cada caixa de lodo, levando-se em conta que o valor cobrado pela empresa responsável à destinação final foi de R\$285,48 por m³ de lodo. Os dados são apresentados na Tabela 07.

Tabela 07 – comparação entre os lodos desaguado (situação atual) e pós secagem (situação estudada).

Dados	Situação atual	Situação estudada
Tempo para encher uma caixa	1,75 dias	6 dias
Quantidade de caixas retiradas por mês	12	4
Custo de cada caixa	R\$1.998,36	R\$1.998,36
Gasto mensal com descarte	R\$23.980,32	R\$7.993,44

Fonte: o autor, 2021.

Analisando os dados da Tabela 07, é possível afirmar que a economia mensal gerada para a empresa referente ao descarte do lodo, com a instalação de um secador, é de R\$15.986,56; uma economia de 66,67%. Ademais, gera benefícios para o meio ambiente, com um menor volume de lodo destinado para o aterro sanitário; contribui também para a redução da corrosão da caixa de transporte, devido ao

polímero catiônico utilizado na etapa de condicionamento, e minimiza os transtornos de mobilidade ocasionados pelo transporte das caixas com o resíduo.

4.6 PAYBACK SIMPLES DO SECADOR

Considerando os dados de operação do secador dispostos no item 2.6.1, ou seja, que os custos de energia elétrica e de vapor sejam de R\$0,83 kW e de R\$0,067 por kg, respectivamente, e que o secador opere 15 horas por dia numa média de 22 dias por mês, tem-se que os gastos fixos mensais para operação do equipamento serão de R\$8.358,57. Levando-se em conta a economia de R\$15.986,56 nas caixas de lodo, o ganho mensal ainda seria de R\$7.627,99. Como o valor de aquisição do secador instalado é de R\$435.000,00, o payback se daria em 57 meses (4 anos e nove meses).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise dos dados obtidos pelos ensaios de secagem de amostras de lodo residual gerado pelos processos de tingimentos demonstra a importância da implantação do processo estudado. Muita água está sendo transportada para aterro sanitário.

O teor de umidade do lodo apresenta variação expressiva quando submetido à secagem térmica, sendo eliminada cerca de 87,85% de umidade quando comparado ao lodo pré-desaguamento, estando de acordo com a Política Nacional de Resíduos Sólidos. As massas específicas também sofreram variação devido à grande massa de água evaporada no sistema prensa-secador. A economia gerada é relevante para a empresa, contribuindo também na questão referente ao passivo ambiental, entretanto o payback do sistema é demasiado longo.

Para pesquisas futuras, poderia se projetar um trocador de calor para fazer a secagem do material, a fim de se comparar com os custos da compra de um secador pronto, ou ainda, um projeto com o mesmo secador, porém utilizando gases

residuais da chaminé da caldeira ou da rama.

REFERÊNCIAS

ABIT - Associação Brasileira de Indústria Têxtil . **Perfil do Setor**. 2021.

Disponível em <<https://www.abit.org.br/cont/perfil-do-setor>>, acesso em 04 ago. 2021.

ALBRECHT. **OFERTA Nº 210 / 2020 REV00 SECADOR INDIRETO BRUTHUS F**. Proposta de venda. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004: Resíduos sólidos – classificação**. Rio de Janeiro, 2004.

BATISTA, L.F. **Lodos gerados nas estações de tratamento de esgotos no Distrito Federal: um estudo de sua aptidão para o condicionamento, utilização e disposição final**. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Publicação PTARH.DM-168/2015, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 197p. 2015.

CARVALHO, Danieli de; et al. **Análise e Determinação da Umidade de Equilíbrio Higroscópico de Grãos e da Farinha de Trigo na Temperatura de 50 °C**. Anais -VII Conferência Brasileira de Pós-Colheita. 2018.

CRISPIM, M.W. **Avaliação técnico-econômica de sistema de secagem térmica de lodo de esgoto doméstico**. Monografia – Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis, Santa Catarina. 2015.

DAVID, A. C. **Secagem térmica de lodos de esgoto. Determinação da umidade de equilíbrio**. Dissertação de Mestrado em Engenharia. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2002.

FERNADEZ, L.P., MIKOWSKI, P.C.B. **Avaliação da viabilidade da utilização delodo de estação de tratamento de água em peças de concreto para pavimentação intertravada.** Trabalho de conclusão de curso. Curitiba, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2016.

FERREIRA, R. A. R.; NISHIYAMA, L. **Principais equipamentos e processos utilizados no condicionamento e tratamento do lodo de esgoto.** Uberlândia, 2003.

GIORDANO, Gandhi. **Tratamento e controle de efluentes industriais.** (2004).

GONÇALVES, R.F; LUDUVICE, M., VON SPERLING, M. **Remoção da umidade de**

lodo de esgoto, cap 05. In: Lodo de Esgotos: Tratamento e Disposição Final –Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias, 6. DESA – UFMG, SANEPAR. Belo Horizonte, MG. (2001).

HEDLUND, K. F. S. **Adensamento de lodo de estação de tratamento de água: comparação entre sedimentação e flotação.** Dissertação Mestrado, UFSM, Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2016.

MANU, B.; CHAUDHARI, S. **Anaerobic Decolorisation of simulated textilecontaining azo dye.** Bioresource Technology 82 pg. 225-231. Índia, 2001.

MORVAI, László. **Escolher o sistema de desaguamento mecanizado de lodo – uma missão possível.** Andritz Separation. 2018.

NOVAIS, A.F.; FERREIRA, S.R.S. Apostila de Laboratório II. Departamento de Engenharia Química e Engenharia de Alimentos – EQA. Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) – Florianópolis, Santa Catarina. 2012.

NUNES, Giovanna Ribeiro. **Geração e Tratamento de Efluentes da Indústria Têxtil.** Monografia – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, Minas Gerais. 2019.

PEREIRA, A.C.A.; GARCIA, M.L. **Efeitos da disposição de lodo de estações de tratamento de efluentes (ETE) de indústria alimentícia no solo: estudo de caso.** Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental – ABES. Engenharia Sanitária e Ambiental, vol. 22, número 3. Publicado: 2017.

PEREIRA, V. E. **Disposição de lodo adensado de ETA em ETE com tratamentoprímário quimicamente assistido.** 2011. 170 p. Dissertação de Mestrado (em Saneamento e Ambiente) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2011.

PINHEIRO, A. V. **Alternativas para destinação final do lodo gerado no tratamento de esgoto sanitário.** Trabalho de Conclusão de Curso de EngenhariaCivil. Juiz de Fora: Universidade Federal de Juiz de Fora, 2012.

ROSA, A.H.; FRACETO, L.F.; MOSCHINI-CARLOS, V. **Meio Ambiente e Sustentabilidade.** Porto Alegre: Bookman, 2012.

SEZERINO, P.H; BENTO, A.P. **Saneamento Básico II.** Curso de Especialização emGestão de Recursos Hídricos. Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC. 2005.

SIQUEIRA, Gilson. **Teor de sólidos/umidade: o que é? Qual a importância? Quais as principais técnicas?** 2019. Disponível em <
<https://pt.linkedin.com/pulse/teor-de-s%C3%B3lidos-umidade-o-que-%C3%A9-qual-import%C3%A2ncia-quais-siqueira>>, acesso em 02 set. 2021.

SOTO, T.B.; ORRICO, V.R. **Análise térmica de um secador de lodos.** Monografia – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, Espírito Santo. 2009.

SPERLING, M. V.; ANDREOLI, C. V.; FERNANDES, F. **Lodo de esgotos: tratamento e disposição final.** 1. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia

Remoção De Umidade De Lodo Têxtil Por Secagem Térmica

Sanitária e Ambiental – UFMG; Companhia de Saneamento do Paraná, 2001.

VAN HAANDEL, A.; ALÉM SOBRINHO, P. **Produção e constituição do lodo de esgoto**, In: Andreoli, C. V (ed). Alternativas de Uso de resíduos do Saneamento –Projeto PROSAB. Rio de Janeiro: ABES. 2006.

ESTUDO PARA SUBSTITUIÇÃO DE MATÉRIA-PRIMA ALTERNATIVA EM UM AMACIANTE PARA FELPA UTILIZADA EM UMA INDÚSTRIA TÊXTIL

Eduarda Amorim Theiss¹
Me. Raquel Bonati Moraes Ibsch²

RESUMO: No ano de 2020 foi decretada a pandemia mundial do Coronavírus, que resultou na insuficiência de matérias-primas para as indústrias brasileiras e no mundo. Deste modo, uma indústria de soluções química de grande porte sofreu com a falta do componente principal usado na formulação de um amaciante para suas toalhas de banho. O amaciante é aplicado no beneficiamento das toalhas e é responsável por melhorar seu toque, denotando maciez e encorpamento ao artigo têxtil. Este trabalho apresenta alternativas para a substituição da matéria-prima em questão, através do estudo de uma nova formulação de amaciante têxtil, com a mesma qualidade da formulação padrão. Para isto, foi preciso realizar testes em laboratório avaliando as especificações necessárias do produto. Através desse estudo foram propostas três formulações, do qual o protótipo 2 apresentou resultado mais similar ao produto padrão, além de reduzir o custo em 1,34% por quilo do produto.

Palavras-chave: Amaciante têxtil; Matéria-prima; Beneficiamento.

1 INTRODUÇÃO

A indústria brasileira vem sofrendo com a escassez de matérias-primas em diversos setores produtivos, problema que teve início com a pandemia mundial causada pelo COVID-19. Com isso, uma indústria multinacional de grande porte do ramo de produção de soluções químicas, localizada no sul do Brasil, sofreu com a falta do componente principal usado na formulação de um amaciante têxtil

1 Acadêmica do curso de Engenharia Química da UNIFE. *E-mail:* eduarda.theiss@unifebe.edu.br

2 Professora orientadora. Mestre em Engenharia Química. *E-mail:* raquel.moraes@unifebe.edu.br

Estudo Para Substituição De Matéria-Prima Alternativa Em Um Amaciante Para Felpa Utilizada Em Uma Indústria Têxtil para toalhas de banho. Deste modo, foi necessário pesquisar novas alternativas de matéria-prima para atender à demanda dos clientes que utilizam o produto no beneficiamento têxtil, sem perder a qualidade do produto e sem aumento de custos.

A função básica de um amaciante é transmitir um toque específico à superfície têxtil, a fim de fazer com que a peça de vestuário ou de tecido seja mais atraente ao toque (HASHIM et al., 2009). A aplicação desse produto é realizada no beneficiamento têxtil, no qual, segundo Simão (2019), os materiais têxteis após trabalhados na fiação e na tecelagem são submetidos a diversos processos, para que o produto final tenha maior aceitação pelo consumidor.

Por meio de avaliações da formulação padrão, foram desenvolvidos três protótipos para substituição da matéria-prima. Para tanto, foram realizados testes de aplicação em amostras de tecido de algodão em laboratório para avaliação de qual protótipo iria apresentar o melhor resultado (textura, maciez ao toque) e se atenderiam aos parâmetros necessários, como por exemplo, uma taxa de absorção de, pelo menos, 50%.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste referencial teórico será descrito, brevemente, como a pandemia do Coronavírus influenciou na insuficiência de matéria-prima para as indústrias brasileiras, ocasionando a temática da pesquisa: a falta do componente principal usado na formulação de um amaciante têxtil para toalha de banho, fabricado em uma indústria de grande porte multinacional, localizada no sul do Brasil. Além disso, serão apresentadas as informações sobre a fibra de algodão utilizada na fabricação das toalhas de banho, como ocorre a aplicação do amaciante no beneficiamento têxtil, os tipos de amaciantes têxteis e a importância dos testes de laboratório para desenvolver uma nova formulação com uma matéria-prima alternativa.

2.1 INFLUÊNCIA DO COVID-19

Estudo Para Substituição De Matéria-Prima Alternativa Em Um Amaciante Para Felpa Utilizada Em Uma Indústria Têxtil

A indústria brasileira vem sofrendo com a escassez de matérias-primas em diversos setores produtivos, problema que teve início com pandemia mundial causada pelo COVID-19. A infecção pelo novo Coronavírus SARS-Cov-2, responsável por causar a doença COVID-19, tornou-se uma ameaça devastadora à saúde da população mundial e foi decretada pandemia global pela Organização Mundial da Saúde (OMS) no dia 11 de março de 2020 (NAKAMURA et al., 2020). Medidas restritivas para conter a disseminação da doença no país interromperam, em diversos momentos, a produção de insumos importantes para a cadeia produtiva. De acordo com dados da Confederação Nacional da Indústria (CNI), 68% das empresas estão com problemas para comprar matérias-primas no mercado nacional. Dentre as empresas que utilizam insumos importados regularmente, 56% relataram a mesma dificuldade. Além das paralisações, a moeda brasileira, o real, sedesvalorizou em relação às moedas internacionais durante este período, resultando em um aumento no custo das matérias-primas e suprimentos operacionais. Segundo McCann, F., & Myers, S. (2020) quando empresas dependem dos insumos de fornecedores que não conseguem operar devido ao coronavírus, pode ser que as empresas que precisem dos insumos tenham dificuldade para obter os recursos que necessitam. Por exemplo, se empresas dos setores que não foram diretamente afetados pela pandemia compram uma quantidade substancial dos seus recursos de empresas muito afetadas pela pandemia, o preço ou disponibilidade dos recursos vai provavelmente mudar.

2.2 ALGODÃO

As toalhas de banho são usualmente fabricadas com tecido de algodão, que é uma fibra esbranquiçada adquirida dos frutos de algumas espécies do gênero *Gossipium*, família Malvaceae. O algodão é plantado anualmente, com média de 34 milhões de hectares desde 1950 (BELTRÃO; CARVALHO, 2004).

O algodão representa cerca de 30% do consumo total de matérias-primas para tecido, sendo o carro chefe das exportações da cadeia de produção têxtil

Estudo Para Substituição De Matéria-Prima Alternativa Em Um Amaciante Para Felpa Utilizada Em Uma Indústria Têxtil brasileira (ZEFERINO, 2017). Seu alto consumo ocorre devido às suas qualidades intrínsecas relacionadas ao conforto, maciez e durabilidade, além de sua versatilidade, que permite sua combinação com outras fibras (PEZZOLO, 2013).

A felpa bruta do algodão possui proteínas, pectinas e ceras em sua superfície que a deixa com baixa absorção à água, portanto, para que o algodão sofra qualquer processo de modificação é necessário fazer a remoção das ceras hidrofóbicas e de qualquer outro material nela contida (MUXEL, 2007). Segundo Pimentel (2010) esta etapa chama-se purga e é um dos processos do beneficiamento primário em que os constituintes hidrofóbicos (ceras e gorduras) e outros compostos não celulósicos (pectinas, proteínas e ácidos orgânicos) são removidos da fibra de algodão.

A Figura 1 evidencia a felpa de algodão antes e depois de purgar.

Figura 1 - Felpa de algodão sem tratamento (A); tecido purgado (B)



Fonte: A autora, 2021.

2.3 BENEFICIAMENTO TÊXTIL

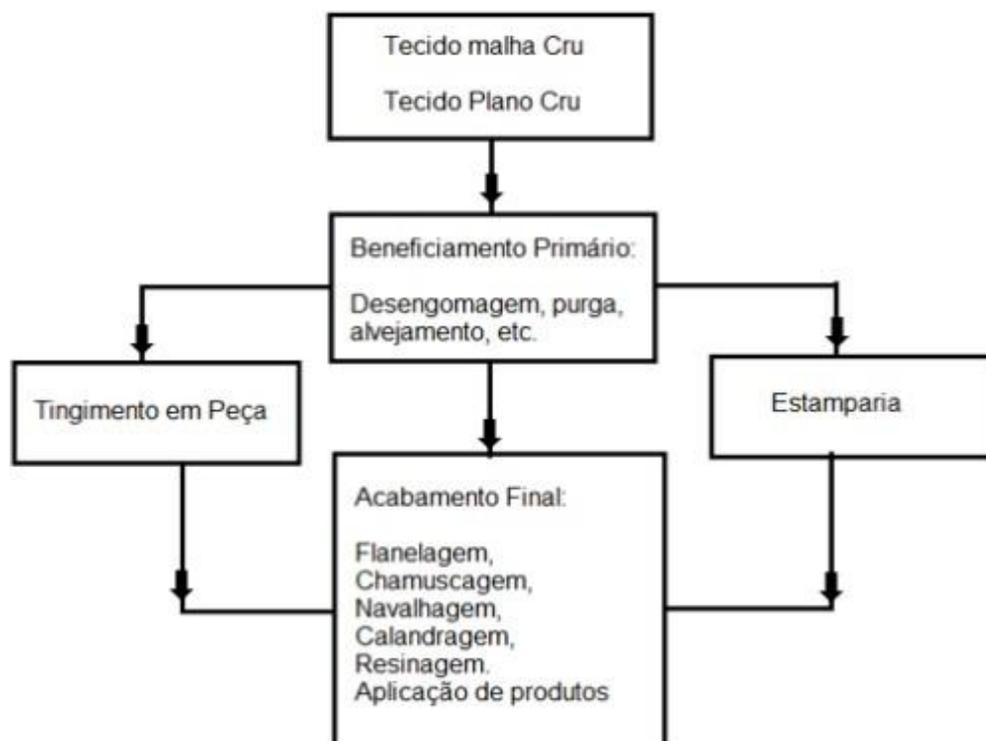
Quando o tecido sai da tecelagem, ainda não está pronto para chegar às mãos do consumidor final, pois seu toque não é agradável e a sua aparência

Estudo Para Substituição De Matéria-Prima Alternativa Em Um Amaciante Para Felpa Utilizada Em Uma Indústria Têxtil épouco atrativa. Para se tornar um produto comercialmente desejado é preciso beneficiá-lo para ser mais apresentável e aumentar seu valor agregado. (SIMÃO, 2019). O beneficiamento pode ser dividido em três etapas, sendo eles, o beneficiamento primário, secundário e terciário.

No beneficiamento primário o tecido é preparado para as etapas subsequentes; no beneficiamento secundário, o tecido é tinto ou estampado e, por fim, o beneficiamento terciário compreende uma série de processos que conferem ao material estabilidade dimensional, melhor toque e características especiais exigidas pelo consumidor (LEÃO et al., 2002).

Na Figura 2 é apresentado o fluxograma do beneficiamento têxtil, desde a tecelagem até o acabamento final.

Figura 2 - Fluxograma – da tecelagem ao beneficiamento



Fonte: SIMÃO, 2019.

Estudo Para Substituição De Matéria-Prima Alternativa Em Um Amaciante Para Felpa Utilizada Em Uma Indústria Têxtil

No presente estudo será apresentado o beneficiamento terciário ou o acabamento, onde é possível fornecer ao tecido encorpamento, aumento de rigidez, maior peso, maior brilho, melhor toque ou amaciamento.

2.3.1 Beneficiamento terciário – Aplicação de produto

O beneficiamento terciário consiste na eliminação do excesso de substâncias não reagidas com a fibra do fio, que devem ser eliminadas para garantir uma maior solidez do produto (PEREIRA, 2014). Nesta etapa, todas as operações executadas nos artigos têxteis têm como objetivo torná-lo próprio ou mais adequado para o fim a que se destina. Porém, muitas vezes, essas operações são feitas a título de tornar ainda mais nobre o produto que vai ser comercializado (LEÃO et al., 2002).

No beneficiamento terciário é realizada também a aplicação de produtos tais como os amaciantes, responsáveis por melhorar o toque e a maciez do produto. Os amaciantes podem ser aplicados em fios ou tecidos, tanto por esgotamento quanto em contínuo (PEREIRA, 2014), conforme explicação a seguir:

Esgotamento: nesse processo o tecido é colocado em um banho, o qual, segundo Pereira (2014) é realizado em máquinas fechadas sob pressão, feito por partidas.

- **Contínuo:** aplicados sequencialmente e de modo contínuo ao fluxo de produtos através de banhos curtos e renováveis, com posterior espremedura ou ativação de produtos impregnados (PEREIRA, 2014). O *foulard* é uma máquina utilizada nesse processo, destinada à impregnação de uma grande variedade de substâncias químicas têxteis que podem ser corantes, pigmentos e diversos produtos de acabamento (COLAVITTI, 2007).

2.4 AMACIANTES TÊXTEIS

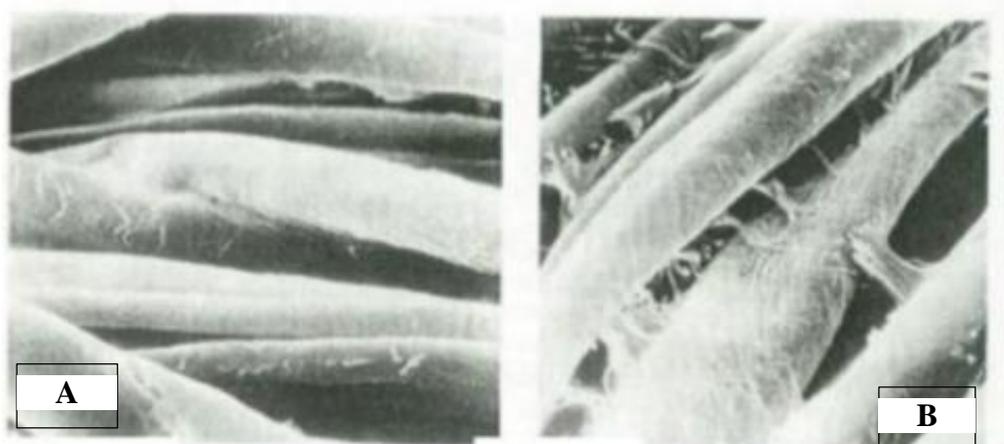
Estudo Para Substituição De Matéria-Prima Alternativa Em Um Amaciante Para Felpa Utilizada Em Uma Indústria Têxtil

Amaciantes têxteis são, geralmente, sais quaternários de amônio, silicones ou polietilenos que carregam as fibras fazendo com que estas comecem a se repelir, misturados com ácidos graxos sólidos que conferem o chamado toque liso (ALCÂNTARA; DALTIM, 1995). Neste estudo, o amaciante formulado é uma mistura de emulsão de silicones e ácidos graxos, o qual melhora a lisura e a fluidez da malha (maleabilidade) por efeito lubrificante, mas pode afetar negativamente a solidez dos tingimentos e hidrofiliabilidade dos tecidos. Deste modo, é necessário sempre realizar testes, especialmente no caso dos amaciantes à base de silicone (BORELLI et al., 2014).

Amaciantes à base de silicone são usados nos tecidos e malhas com o propósito de dar um toque muito liso. São emulsões, micro emulsões e até nano emulsões (HEYWOOD, 2003). Segundo Saraiva (2008) os grupos lipofílicos presentes em amaciantes são derivados de ácidos graxos de sebo, na maior parte das vezes, sebo hidrogenado. O poder de amaciamento está diretamente relacionado com o teor de ativos (SARAIVA, 2008). De acordo com Borelli et al. (2014) amaciantes à base de silicones formam uma película que reveste os filamentos e lhes confere grande lisura o que se reflete na lisura e na maleabilidade do artigo de malha ou tecido.

A Figura 3 evidencia o estado das fibras de uma toalha de algodão, depois de 12 ciclos de lavagem.

Figura 3 - Lavagem de fibras de algodão (A) com uso de amaciante; (B) sem uso de amaciante



Fonte: SARAIVA, 2008.

Estudo Para Substituição De Matéria-Prima Alternativa Em Um Amaciante Para Felpa Utilizada Em Uma Indústria Têxtil

2.5 IMPORTÂNCIA DA REALIZAÇÃO DE TESTES

Para o desenvolvimento de novas formulações é necessário realizar testes de aplicação em amostras de tecidos de algodão no laboratório, para avaliar qual protótipo possui o melhor desempenho dentro das especificações da formulação anterior como, por exemplo, a absorção de, no mínimo, 50%. De acordo com Eqjúnior (2020), além de garantir a segurança, os testes podem também definir outros objetivos, como melhorar um produto já existente.

O produto proposto deve proporcionar para o artigo têxtil maciez, lisura, boa durabilidade, capacidade de absorção de água (hidrofilidade) e ausência de substâncias tóxicas. De acordo com Testex (2019), para garantir que atenda essas demandas são realizados testes de avaliação e comparação das propriedades físicas e químicas dos têxteis. Poolton e Barclay (1998) identificaram várias características do produto que o impulsionam para o sucesso: baixo custo, alta qualidade, desempenho superior e atributos únicos.

Outro fator crucial para o desenvolvimento de um produto é a determinação de sua estabilidade, com objetivo de prever alterações físicas, químicas ou microbiológicas (MORI; ORIQUI; WONGTSCHOWSKI, 2013). Segundo Miranda et al. (2014) a estabilidade de um produto depende de vários fatores como, por exemplo, tempo e temperatura que podem acelerar ou retardar alterações nos parâmetros físicos e químicos entre outros.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

3.1 DESENVOLVIMENTO DO PRODUTO

Para desenvolver um novo produto foi avaliada a formulação padrão, a qual é composta por ácido graxo, bactericida e emulsão de silicone de alta concentração, a qual é a matéria-prima em falta. Deste modo, foram realizados cálculos para igualar o teor de ativos, utilizando emulsões de silicone disponíveis, desenvolvendo assim três protótipos diferentes.

Para o desenvolvimento do protótipo 1, foi utilizada uma emulsão de

Estudo Para Substituição De Matéria-Prima Alternativa Em Um Amaciante Para Felpa Utilizada Em Uma Indústria Têxtil

silicone do fornecedor A, para o protótipo 2, emulsão de silicone do fornecedor B. Já o protótipo 3, foi utilizada a mesma emulsão do fornecedor B, porém, em menor concentração, igualando a formulação com adição de mais água, desta forma, diminuindo o custo do produto.

3.1.1 ESTABILIDADE DAS AMOSTRAS

A estabilidade dos protótipos foi avaliada pelos fatores tempo e temperatura, que são fundamentais para determinar a validade do produto e o comportamento do mesmo. A validade foi determinada através do estudo da estabilidade acelerada, de acordo com o Art. 34, parágrafos 3º e 4º, da Resolução RDC ANVISA Nº 59, 17 de dezembro de 2010:

“Para formulações que apresentem perda significativa de teor de componente ativo ou matéria ativa ou princípio ativo devido à temperatura elevada ou cujas condições do estudo de estabilidade acelerado não reproduzam de forma realística o armazenamento do produto, os seguintes tempos e temperaturas devem ser usados:

I - 28 dias a 50° C ±

2°; II - 42 dias a 45°

C ± 2°; III - 56 dias

a 40° C ± 2°;

IV - 84 dias a 35° C ±

2°; ou V - 126 dias a

30° C ± 2°.

O prazo de validade projetado com base no estudo de estabilidade acelerado é de, no máximo, 24 meses” (BRASIL,2010).

Para realizar os testes, cada protótipo ficou durante 60 dias em uma geladeira a 6 ± 1°C, 60 dias em estufa a 40 ± 1°C e 60 dias em temperatura ambiente a 23 ± 2°C. Durante esse tempo, cada amostra foi acompanhada a cada 3 dias para verificar se havia alguma mudança aparente, tais como: separação de fase, formação de grumos, amarelamento etc.

Estudo Para Substituição De Matéria-Prima Alternativa Em Um Amaciante Para Felpa Utilizada Em Uma Indústria Têxtil

3.2 APLICAÇÃO DO PRODUTO

A aplicação dos amaciantes em tecido 100% algodão, denominado como felpa, foi realizada em laboratório têxtil através do método contínuo, utilizando o aparelho *Foulard* da marca Ernst Benz modelo Rümliang-Zürich para impregnação do produto, para secagem, foi utilizada a máquina Rama da marca Wuppertal, modelo R. LAB.

3.2.1. Método Contínuo

Nesse tipo de aplicação o tecido atravessa continuamente um banho com o amaciante e em seguida passa através de dois rolos lisos e com certa pressão para retirar o excesso do banho no tecido (SILVA, 2013). Essa pressão nos rolos do *foulard* é chamada de *pick-up*, termo técnico utilizado para calcular percentual de retenção do banho pelo substrato. O *pick-up* é calculado conforme a Equação 1 a seguir:

$$Pu = \frac{(Pd - Pa) \cdot 100}{Pa} \quad \text{Equação (1)}$$

Onde:

Pu = *Pick-up*

Pa = Peso do tecido seco

Pd = Peso do tecido depois de molhado e passado no *foulard*

No presente estudo, foi utilizado *pick-up* de 90%, o mesmo que os cliente geralmente utilizam em sua produção. Na Figura 4, é apresentado o *foulard* utilizado para fazer a impregnação.

Estudo Para Substituição De Matéria-Prima Alternativa Em Um Amaciante Para Felpa Utilizada Em Uma Indústria Têxtil
Figura 4 - *Foulard* para *impregnação*.



Fonte: A autora, 2021.

3.2.2 Secagem

Após a aplicação, o tecido foi encaminhado à rama, onde foi mantido a uma temperatura de 150°C por 5 minutos, tempo necessário para sua completa secagem. Depois de seco, o tecido foi deixado exposto à temperatura ambiente para climatizar as felpas de algodão. Sob aquecimento o tecido tende a sofrer encolhimento e, para evitá-lo, o tecido foi tensionado durante todo o processo (SILVA, 2013). Na figura 5, é evidenciado o tecido já tensionado entrando na rama para secagem.

Estudo Para Substituição De Matéria-Prima Alternativa Em Um Amaciante Para Felpa Utilizada Em Uma Indústria Têxtil
Figura 5 - Amostra entrando na rama.



Fonte: A autora, 2021.

Depois de finalizadas as aplicações de produto, as felpas foram denominadas conforme Tabela 1:

Tabela 1 - Denominação das felpas

Padrão	=	Formulação padrão
Amostra 1	=	Protótipo 1
Amostra 2	=	Protótipo 2
Amostra 3	=	Protótipo 3

Fonte: A autora, 2021

3.3 AVALIAÇÕES

As avaliações dos tecidos contemplaram três parâmetros: maciez do toque, hidrofiliabilidade e absorção. A maciez e o toque agradável do tecido são as principais funções de um amaciante e são avaliados para definir a qualidade e desempenho do produto (SILVA, 2013). Como o amaciante à base de silicone forma uma película que reveste os filamentos da fibra, é necessário avaliar a hidrofiliabilidade, ou seja, verificar se a água consegue penetrar nas fibras, testando, assim, a qualidade da matéria-prima. Outro parâmetro importante, como se trata de um produto para toalhas de banho, é a absorção de água, visto que o critério do parâmetro de especificação é de no mínimo 50%, exigido pelos atuais

Estudo Para Substituição De Matéria-Prima Alternativa Em Um Amaciante Para Felpa Utilizada Em Uma Indústria Têxtil
compradores do produto.

3.3.1. Maciez ao toque

Essa avaliação consiste em basicamente, verificar a eficiência do amaciante, ou seja, o quanto ele possibilita um toque macio e suave ao tecido. (SILVA.2013). O teste do toque foi avaliado a partir de 9 julgadores. A maciez da amostra padrão (P) frente às amostras 1, 2 e 3 foi avaliada através de teste sensorial discriminativo do tipo ordenação-preferência, bilateral (DUTCOSKY, 2011). Para tanto, os 9 julgadores selecionados não eram treinados e desconheciam qual era a amostra padrão. Neste teste, elas sentiram qual tecido estava mais agradável ao toque, ordenando os protótipos do mais agradável para o menos, onde a nota 1 seria o mais agradável e 4 menos agradável.

3.3.2 Hidrofilidade

Essa análise tem como objetivo detectar o nível de hidrofilidade do tecido antes e após a aplicação dos amaciantes (SILVA, 2013). Para realização desse teste foi aplicada uma gota de água em cada felpa e, após, cronometrado o tempo que a gota demorou para ser totalmente absorvida pelo tecido. Foi realizado em triplicada.

Na figura 6, é possível observar a gota sobre a felpa com a aplicação de um dos produtos:

Estudo Para Substituição De Matéria-Prima Alternativa Em Um Amaciante Para Felpa Utilizada Em Uma Indústria Têxtil

Figura 6 - Teste de hidrofiliabilidade.



Fonte: A autora, 2021.

3.3.3 Absorção

Esse teste consiste em calcular qual o percentual de água que cada amostra consegue absorver e se estão conseguem atingir o parâmetro especificado. O teste foi realizado na felpa sem aplicação, amostra padrão, amostra 1, amostra 2 e amostra 3. Cada felpa foi tensionada e posta em um plano inclinado. Na sequência, foram derramados 50 ml de água na amostra. Abaixo do plano inclinado havia um contentor onde toda a água não absorvida pela amostra foi coletada.

Após derramar os 50mls de água, a água do contentor foi transferida para um béquer, para cálculo da diferença através da Equação 2, a seguir.

$$\frac{QI}{QF} = \frac{100}{Ab}$$

Equação (2)

Onde:

QI = Quantidade inicial de

50 ml QF = Quantidade final

Ab = Absorção em %

Estudo Para Substituição De Matéria-Prima Alternativa Em Um Amaciante Para Felpa Utilizada Em Uma Indústria Têxtil

Na figura 7, é possível observar como o esquema foi montado para quantificar a absorção do material.

Figura 7 - Teste de absorção.



Fonte: A autora, 2021

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1 ESTABILIDADE DOS PROTÓTIPOS

Após 60 dias de avaliação dos protótipos, as amostras que estavam à temperatura ambiente e em temperatura de geladeira, não apresentaram nenhuma mudança. Já as amostras que estavam em estufa, após 45 dias, apresentaram uma aparência mais viscosa, formação de grumos e separação de fases.

A partir do estudo de estabilidade acelerada da ANVISA (Brasil, 2010), foi possível definir a validade de 12 meses para todos os protótipos.

4.2 MACIEZ AO TOQUE

A Tabela 2 apresenta os resultados de avaliação da maciez por 09 julgadores não treinados.

Tabela 2 - Avaliação da maciez.

Estudo Para Substituição De Matéria-Prima Alternativa Em Um Amaciante Para Felpa Utilizada Em Uma Indústria Têxtil

Julgador	P	1	2	3
1	4	3	1	2
2	3	1	4	2
3	1	2	3	4
4	1	3	2	4
5	1	3	2	4
6	2	3	1	4
7	2	1	4	3
8	4	1	2	3
9	4	2	3	1
total	22	19	22	27

Fonte: A autora, 2021.

Legenda:

P = Amostra Padrão

1 = Amostra 1

2 = Amostra 2

3 = Amostra 3

Após avaliação dos resultados, observou-se que não houve diferença estatística entre as amostras, ao nível de 5% de significância, conforme o método de ordenação-preferência.

A partir da tabela 2, define-se que a ordem de maciez decrescente é $1 > 2 \geq P > 3$.

4.3 HIDROFILIDADE

Analisando os resultados encontrados na Tabela 3, foi determinada que a ordem de hidrofiliade decrescente foi igual a $P > 3 > 2 > 1$. É possível avaliar que o protótipo 1, apesar de ter apresentado o melhor desempenho de maciez, apresentou baixa hidrofiliade.

Tabela 3 - Hidrofiliade

Estudo Para Substituição De Matéria-Prima Alternativa Em Um Amaciante Para Felpa Utilizada Em Uma Indústria Têxtil

Amostra	Tempo (s)
Padrão	2,39 ± 0,39
1	3,74 ± 0,50
2	2,72 ± 0,73
3	2,58 ± 0,53

Fonte: A autora, 2021.

4.4 ABSORÇÃO

Analisando os resultados encontrados na Tabela 4, foi identificada que a ordem de capacidade de absorção decrescente foi igual a $P \geq 2 > 3 > 1$. Foi possível avaliar que o protótipo 1, apesar de ter apresentado o melhor desempenho de maciez, não atingiu a absorção mínima de 50% da especificação do produto. A amostra 2, por outro lado, demonstrou a mesma absorção do produto padrão. E amostra 3, por sua vez, apresentou um desempenho próximo ao padrão.

Através da Tabela 4, é comprovado que o uso de amaciante diminuiu consideravelmente a capacidade da felpa de absorver água, devido a formação de uma película que reveste os filamentos.

Tabela 4 - Absorção

Amostra	Absorção (%)
Sem Aplicação	92
Padrão	52
1	40
2	52
3	51

Fonte: A autora, 2021.

4.5 CUSTOS E AVALIAÇÃO FINAL

Para decidir qual protótipo será produzido, foi avaliado também o custo final de cada formulação em relação ao padrão. O protótipo 1 implicará em uma redução de 5,36% por quilo do produto; o protótipo 2 implicará em uma redução de 1,34% por quilo do produto e o protótipo 3, por sua vez, implicará em uma redução de 4,82% por quilo do produto.

Estudo Para Substituição De Matéria-Prima Alternativa Em Um Amaciante Para Felpa Utilizada Em Uma Indústria Têxtil

No protótipo 1 foi utilizada uma emulsão de silicone que confere mais maciez ao produto final, porém baixa hidrofiliidade. Já para o protótipo 2 foi utilizada uma emulsão de silicone de qualidade superior, que confere maciez e média hidrofiliidade. E, para o protótipo 3, foi considerada a mesma formulação do protótipo 2, porém com avaliação de formas para redução do custo do produto para o consumidor final.

Por meio dos resultados apresentados e através da avaliação dos custos, o melhor protótipo foi o 2, pois apresentou resultados semelhantes ao produto padrão. O protótipo 3, apesar de ter apresentados bons resultados, apresentou maciez inferior aos demais. Por fim, o protótipo 1, não atendeu a especificação de, no mínimo, 50% de absorção.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo teve como objetivo encontrar uma alternativa à matéria-prima principal utilizada na formulação do amaciante têxtil para felpa, sem perder a qualidade do produto e sem impactar nos custos, permitindo, desta forma, atender a demanda dos clientes que o utilizam em seu beneficiamento têxtil. Para atender a este objetivo foi necessário realizar testes em laboratório têxtil, tais como: taxa de absorção, hidrofiliidade e maciez.

Os testes de hidrofiliidade evidenciaram que a qualidade da matéria-prima afeta diretamente na capacidade de absorção de água do artigo têxtil. O teste de taxa de absorção evidenciou que a aplicação do amaciante afeta negativamente esse parâmetro, porém, com matérias-primas de qualidade, é possível chegar ao um bom resultado de absorção, de acordo com os parâmetros necessários.

A pesquisa da maciez ao toque demonstrou que cada pessoa possui uma percepção diferente. Deste modo, a maneira como foi realizado o teste não apresentou resultados concretos, sendo necessário realizar a pesquisa apenas com pessoas treinadas para tal ou com maior número de julgadores.

Com o estudo e desenvolvimento deste trabalho evidenciou-se que é possível alterar a formulação do produto sem perder a qualidade do mesmo, além

Estudo Para Substituição De Matéria-Prima Alternativa Em Um Amaciante Para Felpa Utilizada Em Uma Indústria Têxtil de reduziro custo do produto. Mesmo com a escassez de matéria-prima causada pelo COVID- 19, é viável atender a demanda dos clientes através de meio alternativos, como o que foi apresentado neste estudo.

REFERÊNCIAS

ALCÂNTARA, M. R.; DALTIM, D. **A QUÍMICA DO PROCESSAMENTO TÊXTIL.** QUÍMICA NOVA, São Paulo, v. 19, n. 3, p. 320-330, out./1995. Disponível em: <http://submission.quimicanova.sbq.org.br/qn/qnol/1996/vol19n3/v19_n3_17.pdf>. Acesso em: 29 ago. 2021.

BELTRÃO, N. E. d. M.; CARVALHO, L. P. **Algodão Colorido no Brasil, e em Particular no Nordeste e no Estado da Paraíba:** Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. 1. ed. Campinas Grande: Embrapa, 204. p. 1-18.

BORELLI, C. et al. **Estudo sobre os efeitos do acabamento de resina melamínica e de amaciante de silicone na solidez à lavagem, atrito e calor dos tingimentos de malha de poliéster em processo contínuo.** São Paulo, jun./2014. Disponível em: <<file:///C:/Users/Windows/Downloads/176-649-1-PB.pdf>>. Acesso em: 29 ago. 2021.

BRASIL. **RESOLUÇÃO-RDC Nº 59, DE 17 DE DEZEMBRO DE 2010, ART.34.** Disponível em: <https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2010/res0059_17_12_2010.html>. Acesso em: 30 out. 2021

CNI, PORTAL DA INDUSTRIA. **Dificuldades na Obtenção de Insumos Seguem Severos.** Disponível em: <<http://www.portaldaindustria.com.br/estatisticas/sondesp-80-mercado-de-insumos-e-materias-primas/>>. Acesso em: 14 ago. 2021.

COLAVITTI, F. **Para que serve a sua roupa.** Galileu, São Paulo, v.187, 2017.

DUTCOSKY, S. D. **Análise Sensorial De Alimentos.** 3. ed. [S.I.]: Champagnat, 2011. p. 1-426.

EQJÚNIOR. **IMPORTÂNCIA DOS TESTES DE QUALIDADE NOS PRODUTOS FINAIS.** Disponível em: <<https://eqjunior.com.br/blog/testes-de-qualidade/>>. Acesso em: 29 ago. 2021.

HASHEM, M. et al. **An Eco-Friendly – Novel Approach for Attaining Wrinkle –Free/Soft-Hand Cotton Fabric.** Carbohydrate Polymers, Cairo, v. 78, n. 2009, p.690-703, 2009.

Estudo Para Substituição De Matéria-Prima Alternativa Em Um Amaciante Para Felpa Utilizada Em Uma Indústria Têxtil

HEYWOOD, D. - Textile Finishing - **Society of Dyers and Colorists** – London, England. Woodhead, 2003.

LEÃO, M. M. D. et al. **Controle Ambiental na Indústria Têxtil: Acabamento de Malhas**. 1 ed. Belo Horizonte: Projeto Minas Ambiente, 2002.

MCCANN, F.; MYER, S., 2020. "**COVID-19 and the transmission of shocks through domestic supply chains**," Financial Stability Notes 3/FS/20, Central Bank of Ireland.

MIRANDA, N. R. et al. **ESTUDO DA ESTABILIDADE PRELIMINAR DE XAMPUBASE COM DIFERENTES AGENTES DE VISCOSIDADE**. Anais VI SIMPAC, Viçosa-MG, v.6, n.1, p.307-312, dez./2014. Disponível em: <<https://academico.univicoso.com.br/revista/index.php/RevistaSimpac/article/view/420/610>>. Acesso em: 29 ago. 2021.

MORI M.; ORIQUI R. L.; WONGTSCHOWSKI P. **Guia para a determinação da estabilidade de produtos químicos**. Química Nova [online]. 2013, v. 36, n. 2 pp.340-347. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0100-40422013000200023>>. Acesso em: 20 nov. 2021.

MUXEL, A. A. **Modificação química da fibra natural de algodão com ZnO e suas propriedades**. 2007. 74f. Dissertação (Mestrado em Química dos Recursos Naturais) – Centro de Ciências Exatas, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2007.

NAKAMURA, P. M. et al. **COVID-19 e morte materna no Brasil: uma tragédia invisível**. Femina. 2020;48(8):496-8.

PEREIRA, G. **INTRODUÇÃO À TECNOLOGIA TÊXTIL**. Araranguá, 2014. (Apostila).

PEZZOLO, D. B. **Tecidos - histórias, tramas, tipos e usos**. São Paulo: Senac São Paulo. 2007.

PIMENTEL, A. **Caracterização de uma Pectinase Comercial e sua Utilização no Processo de Purga da Indústria Têxtil**. Dissertação (Mestrado) Curso de Engenharia Química, Departamento de Engenharia Química e Engenharia de Alimentos - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

POOLTON, J.; BARCLAY, I. **New Product Development From Past Research to Future Applications**. *Industrial Marketing Management*, v. 27, n. 3, p. 197-212. 1998.

Estudo Para Substituição De Matéria-Prima Alternativa Em Um Amaciante Para Felpa Utilizada Em Uma Indústria Têxtil

SARAIVA, S. A. **Caracterização De Matérias-Primas E Derivados De Origem Graxa Por Espectrometria De Massas**. 2008. 76p. Dissertação (Mestrado em Química na Área de Química Orgânica). Instituto de Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 11/12/2008.

SILVA, Y. T. S. **Estudo Da Aplicação De Amaciantes A Base De Manteigas De Babaçu E Tucumã Em Tecido Tipo Malha 100% Algodão**. 2013. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso superior em Engenharia Química) - Escola de Engenharia de Lorena da Universidade de São Paulo.

SIMÃO, F. Q. **Estudo Das Propriedades Físicas Durante Os Processos De Beneficiamento Têxteis**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso superior em Tecnologia em Têxtil e Moda) – Faculdade de Tecnologia de Americana, Americana.

TESTEX. **O que é o Teste de Tecido Têxtil, Método de Teste, Classificação deltem de Teste**. Disponível em:
<<https://www.testertextile.com/pt/Qual-%C3%A9-o-teste-de-tecido-t%C3%AAxtil%3F/>> Acesso em: 29 ago. 2021.

ZEFERINO, M. **Comércio Exterior da Cadeia de Produção do Algodão em 2017/18**. [S.l.], 2017. Disponível em:
<<http://www.iea.agricultura.sp.gov.br/out/LerTexto.php?codTexto=14353>>. Acesso em: 22 set. 2021.

UTILIZAÇÃO DO FRUTO E SEMENTES DE *COIX LACRYMA-JOBI L.* COMO COAGULANTE E AGENTE ANTIMICROBIANO NO TRATAMENTO DE ÁGUA DOCE BRUTA CLASSE II

*USE OF COIX LACRYMA-JOBI L. FRUIT AND SEEDS AS COAGULANT AND
ANTIMICROBIAL IN THE TREATMENT OF RAW FRESH WATER CLASS II*

Heitor Paloschi¹

Me. Raquel Bonati Moraes Ibsch²

RESUMO: A água é uma substância fundamental para a vida, porém nem sempre é encontrada na sua forma potável para o consumo, sendo necessária a realização de um tratamento apropriado. Uma das etapas do processo de tratamento é a coagulação, na qual, majoritariamente, utilizam-se coagulantes sintéticos. Portanto, esse estudo teve como objetivo identificar as características coagulante e antimicrobiana nos frutos e semente da planta *Coix lacryma-jobi L.*, visando encontrar um tratamento alternativo utilizando coagulantes e agentes antimicrobianos naturais, para água doce bruta classe II. Quanto a classificação do estudo, caracterizou-se como pesquisa experimental, através de manipulação direta das variáveis relacionadas ao objeto de estudo. O estudo iniciou-se com uma breve descrição da disponibilidade e qualidade da água, posteriormente, contextualizaram-se as etapas do tratamento de água a serem estudadas e, por fim, foi realizada a apresentação das características da planta em estudo. O resultado da pesquisa apontou valores obtidos a partir da utilização dos coagulantes naturais em comparação com o sulfato de alumínio, bem como informações quanto a atividade antimicrobiana dos mesmos. Mediante os resultados apresentados, revela-se a importância da realização de pesquisas complementares, visando coletar mais informações a respeito do comportamento e propriedades presentes nos frutos e sementes da *Coix*

¹ Acadêmico do curso de Engenharia Química da UNIFE. *E-mail:* hpaloschi@unifebe.edu.br

² Professora orientadora. Me. Raquel Bonati Moraes Ibsch. *E-mail:* raquel.moraes@unifebe.edu.br

lacryma-jobi L., para sua possível implementação nos processos de tratamento de água doce bruta classe II.

Palavras-chave: Tratamento de água; coagulante natural; atividade antimicrobiana; *Coix lacryma-jobi L.*

ABSTRACT: *Water is a fundamental substance for life, but it is not always found in its drinkable form for consumption, requiring proper treatment. One of the stages of the treatment process is coagulation, in which, mostly, synthetic coagulants are used. Therefore, this study aimed to identify the coagulant and antimicrobial characteristics in the fruits and seeds of the Coix lacryma-jobi L. plant, aiming to find an alternative treatment using natural coagulants and antimicrobial agents for class II raw freshwater. As for the classification of the study, it was characterized as experimental research, through direct manipulation of variables related to the object of study. The study began with a brief description of the availability and quality of water, subsequently, the water treatment steps to be studied were contextualized and, finally, the characteristics of the plant under study were presented. The research result showed values obtained from the use of natural coagulants in comparison with aluminum sulfate, as well as information on their antimicrobial activity. Through the results presented, the importance of carrying out further research is revealed, aiming to collect more information about the behavior and properties present in the fruits and seeds of Coix lacryma-jobi L., for possible implementation in the treatment processes of raw fresh water class II.*

Keywords: *Water treatment; Natural coagulant; Antimicrobial activity; Coix lacryma-jobi L.*

1 INTRODUÇÃO

A água cobre 75% da superfície da Terra. Destes, 97,4% são compostos por água salgada e encontram-se nos mares e oceanos. Deste modo, a água doce não chega a 3%, sendo que 90% correspondem às geleiras e o restante encontra-se em rios, lagos e lençóis freáticos (SANESUL, 2019).

Embora essencial para o corpo humano, a água pode conter certas substâncias, elementos químicos e microrganismos, que devem ser eliminados ou reduzidos a uma concentração inofensiva à saúde humana. A industrialização e o aumento populacional dos centros urbanos têm intensificado a contaminação dos mananciais, tornando indispensável o tratamento da água destinada ao consumo humano, a fim de evitar a transmissão de doenças (DI BERNARDO; DANTAS, A. D. B, 2005; BORGIO, 2017).

Para produzir água potável, um processo de tratamento deve ser selecionado para remover ou reduzir certos componentes da água bruta. Portanto, o principal fator limitante para a seleção do processo unitário da água bruta é a qualidade exigida para a água tratada (RICHTER, 2009).

Dessa forma, o presente estudo é voltado para a análise de coagulação e atividade antimicrobiana na água doce bruta de classe II, a partir da utilização da água de cocção do fruto e da semente da planta *Coix lacryma-jobi L.*, visando a utilização de componentes naturais no processo de tratamento de água. No âmbito social este estudo visa possibilitar uma forma de tratamento de água menos agressivo ao meio ambiente, além de, possivelmente, menos custoso. Já para a formação acadêmica, sua relevância consiste em fornecer dados experimentais a partir de um aporte teórico, contribuindo para um olhar diferenciado quanto ao uso de coagulantes orgânicos no processo de tratamento de água.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste referencial teórico serão descritas, de forma sucinta, a disponibilidade e a qualidade de águas para o consumo humano, os processos que ocorrem nos tratamentos de água destinadas ao abastecimento público, bem como, novas alternativas através da utilização de sementes, aos tratamentos convencionais existentes no mercado.

2.1 DISPONIBILIDADE DE ÁGUA

O planeta Terra possui cerca de 75% de sua superfície coberta por água. Deste total, 97,4% representam água salgada e 2,6% água doce. Apenas 0,26% do total de água do planeta correspondem à água superficial, rios e lagos, que estão diretamente disponíveis para demandas humanas (DOS SANTOS, 2011).

Cada vez mais a disponibilidade de água em todos os continentes tende a diminuir, comprovando a real necessidade de revisão do sistema de consumo e apresentação de novas soluções para o problema de disponibilidade em curto prazo. (DEZOTTI, 2008).

2.1.1 Qualidade da água

Segundo Belo (2017), evidencia-se que o tema sobre a água chama atenção para a qualidade de vida que dependem diretamente das características de tais recursos hídricos. Por estar presente em diversos processos químicos, físicos e biológicos, a água é um recurso essencial para todas as formas de vida (TUNDISI, 2003).

Contudo, este recurso natural tem sido explorado de forma não sustentável. Cerca de dois milhões de toneladas de dejetos, resíduos *in natura* e outros efluentes são lançados diariamente em água superficiais. Além disso, 90% do esgoto e 70% dos efluentes industriais são lançados em corpos hídricos



como rios, lagos e mares. (TUNDISI, 2003; DOS SANTOS, 2011; MACHADO & TORRES, 2013)

Conforme a CESTESB (2009), as fontes de poluentes classificadas em pontuais ou difusas, são as que levam à degradação da qualidade da água. Sendo assim, as fontes pontuais são as que atingem, em um único ponto, o corpo d'água, e são caracterizadas por efluentes domésticos e industriais. As fontes difusas atingem o corpo d'água distribuindo-se ao longo de parte sua extensão e são caracterizadas por resíduos provenientes do escoamento superficial urbano e rural e da agricultura (CETESB, 2009; VON SPERLING, 2005).

As contaminações da água trazem riscos à saúde. Tais riscos estão relacionados com a ingestão de água contaminada por agentes biológicos (vírus, bactérias e parasitas) e/ou a riscos derivados de poluentes presentes em resíduos e efluentes industriais (D'AGUILA *et al.*, 2000).

2.2 TRATAMENTOS CONVENCIONAIS E ALTERNATIVOS DE ÁGUA

O tratamento de água corresponde à realização de diferentes etapas, com intuito de fornecer água potável à população. Porém, a constante deterioração dos corpos hídricos, concomitante ao uso de técnicas inadequadas ao tratamento, faz com que esse objetivo esteja cada vez mais longe de ser alcançado (MIODUSKI, 2014).

Nos tratamentos convencionais, a sedimentação de materiais ou matéria orgânica em suspensão, ocorre através do uso de coagulantes. Na sequência, após a coagulação, ocorrem os processos de floculação e decantação. Por essas três etapas serem realizadas em sequência, o desempenho insatisfatório de uma das etapas influencia a qualidade do funcionamento das demais e acaba comprometendo os padrões de potabilidade da água (PEREIRA e FREIRE, 2005).

Existem diferentes coagulantes utilizados no processo convencional de tratamento de água. Tais coagulantes podem ser de natureza inorgânica, como

o sulfato de alumínio e sais de ferro, polímeros sintéticos orgânicos (poliacrilamida) ou coagulantes que ocorrem naturalmente, como a quitosana (BELO, 2017).

Atualmente, têm-se um número significativo de estudos que buscam minimizar a formação de subprodutos tóxicos no processo de tratamento de água, como também diminuírem o volume de toxicidade do lodo gerado. Sendo assim, os coagulantes naturais ou alternativos, principalmente os de origem vegetal, são umas das principais alternativas com esse propósito. Dentre as vantagens apresentadas por tais coagulantes podemos citar o baixo custo, a possibilidade de produção em larga escala e a elevada biodegradabilidade (SILVA, 2012; MIODUSKI, 2014).

Sendo assim, algumas sementes têm sido estudadas e utilizadas no tratamento de águas brutas e efluentes, tendo como principais funções a remoção da cor e turbidez, além da remoção de microrganismos (SILVA e MATOS, 2008).

A descoberta do uso de sementes trituradas no processo de tratamento de água, apresentam redução de custo em relação ao tratamento químico convencional, caracterizando-se como uma relevante alternativa de processo. Com relação a remoção de bactérias, alguns estudos na literatura apontam redução da ordem de 90-99% (MUYBI; EVISON, 1995).

2.2.1 Turbidez

A turbidez é responsável pela diminuição da transparência da água, pela presença de partículas em estado coloidal que estão em suspensão de matéria orgânica e inorgânica (DI BERNARDO, 2004; SCURACCHIO, 2010). Pode ocorrer tanto devido a presença de algas e plâncton, quanto por materiais provenientes de despejo doméstico e industrial e, até mesmo, do processo natural de erosão. A presença de tais partículas na água provoca a absorção e a dispersão da luz, originando uma aparência turva, com aparência indesejável e possivelmente perigosa (LEÃO; OLIVEIRA; DEL PINO, 2014).



O instrumento utilizado para medição de turbidez é o turbidímetro, composto por um nefelômetro, sendo a turbidez expressa em unidades nefelométricas de turbidez, NTU, do inglês *Nephelometric Turbidity Unit*. O método se dá pela comparação da intensidade de luz que se espalha em uma amostra considerada padrão e a amostra de água em análise. Quanto maior a intensidade da luz espalhada, maior será a turbidez da água (LEÃO; OLIVEIRA; DEL PINO, 2014).

2.2.2 Clarificação da água

Conforme Santos *et al.* (2011), no processo de clarificação, por meio de sedimentação, são retirados os sólidos em suspensão. Para que isso aconteça, é necessário neutralizar as cargas das partículas para que ocorra a aglutinação das mesmas, possibilitando o aumento da sedimentação de forma significativa. Durante esta etapa, os parâmetros de cor da água e turbidez são reduzidos pela remoção das partículas que se encontram em suspensão, coloidais e/ou dissolvidas. Nos corpos hídricos, tais características acontecem devido a presença de areia e argila, devido ao escoamento da água pela superfície do solo. Em razão do maior tamanho granulométrico, a areia sedimenta-se mais facilmente (HELLER; DE PÁDUA, 2006; ASRAFUZZAMAN e FAKHRUDDIN; HOSSAIN, 2011).

2.2.3 Coagulação e Floculação

A coagulação é o processo em que se adiciona o agente coagulante na água, para diminuir as interações que tendem a manter separadas as partículas em suspensão. Já a floculação corresponde a aglomeração dessas partículas de modo que se tornem maiores e mais pesadas, fazendo com que sejam sedimentadas. Entretanto, os termos coagulação e floculação significam o processo integral de aglomeração de partículas (RICHTER e AZEVEDO NETTO, 2003; CARDOSO *et al.*, 2008).

Conforme Moura (2013), ao longo da história, a coagulação tem sido usada no processo de tratamento de água com intuito de diminuir a turvação, cor

e eliminar agentes patogênicos. Na etapa de coagulação, neutralizam-se e aglutinam-se as partículas coloidais em partículas com maior dimensão através da adição de algum coagulante que elimina da superfície das partículas as cargas eletrostáticas negativas, resultando na diminuição da repulsão entre si (GOLÇALVES; PIOTTO; RESENDE, 1997; SENGUPTA *et al.*, 2012).

À adição de coagulantes inorgânicos, chama-se coagulação química. Tais coagulantes, que podem ser sais de alumínio ou de ferro, fazem com que ocorra a formação de flocos, por meio da precipitação conjunta entre hidróxidos de metálicos e as impurezas presentes na água (RICHTER; AZEVEDO NETTO, 2003; MARTINS; DE OLIVEIRA; GUARDA, 2014).

De acordo com Moura (2013), os coagulantes naturais têm apresentado algumas vantagens na sua utilização, como por exemplo sua biodegradabilidade, baixo índice de produção de lodo residual e a baixa toxicidade. Sementes têm sido estudadas para serem utilizadas como agentes de coagulação, floculação e sedimentação em processos depurativos de água, devido seu baixo custo, menor impacto sobre o meio ambiente e características não tóxicas (HAMID *et al.*, 2016).

A floculação é considerada a etapa de formação de partículas sedimentáveis, ou seja, o processo de aglomeração das partículas coaguladas e desestabilizadas, do qual resultam flocos densos o bastante para realizar a separação por unidades de sedimentação, filtração ou flotação. Esse processo é influenciado pela concentração do coagulante, pH, alcalinidade, temperatura e concentração de íons no meio líquido (MCCONNACHIE *et al.*, 1999).

Essa etapa proporciona a colisão entre as partículas que estão desestabilizadas eletricamente, auxiliando o seu agrupamento em flocos de maiores dimensões que, pela gravidade, acabam sedimentando. Deve-se fazer com que a mistura favoreça o contato entre as partículas, por meio de agitação. O tempo dessa etapa varia entre 15 a 45 minutos (DI BERNARDO, 2004; DI BERNARDO; BRANDÃO; HELLER, 1999).

2.3 LEGISLAÇÃO QUANTO A CLASSIFICAÇÃO E AO PADRÃO DE POTABILIDADE DA ÁGUA

De acordo com a Resolução CONAMA 357, de 17 de março de 2005, as águas doces de classe II são as aquelas que podem ser destinadas para o abastecimento do consumo humano, após tratamento convencional, à proteção das comunidades aquáticas, à recreação de contato primário, como natação, esqui aquático e mergulho, à irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto e à aquicultura e à atividade de pesca. Sendo essa última a classificação em que se enquadra o Rio Itajaí Mirim.

Quanto ao padrão de potabilidade, de acordo com a Portaria GM/MS nº888, de 4 de maio de 2021, nada consta quanto a valores mínimos ou máximos de coagulantes utilizados no tratamento, apenas evidencia-se que a água destinada ao consumo humano obedeça aos padrões de potabilidade estabelecidos nesta portaria.

2.4 CARACTERÍSTICAS DA PLANTA *COIX LACRYMA-JOBI L.* COMO FONTE DE COAGULANTES NATURAIS

A planta *Coix lacryma-jobi L.* (Figura 1A) é uma planta perene, da família Poacea, originária da Ásia tropical e naturalizada em quase todo o Brasil. É popularmente conhecida como capim-rosário ou lágrima-de-nossa-senhora (LORENZI e MATOS, 2008).

Segundo Lorenzi e Matos (2008), a *Coix lacryma-jobi L.* é uma herbácea cespitosa, anual, medindo de 1,0 a 1,8m de altura. Suas folhas são cartáceas, glabras e com margens serrado-epinescentes, de 10 a 20 cm de comprimento. Os frutos (Figura 1B) são do tipo cariopse (seco, indeiscente e com uma semente fusionada ao pericarpo), com formato ovalado e de coloração branco-acizentado-azulado. As sementes, frutos, folhas e colmos são as partes utilizadas desta planta (HORTO DIDÁTICO, 2020).

Utilização Do Fruto E Sementes De *Coix Lacryma-Jobi L.* Como Coagulante E Agente Antimicrobiano No Tratamento De Água Doce Bruta Classe Ii

Há vários séculos, bem como na atualidade, sua utilização ainda se baseia na tradição popular, no qual seus grãos são usados como analgésico, anti-inflamatório, antitérmico, anti-espasmódico, antimicrobiano, contra pedras nos rins e até mesmo combate a diabetes e para consumo humano. A tintura das sementes é diurética, anti-reumática, emoliente e útil nas afecções catarrais (MICHALAK, E., IRMÃ, 1997; LORENZI; MATOS, 2008; CHEN *et al.*, 2011; KUTSCHERA; KRASAEKOOPT, 2012; MANOSROI *et al.*, 2016; HORTO DIDÁTICO, 2020).

A composição química da *Coix lacryma-jobi L.* se dá por ácidos graxos como o ácido mirístico, e por alpha e beta sitosterol, arginina, beta-caroteno, coixol, coixans A e B, coixenólido, leucina, histidina, lisina, proteínas, sais minerais (fósforo, ferro, cálcio), riboflavina, niacina e tirosina. Na parte interna dos grãos, há uma reserva amilácea rica em proteínas, vitaminas e sais minerais e, quando moída, torna-se uma farinha de alto valor nutritivo (HORTO DIDÁTICO, 2020).

Alguns estudos com a *Coix lacryma-jobi L.*, comprovam cientificamente sua ação contra diferentes doenças, devido seus inúmeros componentes biologicamente ativos com diferentes atividades farmacológicas. Possui também atividade antimicrobiana de extratos metanólicos frente a fungos e bactérias (KUO *et al.*, 2002; CHEN *et al.*, 2011; MANOSROI *et al.*, 2016; DAS, *et al.*, 2017).

Figura 1 - Planta *Coix lacryma-jobi L.* (A), frutos e sementes (B).



Fonte: O Autor (2021)

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

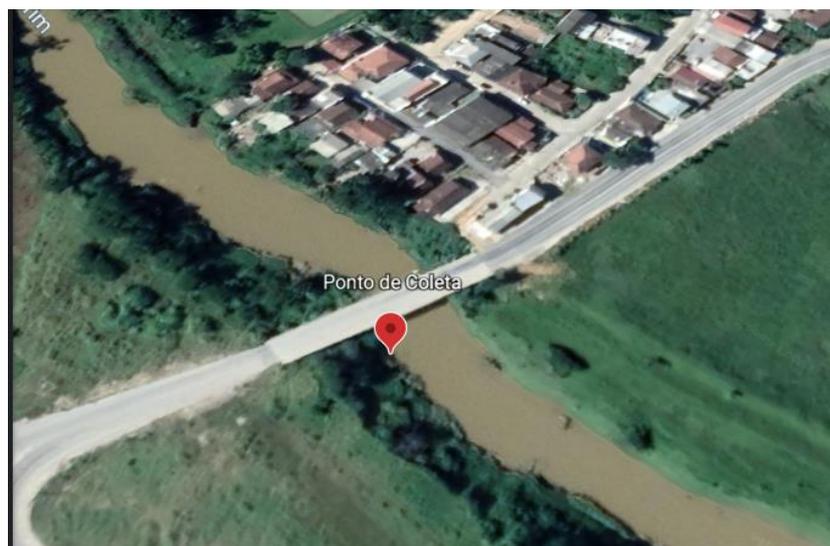
3.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

A pesquisa do presente estudo é classificada como experimental, de natureza aplicada, utilizando uma abordagem exploratória, tanto quali quanto quantitativa. Também, deve-se ressaltar à pesquisa bibliográfica em teses, dissertações, artigos e revistas científicas, para apresentação da revisão de literatura e a busca por metodologias experimentais.

3.2 COLETA E PREPARAÇÃO DO MATERIAL

Os experimentos foram conduzidos no Laboratório de Química do Centro Universitário de Brusque (UNIFEBE). Os frutos e sementes do capim-sorócio (*Coix lacryma-jobi L.*) foram coletados no bairro Lageado Alto, em Botuverá, Santa Catarina, e a água para análise foi coletada no Rio Itajaí Mirim, no bairro Limoeiro, em Itajaí (Figura 2), nas coordenadas, latitude $-27,03313^{\circ}$ e longitude $-48,86107^{\circ}$, também Santa Catarina.

Figura 2 - Georeferenciação do ponto de coleta da água bruta.

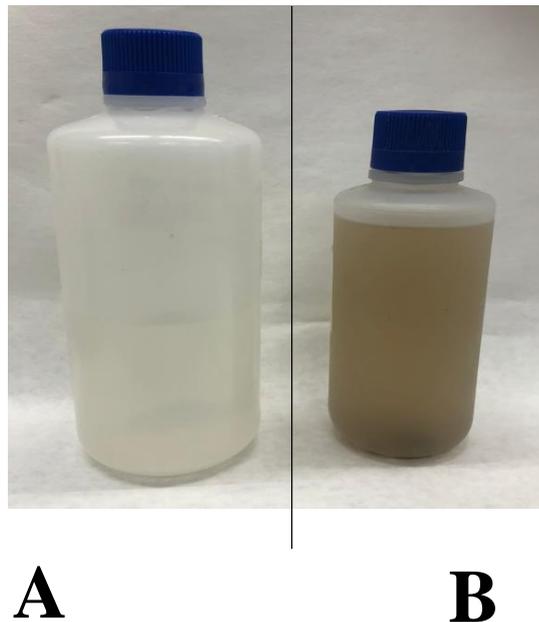


Fonte: O Autor (2021)

Utilização Do Fruto E Sementes De *Coix Lacryma-Jobi L.* Como Coagulante E Agente Antimicrobiano No Tratamento De Água Doce Bruta Classe Ii

Para a realização dos experimentos foram utilizadas duas metodologias. Uma consistiu em usar água de cocção com os frutos/sementes inteiras (Figura 2A) e a outra em utilizar água de cocção com os frutos/sementes triturados (Figura 2B) como alternativa aos coagulantes utilizados no tratamento de água doce bruta classe II.

Figura 2 - água de cocção frutos/sementes inteiras (A), água de cocção frutos/sementes trituradas (B)



Fonte: O Autor (2021) Para o preparo da água de cocção com sementes inteiras, 20 g de semente foram lavadas em água corrente para remoção das impurezas e colocadas em um béquer com 500 ml de água, sendo posteriormente levadas a estufa por 1 hora a 100 °C.

Já para os testes de coagulação, encheram-se 4 béqueres de 600 ml com 100 gramas da água coletada (esta permaneceu em repouso por 2 dias antes da utilização, para a sedimentação dos sólidos insolúveis em suspensão). Foram adicionados 0,3 g, 0,5 g e 0,7 g, de água de cocção em cada cubeta, respectivamente, e, na última cubeta, adicionou-se 0,5 g de sulfato de alumínio a 1% para comparação. No *jar test*, as amostras ficaram submetidas a 180 rpm por 1 minuto, 60 rpm por 10 minutos e 25 rpm por 20 minutos, respectivamente, para que ocorresse o choque das partículas em suspensão e, então, fossem formados flocos maiores e estes sedimentassem.

Utilização Do Fruto E Sementes De *Coix Lacryma-Jobi L.* Como Coagulante E Agente Antimicrobiano No Tratamento De Água Doce Bruta Classe Ii

As amostras foram despejadas em funis de separação e deixadas em repouso por 1 hora. O lodo decantado foi separado do restante da água com auxílio de papel filtro, previamente seco em estufa a 110 °C por 3 horas e pesado para determinar seu peso seco (Figura 3). Posteriormente, foi levado à estufa a 110 °C, por 3 horas, para secagem do lodo. Na sequência, pesou-se novamente o papel filtro mais o lodo e determinou-se o teor de lodo decantado em cada amostra. Estes procedimentos foram realizados em triplicata.

Figura 3 - Funil de separação e papel filtro.



Fonte: O Autor (2021)

O preparo da água de cocção com os frutos/sementes trituradas se deu pela lavagem das sementes para remoção de impurezas, secas com auxílio de papel toalha, e trituradas em um moedor de grãos manual. Posteriormente, foram pesados 20 g do triturado (Figura 4). Em um béquer, foram adicionados 500 g de água destilada, bem como o triturado pesado. A mistura acondicionada no béquer foi levada à estufa a 100 °C, por 1 hora.

Figura 4 - 20g dos frutos/sementes triturados



Fonte: O Autor (2021)

Já para os testes de coagulação, encheram-se 4 béqueres de 600 ml com 100 gramas da água coletada (esta permaneceu em repouso por 2 dias antes da utilização, para a sedimentação dos sólidos insolúveis em suspensão). Foram adicionados 0,3 g, 0,5 g e 0,7 g de água de cocção em cada cubeta, respectivamente, e, na última cubeta, adicionou-se 0,5 g de sulfato de alumínio a 1% para comparação. No *jar test*, as amostras ficaram submetidas a 180 rpm por 1 minuto, 60 rpm por 10 minutos e 25 rpm por 20 minutos, respectivamente, para que ocorresse o choque das partículas em suspensão e, então, fossem formados flocos maiores e estes sedimentassem.

As amostras foram despejadas em funis de separação e deixadas em repouso por 1 hora. O lodo decantado foi separado do restante da água com auxílio de papel filtro, previamente seco em estufa a 110 °C, por 3 horas, e pesado para determinar seu peso seco. Posteriormente, o lodo foi levado à estufa a 110 °C, por 3 horas, para secagem. Na sequência, pesou-se novamente o papel filtro mais o lodo e determinou-se o teor de lodo decantado em cada amostra. Estes procedimentos foram realizados em triplicata.

Quanto aos testes para verificação de atividade antimicrobiana das águas de cocção, foi definido adicionar 2,5 g das águas de cocção para 500 g de água bruta. Dessa forma, realizaram-se todas as etapas dos testes de

coagulação, desde a adição dos coagulantes, os tempos e rotações determinados. Porém o tempo de sedimentação de 1 hora foi realizado nos próprios béqueres, visto que ser mais fácil a imersão dos *colipapers* (Alfakit).

Posteriormente foram utilizados *colipapers*, os quais foram imersos nas águas a serem testadas, água doce bruta sem adição de água de cocção, água doce bruta com adição da água de cocção de frutos/sementes inteiras e água de cocção de frutos/sementes triturados.

Após imergir os *colipapers* nas águas a serem testadas, os mesmos foram colocados nos seus respectivos pacotes plásticos e levados à mini estufa microbiológica da Alfakit por 15 horas. Depois, foram retirados e comparados entre si a semelhança ou diferença de colônias de bactérias presentes nas águas.

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1 TESTES DE COAGULAÇÃO/SEDIMENTAÇÃO

Para os testes de coagulação com a utilização da água de cocção com frutos/sementes inteiras, realizados em triplicata, obtiveram-se os teores de lodo sedimentado. A partir dos resultados obtidos, realizou-se a média das quantidades de lodo sedimentadas para comparação com o sulfato de alumínio. Sendo assim, obtiveram-se os resultados, conforme apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Média das quantidades de lodo sedimentadas utilizando água de cocção com frutos/sementes inteiras

Média dos Resultados				
Coagulante	Água de cocção			Sulfato de Alumínio
Quantidade de coagulante (g)	0,3	0,5	0,7	0,5
Lodo (g)	0,019 ± 0,009	0,022 ± 0,010	0,015 ± 0,001	0,023 ± 0,004

Valores médios ± desvio padrão.

Fonte: O Autor (2021)

Já para os testes de coagulação com a utilização da água de cocção com frutos/sementes trituradas, realizados em triplicata, obtiveram-se os teores de lodo sedimentado. A partir dos resultados obtidos, realizou-se a média das quantidades de lodo sedimentadas para comparação com o sulfato de alumínio. Sendo assim, obtiveram-se os resultados, conforme Tabela 2.

Tabela 2 - Média das quantidades de lodo sedimentadas utilizando água de cocção com frutos/sementes trituradas

Média dos Resultados				
Coagulante	Água de cocção			Sulfato de Alumínio
Quantidade de coagulante (g)	0,3	0,5	0,7	0,5
Lodo (g)	0,024 ± 0,008	0,029 ± 0,014	0,013 ± 0,007	0,024 ± 0,015

Valores médios ± desvio padrão.

Fonte: O Autor (2021)

Com base nos resultados obtidos, foi possível verificar que os frutos/sementes da *Coix lacryma-jobi L.* possuem características coagulantes, obtendo teor de lodo sedimentado de 0,001 g a menos, para água de cocção com frutos/sementes inteiras quando comparada ao sulfato de alumínio. E para água de cocção com frutos/sementes triturados um teor de 0,005 g de lodo sedimentado a mais que o sulfato de alumínio.

Notou-se também que a quantidade utilizada das águas de cocção foi um fator importante para os resultados obtidos. Com a menor quantidade utilizada não se obteve o melhor resultado, assim como a maior quantidade utilizada possa ter saturado a solução não se obtendo resultados satisfatórios. Deste modo, concluiu-se ser a utilização de quantidade intermediária da água de cocção a responsável pelos melhores resultados de sedimentação de lodo.

Percebeu-se também que a utilização de ambas as águas de cocção, com frutos/sementes inteiras e frutos/sementes trituradas, apresentaram um aumento de pH na água em que eram adicionadas.

4.2 TESTE ATIVIDADE ANTIMICROBIANA

Para os testes de verificação de atividade antimicrobiana dos frutos e sementes utilizaram-se de 2,5 g das águas de cocção com frutos/sementes inteiras e trituradas para 500 g de água bruta. Após a realização dos procedimentos metodológicos anteriormente citados obtiveram-se os resultados conforme as Figuras 5, 6 e 7, nas quais os pontos vermelhos, colocados com auxílio computacional devido à dificuldade de observação das colônias de bactérias através das imagens, representam as colônias observadas nos *colipapers*, descritos na Tabela 3. De acordo com as instruções da Alfakit, a fabricante do kit das análises microbiológicas, os pontos da cor rósea a vermelho representam colônias de coliformes totais.

Tabela 3 - Resultado do experimento de atividade antimicrobiana

Experimento Atividade Antimicrobiana			
Amostra	Água Bruta (Figura 5)	Frutos/Sementes Inteiras (Figura 6)	Frutos/Sementes Trituradas (Figura 7)
nº colônias	10 colônias	9 colônias	2 colônias
Porcentagem (%)	100	90	20

Fonte: O Autor (2021)

Verifica-se assim que a água de cocção com fruto/sementes inteiras não ocasionou diminuição significativa de colônias de bactérias presentes na água bruta, ou seja, não possui atividade antimicrobiana. Por outro lado, a água de cocção com frutos/sementes trituradas reduziu significativamente a quantidade de colônias presentes na água. De 10 colônias presentes na água bruta, foi possível visualizar apenas 2 após a utilização da água de cocção com frutos/sementes trituradas.

Desta forma, pode-se constatar que a água de cocção com frutos/sementes trituradas possui atividade antimicrobiana, quando adicionada em água doce bruta classe II.

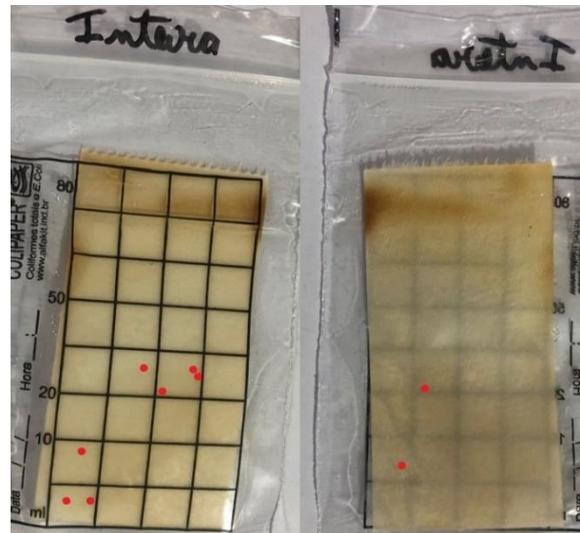
Utilização Do Fruto E Sementes De *Coix Lacryma-Jobi L.* Como Coagulante E Agente Antimicrobiano No Tratamento De Água Doce Bruta Classe Ii

Figura 5 - Teste microbiológico água bruta



Fonte: O Autor (2021)

Figura 6 - Teste microbiológico água bruta + água de cocção com fruto/sementes inteiras



Fonte: O Autor (2021)

Figura 7 - Teste microbiológico água bruta + água de cocção com fruto/sementes trituradas



Fonte: O Autor (2021)

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A busca por coagulantes naturais para uso no tratamento de água passou a se intensificar, devido à preocupação com o meio ambiente. Vale ressaltar que a utilização de coagulante naturais minimiza a formação de subprodutos tóxicos, como também diminui o volume de toxicidade do lodo gerado no processo de tratamento de água, favorece o baixo custo de fabricação e possibilita elevado índice de biodegradabilidade.

Sabe-se que nem sempre os coagulantes naturais terão efetividade igual aos coagulantes sintéticos, justamente por serem naturais, mas podem reduzir significativamente a utilização dos mesmos, bem como minimizar impactos ambientais negativos recorrentes destes processos.

A partir dos testes realizados, foi possível compreender que a água de cocção com frutos/sementes inteiras da *Coix lacryma-jobi L.* possui característica coagulante similar, ao do sulfato de alumínio. Já a água de cocção com frutos/sementes triturados da *Coix lacryma-jobi L.* possui característica

coagulante promissora, pois não houve diferença estatística, e muito similar ao do sulfato de alumínio, mesmo sendo este um coagulante sintético muito utilizado nas estações de tratamento de água doce bruta classe II.

Compreende-se também que a água de cocção dos frutos/sementes triturados da *Coix lacryma-jobi L.* possui características antimicrobianas significativas mesmo que a remoção bacteriana não tenha sido igual a 100%.

Desse modo, este estudo propõe a realização de mais pesquisas a respeito dos frutos/sementes da *Coix lacryma-jobi L.* associadas ao tratamento de água doce bruta classe II. Desde a caracterização das águas de cocção para identificar quais os componentes liberados na água através da cocção, testes de coagulação com correção de pH, para delimitação da faixa de pH ótimo de trabalho, até testes de coagulação com combinação das águas de cocção com o sulfato de alumínio para verificar o comportamento desta mistura em um mesmo processo de tratamento de água.

REFERÊNCIAS

ASRAFUZZAMAN, M.; FAKHRUDDIN, A. N. M.; HOSSAIN, M. A. Reduction of turbidity of water using locally available natural coagulantes. **ISRN microbiology**, v. 2011, 2011.

BELO, L. **Caracterização química das sementes de *Moringa oleífera* e sua utilização na potabilização da água.** 2017. Universidade Regional de Blumenau, Blumenau, 2017.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº 357, de 15 de junho de 2005.** Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Disponível em: <<https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Resolucao/2005/res>

_conama_357_2005_classificacao_corpos_agua_rtfcdaltrd_res_393_2007_397_2008_410_2009_430_2011.pdf>. Acesso em: 18 set. 2021.

BRASIL. Ministério da Saúde. **PORTARIA GM/MS Nº 888, DE 4 DE MAIO DE 2021**. Altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, de 28 de setembro de 2017, para dispor sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Disponível em: <<https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-gm/ms-n-888-de-4-de-maio-de-2021-318461562>>. Acesso em: 19 set. 2021.

BORGIO, C. *Et al.* **Tratamento de água com semente de Moringa oleífera**. V semana de engenharia química UFES. Blucher: Alegre/ES. 2017.

CARDOSO, K. C.; BERGAMASCO, R.; COSSICH, E. S.; MORAES, L. C. K. Otimização dos tempos de mistura e decantação no processo de coagulação/floculação da água bruta por meio da Moringa oleífera Lam-DOI: 10.4025/actascitechnol.v30i2.5493. **Acta Scientiarum. Technology**, v. 30, n. 2, p.193-198, 2008.

CHEN, H. H.; CHIANG, W.; CHANG, J. Y.; CHIEN, Y. L.; LEE, C. K.; LIU, K. J.; CHENG, Y. T.; CHEN, T. F.; KUO, Y. H.; KUO, C. C. Antimutagenic constituents of adlay (*Coix lachryma-jobi L. var. ma-yuen Stapf*) with potential cancer chemopreventive activity. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 59, n. 12, p. 6444- 6452, 2011.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). Variáveis de qualidade de água. **CETESB**: São Paulo, p. 1 - 43, 2009. (Série Publicações/Relatórios).

D'AGUILA, P. S.; ROQUE, O. C.; MIRANDA, C. A. S.; FERREIRA, A. P. Quality assessment of the public water supply in Nova Iguaçu, Rio de Janeiro. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 16, n. 3, p. 791-798, 2000.

DAS, L. S.; AKHTER, R.; KHANDAKER, S.; HUQUE, S.; DAS, P.; ANWAR, M. R.; TAN-NI, K. A.; SHABNAZ, S.; SHAHRIAR, M. Phytochemical screening, antibacterial and anthelmintic activities of leaf and seed extracts of *Coix lacryma-jobi*. **Journal of Coastal Life Medicine**, v. 5, n. 8, p. 360-364, 2017.

DEZOTTI, M. **Processos e técnicas para o controle ambiental de efluentes líquidos**. Rio de Janeiro: E-papers, 2008.

DI BERNARDO, A. S. **Desempenho de sistemas de dupla filtração no tratamento de água com turbidez elevada**. 2004. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

DI BERNARDO, L.; BRANDÃO, C. C. S.; HELLER, L. **Tratamento de águas de abastecimento por filtração em múltiplas etapas**. 2011. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 1999.

DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. D. B. **Métodos e técnicas de tratamento de água**. 2. ed. São Carlos: RiMa, v. 1, p. 792, 2005.

DOS SANTOS, G. R. **Estudo de clarificação de água de abastecimento público e otimização da estação de tratamento de água**. 2011. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2011.

GONÇALVES, R. F.; PIOTTO, Z. C.; REZENDE, M. B. de. Influência dos mecanismos de coagulação da água bruta na reciclagem de coagulantes em lodos de estações de tratamento de água. In: CONGRESSO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, **Anais...**1997.



HAMID, S. H. A.; LANANAN, F.; KHATOON, H.; JUSOH, A.; ENDUT, A. A study of coagulating protein of *Moringa oleifera* in microalgae bio-flocculation. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 113, p. 310-317, 2016.

HELLER, L.; DE PADUA, V. L. **Abastecimento de água para consumo humano**. [s.1.] Editora UFMG, 2006.

HORTO DIDÁTICO. **Lágrima-de-nossa-senhora**. Horto didático de plantas medicinais do HU/CCS. Florianópolis, 2020.

KUO, C. C.; CHIANG, W.; LIU, G. P.; CHIEN, Y. L.; CHANG, J. Y.; LEE, C. K.; LO, J. M.; HUANG, S. L.; SHIH, M. C.; KUO, Y. H. 2,2'-Diphenyl-1-picrylhydrazyl radicals-scavenging active components from adlay (*Coix lacryma-jobi* L. var. ma-yuen Sta-pf) hulls. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 50, n. 21, p. 5850-5855, 2002.

KUTSCHERA, M.; KRASAEKOOPT, W. The use of job's tear (*Coix lacryma-jobi* L.) flour to substitute cake flour in butter cake. **Assumption University Journal of Technology**, v. 15, n. 4, p. 233-238, 2012.

LEÃO, M.F.; OLIVEIRA, E. C.; DEL PINO, J. C. Análises de água: um estudo sobre os métodos e parâmetros que garantem a potabilidade dessa substância fundamental para a vida. **Revista Destaques Acadêmicos**, v. 6, n. 4, 2014.

LORENZI, H.; MATOS, F. J. A. **Plantas medicinais no Brasil: nativas e exóticas**. 2. ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum, p. 544, 2008.

MACHADO, P. J. O.; TORRES, F. T. P. **Introdução à hidrogeografia**. São Paulo: Cengage Learning, 2013.

MANOSROI, A.; SAINAKHAM, M.; CHANKHAMPAN, C.; MANOSROI, W.; MANOSROI, J. *In vitro* anti-cancer activities of Job's tears (*Coix lachryma-jobi*

Linn.) extracts on human colon adenocarcinoma. **Saudi Journal of Biological Sciences**, v. 23, p. 248-256, 2016.

MARTINS, A. A.; DE OLIVEIRA, R. M. S.; GUARDA, E. A. Potencial de uso de compostos orgânicos como coagulantes, floculantes e adsorventes no tratamento de água e efluentes. **Periódico Eletrônicos Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 10, n. 12, 2014.

MCCONNACHIE, G. L.; FOLKARD, G. K.; MTAWALI, M. A.; SUTHERLAND, J. P. Field trials of appropriate hydraulic flocculation processes. **Water reserach**, v. 33, n. 6, p. 1425-1434, 1999.

MICHALAK, E. Irmã. “**Apontamentos fitoterápicos da Irmã Eva Michalak.**” Florianópolis: Epagri, 1997.

MIODUSKI, J. **Avaliação da toxicidade de extratos da semente de moringa oleífera lam. Frente aos organismos daphnia magna straus. e artemia salina lench.** 2014. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2014.

MOURA, K. S. de. **Cinética de coagulação da lectina de sementes de moringa oleífera (wsmol) em presença de carboidratos de carboidratos e íons.** 2013. Universidade Federal de Pernambuco, 2013.

MUYIBI, S. A.; EVISON, L. M. *Moringa oleifera* seeds for softening hardwater. **Water Research**, v.29, n.12, p.1099-1104, 1995.

PEREIRA, M. F.; FREIRE, R. S. Ferro zero: uma nova abordagem para o tratamento de águas contaminadas com compostos orgânicos poluentes. **Química Nova**, v. 28, n.1, p. 130-136, 2005.

RICHTER, C. A. **Água: métodos e tecnologias de tratamento.** São Paulo: Blucher, 2009.

RICHTER, C. A.; AZEVEDO NETTO, J. M. de. Tratamento de água: tecnologia atualizada. In: **Tratamento de água: tecnologia atualizada.** [s.1.] Edgard Blucher, 2003.

ROSENBERGER, M. G.; AMATUZI, J. C.; ROSENBERGER, A. G.; ZONETTI, C.; PAULERT, R. Atividade antimicrobiana de extrato de *Coix Lacryma-jobi* sobre *Xanthomonas axonopodis* PV. *Manihotis* e *Fusarium graminearum*. **Revista Agronegócio e Meio Ambiente**, Maringá, v. 13, n.1, p.135-148, 2020.

SANESUL. **Importância do tratamento de água.** Mato Grosso do Sul, 2019. Disponível em <<http://www.sanesul.ms.gov.br/importancia-do-tratamento-de-agua>>; acesso em 29/08/2021.

SANTOS, W. R. dos; MATOS, D. B. de; OLIVEIRA, B. M. de; SANTANA, T. M.; SANTANA, M. M. de; SILVA, G. F. da; Estudo do Tratamento e Clarificação de Água com Torta de Sementes de Moringa oleífera Lam. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 13, n. 3, p. 295-299, 2011.

SCURACCHIO, P. A. **Qualidade da água utilizada para consumo em escolas no município de São Carlos-SP.** 2010.

SENGUPTA, M. E.; KERAITA, B.; OLSEN, A.; BOATENG, O. K.; THAMSBORG, S. M.; PÁLSDÓTTIR, G. R.; DALSGAARD, A. Use os Moringa oleifera seed extracts to reduce helminth egg number and turbidity in irrigation water. **Water research**, v. 46, n. 11, p. 3646-3656, 2012.

SILVA, F. J. A.; MATOS, J. E. X. **Sobre dispersões de Moringa oleífera para tratamento de água.** Rev. Tecnol. Fortaleza, v. 29, n. 2, p. 157-163, dez. 2008. Universidade de Fortaleza, CE.

SILVA, B. C. da. **Usos potenciais de moringa oleífera lam., uma matriz para produção de biodiesel e tratamento de água no semiárido nordestino.** 2012. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2012.

TUNDISI, J. G. **Água no século XXI: enfrentando a escassez.** 1 ed. São Carlos: Rima, IIE, 2003.

VON SPERLING, M. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias** - Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 3. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - UFMG, 2005.



UTILIZAÇÃO DE FLUIDODINÂMICA COMPUTACIONAL PARA OTIMIZAÇÃO DE EFICIÊNCIA EM UM TROCADOR DE CALOR CASCO TUBO

*USE OF COMPUTATIONAL FLUIDODYNAMICS TO OPTIMIZE EFFICIENCY
IN A HULL TUBE HEAT EXCHANGER*

Eduardo Franzoi¹

Rafaela Bohaczuk Venturelli Knop²

RESUMO: Este trabalho, apresenta um estudo de Fluidodinâmica Computacional (CFD), de um trocador de calor de casco e tubo (TCCT), utilizando o pacote computacional ANSYS. O objetivo principal do trabalho é demonstrar a otimização da troca de calor no equipamento utilizando diferentes parâmetros de entrada no programa e encontrar a configuração em que a troca térmica seja máxima mantendo a mesma geometria do trocador. A utilização do recurso computacional gera um ganho de tempo e também financeiro por não necessitar alterar a produção ou fazer paradas não programadas em uma unidade fabril, bem como não correr o risco de ter um produto fora de especificação, evitando assim, prejuízo financeiro. No domínio computacional utilizou-se o modelo de turbulência $k-\epsilon$. Os resultados obtidos foram validados com a convergência de malha. Por fim, concluiu que para as condições apresentadas a configuração onde o fluido quente escoava através do casco resultou em uma melhor eficiência.

Palavras-chave: CFD; Trocador de calor; ANSYS; Simulação;

ABSTRACT: *This work presents a study of Computational Fluid Dynamics (CFD), a shell and tube heat exchanger (TCCT), using the ANSYS computational*

¹ Acadêmico do curso de Engenharia Química da UNIFE. *E-mail:* Eduardo.franzoi@unifebe.edu.br

² Professora orientadora. Doutora em Engenharia Química. *E-mail:* rafaela.knop@unifebe.edu.br

package. The main objective of the work is to demonstrate the optimization of the heat exchange in the equipment using different input parameters in the program and to find a configuration in which the thermal exchange is maximum, maintaining the same exchanger geometry. The use of computational resources generates time and financial savings as it does not need to change production or make unscheduled stoppages in a manufacturing unit, as well as not running the risk of having a product out of specification, thus avoiding economic loss. No computational domain used the $k - \epsilon$ turbulence model. The obtained results were validated with mesh convergence. Finally it was concluded that for configuration conditions where hot fluid flows through the hull results in better efficiency.

Keywords: CFD; Heat exchanger; ANSYS; Simulation;

1 INTRODUÇÃO

Os trocadores de calor são equipamentos responsáveis por realizar a troca de calor entre dois fluidos que estão a diferentes temperaturas e encontram-se separados por uma parede sólida. Os trocadores de calor são utilizados em diversas aplicações tais como: processos da indústria química, condicionadores de ar e aquecimento de ambientes (ÇENGEL & GHAJAR 2012).

Em trocadores de calor casco tubo, a principal forma de transferência de calor é realizada através da convecção, entretanto, a condução também se faz presente atuando através da parede que divide os dois fluidos, fazendo com que o cálculo do coeficiente global de transferência de calor, U , seja realizado para alcançar de um valor que envolve todas as transferências de calor envolvidas no sistema (ÇENGEL & GHAJAR 2012).

O objetivo do trabalho é realizar uma simulação numérica utilizando um software de CFD do inglês (*Computational Fluid Dynamics* – Dinâmica dos Fluidos Computacional). Softwares CFDs são ferramentas que tem como

Utilização De Fluidodinâmica Computacional Para Otimização De Eficiência Em Um Trocador De Calor Casco Tubo

principal função realizar a simulação numérica computacional, obtendo resultados satisfatórios quando comparado com dados analíticos.

A utilização de *Softwares* CFD permite que o tempo necessário para desenvolver um produto se torne mínimo pois reduz a necessidade de protótipos físicos, um exemplo pode ser aplicado ao trocador de calor, uma simples análise de alteração em fluido de casco e fluido de tubo para análise de eficiência de troca térmica levaria um tempo considerável para realizar a alteração das entradas e saídas de fluido. Sendo necessário várias horas de trabalho e até uma interrupção na linha de produção que poderiam ser evitadas por meio de simulação, que além do tempo pouparia também os gastos de matéria prima.

Para desenvolver este trabalho foi necessário relacionar alguns objetivos específicos tais como apresentar uma introdução a fluidodinâmica computacional e suas equações envolvidas, modelar e analisar uma possível melhoria na eficiência de troca térmica de um trocador de calor alterando os domínios de fluido quente e frio e comparar os resultados.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Os trocadores de calor estão presentes em inúmeros processos industriais. Sendo utilizados para transferir energia térmica (entalpia) entre dois ou mais fluidos que se encontram em diferentes temperaturas. O processo é realizado por meio de uma superfície sólida fazendo com que os fluidos não se misturam (SHAH; SEKULIÉ, 2003).

Dentre todos os tipos de trocadores de calor o modelo casco e tubo são os mais utilizados entre os processos industriais totalizando um percentual de mais de 90% (KUPPAN, 2000). Geralmente, são a primeira escolha devido a existência de procedimentos bem estabelecidos para projetá-los e fabricá-los a partir de uma grande variedade de materiais, além de fornecer muitos anos de serviço satisfatório. Eles são produzidos na mais ampla variedade de tamanhos e estilos, e virtualmente não há limite na temperatura e pressão de operação (THULUKKANAM, 2013).



2.1 DINÂMICA DOS FLUIDOS COMPUTACIONAIS (CFD)

A Dinâmica dos Fluidos Computacional (CFD) é uma tecnologia computacional utilizada para simular o comportamento de sistemas que envolvem fluxo de fluidos e transferência de calor e massa e mudança de fase, entre outros processos físicos. Esta simulação é realizada através da resolução das equações de fluxo do fluido sobre uma região de interesse, conforme especificado nas condições de fronteira desta região (SIMÕES, 2009).

O conjunto de equações diferenciais parciais conhecidas com equações de Navier Stokes obtidas no início do século XIX descrevem os processos de momento, calor e massa. Mesmo não tendo solução analítica as equações podem ser discretizadas e resolvidas numericamente. Estas equações são apresentadas como:

$$\rho \left(\frac{\partial v_x}{\partial t} + v_x \frac{\partial v_x}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_x}{\partial y} + v_z \frac{\partial v_x}{\partial z} \right) = \mu \left[\frac{\partial^2 v_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v_x}{\partial z^2} \right] - \frac{\partial p}{\partial x} + \rho g_x$$

Eq. (1)

$$\rho \left(\frac{\partial v_y}{\partial t} + v_x \frac{\partial v_y}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_y}{\partial y} + v_z \frac{\partial v_y}{\partial z} \right) = \mu \left[\frac{\partial^2 v_y}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_y}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v_y}{\partial z^2} \right] - \frac{\partial p}{\partial y} + \rho g_y$$

Eq. (2)

$$\rho \left(\frac{\partial v_z}{\partial t} + v_x \frac{\partial v_z}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_z}{\partial y} + v_z \frac{\partial v_z}{\partial z} \right) = \mu \left[\frac{\partial^2 v_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_z}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v_z}{\partial z^2} \right] - \frac{\partial p}{\partial z} + \rho g_z$$

Eq. (3)

Existem diferentes métodos numéricos utilizados nos códigos CFD. O método mais comum, é aquele no qual o ANSYS é programado para executar, conhecido como técnica de volumes (ou elementos) finitos (SIMÕES, 2009).

Nesta técnica o *Software* CFD divide a região de interesse em pequenas sub-regiões, conhecidas como volumes de controle. As equações são discretizadas e resolvidas iterativamente para cada volume de controle. Como resultado, pode ser obtido, uma aproximação do valor de cada variável em pontos específicos ao longo do domínio (MIRANDA et al, 2010).

2.2 MALHA DE VOLUMES FINITOS

O método de malha de volumes finitos é uma ferramenta de solução (aproximada) das equações de balanço de quantidade de movimento e balanço de massa através da discretização do domínio de interesse em um número finito de volumes de controle. Sua utilização em todos os ramos de pesquisa (acadêmico e industrial) na área de fenômenos de transporte já é bastante difundida e seus resultados são bastante confiáveis.

O Software ANSYS conta com a possibilidade de utilização de malhas estruturadas que por sua vez permitem uma fácil ordenação obtendo matrizes diagonais, porém as malhas estruturadas não conseguem atender todas as necessidades de simulação devido à complexidade da geometria, fazendo-se necessário à utilização de malhas não estruturadas que além de serem versáteis demonstraram excelentes resultados para geometrias irregulares (OLIVEIRA, 2011)

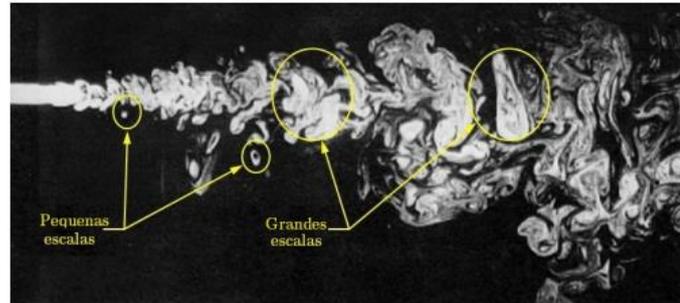
2.3 CARACTERIZAÇÃO DA TURBULÊNCIA

As teorias disponíveis para analisar o escoamento de um fluido desprezam efeitos importantes da viscosidade e da compressibilidade. O principal motivo é que o comportamento do fluido durante o escoamento sofre uma mudança considerável, onde, o escoamento deixa de ser considerado laminar e torna-se turbulento. Essa transição ocorre devido a troca de energia no escoamento resultando em dissipação de energia e também pela rugosidade da parede onde o fluido realiza o escoamento (WHITE, 2011).

O escoamento quando turbulento pode ser considerado como um fenômeno complexo pois envolve muitos graus de liberdade que consiste em flutuações de escalas e frequências variadas à medida que o número de Reynolds aumenta. Na Figura 1 é possível observar um escoamento de um jato livre onde é visível a formação das grandes e pequenas escalas (ANSYS, 2016).



Figura 1 – escoamento turbulento de um jato livre

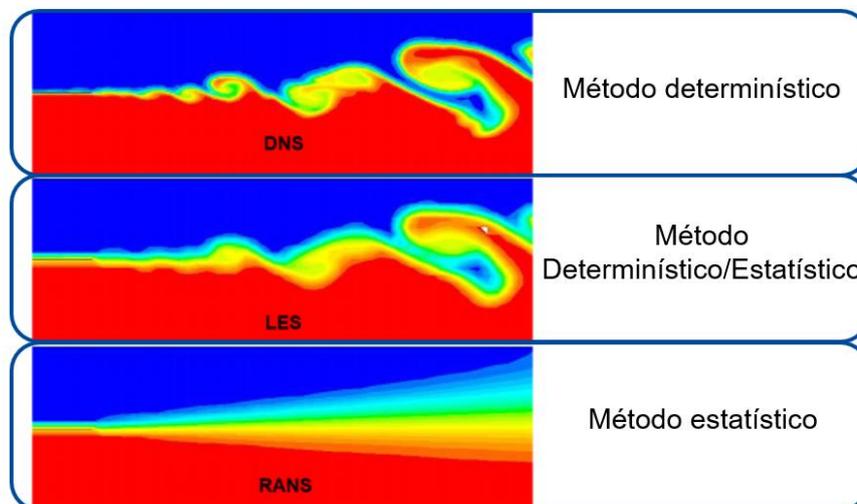


Fonte: (Adaptado) ANSYS Inc. (2016)

2.5 MÉTODOS NUMÉRICOS DE SIMULAÇÃO

Segundo Barth (2016) para solucionar numericamente um escoamento utilizando fluidodinâmica computacional é possível utilizar três modelagens de solução, o primeiro deles é pelo método determinístico conhecido como Solução Numérica Direta (DNS do inglês, *Direct Numerical Solution*). O segundo é um método estatístico conhecido como LES (*Large Eddy Simulation*) e por fim temos o método estatístico RANS (*Reynolds averaged Navier Stokes methods*). A seguir na Figura 2 é possível observar uma representação da solução de um escoamento turbulento de jato livre utilizando os métodos DNS, LES e RANS.

Figura 2 - Solução de um escoamento turbulento de jato livre pelo método DNS, LES e RANS



Fonte: (Adaptado) ANSYS Inc (2016)

2.5.1 Método DNS

No método de Solução Numérica Direta as equações de Navier Stokes que descrevem os escoamentos laminares e turbulentos no tempo e no espaço podem ser resolvidas numericamente sem a necessidade qualquer informação adicional.

A utilização do modelo DNS requer uma grande quantidade de recursos computacionais tornando inviável a sua utilização para resolver situações práticas em escalas industriais (CHUNG, 2002).

2.5.2 Método LES

A utilização do modelo *Large Eddy Simulation* possibilita resolver as escalas de turbulência de forma customizada onde as grandes escalas são resolvidas diretamente e as escalas menores são submetidas a uma decomposição média e resolvidas por um método estatístico. Mesmo utilizando a decomposição das pequenas escalas o método LES utiliza grandes recursos computacionais exigindo alto poder de processamento, porém é menor em comparação ao método DNS (CORRÊA, 2016).

2.5.3 Método RANS

O método RANS também conhecido como Navier Stokes médias de Reynolds é um método onde todas as escalas de turbulência são modeladas a partir da função média das variáveis no tempo e no espaço. A estratégia é conhecer como a turbulência afeta o escoamento de forma precisa, não sendo necessário detalhar as suas flutuações (CHUNG, 2002).

2.6 EQUAÇÕES DE NAVIER STOKES MÉDIAS DE REYNOLDS

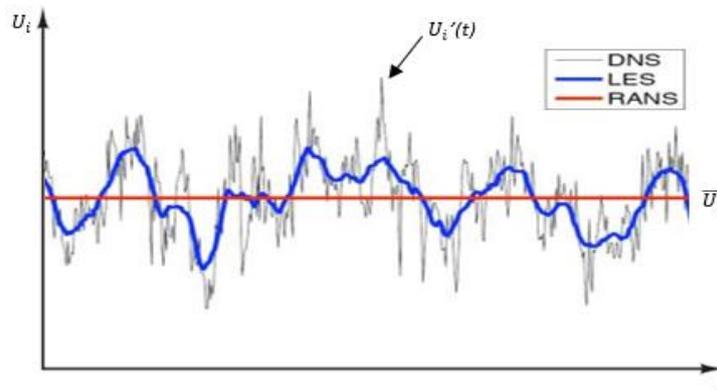
Como descrito anteriormente, o modelo RANS utiliza a decomposição das variáveis do escoamento representando uma quantidade média e outra flutuante no tempo. As equações de Reynolds são estabelecidas a partir da decomposição



Utilização De Fluidodinâmica Computacional Para Otimização De Eficiência Em Um Trocador De Calor Casco Tubo

de escalas variáveis de flutuação temporal. Na Figura 3 pode ser observado uma representação gráfica das modelagens matemáticas DNS, LES e RANS.

Figura 3 – Representação gráfica dos métodos DNS, LES e RANS



Fonte: (adaptado) Versteeg e Malasekera (2007)

A consideração da turbulência em métodos numéricos, diferente da Simulação Numérica Direta resulta em novas variáveis desconhecidas nas equações governantes de Navier Stokes, fazendo-se necessário a introdução de novas equações para completar o sistema. Sendo assim temos que a velocidade U_i pode ser dividida em um termo médio, \bar{U}_i e em um componente variante no tempo U_i' como:

$$U_i = \bar{U}_i + u_i'(t) \quad \text{Eq. (4)}$$

Esse componente médio pode ser obtido da seguinte forma:

$$\bar{U}_i = \frac{1}{\Delta t} \int_t^{t+\Delta t} U_i' dt \quad \text{Eq. (5)}$$

No qual Δt é uma grande escala de tempo quando comparada as escalas das flutuações turbulentas, porém menor quando comparada a constante de tempo para cada uma das variações.

Desta forma, temos as seguintes equações que podem ser utilizadas:

$$\frac{\partial}{\partial x_j} (\rho U_j) = 0 \quad \text{Eq. (6)}$$

$$\frac{\partial}{\partial x_j} (\rho U_i U_j) = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\mu \frac{\partial U}{\partial x_i} \right) - \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho \bar{u}_i \bar{u}_j) \quad \text{Eq. (7)}$$

Utilização De Fluidodinâmica Computacional Para Otimização De Eficiência Em Um Trocador
 De Calor Casco Tubo

$$\frac{\partial}{\partial x_j} (\rho U_i h) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial x_i} \right) - \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho \bar{u}_j \bar{\varphi}) \quad \text{Eq. (8)}$$

Onde os últimos termos $\left(\frac{\partial}{\partial x_j} (\rho \bar{u}_i \bar{u}_j) \right)$ e $\left(\frac{\partial}{\partial x_j} (\rho \bar{u}_j \bar{\varphi}) \right)$ nas duas últimas equações são conhecidos respectivamente como Tensores de Reynolds e Fluxos de calor turbulento descrevendo as flutuações causadas pela turbulência nas equações de transporte (VERSTEEG; MALALASEKERA, 2007).

A aproximação de Boussinesq, proposta em 1877 pode ser utilizada para interpretar os termos pois, os Tensores de Reynolds são assumidos como proporcionais às taxas de deformação média. Sendo assim descritos como:

$$-(\rho \bar{u}_i \bar{u}_j) = \mu_t \left(\frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} \delta_{ij} \left(\rho k + \mu_t \frac{\partial U_k}{\partial x_k} \right) \quad \text{Eq. (9)}$$

$$-\rho \bar{u}_i \bar{\varphi} = \frac{\mu_t}{Pr_t} \left(\frac{\partial h}{\partial x_k} \right) \quad \text{Eq. (10)}$$

Onde μ_t é a viscosidade turbulenta que deve ser modelada, k é a energia cinética turbulenta, δ_{ij} é o operador Delta de Kronecker e Pr_t é o número de Prandtl turbulento.

Para completar o sistema de equações na modelagem RANS deve-se introduzir a equação de Modelos da Viscosidade Turbulenta (*Eddy Viscosity Models*) pois é o mais econômico em recursos computacionais e também é o método utilizado pelo *Software Ansys*.

Por não exigir elevados níveis computacionais no presente trabalho será feita a utilização da modelagem RANS com o modelo numérico de turbulência $k-\epsilon$. O modelo standard $k-\epsilon$ de Launder e Spalding (1974), é um modelo baseado em duas equações de modelagem calculando a energia cinética turbulenta k , e sua taxa de dissipação ϵ (VERSTEEG; MALALASEKERA, 2007).

Ou seja, ele assume que a viscosidade turbulenta está ligada à energia cinética turbulenta e a sua taxa dissipação que é dada pela seguinte relação:

Utilização De Fluidodinâmica Computacional Para Otimização De Eficiência Em Um Trocador
 De Calor Casco Tubo

$$\mu_t = C_\mu \rho \frac{k^2}{\varepsilon} \quad \text{Eq. (11)}$$

onde C_μ é uma constante adimensional.

Os valores de k e ε são alcançados através das seguintes equações (ANSYS INC, 2016):

$$\frac{\partial(\rho\varepsilon)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho U_j \varepsilon) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + \frac{\varepsilon}{k} (C_{\varepsilon 1} P_k - C_{\varepsilon 2} \rho \varepsilon + C_{\varepsilon 1} P_{\varepsilon b}) \quad \text{Eq. (12)}$$

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho U_j k) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + P_k - \rho \varepsilon + P_{kb} \quad \text{Eq. (13)}$$

onde $C_{\varepsilon 1}$, $C_{\varepsilon 2}$, σ_ε e σ_k são as constantes adimensionais do modelo; P_{kb} e $P_{\varepsilon b}$ representam as forças de empuxo que devem ser consideradas uma vez que o modelamento do trocador foi realizado levando em consideração as pressões de saída. Por fim P_k é a produção de energia cinética turbulenta dada por:

$$P_k = \mu_t \left(\frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right) \frac{\partial U_i}{\partial x_j} \quad \text{Eq. (14)}$$

As constantes adimensionais do modelo são mostradas na Tabela 1.

Tabela 1 - Constantes do modelo k-ε

CONSTANTES DO MODELO K-ε					
Constante	C_μ	$C_{\varepsilon 1}$	$C_{\varepsilon 2}$	σ_k	σ_ε
Valor	0,09	1,44	1,92	1	1,3

Fonte: (Adaptado) Versteeg e Malasekera (2007)

O modelo regido pelas equações (12), (13) e (14) apesar de conseguir bons resultados em escoamentos externos não é indicado para aplicações em escoamentos com curvaturas, jatos axi-simétricos e escoamentos com mudanças abruptas em malhas não refinadas. No entanto, ele é útil para muitos

outros escoamentos na engenharia pois é simples, robusto e opera com baixo poder computacional (ANSYS INC, 2016).

2.7 EFICIÊNCIA DE TROCA TÉRMICA

A eficiência térmica η_e pode ser definida como a razão entre a taxa real de transferência de calor \dot{q} e a taxa máxima de transferência de calor possível no trocador \dot{q}_{max} conforme equação (15) e (16).

$$\eta_e = \frac{\dot{q}}{\dot{q}_{max}}; \quad \text{Eq. (15)}$$

$$\dot{q}_{max} = C_{min}(T_{q,e} - T_{f,e}) \quad \text{Eq. (16)}$$

Onde: η_e é eficiência térmica; \dot{q} determina a taxa de calor trocado; \dot{q}_{max} é a taxa máxima de calor trocado; C_{min} é o menor valor do produto estabelecido pela relação entre pressão constante e vazão mássica. $T_{q,e}$ Estabelece a temperatura de entrada do fluido quente e por fim $T_{f,e}$ é a temperatura de entrada do fluido frio.

De posse do valor destas variáveis é possível avaliar a eficiência da troca térmica de um trocador de calor.

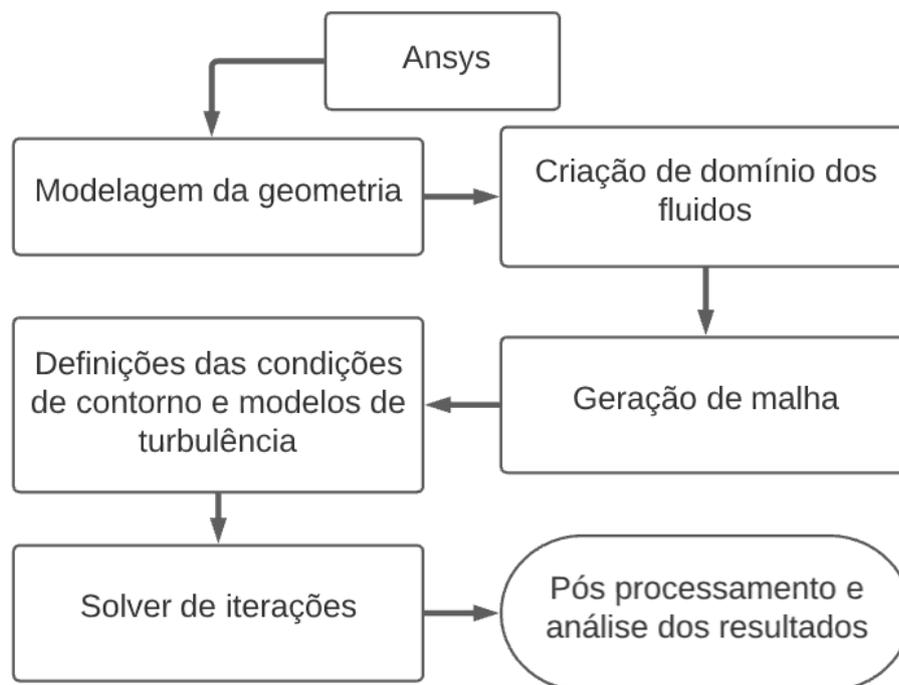
3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

3.1 MONTAGEM DA SIMULAÇÃO GEOMÉTRICA

Para início da simulação, é necessário definir a geometria do problema, que começa com o desenho, em 3D, do trocador de calor no ANSYS. Após o fechamento da geometria, é definido o limite para cada um dos fluidos que serão avaliados no programa. O terceiro passo é a geração da malha, ou seja, a definição do tamanho de cada volume a ser simulado, quanto menor a malha maior o esforço computacional, porém, os resultados também serão mais refinados.

O quarto passo é a definição das condições de contorno e modelos de turbulência a serem simulados, ou seja, a delimitação de como o problema será solucionado. O quinto passo é a simulação em si, onde as iterações serão realizadas e o programa fará seu maior trabalho. O passo final é o tratamento dos resultados e análise dos gráficos gerados, conforme mostra resumidamente a Figura 4.

Figura 4 - Fluxograma da modelagem geométrica



Fonte: Os autores, 2021

3.3 EQUIPAMENTO UTILIZADO NA SIMULAÇÃO

Para realizar as iterações da malha e para solução dos resultados foram utilizados um computador com processador Intel Core I7-7700HQ com quatro núcleos de 3.4GHz com 8Gb de memória RAM operando em conjunto com uma placa gráfica NVIDIA GeForce GTX 1050 Ti de 4Gb.

3.4 MODELAMENTO DO TROCADOR DE CALOR

O trocador utilizado para a simulação foi um trocador casco tubo sem chicanas constituído em sua totalidade de Aço Inox AISI 405 possuindo dois

Utilização De Fluidodinâmica Computacional Para Otimização De Eficiência Em Um Trocador De Calor Casco Tubo

volumes, um de fluido frio e outro fluido quente com as dimensões estabelecidas na Tabela 2

Tabela 2 - Dimensões do trocador de calor

DIMENSÕES DO TROCADOR DE CALOR

Descrição	Valor (mm)
Comprimento do Total do Trocador	528
Comprimento total dos tubos internos	408
Diâmetro externo do casco	102
Diâmetro interno do casco	100
Diâmetro Interno dos tubos internos	20
Espessura de todos os componentes	2
Diâmetro interno da entrada e saída dos tubos	20
Diâmetro interno da entrada e saída do casco	20

Fonte: Os autores, 2021

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

A partir das informações descritas na Tabela 4 foi possível realizar o modelamento 3D do trocador de calor e definir seus volumes dos corpos “molhados”, ou seja, os volumes que serão ocupados no trocador conforme Figura 5.

Figura 5 - Modelamento do trocador de calor (vista isométrica)



Fonte: Os autores, 2021

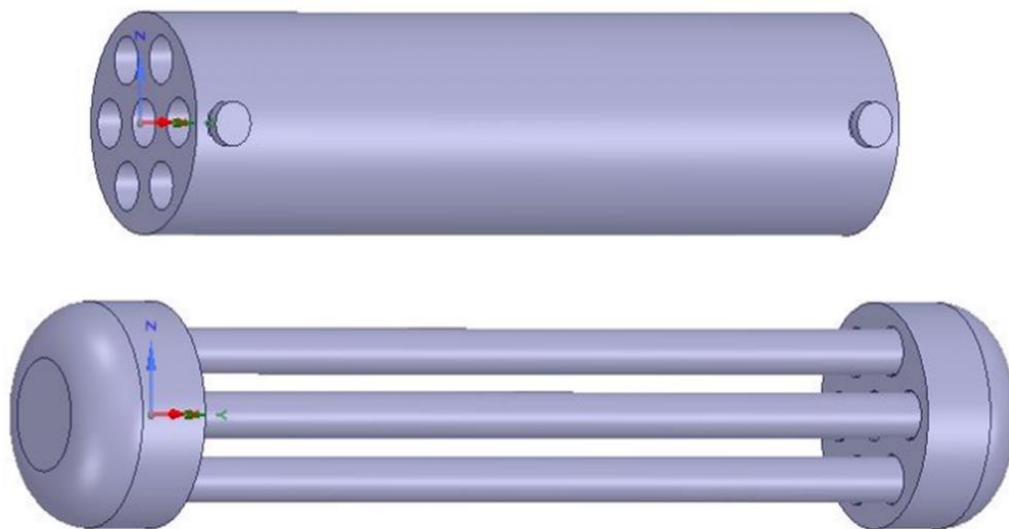
Com o modelamento do trocador apresentado na Figura 5 foi possível extrair os volumes de fluido que irão realizar a troca térmica no casco e no tubo.

É importante ressaltar que é indispensável realizar a correta seleção de geometrias entre fluido quente frio.

A partir dos volumes de controle o *Software* ANSYS realizou a interação de malha entre fluido e sólido, fator que incide diretamente na troca térmica entre as paredes do trocador uma vez que os fluidos não entram em contato direto.

A seguir na Figura 6 é possível observar os volumes de fluido quente e frio que ocupam a parte interna do trocador.

Figura 6 - Corpo molhado do casco e tubo



Fonte: Os autores, 2021

Com a análise individual de cada corpo molhado foi possível, a partir do *Software* ANSYS, determinar os volumes e as áreas de cada geometria pela troca térmica ao longo do trocador, conforme Tabela 3.

Tabela 3 - Propriedades dos corpos molhados

PROPRIEDADES DOS CORPOS DE TROCA TÉRMICA

Componente	Volume (L)	Área ocupada (m ²)
Corpo molhado (casco)	1,862	0,343
Corpo molhado (tubos)	1,364	0,227
Total	3,226	0,570

Fonte: Os autores, 2021

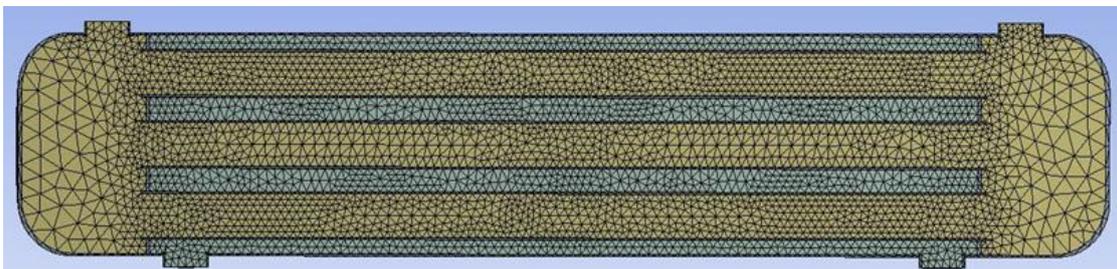
4.1 SUBDIVISÃO DO DOMÍNIO COMPUTACIONAL (MALHA)

Para realizar a discretização do domínio computacional foi utilizado a malha hexaédrica que entre as opções de tetraédrico prismática e piramidal é considerada a mais precisa. Os elementos hexaédricos reduzem os erros numéricos gerando uma malha de excelente qualidade. (referencia)

Para geração da malha é necessário, a utilização de um programa específico para desenvolvimento de malha fornecido pelo pacote ANSYS conhecido como *ANSYS Meshing* que foi utilizado para o desenvolvimento da malha presente no trabalho.

De início, foi criado uma malha hexaédrica para todos os elementos do trocador com aproximadamente 559 mil nós gerando mais de 406 mil elementos mostrados na Figura 7.

Figura 7 - Vista da malha do trocador em um corte xy



Fonte: Os autores, 2021

4.1.1 Convergência de Malha

Em modelagens que utilizam *Softwares* CFD a convergência de malha se torna indispensável para apresentar bons resultados. De modo geral as simulações devem ser realizadas com as mesmas características de escoamento, alterando apenas o refino de malha.

Para o presente trabalho utilizou-se uma malha de aproximadamente 13 mil nós e a simulação foi repetida para a malha de 559 mil nós onde obteve-se um resultado de 1,4% na diferença na temperatura de saída do fluido quente. Como resultado pode-se afirmar que a malha apresentada na Figura 7 está

convergida e que que as simulações feitas a partir do refinamento apresentado apresentem resultados confiáveis.

4.2 DEFINIÇÕES DE ESCOAMENTO E PRÉ PROCESSAMENTO

Para definir as variáveis de entrada deve-se levar em consideração que apenas as vazões e as temperaturas de entrada são possíveis de se extrair de forma experimental, e as variáveis de saída devem ser modeladas. A seguir, na Tabela 4, é possível observar as vazões e a temperatura de entrada do fluido quente e frio do trocador.

Tabela 4 - Modelagem de simulação

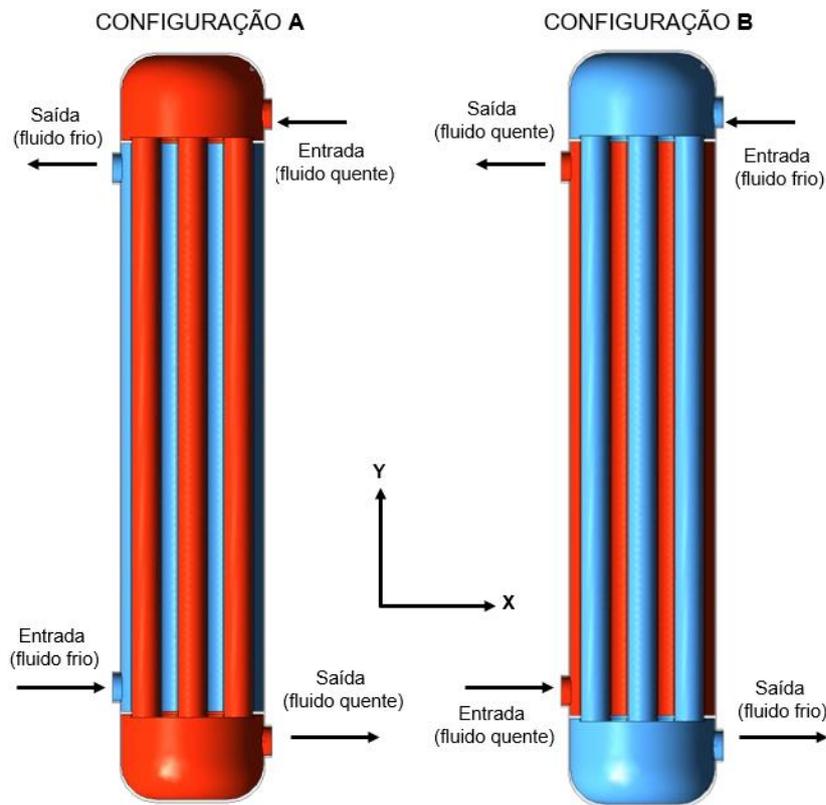
VARIÁVEIS DE ESCOAMENTO

Variável	Temperatura (K)	Vazão (kg/s)
Entrada de água fria	293,9	2
Entrada de água quente	342,1	1

Fonte: Os autores, 2021

Utilizando os dados da Tabela 6 pode-se definir as vazões de entrada entre fluido frio e quente determinado sua posição no trocador. A configuração “A” foi estabelecida de forma que escoamento do fluido frio será realizado no casco como é comum em TCCT. Já a configuração “B” o escoamento do fluido frio foi realizado nos tubos e o fluido quente pelo casco, conforme Figura 8.

Figura 8 – Configuração de escoamento



Fonte: Os autores, 2021

O tempo de processamento computacional para resolução de cada simulação foi, em média, 26 minutos, considerando uma malha com 406801 elementos e 559193 nós. Foram realizados, em média, 100 iterações por simulação com um critério de convergência de 10^{-3} .

4.3 PÓS PROCESSAMENTO ANSYS-CFX

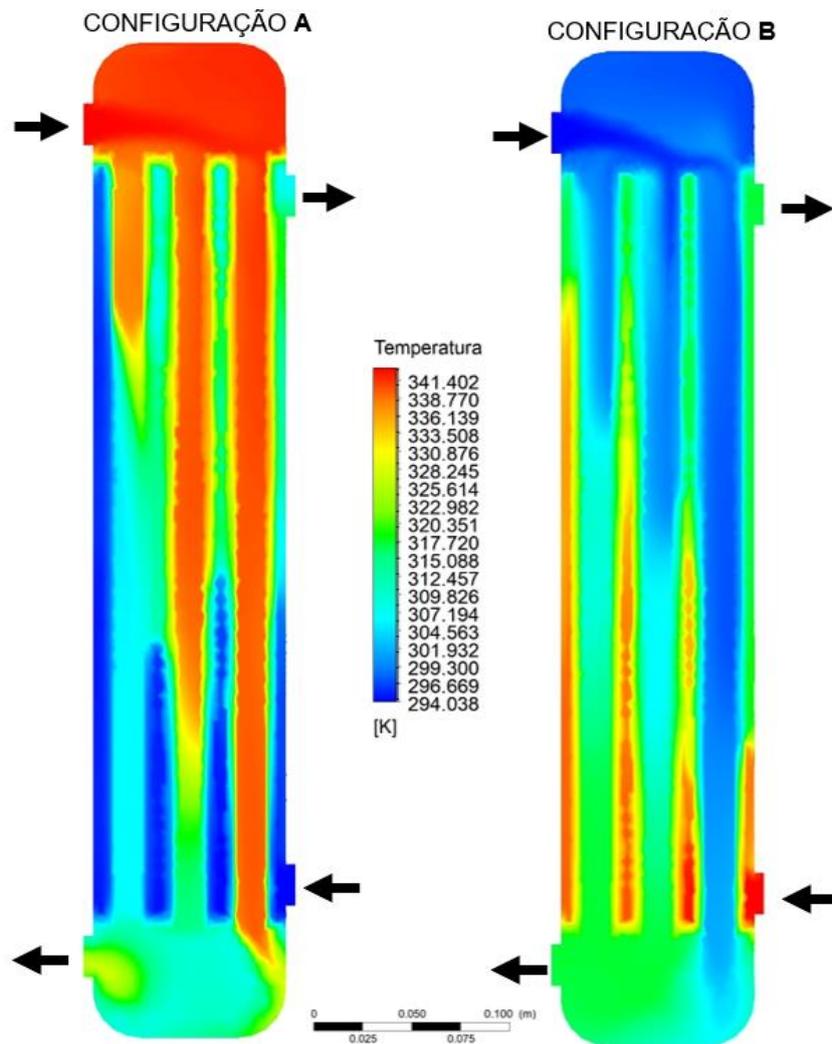
No módulo de pós-processamento de código CFD o *software* é responsável pela apresentação dos dados obtidos após as iterações gerando gráficos de vetores, linhas e contornos. Também é possível gerar gráficos de superfície em 2D e 3D (VERSTEEG e MALALASEKERA, 2007).

Os resultados obtidos a partir das iterações foram apresentados em forma de gráfico de linhas e gráfico de superfície 2D para facilitar a observação visual dos fluidos no escoamento.

Utilização De Fluidodinâmica Computacional Para Otimização De Eficiência Em Um Trocador De Calor Casco Tubo

A seguir, na Figura 9, é possível observar os contornos de temperatura em um corte axissimétrico da configuração 'A' e 'B' por meio de um gráfico de superfície 2D onde é possível observar o escoamento do fluido ao longo do trocador.

Figura 9 - Contornos de temperatura em um corte axissimétrico



Fonte: Os autores, 2021

As temperaturas de saída de fluido quente e frio foram estabelecidas após os resultados do Pós processamento ANSYS e com a análise de contorno estabelecida conforme Figura 9 é possível determinar os valores apresentados na Tabela 5:

Tabela 5 – Pós processamento ANSYS

PÓS PROCESSAMENTO ANSYS

Variáveis	Temp. Conf. A (K)	Temp. Conf. B (K)
Entrada de água fria	293,9	293,9
Entrada de água quente	342,1	342,1
Saída de água fria	312,4	319,3
Saída de água quente	324,2	317,6

Fonte: Os autores

Com as temperaturas obtidas na Tabela 5 pode-se observar diretamente uma diferença de temperatura nas saídas de fluido quente entre as Configuração 'A' e 'B'. Também foi possível calcular a eficiência do trocador de calor em cada configuração.

4.2 EFICIÊNCIA DA TROCA TÉRMICA

Utilizando as equações (15) e (16) podemos avaliar a eficiência dos trocadores nas duas Configuração simuladas. Temos então que:

$$C_{\min} = m_{\min} * C_{p_{\min}} = 1 \text{ kg/s} * 4,18 \text{ kJ/kg} = 4,18$$

$$q_{\max} = 4,18 * (342,1 - 293,9) = 201,48 \text{ kJ}$$

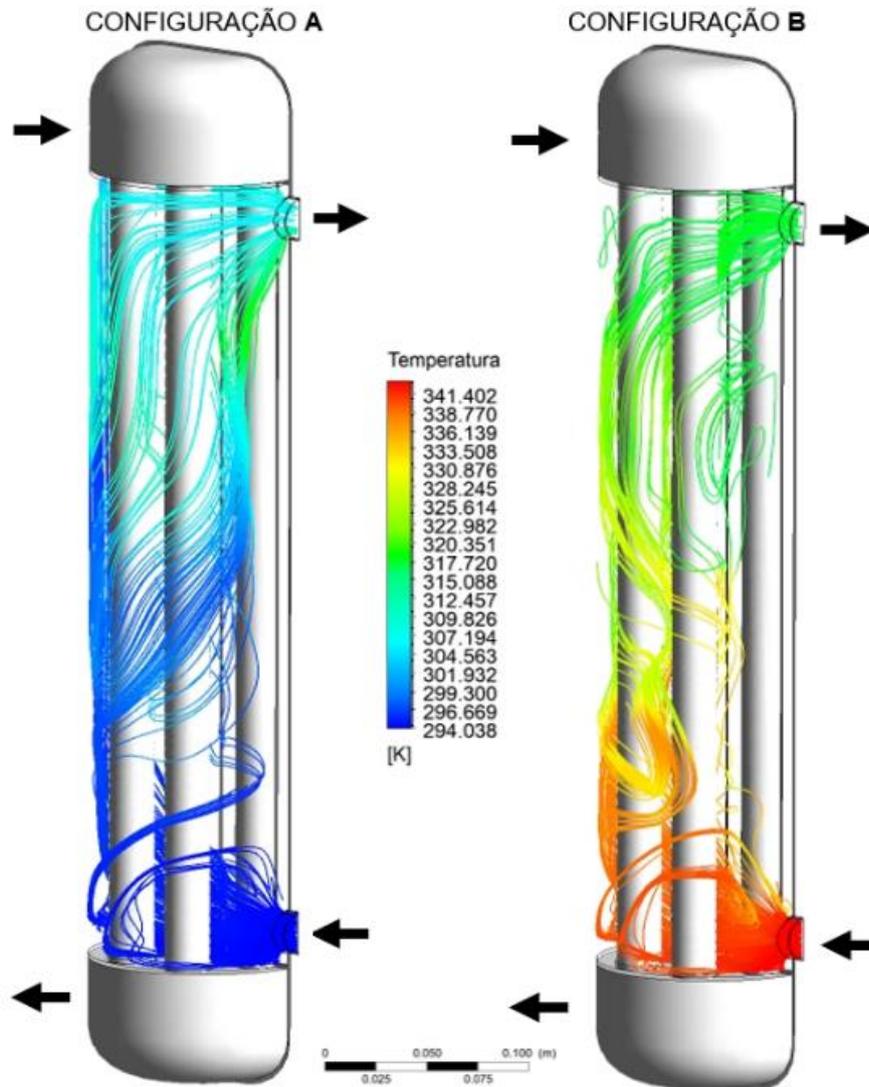
$$\eta(A) = 77,33 / 201,48 = 0,3838 = 38,4 \%$$

$$\eta(B) = 106,17 / 201,48 = 0,5270 = 52,7 \%$$

Ao comparar as eficiências das trocas térmicas das Configuração A e B podemos observar que a segunda configuração nos dá uma melhor troca térmica, aumentando de 38,4% para 52,7% a eficiência do processo de troca.

A Figura 10 apresenta as *Streamlines* da geometria em um corte axissimétrico fluindo pelo casco entre os tubos do trocador.

Figura 10 – Distribuição de temperatura nas linhas de escoamento da geometria



Fonte: Os autores

A partir dos valores obtidos, percebeu-se que no fluido quente com fluxo passando pelos tubos, obteve o maior valor na eficiência. Segundo Santos e Stapasolla (2010) o fluxo que passa pelo trocador é o fator determinante, pois ele é diretamente responsável pela quantidade de troca térmica que é obtida ao longo do trocador.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Pode-se observar que o modelamento do trocador na configuração “B” demonstrou uma troca térmica muito maior que a configuração “A”. A passagem

Utilização De Fluidodinâmica Computacional Para Otimização De Eficiência Em Um Trocador
De Calor Casco Tubo

do fluido frio pelo casco trouxe uma melhor efetividade para a refrigeração da corrente quente aumentando a taxa de transferência de calor.

Também foi possível observar, que, a configuração “B” onde o fluido quente e a geometria do trocador juntamente com a vazão causam uma turbulência maior que a situação da configuração “A” e conseqüentemente uma dissipação de energia maior, gerando um aumento da eficiência de troca térmica do trocador.

Assim, foi possível, com a utilização do *software* Ansys-CFX realizar o modelamento e simulação de fluidodinâmica computacional utilizando as equações numéricas do modelo $k-\epsilon$ alcançando o critério de convergência estabelecido obtendo resultados satisfatórios na alteração do fluxo de fluido quente e frio entre o casco e tubo do trocador.

REFERÊNCIAS

ANSYS INC. **ANSYS CFX-Solver** Theory Guide: Release 17.2. Canonsburg, 2016.

BARTH, T. J., “**An overview of combined uncertainty and posterior error bound estimates for CFD calculations**”, AIAA Paper 2016–1062, 2016.

ÇENGEL, Y. A. & GHAJAR. **Transferência de Calor e Massa: uma abordagem prática**. 3. ed. São Paulo, SP: McGraw-Hill, 2012. 902 p.

CORRÊA, L.. **Simulação de grandes escalas de escoamentos turbulentos com filtragem temporal via método de volumes finitos**. 2016. 99 f. Tese (Doutorado em Ciências – Ciências de Computação e Matemática Computacional) – Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação (ICMC/USP), São Carlos – SP.

Utilização De Fluidodinâmica Computacional Para Otimização De Eficiência Em Um Trocador De Calor Casco Tubo

KHATCHATOURIAN, O. **Experimental Study of the Turbulent Wake Downstream of a Fan Jet.** *Izvestiya VUZ. Aviatsionnaya Tekhnika*, Vol. 21, No. 3, p. 100-107, 1978.

KUPPAN, T. **Heat exchanger design handbook.** 2. ed. New York: CRC Press, 2000.

MIRANDA, C.B.N., Duque, G.W.D., Silva, J.A., Teixeira, F.N., **Simulação numérica do escoamento em um ciclone separador usando CFD**, in: 9º Simpósio de Mecânica Computacional, Universidade Federal de São João Del-Rei, São João Del-Rei/MG, Brasil, 2010.

OLIVEIRA B. C., Gilce. **Análise do Trocador de Calor de uma areira residencial através de Fluidodinâmica Computacional.** Roger Schildt Hoffmann. 2011 61p. Graduação, Engenharia mecânica. Departamento de tecnologia. Universidade regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Panambi 2011.

SANTOS, F. C., STAPASOLLA T. Z., **Construção trocador de calor tipo casco tubo para resfriamento de mosto de cerveja.** Trabalho final da disciplina de medições térmicas – Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre –RS, 2011.

SIMÕES, M. R., **Simulação computacional de escoamento turbulento em Compressor axial utilizando ferramenta de CFD.** Tese de Doutorado. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica - Universidade Federal do Rio de Janeiro-RJ 2009.

SHAH, K. R.; SEKULIĆ, D. P. **Fundamentals of heat exchangers design.** New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2003.

Utilização De Fluidodinâmica Computacional Para Otimização De Eficiência Em Um Trocador
De Calor Casco Tubo

THULUKKANAM, K. *Heat Exchangers Design Handbook*. 2. ed. New York:
CRC Press - Taylor & Francis Group, 2013.

VERSTEEG, H. K.; MALALASEKERA, W. *An Introduction to Computational
Fluid Dynamics: The finite volume method*. 2. ed. England: Pearson Education
Limited, 2007.



REUTILIZAÇÃO DE CONTÊINERES MARÍTIMOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL: UMA ALTERNATIVA ECOLÓGICA PARA HABITAÇÕES DE INTERESSE SOCIAL

*REUSE OF MARINE CONTAINERS IN CIVIL CONSTRUCTION: AN
ECOLOGICAL ALTERNATIVE FOR HOUSING OF SOCIAL INTEREST*

Jamiel Steil
Tamily Roedel

RESUMO: A indústria da construção civil é vital para economia do país e responsável por toda urbanização das cidades. Nesse sentido, o contêiner se apresenta como uma alternativa inovadora de construção modular com grande potencial para suprir essas necessidades. As habitações de interesse social (HIS) buscam viabilizar à população o acesso à moradia adequada e planejada, no intuito de realocar famílias que vivem em áreas de risco, proporcionando maior segurança e conforto aos que ali serão estabelecidos. Este trabalho teve como objetivo geral analisar a reutilização de contêineres marítimos na construção civil como uma alternativa ecológica para habitações de interesse social. Ele foi realizado por meio de uma pesquisa com abordagem quali-quantitativa, baseada em conceitos e percepções de autores na intenção de trazer mais informações sobre a utilização do contêiner no setor da construção civil. Levando em consideração o alto déficit habitacional do Brasil e a necessidade de moradia acessível, foi desenvolvido um projeto reutilizando dois módulos de contêiner do tipo *reefer*, direcionado para uma HIS e com viés sustentável. Realizou-se uma comparação financeira entre HIS com contêiner e HIS convencional através de um orçamento embasado no projeto arquitetônico, nesta comparação constatou-se que a edificação com contêiner teve menor custo que a convencional. Foram apresentadas as vantagens do ponto de vista ambiental, a reutilização do contêiner descartado é a principal delas, bem como a redução de recursos naturais e

Reutilização De Contêineres Marítimos Na Construção Civil: Uma Alternativa Ecológica Para Habitações De Interesse Social

resíduos decorrentes da construção civil. Essa análise auxilia trazendo mais informações para ampliar o conhecimento sobre este método construtivo.

PALAVRAS-CHAVE: Construção civil. Contêiner. Habitação de interesse social.

ABSTRACT: *The construction industry is vital for the country's economy and responsible for all urbanization of cities. In this sense, the container presents itself as an innovative alternative for modular construction with great potential to meet these needs. Social Interest Housing (HIS) seeks to provide the population with access to adequate and planned housing, in order to relocate families living in risk areas, providing greater security and comfort to those who will be established there. The general objective of this work was to analyze the reuse of maritime containers in civil construction as an ecological alternative for social housing. It was carried out through a research with a quali-quantitative approach, based on concepts and perceptions of authors in order to bring more information about the use of containers in the civil construction sector. Taking into account the high housing deficit in Brazil and the need for affordable housing, a project was developed reusing two reefer-type container modules, aimed at an HIS and with a sustainable bias. A financial comparison was made between HIS with container and conventional HIS through a budget based on the architectural project, in this comparison it was found that the building with container had a lower cost than the conventional one. The advantages from the environmental point of view were presented, the reuse of the discarded container is the main one, as well as the reduction of natural resources and waste resulting from civil construction. This analysis helps by bringing more information to expand knowledge about this constructive method.*

KEYWORDS: *Construction. container. Housing of social interest.*

1 INTRODUÇÃO

Reutilização De Contêineres Marítimos Na Construção Civil: Uma Alternativa Ecológica Para Habitações De Interesse Social

A velocidade do processo de industrialização e urbanização tem provocado desordem entre o crescimento da população e a capacidade de infraestrutura, para atender às necessidades dessa demanda, gerando o desequilíbrio social e a ocupação de espaço. Segundo Monteiro e Veras (2017) as transformações na estrutura urbana das cidades resultaram em mudanças no modo de morar da população, que chegando às grandes metrópoles, na sua maioria, se estabeleciam primeiro nas atividades produtivas e depois resolviam os problemas de moradia.

Segundo a Fundação João Pinheiro (2021) o déficit habitacional do Brasil gira em torno de 5,8 milhões de moradias, atender este número com as tecnologias convencionais provoca impactos econômicos e ambientais. “Essa estatística revela não só a má distribuição das moradias, em razão da atuação dos agentes do mercado privado, mas também o baixo poder aquisitivo [...] no acesso ao estoque habitacional adequado” (NASCIMENTO; BRAGA, 2009, p. 98).

Diante dessa tendência de aglomeração desordenada da população menos favorecida nas áreas urbanas, as questões relacionadas ao acesso à moradia precisam ser resolvidas. O direito à moradia é uma questão central para todas as pessoas (VIEIRA; COSTA, 2020).

Nunes, Rosa e Moraes (2015, p. 13) afirmam que “[...] a problemática ambiental urbana deve ser o elemento capaz de unificar todas as ações urbanísticas, nos mais diversos setores, em torno de um único desafio: construir cidades ambientalmente e socialmente justas para as nossas próximas gerações”. Neste sentido, surge a reutilização de contêineres marítimos, como uma alternativa à construção de Habitações de Interesse Social (HIS). “A habitação de interesse social está associada diretamente à necessidade de prover habitação urbana para os setores menos favorecidos da população” (REIS; LAY, 2010, p. 100). No Brasil existem poucos estudos relacionados à readequação de contêineres para HIS (COELHO, 2019).

Visando diminuir os impactos ambientais e proporcionar moradia acessível, o setor da construção civil se voltou para a reutilização de materiais descartados, e é neste cenário que o contêiner começa a se destacar. (SILVA; MARQUES; EL-DEIR, 2020).

Reutilização De Contêineres Marítimos Na Construção Civil: Uma Alternativa Ecológica Para Habitações De Interesse Social

O contêiner é uma caixa de metal utilizada amplamente na indústria náutica e ferroviária para o transporte de cargas, atualmente vêm ocupando espaço também no setor da construção civil como uma nova alternativa construtiva, inicialmente usado para empreendimentos comerciais, e mais a frente para uso em habitações (SOUSA; SANTOS, 2021). De acordo com Azevedo, Costa e Rocha (2016, p. 7) “reutilizar o container após ser decretado o fim de sua vida útil para transporte ainda parece ser a alternativa mais viável para continuar explorando seu uso nos 80% de vida útil que ainda lhe restam”.

Dessa forma o setor da construção civil tem papel fundamental no reaproveitamento desses materiais atuando na estruturação de moradias e refletindo na dinâmica das cidades. Por se tratar de um setor que faz uso de muitos recursos naturais, atender a essa demanda de moradia implica em utilizar um montante exagerado de materiais, além da elevada geração de resíduos e descarte dos mesmos após o término das edificações.

Diante do contexto acima surge o problema desta pesquisa: Como construir edificações acessíveis para a população de baixa renda, reutilizando contêineres, e que atendam a redução dos impactos ao meio ambiente provocados pelo setor da construção civil? Sendo assim, o objetivo geral deste trabalho é analisar a reutilização de contêineres marítimos na construção de habitações de interesse social. E os objetivos específicos são desenvolver um projeto arquitetônico com o reaproveitamento de contêiner para uma habitação de interesse social; orçar o custo para execução do projeto de habitação de interesse social com contêiner e realizar uma comparação financeira com o método construtivo convencional; e avaliar as vantagens do ponto de vista ambiental da reutilização de contêiner marítimo no setor da construção civil.

Este trabalho é importante porque ele está voltado a uma solução sustentável para a construção de uma HIS. Estas soluções no âmbito da construção civil são necessárias para minimizar o esgotamento dos recursos naturais e atender à demanda. O uso de contêineres surge como uma alternativa ecologicamente viável, pois se trata de um material que é descartado, mas que pode ser reutilizado para outros fins.

Reutilização De Contêineres Marítimos Na Construção Civil: Uma Alternativa Ecológica Para Habitações De Interesse Social

O estudo se justifica pela necessidade da inserção de novos métodos construtivos com capacidade de proporcionar evolução nos níveis sustentável, habitacional e operacional. No âmbito sustentável, o contêiner é uma opção para reutilização de um material que já realizou seu primeiro ciclo de uso. No quesito habitacional, facilita acesso à moradia proporcionando conforto e inovação com consciência ambiental. Quanto ao operacional, assegura agilidade na execução, reduz o uso de recursos naturais e conseqüentemente gera menos resíduos.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

A seguir são descritos os principais temas que fundamentam esta pesquisa.

2.1 CONTÊINER

“Originado do inglês *to contain* (conter; encerrar; acomodar), o container está relacionado ao recipiente geralmente de metal, destinado a acomodação e transporte de carga em navios, trens e aviões, dentre outros meios” (TORRES *et al.*, 2020, p. 3).

O Art. 4º do Decreto nº 80.145/1977 denomina contêiner como:

Um recipiente construído de material resistente, destinado a propiciar o transporte de mercadorias com segurança, inviolabilidade e rapidez, dotado de dispositivos de segurança aduaneira e devendo atender às condições técnicas e de segurança previstas pela legislação nacional e pelas convenções internacionais ratificadas pelo Brasil. (BRASIL, 1977).

De acordo com Barbosa *et al.* (2017, p. 103) o contêiner é uma “caixa retangular de chapas metálicas muito resistentes, feitas de metais não biodegradáveis, formados por aço, alumínio ou fibra. Foi criado com a finalidade de transportar cargas em navios e trens, obtendo assim maior economia com a redução do tempo nos processos”. De acordo com Occhi e Almeida (2016, p. 16), [...] estima-se que 90% do movimento de mercadorias do mundo utilizam containers; o que equivale a cerca de 5000 containers utilizados a cada ano”.

Reutilização De Contêineres Marítimos Na Construção Civil: Uma Alternativa Ecológica Para Habitações De Interesse Social

Carbonari e Barth (2015) destacam que a estrutura do contêiner é formada por quatro vigas inferiores e quatro superiores, interligadas por pilares posicionados nos cantos, resultando em uma armação rígida. O revestimento é formado pelo piso soldado as vigas inferiores por um trilho de conexão, servindo de sustentação para as placas de compensado, o painel frontal é composto por duas folhas com dobradiças soldadas nos pilares e por painéis laterais e superior soldados nas vigas perimetrais (CARBONARI; BARTH, 2015).

O contêiner é produzido baseado em normas técnicas da *International Organization for Standardization* (ISO), que em português significa Organização Internacional para Padronização. Essa entidade é responsável pela formulação e aprovação de normas técnicas de procedimentos e processos. Dentre as normas, pode-se destacar a NBR ISO nº 668, que tem a finalidade de regulamentar e padronizar dimensões, capacidades, códigos, identificações e marcações (ABNT, 2000).

A padronização do contêiner contribui para o empilhamento no transporte marítimo. Podem ser empilhados até 8 unidades carregadas e 12 unidades vazias. O sistema de travas próprio do container permite juntar as unidades com segurança, sem que sejam necessários outros elementos de trava (AZEVEDO; COSTA; ROCHA, 2016).

A vida útil do contêiner é estimada em 10 anos, após este período surge a necessidade de se dar um destino correto para estas peças já que o mesmo não está mais apto para o transporte marítimo (MILANEZE *et al.*, 2012).

2.2 REUSO DO CONTÊINER MARÍTIMO NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Estes contêineres que seriam descartados começam a ganhar maior destaque e passam a ser utilizados como matéria-prima para outras finalidades, como na construção civil, onde são reutilizados para implantação de novos empreendimentos, como residências, lojas, restaurantes, etc. Além de proporcionar uma obra com rápida execução e redução de custos, ainda vêm ao encontro das questões ambientais (BARBOSA *et al.*, 2017).

Reutilização De Contêineres Marítimos Na Construção Civil: Uma Alternativa Ecológica Para Habitações De Interesse Social

Como a construção civil é um dos setores que mais causam impactos ao meio ambiente, a classe empresarial se apoia na inovação para trazer cada vez mais soluções sustentáveis, pois os sistemas construtivos tradicionais utilizam os recursos naturais em larga escala (NUNES; SOBRINHO JÚNIOR, 2017).

O contêiner vem ganhando espaço por ser um material de fácil aquisição e encontrado em grandes quantidades, e ainda por sua versatilidade, podendo ser reutilizado para diferentes fins.

O primeiro registro de construção com uso de contêiner foi com Phillip C. Clark (1989), que registrou uma patente, com o número 4854094, denominada como “Método para converter um ou mais contêineres de aço em um prédio habitável em um canteiro de obras e seu produto”.

Segundo Bozeda e Fialho (2016, p. 165) “a introdução dos containers no mercado construtivo iniciou-se através do seu uso para a criação de abrigos improvisados em regiões que sofrem com guerras, terremotos e outros tipos de desastres naturais, como refúgio de emergência, por exemplo”.

Com o passar do tempo, o contêiner se tornou uma opção cada vez mais utilizada na engenharia. Além da agilidade, o método traz alto índice de conforto e estética atraindo atenção para seu uso como habitação residencial.

O contêiner adaptado para a construção civil gera uma economia de cerca de 30% do valor da construção se comparado com o método convencional. Além disso, uma edificação feita com contêiner é desenvolvida com maior rapidez e eficiência, podendo ser realizada dentro do prazo de três meses. A utilização dos módulos proporciona maior flexibilidade possibilitando o acréscimo de mais unidades e a mudança de local (BARBOSA *et al.*, 2017).

Por se tratar de um material que é aproveitado e adaptado para moradias, isso pode gerar alguns questionamentos e dúvidas referentes a sua confiabilidade e adequação. De acordo com Souza e Andrade (2020, p. 3) “o contêiner passa por um processo de tratamento e recuperação para poder ser utilizado na construção civil, tal processo inclui limpeza, funilaria, serralheria, pintura, revestimentos e acabamentos”.

“A estrutura dos containers é extremamente resistente em relação a diversas intempéries, possuem uma vida útil longa e foram projetados de modo a suportarem

Reutilização De Contêineres Marítimos Na Construção Civil: Uma Alternativa Ecológica Para Habitações De Interesse Social

grandes cargas sem a necessidade de outros equipamentos estruturais” (BOZEDA; FIALHO, 2016, p. 165). Para a construção civil essa característica é muito importante, pois garante a segurança da edificação, podendo utilizar os módulos sobrepostos, diversificando as formas e possibilitando diferentes designers.

A edificação com uso de contêiner ajuda a reduzir o impacto ambiental por utilizar um material que antes era descartado, além do custo-benefício. Ele é um elemento de baixo valor, tornando a obra mais rápida, com menos perdas, economia de recursos naturais, e ainda auxiliando nas questões relacionadas ao meio ambiente (NATALINO; FLORIAN, 2022).

2.3 ETAPAS CONSTRUTIVAS DE EDIFICAÇÃO COM USO DE CONTÊINER

A utilização do contêiner como método construtivo necessita seguir determinadas etapas para garantir que o projeto seja executado com segurança. O contêiner possui estruturas adaptáveis ao terreno, o que facilita o início da sua implantação, por não requerer um grande preparo.

Souza e Andrade (2020) descrevem uma sequência básica para construção com contêineres, que são: as fundações, adaptação conforme projeto, transporte até o local da obra, içamento feito por guindastes, e os acabamentos finais, e ainda deve ser realizado laudos de habitabilidade e de descontaminação contra agentes químicos, biológicos e radioativos, para garantir a segurança da estrutura.

Cabe salientar que antes de iniciar um empreendimento com contêiner, se deve levar em consideração o projeto, fazer uma análise de qual tipo de contêiner irá proporcionar um melhor aproveitamento. A logística também merece muita atenção, pois o transporte do contêiner a uma longa distância do local onde será adquirido, pode dificultar e encarecer a obra (OLIVEIRA; SOUZA, 2021).

Para Alves, Ferreira e Cavalcante (2019, p. 22) a construção com contêineres segue uma sequência, “primeiramente é construída a fundação; o passo seguinte é o transporte dos containers, já com as adaptações do projeto, para a obra – esses são içados e postos no local em que permanecerão; ao fim, é feito o acabamento”.

Reutilização De Contêineres Marítimos Na Construção Civil: Uma Alternativa Ecológica Para Habitações De Interesse Social

Mais detalhadamente Nunes e Sobrinho Júnior (2017) sugerem que a execução de obra com contêiner deve seguir a seguinte ordem: projeto e adaptações; regularização e fundações, e acabamento com as ligações, isolamento térmico, instalações elétricas, hidrossanitárias, fechamento interno, forro e teto.

Dessa forma, percebe-se que cada autor apresenta sequências semelhantes de execução da construção de habitações com contêineres, porém não existe uma sequência específica. Deve ser avaliada a melhor ordenação das etapas construtivas para o estudo, que inicia com aquisição e transporte, em seguida, fundação e montagem, depois instalações e esquadrias, isolamento e finalizando com o acabamento e cobertura.

2.4 HABITAÇÕES DE INTERESSE SOCIAL

A Fundação João Pinheiro realizou um levantamento e constatou que nos quatro anos avaliados pelo estudo (2016-2019), saltou de 2,814 milhões para 3,035 milhões, o número de casas que foram desocupadas por conta do alto valor do aluguel (PINHEIRO, 2021).

Diante dessa crescente necessidade por moradia, o uso do contêiner como uma alternativa construtiva surge para contribuir com a solução dos problemas do déficit habitacional, que vem se agravando mais rapidamente com a pandemia do coronavírus, com um alto índice de despejos.

A rapidez do processo de urbanização e industrialização das cidades, atrelada a expansão desordenada de edificações, trouxe para o debate a questão da habitação social. As cidades não estavam preparadas para atender um número tão elevado de novos moradores, fato que impactou principalmente a classe trabalhadora, que devido a insuficiência de recursos, começou a se estabelecer em habitações improvisadas (MONTEIRO; VERAS, 2017).

Ramos e Noia (2016) acrescentam que a população pobre não dispunha de muitas opções quanto às áreas de ocupação para moradia, devido aos baixos níveis de renda das famílias brasileiras e elevado valor das habitações. Por isso, as pessoas eram levadas a ocupar o mercado de habitação informal, se estabelecendo em locais

Reutilização De Contêineres Marítimos Na Construção Civil: Uma Alternativa Ecológica Para Habitações De Interesse Social

sem o devido planejamento, estando muitas vezes em áreas de risco, insalubres e sujeitas a intempéries tão perigosas atualmente, como deslizamentos e inundações.

Neste cenário, o estado passou a intervir no setor habitacional, atitude que foi bem recebida por vários setores sociais, pois estabeleceu a ideia de que era dele a responsabilidade de garantir condições dignas de moradia. Partindo dessa premissa, eram necessários então, investimentos com recursos públicos e fundos sociais (RUBIN; BOLFE, 2014).

Percebeu-se que a habitação não se limita somente à casa, mas incorpora também o direito à infraestrutura, como saneamento, mobilidade, transporte coletivo e serviços urbanos e sociais. Com isso, busca-se a inclusão na conjuntura da cidade, reconhecendo que as políticas públicas são direitos dos cidadãos (RAMOS; NOIA, 2016).

A habitação de interesse social (HIS) surgiu como um conjunto de ações, que concretizou um marco regulatório no país, a Política Nacional de Habitação (PNH), regida pela Lei Federal nº 11.124, de 16 de junho de 2005, que conseqüentemente instituiu o Sistema Nacional de Habitação (SNH), e mais tarde em 2009, o Plano Nacional de Habitação (PlanHab). Essa legislação caracterizou a Política Urbana Brasileira com Interesse Social (IS). (BUONFIGLIO, 2018).

Após a criação do Sistema Nacional de Habitação de Interesse Social (SNHIS), esperava-se que a política habitacional tomasse o caminho estabelecido pela lei, algo que não ocorreu, pela dificuldade em inserir a matéria com vínculo orçamentário através da Proposta de Emenda Constitucional (PEC). Diante disso, foi criada uma alternativa, o Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV), um programa de habitação idealizado para aquecer a economia e enfrentar a crise financeira mundial que atingia o Brasil (FERREIRA *et al.*, 2019).

O programa Minha Casa, Minha Vida (MCMV) foi disseminado em 2009 para criar mecanismos que incentivem a construção e garantia de novas casas, a recapacitação de imóveis urbanos e a reforma ou a elaboração de moradia rural, para famílias de baixa renda com até R\$ 5 mil de ganhos mensais (PORDEUS *et al.*, 2021, p. 6).

Reutilização De Contêineres Marítimos Na Construção Civil: Uma Alternativa Ecológica Para Habitações De Interesse Social

Em 2021, o governo substituiu o programa MCMV pelo programa Casa Verde Amarela (PCVA) através da Lei nº 14.118 de 12 de janeiro de 2021:

Art. 1º. É instituído o Programa Casa Verde e Amarela, com a finalidade de promover o direito à moradia a famílias residentes em áreas urbanas com renda mensal de até R\$ 7.000,00 (sete mil reais) e a famílias residentes em áreas rurais com renda anual de até R\$ 84.000,00 (oitenta e quatro mil reais), associado ao desenvolvimento econômico, à geração de trabalho e de renda e à elevação dos padrões de habitabilidade e de qualidade de vida da população urbana e rural.

O PCVA de responsabilidade do Ministério do Desenvolvimento Regional (MDR), foi implementado com a proposta de contribuir com o acesso da população de baixa renda a moradia digna, melhorando a qualidade de vida dessa classe. Até 2024 a meta é atender 1,6 milhão de famílias através do financiamento habitacional, um acréscimo de 350 mil. Para alcançar esse objetivo haverá uma redução na taxa de juros apontada como a menor da história do Fundo de Garantia do Tempo de Serviço (FGTS) e ainda, mudanças nos ordenados do agente financeiro (MARCO; BATTIROLA, 2021).

A intenção principal do programa é aumentar o acesso à moradia de qualidade. Com recursos financeiros, regulamentação e participação a nível Federal, Estadual, Municipal e demais parcerias, será possível concretizar as ações previstas e possibilitar a redução do déficit habitacional. Com isso, espera-se melhorar a qualidade de vida, com áreas urbanas de boa localização e preço ajustados com o mercado habitacional, e ainda promover o desenvolvimento do setor da construção civil incluindo as micro e pequenas empresas, microempreendedores individuais e demais entidades privadas (ALVES; PAULA, 2021).

Houve por parte do governo federal, a ampliação do teto do valor dos imóveis para serem enquadrados como habitação popular. Os municípios de 50 a 100 mil habitantes tiveram aumento no limite de 15%, entre 20 e 50 mil habitantes, o aumento foi de 10%, já os municípios com menos de 20 mil habitantes, não ocorreram alterações, e as demais cidades, que são capitais e regiões metropolitanas tiveram um incremento de 10% (MDR, 2022).

Reutilização De Contêineres Marítimos Na Construção Civil: Uma Alternativa Ecológica Para Habitações De Interesse Social

Sabe-se que um imóvel “[...] configura-se como um bem muito caro, de modo que depende de esquemas de financiamento de longo prazo aos demandantes finais” (RAMOS; NOIA, 2016, p. 70). O acesso à moradia para a população de baixa renda é um grande desafio e uma necessidade básica a ser suprida.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

No tópico 3.1 é descrito o tipo de pesquisa e, no 3.2, o plano de coleta e a análise dos dados.

3.1 TIPO DE PESQUISA

Para a elaboração deste trabalho foi realizada uma pesquisa com abordagem quali-quantitativa, baseada em conceitos e percepções de autores na intenção de trazer mais informações sobre a utilização do contêiner no setor da construção civil, e o orçamento do projeto. Creswell e Creswell (2021, p. 3) citam que “a pesquisa qualitativa é uma abordagem voltada para a exploração e para o entendimento do significado que indivíduos ou grupos atribuem a um problema social ou humano”. A pesquisa quantitativa é aquela que utiliza métodos quantitativos aplicados, com uma combinação das ciências matemáticas e estatísticas, neste caso, aplicados à Engenharia Civil (SIQUEIRA, 2013).

Quanto ao método utilizado nesta pesquisa, pode-se classificar como exploratória e descritiva. Conforme Apolinário (2011) o método exploratório trata de um estudo com objetivo de elevar a compreensão de um elemento ainda não muito conhecido, ou então de um problema de pesquisa ainda não descrito. Por sua vez, a pesquisa descritiva “é recomendada nos estudos que têm como propósito a descrição de um determinado caso, que pode se referir a um indivíduo, um grupo, uma organização ou uma comunidade” (GIL, 2021, p. 147).

A obtenção das informações aconteceu através de fontes bibliográficas, onde foram consultados materiais já disponíveis sobre o uso do contêiner na construção civil, com objetivo de aprofundar conhecimentos sobre o tema abordado, para isso

Reutilização De Contêineres Marítimos Na Construção Civil: Uma Alternativa Ecológica Para Habitações De Interesse Social

foram utilizadas publicações científicas, livros, sites, artigos e normas. Segundo Gil (2018, p. 28) “a pesquisa bibliográfica é elaborada com base em material já publicado. Tradicionalmente, esta modalidade de pesquisa inclui material impresso, como livros, revistas, jornais, teses, dissertações e anais de eventos científicos”.

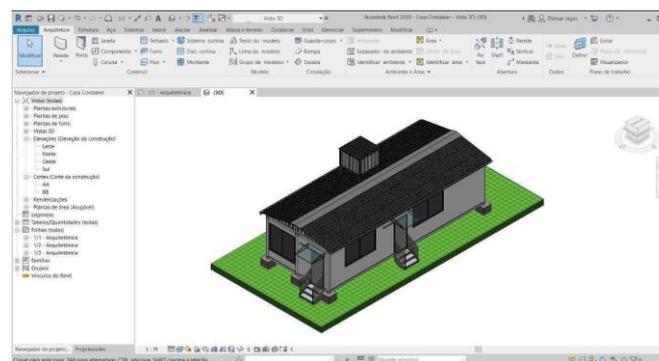
A formulação desta pesquisa é composta por três etapas, sendo inicialmente uma pesquisa bibliográfica, realizada através de artigos científicos, livros, normas, na segunda etapa, foi feita a elaboração de um projeto arquitetônico de uma HIS utilizando contêiner, e por fim, se fez a análise de aspectos ambientais e financeiros.

3.2 PLANO DE COLETA E ANÁLISE DOS DADOS

A coleta de dados iniciou com uma pesquisa bibliográfica, embasada em livros, artigos e normas regulamentadoras, a fim de compreender as particularidades pertinentes ao tema e adquirir o conhecimento necessário para desenvolver um projeto arquitetônico.

Neste trabalho, foi elaborado um projeto arquitetônico de uma HIS utilizando módulo de contêiner delineado com o software Revit 2020 (Figura 1).

Figura 1 - Representação 3D HIS.



Fonte: Os autores (2022).

O projeto arquitetônico foi desenvolvido de acordo com as especificações da NBR 6492/1994 que define a forma de representação dos projetos. A concepção está de acordo com as orientações do Programa Casa Verde Amarela - PCVA.

Reutilização De Contêineres Marítimos Na Construção Civil: Uma Alternativa Ecológica Para Habitações De Interesse Social

Foi traçado um planejamento para concepção do projeto constituído pela escolha do contêiner, definindo dimensões e tipologia do material para residência, definida a fundação a ser utilizada, a divisão interna dos cômodos, as aberturas de portas e janelas, finalizado com a escolha da cobertura.

Após a conclusão do projeto arquitetônico, foram quantificados os materiais necessários, seguindo o Índice Nacional da Construção Civil (SINAPI), para o orçamento. Os materiais que não foram encontrados no SINAPI, precisaram ser pesquisados os valores pelos preços de mercado. Só assim, foi possível orçar o custo total da construção, que serviu para uma comparação financeira com o método construtivo tradicional. Este último foi avaliado através do custo unitário básico (CUB), tendo como referência o índice apresentado pelo Sindicato da Indústria da Construção Civil (SINDUSCON) da Grande Florianópolis para o mês de junho de 2022, com intuito de levantar a viabilidade financeira do projeto.

As vantagens ambientais do método de construção com contêiner, foram fundamentadas em informações encontradas na literatura. Onde, mostrou-se o potencial ecológico do método através do reuso de um material descartado.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados alcançados no trabalho foram descritos em três tópicos que buscam responder os objetivos específicos delimitados. No tópico 4.1 está apresentado o projeto com reutilização de contêiner para uma HIS. O tópico 4.2 apresenta os orçamentos para uma comparação financeira entre a edificação utilizando módulos de contêiner e uma de alvenaria convencional, e por fim o tópico 4.3 demonstra as vantagens ambientais identificadas com o uso do contêiner como habitação.

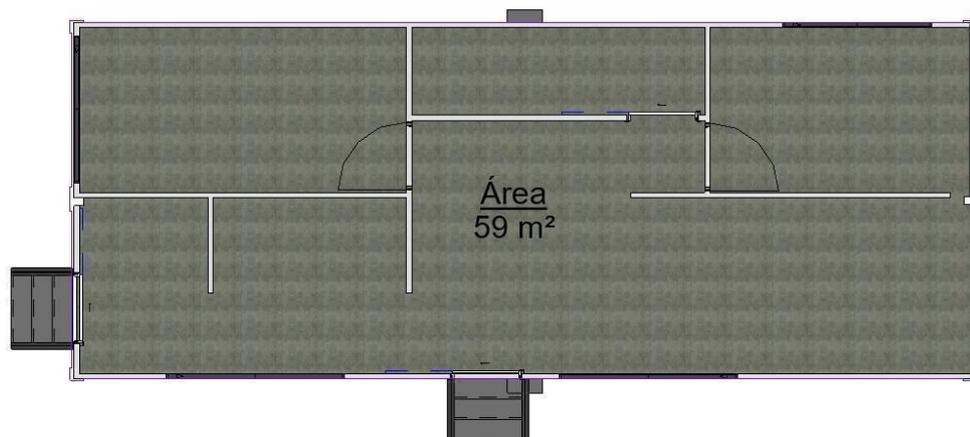
4.1 PROJETO ARQUITETÔNICO

No projeto arquitetônico foi utilizado o contêiner do tipo HC *reefer*, adequando o pé direito mínimo de 2,5 m, conforme exigido no Programa Casa Verde Amarela

Reutilização De Contêineres Marítimos Na Construção Civil: Uma Alternativa Ecológica Para Habitações De Interesse Social

(PCVA). A estrutura é formada por dois módulos de contêiner com dimensões externas de 12,192 m de comprimento, 2,438 m de largura e 2,895 m de altura, soldados entre si, atingindo a área construída de 59 m², conforme ilustra a planta baixa de área na Figura 2.

Figura 2 - Planta baixa da área construída.



Fonte: Os autores (2022).

A residência é dividida em seis cômodos, sendo composta por uma área de serviço, a cozinha, a sala de estar e jantar, um banheiro, e dois dormitórios. A área de cada cômodo está discriminado na Tabela 1.

Tabela 1 - Área dos ambientes

NOME	ÁREA
Área de Serviço	4 m ²
Cozinha	6 m ²
Sala de Estar / Jantar	18 m ²
Banheiro	5 m ²

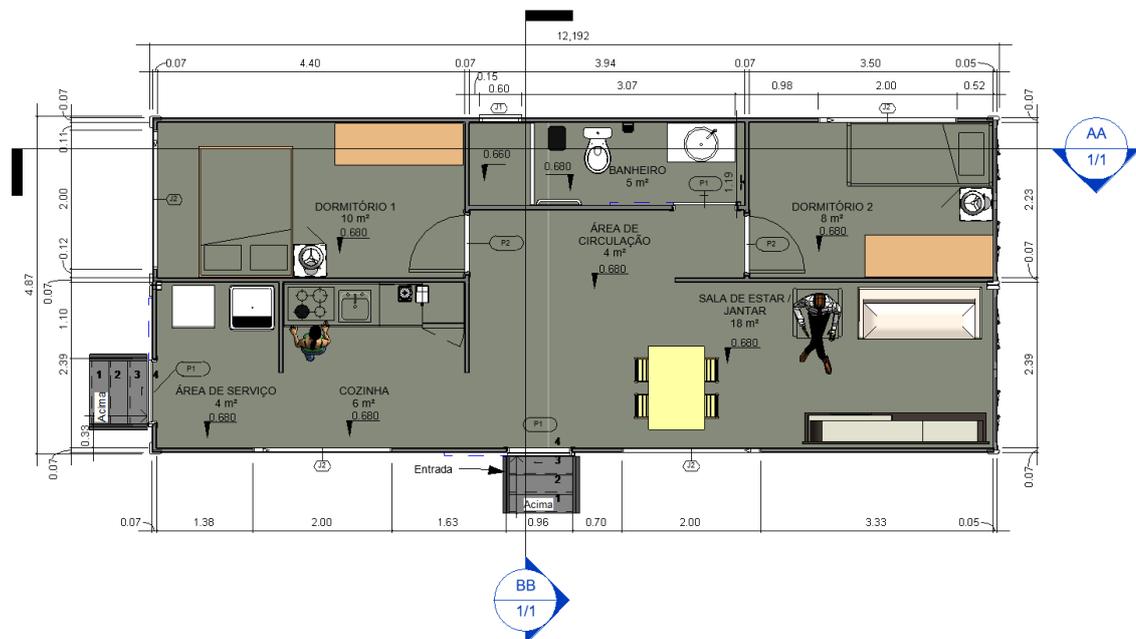
Reutilização De Contêineres Marítimos Na Construção Civil: Uma Alternativa Ecológica Para Habitações De Interesse Social

NOME	ÁREA
Dormitório 1	10 m ²
Dormitório 2	8 m ²
Área de circulação	4 m ²

Fonte: Os autores (2022).

Os ambientes foram pensados para o melhor aproveitamento do espaço interno do contêiner, haja visto, que o PCVA não estabelece a área mínima, deixando o projetista com a liberdade de escolher a disposição dos ambientes. Entretanto, deve-se respeitar os mobiliários mínimos exigidos para cada cômodo, bem como o espaçamento entre si. Para uma melhor compreensão visual do projeto, a Figura 3 apresenta o arranjo dos cômodos mobiliados.

Figura 3 - Planta baixa da HIS.



Fonte: Os autores (2022).

Reutilização De Contêineres Marítimos Na Construção Civil: Uma Alternativa Ecológica Para Habitações De Interesse Social

Apesar do projeto não ter uma localização real foi considerado como local hipotético a cidade de Brusque - SC. A localização escolhida deve respeitar os requisitos do PCVA quanto aos serviços de infraestrutura urbana, como pavimentação, abastecimento de água potável, iluminação, drenagem de águas pluviais e calçadas conforme rege a NBR 9050, dentre outros. Além de estar fora de áreas de risco delimitadas pelos órgãos competentes e conforme estabelece o, respeitando a distância mínima de 4,50m entre unidades construídas.

Embasado no conhecimento adquirido na literatura, foi possível compreender as etapas construtivas de uma edificação com módulos de contêiner, desta forma foi prospectado a execução do projeto idealizado.

A edificação iniciará com a etapa de fundações. As características de resistência do solo e da topografia do lote foram pensadas nas melhores condições para a execução da HIS, entretanto para início do projeto é fundamental a realização dos serviços preliminares, iniciando pela limpeza do terreno, seguido da instalação da placa de identificação da obra. A fundação escolhida é superficial do tipo sapata, proporcionando uma elevação de 50 cm evitando assim contato com o solo e a umidade. De acordo com Carbonari e Barth (2015, p. 258) “os tipos de fundação mais utilizados são o sistema de *radier*, as vigas baldrame e, na maioria das vezes, as sapatas isoladas de concreto”.

Os serviços de recorte para portas, janelas, laterais e fundo devem ser realizados com solda plasma para proporcionar maior precisão. A fixação das portas e janelas devem ser realizadas com perfil U, rebites e poliuretano (PU) 40, evitando assim problemas com a infiltração. Tanto o recorte, como a fixação, devem ser executados por uma empresa especializada antes do transporte dos módulos para seu destino final.

Em seguida, os módulos devem ser transportados até o local da obra, onde deverão ser posicionados sobre as fundações. Posteriormente, será feita a união, executada com perfil U rebitado ou soldado e vedado com PU 40. Para a parte superior, deve ser realizada a mesma etapa, acrescentando a manta asfáltica sobre a junção dos módulos, para um melhor isolamento contra infiltrações.

Reutilização De Contêineres Marítimos Na Construção Civil: Uma Alternativa Ecológica Para Habitações De Interesse Social

As instalações elétricas e hidráulicas foram projetadas com conduítes e tubos aparentes, respeitando as características do contêiner *reefer*, que possui em sua parede, isolamento composto de poliuretano, o que impede que seja feita a instalação embutida. O projeto também contempla um reservatório de água de 500L e as louças hidrossanitárias, seguindo as orientações do PCVA.

Alves, Ferreira e Cavalcante (2019, p. 25) esclarecem que esse tipo de “container possui isolamento térmico e acústico desde sua fabricação, uma vez que sua estrutura é formada por uma chapa externa de alumínio ou aço não ferroso, uma chapa interna de aço inox e um isolamento de poliuretano de 10 cm entre as chapas”.

Diante das características apresentadas, não há necessidade de vedação interna, e as divisões dos cômodos serão realizadas fazendo uso do material retirado das aberturas laterais do contêiner. As portas e janelas também serão fabricadas a partir de material proveniente dos recortes.

Para execução do piso da HIS, deve-se retirar o fundo canaletado em inox, que compõem o fundo original do contêiner, em seguida, aplica-se 4 cm de contrapiso, finalizando com acabamento de cimento queimado. É importante ressaltar que o material retirado tem alto valor comercial e contribui na redução do custo total da edificação.

A cobertura foi projetada com estrutura metálica e telha de aluzinco. Neste caso será dispensado o uso de telhas sanduíche, pois o contêiner tipo *reefer* conta com revestimento térmico e acústico, conforme já mencionado. Segundo Azevedo, Costa e Rocha (2016) o telhado tem função de dissipar o calor, direcionar a drenagem de águas da chuva e proporcionar isolamento para o contêiner.

No acabamento interno e externo, primeiro, deverá ser feita a regularização e limpeza da superfície. E posteriormente, a realização do tratamento com material anticorrosivo. Em seguida, deverá ser aplicado o fundo preparador e finalizado com pintura em tinta marítima. O fundo do contêiner, apesar de não ficar visível, necessitará do mesmo tratamento feito nas paredes externas, pois é a área que terá maior contato com a umidade, podendo sofrer avarias por exposição a intempéries. Finalizadas as etapas construtivas, deverá ser realizada a limpeza do canteiro de obras e do contêiner, deixando o mesmo apto para receber a mobília. E por fim, os

Reutilização De Contêineres Marítimos Na Construção Civil: Uma Alternativa Ecológica Para Habitações De Interesse Social

resíduos sólidos e líquidos provenientes da construção deverão receber a destinação final ambientalmente adequada, conforme a Lei nº 12.305 e a Resolução do CONAMA nº 307.

4.2 ORÇAMENTO

Neste tópico, apresenta-se o orçamento sintético da HIS projetada neste estudo, com reuso de contêiner marítimo, a fim de obter uma comparação financeira com o método construtivo tradicional.

Este orçamento não está considerando o Benefício de Despesas Indiretas (BDI) em seu valor final. O BDI compreende o índice composto por custos indiretos relacionados a materiais, mão de obra e lucro da corporação (SILVA, 2006).

A Tabela 2 com base na SINAPI, apresenta a estimativa de valores para as etapas da construção e a porcentagem que cada uma representa no montante geral. Neste orçamento não foram mensuradas a parte elétrica e hidrossanitária, devido a não ter sido elaborado um projeto para ambos.

Tabela 2 - Orçamento sintético HIS com contêiner.

ETAPA	VALOR	%
Serviços preliminares	R\$ 1.894,32	1, 95
Movimentações de solo	R\$ 135,95	0, 14
Fundações	R\$ 2.744,46	2, 82
Aquisição e transportes	R\$ 45.000,00	4 6,18
Corte e solda	R\$ 13.490,74	1 3,84

Reutilização De Contêineres Marítimos Na Construção Civil: Uma Alternativa Ecológica Para Habitações De Interesse Social

Porta e Janelas metálicas	R\$ 7.590,52	7,79
Revestimento	R\$ 7.877,28	8,08
Cobertura	R\$ 8.208,36	8,42
Escadas de acesso	R\$ 1.414,17	1,45
Pintura	R\$ 8.874,78	9,11
Diversos	R\$ 218,59	0,22
TOTAL	R\$ 97.449,17	100%

Fonte: Os autores (2022).

O orçamento iniciou com os serviços preliminares para limpeza do lote e locação da obra, em seguida a movimentação do solo e as escavações para receber fundações do tipo sapata, seguido da etapa das formas e das armações e por fim a concretagem.

As etapas de aquisição e transportes, corte e solda, porta e janelas metálicas foram orçadas através de pesquisa de mercado e desenvolvidas por uma empresa especializada. A etapa de revestimento para o piso foi calculada contando com 4cm de espessura por toda a área construída e acabamento em cimento queimado.

O desenvolvimento dos valores para etapas de cobertura , escadas de acesso e pintura e diversos foram feitos com base na área de cada um retiradas do projeto arquitetônico.

Reutilização De Contêineres Marítimos Na Construção Civil: Uma Alternativa Ecológica Para Habitações De Interesse Social

De acordo com as características do projeto, o orçamento do método construtivo convencional foi enquadrado como residencial de baixo padrão R-1 de R\$ 2.144,93 o CUB/m². A Tabela 3 demonstra o valor total da edificação.

Tabela 3 - Orçamento HIS método construtivo tradicional.

ÁREA CONSTRUÍDA	CUB/ M ²	VALOR TOTAL
59 m ²	R\$ 2.144,93	R\$ 126.550,87

Fonte: Os autores (2022).

Após serem desenvolvidos os dois orçamentos a Tabela 4 faz a comparação financeira entre os dois métodos construtivos.

Tabela 4 - Comparação de valor HIS convencional x HIS contêiner

HIS CONVENCIONAL	HIS CONTÊINER
R\$ 126.550,87	R\$ 97.449,17

Fonte: Os autores (2022).

Pode-se perceber que a edificação da HIS com contêiner é mais viável financeiramente em 22,99%, evidenciando outro benefício desse método construtivo. O projeto idealizado pelo autor conta com a instalação de cobertura metálica na HIS, elevando o custo final da edificação, porém em alguns casos, pode-se optar pela não utilização da cobertura, o que tornaria maior a discrepância financeira.

4.3 VANTAGENS AMBIENTAIS

Reutilização De Contêineres Marítimos Na Construção Civil: Uma Alternativa Ecológica Para Habitações De Interesse Social

Analisando a atual situação em que se vive, pode-se constatar que o setor da construção civil consome muitos recursos naturais, ação que degrada o meio ambiente e gera muitos resíduos. Nesse cenário, uma escolha que vem se consolidando é a utilização de materiais recicláveis, prática que vem ao encontro da sustentabilidade. A reutilização de contêiner marítimo na construção civil é uma alternativa social, ambiental e de baixo custo, que pode ser implantada para residências e comércios.

As vantagens ambientais do uso do contêiner como uma alternativa construtiva está baseada no projeto desenvolvido pelo autor. No desenvolvimento do projeto da HIS feito com contêiner, a principal característica sustentável identificada é que se retira do meio ambiente um material que foi descartado anteriormente, proporcionando uma nova configuração e utilidade a um elemento que até pouco tempo era visto como resíduo pelo seu primeiro uso, neste caso o de transporte de cargas.

Conforme afirmam Nunes e Sobrinho Júnior (2017) a reutilização desse material como sistema construtivo não se trata somente da retirada de entulho dos portos, mas também da eficiência sustentável melhorada por meio da construção civil, que além de minimizar um grande problema rotineiro nos portos, proporcionará um modelo de construção a ser continuado pelas gerações futuras. Torres *et al.* (2020) citam também que a escolha arquitetônica pelo contêiner associa o reuso de materiais descartados, com uma arquitetura mais sustentável, de maior resistência, durabilidade e baixo custo.

O emprego do contêiner no projeto permite a redução do uso de diversos materiais como: areia, tijolo, cimento, ferro, água, madeira e outros, além de diminuir também a poluição do ar e sonora. Segundo Souza e Andrade (2020, p. 8) “a construção civil é responsável por 50% do consumo de água potável do mundo, estimando que para 1 metro cúbico de concreto sejam utilizados de 160 a 200 litros de água e para construção de paredes, em média 30 litros por metro quadrado”. Desse modo a redução do consumo de materiais, que no método convencional são indispensáveis, se torna uma ação mitigadora do uso dos recursos naturais pela indústria da construção civil.

Reutilização De Contêineres Marítimos Na Construção Civil: Uma Alternativa Ecológica Para Habitações De Interesse Social

Camilotti e Daminieli (2018, p. 1) relatam que a utilização do contêiner se mostra como uma solução promissora pelo fato de gerarem menos resíduos que os sistemas tradicionais, “oferecendo capacidade modular e agilidade na construção e ainda pelo fato de que seu reuso diminui a disposição final de resíduos no meio ambiente”.

Outra característica que merece destaque no projeto é a durabilidade, o contêiner é feito em aço *corten*, um material que recebe tratamento contra a corrosão e é muito resistente, o que irá proporcionar à habitação maior segurança e resistência à ação do tempo. Conforme acrescenta Carbonari e Barth (2016, p. 257) “[...] são construções metálicas pré-fabricadas constituídas por estrutura com perfis e chapas de aço patinável que apresenta elevada resistência à corrosão, comumente conhecido como aço *corten*”.

Desde a concepção do projeto, teve-se como foco a redução dos impactos ao meio ambiente, diante desse fato, optou-se pelo contêiner HC *reefer* que já possui revestimento isolante térmico, dispensando a utilização do *drywal* e de outros isolantes como a lã de rocha, de pet ou lã de vidro, diminuindo novamente o consumo de materiais de construção. O bom desempenho térmico do contêiner escolhido também atenua os impactos ao meio ambiente, reduzindo ou até mesmo dispensando o uso de equipamentos de climatização e o consumo energético da HIS.

Outra ação sustentável que também foi pensada no desenvolvimento do projeto foi o reaproveitamento das chapas laterais retiradas do contêiner, utilizadas para fazer as divisões da HIS, e da mesma forma, as portas e janelas, que deverão ser feitas com o material retirado das suas aberturas.

O projeto aliado a técnica de construção modular reduz as interferências dos serviços de terraplanagem, conservando o lençol freático e mantendo a área permeável. A etapa de terraplanagem tem grande impacto ambiental, conforme citam Lima e Silva (2015, p. 69), em uma “[...] compactação de um metro cúbico de aterro, podem ser consumidos até 300 litros de água, o que não acontece em obras com container”.

Além das vantagens mencionados neste tópico, poderiam ser acrescentados no projeto outras técnicas e equipamentos que tornariam a habitação mais sustentável, entretanto este projeto tem o objetivo também de atender os aspectos de

Reutilização De Contêineres Marítimos Na Construção Civil: Uma Alternativa Ecológica Para Habitações De Interesse Social

cunho social e ser viável economicamente, se fossem acrescentadas outras técnicas e equipamentos, isso poderia demandar maiores investimentos financeiros com a instalação e a manutenção.

Uma destas opções sustentáveis descartadas aqui, mas que merecem ser mencionadas são a instalação um telhado verde, reduzindo assim o uso de material para o telhado e aumentando a área verde. Ele tem o potencial de retenção de água da chuva, evitando que o excesso de água atinja as galerias das cidades. A captação e reuso de água da chuva é outro método sustentável que poderia ser aplicado no projeto. Por fim, a implementação da energia fotovoltaica seria boa opção para a economia de energia na residência.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho atingiu o objetivo geral, que foi analisar a reutilização de contêineres marítimos na construção de habitações de interesse social. Para isto, fez-se uma pesquisa na literatura existente buscando informações referentes ao tema com intuito de elucidar as ideias para desenvolver o trabalho. Considerar a reutilização de contêiner para a construção de HIS é benéfico, pois além de uma opção vantajosa do ponto de vista financeiro e ecológico, é uma alternativa inovadora que ajuda a suprir a necessidade básica de moradia adequada e regular.

O primeiro objetivo específico era desenvolver um projeto arquitetônico com o reaproveitamento de contêiner para uma habitação de interesse social, este objetivo foi alcançado com o desenvolvimento do projeto pelo autor com finalidade de uma habitação de interesse social. A área projetada foi de 59 m².

O segundo objetivo específico era orçar o custo para execução do projeto de habitação de interesse social com contêiner e realizar comparação financeira com o método construtivo convencional. O orçamento foi realizado baseado no SINAPI, e em pesquisa de mercado, e outro orçamento do método construtivo convencional foi realizado por meio do CUB, tendo como referência o índice apresentado pelo SINDUSCON da Grande Florianópolis. Após a comparação entre os dois orçamentos,

Reutilização De Contêineres Marítimos Na Construção Civil: Uma Alternativa Ecológica Para Habitações De Interesse Social

se constatou que o projeto com contêiner foi mais vantajoso, com discrepância de 22,99%.

O terceiro e último objetivo era avaliar as vantagens do ponto de vista ambiental da reutilização de contêiner marítimo no setor da construção civil. Este objetivo foi alcançado através da concepção do projeto e com a pesquisa bibliográfica. O principal benefício é a reutilização de um material descartado, retirando e diminuindo as unidades de contêiner que são inutilizados e abandonados em pátios como resíduos. Proporcionar um novo uso a este material, representa um avanço em prol da sustentabilidade. Outra vantagem identificada é a diminuição do uso de insumos e recursos, e conseqüentemente da geração de resíduos.

Após a pesquisa realizada, recomendam-se outros estudos sobre o tema, como: análise e dimensionamento estrutural sobre edificações com contêineres; desempenho térmico em edificações com contêineres; admissão social sobre a utilização de contêineres reciclados para a construção de edificações; e soluções sustentáveis para a construção com contêineres como captação de água da chuva e uso do telhado verde.

REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 668:** Contêineres Séries 1 - Classificação, Dimensão e Capacidade. Rio de Janeiro: ABNT, 2000.

ALVES, A. G. D. O.; PAULA, D. O programa habitacional casa verde e amarela: um estudo avaliativo a partir da teoria do programa. *In: SEMINÁRIO DE POLÍTICAS PÚBLICA*, Ponta Grossa, 2021. **Anais** [...]. Ponta Grossa, 2021. p. 100-119.

Disponível

em:

<https://ceeinter.com.br/ojs3/index.php/anaisseminariodepoliticaspública/article/view/300>. Acesso em: 13 abr. 2022.

Reutilização De Contêineres Marítimos Na Construção Civil: Uma Alternativa Ecológica Para Habitações De Interesse Social

ALVES, J. V. P.; FERREIRA, R. D. S.; CAVALCANTE, R. P. Containers - uma nova alternativa para a construção civil: estudo direcionado para projetos residenciais. **Revista Principia**, João Pessoa, abr. 2019. Disponível em: <https://periodicos.ifpb.edu.br/index.php/principia/article/view/2395>. Acesso em: 03 mar. 2022.

AZEVEDO, V. D. S. D.; COSTA, R. A. D.; ROCHA, R. C. Edificações sustentáveis compostas por sistemas construtivos modulares em aço - utilização de containers para construção de pólos educacionais universitários. *In*: CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE CONSTRUÇÃO METÁLICA, São Paulo, 2016. **Anais [...]**. São Paulo, 2016. Disponível em: http://www.abcem.org.br/construmetal/2016/downloads/apresentacao/45_EDIFICACOES-SUSTENTAVEIS-SISTEMAS-CONSTRUTIVOS-MODULARES-EM-ACO.pdf. Acesso em: 27 fev. 2022.

BARBOSA, G. O.; GALDINO, L. R. N.; SOUZA, L. B.; RODRIGUES, L. M. S.; ARAÚJO, M. E. C.; GONZAGA, G. B. M. Container na construção civil: rapidez, eficiência e sustentabilidade na execução da obra. **Ciências Exatas e Tecnológicas**, Alagoas, v. 4, n. 2, p. 101-110, nov. 2017. Disponível em: <https://periodicos.set.edu.br/fitsexatas/article/view/5205/2560>. Acesso em: 20 fev. 2022.

BOZEDA, F. G.; FIALHO, V. C. S. Casa Container. **Revista de Iniciação Científica, Tecnológica e Artística - Edição temática em Comunicação, Arquitetura e Design**, v. 6, n. 2, p. 157-177, nov. 2016. Disponível em: http://www1.sp.senac.br/hotsites/blogs/revistainiciacao/wp-content/uploads/2016/11/14.154_IC.pdf. Acesso em: 22 fev. 2022.

BRASIL. **Decreto nº 80.145**, dispõe sobre a unitização, movimentação e transporte, inclusive intermodal, de mercadorias em unidades de carga, e dá outras providências, de 15 de agosto de 1977. Disponível em:

Reutilização De Contêineres Marítimos Na Construção Civil: Uma Alternativa Ecológica Para Habitações De Interesse Social

http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1970-1979/D80145.htm. Acesso em: 15 fev. 2022.

BRASIL. **Lei nº 12.305**, institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, de 02 de agosto de 2010. Disponível em:

<https://legislacao.presidencia.gov.br/atos/?tipo=LEI&numero=12305&ano=2010&ato=e3dgXUq1keVpWT0f1>. Acesso em: 12 abr. 2022.

BRASIL. **Lei nº 14.118**, institui o Programa Casa Verde e Amarela, de 12 de janeiro de 2021. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/lei-n-14.118-de-12-de-janeiro-de-2021-298832993>. Acesso em: 12 abr. 2022.

BUONFIGLIO, L. V. Habitação de interesse social. **Mercator**, Fortaleza, v. 17, p. 1-16, 2018. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/mercator/a/6ybBTz9kZfptHGx4GjwRqYw/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 25 mar. 2022.

CAMILOTTI, A. T.; DAMINELI, B. L. O uso de containers na construção civil: caracterização e estudo de caso. *In*: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 17, Foz do Iguaçu, 2018. **Anais [...]**. Foz do Iguaçu, 2018. Disponível em: <https://eventos.antac.org.br/index.php/entac/article/view/1584>. Acesso em: 04 mar. 2022.

CARBONARI, L. T.; BARTH, F. Reutilização de contêineres padrão ISO na construção de edifícios comerciais no sul do Brasil. **Inovação Tecnológica na Construção Civil**, Campinas, v. 6, n. 4, p. 255-265, dez. 2015. Disponível em: <https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/parc/article/view/8641165>. Acesso em: 12 mar. 2022. Acesso em: 12 mar. 2022.

CLARK, P. C. **Method for converting one or more steel shipping containers into a habitable building at a building site and the product thereof.** (Patente). 1989.

Reutilização De Contêineres Marítimos Na Construção Civil: Uma Alternativa Ecológica Para Habitações De Interesse Social

Disponível em: <https://patents.google.com/patent/US4854094A/en>. Acesso em: 30 mai. 2022.

COELHO, A. G. **O reuso de contêineres como tecnologia construtiva aplicada à habitação de interesse social**. 2019. 110f. Trabalho de conclusão de curso, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Goiânia, 2019. Disponível em: https://repositorio.ifg.edu.br/bitstream/prefix/356/1/tcc_%20Arthur%20Gouveia%20Coelho.pdf . Acesso em: 26 mai. 2022.

CONAMA - CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE. **Resolução nº 307**, estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil, de 05 de julho de 2002. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=98303>. Acesso em: 26 mai. 2022.

CRESWELL, J. W.; CRESWELL, J. D. **Projeto de Pesquisa: Métodos Qualitativo, Quantitativo e Misto**. 5. ed. Porto Alegre: Penso, 2021.

FERREIRA, G. G.; CALMON, P.; FERNANDES, A. S. A.; ARAÚJO, S. M. V. G. Política habitacional no Brasil: uma análise das coalizões de defesa do Sistema Nacional de Habitação de Interesse Social versus o Programa Minha Casa, Minha Vida. **Urbe Revista Brasileira de Gestão Urbana**, v. 11, p. 1-15, 2019. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/urbe/a/jmR7Y6NdPqRwZf3PgQsVNjN/?lang=pt#>. Acesso em: 25 mar. 2022.

FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO. **Déficit habitacional no Brasil - 2016-2019**. Belo Horizonte: FJP, 2021. 169 p.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2018.

GIL, G. C. **Como fazer pesquisa qualitativa**. Barueri: Atlas, 2021.

Reutilização De Contêineres Marítimos Na Construção Civil: Uma Alternativa Ecológica Para Habitações De Interesse Social

LIMA, L. F. D.; SILVA, J. W. D. J. A substituição de casas populares de alvenaria, feitas pelo governo federal, por casas containers: uma medida possível. **Revista Janus**, n.21, p. 66-75, jan.-jun., 2015. Disponível em: <http://unifatea.com.br/seer3/index.php/Janus/article/view/355/328>. Acesso em: 19 fev. 2022.

MARCO, C. M.; BATTIROLA, A. M. D. Programa habitacional Casa Verde e Amarela: uma análise sobre a importância do debate nas esferas públicas para a construção do espaço público. **Revista de Direito da Cidade**, p. 1855-1887, mar. 2021. Disponível em: <https://www.e-publicacoes.uerj.br/index.php/rdc/article/view/57055>. Acesso em: 09 abr. 2022.

MDR - MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL. **Desde 2019, governo federal garantiu a casa própria a mais de 4,8 milhões de pessoas**. Disponível em: <https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/habitacao/casa-verde-e-amarela/programa-casaverde-e-amarela>. Acesso em: 13 abr. 2022.

MILANEZE, G. L. S.; MACHADO, L. T.; SILVA, R.; BITTENCOURT, L. F.; BIELSHOWSKY, B. B. A utilização de containers como alternativa de habitação social no município de Criciúma/SC. **Revista Técnico Científica do IFSC**, v. 3, out. 2012. Disponível em: <https://periodicos.ifsc.edu.br/index.php/rtc/article/view/577>. Acesso em: 19 abr. 2022.

MONTEIRO, R.; VERAS, A. T. R. A questão habitacional no Brasil. **Mercator**, Fortaleza, v. 16, p. 1-13, jul. 2017. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/mercator/a/ZkVrVHZqbHWQwK6HRpGrcXN/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 25 abr. 2022.

NASCIMENTO, D. M.; BRAGA, R. C. Q. Déficit habitacional: um problema a ser resolvido ou uma lição a ser aprendida? **Revista de Pesquisa em Arquitetura e**

Reutilização De Contêineres Marítimos Na Construção Civil: Uma Alternativa Ecológica Para Habitações De Interesse Social

Urbanismo, v. 9, p. 98-222, 2009. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/risco/article/view/44765>.

Acesso em: 01 mai. 2022.

NATALINO, E. M. D.; FLORIAN, F. Aplicação do uso de container como alternativa na construção civil, em edificações habitacionais. **RECIMA21 - Revista Científica Multidisciplinar**, São Paulo, v. 3, n. 1, jan. 2022. Disponível em: <https://recima21.com.br/index.php/recima21/article/view/1028>. Acesso em: 24 fev. 2022.

NUNES, M. A.; SOBRINHO JÚNIOR, A. S. Utilização de contêineres na construção civil: estudos de caso. **Revista Campo do Saber**, v. 3, n. 2, p. 129-151, jul./dez. 2017. Disponível em: <https://periodicos.iesp.edu.br/index.php/campodosaber/article/view/85>. Acesso em: 13 abr. 2022.

NUNES, T.; ROSA, J. S.; MORAES, R. F. **Habitação social e sustentabilidade urbana**. v. 3. Brasília: MMA, 2015. Disponível em: https://antigo.mdr.gov.br/images/stories/ArquivosSNH/ArquivosPDF/Publicacoes/capacitacao/publicacoes/habitacao_social.pdf. Acesso em: 05 jun. 2022.

OCCHI, T.; ALMEIDA, C.C.O. Uso de containers na construção civil: viabilidade construtiva e percepção dos moradores de Passo Fundo-RS. **Revista de Arquitetura IMED**, v. 5, n. 1, p. 16-27, jun. 2016. Disponível em: <https://seer.imed.edu.br/index.php/arqimed/article/view/1282>. Acesso em: 27 fev. 2022.

OLIVEIRA, V. P. D.; SOUZA, L. F. A. D. Análise da viabilidade técnica do uso de contêineres marítimos na construção civil para habitações sociais. *In*: FARIAS, B. M.; AZEVEDO, V. S.; SANTOS, M. P. (Org.). **Engenharia na prática: construção e inovação**. v. 3. São Paulo: Epitaya E-books, 2021. p. 134-163. Disponível em:

Reutilização De Contêineres Marítimos Na Construção Civil: Uma Alternativa Ecológica Para Habitações De Interesse Social

<https://portal.epitaya.com.br/index.php/ebooks/article/view/193>. Acesso em: 03 mar. 2022.

PINHEIRO, F. J. **Déficit habitacional no Brasil - 2016 - 2019**. Belo Horizonte. 2021.

PORDEUS, M. P.; SILVA, F. G. A.; CAETANO, W. S.; AMORA, J. T. M.; SOMBRA, G. J. R.; VERINO, A. B.; ROLIM, F. A. R.; PACHECO, M. A. L. Políticas habitacionais em Fortaleza: a governança no Programa Casa Verde e Amarela. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 12, p. 112387-112404, dez. 2021. Disponível em: <https://www.brazilianjournals.com/index.php/BRJD/article/view/40751>. Acesso em: 25 mar. 2022.

RAMOS, J. S.; NOIA, A. C. A construção de políticas públicas em habitação e o enfrentamento do déficit habitacional no Brasil: uma análise do Programa Minha Casa Minha Vida. **Desenvolvimento em questão**, v. 14, n. 33, p. 65 a 105, jan./mar. 2016. Disponível em: <https://www.revistas.unijui.edu.br/index.php/desenvolvimentoemquestao/article/view/3194#:~:text=Observa%2Dse%20que%2C%20historicamente%2C,operacionais%20e%20institucionais%20ainda%20existentes>. Acesso em: 25 mar. 2022.

REIS, A. T. L.; LAY, M. C. D. O projeto da habitação de interesse social e a sustentabilidade social. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 10, n. 3, p. 99-119, jul./set. 2010. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ac/a/wCBzkPZx9xq7Y9cDyGn9G5N/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 01 mai. 2022.

RUBIN, G. R.; BOLFE, S. A. O desenvolvimento da habitação social no Brasil. **Ciência e Natura**, Santa Maria, v. 36, n. 2, p. 201-213, mai./ago. 2014. Disponível em: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=467546173014>. Acesso em: 25 mar. 2022.

Reutilização De Contêineres Marítimos Na Construção Civil: Uma Alternativa Ecológica Para Habitações De Interesse Social

SILVA, T. S.; MARQUES, M. M. N.; EL-DEIR, S. G. **Desmaterialização dos resíduos sólidos**: estratégias para a sustentabilidade. Recife: EDUFRPE: Gampe, 2020.

SIQUEIRA, José de O. **Fundamentos de Métodos Quantitativos**: Aplicados em Administração, Economia e Contabilidade Atuária. São Paulo: Editora Saraiva, 2013.

SOUSA, L. F.; SANTOS, M. L. L. O. Sistemas construtivos para habitações sociais: uma revisão sistemática da literatura. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v. 12, mar. 2021.

SOUZA, C. C.; ANDRADE, T. S. Container, uma inovação na construção civil. **Revista TechnoEng**, v. 1, p. 1-10, 2020. Disponível em: <http://www.cescage.com.br/revistas/index.php/RTE/article/view/837>. Acesso em: 01 mar. 2022.

TORRES, G. P.; PIMENTEL, P. G.; SOUZA, C. R. H.; MARTINS, F. B. S. Métodos construtivos sustentáveis: reutilização de containers na construção civil. **Revista Tecnológica da Universidade Santa Úrsula**, v. 3, n. 3, p. 1-15, 2020. Disponível em: <http://revistas.icesp.br/index.php/TEC-USU/article/view/1501>. Acesso em: 01 mar. 2022.

VIEIRA, E. A.; COSTA, H. S. M. Residenciais de habitação de interesse social em Montes Claros, Minas Gerais: estratégias e/ou adaptações de seus moradores. **Revista Espinhaço**, v. 9, n. 1, p. 72-81, 2020. Disponível em: <http://www.revistaespinhaco.com/index.php/revista/article/view/186/188>. Acesso em: 01 mar. 2022.

INFLUÊNCIA DOS AGREGADOS SOBRE AS PROPRIEDADES DO CONCRETO PERMEÁVEL

INFLUENCE OF AGGREGATES ON THE PROPERTIES OF PERMEABLE
CONCRETE

Alexandre Maines

Elias Riffel

Lenon Henrique Da Costa Pruner

Jaison H. De Oliveira Knoblauch

RESUMO A crescente demanda populacional em áreas urbanas têm resultado em ocupação inadequada das cidades com aumento de impermeabilização do solo ocasionando problemas como alagamentos, escoamento superficial elevado e reabastecimento ineficiente dos lençóis freáticos, além de problemas relacionados com contaminação do subsolo e do lençol freático. Os sistemas tradicionais de drenagem urbana têm-se mostrado ineficazes ao transferir grandes vazões de água à jusante de forma abrupta, sobrecarregando as redes de captação geralmente não dimensionados para receber proporções de pico. Uma alternativa que tem se mostrado eficaz são os equipamentos de controle de águas na fonte para atuarem de forma conjunta aos sistemas de controle tradicionais. O uso de pavimentos permeáveis, por exemplo, permite a percolação da água no solo no próprio local e reduz o escoamento superficial, além de proporcionar melhora na qualidade da água e contribuir com a recarga de aquíferos. O presente artigo tem por objetivo analisar o desempenho do concreto permeável e seu foco central está no estudo da influência que distintas proporções de agregados graúdos têm sobre suas propriedades mecânicas e de permeabilidade. Para tanto foram moldados quatro tipos de traços de concreto permeável desenvolvidos com diferentes tipos de agregados graúdos, em diferentes proporções para os quais foram avaliadas suas propriedades de permeabilidade e mecânicas. Os resultados mostram que o índice de vazios dos traços e sua permeabilidade tem uma relação direta, ou seja, maior índice de vazios com maior permeabilidade. Com relação às resistências de compressão do concreto

Influência Dos Agregados Sobre As Propriedades Do Concreto Permeável

e a resistência à tração na flexão resultou, como era esperado, relação inversa, ou seja, maior índice de vazios com menor resistência. Todos os traços apresentaram permeabilidade acima de 0,1cm/s, valor este mínimo recomendado pela norma ABNT NBR 16416 (2015) para pavimentos de concreto permeável recém construídos.

Palavra-Chave: Concreto permeável. Drenagem Urbana. Permeabilidade. Pavimentos sustentáveis

ABSTRACT

The growing population demand in urban areas has resulted in inadequate occupation of cities with increased soil impermeability causing problems such as flooding, high runoff and inefficient replenishment of groundwater, in addition to problems related to subsoil and groundwater contamination. Traditional urban drainage systems have been shown to be ineffective in transferring large flows of water downstream abruptly, overloading abstraction networks that are generally not dimensioned to receive peak proportions. An alternative that has been shown to be effective is the water control equipment at the source to act in conjunction with traditional control systems. The use of permeable pavements, for example, allows water to seep into the soil on the spot and reduces runoff, in addition to improving water quality and contributing to aquifer recharge. This article aims to analyze the performance of permeable concrete and its central focus is on studying the influence that different proportions of coarse aggregates have on its mechanical and permeability properties. For this purpose, four types of permeable concrete lines were molded developed with different types of coarse aggregates, in different proportions for which their permeability and mechanical properties were evaluated. The results show that the void index of the strokes and their permeability has a direct relationship, that is, a higher void index with greater permeability. With regard to the compressive strengths of concrete and the tensile strength in flexion resulted, as expected, an inverse relationship, that is, a higher void index with less resistance. All traces showed permeability above 0.1 cm / s, this minimum value recommended by the ABNT NBR 16416 (2015) standard for newly constructed permeable concrete floors.

Influência Dos Agregados Sobre As Propriedades Do Concreto Permeável

Keyword: Permeable concrete. Urban Drainage. Permeability. Sustainable floors

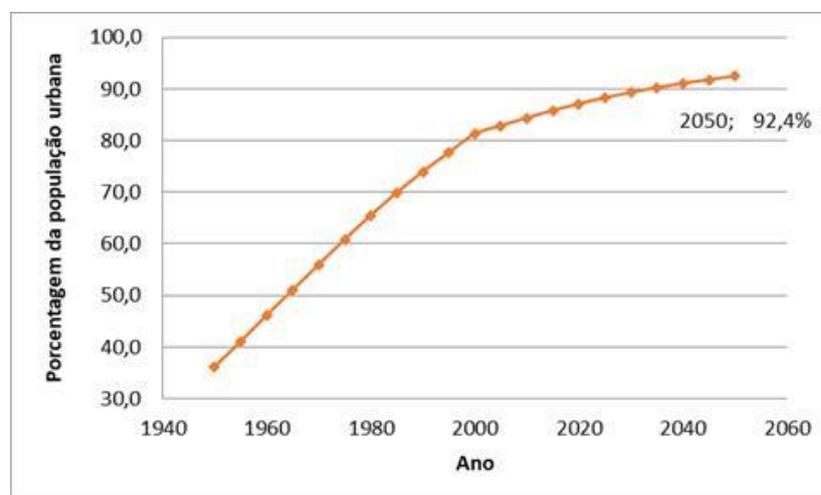
1 INTRODUÇÃO

Nesta seção é feita uma introdução ao tema estudado buscando contextualizar aspectos centrais que o motivam. Assim estão tratados nos subitens seguintes alguns conceitos relativos à drenagem urbana e a pavimentos de concreto permeáveis.

1.1 DRENAGEM URBANA

Segundo relatório da evolução demográfica mundial elaborada pela Organização Mundial das Nações Unidas – ONU, houve um crescimento da população residente em áreas urbanas de 36,2% em 1950 para 86,6% em 2018. No gráfico 1 é possível visualizar o crescimento da população em área urbana no Brasil desde 1950 até a projeção para 2050, estipulada para 92,4% (NATIONS, 2018).

Gráfico 1 – Taxa de população em área urbana no Brasil, 1950 – 2050 : Adaptado de (NATIONS, 2018)



A crescente demanda populacional em áreas urbanas tem resultado em ocupação inadequada das cidades com aumento de impermeabilização do solo

Influência Dos Agregados Sobre As Propriedades Do Concreto Permeável

ocasionando problemas como alagamentos, escoamento superficial elevado e reabastecimento ineficiente dos lençóis freáticos, além de problemas relacionados com contaminação do subsolo e do lençol freático.

O processo natural de drenagem urbana se dá por movimentação das águas precipitadas das chuvas no sentido de montante (nascentes/ lugares mais altos) para jusante (foz/ baixadas), conforme características do relevo (HÖLZ, 2011, p. 14). O crescimento acelerado e sem o devido planejamento urbano, tem-se instalados os problemas descritos anteriormente.

A metodologia que visa construir sistemas de drenagem cada vez maiores não é sustentável. Dutos forçados, canalizações de grandes dimensões, diques com bombeamentos, reversões e barragens são alternativas de grande porte que exigem recursos elevados, tem forte impacto na infraestrutura existente e não apresentam eficácia comprovada (CANHOLI, 2014).

Hölz (2011, p. 16) destaca que [...] ao não promover uma política de redução dos volumes escoados, todas as intervenções acabam se tornando obsoletas. Com o crescimento e impermeabilização das cidades, os volumes de água que necessitam ser escoados vão se tornando gradualmente maiores, eventualmente superando a capacidade instalada.

Historicamente, engenheiros responsáveis pela drenagem urbana tentaram solucionar o problema da perda de armazenamento natural, provocando o aumento da velocidade dos escoamentos com obras de canalização (CANHOLI, 2014, p. 21). Percebeu-se, portanto, que esta solução transfere grandes vazões à jusante de forma muito abrupta, sobrecarregando os sistemas de drenagem que não foram dimensionados para receber essas proporções de pico. Este princípio foi abandonado nos países desenvolvidos no início da década de 1970 (TUCCI, 2003, p. 36).

Sistemas de contenção na fonte são técnicas de escoamento hidráulico alternativas que buscam reduzir o escoamento superficial, controlar a velocidade de escoamento e melhorar a qualidade da água. São obras de drenagem que funcionam próximas ao local de formação do escoamento direto, tais como: pavimentos permeáveis, canaletas permeáveis, sistemas de reservação de água da chuva e bacias de infiltração.

Influência Dos Agregados Sobre As Propriedades Do Concreto Permeável

O uso de pavimentos permeáveis, por exemplo, permite a percolação da água no solo e reduz o escoamento superficial. Os sistemas de contenção na fonte podem ser aplicados no controle de vazão de telhados ou em áreas de estacionamento, além de reservatórios temporários para atenuar a sobrecarga nas tubulações de coleta de águas pluviais, que em muitas cidades é compartilhada pela mesma rede coletora de esgoto.

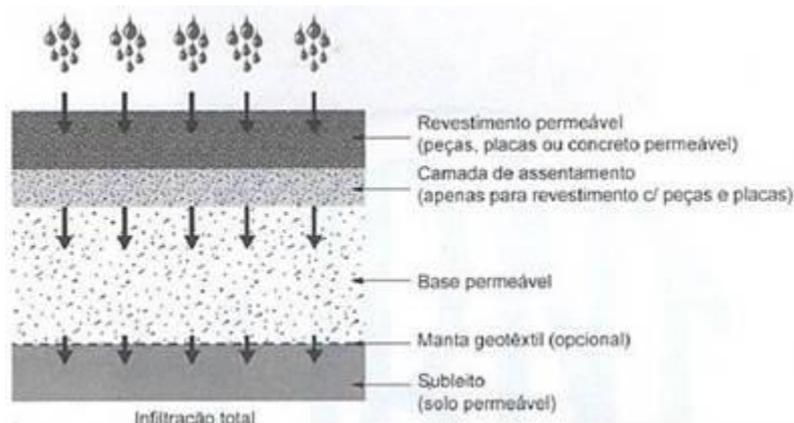
Os dispositivos de contenção na fonte não exigem projetos complexos, o que contribui para sua implementação. Proporcionam a melhora na qualidade da água e contribuem com a recarga de aquíferos. Em contrapartida, exigem maior investimento inicial dos proprietários e maiores gastos com manutenção (CANHOLI, 2014).

CANHOLI (2014, p. 39), afirma que as medidas de controle na fonte devem ser vistas como complementares aquelas de controle à jusante. TOMINAGA (2013, p. 17), complementa ao destacar que as medidas de controle na fonte devem fazer parte do planejamento integrado de sistemas de drenagem, tanto em novos loteamentos como em áreas já ocupadas [...].

1.2 PAVIMENTOS DE CONCRETO PERMEÁVEL.

A tipologia de pavimentos de concreto permeável, está definida na Norma Brasileira NBR 16416, como “revestimento de concreto permeável moldado no local em que a percolação de água ocorre pelo concreto [...]”. Esta tipologia compõe um sistema de drenagem conforme ilustrado na figura 1.

Figura 1 – Exemplo de sistema de pavimento permeável: ABNT NBR 16416:2015.



Influência Dos Agregados Sobre As Propriedades Do Concreto Permeável

Este tipo de pavimento apresenta forte apelo ambiental. (MEHTA e MONTEIRO, 2014), destacam que a Agência de Proteção ao Meio Ambiente Americana (EPA – Environmental Protection Agency) exige que agências públicas e privadas forneçam soluções sustentáveis para diversos problemas associados à má administração do escoamento das águas pluviais e considera o uso de concreto drenante uma das melhores práticas de gerenciamento em seu manual de tecnologias para o controle de águas pluviais.

REPETTE, 2011 esclarece que se trata de um concreto com pouco ou nenhum agregado miúdo (areia) e com o mínimo teor de pasta, suficiente para unir os agregados graúdos sem, no entanto, preencher os espaços entre estes agregados.

DA COSTA, 2019, esclarece que, embora existam várias maneiras de tornar a pavimentação de veículos e pedestres permeável, as três principais tecnologias primárias consistem em: camada porosa de asfalto (AP), concreto permeável (CP) e pavimento de concreto intertravado permeável (PCIP). Os pavimentos do tipo PCIP têm sido utilizados na Alemanha e em outros lugares da Europa desde o final dos anos 80 e, na América do Norte, desde 1992. Os pavimentos do tipo CP foram utilizados pela primeira vez na Flórida (Estados Unidos) no início de 1970, mesma época do surgimento de pavimentos do tipo AP (ICPI, 2008).

Segundo a NBR 16416 (2015) as tipologias de pavimentos permeáveis de concreto podem ser executadas são as seguintes: revestimento de pavimento intertravado permeável, revestimento de pavimento de placas de concreto permeável e revestimento de pavimento de concreto permeável.

2 MATERIAIS, MÉTODOS E ENSAIOS UTILIZADOS

Nesta seção são descritos os materiais, os equipamentos e os procedimentos experimentais utilizados no estudo.

2.1 MATERIAIS UTILIZADOS

Os materiais utilizados no estudo foram cimento CII F32, brita 1, brita 0, pedrisco e água.

O **cimento Portland** utilizado foi o cimento CII F32 por sua disponibilidade no mercado local.

Influência Dos Agregados Sobre As Propriedades Do Concreto Permeável

Todos os **agregados graúdos** utilizados na elaboração do concreto permeável deste estudo são provenientes da britagem secundária de rocha sã, e, posterior classificação por peneiramento. Na tabela 1 são apresentadas as dimensões de cada agregado.

Os agregados escolhidos apresentam forma cúbica, com índice de forma menor que 3. A figura 2 ilustra os agregados utilizados.

Tabela 1 - Dimensões dos agregados (Os autores (2020))

Agregado	Dimensão (mm)	Módulo de finura
-	D	-
Pedrisco	0,0 a 4,8	5,67
Brita 0	4,8 a 9,5	6,43
Brita 1	9,5 a 19	7,05

Figura 2 – Agregados graúdos: Pedrisco (a), Brita 0 (b), Brita 1 (c) (Os autores (2020))



Influência Dos Agregados Sobre As Propriedades Do Concreto Permeável

Tabela 2 – Proporções entre agregados (Autores, (2020))

Traço	Pedrisco	rita 0	Brita 1
-	P (%)	0 (%)	B1 (%)
I	50	0	0
II	0	00	0
III	0	0	50
IV	0		100

A produção do concreto foi realizada no laboratório de Engenharia Civil do Centro Universitário de Brusque - UNIFEBE, assim como todos os demais ensaios realizados. O processo para a produção seguiu as seguintes etapas:

1. Adição de todo agregado graúdo e 50% de água;
2. Mistura por 2 minutos;
3. Adição de todo o cimento;
4. Mistura por 1 minuto;
5. Adição do restante da água;
6. Mistura por 2 minutos.

Para avaliar se quantidade de água estava adequada utilizou-se o ensaio de abatimento e pelo teste visual, conforme figura 3.

Influência Dos Agregados Sobre As Propriedades Do Concreto Permeável

Figura 3 – Análise do teor de umidade em estado fresco(Autores (2020))



2.3 MOLDAGEM DOS CORPOS DE PROVA

Os corpos de prova foram elaborados seguindo as recomendações da NBR 5738:2015. Nas amostras cilíndricas optou-se pelas dimensões de 100mm de diâmetro e 200mm de altura. Já para as amostras prismáticas seguiram-se as dimensões de 500 x 150 x 150 mm, baseados nas dimensões da prensa para ensaio de tração na flexão.

O adensamento foi executado em camada única, com o intuito de obter resultados mais próximos da execução em campo, pois o método de adensamento de 2 camadas com 25 golpes cada, com haste, não representa com precisão a compactação das placas feitas com rolo de capacidade 148Kg/m. Importante destacar recomendação da NBR 5738:2015 ao indicar que [...] “Para concretos especiais, o procedimento de moldagem pode ser modificado de modo a simular o adensamento a ser empregado na obra, de acordo com o responsável da obra”. Para compactação fez-se o uso de um soquete de 2,5Kg (utilizado em ensaio de compactação Proctor), com a aplicação de 20 golpes centralizados, após resultados positivos, confirmados em ensaios experimentais (RISSON, 2017).

As formas utilizadas para moldagem do corpo de prova prismático e cilíndrico e a execução do adensamento no molde prismático nos corpos de prova cilíndricos estão ilustradas na figura 4.

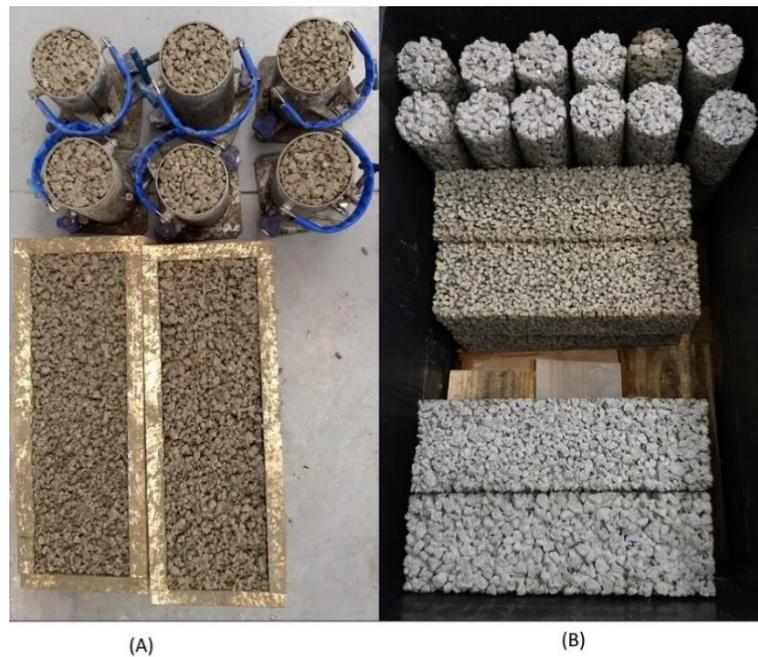
Influência Dos Agregados Sobre As Propriedades Do Concreto Permeável

Figura 4 – Formas dos corpos de prova e Adensamento: (Autores (2020))



Após o procedimento de adensamento com soquete de 2,5Kg, fez-se a retirada da aba de proteção da forma e executou-se a rasadura da amostra. Posteriormente as amostras ficaram em repouso por um período de 48h para depois serem retiradas das formas e seguirem para a disposição em câmara úmida, permanecendo durante o período de cura de 28 dias. A figura 5 ilustra estes procedimentos.

Figura 5– Amostras: a) Estado fresco, b) Desformada (Autores (2020))



(A)

(B)

2.4 ENSAIOS REALIZADOS

Para medir o **volume de vazios** nas amostras foi utilizado o método volumétrico que consiste em envolver o corpo de prova com fita adesiva na condição saturado superfície seca, vedando a amostra - Figura 6. Após sua pesagem adicionou-se água até o preenchimento dos vazios.

Figura 6 – Amostra vedada (Autores (2020))



Posteriormente calculou-se o volume de vazios por meio da equação abaixo:

$$Vv = \frac{Va}{Vcp} \quad (\text{Equação 1})$$

Vv = Volume de vazios;

Va = volume de água adicionado até a superfície superior;

Vcp = Volume do corpo de prova;

O **coeficiente de permeabilidade** foi analisado através de um permeâmetro de carga constante construído com barras de PVC com seção DN100 e tubo extravasor DN50 para estabilização da coluna d'água. As amostras cilíndricas de

Influência Dos Agregados Sobre As Propriedades Do Concreto Permeável

100mm x 100mm, foram vedadas com fita adesiva nas laterais e posicionadas no permeâmetro, conforme figura 7.

Figura 7 – Permeâmetro de carga constante (Autores (2020))



Os valores de condutividade hidráulica são determinados pela Lei de Darcy, conforme a equação abaixo.

$$k = \frac{V.L}{h.A.t} \quad (\text{Equação 2})$$

k = condutividade hidráulica;

V = volume de água coletado;

L = comprimento do corpo de prova;

h = carga hidráulica;

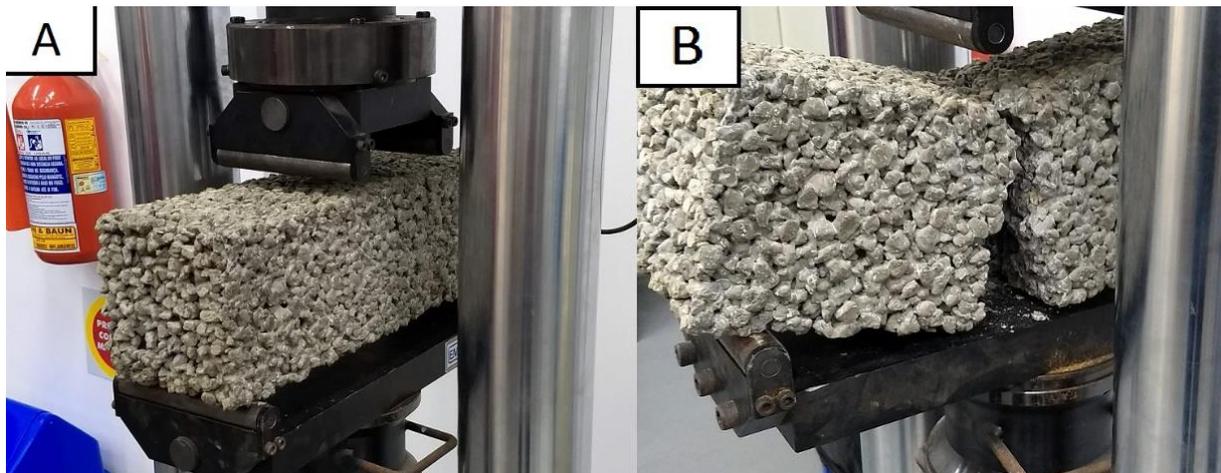
A = área da seção transversal da amostra da amostra;

t = é o tempo decorrido para a coleta d'água.

Influência Dos Agregados Sobre As Propriedades Do Concreto Permeável

Para realização do ensaio de **resistência à tração na flexão** utilizou-se o dispositivo específico para o ensaio de tração na flexão com carregamento nos terços do vão. Com base nas dimensões do dispositivo e segundo a NBR 12142, a amostra teve suas dimensões definidas com seção transversal quadrada de 15cm e comprimento de 50cm, como ilustrado na figura 8.

Figura 8 – Ensaio de tração na flexão: a) antes do carregamento, b) após ruptura (Autores (2020))



Foram produzidas duas amostras de cada traço para execução do ensaio de tração na flexão.

A **resistência à compressão** foi avaliada através do ensaio elaborado segundo a NBR 5739:1993 – figura 9. Foram cinco amostras de cada traço, rompidas aos 28 dias, com cura em câmara úmida e capeadas para regularização da superfície.

Figura 9 – Ensaio de resistência à compressão (Autores (2020))



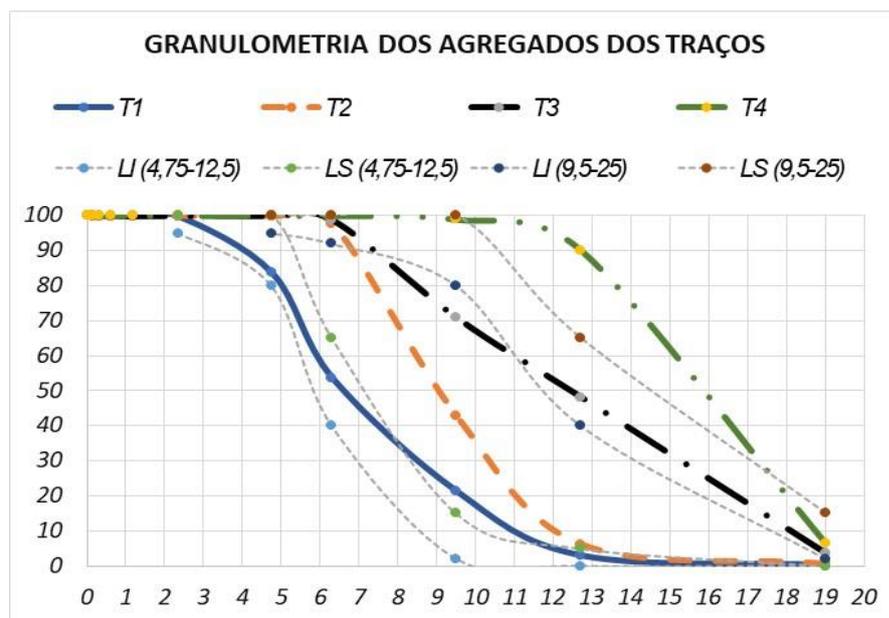
3 RESULTADOS

3.1 GRANULOMETRIA, VOLUME DE VAZIOS E PERMEABILIDADE.

A distribuição granulométrica dos traços T1 a T4 está mostrada na figura 10 sendo também indicados limites de composição granulométrica estabelecidos pela NBR 7211:2005.

Os traços misturados T1(50-50-0) e T3(0-50-50) apresentam-se parcialmente dentro dos limites 4,75 – 12,5 e 9,5 – 25 respectivamente. Os traços com apenas brita 0 e brita 1, T2(0-100-0) e T4(0-0-100) estão fora dos limites.

Figura 10 – Distribuição granulométrica dos traços (Autores (2020))



As tabelas 3 e 4 mostram respectivamente os valores obtidos de volume de vazios e coeficiente de permeabilidade para cada amostra.

Influência Dos Agregados Sobre As Propriedades Do Concreto Permeável

Tabela 3 – Volume de vazios (Autores (2020))

Amostra	Volume de vazios
-	Vv (%)
T1 (50-50-0)	15,22
T2 (0-100-0)	23,5
T3 (0-50-50)	24,52
T4 (0-0-100)	28,65

Tabela 4 –

(Autores (2020))

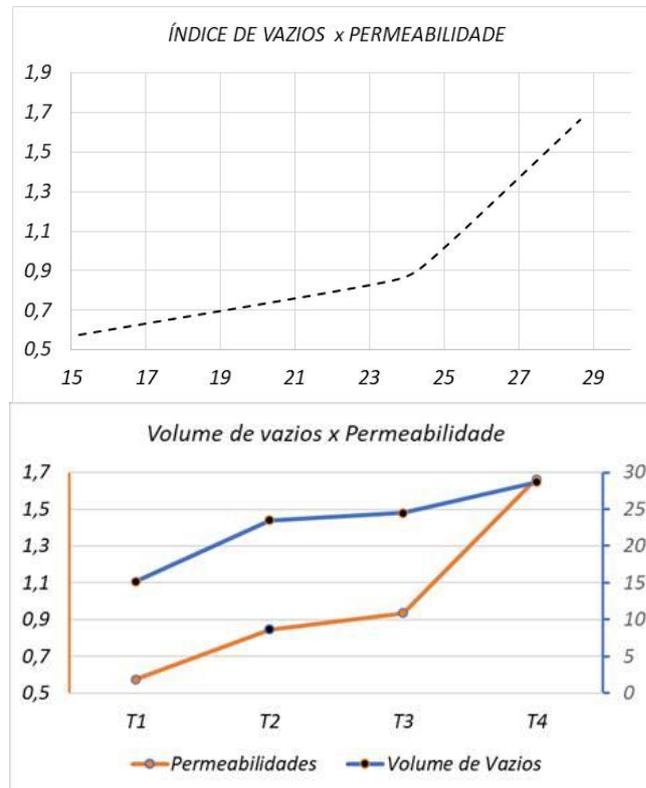
Condutividade hidráulica

Amostra	Volume água	Comprimento corpo prova	Carga hidráulica	Área seção	Tempo coleta	Condutividade hidráulica
-	V (cm ³)	L (cm)	h (cm)	A (cm ²)	t (s)	k (cm/s)
T1 (50-50-0)	3371	10	25	78,5	30	0,576
T2 (0-100-0)	5005	10	25	78,5	30	0,848
T3 (0-50-50)	5507	10	25	78,5	30	0,936
T4 (0-0-100)	9815	10	25	78,5	30	1,664

O gráfico 3 indica a relação entre o volume de vazios e coeficiente de permeabilidade.

Influência Dos Agregados Sobre As Propriedades Do Concreto Permeável

Gráfico 3– relação volume de vazios x permeabilidade (Autores (2020))



A leitura do gráfico 3 mostra uma relação direta entre volume de vazios e permeabilidade para todos os traços. A esquerda observa-se que os traços apresentam concordância de acréscimo de permeabilidade com correspondente acréscimo de vazios e a direita indica uma relação exponencial. Como apontado por (MEHTA e MONTEIRO, 2014), como acontece com uma variedade de materiais porosos naturais e sintéticos, os concretos drenantes também apresentam uma relação porosidade-permeabilidade que é exponencial na natureza.

Todas as amostras apresentaram permeabilidade acima de 0,1cm/s, valor este mínimo recomendado pela norma NBR 16416 (2015) para pavimentos de concreto permeável recém construídos. Neste aspecto pode-se afirmar que os compósitos analisados, inclusive o da amostra T1 que inclui pedrisco são adequados para utilização.

Influência Dos Agregados Sobre As Propriedades Do Concreto Permeável

Tais resultados indicam ser viável a adição de agregados miúdos, com o objetivo de aumentar a resistência à compressão e a tração, atendendo ao requisito de permeabilidade.

3.2 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO E TRAÇÃO NA FLEXÃO

A tabela 5 mostra os resultados dos ensaios de resistência à compressão, resistência à tração na flexão e volume de vazios.

Tabela 5 – Resistência à compressão e tração, volume de vazios e permeabilidade: (Autores (2020))

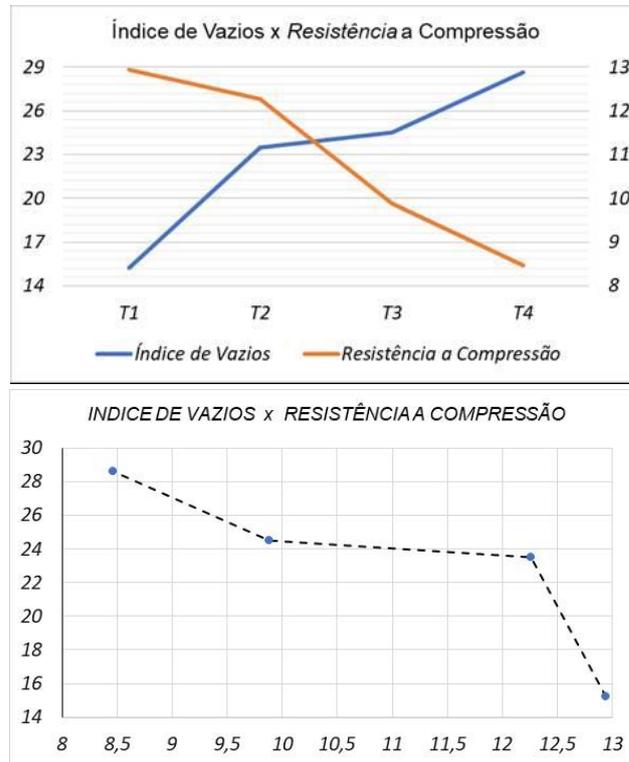
Amostra	Tensão de Compressão σ_c (Mpa)	Tensão de Tração σ_t (Mpa)	Volume de Vazios v (%)
T1 (50-50-0)	12,94	2,21	1,522
T2 (0-100-0)	12,26	1,93	2,350
T3 (0-50-50)	9,88	1,74	2,452
T4 (0-0-100)	8,46	1,63	2,865

A leitura da tabela 5 mostra coerência de resultados entre volume de vazios e resistência à compressão, ou seja, quanto maior o volume de vazios, menor a resistência do concreto.

O gráfico 4 ilustra as relações entre resistência à compressão com o volume de vazios. A esquerda observa-se a relação contrária entre vazios e resistência e a direita ilustra a queda de resistência com aumento de volume de vazios.

Influência Dos Agregados Sobre As Propriedades Do Concreto Permeável

Gráfico 4 – Índice de vazios x Resistência à compressão. (Autores (2020))

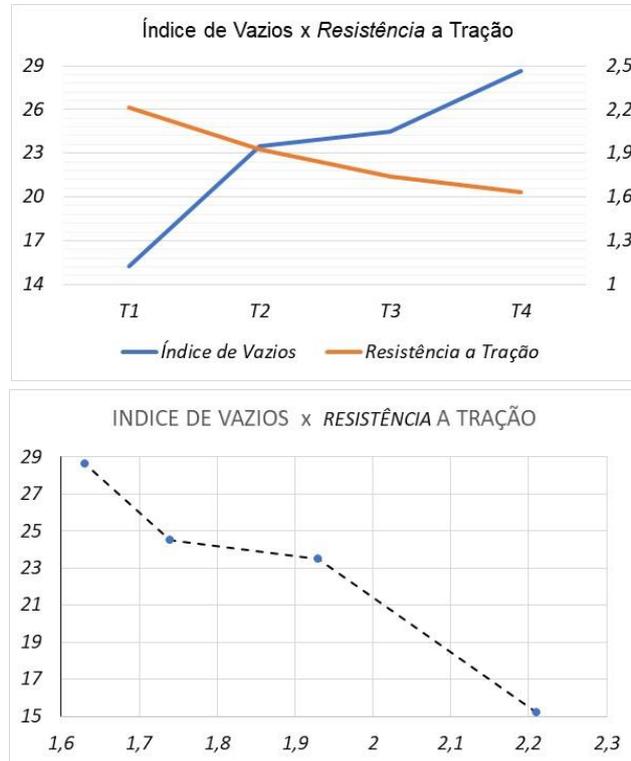


Quanto a resistência à tração observa-se as mesmas tendências entre volume de vazios e resistência.

O gráfico 5 ilustra as relações entre resistência à tração com o volume de vazios. A esquerda observa-se a relação contrária entre vazios e resistência e a direita ilustra a queda de resistência com aumento de volume de vazios.

Influência Dos Agregados Sobre As Propriedades Do Concreto Permeável

Gráfico 5 – Índice de vazios x Resistência à tração. (Autores (2020))



Ao comparar os resultados obtidos com os requisitos mínimos da NBR 16416: 2015, para pavimentos de concreto permeável, tem-se que para resistência à compressão são preconizados métodos de ensaio baseados na norma NBR 9781, não havendo comparativo possível

Para a resistência à tração concreto permeável **moldado no local tráfego de pedestres** é exigida resistência maior ou igual a 1,0 Mpa, condição que todos os traços da pesquisa atendem.

Para a resistência à tração concreto permeável **moldado no local tráfego leve** é exigida resistência maior ou igual a 2,0 Mpa, condição esta atendida apenas o traço T1 da pesquisa.

4 CONCLUSÃO

Dos resultados obtidos pode-se concluir que os traços definidos no estudo possibilitaram analisar o comportamento do concreto permeável apontando relação consistente entre os traços e suas propriedades de permeabilidade e mecânicas.

Pode-se afirmar que ao aumentar a dimensão média dos agregados ocorre um aumento de volume de vazios e redução de resistência do concreto, ou seja, maior índice de vazios resultando em menor resistência mecânica.

Todos os traços apresentaram permeabilidade acima de 0,1cm/s, valor este mínimo recomendado pela norma ABNT NBR 16416 (2015) para pavimentos de concreto permeável recém construídos.

Com relação aos requisitos mínimos de resistência à tração desta norma tem-se o seguinte: resistência à tração concreto permeável moldado no local tráfego de pedestres, todos os traços do estudo atendem e a resistência à tração concreto permeável moldado no local tráfego leve apenas o traço T1 atende.

Como estudos adicionais recomenda-se análise que leve em consideração a rede de interconexões dos poros do concreto permeável além de sua porosidade. MEHTA e MONTEIRO, 2014, destacam a importância este parâmetro ao destacar que o corpo de prova do concreto drenante é constituído de uma complexa rede de interconexões de poros e aberturas (canais que conectam os poros) de variados graus de tamanhos e formas que determinam seu comportamento além de sua porosidade.

Observa-se também os apontamentos de DA COSTA, 2019, quando afirma que as propriedades relacionadas à estrutura de poros do concreto permeável são tão importantes quanto as propriedades mecânicas e ainda [...] que a resistência à compressão e tração na flexão do concreto permeável, em virtude de dependerem de outras propriedades como porosidade e compactação, também apresentam grande variabilidade.

REFERÊNCIAS

Influência Dos Agregados Sobre As Propriedades Do Concreto Permeável

ABNT. **NBR 5739: Concreto-Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos.** Associação Brasileira de Normas Técnicas. São Paulo, 1993.

ABNT. **NBR 12142: Concreto - Determinação da resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos.** Associação Brasileira de Normas Técnicas. São Paulo, 2010.

ABNT. **NBR 16416: Pavimentos permeáveis de concreto - requisitos e procedimentos.** Associação Brasileira de Normas Técnicas. São Paulo, p.25. 2015.

ABNT. **NBR 5738: Concreto –Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova.** Associação Brasileira de Normas Técnicas. São Paulo, 2015.

ABNT. **NBR 7211: Agregados para concreto.** Associação Brasileira de Normas Técnicas. São Paulo, 2015.

ABNT. **NBR NM 53: Agregado graúdo – Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água** Associação Brasileira de Normas Técnicas. São Paulo, 2003.

CANHOLI, A. P. **Drenagem Urbana e controle de enchentes.** 2. ed. São Paulo: Oficina de textos, 2014.

DA COSTA, , F. B. P. **Análise e desenvolvimento de misturas de concreto permeável para aplicação em pavimentação.** Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul,, 2019.

HÖLZ, F. D. C. **Uso de concreto permeável na drenagem urbana:** análise da viabilidade técnica e do impacto ambiental. Dissertação de pós-graduação - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, p. 139. 2011.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto:** Microestrutura, Propriedades e Materiais. 2ª. ed. São Paulo: IBRACON, 2014.

NATIONS, U. **World Urbanization Prospects: The 2018 Revision.** Department of Economic and Social Affairs. 2018. Online Edition.

Influência Dos Agregados Sobre As Propriedades Do Concreto Permeável

REPETTE W. L. **Concretos para fins especiais e de última geração.** In: Concreto: Ciência e Tecnologia. IBRACON, 2011. VII.

RISSON, K. D. B. D. S. **Proposta de procedimento de moldagem de corpos de prova em laboratório para concretos permeáveis.** 2017. Dissertação de pós-graduação em Engenharia de Edificações e saneamento - Universidade de Estadual de Londrina, Londrina, 2017. 190.

TENNIS, P. D.; LEMING, M. L.; AKERS, D. J. **Pervious Concrete Pavements.** III. ed. Illinois: Portland Cement Association, 2004. 36 p. ISBN 0-89312-242-4.

TOMINAGA, E. N. D. S. **Urbanização e Cheias: Medidas de controle na fonte.** Universidade de São Paulo. São Paulo, p. 134. 2013.

TUCCI, C. E. M. Drenagem Urbana. **Gestão das águas**, Campinas, v. 55, p. 36-37, Outubro 2003. ISSN 2317-6660.

MODELAGEM E COMPATIBILIZAÇÃO DE PROJETOS DE UMA RESIDÊNCIA UNIFAMILIAR POR MEIO DA METODOLOGIA BIM

Eduardo Bado;
Vivian Siffert Wildner

RESUMO: O BIM (Modelagem da Informação da Construção) já é uma realidade no Brasil, e sua implementação se torna mais relevante, pois o governo federal aprovou o decreto 10.306/2020, que estabelece a utilização do BIM na execução direta ou indireta de obras realizadas pelos órgãos e pelas entidades da administração pública. A metodologia BIM traz inúmeras vantagens para o setor da construção, dentre elas está a compatibilização de projetos. O presente estudo tem o objetivo de realizar a modelagem e a compatibilização dos projetos arquitetônico, estrutural, hidrossanitário e elétrico de uma residência unifamiliar localizada na cidade de Guabiruba – SC, por meio da metodologia BIM. As modelagens dos projetos foram realizadas através do software Autodesk Revit®, em seguida, foram feitas as verificações de incompatibilidades entre os projetos por meio do software Autodesk Navisworks®. A modelagem 3D possibilitou realizar cortes e vistas automaticamente, encontrar incompatibilidades e alterá-las durante a modelagem, além de possibilitar extrair quantitativos de materiais. A compatibilização dos projetos evita perdas de tempo e possibilita economia de materiais durante a execução da obra, e com isso diminui os custos finais do empreendimento. A verificação de interferências no software Navisworks® mostrou ser confiável e ágil por detectar automaticamente todas as colisões geométricas entre os elementos, porém foram identificadas várias interferências irrelevantes, cabendo ao projetista verificar e identificar as que necessitam alterações. Após a análise final, foram identificados 13 conflitos relevantes para o projeto analisado e foram apresentadas propostas de solução.

PALAVRAS-CHAVE: BIM. Compatibilização. Modelagem. Projetos. 3D.

1 INTRODUÇÃO

De acordo com um relatório realizado pelo International Data Corporation (IDC) encomendado pela Autodesk®, o Brasil é o país mais atrasado e com o menor nível de maturidade em relação aos outros países analisados, se tratando da adoção de tecnologias como Big Data, Inteligência Artificial e modelagem 3D (AUTODESK, 2020).

Uma pesquisa publicada em 2020 desenvolvida pela Sienge (2020) mostrou que apenas 38,4% das empresas e profissionais autônomos da construção civil entrevistados utilizam a metodologia BIM. Desta forma, o processo projetual predominante ainda é baseado em projetos 2D, por meio das ferramentas CAD (*Computer-Aided Design*), onde a compatibilização de projetos é realizada pela sobreposição manual dos desenhos 2D.

Além disso, um estudo realizado por De Paula et al. (2017) teve o objetivo realizar uma revisão sistemática das referências, nacionais e internacionais sobre o uso do BIM no desenvolvimento de projetos. Assim, as buscas dos estudos do país foram realizadas em bases de publicações nacionais de periódicos, e foi constatado que de todos os trabalhos encontrados, a área que apresentou uma maior lacuna de estudo é na compatibilização de projetos.

É uma realidade para a indústria da construção civil, a importância da plataforma BIM, especialmente levando em consideração políticas públicas e privadas, de modo que o decreto Federal, N° 10.360/2020, designou que os projetos de obras públicas deveriam começar a ser entregues em arquivos elaborados em BIM, a partir de janeiro de 2021.

A etapa de compatibilização no planejamento de uma obra de engenharia é de extrema importância e a metodologia BIM pode aprimorar, beneficiar e inibir inexatidões durante esta fase. A compatibilização é formada por uma série de projetos multidisciplinares e no final do seu processo de desenvolvimento, isto é, antes de ir para o canteiro de obras, necessitam estar em harmonia entre si.

O presente artigo tem como objetivo realizar a modelagem e a compatibilização dos projetos arquitetônico, estrutural, hidrossanitário e elétrico de

Modelagem E Compatibilização De Projetos De Uma Residência Unifamiliar Por Meio Da Metodologia Bim

uma residência unifamiliar por meio da metodologia Modelagem da Informação da Construção (BIM).

O presente trabalho irá focar na utilização das ferramentas BIM na modelagem 3D e na compatibilização dos projetos. O estudo limita-se em realizar a modelagem de uma edificação no software da Autodesk Revit®, a qual foi projetada utilizando a ferramenta CAD e já se encontra aprovada pelos órgãos públicos competentes. Neste contexto, o foco não foi verificar os dimensionamentos dos projetos com as Normas Técnicas Brasileiras. Posteriormente, a etapa de compatibilização ocorre com a inserção de todos os projetos modelados no software Autodesk Navisworks®, na qual o software irá verificar automaticamente todas as interferências entre os elementos 3D dos projetos, indicando as incompatibilidades para serem corrigidas.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo serão apresentados referenciais bibliográficos sobre a metodologia BIM. Aborda-se as definições da metodologia BIM, abordando as suas principais características e demais conceitos relacionados ao tema.

2.1 COMPATIBILIZAÇÃO DE PROJETO

Por volta da década de 60, houve o crescimento do mercado imobiliário, bem como também, os escritórios de projetos que antes abrangiam todo o processo de criação e passaram a focar em áreas exclusivas como arquitetura, estrutura e instalações (GRAZIANO, 2003). Logo, segundo Costa (2013), com o passar do tempo, o conhecimento entre os envolvidos se especializou cada vez mais em suas áreas, fazendo com que seu conhecimento generalizado fosse se perdendo. Em consequência, foram destacando-se a incompatibilidade nos projetos que somente eram identificados em obras.

Os custos da compatibilização podem representar de 1% a 1,5% do custo da obra. Porém, a economia em despesas é de 5% a 10% equivalente a este custo. Esta

Modelagem E Compatibilização De Projetos De Uma Residência Unifamiliar Por Meio Da Metodologia Bim

economia é gerada correspondente à economia de tempo, redução de desperdício e eliminação de retrabalho (SANTOS, 2013).

Desta maneira, além da forma tradicional existem metodologias e tecnologias que agilizam o processo de compatibilização de projetos na construção civil, possibilitando a detecção de interferências entre disciplinas de forma mais direta e precisa. A forma mais tradicional é a sobreposição manual dos desenhos CAD 2D, ou seja, colocar um projeto em cima do outro para verificar alguma desconexão. Porém, com o avanço tecnológico, passou-se a utilizar a ferramenta 3D, onde através de ferramentas específicas pode ser detectado a incompatibilidade em disciplinas diferentes de um projeto, como elétrica, hidráulica, arquitetônica e outras (SOUZA E LIMA, 2021).

2.2 BIM (MODELAGEM DA INFORMAÇÃO DA CONSTRUÇÃO)

Em 1974 surgiram as primeiras teorias sobre modelação de dados de produtos de construção, designadas pelo Professor Charles M. Eastman que cria o conceito *Building Product Model* (BDS), em português, Sistema de Descrição da Modelagem (CHELSON, 2010).

Com o passar dos anos, os conceitos sobre o BDS foram evoluindo até chegar na metodologia BIM. O termo *Building Information Modeling* (BIM), cuja tradução, remete à Modelagem de Informação da Construção, foi empregue pela primeira vez pelo arquiteto e consultor da Autodesk®, Phil Bernstein (BARBOSA, 2014). Em seguida, Jerry Laiserin, uma analista da indústria da construção, popularizou o termo para a representação digital dos processos de construção. A primeira aplicação dos princípios BIM esteve presente na aplicação ArchiCAD®, produzida em 1987 pela empresa Graphisoft® sob o conceito de "Virtual Building" (TARRAFA, 2012).

Na região de Brusque, pode-se citar a Estação de Tratamento de Água (ETA) Cristalina, cujo projeto foi todo desenvolvido em BIM. De acordo com o Anuário BIM Infraestrutura de Santa Catarina (2022), o projeto desenvolvido em Brusque englobou toda a infraestrutura da ETA, como a captação e adução de água, tubulações de saída da água tratada, projeto executivo da estação e até mesmo a instalação de placas

Modelagem E Compatibilização De Projetos De Uma Residência Unifamiliar Por Meio Da Metodologia Bim

solares e subestação de energia e geradores. O projeto teve seu início no ano de 2019 e conclusão em 2021.

A escolha da melhor alternativa foi realizada com base em critérios técnicos, ambientais, econômico-financeiros e operacionais, logo, todo projeto executivo da ETA Cristalina foi executado em BIM. Além disso, as análises de incompatibilidades entre as estruturas, foram avaliadas nos modelos em BIM (ANUÁRIO BIM INFRAESTRUTURA, 2022). Na Figura 1 pode ser observado uma vista renderizada da estação de tratamento.

Figura 1 - Vista 3D da Estação de Tratamento de Água Cristalina



Fonte: Anuário BIM Infraestrutura de Santa Catarina (2022).

Com base na criação de um modelo 3D, o BIM é a metodologia na qual é usado para que contenha todos os projetos referentes a construção de uma obra, de maneira que intervenha na otimização dos projetos, que possa ser compartilhado pelas equipes do planejamento, na documentação do mesmo, no desenvolvimento e execução de obra (AUTODESK, 2017).

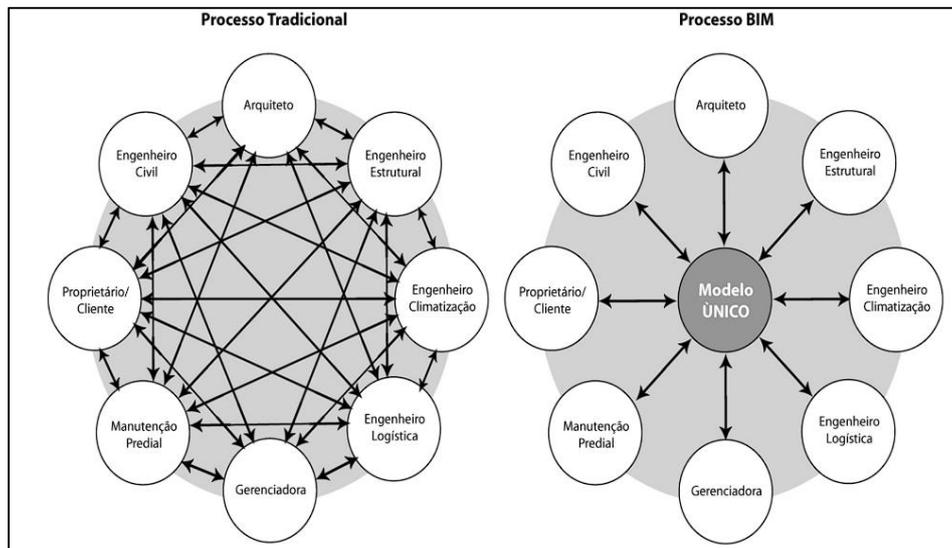
Jernigan (2008), alega que os sistemas BIM lidam com um modelo único, de modo paramétrico. Assim sendo, não é mais sequencial o processo de projeto, todas as elaborações e alterações das disciplinas estão interligadas, de modo a providenciar a facilidade e agilidade nas fases de edificações, não existindo as etapas separadas.

Modelagem E Compatibilização De Projetos De Uma Residência Unifamiliar Por Meio Da Metodologia Bim

Segundo Barbosa (2014), o objetivo do mesmo, é regressar o projeto comum a todas as especialidades, revogando o conceito de diversos projetos separados. Esta metodologia condiz na criação de um modelo virtual, a qual entre muitas outras capacidades, consente o compartilhamento de informação entre todos os intervenientes e fases do projeto.

Na Figura 2 é ilustrada a diferença na troca de informação das disciplinas de um projeto entre a metodologia tradicional e a metodologia BIM. No processo tradicional essa troca ocorre de forma cruzada, passando de um projetista para o outro e para qualquer alteração seria necessário encaminhar novamente o projeto. No processo BIM todo processo ocorre em um modelo único, permitindo que diferentes pessoas trabalhem simultaneamente no projeto, e as alterações são atualizadas automaticamente nesse modelo.

Figura 2 - Processo BIM como contraponto ao processo tradicional



Fonte: GOES e SANTOS (2011).

É de suma importância referir-se que o conceito BIM é sobreposto não apenas à fase de projeto, mas do mesmo modo, à fase de construção. Um modelo BIM pode ser extraído de maneira automatizada todos os desenhos ou outros elementos de apoio relativos a uma tarefa específica e a visualização do processo construtivo a partir do perspectivo modelo em obras. A metodologia acaba tornando o processo de construção mais objetivo e com mais clareza, para além de representar uma forma de

Modelagem E Compatibilização De Projetos De Uma Residência Unifamiliar Por Meio Da Metodologia Bim

comunicação com a equipe de projeto. Tendo como exemplificação, as mudanças não previstas podem ser rapidamente averiguadas com base no modelo virtual do edifício e reajustadas em colaboração com os vários intervenientes no projeto (CHELSON, 2010).

Contudo, de acordo com Eastman et al. (2014), para que a adoção da metodologia BIM tenha sucesso é preciso que haja fundamentação na modelagem paramétrica e na interoperabilidade.

A modelagem paramétrica é feita com base em objetos paramétricos. Sendo assim, são aqueles construídos através de seus parâmetros e suas regras. Esta modelagem não equivale objetos com geometria fixa, mas caracteriza por propriedades e parâmetros definidos. Os parâmetros podem ser diferentes objetos com relações em si, permitindo que o sistema atualize de forma automática em todo o projeto quando o objeto for modificado (EASTMAN et al., 2011).

Segundo Papadopoulos (2014), a interoperabilidade caracteriza a aptidão de transmissão de dados entre aplicações, permitindo que todos envolvidos no projeto possam trabalhar de forma conjunta.

Segundo Deritti (2017), o fato de existirem muitos softwares para as variadas disciplinas e propósitos, pode fazer acarretar em formatos nativos diferentes para compatibilização, tornando-a inviável. Assim, para que essas compatibilizações ocorram de maneira eficiente, os projetistas devem trabalhar com seus arquivos em uma mesma extensão que é o IFC.

2.3 DIMENSÕES DO BIM

Projetos em BIM são baseados em diferentes divisões ou etapas de aplicação, sendo elas conhecidas como as diferentes dimensões dos processos BIM.

Assim sendo, quanto mais dimensões tiver o modelo, maiores serão os tipos de referências possíveis de serem modeladas a partir delas, tomando cabíveis decisões mais detalhadas e acertáveis (CAMPESTRINI et al., 2015). A Figura 3 ilustra as diferentes dimensões existentes nos processos BIM, sendo elas: a modelagem

Modelagem E Compatibilização De Projetos De Uma Residência Unifamiliar Por Meio Da Metodologia Bim

paramétrica (3D), planejamento (4D), orçamentação (5D), sustentabilidade (6D) e a gestão e manutenção (7D).

Figura 3 - Dimensões do BIM



Fonte: Sienge (2020).

2.4 SOFTWARES BIM

Atualmente, existem diversos softwares disponíveis no mercado, onde cada um possui suas características e funções.

Segundo Monteiro et al. (2017), o Autodesk Revit®, considerado um dos principais softwares BIM, oferece recursos para todas as especialidades envolvidas em um projeto, desde ferramentas voltadas para o projeto arquitetônico, até ferramentas para projetos estruturais e de instalações. O Autodesk Revit® é um dos poucos programas no mercado disponível que atualmente oportuniza controle total de um projeto em um único arquivo. Com ele, o projetista tem todo conhecimento do projeto no mesmo ambiente de trabalho, tornando-se muito prático ao fazer alterações em qualquer vista do projeto (LIMA 2014).

O Revit® trabalha com sistemas de famílias para estruturar todos os elementos que compõem o projeto, como famílias de lajes, portas, paredes, janelas, entre outros. Todos estes elementos são elementos paramétricos, assim sendo, quaisquer alterações em seus valores, automaticamente serão alteradas e

Modelagem E Compatibilização De Projetos De Uma Residência Unifamiliar Por Meio Da Metodologia Bim

representadas tridimensionalmente em todas as vistas do projeto. As Famílias possuem a capacidade de interação entre si, favorecendo a inserção de portas e de janelas em paredes (LIMA, 2014).

Outro software BIM é o Autodesk Navisworks®. De acordo com Vasconcelos (2019), o Navisworks® é o software de coordenação que permite a visualização de modelos e seus respectivos dados. Esta ferramenta procede na centralização das referências de geometria 3D de diversos softwares, concebendo um único modelo. Tem como intuito otimizar a visualização do modelo integrado, possibilitando a identificação de interferências, realização de simulações e, ainda, a aprovação das soluções técnicas projetadas pelas diferentes disciplinas.

2.5 VANTAGENS DO BIM

Uma das principais vantagens do BIM é o trabalho simultâneo em um mesmo modelo, diminuindo significativamente o risco de erro e levando a uma estimativa de custos e a um planejamento mais eficiente, na qual os projetistas podem realizar os cronogramas da obra com precisão ainda na fase de projeto. O BIM leva em consideração todo o ciclo de vida do edifício assim como toda a informação contidas nele (GIEL, 2009).

Para o cliente é fornecido toda a informação do modelo da edificação para futuras reformas, manutenções e até mesmo a análise energética (JOANNIDES, 2011). Além disso, numa fase inicial de concepção do projeto, na qual o dono da obra ou investidor está estudando os custos iniciais de distintas soluções, um projeto BIM que está ligado a uma base de dados de custos, pode oportunizar que este se torne uma excelente ferramenta para determinar os custos da obra (GEE, 2010).

A precisão e a velocidade na produção de relatórios de quantitativos do projeto em qualquer momento permite um controle nos custos de uma construção, diminuindo significativamente o tempo nos processos de orçamentação. A aplicação do BIM permite aos projetistas iniciarem a estimar os custos da obra numa fase inicial do projeto e atualizar eles conforme o projeto vai evoluindo (JOANNIDES, 2011). Ainda, Blanco (2011), afirma que também é possível tornar as estimativas de custo mais

Modelagem E Compatibilização De Projetos De Uma Residência Unifamiliar Por Meio Da Metodologia Bim

precisas. Uma vez que cada item, insumo e material é quantificado automaticamente pelo software, reduzindo o tempo gasto no trabalho manual e a margem de erro.

Joannides (2011) afirma que outro fator positivo é que os desenhos 2D gerados a partir do modelo 3D são atualizados conforme as mudanças do modelo são realizadas, além disso, permite a geração automática de plantas e cortes a partir da modelagem 3D.

2.6 DESVANTAGENS DO BIM

Dentre as desvantagens que a metodologia possui estão os custos de implantação das ferramentas. Segundo os estudos realizados por Schmitt (2021), os softwares possuem um alto custo de aquisição, inviabilizando que escritórios menores possam implantar a metodologia.

De acordo com Schmitt (2021), outro fator que impacta negativamente é a curva de aprendizado para a utilização dos softwares, onde pode ser necessário investimento em capacitação profissional para se ter um aproveitamento melhor das ferramentas. Ainda, Faria (2007) afirma que o tempo gasto com a aprendizagem pode ser de até um ano, fazendo com que escritórios de projetos percam produtividade nesse período.

Além disso, o problema da interoperabilidade pode ser uma barreira na fase de projeto. A evolução dos softwares e a competição entre as empresas pode tornar difícil a implantação de todas as capacidades em único software. Quando a informação é entregue a partir de softwares incompatíveis com o software utilizado, o tempo adicional necessário para reproduzir a informação necessária pode ser desvantajoso (DALCI, 2014).

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para o desenvolvimento deste artigo foi adotado a abordagem de pesquisa qualitativa. Os pesquisadores qualitativos buscam entender um fenômeno em seu contexto natural (CRESWELL, 2014). Neste artigo, a proposta do autor é realizar a modelagem e a compatibilização do projeto arquitetônico, estrutural, hidrossanitário e elétrico de uma residência unifamiliar por meio da metodologia Modelagem da Informação da Construção (BIM). Desta forma, a pesquisa se caracterizou como exploratória, visto que ela envolve um estudo de caso e o levantamento bibliográfico sobre um determinado assunto.

Quando aos procedimentos se caracterizou como pesquisa bibliográfica, pelo motivo de ter sido realizado um levantamento de referências sobre o assunto da pesquisa, e também classificada como um estudo de caso por avaliar e observar a relevância da compatibilização em um projeto específico.

Para esta pesquisa foi utilizado um projeto, realizado em CAD, de uma residência unifamiliar térrea com uma área total de 140,80 m², localizado na cidade de Guabiruba, Santa Catarina.

A edificação é composta por uma suíte com closet, dormitório, escritório, banheiro social, cozinha, sala de estar e jantar, área de festa, área de serviço e garagem. Sendo que na sala de estar e jantar possui um pé direito duplo. Na Figura 4 pode ser observada a fachada frontal renderizada da edificação.

Modelagem E Compatibilização De Projetos De Uma Residência Unifamiliar Por Meio Da Metodologia Bim

Figura 4 - Fachada frontal renderizada da edificação



Fonte: Acervo da Construtora (2022).

Inicialmente realizou-se uma revisão bibliográfica em artigos, sites, livros, dissertações e monografias sobre o tema do estudo, com o propósito de buscar as referências mais recentes sobre a metodologia BIM e as contribuições e vantagens para a construção civil.

Posteriormente, foi realizada a aquisição de todos os projetos da edificação alvo dessa pesquisa, sendo eles o projeto arquitetônico, o estrutural, o de instalações hidrossanitárias e o de instalações elétricas.

Os projetos arquitetônico, hidrossanitário e elétrico foram elaborados por meio da ferramenta CAD, logo, estes foram recebidos em formato DWG. O projeto estrutural foi dimensionado em um software específico para dimensionamento de estruturas, assim, ele foi fornecido em arquivo IFC, dessa forma não necessitou realizar a sua modelagem 3D, pois esse formato já fornece toda sua modelagem.

Para a modelagem 3D dos respectivos projetos foi utilizado como ferramenta o software da Autodesk Revit® 2022, que se encontra disponível gratuitamente para estudantes no site da empresa e também no Centro Universitário de Brusque - UNIFEBE. Buscou-se elaborar todos os projetos conforme o existente, porém,

Modelagem E Compatibilização De Projetos De Uma Residência Unifamiliar Por Meio Da Metodologia Bim

também procurou-se torná-los exequíveis dentro de um canteiro de obras. Assim, foram alteradas as incompatibilidades encontradas durante a etapa da modelagem e também foram acrescentados elementos inexistentes nos projetos originais, elevando a precisão na busca de incompatibilidades.

Em seguida, para a compatibilização dos projetos modelados, utilizou-se a versão de teste do software da Autodesk Navisworks Manage® 2022, o qual a empresa disponibiliza por 30 dias a versão de testes. Para encontrar as incompatibilidades automaticamente, utilizou-se a ferramenta Clash Detective do Navisworks®. Esta ferramenta realiza uma varredura entre os projetos e identifica colisões geométricas dos elementos dentro do modelo 3D.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

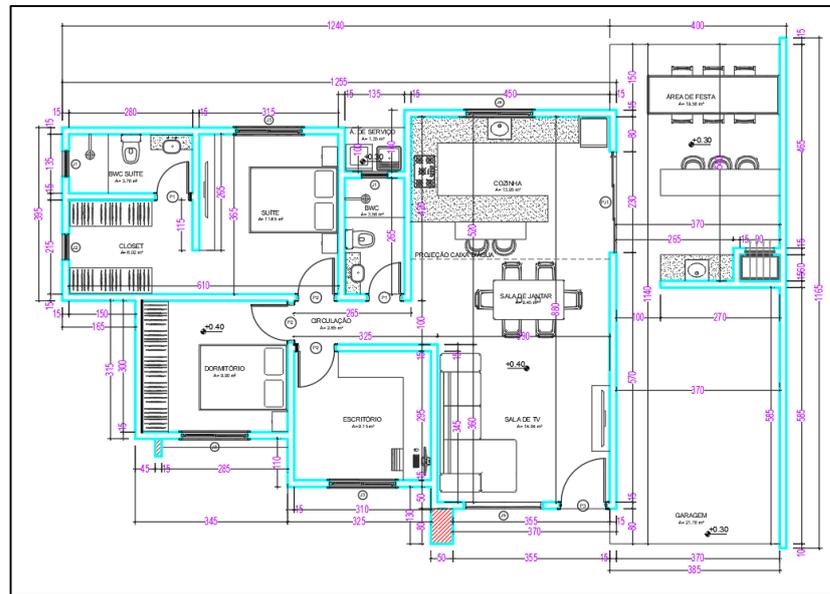
Este capítulo apresenta os resultados alcançados, por meio da pesquisa e da análise dos dados, conforme os objetivos deste trabalho.

4.1 PROJETO ARQUITETÔNICO

Com posse do projeto arquitetônico aprovado se deu início a modelagem através software Autodesk Revit®. A Figura 5 mostra a planta baixa da edificação realizada no CAD.

Modelagem E Compatibilização De Projetos De Uma Residência Unifamiliar Por Meio Da Metodologia Bim

Figura 5 - Planta baixa do projeto original



Fonte: Acervo da Construtora (2022).

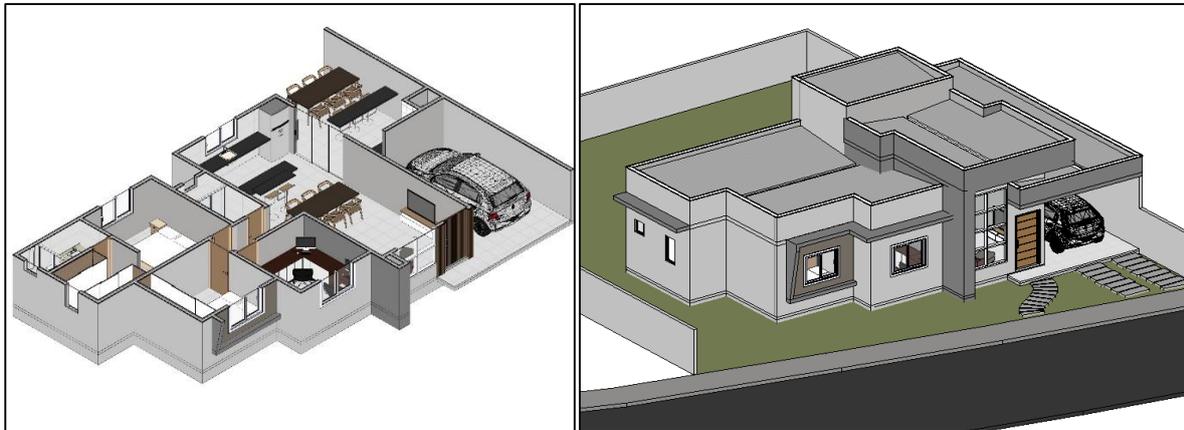
Iniciou-se a modelagem pelas paredes da edificação, após o lançamento das paredes, foram modelados os pisos do pavimento térreo e cobertura, adotando apenas concreto na sua estrutura, isto é, esta etapa tem apenas fins estéticos e sua verdadeira composição se encontra na modelagem estrutural.

Posteriormente foram inseridas as esquadrias da edificação, para as esquadrias foram utilizadas famílias parametrizadas que já se encontram dentro do layout utilizado, assim apenas foi necessário definir suas dimensões.

Para finalizar a modelagem, foram adicionados os demais elementos do projeto arquitetônico, como o telhado de fibrocimento, rufos, móveis, detalhes na fachada, elementos externos, dentre outros. Na Figuras 6 podem ser observado as representações virtuais do projeto arquitetônico da edificação construídas no Revit®, sendo elas: a) vista isométrica do primeiro pavimento e b) modelagem da edificação completa.

Modelagem E Compatibilização De Projetos De Uma Residência Unifamiliar Por Meio Da Metodologia Bim

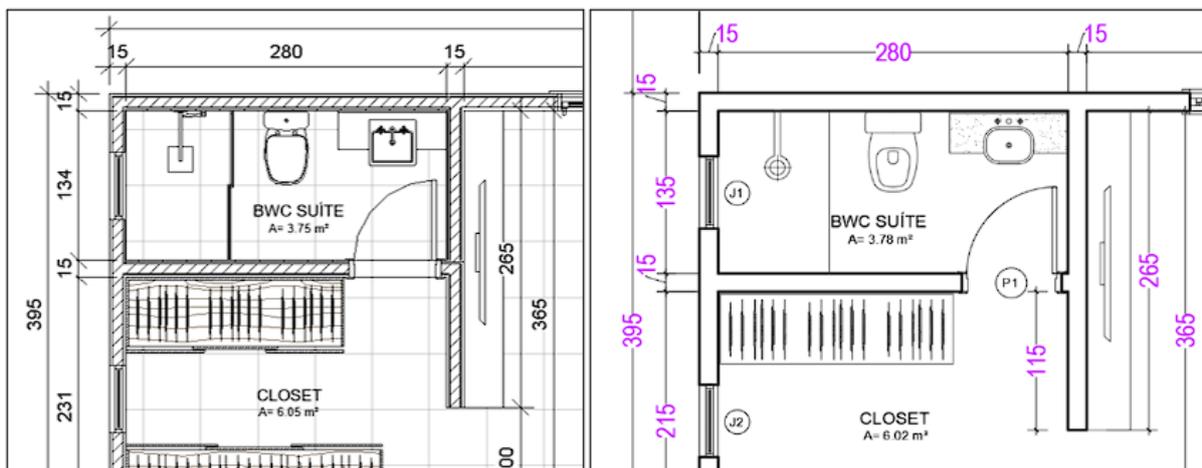
Figura 6 – a) Vista isométrica do pavimento térreo; b) Modelagem 3D



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Na Figura 7 pode ser observado o detalhamento da planta baixa feito no Revit® com o projeto original desenvolvido no CAD, respectivamente. O detalhamento foi realizado no banheiro da suíte e no closet e na planta baixa feito no Revit® pode ser observado um nível maior de detalhamento, como a representação do corte passando pelas paredes, cerâmica no chão e os equipamentos do banheiro.

Figura 7 – a) Planta baixa no Revit®; b) Planta Baixa em CAD



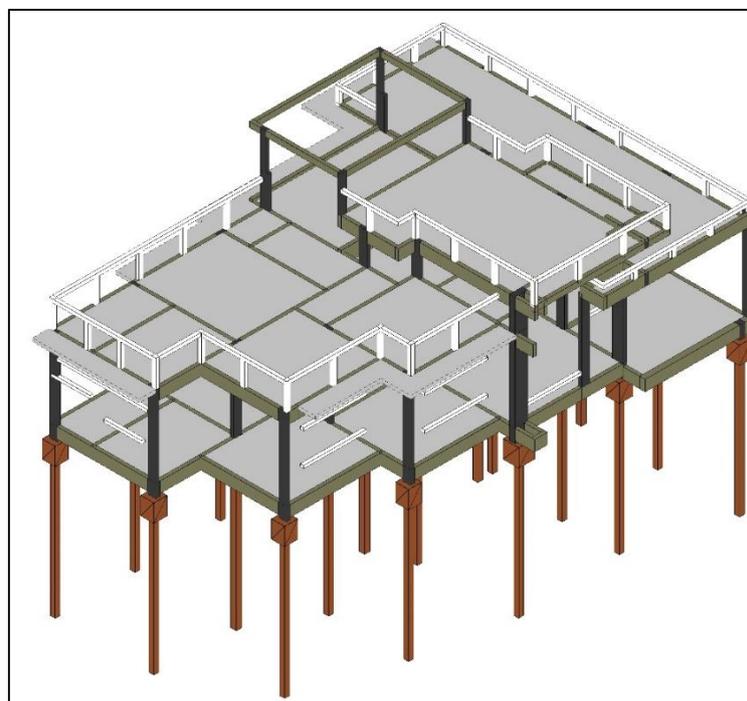
Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

4.2 PROJETO ESTRUTURAL

O projeto estrutural recebido não teve a necessidade de ser modelado, pois durante a sua fase de dimensionamento pelo engenheiro responsável, o software utilizado para os cálculos já gerou um modelo 3D da edificação. Assim, devido a interoperabilidade entre softwares BIM, o arquivo IFC gerado do dimensionamento estrutural foi vinculado ao Revit®.

Após a vinculação do arquivo no Revit® foram necessários alguns complementos no projeto, como a inserção de vergas e contra vergas em janelas e portas e a inserção das cintas de amarração na cobertura, tendo a finalidade de aumentar a exatidão na etapa de compatibilização dos projetos. Assim, a representação final da modelagem 3D do projeto estrutural pode ser vista na Figura 8.

Figura 8 - Vista 3D do projeto estrutural com vergas, contra vergas, cintas de amarração e pilaretes



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

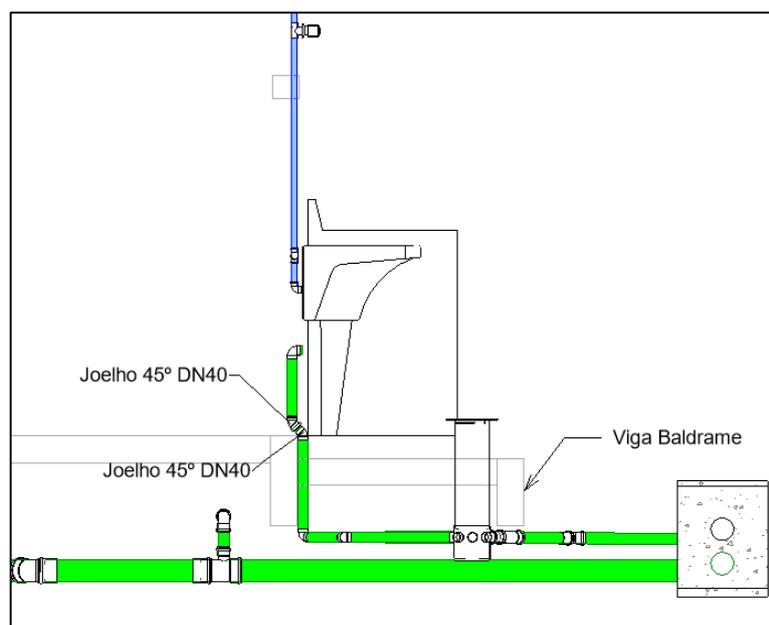
4.3 PROJETO HIDROSSANITÁRIO

Em continuidade ao estudo, realizou-se a modelagem do projeto hidrossanitário por meio do Revit®, com base no projeto existente em CAD. Com o projeto já existente e aprovado não houve a necessidade de realizar novamente os dimensionamentos, assim, buscou-se seguir o projeto conforme foi elaborado pelo engenheiro responsável.

Primeiramente, se iniciou a modelagem do sistema de água fria da edificação, a qual irá possuir uma caixa de água de 1000 litros, que irá distribuir para os banheiros, cozinha, área de festa e área de serviço.

Seguindo na elaboração do projeto sanitário, todas as tubulações horizontais foram posicionadas abaixo das vigas baldrames para evitar furar os elementos estruturais. Além disso, as tubulações verticais que interceptavam as vigas foram desviadas utilizando joelhos de 45°. Na Figura 9, a tubulação na cor azul representa a ligação de água fria no tanque de lavar roupas, localizada na área de serviço. A tubulação na cor verde simboliza a tubulação de esgoto vindo do banheiro, passando a baixo das vigas baldrames até se conectarem na caixa de inspeção.

Figura 9 - Desvio das tubulações pelas vigas baldrames

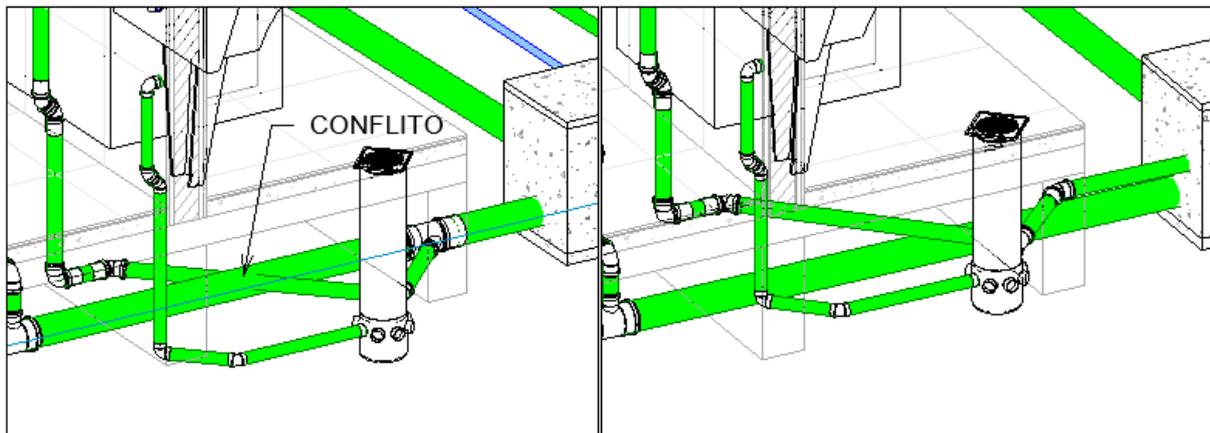


Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Modelagem E Compatibilização De Projetos De Uma Residência Unifamiliar Por Meio Da Metodologia Bim

Durante a elaboração da modelagem já foi possível encontrar incompatibilidades de projeto e fazer seu ajuste, conforme mostrado na Figura 10. Pode-se observar que a primeira imagem possui duas tubulações se colidindo e na segunda imagem, após a alteração dessa incompatibilidade, não há colisão. Para solucionar essa colisão, a caixa sifonada foi ligada direto na caixa de inspeção, fazendo com que a sua altura diminua e a tubulação que estava colidindo passe a cima da outra.

Figura 10 - a) Colisão entre tubulações b) Ajuste da incompatibilidade



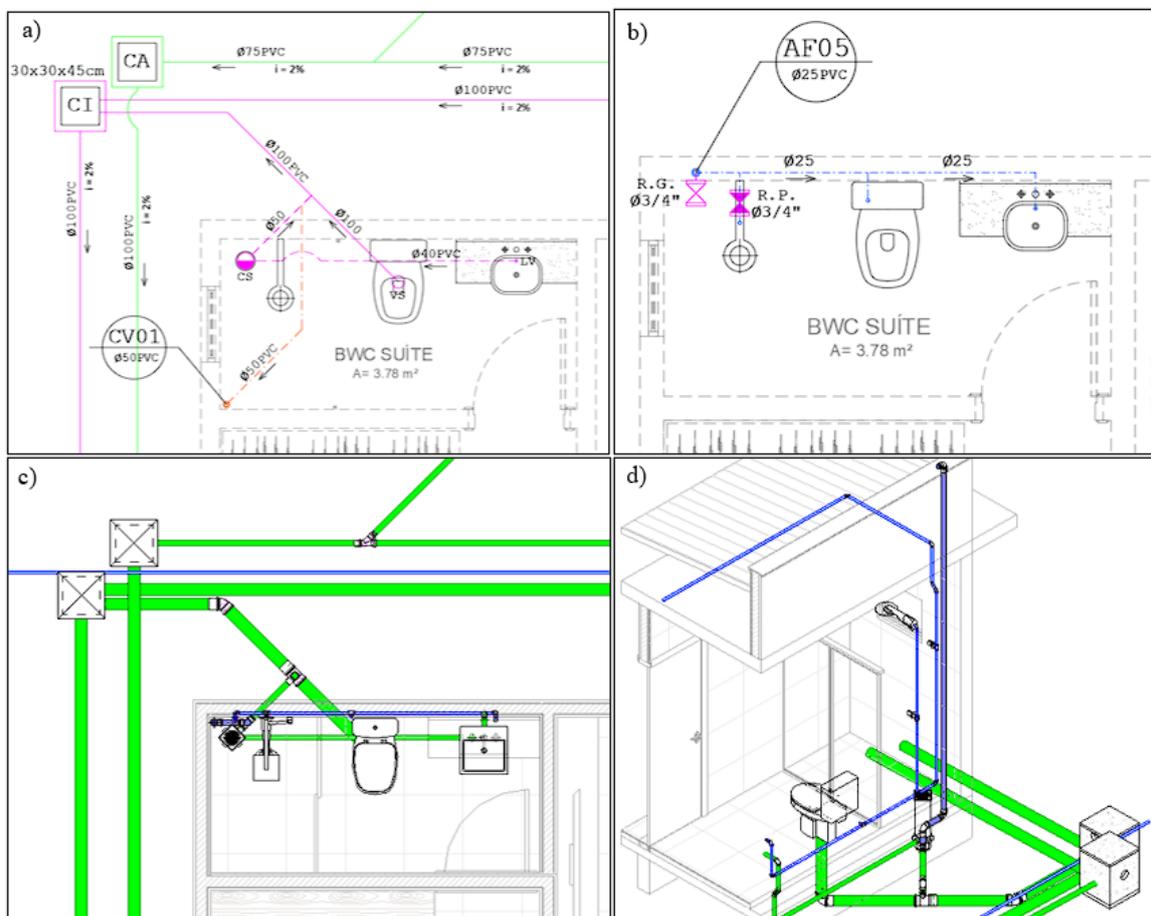
Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Na Figura 11 pode ser observado um comparativo no banheiro da suíte na edificação entre a) o projeto sanitário elaborado no CAD, b) projeto de água fria elaborado no CAD, c) a planta baixa do projeto hidrossanitário no Revit® e d) uma vista 3D desses mesmos sistemas modelados no Revit®. No sistema sanitário em CAD, as linhas na cor magenta representam as ligações de esgoto, no banheiro elas seguem até uma caixa de inspeção (CI), em tubos de 10cm de diâmetro, que depois vão para a fossa e filtro, as linhas verdes simbolizam o sistema de drenagem da água pluvial, sendo que elas estão conectadas por caixas de areia (CA). No sistema de água fria elaborado no CAD, as linhas azuis representam a ligação dos pontos de água nos respectivos aparelhos, foram utilizadas tubulações com diâmetros de 2,5cm.

Modelagem E Compatibilização De Projetos De Uma Residência Unifamiliar Por Meio Da Metodologia Bim

A modelagem no Revit® é possível visualizar as conexões detalhadas que são utilizadas no projeto, as tubulações de PVC Série Normal estão indicadas na cor verde e representam o sistema sanitário e de água pluvial, as tubulações na cor azul é o sistema de água fria, e, por fim, a tubulação na cor roxa, simboliza a coluna de ventilação do banheiro.

Figura 11 - a) Sistema sanitário em CAD; b) Sistema de água fria em CAD; c) Sistema sanitário e de água fria no Revit®; d) Vista 3D dos elementos



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

4.4 PROJETO ELÉTRICO

Por fim, realizou-se a modelagem do projeto elétrico, onde todos os elementos elétricos foram lançados e posicionados conforme o projeto original em CAD. Primeiramente foram inseridos todos pontos de luz da edificação, posteriormente

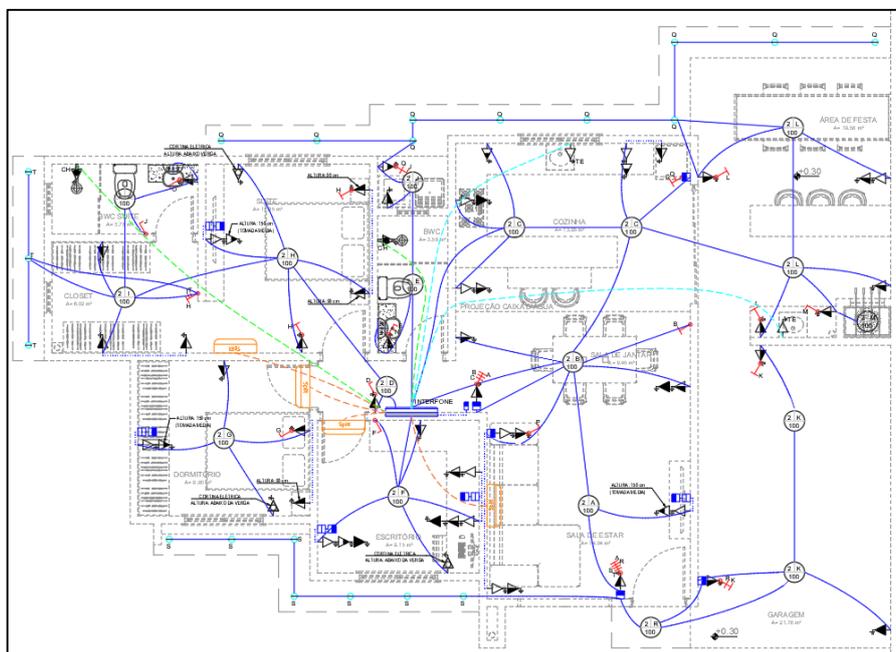
Modelagem E Compatibilização De Projetos De Uma Residência Unifamiliar Por Meio Da Metodologia Bim

foram colocados os pontos elétricos de acordo com suas respectivas características, como por exemplo, caixas 4x4" ou 4x2", interruptores simples ou paralelo, tomadas baixas, médias ou altas, conjunto de tomadas com dois pontos, tomadas de uso específico, dentro outras características.

Foram distribuídos os eletrodutos no projeto, sendo que as mangueiras de cor amarela caracterizam a passagem deles pelas paredes. Já os eletrodutos na cor laranja representam a distribuição deles pela laje por possuírem uma resistência maior.

A Figura 12 representa a planta baixa do projeto elétrico original da edificação, já a Figura 13 mostra o projeto realizado no Revit®, ressaltando que as tomadas, interruptores e afins não foram identificados conforme seu respectivo circuito e/ou características, ou seja, foi realizada a modelagem 3D que representa a infraestrutura da construção para a futura passagem de condutores.

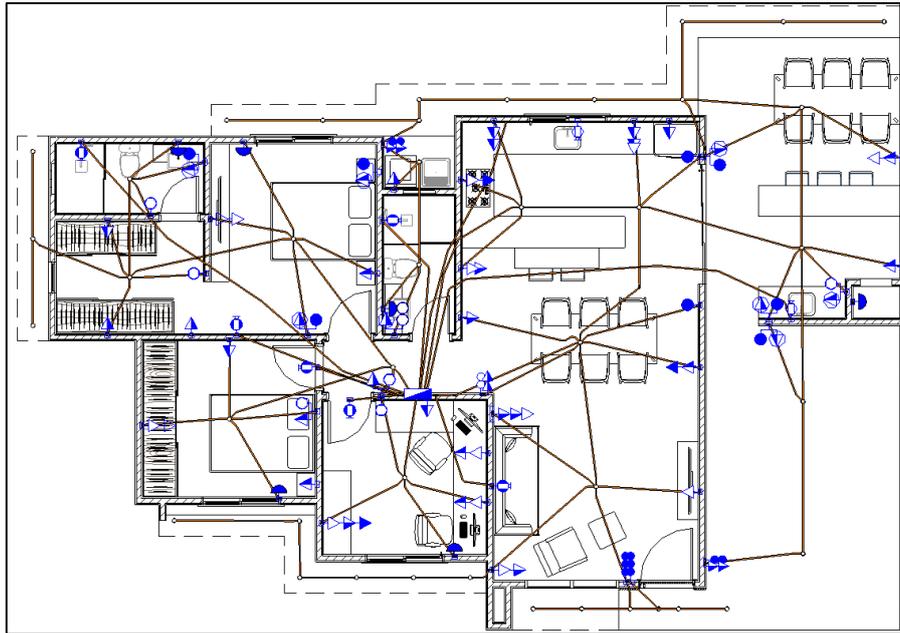
Figura 12 - Planta baixa do projeto elétrico em CAD



Fonte: Acervo da Construtora (2022).

Figura 13 - Planta baixa do projeto elétrico no Revit®

Modelagem E Compatibilização De Projetos De Uma Residência Unifamiliar Por Meio Da Metodologia Bim

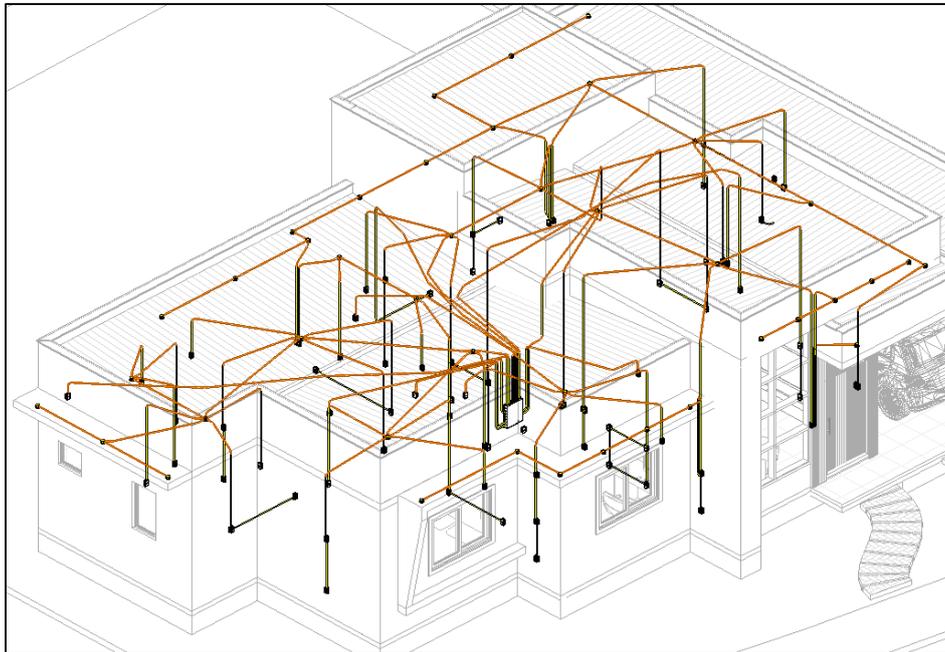


Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

A tomada de uso específico da torneira elétrica está localizada abaixo da janela, fazendo com que seja necessário desviar por ela, e, posteriormente seguir até o quadro geral. Também é possível observar a distribuição das cores dos eletrodutos, sendo que a cor amarela está sendo distribuído pelas paredes e a laranja pelo teto.

Por fim, a modelagem 3D final do projeto elétrico de toda a residência pode ser observada na Figura 14.

Figura 14 - Modelagem 3D do projeto elétrico



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

4.5 COMPATIBILIZAÇÃO DOS PROJETOS

A compatibilização entre os projetos se iniciou com a exportação de todos os projetos elaborados para o software Autodesk Navisworks Manage® 2022, o qual irá contemplar todos os projetos em um único modelo. Posteriormente, foi realizado a busca de interferências entre os projetos através da ferramenta “Clash Detective”.

Para que todos os projetos possam ser conflitados entre si, foi montada a matriz representada como auxílio para que não haja nenhum equívoco durante as conferências. Foi adotado a abreviação “ARQ” para o projeto arquitetônico, “EST para o projeto estrutural, “HS” para o projeto hidrossanitário e “ELE” para o projeto elétrico. Cada retângulo na cor “verde” representa uma verificação realizada pelo software, totalizando dez verificações.

Após realizar os testes propostos, pode-se verificar que o software detecta uma grande quantidade de conflitos. Na Tabela 1 encontra-se as incompatibilidades encontradas pelo software, onde a coluna “Name” indica as verificações entre os

Modelagem E Compatibilização De Projetos De Uma Residência Unifamiliar Por Meio Da Metodologia Bim

projetos, conforme o checklist proposto, e a coluna “Clashes” indica as quantidades de colisões entre as disciplinas testadas. Assim, por exemplo, a verificação entre os elementos do projeto arquitetônico (ARQ – ARQ) resultou em 41 conflitos, a verificação entre o projeto arquitetônico e estrutural (ARQ – EST) resultou em 589 conflitos e assim por diante.

Tabela 1 - Incompatibilidades dos projetos geradas pelo Navisworks®

Name	Status	Clashes
ARQ - ARQ	Done	41
ARQ - EST	Done	589
ARQ - HS	Done	128
ARQ - ELE	Done	170
EST - EST	Done	139
EST - HS	Done	36
EST - ELE	Done	342
HS - HS	Done	15
HS - ELE	Done	1
ELE - ELE	Done	17

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Neste contexto, a maioria dos conflitos são irrelevantes para o projeto, pois a grande parte das interferências identificadas trata-se de colisões por conta da modelagem, como, por exemplo, a colisão entre paredes e vigas, janelas e paredes, conduítes e vigas, dentre outros. Desta forma, para evitar que este tipo de incompatibilidade ocorra é possível selecionar os elementos que serão verificados pelo software, ou seja, foi necessário selecionar apenas os itens que resultariam em interferências relevantes caso ocorresse alguma.

Os testes de colisões entre o projeto arquitetônico e as demais disciplinas foram repetidos novamente, porém com novas condições. As novas condições adotadas para o projeto arquitetônico foram apenas as portas, janelas e telhados da edificação.

Além do projeto arquitetônico, houve uma grande quantidade de interferências entre o projeto estrutural e elétrico também devido ao fato de que os conduítes na sua maior parte estão dentro da laje e passam pelas vigas até os pontos elétricos,

Modelagem E Compatibilização De Projetos De Uma Residência Unifamiliar Por Meio Da Metodologia Bim

acarretando em várias colisões entre os projetos. Diante disso, as novas condições de testes entre as disciplinas foram selecionados apenas os pilares, vergas e contra vergas para o projeto estrutural e para o elétrico considerou-se o projeto completo.

Desta forma, os novos testes realizados e seus respectivos resultados se encontram na Tabela 2 na qual os testes que possuem a simbologia “_NOVO” são as novas incompatibilidades geradas pelo Navisworks®. As conferências de incompatibilidades entre os projetos hidrossanitário com elétrico, arquitetônico com hidrossanitário e o projeto arquitetônico com os elementos contido nele mesmo resultaram em nenhum conflito.

Tabela 2 - Novas incompatibilidades dos projetos geradas pelo Navisworks®

Name	Status	Clashes
EST - EST	Done	139
EST - HS	Done	36
HS - HS	Done	15
HS - ELE	New	0
ELE - ELE	Done	17
ARQ_NOVO - EST	Done	7
ARQ_NOVO - ARQ	Done	0
ARQ_NOVO - HS	New	0
ARQ_NOVO - ELE	Done	1
EST_NOVO - ELE	Done	9

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

4.5.1 Incompatibilidades entre elementos do projeto estrutural e do projeto elétrico

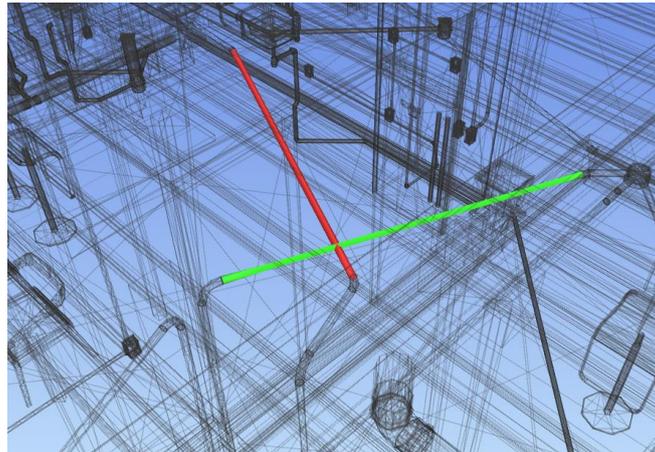
As interferências encontradas pelo software entre os elementos contidos dentro do projeto estrutural resultaram em 139 conflitos, sendo que todos eles foram considerados irrelevantes para o canteiro de obras devido ao fato de que se tratam de colisões entre elementos por conta da modelagem.

Os conflitos entre elementos do projeto elétrico resultaram em 17 conflitos gerados pelo software, todos foram considerados irrelevantes para execução da obra.

Modelagem E Compatibilização De Projetos De Uma Residência Unifamiliar Por Meio Da Metodologia Bim

Foram identificados conflitos entre as mangueiras elétricas e a laje. Na Figura 15 pode ser observado um exemplo de conflito irrelevante, o na qual pode ser resolvido na obra com o desvio de um eletroduto sobre o outro.

Figura 15 - Conflito entre dois eletrodutos



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

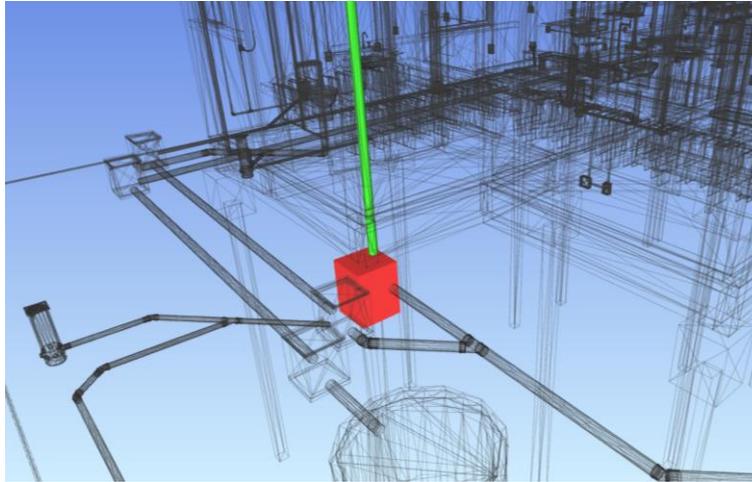
4.5.2 Incompatibilidades entre o projeto estrutural e hidrossanitário

Os testes entre o projeto estrutural e hidrossanitário resultaram em 36 conflitos. Dentre os quais, 15 correspondem a furos para serem realizados nas lajes para passagem das tubulações e dois representam conflitos relevantes para o projeto, sendo eles a colisão de tubulações nos blocos estruturais.

Na figura 16 é apresentado o conflito entre a tubulação de água pluvial, destacado em verde, e o bloco estrutural, em vermelho.

Modelagem E Compatibilização De Projetos De Uma Residência Unifamiliar Por Meio Da Metodologia Bim

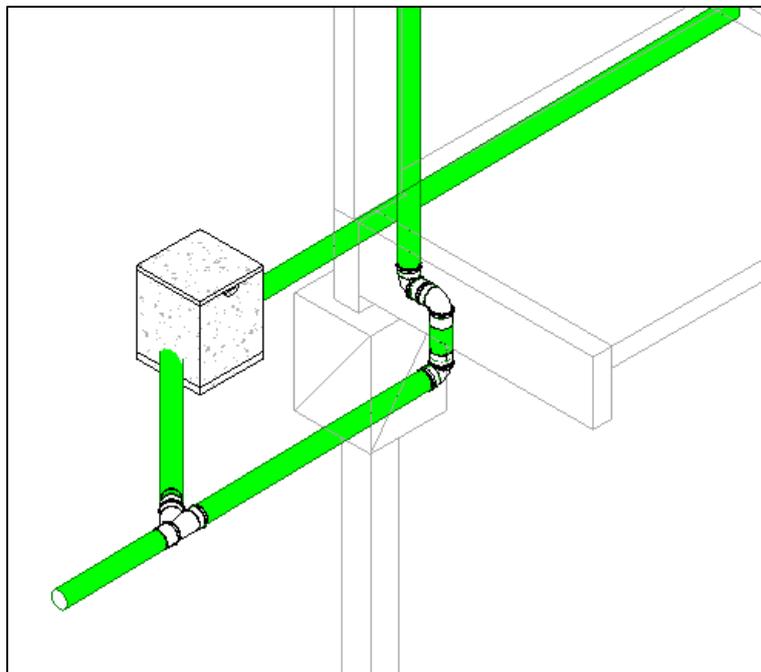
Figura 16 - Interferência entre bloco estrutural e tubulação de água pluvial



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Desta forma, a resolução da colisão entre a tabulação de água pluvial e o bloco estrutural pode ser observado na Figura 17, onde foi realizado o desvio da tubulação ao redor do bloco.

Figura 17 - Solução do conflito entre o bloco estrutural e tubulação de água pluvial



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

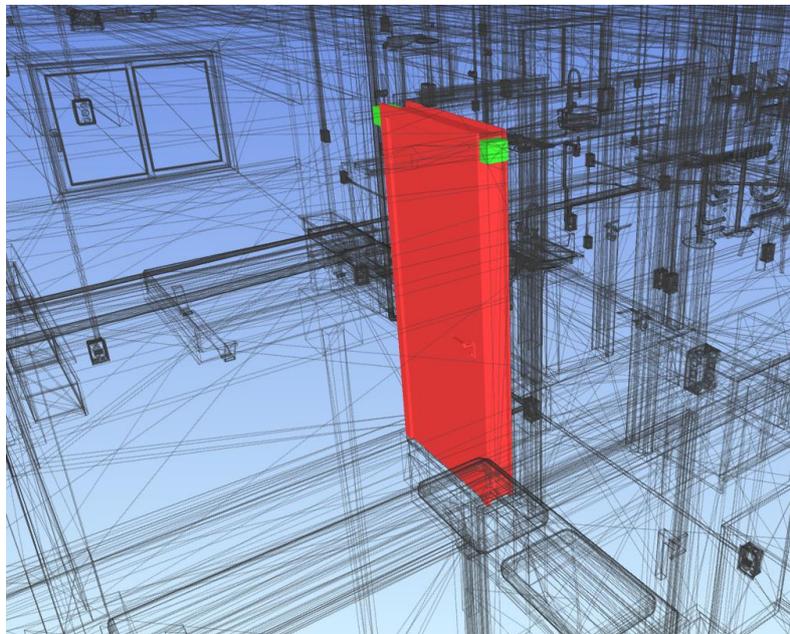
4.5.3 Incompatibilidades entre os elementos do projeto hidrossanitário

Foram encontrados 15 conflitos no teste realizado entre os elementos contidos no projeto hidrossanitário, na qual apenas um conflito foi considerado relevante, sendo ele a colisão entre a caixa de inspeção com a tubulação da água fria. A solução desse conflito pode ser resolvida durante a execução dessa etapa na obra, pois apenas alguns centímetros se colidem com a caixa de inspeção.

4.5.4 Incompatibilidades entre o projeto arquitetônico e estrutural

Entre o projeto arquitetônico e o projeto estrutural foram identificados 7 conflitos, sendo necessário a resolução de todos eles para a execução da obra. Todos os conflitos encontrados são das portas colidindo com as vergas do projeto estrutural, conforme pode ser observado na Figura 18.

Figura 18 - Conflito entre verga e porta

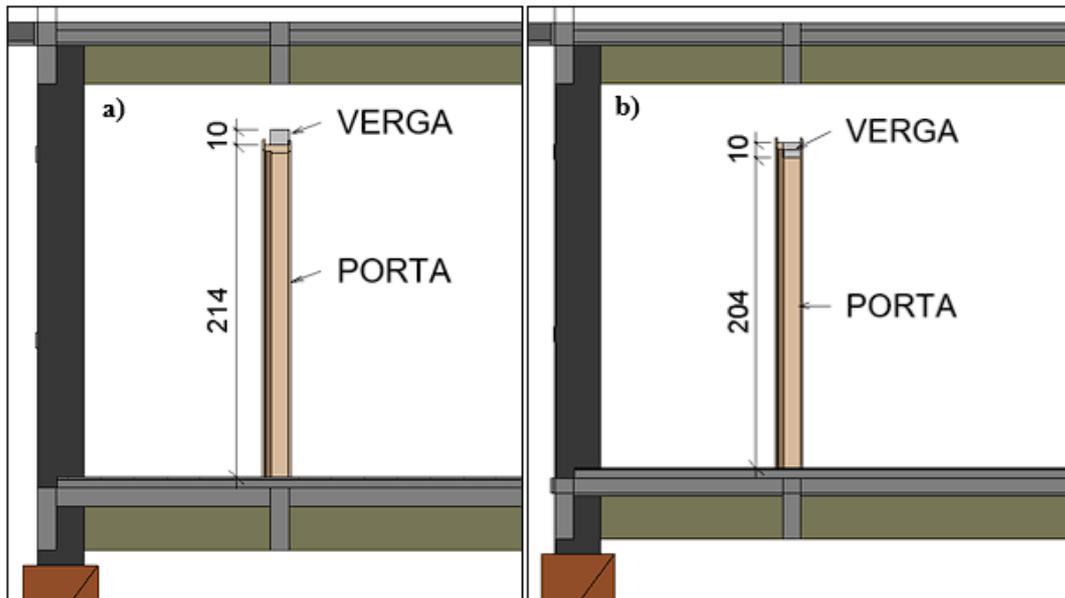


Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Modelagem E Compatibilização De Projetos De Uma Residência Unifamiliar Por Meio Da Metodologia Bim

Na Figura 19 pode ser observado a solução destes conflitos, sendo a) a solução da incompatibilidade com o deslocamento da verga 10cm para cima, evitando o conflito com a porta e b) a colisão entre a verga e a porta antes da alteração.

Figura 19 - a) Solução da incompatibilidade entre a verga e a porta b) Interferência entre a verga e a porta



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

4.5.5 Incompatibilidades entre o projeto arquitetônico e elétrico

O teste entre o projeto arquitetônico e elétrico resultou em apenas uma incompatibilidade, sendo ela a colisão entre uma caixa de luz e a janela. A sua solução pode ser resolvida apenas deslocando a caixa de luz 15 cm para o lado esquerdo, tirando a sobreposição entre os elementos.

4.5.6 Incompatibilidades entre o projeto estrutural e elétrico

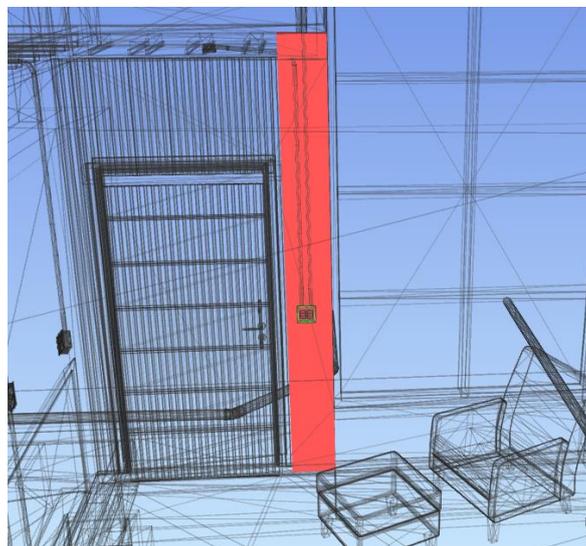
Por fim, a busca de conflitos entre o projeto estrutural e elétrico procedeu com 9 incompatibilidades encontradas. Dentre as incompatibilidades registradas três

Modelagem E Compatibilização De Projetos De Uma Residência Unifamiliar Por Meio Da Metodologia Bim

apresentaram serem importantes para a execução do empreendimento. O primeiro trata-se de um conflito entre uma caixa 4x4" e o pilar entre a porta de entrada e a janela da sala de estar da casa, indicada na Figura 20.

Primeiramente, a incompatibilidade deve ser verificada com o engenheiro estrutural se é permitido a instalação da caixa de luz no pilar sem causar patologias ao longo dos anos, se permitido, a colisão é registrada e solucionado durante a execução. Nesse caso, a caixa de luz e os eletrodutos devem ser instalados no pilar antes da concretagem do mesmo.

Figura 20 - Conflito entre caixa de luz e pilar



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Os outros dois conflitos registrados precisam ser alterados e resolvidos no projeto, que são: uma caixa de luz em um pilar, e a passagem de um eletroduto por outro pilar.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesse trabalho foi possível realizar a modelagem e a compatibilização dos projetos arquitetônico, estrutural, hidrossanitário e elétrico de uma residência unifamiliar de 140,80 m² por meio da metodologia Modelagem da Informação da Construção (BIM).

Modelagem E Compatibilização De Projetos De Uma Residência Unifamiliar Por Meio Da Metodologia Bim

A utilização da metodologia BIM se mostrou vantajosa em vários aspectos, durante a modelagem já é possível visualizar todos os elementos em vistas distintas, realizar cortes e detalhamentos de forma rápida, aumentando assim a produtividade e facilitando alterações no projeto. A metodologia mostra ser benéfica para todas as pessoas envolvidas no projeto, desde o dono da obra até os construtores.

Com uma ferramenta ligada a banco de dados é possível estudar os custos numa fase inicial do projeto de forma rápida, buscando a melhor solução. Também é possível tornar a extração de quantitativos mais precisas e rápidas, diminuindo significativamente o tempo nos processos de levantamentos de materiais e de orçamentação.

A modelagem 3D dos projetos arquitetônico, estrutural, hidrossanitário e elétrico no Revit®, possibilitou representar virtualmente a edificação e identificar todos os elementos 3D, conforme será executado na obra, além de possibilitar relacionar os conceitos aprendidos nas disciplinas de estruturas, hidráulica, instalações hidrossanitárias, e instalações elétricas no curso de Engenharia Civil da UNIFE.

A modelagem também possibilitou a detecção de incompatibilidades na segunda etapa permitindo que fossem corrigidas. O processo de compatibilização através do software Navisworks® mostrou ser ágil por detectar automaticamente todos conflitos geométricos presentes nas disciplinas modeladas, porém para que o processo seja produtivo é necessário que se tenha uma maior qualificação profissional devido à complexidade do software, pois foram identificadas diversas interferências irrelevantes para o projeto, cabendo ao profissional responsável detectá-las.

Ao final foram identificados 13 conflitos relevantes nos testes realizados entre os projetos, e a solução dessas interferências foram alteradas facilmente no Revit®. A precisão na quantidade de incompatibilidades encontradas e dos quantitativos extraídos do Revit® está diretamente relacionada ao grau de detalhamento e a qualidade do modelo elaborado. Neste contexto, o conhecimento teórico do projeto e experiência prática dentro do canteiro de obras são essenciais para elaborar um projeto mais preciso para a execução.

É possível destacar que com essa metodologia, todos os detalhes podem ser elaborados e visualizados sem dificuldades, trazendo uma melhor interpretação do

Modelagem E Compatibilização De Projetos De Uma Residência Unifamiliar Por Meio Da Metodologia Bim

projeto. Ao ser entregue ao canteiro de obras de forma antecipada, o projeto compatibilizado evita erros que geram perdas de tempo durante a execução. Além disso, possibilita prever problemas antes da obra ser executada, e, como consequência, aumenta a produtividade dentro do canteiro de obras, reduzindo tempo e gastos. O levantamento de quantitativo torna a compra de materiais mais assertiva e diminui os gastos com desperdícios.

REFERÊNCIAS

ANUÁRIO BIM DE SANTA CATARINA. **Anuário BIM Infraestrutura de Santa Catarina**. 2022. Disponível em: <http://conexaobim.com.br/anuario-bim-sc/>. Acesso em: 02 jun. 2022.

AUTODESK. **Digital Transformation: The Future of Connected Construction**. 2020. Disponível em: http://constructioncloud.autodesk.com/rs/572-JSV-775/images/Autodesk-IDC-Digital%20Transformation_The-Future-of-Connected-Construction.pdf. Acesso em: 25 maio 2022.

AUTODESK. **Introdução ao uso do BIM em projetos de edificações**. 2017. Disponível em: <https://damassets.autodesk.net/content/dam/autodesk/www/campaigns/bim/autodesk-ebook-bim-getting-started-guide-bldgs-pt-br.pdf>. Acesso em: 15 maio 2022.

BARBOSA, Ana Cláudia Monteiro. **A Metodologia BIM 4D e BIM 5D Aplicada a um Caso Prático: Construção de uma ETAR na Argélia**. 2014. Instituto Superior de Engenharia do Porto – ISEP. Mestrado em Engenharia Civil. 2014.

BLANCO, Mirian. **Vantagens de negócio**: saiba o que as empresas têm a ganhar ao adotar a modelagem da construção para empreendimentos residenciais e comerciais. PINIWeb: Revista Construção Mercado - negócios de incorporação e construção. Ed. 115, fevereiro de 2011.

Modelagem E Compatibilização De Projetos De Uma Residência Unifamiliar Por Meio Da Metodologia Bim

CAMPESTRINI, Tiago Francisco *et al.* **Entendendo BIM: uma visão do projeto de construção sob o foco da informação.** 1 ed. Curitiba - PR, 2015.

CHELSON, Douglas E. **The Effects of Building Information Modeling on Construction Site Productivity.** 2010. Dissertation (Doctor of Philosophy) - the Faculty of the Graduate School of the University of Maryland, College Park, Maryland, 2010.

COSTA, Eveline Nunes. **Avaliação da Metodologia BIM para a compatibilização de projetos.** 2013. 84 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2013.

CRESWELL, John W. **Investigação Qualitativa e Projeto de Pesquisa:** Escolhendo entre Cinco Abordagens. Penso Editora, 2014.

DALCI, Aliye. **An Investigation on Some Benefits of BIM Application.** 2014. Dissertation (Master of Science in Civil Engineering) – Eastern Mediterranean University, North Cyprus, 2014.

DE PAULA, Heber Martins *et al.* Mapeamento Sistemático de Referências do Uso do Bim na Compatibilização de Projetos na Construção Civil. **REEC - Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, Goiânia, v. 13, n. 1, 2017. DOI: 10.5216/reec.v13i1.45014. Disponível em: <https://www.revistas.ufg.br/reec/article/view/45014>. Acesso em: 11 jun. 2022.

DERITTI, Marco Deouro. **A Importância da Interoperabilidade dos Softwares BIM Utilizando Arquivos IFC.** 2017. Disponível em: <https://pt.linkedin.com/pulse/bim-interoperabilidade-e-industry-foundation-classes-ifc-deritti>. Acesso em: 13 maio 2022.

Modelagem E Compatibilização De Projetos De Uma Residência Unifamiliar Por Meio Da Metodologia Bim

EASTMAN, Chuck; TEICHOLZ, Paul; SACKS, Rafael; LISTON, Kathleen. **BIM Handbook**: a guide to Building Information Modeling for owners, managers, designers, engineers, and contractors. New Jersey: John Wiley & Sons, 2ª ed., 2011.

EASTMAN, Chuck; TEICHOLZ, Paul; SACKS, Rafael; LISTON, Kathleen. **Manual de Bim**: Uma Guia de Modelagem da Informação da Construção para Arquitetos, Engenheiros, Construtores e Incorporadores. 1ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2014. 483p.

FARIA, Renato. **Construção Integrada**. Techne. São Paulo, n. 127, p. 44-49, outubro 2007.

GEE, Christine. **The Influence of Building Information Modelling on the Quantity Surveying Profession**. 2010. 82 f. Thesis (Bachelor's degree) - Faculty of Engineering, Built Environment and Information Technology, University of Pretoria, South Africa, 2010.

GIEL, Brittany k. **Return of Investment Analysis of Building Information Modeling in Construction**. 2009. Thesis (Master of Science in Building Construction) - University of Florida, Florida, 2009.

GOES, Renata Heloisa; SANTOS, Eduardo Toledo. **Compatibilização de projetos**: comparação entre o BIM e o CAD 2D. In: TIC2011: 5º Encontro de Tecnologia da Informação e Comunicação da Construção Civil. Salvador, 2011.

GRAZIANO, F. P. **Compatibilização de Projetos**. 2003. 70 p. Dissertação (Mestrado Profissional) - Instituto de Pesquisa Tecnológica do Estado de São Paulo, São Paulo, 2003.

JERNIGAN, Finith. **Big BIM little BIM**: the practical approach to Building Information Modeling integrated practice done the right way! Salisbury, 2nd ed. 2008.

Modelagem E Compatibilização De Projetos De Uma Residência Unifamiliar Por Meio Da Metodologia Bim

JOANNIDES, Maya M. **Implementation of Building Information Modeling (BIM) into existing architecture and construction educational curriculum.** 2011. 88 f. Thesis (Master of Science in Building Construction) - University of Florida, Florida, 2011.

LIMA, Claudia Campo. **Autodesk Revit Architecture** 2014. São Paulo: Érica, 2014.

MONTEIRO, Ana.Carolina Nogueira. et al. **Compatibilização de Projetos Na Construção Civil:** Importância, Métodos e Ferramentas. Revista Campo do Saber, v. 3, p 53-77, 2017.

PAPADOPOULOS, Nicolas Alexandros. **Avaliação da metodologia BIM através da modelagem paramétrica 3D de um projeto convencional.** 2014. 124 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Pontifícia Universidade Católica, Rio de Janeiro, 2014.

SANTOS, Altair. **Compatibilizar projetos reduz custo da obra em até 10%.** 2013. Disponível em: <https://www.cimentoitambe.com.br/massa-cinzenta/compatibilizar-projetos-reduz-custo-da-obra-em-ate-10/#:~:text=Compatibilizar%20projetos%20requer%20investimentos%20que,desperd%C3%ADcio%20e%20elimina%C3%A7%C3%A3o%20do%20retrabalho.> . Acesso em: 21 mar. 2022.

SCHMITT, Miguel Geovani Meereis. **Compatibilização de projetos com base na metodologia BIM.** Orientador: Adriana Gindri Salbego. 72p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Pampa, Curso de Engenharia Civil, Alegrete, 2021.

Modelagem E Compatibilização De Projetos De Uma Residência Unifamiliar Por Meio Da Metodologia Bim

SIENGE. **BIM no mundo: a revolução mundial da construção inteligente.** 2020.

Disponível em: <https://www.sienge.com.br/blog/bim-no-mundo/>. Acesso em: 03 jun. 2022.

SIENGE. **Entenda todas as dimensões do BIM.** 2020. Disponível em:

[https://www.sienge.com.br/blog/dimensoes-do-](https://www.sienge.com.br/blog/dimensoes-do-bim/#:~:text=As%20dimens%C3%B5es%20da%20metodologia%20BIM,)%207D%20%E2%80%93%20gest%C3%A3o%20de%20instala%C3%A7%C3%B5es..)

[bim/#:~:text=As%20dimens%C3%B5es%20da%20metodologia%20BIM,\)%207D%20%E2%80%93%20gest%C3%A3o%20de%20instala%C3%A7%C3%B5es..](https://www.sienge.com.br/blog/dimensoes-do-bim/#:~:text=As%20dimens%C3%B5es%20da%20metodologia%20BIM,)%207D%20%E2%80%93%20gest%C3%A3o%20de%20instala%C3%A7%C3%B5es..) Acesso em: 03 maio 2022.

SOUZA DE PASSOS, Paulo Rafael; LIMA, Izabel Maria. O uso da plataforma BIM na compatibilização de projetos da construção civil. **Tecno-Lógica**, v. 25, n. 2, p. 227-235, 5 jul. 2021.

TARRAFA, Diogo Gonçalo Pinto. **Aplicabilidade prática do conceito BIM em projetos de estruturas.** 2012. Dissertação (Mestrado). FCTUC – Faculdade de Ciências e Tecnologia Universidade de Coimbra – Departamento de Engenharia Civil. Coimbra, 2012.

VASCONCELOS, Alexandre de Almeida. **Análise de um processo de projeto industrial de mineração com foco na validação para compatibilização dos modelos BIM (Building Information Modeling).** 2019. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2019.

OCORRÊNCIAS DE TRÂNSITO EM GUABIRUBA: COMPILAÇÃO, DIAGNÓSTICO E PROGNÓSTICO DE DADOS

Larissa Ignês Boos¹

Anderson Buss²

Débora Carolina Silveira Battaglini Barroero³

RESUMO: A segurança no trânsito é um direito de todos e cabe aos órgãos e entidades componentes do Sistema Nacional de Trânsito garantir esse direito. Em países em desenvolvimento como o Brasil, uma das características dos acidentes de trânsito é que a maioria das vítimas são pedestres e ciclistas, que são os participantes mais vulneráveis do trânsito. Estudos e medidas efetivas são necessárias para proteger essas vidas, e esta pesquisa visa subsidiar a análise e o mapeamento de dados de acidentes de trânsito que já são registrados pelos órgãos competentes. Políticas públicas para a melhoria da segurança do espaço urbano, bem como da conscientização de trânsito, na maioria das vezes não são efetivas pela ausência de dados e estatísticas. As ocorrências de trânsito são registradas pelo Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina (CBMSC) e Polícia Militar (PM) na cidade de Guabiruba/SC, porém muitas vezes os registros se perdem por não haver a compilação e diagnóstico desses dados, para que possam ser comparados ao decorrer dos anos (série histórica) e servir de base para a tomada de decisões relacionadas à segurança no trânsito e intervenções urbanas. O trabalho a ser desenvolvido será de natureza descritiva e utilizará dados quantitativos registrados pelos órgãos oficiais (Corpo de Bombeiros e Polícia Militar) durante o ano de 2019. A pesquisa descritiva utiliza técnicas padronizadas de coleta de dados e tem como objetivo principal a descrição das características de um determinado fenômeno ou o estabelecimento de relações entre variáveis. Através dos dados coletados e compilados no presente estudo, permitiu-se a elaboração de uma análise aprofundada em relação aos valores obtidos, formulados em forma de tabelas e gráficos. A fim de demonstrar a real situação em relação ao número de acidentes ocorridos na cidade de Guabiruba. Após a análise do material elaborado, destacou-se os resultados e conclusões obtidas através do presente estudo.

Palavras-chave: Ocorrências de Trânsito; Mobilidade; Segurança.

¹ Acadêmica do Curso de Engenharia Civil da UNIFE. *E-mail:* larissa.boos@unifebe.edu.br

² Orientador. Prof. Esp. Arquiteto e Urbanista e Eng. Civil. *E-mail:* anderson.buss@unifebe.edu.br

³ Colaboradora. Esp. Arquiteta e Urbanista. *E-mail:* dtoplanejamento@guabiruba.sc.gov.br

1 INTRODUÇÃO

A segurança no trânsito é um direito de todos e cabe aos órgãos e entidades componentes do Sistema Nacional de Trânsito, conforme suas competências, garantir esse direito (BRASIL, 1997).

Segundo Vasconcellos (2018, p. 110) “Em países em desenvolvimento como o Brasil, uma das características dos acidentes de trânsito é que a maioria das vítimas são pedestres e ciclistas, que são os participantes mais “vulneráveis no do trânsito”. Assim, podemos perceber que a segurança no trânsito não é tratada de forma igualitária para todos, devendo ser estudada em especial quanto às suas causas, que segundo técnicos e especialistas, raramente decorrem de uma causa única, mas sim em decorrência de duas ou três razões concomitantes, entre elas o ambiente inadequado de circulação e as condições da pista e sinalização (VASCONCELLOS, 2018, p. 110), itens estes que são de responsabilidade direta das autoridades competentes. Desta forma, estudos e medidas efetivas são necessários para proteger essas vidas. Esta pesquisa visa subsidiar a análise e o mapeamento dados de acidentes de trânsito que já são registrados pelos órgãos competentes, e desta forma disponibilizar para consulta de forma simples e fácil por todos os interessados, servindo também de base para a tomada de decisões relacionadas à segurança no trânsito e a intervenções urbanas.

Este trabalho desenvolve-se com base nos dados das ocorrências de trânsito registradas pelos órgãos competentes do município de Guabiruba/SC. A cidade situa-se no Médio Vale do Itajaí, emancipada no ano de 1962, possui uma extensão territorial de 173.272 Km² e uma população total estimada em 24.381 habitantes, correspondente a 0,33% da população do estado de Santa Catarina, conforme levantamentos realizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE no ano de 2020. De acordo com o Departamento Estadual de Trânsito do Estado de Santa Catarina - DETRAN/SC, o município conta com 17.994 veículos cadastrados, representando um percentual de 0,34% da frota de veículos registrados no estado. De acordo com essas informações, constata-se que a quantidade de veículos por habitante no município de Guabiruba/SC é de 0,74, praticamente igualado ao

número registrado no estado de Santa Catarina, que é de 0,73 veículos por habitante.

A demanda por informações referentes à evolução das ocorrências de trânsito e análise crítica dessas informações, pautada em dados, tornaram-se ainda mais necessárias devido as recentes parcerias firmadas entre o município de Guabiruba e sua Cidade co-irmã Karlsdorf – Neuthard (Alemanha). Onde ambas participam da 7ª fase do projeto “50 Parcerias Municipais para o clima” em prol do desenvolvimento de ações conjuntas para a mitigação e adaptação das mudanças climáticas e; da Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável, estabelecido pela ONU, que é um plano de ação global para que o planeta se torne mais sustentável e resiliente até o ano de 2030, através de 17 objetivos com 169 metas. Com isso a administração pública busca incentivar projetos relacionados ao desenvolvimento sustentável, além de colocar a temática da mobilidade urbana na pauta, com intenção também da elaboração de um plano de mobilidade urbana. Desta forma, este estudo tem também a intenção de contribuir com informações para estas ações de melhorias relacionadas ao trânsito e urbanização da cidade, além de complementar a base de dados do município quanto às ocorrências de trânsito.

1.1 Objetivo geral:

Realizar análise de dados sobre ocorrências de trânsito em Guabiruba/SC do ano de 2019, para subsidiar comparativos com histórico de ocorrências de anos anteriores e propostas de futuros planos de ações relacionados ao trânsito, mobilidade e modificações urbanas no Município.

1.2 Objetivos específicos:

1.2.1 Compilar e sistematizar os dados das ocorrências de trânsito da cidade de Guabiruba/SC (referentes ao ano de 2019);

1.2.2 Mapear os dados das ocorrências de trânsito da cidade de Guabiruba/SC (referentes ao ano de 2019), a partir da compilação e sistematização dos dados;

1.2.3 Diagnosticar os dados das ocorrências de trânsito da cidade de

Guabiruba/SC (referentes ao ano de 2019), a partir do mapeamento e da sistematização;

1.2.4 Analisar a evolução dos dados mapeados e diagnosticados, a partir de comparação com o histórico de ocorrências de anos anteriores;

1.2.5 Criar base de dados e série histórica a partir das informações obtidas, para subsidiar a tomada de decisões por parte dos técnicos responsáveis pelo planejamento urbano e pela mobilidade no Município de Guabiruba/SC;

1.2.6 Informar a população e demais órgãos interessados quanto aos dados e ocorrências de trânsito no Município de Guabiruba/SC.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

De acordo com a ABNT NBR 10697/2018, o conceito de acidente de trânsito pode ser definido como qualquer evento não previsto que resulte em algum dano ao veículo ou carga, ou lesões em pessoas ou animais, ao qual ao menos uma das partes esteja em movimento em uma via terrestre ou aérea aberta ao público. Quanto às definições de tipos de acidentes, estes podem ser classificados de acordo com suas consequências, fatores geradores, natureza de ocorrência ou caracterização das vítimas.

Rocha e Shor (2013) destacam que os acidentes de trânsito representam a principal causa de morte não natural em diversos locais do mundo, evidenciando um grave problema de saúde pública. Em um estudo realizado pelo Ministério da Saúde (2019), destacou-se um total de 485.015 óbitos específicos por lesões no trânsito no Brasil entre os anos de 2000 a 2016. Além dos óbitos, cabe ressaltar também que milhões de pessoas ficam feridas anualmente, ao qual os países necessitam gastar cerca de 1 a 2% de suas riquezas em despesas relacionadas a acidentes de trânsito. Quanto a origem dos altos índices de ocorrências de trânsito no Brasil, estes podem estar vinculados ao fato de que o brasileiro possui uma cultura de dispor do espaço público como sendo seu, e não como um espaço comum e compartilhado. Além disso, rotulou-se uma tradição de que o veículo automotor é visto como um instrumento de poder e não apenas como meio de

transporte. A aquisição demotocicletas também se tornou mais popular devido a facilidade de aquisição(financiamento) e agilidade no trânsito, principalmente em grandes metrópoles com trânsito mais lento (MENDONÇA, SILVA E CASTRO, 2017).

Litman (2008) aponta que a deficiência e precariedade do transporte público incentiva a utilização de veículos próprios como meio de locomoção, visto que o apresentam maior conforto e maior agilidade no tempo de viagem. Desta forma, destaca-se que em locais que se oferece transporte público de qualidade, com condições de viagem agradáveis (relacionadas a limpeza, conforto, veículos/áreas deespera seguros e custos acessíveis), muitos passageiros optam pelo serviço ao invésdo veículo próprio, desfrutando de menos estresse e mais descanso no tempo de viagem, podendo, inclusive, utilizar esse tempo de forma mais produtiva.

Conforme mencionado por Litman (2014), em locais que se costuma investir em transporte público de qualidade tendem a aumentar a segurança em viagens de trânsito em diversos fatores, sendo eles: prestação de serviços de transporte de boa qualidade, condições de caminhada e ciclismo seguras e confortáveis, redução das velocidades de tráfego, rede rodoviária mais conectada, maior gestão da demanda detransporte, entre outros. Estes fatores tendem a reduzir as taxas de acidentes de diversas maneiras. Por exemplo, diminuindo a velocidade do trânsito reduz-se a gravidade dos acidentes, e conseqüentemente diminuem os gastos públicos relacionados aos acidentes de trânsito, podendo investir estes recursos em melhorias nas condições urbanas. Como por exemplo, melhorias em calçadas, implantação de faixas de pedestres, ciclovias, entre outros, a fim de reduzir os riscos aos ciclistas, pedestres e demais usuários do trânsito.

Em um estudo realizado por Tischer (2019), voltado a avaliação dos acidentes de tráfego com pedestres e ciclistas no estado de Santa Catarina, concluiu-se que através do panorama da pesquisa, foi possível entender quais as tendências que mais influenciaram nos dados obtidos. Notou-se maior índice de acidentes envolvendo ciclistas e pedestres. Desta forma, o autor destaca que o acompanhamento dos acidentes de transporte torna-se fonte imprescindível para o desenvolvimento de políticas públicas e planejamento de segurança pública, resultando na diminuição devitimados quanto a sua classificação, neste caso os

ciclistas e pedestres.

Em relação aos registros das ocorrências de trânsito, Souza *et al.* (2008) também destacam a importância das pesquisas relacionadas a sistematização dos acidentes de trânsito, servindo como fonte de informação para auxiliar nas tomadas de decisões em relação às melhorias na segurança pública. Além disso, o autor comenta que os dados obtidos podem servir de material para diversos setores como educação e fiscalização no trânsito. O registro destes eventos de trânsito é realizado por diferentes sistemas administrativos e de gerenciamento, e geralmente as fontes de dados mais utilizadas estão relacionadas aos serviços de saúde.

Para se desenvolver uma sistematização de forma completa e eficaz, Souza *etal.* (2008) mencionam a importância de padronizar a forma de cadastramento desses dados. Por exemplo, deve-se manter os cadastros de logradouros atualizados, além de coletar os dados no momento dos acidentes, descrevendo a maior quantidade de informações relevantes possíveis, estas pré-determinadas pela padronização da fichade preenchimento no momento da ocorrência.

Quanto a forma de trabalho para essa sistematização, existem diversas técnicas de análise espacial a fim de resultar em ações didáticas e de elucidação de questões relacionadas a saúde pública. Entre estes métodos, destacam-se os sistemas de informação geográfica, aos quais permitem realizar análises de zoneamento e áreas de alta concentração de acidentes (SANTOS *et al.*, 2016 *apud* TISCHER 2019).

Com o crescimento populacional da cidade de Guabiruba/SC nos últimos anos (taxa média de 3,2% ao ano nos últimos 10 anos segundo o IBGE), é natural que aconteça um aumento na demanda de serviços, comércio, indústria, turismo e outros setores, ocasionando maior movimentação de pessoas na cidade e na região. Desta forma, as melhorias no meio urbano e ações voltadas ao trânsito devem acompanhar esse crescimento, visando um desenvolvimento sustentável para a cidade. Analisando ainda os diversos autores e tecnologias disponíveis e existentes nos tempos atuais, constatamos que a forma da coleta de dados e o registro das ocorrências estudadas podem ser aprimorados, permitindo assim melhores análises e conseqüentemente o planejamento de ações mais assertivas e que busquem a diminuição dos acidentes de trânsito.

2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A pesquisa apresentada é resultado de um estudo descritivo, de revisão bibliográfica, trabalho quantitativo e exploratório, baseado nos registros de acidentes de trânsito do município de Guabiruba/SC, armazenados no banco de dados do CBMSC e PM.

A fase inicial do estudo se resume na coleta de dados e informações referente aos acidentes de trânsito ocorridos na cidade de Guabiruba/SC, registrados no banco de dados dos órgãos competentes acima citados, responsáveis por realizar o registro das ocorrências. Em paralelo a esta etapa, buscou-se por autores e estudos similares, a fim de realizar a revisão bibliográfica e busca de técnicas de compilação de dados, com objetivo de chegar a resultados claros e objetivos, de acordo com a base de informações coletadas. Em seguida realizou-se a compilação dos dados, por meio de tabelas e gráficos, destacando as informações relevantes. Por fim, efetuou-se o diagnóstico dos dados obtidos, pontuando possíveis motivações para as situações encontradas e análise evolutiva dos números de ocorrências em relação aos anos anteriores.

3 ANÁLISE DOS RESULTADOS

A coleta de dados baseou-se na busca dos registros realizados pelo CBMSC e PM. Ambos os registros possuem peculiaridades em relação à quantidade e ao detalhamento dos dados coletados, consequência do modo de trabalho de cada órgão.

Os dados obtidos junto ao CBMSC possuem maior quantidade de informações: classificam a natureza da ocorrência, localizam por rua e bairro e registram a data da ocorrência, enquanto a PM apenas registra a ocorrência com sua localização por rua e bairro.

É importante ressaltar que a ocorrência só é registrada no CBMSC quando há vítima no local do acidente. Já o registro na PM ocorre sempre que o chamado é

efetuado, independentemente da existência de vítimas no local.

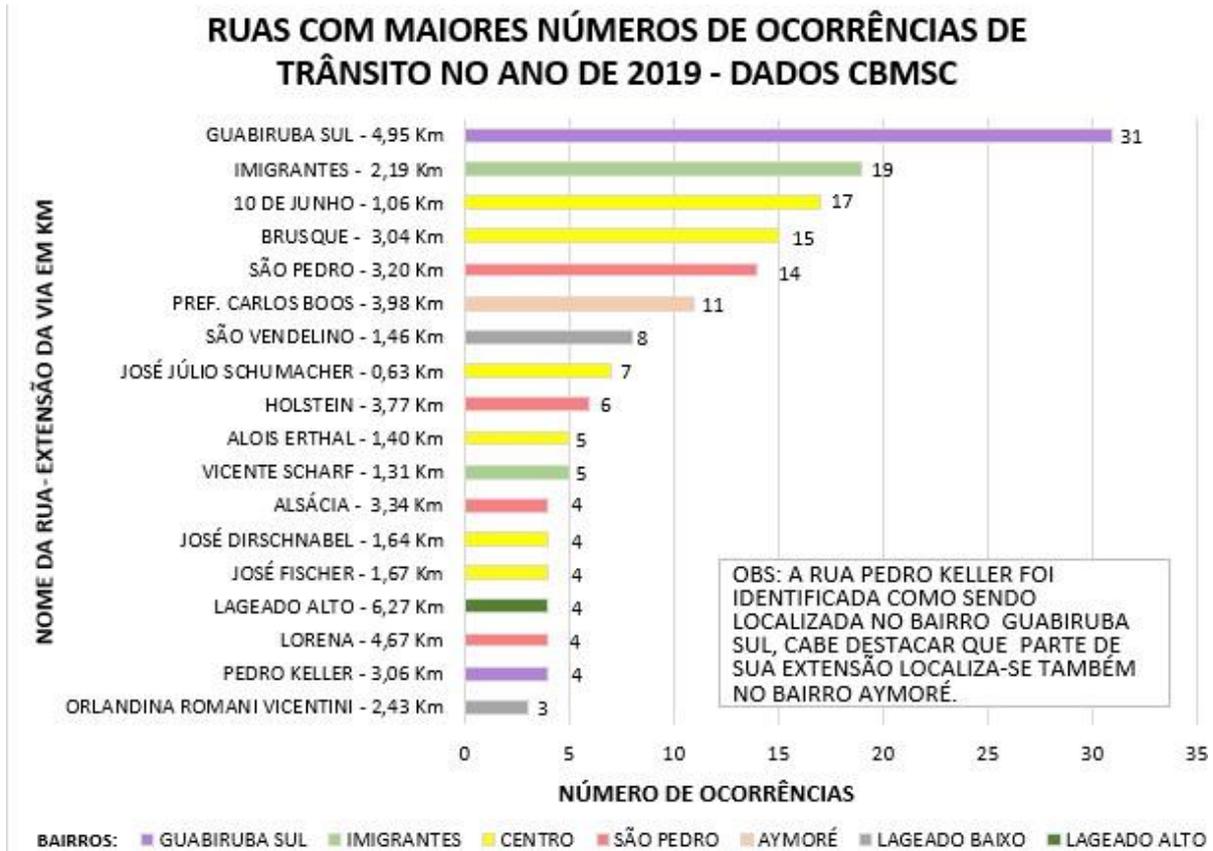
Os tópicos a seguir apresentam a análise e compilação realizada através dos dados coletados, sendo que apenas no tópico 4.1 realizou-se o comparativo entre ambas as fontes de dados. Nas demais análises, adotou-se como fonte principal apenas os dados coletados junto ao Corpo de Bombeiros, uma vez que esses dados foram registrados de forma mais completa do que os dados coletados pela PM, permitindo, assim, uma melhor análise dos mesmos.

3.1 VIAS COM MAIOR NÚMERO TOTAL DE OCORRÊNCIAS

Conforme levantamento realizado pelos profissionais do setor de planejamento urbano da Prefeitura de Guabiruba, o município possui cerca de 520 vias de trânsito, resultando em aproximadamente 237 Km de malha viária, destacando que algumas destas são caracterizadas como acessos particulares.

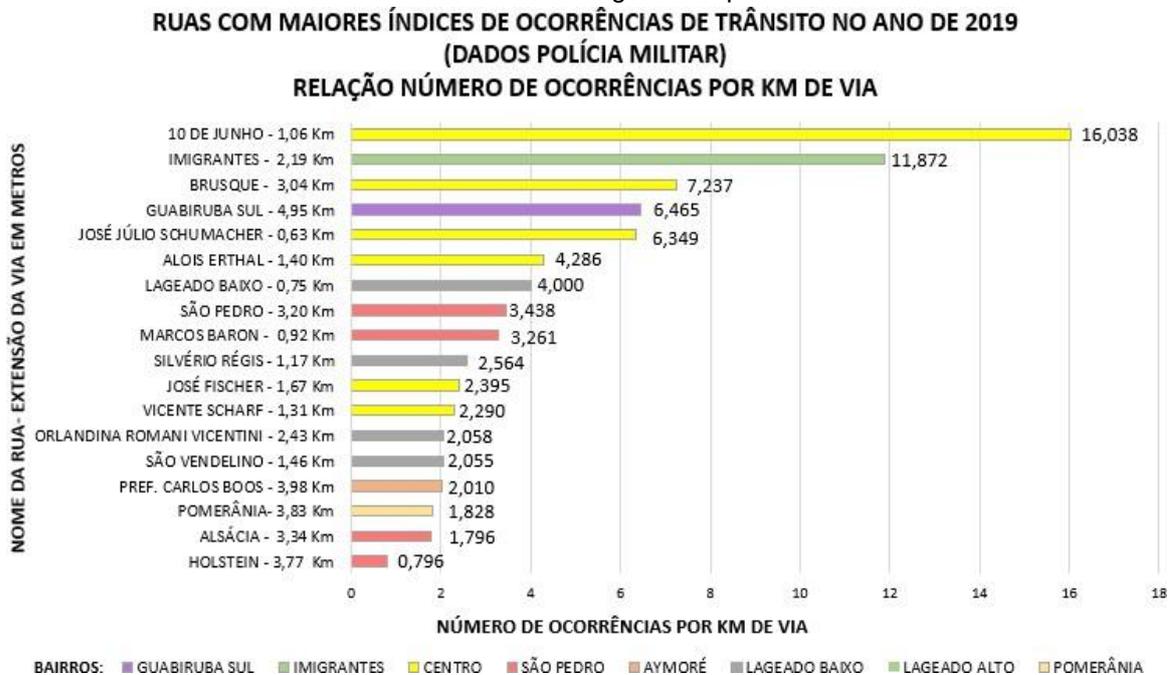
Deste total de vias, analisando os dados registradas pelo CBMSC e pela Polícia Militar (PM), 22 delas apresentaram pelo menos 3 ocorrências de trânsito no ano de 2019, sendo que 14 delas aparecem nos dados dos 2 órgãos, conforme demonstramos gráficos 01 e 02.

Gráfico 01. Ruas com maior número de ocorrências registradas pelo CBMSC em 2019.



Fonte: Os autores (2020) - Com base nos dados do CBMSC.

Gráfico 02. Ruas com maior número de ocorrências registradas pela PM em 2019.



Fonte: Os autores (2020) - Com base nos dados da PM.

Os gráficos do CBMSC e da PM apresentam algumas características em comum.

Apesar das totalizações possuírem valores diferentes, é possível observar que 14 das 22 ruas aparecem nos dois gráficos, e que as 6 vias com maior número de ocorrências são coincidentes nos registros dos dois órgãos (alterando apenas a 3ª a 4ª posição), concentrando 65% e 70% dos registros respectivamente.

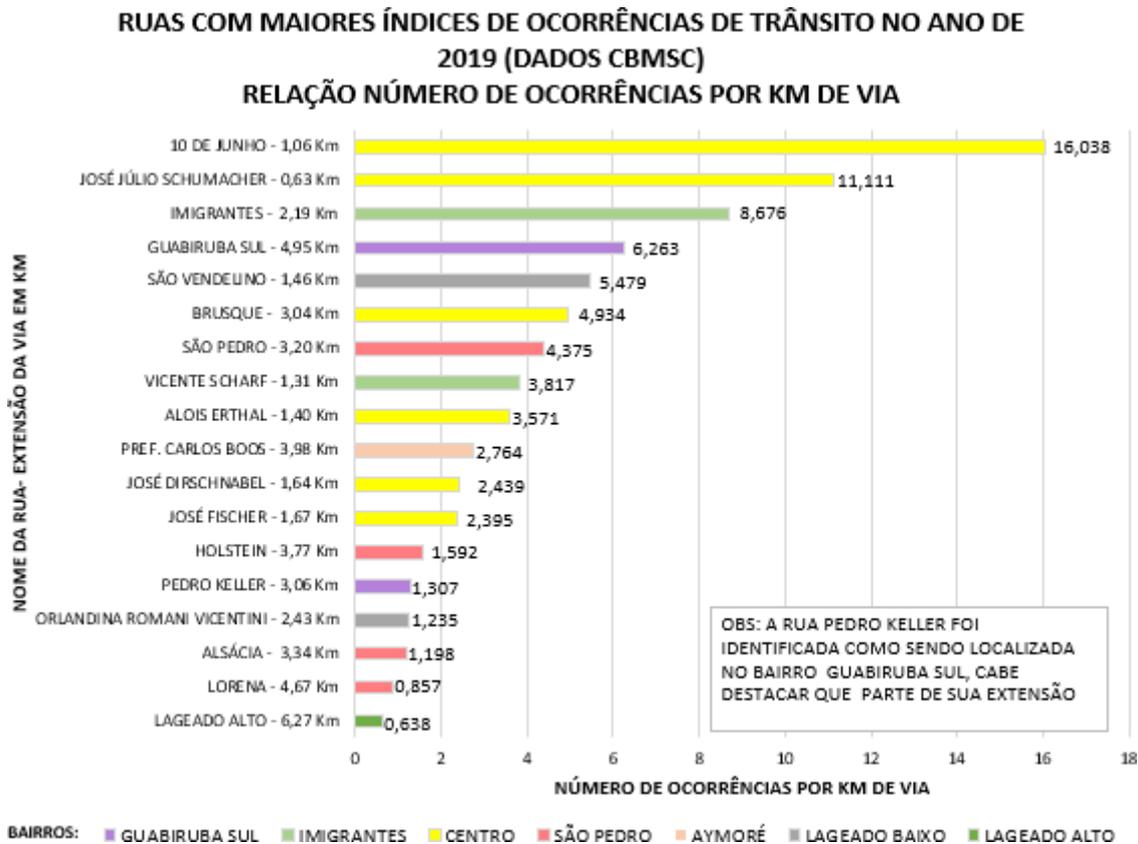
A Rua Guabiruba Sul se destaca com o maior número total de ocorrências em 2019: com 31 registros pelo CBMSC e 32 registros pela PM. Em seguida os dados do CBMSC mostram: Rua Imigrantes (19), Rua 10 de Junho (17), Rua Brusque (15), Rua São Pedro (14) e Rua pref. Carlos Boos (11); e os dados da PM mostram: Rua Imigrantes (26), Rua Brusque (22), Rua 10 de Junho (17), Rua São Pedro (11) e Rua pref. Carlos Boos (8).

É importante destacar que as vias que apresentaram maior índice de ocorrências são vias de extrema importância para o município, responsáveis por interligar pontos importantes da cidade, como por exemplo a área central do município e os principais acessos à cidade vizinha Brusque/SC.

3.2 VIAS COM MAIOR NÚMERO DE OCORRÊNCIAS POR QUILOMETRO DE EXTENSÃO

Avaliando a variação de extensão das vias que apresentaram os índices de ocorrências mais elevados no ano de 2019, elaborou-se uma análise considerando o número de ocorrências por quilômetro (km) de via (baseado no gráfico dos dados registrados pelo CBMSC), representado no gráfico 03.

Gráfico 03. Relação do número de ocorrências de trânsito por Km de via - dados CBMSC 2019.



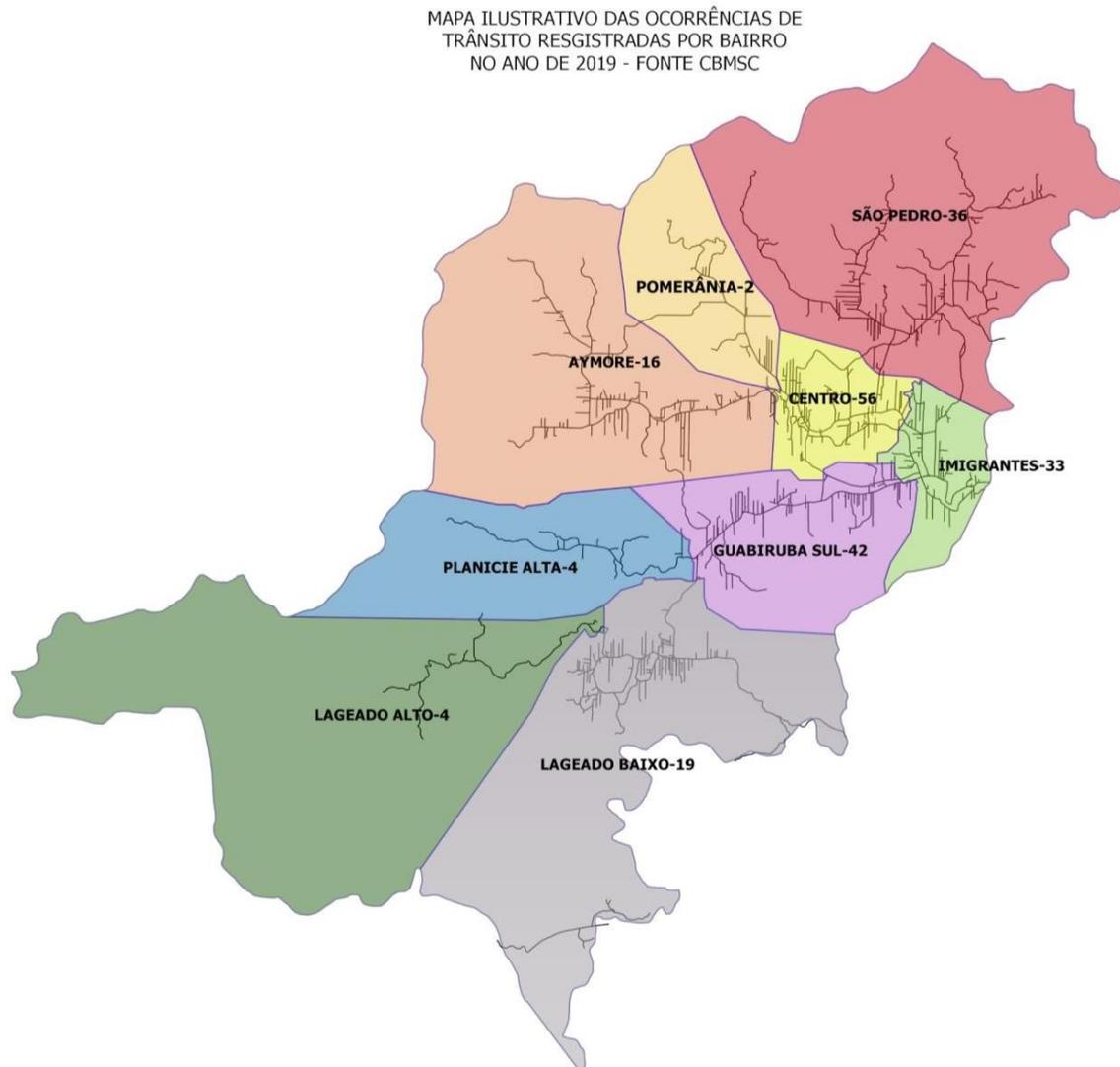
Fonte: Os autores (2020) - Com base nos dados do CBMSC.

Através desta análise, verificou-se que a Rua 10 de junho (com extensão viária de 1,06 km) apresentou maior índice de ocorrências de trânsito, representando um total de 16,03 ocorrências por quilômetro de extensão de via. Seguido pelas ruas José Júlio Schumacher (0,63 km de extensão) com valor de 11,11 ocorrências por km de via, e a Rua dos Imigrantes (2,19 km de extensão) com valor de 8,67 ocorrências por km de via. A Rua Guabiruba Sul (com extensão de 4,95 km), que apresentou maior número de ocorrências totais de trânsito (gráficos anteriores), ocupou a quarta posição no ranking das vias com maiores ocorrências por km de via, com 6,26 ocorrências de trânsito por km de via. Desta forma, pode-se concluir que algumas vias de menor extensão apresentaram valores mais preocupantes do que aquelas de maior extensão que apontam uma somatória mais elevada de acidentes.

3.3 NÚMERO TOTAL DE OCORRÊNCIAS POR BAIRRO

Com base nos dados do CBMSC efetuou-se também o mapeamento das ocorrências de trânsito no ano de 2019 por bairro, conforme demonstra a figura 01:

Figura 01. Ocorrências de trânsito por bairro no ano de 2019 registrados pelo CBMSC.



Fonte: Os autores (2020) - Com base nos dados do CBMSC.

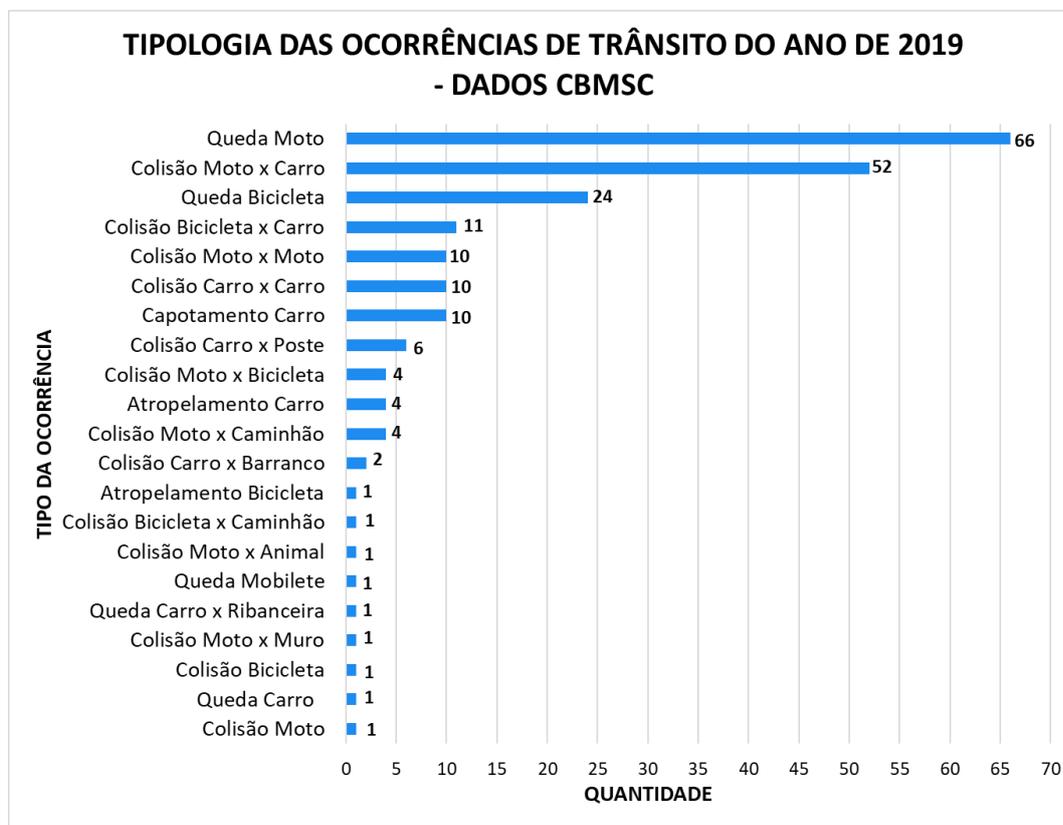
Visualizando os dados, o bairro Centro destacou-se com maior número de acidentes de trânsito. Pode-se justificar este índice pelo fato deste bairro ser responsável pela interligação viária entre a maioria dos demais bairros, conseqüentemente acarretando o maior fluxo de veículos nesta localidade diariamente. Outro fator que pode ser destacado é a presença de maior concentração de estabelecimentos comerciais e serviços essenciais localizados no

centro da cidade, também contribuindo com o aumento do fluxo de pessoas que transitam pelo local. Os bairros que apresentaram índices menores localizam-se em pontos mais extremos da cidade e com menos vias de acesso a outros bairros ou municípios vizinhos (conforme pode ser observado no mapa), resultando em um fluxo contínuo de menor complexidade, e conseqüentemente menores índices de acidentes.

3.4 ANÁLISE DAS OCORRÊNCIAS DE TRÂNSITO POR TIPOLOGIA

Em relação a classificação e tipologia das ocorrências de trânsito compiladas no ano de 2019, com base nos dados registrados pelo CBMSC - 212 ocorrências no total - foi possível caracterizar cada uma delas de acordo com a descrição da ocorrência efetuada pelo órgão responsável, representado pelo gráfico 04.

Gráfico 04. Tipologia das ocorrências de trânsito do ano de 2019 registradas pelo CBMSC.



Fonte: Os autores (2020) - Com base nos dados do CBMSC.

Conforme as informações demonstradas no gráfico acima, é possível verificar que as ocorrências caracterizadas como queda de moto se destacaram como principal causa de acidentes ocorridos no ano de 2019, com 66 ocorrências, seguido por colisões entre carros e motos (52) e quedas de bicicletas (24), que também apresentaram números elevados. Já em relação ao tipo de modal envolvido nos acidentes, 88% das ocorrências

(186) envolveram motorizados, sendo que 66% do total envolvem, de alguma forma, motociclistas. Já os modais não motorizados tiveram participação em 22% das ocorrências (46).

De acordo com o DETRAN/SC, a frota de motonetas e motocicletas registradas no município representa 26,34% da frota total (superado apenas pelos automóveis). Confrontando esse percentual (26%) com aquele resultante da análise das ocorrências de trânsito registradas no ano de 2019 (66%), podemos verificar a grande participação, proporcional, de motociclistas nos acidentes.

Devido ao número considerável de quedas envolvendo ciclistas, representando um total de 24 ocorrências no ano de 2019, sendo a terceira principal causa dos acidentes ocorridos naquele ano, buscou-se a informação da extensão da malha cicloviária do município, o que corresponde cerca de 4,75 km. Ou seja, esse valor ainda é considerado baixo em relação à extensão total viária do município, o que acaba proporcionando maiores riscos aos ciclistas que trafegam nas vias em que não se tem uma área restrita para este tipo de modal.

3.5 ANÁLISE DAS OCORRÊNCIAS DE TRÂNSITO POR DIA DA SEMANA

Através dos registros datados referentes às ocorrências de trânsito de 2019, tornou-se possível verificar quais os dias da semana que apresentaram o maior número de ocorrências, conforme apresentado na tabela 01.

Tabela 01. Compilação dos acidentes por dia da semana.

RELAÇÃO DE ACIDENTES POR DIA DA SEMANA-2019-DADOS CBMSC		
DIA DA SEMANA	Nº OCORRÊNCIAS	Nº OCORRÊNCIAS (%)
SEGUNDA-FEIRA	28	13,21%
TERÇA-FEIRA	34	16,04%
QUARTA-FEIRA	34	16,04%
QUINTA-FEIRA	20	9,43%
SEXTA-FEIRA	43	20,28%
SÁBADO	34	16,04%
DOMINGO	19	8,96%

Fonte: Os autores (2020) - Com base nos dados do CBMSC.

Visualizando os resultados apresentados acima, é possível verificar que a sexta-feira foi o dia da semana que apresentou maior concentração de acidentes, e o domingo o menor índice. Os demais dias da semana apresentam valores de um modo geral equilibrados. Visto que a discrepância entre os valores não é tão alarmante, não foi possível evidenciar algum fato que poderia comprovar o dia de maior e menor quantidade de acidentes de trânsito.

3.6 ANÁLISE DAS OCORRÊNCIAS DE TRÂNSITO POR MÊS

Conforme os dados coletados, relacionou-se a quantidade de ocorrências registradas por mês durante o ano de 2019. A média mensal dos acidentes resultou em uma taxa de 17,67 acidentes/mês. Os percentuais de cada mês podem ser visualizados na tabela 02.

Tabela 02. Relação de ocorrências de trânsito ao mês no ano de 2019.

RELAÇÃO DE ACIDENTES POR MÊS-2019-DADOS CBMSC	
JANEIRO	16
FEVEREIRO	12
MARÇO	14
ABRIL	21
MAIO	21
JUNHO	21
JULHO	20
AGOSTO	18
SETEMBRO	11
OUTUBRO	15
NOVEMBRO	23
DEZEMBRO	20
TOTAL ANUAL	212
MÉDIA MENSAL DE ACIDENTES NO ANO DE 2019	17,67

Fonte: Os autores (2020) - Com base nos dados do CBMSC.

De um modo geral, os valores constantes na tabela 02 apresentam um certo equilíbrio, destacando-se apenas o mês de setembro, que resultou em um valor um pouco abaixo da média. Entre os meses de abril a julho, os valores se mantiveram praticamente constantes. Avaliou-se a possibilidade de influência das festas culturais que ocorrem no município neste período citado, porém não se evidenciaram fatores relevantes, visto que nos demais meses a variação do valor também não demonstra resultados exorbitantes que possam justificar esta suposição.

Esta uniforme distribuição das ocorrências ao longo dos meses, sem uma variação considerável, também pode ser justificada pelo fato da cidade de Guabiruba

possuir a constante presença da população durante o ano por completo, não sendo uma cidade com fluxo sazonal, como ocorre em cidades litorâneas por exemplo. Esta característica talvez possa ser avaliada como um argumento que contemple os resultados obtidos.

3.7 EVOLUÇÃO HISTÓRICA DAS OCORRÊNCIAS

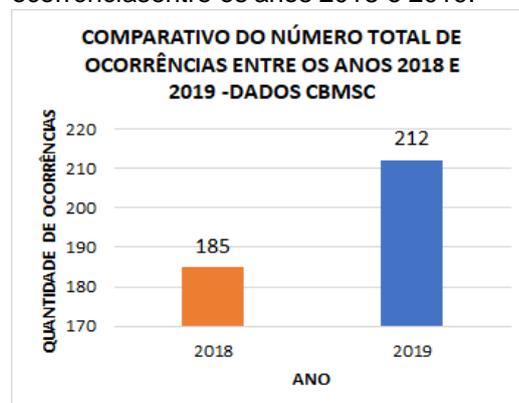
Através dos dados coletados junto ao CBMSC, permitiu-se elaborar uma evolução histórica das ocorrências de trânsito em Guabiruba/SC, evidenciando o ano anterior (2018) por apresentar maior quantidade de informações (descritas no tópico 4.7.1), além do número total de ocorrências registradas entre os anos de 2009-2019 (apresentados no item 4.7.2).

4.7.1 Anos 2018 e 2019

Considerando os dois anos que se obtiveram maior quantidade de informações junto aos dados registrados pelo CBMSC, o presente item tem como objetivo apresentar algumas informações consideradas relevantes durante a análise e compilação dos dados adquiridos.

O Gráfico 05 apresenta a evolução das ocorrências de trânsito entre os dois anos analisados.

Gráfico 05. Comparação do total de ocorrências entre os anos 2018 e 2019.



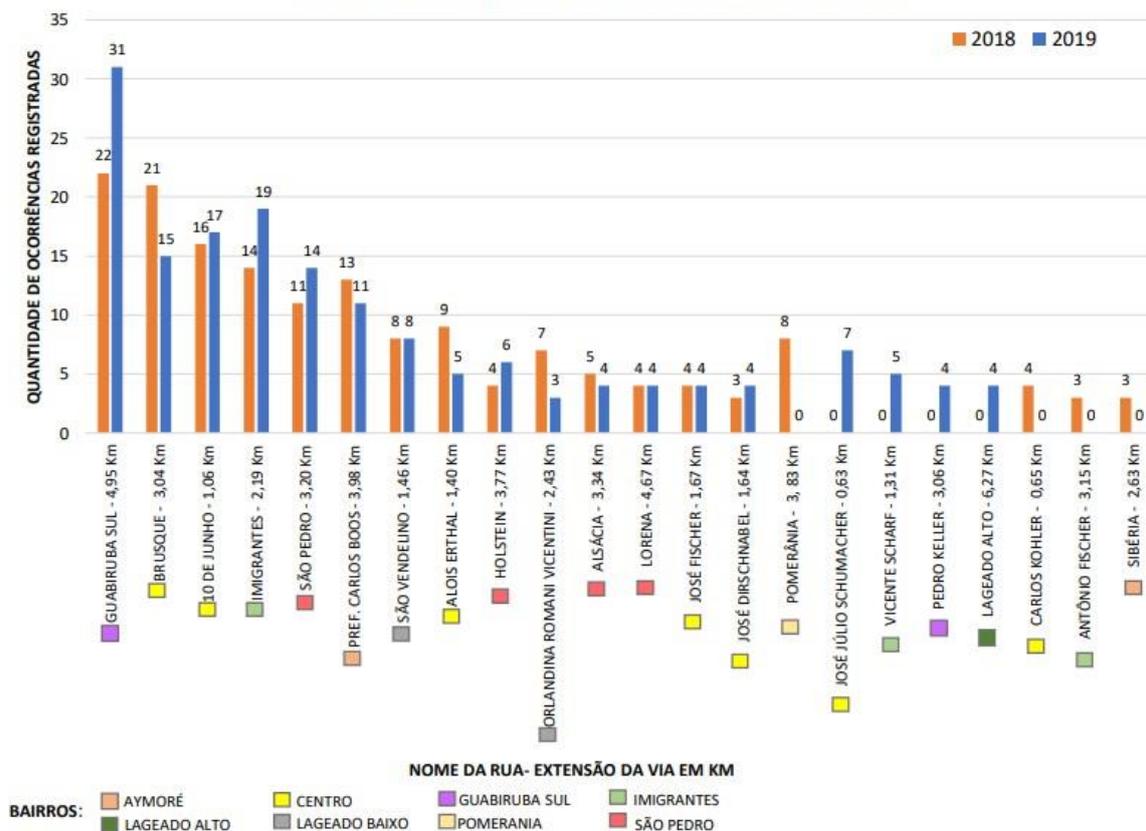
Fonte: Os autores (2020) - Com base nos dados do CBMSC.

Analisando o gráfico acima, é possível afirmar que a taxa de acidentes em 2019 aumentou em torno de 14%.

Verificando os registros do número total de ocorrências dos anos de 2018 e 2019, a relação das vias com maiores índices de acidentes de trânsito são similares, divergindo apenas quatro vias que não aparecem na relação referente ao ano de 2019. Destaca-se também que os números relacionados a cada uma destas vias em comum entre os dois anos também são bastante similares, divergindo na ordem com uma pequena diferença entre os valores compilados, aos quais podem ser observados no gráfico 06.

Gráfico 06. Comparação entre as ruas com maiores índices de ocorrências entre os anos 2018-

COMPARATIVO ENTRE AS RUAS COM MAIORES ÍNDICES DE OCORRÊNCIAS DE TRÂNSITO ENTRE OS ANOS DE 2018-2019 (DADOS CBMSC)



2019.

Fonte: Os autores (2020) - Com base nos dados do CBMSC.

Analisando os registros do número de ocorrências entre as vias que

indicarmos maiores índices entre os anos de 2018 e 2019, pode-se observar que a Rua Guabiruba Sul também foi destaque no maior número de ocorrências no ano de 2018, porém com uma quantidade de 09 acidentes a menos em relação ao ano seguinte (2019). As demais vias que apresentaram maior valor de diferença, pode-se destacar também a Rua Brusque (com disparidade de 06 ocorrências entre os anos 2018 e 2019), as demais vias apresentaram índices similares, com diferença entre elas de no máximo 5 ocorrências, com exceção das 4 vias que registraram 3 ou mais ocorrências que não aparecem em ambas as listagens, no caso a Rua Pomerânia, Rua Carlos Kohler, Rua Antônio Fischer e Rua Sibéria, que apareceram apenas na relação de 2018; e das Rua Vicente Scharf, Rua Pedro Keller, Rua Lageado Alto e Rua José Júlio Schumacher, que se destacaram apenas na listagem de 2019.

4.7.2 Período 2009 - 2019 - evolução do número total de ocorrências

Este estudo, além de coletar e compilar os dados das ocorrências de trânsito ocorridas no ano de 2019 no município de Guabiruba/SC, analisou o número total de acidentes ocorridos em uma série histórica de 11 anos (de 2009 a 2019). O gráfico 07 ilustra os resultados obtidos através dos registros realizados pelo Batalhão do Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina - CBMSC, atuante no município de Guabiruba/SC.

Gráfico 07. Histórico das ocorrências de trânsito de Guabiruba (2009 a 2019).



Fonte: Os autores (2020) - Com base nos dados do CBMSC.

De acordo com o gráfico apresentado acima, pode-se afirmar que no ano de 2019 os acidentes de trânsito (212 ocorrências) apresentaram uma queda de 11,33% em relação a média dos acidentes registrados nos últimos 11 anos (239,09 ocorrências por ano). Essa redução gradativa pode ser consequência das melhorias realizadas no meio urbano, como pavimentação de vias, implantação de sinalização de trânsito, além de ações voltadas à educação e fiscalização no trânsito, entre outros fatores que podem ser estudados de forma mais aprofundada.

O gráfico 07 ainda nos mostra uma queda acentuada no número de ocorrências registradas do ano de 2012 para o ano de 2013. Em consulta realizada ao órgão responsável pelo registro das ocorrências (corpo de bombeiros), constatou-se que não houve alteração na forma de preenchimento das ocorrências, não sendo esta, então, a causa da redução observada. Já em conversa com a administração pública, em consulta à equipe atuante naquele período, houve menção de que, no início da nova gestão municipal - administração do então prefeito eleito Mathias Kohler - houve um aumento na fiscalização no trânsito por parte da Polícia Militar, bem como estudos e aplicações de alterações urbanas, como redução de velocidade em 50 Km/h nos pontos centrais da cidade com maior fluxo de veículos diários, inserção de faixas elevadas para travessia de pedestres, execução de pavimentação de vias entre outras melhorias realizadas no período e nos anos subsequentes, que muito provavelmente foram responsáveis pela redução dos números de ocorrências de trânsito observada.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através dos resultados obtidos na presente pesquisa, é possível concluir que o estudo pode ser destacado como de extrema importância para diversas finalidades, dentre elas, servir como material de base para discussão e definição de diversas ações e melhorias relacionadas ao trânsito e mobilidade, bem como formar parte da base histórica das ocorrências de trânsito no município de Guabiruba/SC.

Dentre os objetivos da pesquisa, todos foram alcançados, destacando-se um dos principais deles, em relação a compilação e o diagnóstico dos dados das ocorrências de trânsito da cidade de Guabiruba/SC voltadas para o ano de 2019, ao

qual se sobressaiu como o de maior relevância, visto conter uma maior quantidade de informações adquiridas junto aos órgãos responsáveis em realizar o cadastramento das ocorrências (CBMSC e PM). Cabe mencionar também o agradecimento aos responsáveis pelos órgãos citados acima, além do apoio da Prefeitura Municipal de Guabiruba por disponibilizar diversas informações e dados para que o estudo pudesse ocorrer.

Em relação às adversidades encontradas ao longo do trabalho, pode-se mencionar que a forma de coleta das informações realizadas pelos órgãos ainda é muito sucinta, impedindo a elaboração de um levantamento de dados mais detalhado. Outro fato a destacar seria a divergência entre a forma de registro dos dois órgãos (CBMSC e PM), dificultando a análise comparativa entre as duas fontes. Desta forma, evidencia-se a necessidade de sistematizar os dados de forma padronizada entre as corporações, enriquecendo na quantidade de informações, permitindo também a identificação mais específica de cada local de ocorrência.

Por fim, através dos resultados apresentados neste estudo, os índices compilados e mapeados têm como intuito contribuir como material didático para o estudo de tomada de decisões futuras relacionadas a melhoria do meio urbano, bem como mobilidade da cidade. Além disso, a pesquisa deve servir como base histórico de informações relacionadas às ocorrências de trânsito da cidade, permitindo a utilização destas informações em ações voltadas a educação no trânsito, alertando toda a comunidade sobre os principais problemas vinculados ao trânsito e mobilidade do Município de Guabiruba/SC.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10697**: Pesquisa de acidentes de trânsito – Terminologia. Rio de Janeiro, 2018.

BRASIL. Lei no 9.503, de 23 de setembro de 1997. **Institui o Código de Trânsito Brasileiro**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, 24 set. 1997. Disponível em: <www.planalto.gov.br>. Acesso em 19 mar. 2020 GIL, Antônio Carlos. **Métodos e Técnicas de Pesquisa Social**. 6.ed. São Paulo: Atlas, 2008.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Município**

de
Guabiruba: panorama. Brasília, 2020. Disponível
em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sc/guabiruba/panorama>.
Acesso em 21 nov. 2020.

LITMAN, Todd. Valuing Transit Service Quality Improvements. **Journal of Public Transportation**, v. 11, n. 2, 2008. Disponível em:
<https://scholarcommons.usf.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1212&context=jpt>. Acesso em 21 nov. 2020.

LITMAN, Todd. A New Transit Safety Narrative. **Journal of Public Transportation**, v.17, n. 4, 2014. Disponível em:
<https://scholarcommons.usf.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1007&context=jpt>. Acesso em 21 nov. 2020.

MENDONÇA, Marcela Franklin Salvador de;
SILVA, Amanda Priscila de Santana Cabral; CASTRO, Claudia Cristina Lima de. Análise espacial dos acidentes de trânsito urbano atendidos pelo Serviço de Atendimento Móvel de Urgência: um recorte no espaço e no tempo. **Revista Brasileira Epidemiológica**, São Paulo, v. 20, n. 4, out/dez. 2017. DOI:<https://doi.org/10.1590/1980-5497201700040014>. Disponível em:
https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-790X2017000400727&lang=pt#B10. Acesso em 21 nov. 2020.

MINISTÉRIO DA SAUDE. **Saúde Brasil 2018 - Uma análise da situação de saúde e das doenças e agravos crônicos: desafios e perspectivas**. Brasília, 2019. Disponível em:
https://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/saude_brasil_2018_analise_situacao_saude_doencas_agravos_cronicos_desafios_perspectivas.pdf. Acesso em 21 nov.2020.

ROCHA, Greiciane da Silva; SCHORR, Néia. Acidentes de motocicletas no município de Rio Branco: caracterização etendências. **Revista Ciência & Saúde Coletiva**, Rio de Janeiro, v. 18, n. 3, mar. 2013. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-81232013000300018>. Disponível em:https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-81232013000300018. Acesso em 21 nov. 2020.

SOUZA, Vanessa dos Reis de *et al.* Análise espacial dos acidentes de trânsito com vítimas fatais: comparação entre o local de residência e de ocorrência do acidente no Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Estudos de População**, São Paulo, v. 25, n. 2,

jul/dez. 2008.

DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-30982008000200010>. Disponível em:

https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0102-30982008000200010&script=sci_arttext. Acesso em 21 nov. 2020.

VASCONCELLOS, Eduardo Alcântara de, **Mobilidade Urbana e Cidadania**. São Paulo: Senac, 2018.



OCORRÊNCIAS DE TRÂNSITO EM GUABIRUBA: COMPILAÇÃO, DIAGNÓSTICO E PROGNÓSTICO DE DADOS

Larissa Ignês Boos¹

Anderson Buss²

Débora Carolina Silveira Battaglini Barroero³

RESUMO: A segurança no trânsito é um direito de todos e cabe aos órgãos e entidades componentes do Sistema Nacional de Trânsito garantir esse direito. Em países em desenvolvimento como o Brasil, uma das características dos acidentes de trânsito é que a maioria das vítimas são pedestres e ciclistas, que são os participantes mais vulneráveis do trânsito. Estudos e medidas efetivas são necessárias para proteger essas vidas, e esta pesquisa visa subsidiar a análise e o mapeamento de dados de acidentes de trânsito que já são registrados pelos órgãos competentes. Políticas públicas para a melhoria da segurança do espaço urbano, bem como da conscientização de trânsito, na maioria das vezes não são efetivas pela ausência de dados e estatísticas. As ocorrências de trânsito são registradas pelo Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina (CBMSC) e Polícia Militar (PM) na cidade de Guabiruba/SC, porém muitas vezes os registros se perdem por não haver a compilação e diagnóstico desses dados, para que possam ser comparados ao decorrer dos anos (série histórica) e servir de base para a tomada de decisões relacionadas à segurança no trânsito e intervenções urbanas. O trabalho a ser desenvolvido será de natureza descritiva e utilizará dados quantitativos registrados pelos órgãos oficiais (Corpo de Bombeiros e Polícia Militar) durante o ano de 2019. A pesquisa descritiva utiliza técnicas padronizadas de coleta de dados e tem como objetivo principal a descrição das características de um determinado fenômeno ou o estabelecimento de relações entre variáveis. Através dos dados coletados e compilados no presente estudo, permitiu-se a elaboração de uma análise aprofundada em relação aos valores obtidos, formulados em forma de tabelas e gráficos. A fim de demonstrar a real situação em relação ao número de acidentes ocorridos na cidade de Guabiruba. Após a análise do material elaborado, destacou-se os resultados e conclusões obtidas através do presente estudo.

Palavras-chave: Ocorrências de Trânsito; Mobilidade; Segurança.

1 INTRODUÇÃO

A segurança no trânsito é um direito de todos e cabe aos órgãos e entidades componentes do Sistema Nacional de Trânsito, conforme suas competências, garantir esse direito (BRASIL, 1997).

¹ Acadêmica do Curso de Engenharia Civil da UNIFE. *E-mail:* larissa.boos@unifebe.edu.br

² Orientador. Prof. Esp. Arquiteto e Urbanista e Eng. Civil. *E-mail:*

anderson.buss@unifebe.edu.br³ Colaboradora. Esp. Arquiteta e Urbanista. *E-mail:* dtoplanejamento@guabiruba.sc.gov.br

Segundo Vasconcellos (2018, p. 110) “Em países em desenvolvimento como o Brasil, uma das características dos acidentes de trânsito é que a maioria das vítimas são pedestres e ciclistas, que são os participantes mais “vulneráveis no do trânsito”. Assim, podemos perceber que a segurança no trânsito não é tratada de forma igualitária para todos, devendo ser estudada em especial quanto às suas causas, que segundo técnicos e especialistas, raramente decorrem de uma causa única, mas sim em decorrência de duas ou três razões concomitantes, entre elas o ambiente inadequado de circulação e as condições da pista e sinalização (VASCONCELLOS, 2018, p. 110), itens estes que são de responsabilidade direta das autoridades competentes. Desta forma, estudos e medidas efetivas são necessários para proteger essas vidas. Esta pesquisa visa subsidiar a análise e o mapeamento dados de acidentes de trânsito que já são registrados pelos órgãos competentes, e desta forma disponibilizar para consulta de forma simples e fácil por todos os interessados, servindo também de base para a tomada de decisões relacionadas à segurança no trânsito e a intervenções urbanas.

Este trabalho desenvolve-se com base nos dados das ocorrências de trânsito registradas pelos órgãos competentes do município de Guabiruba/SC. A cidade situa-se no Médio Vale do Itajaí, emancipada no ano de 1962, possui uma extensão territorial de 173.272 Km² e uma população total estimada em 24.381 habitantes, correspondente a 0,33% da população do estado de Santa Catarina, conforme levantamentos realizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE no ano de 2020. De acordo com o Departamento Estadual de Trânsito do Estado de Santa Catarina - DETRAN/SC, o município conta com 17.994 veículos cadastrados, representando um percentual de 0,34% da frota de veículos registrados no estado. De acordo com essas informações, constata-se que a quantidade de veículos por habitante no município de Guabiruba/SC é de 0,74, praticamente igualado ao número registrado no estado de Santa Catarina, que é de 0,73 veículos por habitante.

A demanda por informações referentes à evolução das ocorrências de trânsito e análise crítica dessas informações, pautada em dados, tornaram-se ainda mais necessárias devido as recentes parcerias firmadas entre o município de Guabiruba e sua Cidade co-irmã Karlsdorf – Neuthard (Alemanha). Onde ambas

participam da 7ª fase do projeto “50 Parcerias Municipais para o clima” em prol do desenvolvimento de ações conjuntas para a mitigação e adaptação das mudanças climáticas e; da Agenda2030 para o Desenvolvimento Sustentável, estabelecido pela ONU, que é um plano de ação global para que o planeta se torne mais sustentável e resiliente até o ano de 2030, através de 17 objetivos com 169 metas. Com isso a administração pública busca incentivar projetos relacionados ao desenvolvimento sustentável, além de colocar a temática da mobilidade urbana na pauta, com intenção também da elaboração de um plano de mobilidade urbana. Desta forma, este estudo tem também a intenção de contribuir com informações para estas ações de melhorias relacionadas ao trânsito e urbanização da cidade, além de complementar a base de dados do município quanto às ocorrências de trânsito.

1.1 Objetivo geral:

Realizar análise de dados sobre ocorrências de trânsito em Guabiruba/SC do ano de 2019, para subsidiar comparativos com histórico de ocorrências de anos anteriores e propostas de futuros planos de ações relacionados ao trânsito, mobilidade e modificações urbanas no Município.

1.2 Objetivos específicos:

1.2.1 Compilar e sistematizar os dados das ocorrências de trânsito da cidade de Guabiruba/SC (referentes ao ano de 2019);

1.2.2 Mapear os dados das ocorrências de trânsito da cidade de Guabiruba/SC (referentes ao ano de 2019), a partir da compilação e sistematização dos dados;

1.2.3 Diagnosticar os dados das ocorrências de trânsito da cidade de Guabiruba/SC (referentes ao ano de 2019), a partir do mapeamento e da sistematização;

1.2.4 Analisar a evolução dos dados mapeados e diagnosticados, a partir de comparação com o histórico de ocorrências de anos anteriores;

1.2.5 Criar base de dados e série histórica a partir das informações obtidas, para subsidiar a tomada de decisões por parte dos técnicos responsáveis pelo

planejamento urbano e pela mobilidade no Município de Guabiruba/SC;

1.2.6 Informar a população e demais órgãos interessados quanto aos dados e ocorrências de trânsito no Município de Guabiruba/SC.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

De acordo com a ABNT NBR 10697/2018, o conceito de acidente de trânsito pode ser definido como qualquer evento não previsto que resulte em algum dano ao veículo ou carga, ou lesões em pessoas ou animais, ao qual ao menos uma das partes esteja em movimento em uma via terrestre ou aérea aberta ao público. Quanto às definições de tipos de acidentes, estes podem ser classificados de acordo com suas consequências, fatores geradores, natureza de ocorrência ou caracterização das vítimas.

Rocha e Shor (2013) destacam que os acidentes de trânsito representam a principal causa de morte não natural em diversos locais do mundo, evidenciando um grave problema de saúde pública. Em um estudo realizado pelo Ministério da Saúde (2019), destacou-se um total de 485.015 óbitos específicos por lesões no trânsito no Brasil entre os anos de 2000 a 2016. Além dos óbitos, cabe ressaltar também que milhões de pessoas ficam feridas anualmente, ao qual os países necessitam gastar cerca de 1 a 2% de suas riquezas em despesas relacionadas a acidentes de trânsito. Quanto a origem dos altos índices de ocorrências de trânsito no Brasil, estes podem estar vinculados ao fato de que o brasileiro possui uma cultura de dispor do espaço público como sendo seu, e não como um espaço comum e compartilhado. Além disso, rotulou-se uma tradição de que o veículo automotor é visto como um instrumento de poder e não apenas como meio de transporte. A aquisição de motocicletas também se tornou mais popular devido à facilidade de aquisição (financiamento) e agilidade no trânsito, principalmente em grandes metrópoles com trânsito mais lento (MENDONÇA, SILVA E CASTRO, 2017).

Litman (2008) aponta que a deficiência e precariedade do transporte público incentiva a utilização de veículos próprios como meio de locomoção, visto que os apresentam maior conforto e maior agilidade no tempo de viagem. Desta forma,

destaca-se que em locais que se oferece transporte público de qualidade, com condições de viagem agradáveis (relacionadas a limpeza, conforto, veículos/áreas de espera seguros e custos acessíveis), muitos passageiros optam pelo serviço ao invés do veículo próprio, desfrutando de menos estresse e mais descanso no tempo de viagem, podendo, inclusive, utilizar esse tempo de forma mais produtiva.

Conforme mencionado por Litman (2014), em locais que se costuma investir em transporte público de qualidade tendem a aumentar a segurança em viagens de trânsito em diversos fatores, sendo eles: prestação de serviços de transporte de boa qualidade, condições de caminhada e ciclismo seguras e confortáveis, redução das velocidades de tráfego, rede rodoviária mais conectada, maior gestão da demanda de transporte, entre outros. Estes fatores tendem a reduzir as taxas de acidentes de diversas maneiras. Por exemplo, diminuindo a velocidade do trânsito reduz-se a gravidade dos acidentes, e consequentemente diminuem os gastos públicos relacionados aos acidentes de trânsito, podendo investir estes recursos em melhorias nas condições urbanas. Como por exemplo, melhorias em calçadas, implantação de faixas de pedestres, ciclovias, entre outros, a fim de reduzir os riscos aos ciclistas, pedestres e demais usuários do trânsito.

Em um estudo realizado por Tischer (2019), voltado a avaliação dos acidentes de tráfego com pedestres e ciclistas no estado de Santa Catarina, concluiu-se que através do panorama da pesquisa, foi possível entender quais as tendências que mais influenciaram nos dados obtidos. Notou-se maior índice de acidentes envolvendo ciclistas e pedestres. Desta forma, o autor destaca que o acompanhamento dos acidentes de transporte torna-se fonte imprescindível para o desenvolvimento de políticas públicas e planejamento de segurança pública, resultando na diminuição de vítimas quanto a sua classificação, neste caso os ciclistas e pedestres.

Em relação aos registros das ocorrências de trânsito, Souza *et al.* (2008) também destacam a importância das pesquisas relacionadas a sistematização dos acidentes de trânsito, servindo como fonte de informação para auxiliar nas tomadas de decisões em relação às melhorias na segurança pública. Além disso, o autor comenta que os dados obtidos podem servir de material para diversos setores como educação e fiscalização no trânsito. O registro destes eventos de trânsito é realizado

por diferentes sistemas administrativos e de gerenciamento, e geralmente as fontes de dados mais utilizadas estão relacionadas aos serviços de saúde.

Para se desenvolver uma sistematização de forma completa e eficaz, Souza *et al.* (2008) mencionam a importância de padronizar a forma de cadastramento desses dados. Por exemplo, deve-se manter os cadastros de logradouros atualizados, além de coletar os dados no momento dos acidentes, descrevendo a maior quantidade de informações relevantes possíveis, estas pré-determinadas pela padronização da fichade preenchimento no momento da ocorrência.

Quanto a forma de trabalho para essa sistematização, existem diversas técnicas de análise espacial a fim de resultar em ações didáticas e de elucidação de questões relacionadas a saúde pública. Entre estes métodos, destacam-se os sistemas de informação geográfica, aos quais permitem realizar análises de zoneamento e áreas de alta concentração de acidentes (SANTOS *et al.*, 2016 *apud* TISCHER 2019).

Com o crescimento populacional da cidade de Guabiruba/SC nos últimos anos (taxa média de 3,2% ao ano nos últimos 10 anos segundo o IBGE), é natural que aconteça um aumento na demanda de serviços, comércio, indústria, turismo e outros setores, ocasionando maior movimentação de pessoas na cidade e na região. Desta forma, as melhorias no meio urbano e ações voltadas ao trânsito devem acompanhar esse crescimento, visando um desenvolvimento sustentável para a cidade. Analisando ainda os diversos autores e tecnologias disponíveis e existentes nos tempos atuais, constatamos que a forma da coleta de dados e o registro das ocorrências estudadas podem ser aprimorados, permitindo assim melhores análises e conseqüentemente o planejamento de ações mais assertivas e que busquem a diminuição dos acidentes de trânsito.

2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A pesquisa apresentada é resultado de um estudo descritivo, de revisão bibliográfica, trabalho quantitativo e exploratório, baseado nos registros de acidentes de trânsito do município de Guabiruba/SC, armazenados no banco de dados do CBMSC e PM.



A fase inicial do estudo se resume na coleta de dados e informações referente aos acidentes de trânsito ocorridos na cidade de Guabiruba/SC, registrados no banco de dados dos órgãos competentes acima citados, responsáveis por realizar o registro das ocorrências. Em paralelo a esta etapa, buscou-se por autores e estudos similares, a fim de realizar a revisão bibliográfica e busca de técnicas de compilação de dados, com objetivo de chegar a resultados claros e objetivos, de acordo com a base de informações coletadas. Em seguida realizou-se a compilação dos dados, por meio de tabelas e gráficos, destacando as informações relevantes. Por fim, efetuou-se o diagnóstico dos dados obtidos, pontuando possíveis motivações para as situações encontradas e análise evolutiva dos números de ocorrências em relação aos anos anteriores.

3 ANÁLISE DOS RESULTADOS

A coleta de dados baseou-se na busca dos registros realizados pelo CBMSC e PM. Ambos os registros possuem peculiaridades em relação à quantidade e ao detalhamento dos dados coletados, consequência do modo de trabalho de cada órgão.

Os dados obtidos junto ao CBMSC possuem maior quantidade de informações: classificam a natureza da ocorrência, localizam por rua e bairro e registram a data da ocorrência, enquanto a PM apenas registra a ocorrência com sua localização por rua e bairro.

É importante ressaltar que a ocorrência só é registrada no CBMSC quando há vítima no local do acidente. Já o registro na PM ocorre sempre que o chamado é efetuado, independentemente da existência de vítimas no local.

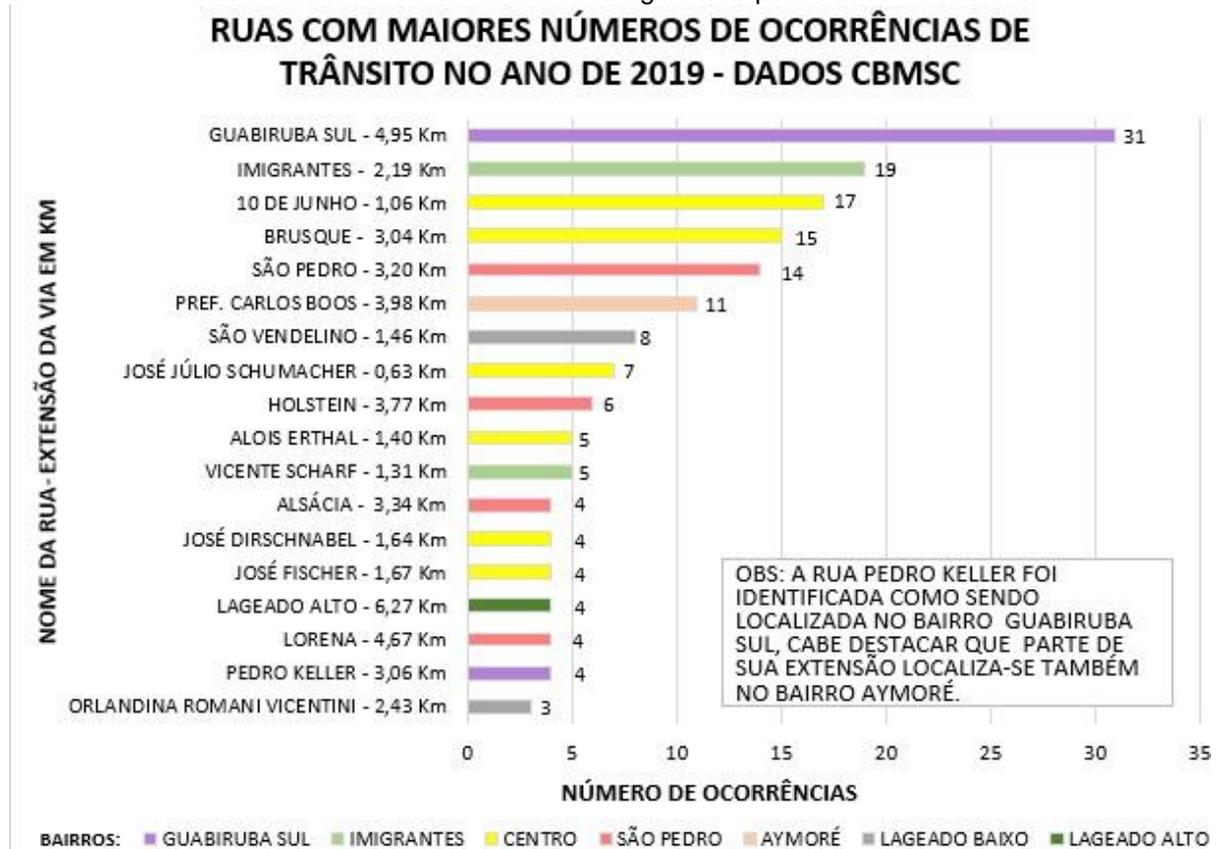
Os tópicos a seguir apresentam a análise e compilação realizada através dos dados coletados, sendo que apenas no tópico 4.1 realizou-se o comparativo entre ambas as fontes de dados. Nas demais análises, adotou-se como fonte principal apenas os dados coletados junto ao Corpo de Bombeiros, uma vez que esses dados foram registrados de forma mais completa do que os dados coletados pela PM, permitindo, assim, uma melhor análise dos mesmos.

3.1 VIAS COM MAIOR NÚMERO TOTAL DE OCORRÊNCIAS

Conforme levantamento realizado pelos profissionais do setor de planejamento urbano da Prefeitura de Guabiruba, o município possui cerca de 520 vias de trânsito, resultando em aproximadamente 237 Km de malha viária, destacando que algumas destas são caracterizadas como acessos particulares.

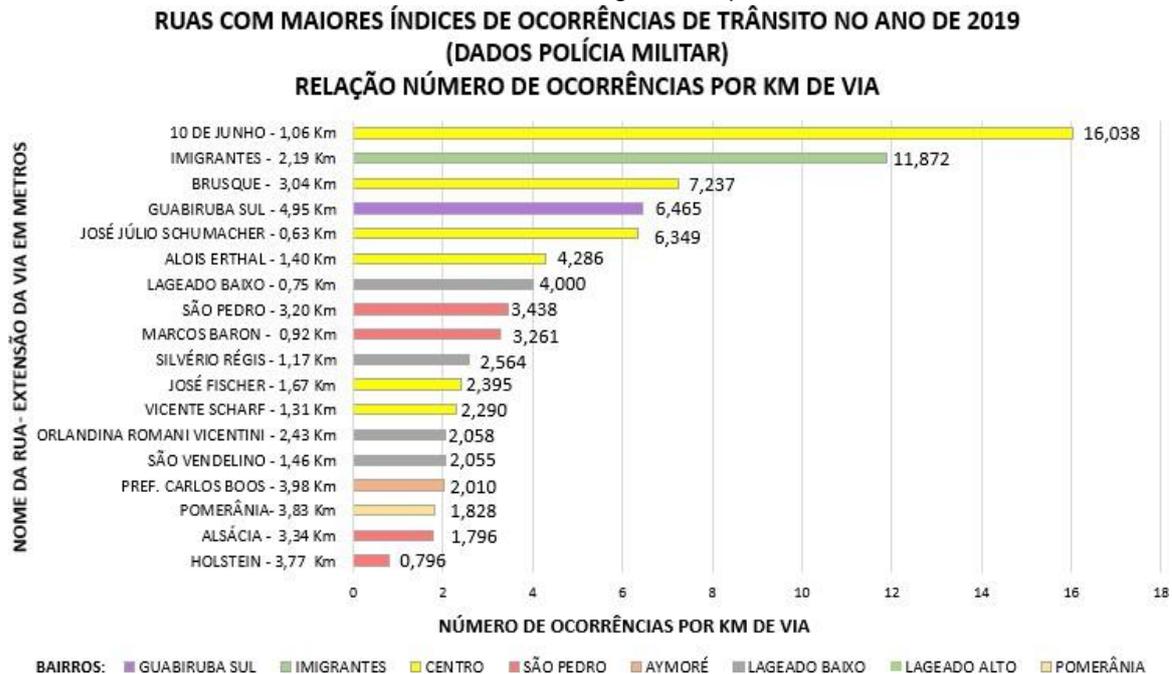
Deste total de vias, analisando os dados registradas pelo CBMSC e pela Polícia Militar (PM), 22 delas apresentaram pelo menos 3 ocorrências de trânsito no ano de 2019, sendo que 14 delas aparecem nos dados dos 2 órgãos, conforme demonstramos gráficos 01 e 02.

Gráfico 01. Ruas com maior número de ocorrências registradas pelo CBMSC em 2019.



Fonte: Os autores (2020) - Com base nos dados do CBMSC.

Gráfico 02. Ruas com maior número de ocorrências registradas pela PM em 2019.



Fonte: Os autores (2020) - Com base nos dados da PM.

Os gráficos do CBMSC e da PM apresentam algumas características em comum. Apesar das totalizações possuírem valores diferentes, é possível observar que 14 das 22 ruas aparecem nos dois gráficos, e que as 6 vias com maior número de ocorrências são coincidentes nos registros dos dois órgãos (alterando apenas a 3ª a 4ª posição), concentrando 65% e 70% dos registros respectivamente.

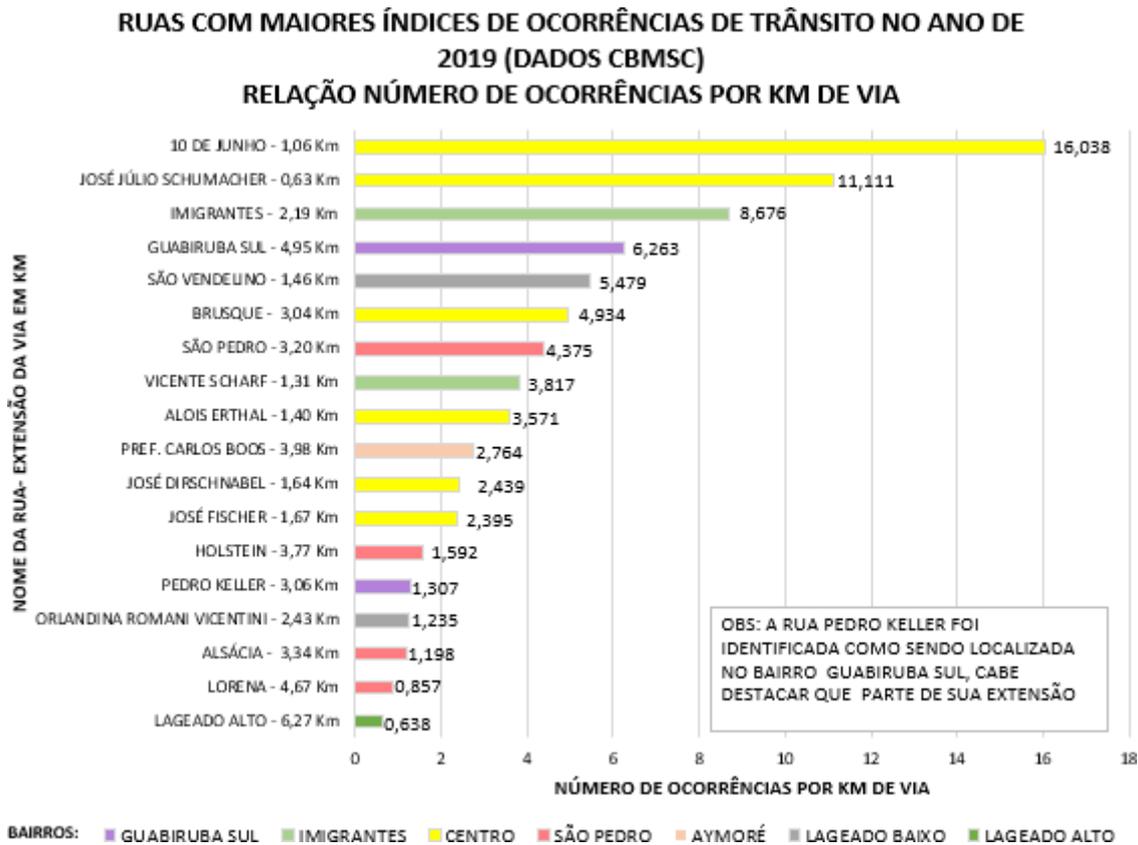
A Rua Guabiruba Sul se destaca com o maior número total de ocorrências em 2019: com 31 registros pelo CBMSC e 32 registros pela PM. Em seguida os dados do CBMSC mostram: Rua Imigrantes (19), Rua 10 de Junho (17), Rua Brusque (15), Rua São Pedro (14) e Rua pref. Carlos Boos (11); e os dados da PM mostram: Rua Imigrantes (26), Rua Brusque (22), Rua 10 de Junho (17), Rua São Pedro (11) e Rua pref. Carlos Boos (8).

É importante destacar que as vias que apresentaram maior índice de ocorrências são vias de extrema importância para o município, responsáveis por interligar pontos importantes da cidade, como por exemplo a área central do município e os principais acessos à cidade vizinha Brusque/SC.

3.2 VIAS COM MAIOR NÚMERO DE OCORRÊNCIAS POR QUILOMETRO DE EXTENSÃO

Avaliando a variação de extensão das vias que apresentaram os índices de ocorrências mais elevados no ano de 2019, elaborou-se uma análise considerando o número de ocorrências por quilômetro (km) de via (baseado no gráfico dos dados registrados pelo CBMSC), representado no gráfico 03.

Gráfico 03. Relação do número de ocorrências de trânsito por Km de via - dados CBMSC 2019.



Fonte: Os autores (2020) - Com base nos dados do CBMSC.

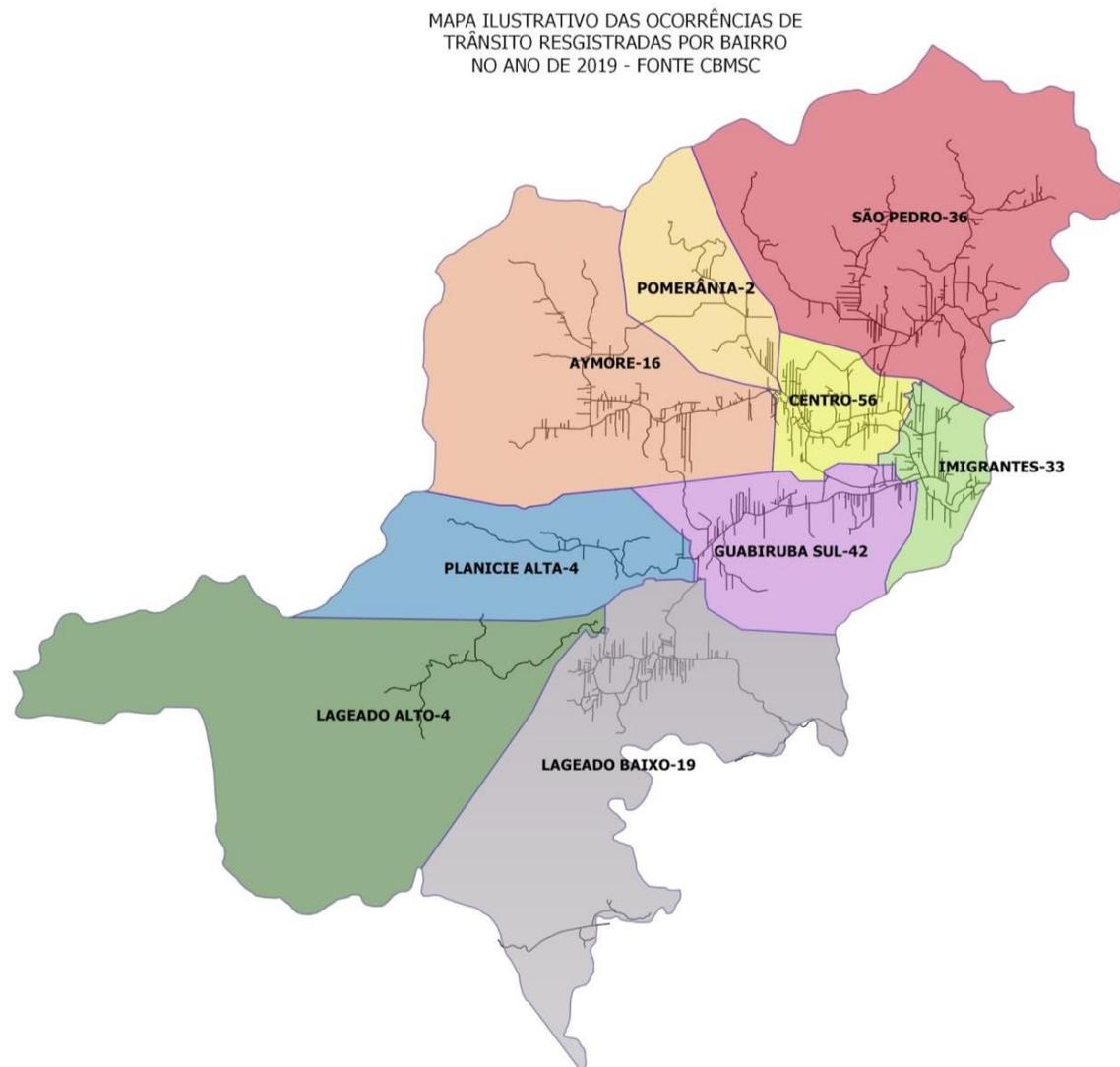
Através desta análise, verificou-se que a Rua 10 de junho (com extensão viária de 1,06 km) apresentou maior índice de ocorrências de trânsito, representando um total de 16,03 ocorrências por quilômetro de extensão de via. Seguido pelas ruas José Júlio Schumacher (0,63 km de extensão) com valor de 11,11 ocorrências por km de via, e a Rua dos Imigrantes (2,19 km de extensão) com valor de 8,67 ocorrências por km de via. A Rua Guabiruba Sul (com extensão de 4,95 km), que apresentou maior número de ocorrências totais de trânsito (gráficos anteriores), ocupou a quarta posição no ranking das vias com maiores ocorrências por km de via, com 6,26 ocorrências de trânsito por km de via. Desta forma, pode-se concluir que

algumas vias de menor extensão apresentaram valores mais preocupantes do que aquelas de maior extensão que apontam uma somatória mais elevada de acidentes.

3.3 NÚMERO TOTAL DE OCORRÊNCIAS POR BAIRRO

Com base nos dados do CBMSC efetuou-se também o mapeamento das ocorrências de trânsito no ano de 2019 por bairro, conforme demonstra a figura 01:

Figura 01. Ocorrências de trânsito por bairro no ano de 2019 registrados pelo CBMSC.



Fonte: Os autores (2020) - Com base nos dados do CBMSC.

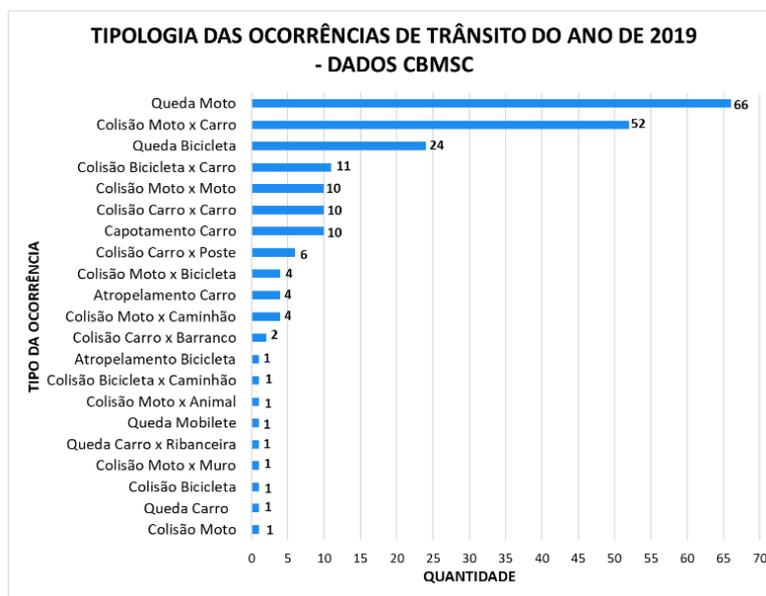
Visualizando os dados, o bairro Centro destacou-se com maior número de

acidentes de trânsito. Pode-se justificar este índice pelo fato deste bairro ser responsável pela interligação viária entre a maioria dos demais bairros, conseqüentemente acarretando o maior fluxo de veículos nesta localidade diariamente. Outro fator que pode ser destacado é a presença de maior concentração de estabelecimentos comerciais e serviços essenciais localizados no centro da cidade, também contribuindo com o aumento do fluxo de pessoas que transitam pelo local. Os bairros que apresentaram índices menores localizam-se em pontos mais extremos da cidade e com menos vias de acesso a outros bairros ou municípios vizinhos (conforme pode ser observado no mapa), resultando em um fluxo contínuo de menor complexidade, e conseqüentemente menores índices de acidentes.

3.4 ANÁLISE DAS OCORRÊNCIAS DE TRÂNSITO POR TIPOLOGIA

Em relação a classificação e tipologia das ocorrências de trânsito compiladas no ano de 2019, com base nos dados registrados pelo CBMSC - 212 ocorrências no total - foi possível caracterizar cada uma delas de acordo com a descrição da ocorrência efetuada pelo órgão responsável, representado pelo gráfico 04.

Gráfico 04. Tipologia das ocorrências de trânsito do ano de 2019 registradas pelo CBMSC.



Fonte: Os autores (2020) - Com base nos dados do CBMSC.

Conforme as informações demonstradas no gráfico acima, é possível verificar que as ocorrências caracterizadas como queda de moto se destacaram como principal causa de acidentes ocorridos no ano de 2019, com 66 ocorrências, seguido por colisões entre carros e motos (52) e quedas de bicicletas (24), que também apresentaram números elevados. Já em relação ao tipo de modal envolvido nos acidentes, 88% das ocorrências

(186) envolveram motorizados, sendo que 66% do total envolvem, de alguma forma, motociclistas. Já os modais não motorizados tiveram participação em 22% das ocorrências (46).

De acordo com o DETRAN/SC, a frota de motonetas e motocicletas registradas no município representa 26,34% da frota total (superado apenas pelos automóveis). Confrontando esse percentual (26%) com aquele resultante da análise das ocorrências de trânsito registradas no ano de 2019 (66%), podemos verificar a grande participação, proporcional, de motociclistas nos acidentes.

Devido ao número considerável de quedas envolvendo ciclistas, representando um total de 24 ocorrências no ano de 2019, sendo a terceira principal causa dos acidentes ocorridos naquele ano, buscou-se a informação da extensão da malha cicloviária do município, o que corresponde cerca de 4,75 km. Ou seja, esse valor ainda é considerado baixo em relação à extensão total viária do município, o que acaba proporcionando maiores riscos aos ciclistas que trafegam nas vias em que não se tem uma área restrita para este tipo de modal.

3.5 ANÁLISE DAS OCORRÊNCIAS DE TRÂNSITO POR DIA DA SEMANA

Através dos registros datados referentes às ocorrências de trânsito de 2019, tornou-se possível verificar quais os dias da semana que apresentaram o maior número de ocorrências, conforme apresentado na tabela 01.

Tabela 01. Compilação dos acidentes por dia da semana.

RELAÇÃO DE ACIDENTES POR DIA DA SEMANA-2019-DADOS CBMSC		
DIA DA SEMANA	Nº OCORRÊNCIAS	Nº OCORRÊNCIAS (%)
SEGUNDA-FEIRA	28	13,21%
TERÇA-FEIRA	34	16,04%
QUARTA-FEIRA	34	16,04%
QUINTA-FEIRA	20	9,43%
SEXTA-FEIRA	43	20,28%
SÁBADO	34	16,04%
DOMINGO	19	8,96%

Fonte: Os autores (2020) - Com base nos dados do CBMSC.

Visualizando os resultados apresentados acima, é possível verificar que a sexta-feira foi o dia da semana que apresentou maior concentração de acidentes, e o domingo o menor índice. Os demais dias da semana apresentam valores de um modo geral equilibrados. Visto que a discrepância entre os valores não é tão alarmante, não foi possível evidenciar algum fato que poderia comprovar o dia de maior e menor quantidade de acidentes de trânsito.

3.6 ANÁLISE DAS OCORRÊNCIAS DE TRÂNSITO POR MÊS

Conforme os dados coletados, relacionou-se a quantidade de ocorrências registradas por mês durante o ano de 2019. A média mensal dos acidentes resultou em uma taxa de 17,67 acidentes/mês. Os percentuais de cada mês podem ser visualizados na tabela 02.

Tabela 02. Relação de ocorrências de trânsito ao mês no ano de 2019.

RELAÇÃO DE ACIDENTES POR MÊS-2019-DADOS CBMSC	
JANEIRO	16
FEVEREIRO	12
MARÇO	14
ABRIL	21
MAIO	21
JUNHO	21
JULHO	20
AGOSTO	18
SETEMBRO	11
OUTUBRO	15
NOVEMBRO	23
DEZEMBRO	20
TOTAL ANUAL	212
MÉDIA MENSAL DE ACIDENTES NO ANO DE 2019	17,67

Fonte: Os autores (2020) - Com base nos dados do CBMSC.

De um modo geral, os valores constantes na tabela 02 apresentam um certo equilíbrio, destacando-se apenas o mês de setembro, que resultou em um valor um pouco abaixo da média. Entre os meses de abril a julho, os valores se mantiveram praticamente constantes. Avaliou-se a possibilidade de influência das festas culturais que ocorrem no município neste período citado, porém não se evidenciaram fatores relevantes, visto que nos demais meses a variação do valor também não demonstra resultados exorbitantes que possam justificar esta suposição.

Esta uniforme distribuição das ocorrências ao longo dos meses, sem uma variação considerável, também pode ser justificada pelo fato da cidade de Guabiruba

possuir a constante presença da população durante o ano por completo, não sendo uma cidade com fluxo sazonal, como ocorre em cidades litorâneas por exemplo. Esta característica talvez possa ser avaliada como um argumento que contemple os resultados obtidos.

3.7 EVOLUÇÃO HISTÓRICA DAS OCORRÊNCIAS

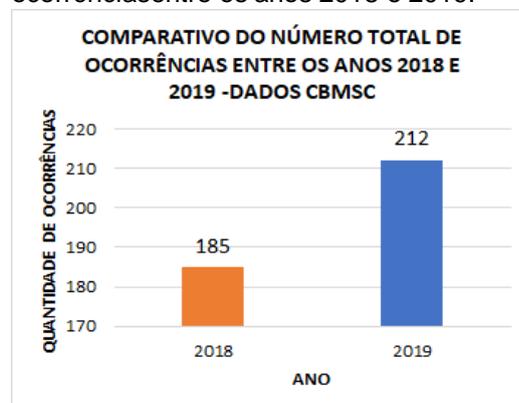
Através dos dados coletados junto ao CBMSC, permitiu-se elaborar uma evolução histórica das ocorrências de trânsito em Guabiruba/SC, evidenciando o ano anterior (2018) por apresentar maior quantidade de informações (descritas no tópico 4.7.1), além do número total de ocorrências registradas entre os anos de 2009-2019 (apresentados no item 4.7.2).

4.7.1 Anos 2018 e 2019

Considerando os dois anos que se obtiveram maior quantidade de informações junto aos dados registrados pelo CBMSC, o presente item tem como objetivo apresentar algumas informações consideradas relevantes durante a análise e compilação dos dados adquiridos.

O Gráfico 05 apresenta a evolução das ocorrências de trânsito entre os dois anos analisados.

Gráfico 05. Comparação do total de ocorrências entre os anos 2018 e 2019.



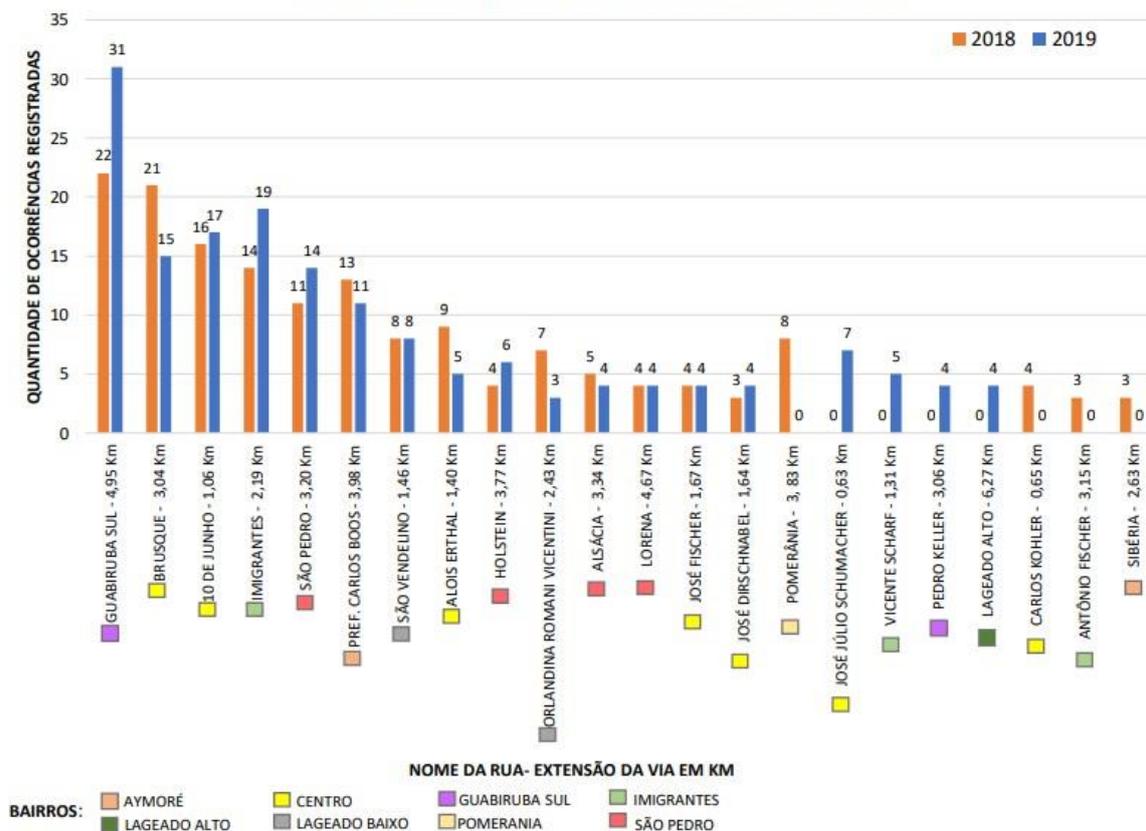
Fonte: Os autores (2020) - Com base nos dados do CBMSC.

Analisando o gráfico acima, é possível afirmar que a taxa de acidentes em 2019 aumentou em torno de 14%.

Verificando os registros do número total de ocorrências dos anos de 2018 e 2019, a relação das vias com maiores índices de acidentes de trânsito são similares, divergindo apenas quatro vias que não aparecem na relação referente ao ano de 2019. Destaca-se também que os números relacionados a cada uma destas vias em comum entre os dois anos também são bastante similares, divergindo na ordem com uma pequena diferença entre os valores compilados, aos quais podem ser observados no gráfico 06.

Gráfico 06. Comparação entre as ruas com maiores índices de ocorrências entre os anos 2018-

COMPARATIVO ENTRE AS RUAS COM MAIORES ÍNDICES DE OCORRÊNCIAS DE TRÂNSITO ENTRE OS ANOS DE 2018-2019 (DADOS CBMSC)



2019.

Fonte: Os autores (2020) - Com base nos dados do CBMSC.

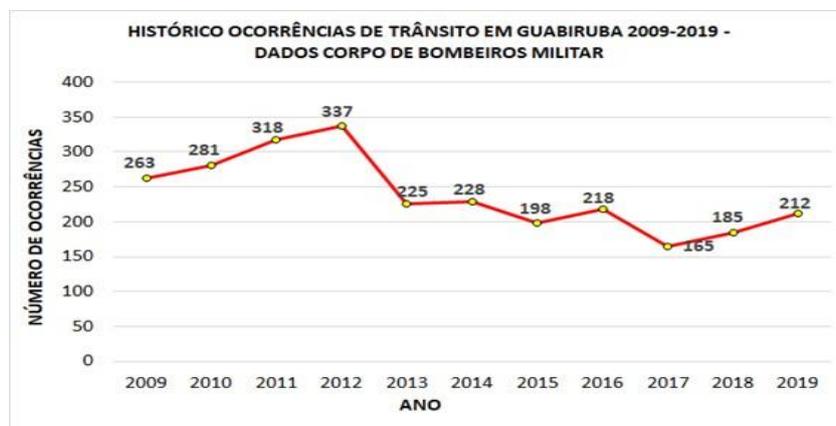
Analisando os registros do número de ocorrências entre as vias que

indicarmos maiores índices entre os anos de 2018 e 2019, pode-se observar que a Rua Guabiruba Sul também foi destaque no maior número de ocorrências no ano de 2018, porém com uma quantidade de 09 acidentes a menos em relação ao ano seguinte (2019). As demais vias que apresentaram maior valor de diferença, pode-se destacar também a Rua Brusque (com disparidade de 06 ocorrências entre os anos 2018 e 2019), as demais vias apresentaram índices similares, com diferença entre elas de no máximo 5 ocorrências, com exceção das 4 vias que registraram 3 ou mais ocorrências que não aparecem em ambas as listagens, no caso a Rua Pomerânia, Rua Carlos Kohler, Rua Antônio Fischer e Rua Sibéria, que apareceram apenas na relação de 2018; e das Rua Vicente Scharf, Rua Pedro Keller, Rua Lageado Alto e Rua José Júlio Schumacher, que se destacaram apenas na listagem de 2019.

4.7.2 Período 2009 - 2019 - evolução do número total de ocorrências

Este estudo, além de coletar e compilar os dados das ocorrências de trânsito ocorridas no ano de 2019 no município de Guabiruba/SC, analisou o número total de acidentes ocorridos em uma série histórica de 11 anos (de 2009 a 2019). O gráfico 07 ilustra os resultados obtidos através dos registros realizados pelo Batalhão do Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina - CBMSC, atuante no município de Guabiruba/SC.

Gráfico 07. Histórico das ocorrências de trânsito de Guabiruba (2009 a 2019).



Fonte: Os autores (2020) - Com base nos dados do CBMSC.

De acordo com o gráfico apresentado acima, pode-se afirmar que no ano de 2019 os acidentes de trânsito (212 ocorrências) apresentaram uma queda de 11,33% em relação a média dos acidentes registrados nos últimos 11 anos (239,09 ocorrências por ano). Essa redução gradativa pode ser consequência das melhorias realizadas no meio urbano, como pavimentação de vias, implantação de sinalização de trânsito, além de ações voltadas à educação e fiscalização no trânsito, entre outros fatores que podem ser estudados de forma mais aprofundada.

O gráfico 07 ainda nos mostra uma queda acentuada no número de ocorrências registradas do ano de 2012 para o ano de 2013. Em consulta realizada ao órgão responsável pelo registro das ocorrências (corpo de bombeiros), constatou-se que não houve alteração na forma de preenchimento das ocorrências, não sendo esta, então, a causa da redução observada. Já em conversa com a administração pública, em consulta à equipe atuante naquele período, houve menção de que, no início da nova gestão municipal - administração do então prefeito eleito Mathias Kohler - houve um aumento na fiscalização no trânsito por parte da Polícia Militar, bem como estudos e aplicações de alterações urbanas, como redução de velocidade em 50 Km/h nos pontos centrais da cidade com maior fluxo de veículos diários, inserção de faixas elevadas para travessia de pedestres, execução de pavimentação de vias entre outras melhorias realizadas no período e nos anos subsequentes, que muito provavelmente foram responsáveis pela redução dos números de ocorrências de trânsito observada.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através dos resultados obtidos na presente pesquisa, é possível concluir que o estudo pode ser destacado como de extrema importância para diversas finalidades, dentre elas, servir como material de base para discussão e definição de diversas ações e melhorias relacionadas ao trânsito e mobilidade, bem como formar parte da base histórica das ocorrências de trânsito no município de Guabiruba/SC.

Dentre os objetivos da pesquisa, todos foram alcançados, destacando-se um dos principais deles, em relação a compilação e o diagnóstico dos dados das ocorrências de trânsito da cidade de Guabiruba/SC voltadas para o ano de 2019, ao qual se sobressaiu como o de maior relevância, visto conter uma maior quantidade de informações adquiridas junto aos órgãos responsáveis em realizar o cadastramento das ocorrências (CBMSC e PM). Cabe mencionar também o agradecimento aos responsáveis pelos órgãos citados acima, além do apoio da Prefeitura Municipal de Guabiruba por disponibilizar diversas informações e dados para que o estudo pudesse ocorrer.

Em relação às adversidades encontradas ao longo do trabalho, pode-se mencionar que a forma de coleta das informações realizadas pelos órgãos ainda é muito sucinta, impedindo a elaboração de um levantamento de dados mais detalhado. Outro fato a destacar seria a divergência entre a forma de registro dos dois órgãos (CBMSC e PM), dificultando a análise comparativa entre as duas fontes. Desta forma, evidencia-se a necessidade de sistematizar os dados de forma padronizada entre as corporações, enriquecendo na quantidade de informações, permitindo também a identificação mais específica de cada local de ocorrência.

Por fim, através dos resultados apresentados neste estudo, os índices compilados e mapeados têm como intuito contribuir como material didático para o estudo de tomada de decisões futuras relacionadas a melhoria do meio urbano, bem como mobilidade da cidade. Além disso, a pesquisa deve servir como base histórico de informações relacionadas às ocorrências de trânsito da cidade, permitindo a utilização destas informações em ações voltadas a educação no trânsito, alertando toda a comunidade sobre os principais problemas vinculados ao trânsito e mobilidade do Município de Guabiruba/SC.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10697**: Pesquisa de acidentes de trânsito – Terminologia. Rio de Janeiro, 2018.

BRASIL. Lei no 9.503, de 23 de setembro de 1997. **Institui o Código de Trânsito Brasileiro**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, 24 set. 1997. Disponível em: <www.planalto.gov.br>. Acesso em 19 mar. 2020 GIL, Antônio Carlos. **Métodos e Técnicas de Pesquisa Social**. 6.ed. São Paulo: Atlas, 2008.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Município de Guabiruba**: panorama. Brasília, 2020. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sc/guabiruba/panorama>. Acesso em 21 nov. 2020.

LITMAN, Todd. Valuing Transit Service Quality Improvements. **Journal of Public Transportation**, v. 11, n. 2, 2008. Disponível em: <https://scholarcommons.usf.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1212&context=jpt>. Acesso em 21 nov. 2020.

LITMAN, Todd. A New Transit Safety Narrative. **Journal of Public Transportation**, v.17, n. 4, 2014. Disponível em: <https://scholarcommons.usf.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1007&context=jpt>. Acesso em 21 nov. 2020.

MENDONÇA, Marcela Franklin Salvador de; SILVA, Amanda Priscila de Santana Cabral; CASTRO, Claudia Cristina Lima de. Análise espacial dos acidentes de trânsito urbano atendidos pelo Serviço de Atendimento Móvel de Urgência: um recorte no espaço e no tempo. **Revista Brasileira Epidemiológica**, São Paulo, v. 20, n. 4, out/dez. 2017. DOI:<https://doi.org/10.1590/1980-5497201700040014>. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-790X2017000400727&lang=pt#B10. Acesso em 21 nov. 2020.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Saúde Brasil 2018 - Uma análise da situação de saúde e das doenças e agravos crônicos: desafios e perspectivas**. Brasília, 2019. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/saude_brasil_2018_analise_situacao_saude_doencas_agravos_cronicos_desafios_perspectivas.pdf. Acesso em 21

nov.2020.

ROCHA, Greiciane da Silva; SCHORR, Néia.
Acidentes de motocicletas no município de Rio Branco: caracterização
etendências. **Revista Ciência & Saúde Coletiva**, Rio de Janeiro, v.
18,
n. 3, mar. 2013. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-81232013000300018>.
Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-81232013000300018. Acesso em 21 nov. 2020.

SOUZA, Vanessa dos Reis de *et al.* Análise espacial dos acidentes de trânsito com vítimas fatais: comparação entre o local de residência e de ocorrência do acidente no Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Estudos de População**, São Paulo, v. 25, n. 2, jul/dez. 2008.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-30982008000200010>. Disponível em:
https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0102-30982008000200010&script=sci_arttext. Acesso em 21 nov. 2020.

VASCONCELLOS, Eduardo Alcântara de, **Mobilidade Urbana e Cidadania**. São Paulo: Senac, 2018.



A indústria da construção pré-fabricada e as ferramentas da construção enxuta: estratégia do gerenciamento baseado no fluxo

The precast construction industry and lean construction tools: flow-based management strategy

Elias Riffel

Resumo: O Sistema Toyota de Produção (STP) formulou a base referencial para elaboração dos princípios da construção enxuta, denominada de *Lean Construction* e organizada por Lauri Koskela, em 1992. A aplicação dos princípios da produção enxuta tem se tornado um grande desafio para a construção nas últimas décadas, cujo parâmetro de gerenciamento necessita estar inserido em seus processos industriais. A pesquisa tem a proposta de articular dois objetivos: primeiramente, relacionar as vantagens competitivas da construção de pré-fabricados em concreto armado, denominadas neste estudo de construtos da indústria pré-fabricada (CIP), como também identificar quais são as ferramentas da construção enxuta (FCE) incorporadas à construção civil mais expoentes pelos autores em suas obras. O segundo objetivo foi articular uma inter-relação conceitual de compatibilidade entre os dois fatores: a construção pré-fabricada e a construção enxuta. A metodologia foi delineada por uma pesquisa qualitativa e estruturada através de 178 publicações entre livros e artigos científicos atinentes aos temas estudados. A análise dos dados estabeleceu resultados que demonstraram um alinhamento conceitual entre três construtos e três ferramentas da construção enxuta. De forma conclusiva, a pesquisa constatou a convergência do fluxo como elemento comum entre as FCE, o que permitiu embasar os processos da construção enxuta pela estratégia do gerenciamento baseado no fluxo (GBF).

Palavras-chave: Construção civil; Concreto pré-fabricado; Gestão de obras; Construção enxuta.



A indústria da construção pré-fabricada e as ferramentas da construção enxuta: estratégia do gerenciamento baseado no fluxo

Abstract: The Toyota Production System (TPS) formulated the referential base for the elaboration of lean construction principles, called Lean Construction and organized by Lauri Koskela, in 1992. The application of lean production principles has become a major challenge for construction in the last decades, whose management parameter needs to be inserted in their industrial processes. The research proposes to articulate two objectives: first, to relate the competitive advantages of the construction of precast reinforced concrete, named in this study of precast industry constructs (PIC), as well as to identify which are the lean construction tools (LCT) incorporated to civil construction more exponents by the authors in their works. The second objective was to articulate a conceptual interrelationship of compatibility between the two factors: prefabricated construction and lean construction. The methodology was outlined by a qualitative and structured research through 178 publications, including books and scientific articles related to the studied themes. Data analysis established results that demonstrated a conceptual alignment between three constructs and three lean construction tools. Conclusively, the research found the convergence of the flow as a common element among the LCT, which allowed to base the lean construction processes on the strategy of flow-based management (FBM).

Keywords: Construction; Precast concrete; Construction management; Lean construction.

1. Introdução

No final dos anos 1940, o Japão era um país mergulhado em uma grave crise financeira provocada por sua desastrosa participação na Segunda Guerra Mundial, com organizações à deriva e na difícil missão de se manterem vivas e produtivas (RODRIGUES, 2016). Rattner (1987, p. 11), avalia que “Após a II Guerra, os esforços do governo japonês concentraram-se na reconstrução da economia do país, totalmente arrasada pelos bombardeios norte-americanos”. Neste contexto, nasce a produção enxuta, concebida a partir da década de 1950,

A indústria da construção pré-fabricada e as ferramentas da construção enxuta: estratégia do gerenciamento baseado no fluxo

quando Eiji Toyoda começou uma peregrinação de três meses na fábrica da Ford, no complexo industrial de River Rouge, Detroit, nos Estados Unidos (WOMACK; JONES; ROOS, 1992; KUREK *et al.*, 2006, DENNIS, 2011). As indústrias japonesas, não disponibilizando dos mesmos recursos tecnológicos que as indústrias americanas, buscaram formas de melhoria dos seus processos no desenvolvimento de conceitos e técnicas para eliminação dos desperdícios, aos quais foram denominados de Sistema Toyota de Produção ou Produção Enxuta (VALENTE; AIRES, 2017).

Desde que a Produção Enxuta (PE) tornou-se o novo horizonte para a gestão da produção e configurou um novo paradigma para o setor industrial automotivo, também dinamizou diferentes modelos e práticas de produção em outros setores, empresas e países, onde pesquisas e trabalhos têm sido realizados em diferentes segmentos buscando a aplicação da nova metodologia de gestão da produção (SOHLER; SANTOS, 2017). Assim, em 1992, foi publicado pelo professor finlandês Lauri Koskela o relatório nº 72 do Centro Integrado de Engenharia da Universidade de Stanford, intitulado de Aplicação da Nova Filosofia da Produção para a Construção, lançando as bases desta nova filosofia à construção civil (LIMA *et al.* 2017).

No ano seguinte, em 1993, foi fundada por Glenn Ballard e Gregory A. Howell uma instituição nominada *International Group for Lean Construction* (Peretti, Faria e Santos, 2013) que se originou a partir do relatório de Koskela (REIS *et al.* 2017). Desse modo, a *Lean Construction* ou Construção Enxuta (CE), consolidou-se como uma filosofia de produção para a indústria da construção, originária dos esforços desse grupo de pesquisadores ao aplicar os conceitos, princípios e práticas de gestão da produção enxuta no setor da construção civil (RIBEIRO, 2015; BERNARDES, 2021).

A construção civil no Brasil tem sido caracterizada como conservadora e tradicional, segundo Oliveira *et al.* (2017), e quando comparada aos demais setores produtivos, apresenta desenvolvimento e desempenho significativamente inferiores (SILVA *et al.*, 2018). El Debs (2017) contribui afirmando que a construção



A indústria da construção pré-fabricada e as ferramentas da construção enxuta: estratégia do gerenciamento baseado no fluxo

civil tem sido considerada uma indústria atrasada quando comparada a outros ramos industriais e a razão disso está no fato de apresentar baixa produtividade, grande desperdício de materiais, morosidade e baixo controle de qualidade. O mesmo autor ainda declara que, uma das formas de buscar a redução desse atraso está associada à utilização de elementos pré-fabricados. O emprego dessas técnicas recebe a denominação de concreto pré-moldado ou pré-moldagem e as estruturas formadas pelos elementos pré-moldados são denominadas de estruturas de concreto pré-moldado. Tam *et al.* (2007); Cao *et al.* (2015), atestam que o emprego da pré-fabricação aumenta o grau de desenvolvimento tecnológico, pois proporciona maior oferta de equipamentos, valorização da mão de obra e exigências mais rigorosas em relação à qualidade dos produtos.

Em Polito (2015), a evolução construtiva das edificações e das atividades de engenharia civil nas próximas décadas será influenciada pelo desenvolvimento do processo de informação, pela comunicação global, pela industrialização e pela inovação.

Diante deste contexto, o estudo tem a proposta de apresentar dois objetivos: primeiramente realizar uma pesquisa bibliográfica baseada em livros e artigos científicos para verificar quais são as vantagens competitivas evidenciadas no setor da pré-fabricação de estruturas de concreto, neste estudo denominadas de construtos da indústria pré-fabricada (CIP). De forma paralela, outra pesquisa bibliográfica foi elaborada para analisar quais as ferramentas da construção enxuta (FCE) foram mais citadas e aplicadas por seus autores em suas obras. O segundo objetivo foi estabelecer uma relação conceitual de compatibilidade entre os construtos da indústria pré-fabricada com as ferramentas da construção enxuta.

Face a generalização do sistema da produção enxuta que pode ser implantado na construção civil, o estudo procurou responder a seguinte questão problema: qual o alinhamento conceitual que pode ser evidenciado entre os construtos da indústria pré-fabricada e as ferramentas da construção enxuta?



A indústria da construção pré-fabricada e as ferramentas da construção enxuta: estratégia do gerenciamento baseado no fluxo

Na análise dos resultados, os três construtos da indústria pré-fabricada que apresentaram maior evidência foram a produtividade, a qualidade e a sustentabilidade; enquanto que as ferramentas da construção enxuta mais citadas ou aplicadas por seus autores foram a teoria da transformação, fluxo e valor (TFV), o sistema *Last Planner* (SLP) e a produção puxada. Além do alinhamento detalhado pela costura teórica entre construtos e ferramentas, conclusivamente, o estudo também propôs uma análise mais sintética, estabelecendo uma relação de funcionalidade entre as ferramentas pesquisadas com a estratégia do gerenciamento baseado no fluxo (GBF).

2. Referencial teórico

2.1 A produção enxuta

Womack, Jones e Roos (1992), Rotta e Paulo (2017), Sacomano *et al.* (2018), aferem os três métodos de produção concebidos pelo homem: durante séculos a **produção artesanal** utilizou-se de trabalhadores altamente qualificados e ferramentas simples para produzir um item de cada vez e de acordo com o anseio do consumidor; após a I Guerra Mundial, a **produção em massa** empregou máquinas dispendiosas e especializadas em uma única tarefa adicionando folgas, como suprimentos, trabalhadores e espaço e, após a II Guerra Mundial, iniciou-se a era da **produção enxuta**, que em contraposição, evitou os altos custos da produção artesanal e a rigidez da produção em massa, visando a padronização, redução de desperdícios, eliminação das perdas e qualidade do projeto ao produto, ao empregar equipes de trabalhadores multidisciplinares.

Na década de 1950, em sua visita de três meses à fábrica da Ford, na planta de River Rouge em Detroit nos Estados Unidos, Eiji Toyoda, escreveu para sua empresa dizendo ser possível melhorar o sistema de produção (WOMACK; JONES; ROOS, 1992). A este novo início experimental de pensar a produção, nasceu no Japão, o Sistema Toyota de Produção (STP), conforme Tuholski *et al.* (2009) e Tezel e Nielsen (2013), sendo posteriormente denominado de Sistema de

A indústria da construção pré-fabricada e as ferramentas da construção enxuta: estratégia do gerenciamento baseado no fluxo

Produção Enxuta (SPE) por Womack, Jones e Roos na obra autoral *A Máquina que Mudou o Mundo* (DENNIS, 2011; FUENTES; DÍAZ, 2012; FREITAS *et al.*, 2018).

Womack e Jones (1998); Arslankaya e Atay (2015), relataram que executivo da Toyota, Taiichi Ohno, também um dos idealizadores do método juntamente com Eiji Toyoda, deu início às atividades agrupando trabalhadores em equipes que eram responsáveis por um conjunto de etapas de montagem. Após o funcionamento das equipes, reservavam periodicamente um horário para que os grupos pudessem sugerir um conjunto de medidas a fim de melhorar o processo; essa prática de sugestões para aperfeiçoamento coletivo e gradual veio a se denominar *Círculo de Controle da Qualidade (CCQ)*, Kaizen, em japonês.

Em Ishikawa (1993), Dr. Deming, dos Estados Unidos, realizou em 1950, um seminário de 8 dias para o Sindicato dos Cientistas Japoneses, no qual conferenciou um ciclo de projeto que deve ser seguido por um outro ciclo que começa com a re-execução do projeto baseado na experiência obtida no ciclo anterior. Desta forma, a qualidade está sendo reprojeta e melhorada continuamente.

Ainda sobre a concepção da produção enxuta, Womack e Jones (1998) estenderam e definiram o conceito do pensamento enxuto (*lean thinking*) à produção enxuta como sendo uma filosofia que visa eliminar atividades produtivas que não agregam valor ao produto final (Benini e Bonoto, 2019), codificando a essência da produção enxuta em cinco princípios básicos: valor, fluxo de valor, fluxo contínuo, produção puxada e perfeição (ALMEIDA; PICCHI, 2018). Segundo Hines, Holweg e Rich (2004), o conceito “enxuto” existe em dois níveis: estratégico e operacional e, afirmam que o pensamento enxuto no nível estratégico e a produção enxuta no nível operacional são cruciais para a compreensão do conceito “*lean*” como um todo.

Neste sentido, Tezel e Nielsen (2013), Buyukozkan, Kayakutlu e Karakadilar (2015) e Urban (2015), afirmam que o pensamento enxuto representa uma forma metodológica de especificar valor, de melhoria dos processos ao



A indústria da construção pré-fabricada e as ferramentas da construção enxuta: estratégia do gerenciamento baseado no fluxo

alinhar a sequência das ações que criam valores, realizando-as sem interrupção e de forma cada vez mais eficaz, ou seja, é uma forma de fazer mais com cada vez menos, menos esforço humano, menos equipamento, menor custo, menos espaço e tempo, aproximando-se cada vez mais em oferecer aos clientes o que eles desejam.

Tezel e Nielsen (2013); Sacks, Treckmann e Rozenfeld (2009); Polito (2015) relatam que, outro conceito importante na direção do pensamento enxuto é analisar o fluxo das etapas que criam valor, pois combatendo o pensamento departamentalizado, as tarefas podem ser realizadas de forma mais eficiente e eficaz quando se trabalha continuamente no produto da matéria-prima à mercadoria acabada, ou seja, o processo funciona melhor quando é focado no produto e nas suas necessidades, de modo que as etapas de produção ocorram em fluxo contínuo.

Em síntese, o SPE, essencialmente, visa a eliminação do desperdício e a produção de qualidade, com o comprometimento das equipes de trabalho (Valente e Aires, 2017), a produção enxuta tem foco no cliente e o “coração” do sistema reside no envolvimento dos *teams* (Ribeiro *et al.*, 2019) e caracteriza-se como um conjunto de conceitos, práticas e ferramentas empregadas para criar valor ao consumidor (VECCHIA *et al*, 2020; MAGALHÃES, 2020).

A integração da metodologia para excelência operacional foi sistematizada por Fujio Cho por meio da Casa do Sistema Toyota de Produção, onde todas as atividades se encaixam, e cuja formação é sintetizada por: um embasamento constituído pela estabilidade e pela padronização; os pilares representados por produtos *just-in-time* e *jidoka*; entre os pilares, no coração da casa, estão os programas de envolvimento das equipes de trabalho; e a meta que está estabelecida no topo do sistema, com foco no cliente em entregar qualidade com o menor custo e menor *lead time* (DENNIS, 2008; RODRIGUES, 2016).

2.2. A construção enxuta

A indústria da construção pré-fabricada e as ferramentas da construção enxuta: estratégia do gerenciamento baseado no fluxo

O relatório autoral de Lauri Koskela denominado “*Application of the new production philosophy to construction*” de 1992, foi o primeiro referencial teórico a expandir a teoria do STP à construção civil (Reis *et al.*, 2017; Correia, 2018); assim, a adequação ao conjunto de princípios, práticas e ferramentas do STP (Vecchia *et al.*, 2020) foi denominado de construção enxuta e representou a quebra do modelo de gerenciamento tradicional empregado na construção civil para o gerenciamento enxuto (SILVEIRA; MANO 2016).

Koskela *et al.* (2002) afirmaram que desde a década de 1990 a construção enxuta tem surgido como um novo conceito no gerenciamento e na prática da construção civil; relatam também que os princípios da construção enxuta visam maximizar o uso de materiais e mão de obra, evitando o desperdício e as atividades que não agregam valor ao trabalho. Tezel e Nielsen (2013) citam os princípios fundamentais da construção enxuta em: eliminação do desperdício, redução do tempo de ciclo, redução da variabilidade, controle da produção puxada, fluxo contínuo e melhoria contínua. Guimarães e Guimarães (2016) e Bernardes (2021), classificam a base conceitual da construção enxuta em mais 5 princípios (não abordados neste estudo).

Dave *et al.*, (2015); Hamdar *et al.*, (2015), atestam que o fluxo de informações no canteiro de obras é uma questão complexa e depende de uma variedade de fatores; este fluxo de forma regular é essencial para assegurar um eficiente controle e gerenciamento da produção. O sistema de gerenciamento da construção enxuta deve levar em conta a natureza dinâmica dos projetos de construção e deve ter o objetivo de melhorar o fluxo de informações durante a execução do projeto. Alguns sistemas computacionais já foram desenvolvidos como *Enterprise Resource Planning (ERP)*, *VisiLean*, *Building Information Modeling (BIM)*, como forma de viabilizar as atividades dos trabalhadores no canteiro de obras e como suporte de informações para o fluxo de trabalho, fornecendo recursos específicos de planejamento e controle da produção.

Forbes e Ahmed (2010) alegam que a implementação do conceito *lean* no setor da construção civil tem provado ser um desafio devido a singularidade de



A indústria da construção pré-fabricada e as ferramentas da construção enxuta: estratégia do gerenciamento baseado no fluxo

cada projeto, no qual o proprietário define o produto final e que o mesmo projeto é raramente recorrente. Segundo Caldas *et al.* (2005); Brito e Ferreira (2015), controlar o sistema produtivo em um processo de planejamento dinâmico e fragmentado como da construção civil, inclui suporte à integração de informações para gerenciamento dos projetos que necessitam ser planejados, implementados, verificados e validados. Nesta abordagem, Navon e Sacks (2007), percebem a construção enxuta como um sistema baseado no gerenciamento de projetos com maior ênfase no fluxo de trabalho do que em atividades distintas; os mesmos autores ainda avaliam que a indústria da construção apresenta comparativamente um sistema de monitoramento de projeto lento e primitivo pelas seguintes razões: os materiais de construção são entregues de forma dinâmica; contudo, os canteiros de obras são adversos para métodos de monitoramento automatizados de projeto; além do que, os métodos de controle da construção convencional são baseados na coleta manual de informações, os quais são lentos, imprecisos e caros.

Além das peculiaridades inerentes do sistema produtivo do setor apresentar um caráter não homogêneo e não seriado, conforme explica Oliveira *et al* (2017), a implantação da cultura enxuta na construção civil apresenta entraves, como o alto custo de consultorias; a falta de compreensão dos conceitos *lean* em função da baixa escolaridade e qualificação da mão de obra; a alta rotatividade dos recursos humanos e a falta de estrutura das empresas (GUIMARÃES; GUIMARÃES, 2016; CORREIA, 2018; SIMÃO *et al.* 2019; FIUZA; FERREIRA, 2021).

2.3. A construção civil pré-fabricada

Doniak e Gutstein (2012), afirmam que a industrialização da construção civil está associada às questões sociais e mercadológicas, ao longo da história da humanidade. Alguns aspectos de industrialização como coordenação modular, engenharia de materiais e racionalização já estavam presentes na complexidade das obras da Grécia Antiga ou da Arquitetura Gótica. O surgimento de sistemas



A indústria da construção pré-fabricada e as ferramentas da construção enxuta: estratégia do gerenciamento baseado no fluxo

construtivos que possibilitaram elevar a produtividade começou no pós Segunda Guerra Mundial, em 1942, na Europa, em função da alta demanda por infraestrutura e habitação. Nesse contexto, a pré-fabricação em concreto se tornou o meio mais difundido para a industrialização da construção Civil.

Vasconcelos (2002); Serra, Ferreira e Pigozzo (2005), enfatizam que o primeiro marco da pré-fabricação de concreto no Brasil refere-se à obra do Hipódromo da Gávea, no Rio de Janeiro, em 1926. No fim da década de 50, na cidade de São Paulo, a Construtora Mauá, executou os primeiros galpões pré-moldados no canteiro de obras.

De acordo com Viegas e Saraiva (2012), os princípios que embasaram o desenvolvimento da pré-fabricação foram a simplicidade de execução, a repetição de componentes e a rapidez de construção, cujos conceitos originais são válidos para a atualidade, com crescentes exigências de qualidade, segurança e complexidade de manufatura, sendo produzidos em condições industriais, com mão de obra especializada, conduzindo a padrões de qualidade e menor risco de acidentes de trabalho.

El Debs (2017) apresenta e explica algumas características inerentes à construção pré-fabricada, entre as quais: o emprego do concreto pré-moldado estrutural proporciona uma significativa redução no tempo de execução da obra, ao antecipar os serviços de cobertura da construção para etapas posteriores livres de intemperismos; propicia obra mais limpa, com menor índice de desperdício de materiais; incorpora aspectos relacionados à sustentabilidade pela redução do consumo de materiais, ao empregar seções transversais ou formas estruturais mais eficientes; reuso parcial da construção por meio de projetos com possibilidade de desmontabilidade da obra; a manufatura dos elementos estruturais nas unidades fabris promove melhores condições de trabalho se comparadas com o canteiro, contudo, torna-se necessário uma mão de obra mais especializada para os serviços de montagem da estrutura.

Schokker (2010) afirma que o concreto pré-moldado é produzido com muito pouco desperdício, pois o uso repetitivo de padrões e modelos pode gerar



A indústria da construção pré-fabricada e as ferramentas da construção enxuta: estratégia do gerenciamento baseado no fluxo

uniformidade na precisão e no controle de qualidade do concreto. O concreto pré-moldado tem uma perda aproximada de 2%, pois o desperdício produzido pode ser reusado para manufatura de outros produtos ou pode ser regenerado lavando ou separando os agregados para uso em outros lotes de operação.

Li, Shen e Alshawi (2014), constatam que a pré-fabricação tem sido amplamente considerada como um método de construção sustentável em termos de impacto de proteção ambiental. Um importante aspecto nesta perspectiva é a influência da pré-fabricação na redução do desperdício da construção e as consequentes atividades de tratamento de resíduos, incluindo triagem de resíduos, reuso, reciclagem e disposição final. A redução do desperdício é o processo que evita, elimina ou minimiza os resíduos na sua fonte, permitindo o reuso ou a reciclagem para fins benignos. Em seus estudos, cerca de 40% do lixo sólido urbano é resíduo da construção civil e que obras pré-fabricadas têm sido executadas gerando 1% de desperdício se comparadas com edificações convencionais.

Li, Shen e Xue (2014), classificam a construção pré-fabricada como um método de construção sustentável e cada vez mais adotada em todo o mundo para aumentar a produtividade e para aliviar os efeitos ambientais e sociais das atividades da construção convencional. Analisam também que, o reconhecimento da importância da tecnologia da pré-fabricação para melhoria da produtividade e conservação ambiental, tem gerado vários estudos; contudo, conteúdos relativos ao assunto na literatura existente parecem insuficientes, impedindo os pesquisadores de abstrair uma visão geral da evolução das pesquisas em campo, propondo uma disciplina específica de Gerenciamento da Construção Pré-fabricada (GCP).

Cao *et al.* (2015), alegam existir uma necessidade urgente em avaliar a performance ambiental da tecnologia da pré-fabricação para identificar que ela é um método efetivo de desenvolvimento sustentável. Em estudos comparativos com uma edificação residencial, foi analisado o processo construtivo pré-fabricado e o processo tradicional de construção, obtendo os seguintes resultados: a



A indústria da construção pré-fabricada e as ferramentas da construção enxuta: estratégia do gerenciamento baseado no fluxo

amostra da construção residencial pré-fabricada foi mais eficiente em energia consumindo 20,49% menos energia que o processo convencional; redução de 35,82% no esgotamento de recursos; redução de 6,61% de prejuízos à saúde e redução de 3,47% de prejuízos em ecossistemas.

Tam *et al.* (2007), consideram o desperdício da construção como um dos principais fatores de impacto ambiental. Com o aumento da demanda de maior implementação de obras de infraestrutura, prédios comerciais e programas de desenvolvimento residencial, grande quantidade de entulho está sendo produzido e que falta aplicação por parte dos governantes. A indústria da construção gera uma quantidade diária que alcança 40% do total de entulho em aterros sanitários. Para um desenvolvimento sustentável e manutenção da capacidade dos aterros, existe uma necessidade urgente para a indústria adotar novas tecnologias ou métodos de construção, na qual pode reduzir efetivamente o desperdício. Por este motivo, a pré-fabricação está sendo largamente usada em países da Europa, Japão e Singapura, proporcionando uma melhor solução para os problemas de geração de desperdício nos canteiros de obra.

3. Metodologia

O estudo foi delineado por uma abordagem qualitativa de referenciais para atribuição das informações e das definições relativas aos conceitos da produção enxuta, construção enxuta e construção pré-fabricada; quanto a sua natureza, a pesquisa foi classificada como aplicada, pela qual sustenta Gerhardt (2009), de promover o conhecimento em aplicações práticas e focadas na solução de problemas específicos. A pesquisa também foi nomeada de bibliográfica ou de fontes secundárias, a qual analisa, estuda e explora um problema baseado em trabalhos já publicados, como livros, revistas e demais publicações (GONÇALVES *et al.*, 2014; MARCONI; LAKATOS, 2017).

A população analisada na pesquisa, expressa pelo “conjunto de elementos que possuem determinadas características”, conforme esclarece Richardson



A indústria da construção pré-fabricada e as ferramentas da construção enxuta: estratégia do gerenciamento baseado no fluxo

(2017, p. 143), foi constituída de 178 publicações bibliográficas relacionadas à produção enxuta, construção enxuta e construção civil pré-fabricada. Os referenciais foram compostos por livros e artigos científicos investigados em base de dados digitais como o *Scholar Google*TM, Capes Periódicos e Scielo Brasil, além dos anais do *International Group for Lean Construction* (IGLC) e do *International Symposium on Automation and Robotics in Construction* (ISARC).

O processo metodológico para a elaboração da pesquisa foi constituído de 3 etapas:

Etapa 1 - Selecionar as vantagens competitivas examinadas à luz das qualificações relativas ao setor da construção civil de estruturas pré-fabricadas de concreto, nesta pesquisa denominadas de construtos da indústria pré-fabricada (CIP).

Etapa 2 - Verificar as práticas e conceitos da produção enxuta incorporadas à construção civil como ferramentas da construção enxuta (FCE) mais evidenciadas e aplicadas pelos autores em suas obras.

Etapa 3 - Estabelecer uma relação conceitual de compatibilidade entre os construtos da indústria pré-fabricada (CIP) com as ferramentas da construção enxuta (FCE). Nesta etapa, e sob ótica do pesquisador, foi representado um esquema com o alinhamento conceitual entre os 3 construtos pré-fabricados com as 3 ferramentas enxutas, ambos predominantes na pesquisa.

4. Análise de dados

Atualmente a Indústria da Construção Pré-fabricada (ICP) está em evidência na execução de obras industriais, comerciais e de infra-estrutura, além da aplicação em complexos esportivos como estádios e arenas. A industrialização dos processos produtivos nos segmentos de estruturas pré-fabricadas promove a gestão enxuta através da eliminação do desperdício de materiais e de trabalho, além de agregar valores econômicos e de segurança laboral no fluxo da produção.



A indústria da construção pré-fabricada e as ferramentas da construção enxuta: estratégia do gerenciamento baseado no fluxo

As características aqui mencionadas, se entrelaçam com as citadas referências autorais apresentadas no capítulo 2 do referencial teórico.

Diante deste contexto predicativo, na etapa 1 da pesquisa foi efetuado uma análise em 16 referenciais teóricos constituídos de artigos e livros relacionados com o tema da pré-fabricação. O quadro 1 demonstra as vantagens competitivas mais citadas pelos autores pesquisados, às quais, neste estudo, foram denominadas de construtos da pré-fabricação ou CIP.

Quadro 1 - Construção pré-fabricada: vantagens competitivas

Vantagens competitivas	Autores
Construção sustentável	Tam <i>et al.</i> (2007) Schokker (2010) Chastre e Lúcio (2012) Li, Shen e Alshawi (2014) Li, Shen e Xue (2014) Cao <i>et al.</i> (2015) El Debs (2017) Xiaosheng e Hamzeg (2020)
Aumento da produtividade	Chastre e Lúcio (2012) Li, Shen e Xue (2014) Cao <i>et al.</i> (2015) Kanai e Fontanini (2020)
Melhoria da qualidade	U.S. Green Concrete Council (2010) Cao <i>et al.</i> (2015) Konczak e Paslawski (2015) El Debs (2017) Brissi e Debs (2019)
Planejamento da produção	Konczak e Paslawski (2015)
Multifuncionalidade	Sacks, Esquenazi e Goldin (2007)
Custo	Chauhan <i>et al</i> (2019)

Fonte: Autor (2021).

Na etapa 2 da pesquisa, a leitura e a interpretação dos referenciais teóricos possibilitaram analisar a indústria da construção civil como uma atividade que vem sendo criticada pelo excessivo desperdício de materiais e por processos ineficientes em relação aos princípios da produção enxuta, onde o sistema produtivo opera baseado em uma abordagem sem estratégias de melhoria nos fluxos de produção, sem promoção da cultura organizacional e sem articulação institucional. A construção enxuta, por meio das práticas e técnicas incorporadas da produção enxuta, representa um novo pensar e interagir com os atuais

A indústria da construção pré-fabricada e as ferramentas da construção enxuta: estratégia do gerenciamento baseado no fluxo

(tradicionais) processos metodológicos construtivos na execução de obras e de gerenciamento do canteiro. Considerando as deficiências incorporadas no processo tradicional e as possibilidades de integração com uma nova filosofia de trabalho, o artigo analisou um conjunto de 122 publicações por meio de livros e artigos científicos, os quais convergiram em conceitos cujos autores alinharam ferramentas que realizam a difusão para aplicação na construção civil.

O quadro 2 relaciona as ferramentas gerenciais da construção enxuta mais citadas e aplicadas por seus pesquisadores em suas publicações, cuja abordagem de três colunas apresenta as denominações conceituais, suas aplicações e os respectivos autores.

Quadro 2 - Ferramentas da construção enxuta

Conceitos	Aplicações	Autores
Teoria da Transformação, Fluxo e Valor (TFV)	Controle da produção; qualidade; agregar valor; fluxo contínuo de trabalho.	Rosenblum <i>et al.</i> (2007) Sacks, Treckmann e Rozenfeld (2009) Tuholski <i>et al.</i> (2009) Ogunbiyi, Oladapo e Goulding (2014) Henriques e Silva (2009) Hosseini, Nikakhtar e Ghoddousi (2012) Dave <i>et al.</i> (2015) Tommelein (2015) Li <i>et al.</i> (2017) Sarhan <i>et al.</i> (2018)
<i>Last Planner System</i> (LPS)	Planejamento da produção; diminuir desperdício; visualizar o cronograma físico.	Rosenblum <i>et al.</i> (2007) Henriques e Silva (2010) Aziz e Hafez (2013) Ogunbiyi, Oladapo e Goulding (2014) Dave <i>et al.</i> (2015) Zhang e Chen (2016) Li <i>et al.</i> (2017) Almeida e Picchi (2018) Angelim <i>et al.</i> (2020)
Produção Puxada	Menor Estoque; atender as necessidades do cliente.	Kurek <i>et al.</i> (2006) Sacks, Treckmann e Rozenfeld (2009) Hosseini, Nikakhtar e Ghoddousi (2012) Peretti, Faria e Santos (2013) Dave <i>et al.</i> (2015)
Kaizen	Melhoria do processo construtivo.	Tezel e Nielsen (2013) Arslankaya e Atay (2015)
JIT	Eliminar estoques no canteiro; entrega de materiais no tempo	Kurek <i>et al.</i> (2006) Hosseini, Nikakhtar e Ghoddousi (2012)

A indústria da construção pré-fabricada e as ferramentas da construção enxuta: estratégia do gerenciamento baseado no fluxo

	certo.	Li <i>et al</i> (2017)
Kanban	Controle de Fluxo e Material.	Zhang e Chen (2016)

Fonte: Autor (2021).

A leitura dos dois quadros permitiu analisar a nítida convergência dos dados pesquisados, tanto no quadro 1 com a apuração dos construtos da pré-fabricação, como no quadro 2, com as ferramentas gerencias mais citadas e aplicadas em suas pesquisas por seus respectivos autores para implantação na construção enxuta. A figura 1 relaciona a consolidação desses resultados.

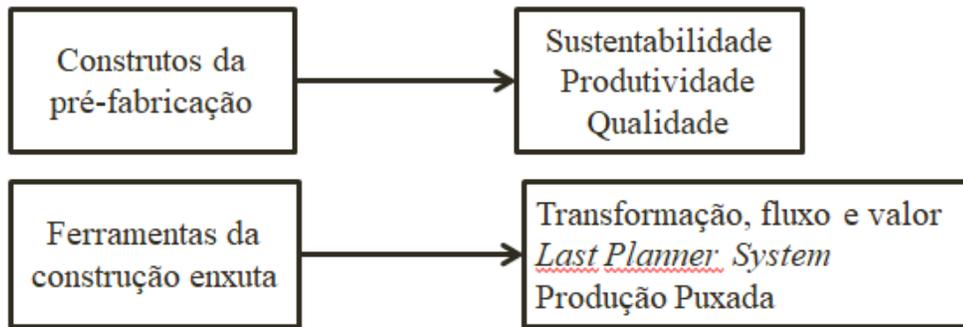
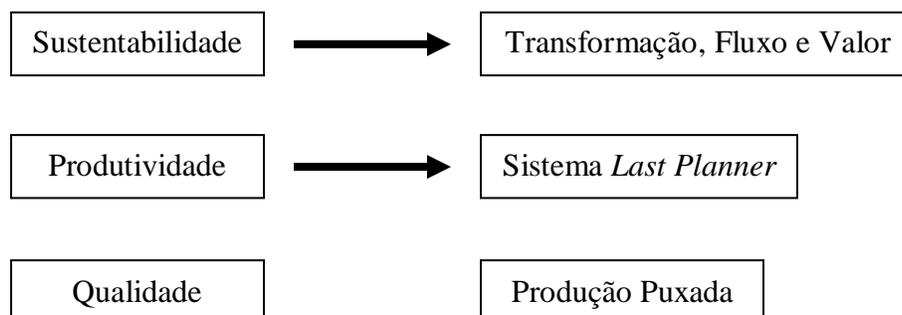


Figura 1 - Esquematização dos dados

Fonte: Autor (2021).

5. Resultados e discussões

Em cumprimento ao segundo objetivo da pesquisa e em resposta à questão problema que delimitou as proposições deste estudo, foi determinado uma relação de compatibilidade entre os construtos da ICP e as ferramentas da construção enxuta. A figura 2, sob a ótica do pesquisador, mostra este alinhamento conceitual entre os dados pesquisados.



A indústria da construção pré-fabricada e as ferramentas da construção enxuta: estratégia do gerenciamento baseado no fluxo



Figura 2 - Compatibilidade entre os construtos e as ferramentas da construção enxuta

Fonte: Autor (2021).

1ª. Ferramenta: Teoria Transformação, Fluxo e Valor.

A Teoria da Transformação, Fluxo e Valor (TFV) foi articulada por Lauri Koskela em seu artigo seminal de 1992, que embasou a fundamentação para a construção enxuta. A etapa de transformação consiste em processos de conversão de matéria-prima em produto final acabado; por sua vez, o fluxo de operações engloba atividades de informação, laboral e material; na etapa de valor, os fluxos de produção são analisados para eliminar os desperdícios presentes e constantes no processo, como forma de agregar valor ao produto e ao cliente (SACKS; TRECKMANN; ROZENFELD, 2009; ALVARENGA; CARVALHO; SPERANZA, 2019). Na forma de ferramenta, o mapeamento do fluxo de valor (MFV) permite o gerenciamento dos processos de produção de forma a aumentar os índices de eficiência das atividades que não agregam valor (Ribeiro *et al.*, 2019) e facilitar a visualização dos desperdícios (BRITO *et al.*, 2018). De acordo com Sarhan *et al.* (2018), os princípios da construção enxuta convergem com os objetivos sustentáveis de duas maneiras, *first one*: através do foco na redução do desperdício, mitigando a poluição, o consumo de materiais e de energia; *and the second one*: através do conceito de valor, contemplando as necessidades dos clientes com as questões ambientais e sociais.

Neste contexto e, em uma análise imbricada dos conceitos, é possível argumentar que o **construto sustentabilidade** está inserido na teoria de TFV, a qual enfatiza a eliminação de atividades não necessárias presentes nos processos operacionais e permite formar um plano de ações enxutas permeáveis na cadeia produtiva, identificando as fontes de desperdícios.



A indústria da construção pré-fabricada e as ferramentas da construção enxuta: estratégia do gerenciamento baseado no fluxo

2ª. Ferramenta: Sistema *Last Planner*.

O controle da produção no Sistema *Last Planner (LP)* é um das ideias centrais na construção enxuta (Koskela *et al.* 2002) e foi idealizado por Glenn Ballard e Gregory Howell na década de 90 (KUREK *et al.* 2006). O sistema *LP* consiste em um método de gestão de prazos para os processos de produção, e visa aumentar a eficiência do fluxo de operações a partir dos níveis de planejamento classificados em 3 horizontes: planejamento de longo prazo, planejamento de médio prazo e planejamento de curto prazo (VALENTE; AIRES, 2017). De acordo com Rocha *et al.* (2004) e Bernardes (2021), o planejamento de longo prazo ou estratégico é definido pelo período total de toda a obra e deve ser revisado a cada seis meses; já o planejamento de médio prazo, também denominado *look ahead planning*, é considerado um plano tático porque é por meio dele que os fluxos de trabalho são analisados, incluindo as especificações dos métodos construtivos e os recursos necessários de cada etapa, normalmente varia de 2 a 4 semanas; e por último, o planejamento de curto prazo ou planejamento de nível operacional, de validade semanal, que contém informações sobre as atividades a executar, identificando as zonas de trabalho e informando as datas de execução das tarefas juntamente com as equipes responsáveis.

O alinhamento entre o **construto produtividade** e a ferramenta *LP* está evidenciado pela viabilidade do gerenciamento de cronogramas da obra ao mapear as restrições que possam impedir o fluxo contínuo das operações dentro de cada processo, propiciando a melhoria contínua através de ajustes progressivos do planejamento. Valente e Aires (2017, p. 158) afirmam que, segundo pesquisas realizadas por Glenn Ballard “[...] a aplicação do *Last Planner* pode aumentar a produtividade de 10% a 40% com média de 30%”. Também, Torres *et al.* (2018) atestam em sua pesquisa que, os resultados da aplicação do sistema *LP* indicaram uma redução de 30% no tempo de execução do projeto quando comparado com o método tradicional, alegando que o processo foi mais disciplinado na equiparação com o modelo de gerenciamento convencional.

A indústria da construção pré-fabricada e as ferramentas da construção enxuta: estratégia do gerenciamento baseado no fluxo

3ª. Ferramenta: Produção puxada.

A produção puxada integra um dos 5 princípios do pensamento enxuto e consiste fundamentalmente em ser o *start* de todo o processo produtivo: não se inicia a produção sem que o cliente interno ou externo solicite (puxe) o processo posterior (Rodrigues, 2016; Trentin, 2016), ou seja, na produção puxada o cliente origina o pedido e gera uma demanda específica (Amaral *et al.* 2018), evitando-se a produção desnecessária e os desperdícios, como os inventários (RODRIGUES, 2020).

O conceito de puxar a produção deduz a ligação entre as necessidades dos clientes, as operações internas e os fornecedores (RIBEIRO, 2015). De acordo com o 2º. princípio da Construção Enxuta (Koskela, 1992), em aumentar o valor do produto por meio das considerações das necessidades dos clientes, Valente e Aires (2017) ponderam que, avaliar tais necessidades permite estruturar informações ou requisitos que compunham a base do que será recebido e, conseqüentemente, da qualidade esperada. Polito (2015) argumenta que a qualidade do produto é intrínseca à qualidade percebida pelo cliente ao cumprir características como desempenho, conformidade e durabilidade. Assim, neste terceiro **construto** da ICP, a **qualidade** está diretamente relacionada com a ferramenta da produção puxada já a partir da concepção do arcabouço da estrutura, onde a singularidade de cada projeto define as especificidades de cada obra e, por conseguinte, desempenha um fluxo de operações do processo produtivo no sentido de compatibilizar os diversos projetos e puxar a produção de acordo com demanda estrutural, ou seja, de atender as necessidades do cliente. Impreterivelmente, a construção pré-fabricada agrega este valor, uma vez que a denominação do parâmetro “pré” impõe neste sistema construtivo a condição de alinhamento, compatibilidade e concordância prévios entre os diversos projetos (arquitetônico, estrutural e instalações) com a fabricação e execução da obra.

A indústria da construção pré-fabricada e as ferramentas da construção enxuta: estratégia do gerenciamento baseado no fluxo

6. Considerações finais

O paradigma da produção enxuta que na década de 50 revolucionou os sistemas produtivos mundiais através do Sistema Toyota de Produção, hoje estende *background* para os setores da arquitetura, engenharia e construção. Os conceitos, práticas e ferramentas da produção enxuta foram sistematizados para a indústria da construção, constituindo o que denominamos de construção enxuta. Neste novo olhar para a construção civil, o gerenciamento enxuto representa o novo modelo de gestão, aplicado ainda de forma pontual e incipiente. A construção civil urge em adotar novos processos gerenciais para conter o desperdício de materiais, hoje desproporcional e defasado em relação aos conceitos de produção e sustentabilidade inseridos no contexto mundial.

Juntamente com os métodos processuais da produção enxuta, outra atividade se fez paralelo ao emprego físico de práticas e técnicas: o pensamento enxuto (*lean thinking*). O pensamento enxuto representa o princípio inverso de um dos problemas mais críticos no canteiro de obras da construção civil: a negligência do desperdício. A cultura enxuta precisa estar inserida em todos os níveis organizacionais da cadeia produtiva da construção civil em superação à cultura convencional, que ainda prevalece. Conclui-se que o fomento ao conhecimento e a aprendizagem técnica são indispensáveis à incorporação da construção enxuta, implementada de forma fragmentada e limitada ao emprego de algumas ferramentas ainda de inadequado conhecimento e domínio teóricos.

Dentre as dificuldades para inserção de ferramentas e técnicas da produção enxuta para a construção civil, está a linha de produção: enquanto que na indústria automobilística o processo é repetitivo, controlado e industrializado, na construção civil o canteiro de obras é aberto e sujeito aos intemperismos, a singularidade de cada projeto torna o processo exclusivo e único, com um conjunto muito grande da cadeia de suprimentos para consolidar o processo gerencial integrado. Desafios à parte, a construção enxuta deve vislumbrar a conquista de um novo paradigma.



A indústria da construção pré-fabricada e as ferramentas da construção enxuta: estratégia do gerenciamento baseado no fluxo

Os resultados apresentados nos quadros 1 e 2 contemplaram o primeiro objetivo da pesquisa, e representam, respectivamente, as vantagens competitivas da indústria pré-fabricada de concreto armado, neste estudo denominadas de construtos da pré-fabricação e as ferramentas da construção enxuta. A partir desta configuração, foi instruído a resposta à questão problema como também cumpriu-se o segundo objetivo da pesquisa, de elaborar uma relação de compatibilidade entre construtos x ferramentas, com o seguinte arranjo: sustentabilidade → teoria da Transformação, Fluxo e Valor; produtividade → Sistema *Last Planner* e qualidade → produção puxada. A partir da identificação desta relação, ficou evidenciada a finalidade da pesquisa, de contribuir à indústria da construção pré-fabricada de concreto de forma a potencializar seus processos de produção interagindo os construtos com as ferramentas da construção enxuta. Contudo, uma análise mais apurada do quadro 2 permitiu tecer também outra constatação, em que as ferramentas selecionadas na pesquisa apresentam tendência com viés de análise da produção pelo fluxo dos processos, o que permitiu embasar a gestão dos sistemas construtivos sustentada pela estratégia do Gerenciamento Baseado no Fluxo (GBF).

Considerando a conceituação já apresentada na seção 5, fez-se uma interlocução entre o GBF e as ferramentas pontuadas na pesquisa, evidenciando outras constatações em que o fluxo figurou como ideia comum e central entre os termos: a teoria TFV nominalmente trás o fluxo como componente conceitual e aborda ênfase na redução da variabilidade em proveito da estabilidade da produção. O Sistema *Last Planner* é uma ferramenta de planejamento da obra de forma a organizar a execução das atividades em vários planos ou horizontes, além de possibilitar maior visibilidade no controle da obra e auxiliar na programação do fluxo dos processos. Na produção puxada, o fluxo das estações de trabalho é orientado a partir da demanda do cliente, e configura uma concepção invertida da produção em relação ao método convencional: do final para o início; neste sentido, a marcha de operações incorpora no sistema produtivo qualidade e quantidade

A indústria da construção pré-fabricada e as ferramentas da construção enxuta: estratégia do gerenciamento baseado no fluxo

definidos previamente pelo consumidor, dessa forma evita desperdícios na linha e agrega valor ao produto final.

A abordagem elaborada aqui não é final, mas provocativa para novos estudos e pesquisas visando o aprofundamento do tema. O GBF pode ser incorporado como instrumento estratégico de novas práticas ao setor da arquitetura, engenharia e construção, de forma colaborativa à integração das ferramentas da construção enxuta. A indústria da construção civil, como um todo, necessita desconstruir o atual modelo de gestão, caracterizado pelos índices acumulativos de desperdício e pelos baixos níveis produtivos, em conveniência ao modelo de gestão enxuto da construção, cuja metodologia dissemina a filosofia da melhoria contínua na padronização dos processos para maximizar valores materiais e humanos.

REFERÊNCIAS

- Almeida, E. L. G. de, & Picchi, F. A. (2018). Relação entre construção enxuta e sustentabilidade. *Ambiente Construído*, 18 (1): 91-109.
<http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212018000100211>
- Alvarenga, M. G. de L., Carvalho, R. S. de, & Speranza, D. H. (2019). Construção enxuta: definição e aplicações no canteiro de obras. *Revista de Engenharia e Tecnologia*, 11 (3): 16-27.
- Amaral, T. G. do *et al.* (2018). Avaliação do grau de implementação da construção enxuta em três empresas construtoras goianas. *Revista Eletrônica de Engenharia Civil*, 14 (1): 176-190.
DOI: 10.5216/reec.V14i1.45462
- Angelim, V. L. *et al.* (2020). Planejamento de médio prazo: panorama de sua aplicação na construção civil. *Ambiente Construído*, 20 (1): 87-104.
- Aziz, R. F., & Hafez, S. M. (2013). Applying lean thinking in construction and performance improvement. *Alexandria Engineering Journal*, 52: 679-695.
<https://doi.org/10.1016/j.aej.2013.04.008>
- Arslankaya, S., & Atay, H. (2015). Maintenance management and lean manufacturing practices in a firm which produces dairy products. *Proceedings of*

A indústria da construção pré-fabricada e as ferramentas da construção enxuta: estratégia do gerenciamento baseado no fluxo

International Strategic Management Conference, Viena, 11. doi:
10.1016/j.sbspro.2015.10.090

Benini, L., & Bonotto, A. F. (2019). Análise do fluxo de valor na produção de iogurte em uma empresa de laticínios na zona da Mata/MG. *The Journal of Engineering and Exact Sciences*, 5 (4): 357-366.
<https://doi.org/10.1590/0104-530X2259-19>

Bernardes, M. M. e S. (2021). *Planejamento e Controle da Produção para Empresas de Construção Civil* (2a ed.). Rio de Janeiro: LTC.

Brissi, S. G., & Debs, L. (2019). Lean, automation and modularization in construction. *Proceedings of the Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, Dublin, 27.
DOI: <https://doi.org/10.24928/2019/0177>.

Brito, D. M. de, & Ferreira, E. de A. M. (2015). Avaliação de estratégias para representação e análise do planejamento e controle de obras utilizando modelos BIM 4D. *Ambiente Construído*, 15 (4): 203-223.

Brito, T. C. *et al.* (2018). Produção enxuta em operações de serviço: uma revisão sistemática. *Revista Produção Online*, 18 (3): 1016-1042.

Büyüközkan, G., Kayakutlu, G., & Karakadilar, I. S. (2015). Assessment of lean manufacturing effect on business performance using Bayesian Belief Networks. *Expert Systems with Applications*. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.eswa.2015.04.016>

Caldas, C. H., Soibelman, L., & Gasser, L. (2005). Methodology for the integration of project documents in model-based information systems. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 19: 25-33.
DOI: 10.1061/(ASCE)0887-3801(2005)19:1(25)

Cao, X. *et al.* (2015). A comparative study of environmental performance between prefabricated and traditional residential buildings in China. *Journal of Cleaner Production*, 30: 1-13.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.04.120>

Chastre, C., & Lúcio, V. (2012). *Estruturas pré-moldadas no mundo: aplicações e comportamento estrutural*. Guarulhos: Editora Parma.

Chauhan, K. *et al.* (2019). Deciding between prefabrication and on-site construction: a choosing-by-advantage approach. *Proceedings of Annual*

A indústria da construção pré-fabricada e as ferramentas da construção enxuta: estratégia do gerenciamento baseado no fluxo

Conference of the International for Lean Construction, Dublin, 27. DOI:
<https://doi.org/10.24928/2019/0158>.

Correia, J. V. F. B. (2018). Contextualização dos princípios da construção enxuta: aplicação da filosofia enxuta do sistema Toyota de produção na indústria da construção civil em exemplos práticos. *Ciências Exatas e Tecnológicas*, 4 (3): 29-38.

Dave, B. *et al.* (2015). Opportunities for enhanced lean construction management using Internet of things standards. *Automation in Construction*, 61: 86-97.

Dennis, P. (2011). *Produção lean simplificada* (2a ed). Porto Alegre: Bookman.

Doniak, Í. L. O., & Gutstein, D. (2012). *Estruturas de concreto pré-moldadas no Brasil: normalização, sustentabilidade e aplicações*. Em: C. Chastre, & V. Lúcio (Eds.), *Estruturas pré-moldadas no mundo: aplicações e comportamento estrutural* (pp. 7-38). Guarulhos: Editora Parma.

El Debs, M. K. (2017). *Concreto Pré-Moldado: Fundamentos e Aplicações* (2a ed.). São Paulo: Oficina de Textos.

Fiuzza, G. C. P., & Ferreira, K. A. (2021). Gestão das construções com foco na construção enxuta: estudo de casos em construtora do interior de Minas Gerais. *Exacta*.
DOI: <https://doi.org/10.5585/exactaep.2021.18718>.

Forbes, L. H., & Ahmed, S. M. (2010). *Modern Construction: lean project delivery and integrated practices*. CRC Press: Boca Raton.

Freitas, R. de C. *et al.* (2018). Práticas de pensamento enxuto para a gestão estratégica da informação e do conhecimento. *Revista Eletrônica de Biblioteconomia e Ciência da Informação*, 23: 76-89.

Fuentes, J. M., & Díaz, M. S. (2012). Learning on lean: a review of thinking and research. *International Journal of Operations & Production Management*, 32 (5): 551-582.
<http://dx.doi.org/10.1108/01443571211226498>

Gerhardt, T. E., & Silveira, D. T. (2009). *Métodos de pesquisa*. Porto Alegre: Editora da UFRGS,

Gonçalves, M. L. *et al.* (2014). *Fazendo Pesquisa: do projeto à comunicação científica* (4a ed.). Joinville: Editora Univille.

A indústria da construção pré-fabricada e as ferramentas da construção enxuta: estratégia do gerenciamento baseado no fluxo

Guimarães, L. de A., Guimarães, C. R. (2016). Utilização da construção enxuta no planejamento e controle de obras na construção civil. Anais do *Encontro Nacional de Engenharia de Produção*, João Pessoa, 36.

Hamdar, Y. *et al.* (2015). Performance-based specifications for sustainable pavements: a lean engineering analysis. *Energy Procedia*, 74: 453-461. doi: 10.1016/j.egypro.2015.07.727

Henriques, P. G., & Silva, P. de F. (2009). Implementation of lean construction principles in Portugal. Proceedings of *CIB Joint International Symposium - Construction Facing Worldwide Challenges*, Rotterdam.

Hines, P., Holweg, M.; & Rich, N. (2004). Learning to evolve: a review of contemporary lean thinking. *International Journal of Operations & Production Management*, 24 (10): 994-1011. DOI 10.1108/01443570410558049

Hosseini, S. A. A., Nikakhtar, A., & Ghoddousi, P. (2012). Flow production of construction processes through implementing lean construction principles and simulation. *International Journal of Engineering and Technology*, 4 (4): 475-479.

Ishikawa, K. (1993). *Controle de Qualidade Total à Maneira Japonesa* (3a ed.). Rio de Janeiro: Campus.

Kanai, J., & Fontanini, P. S. P. (2020). Value stream map and visilean for fabricated concrete panels management. Proceedings of *Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, Berkeley, 28. USA. DOI: <https://doi.org/10.24928/2020/0019>.

Konczak, A., & Paslawski, J. (2015). Decision support in production planning of precast concrete slabs based on simulation and learning from examples. *Procedia Engineering*, 122: 81-87. doi: 10.1016/j.proeng.2015.10.010

Koskela, L. (1992). Application of the new production philosophy to construction. *Center for Integration Facility Engineering*, Palo Alto, 72: 1-75.

Koskela, L. *et al.* (2002). *The foundations of lean construction*. Em R. Best & G. Valence (Eds.), *Design and construction: building in value* (pp. 211-226). United Kingdom: Butterworth -Heinemann.

Kurek, J. *et al.* (2006). *Aplicação dos princípios lean ao setor de edificações: construção enxuta - uma abordagem prática*. Passo Fundo: Editora UPF.

A indústria da construção pré-fabricada e as ferramentas da construção enxuta: estratégia do gerenciamento baseado no fluxo

Li, S. *et al.* (2017). A study on the evaluation of implementation level of lean construction in two Chinese firms. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 71: 846-851. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2016.12.112>

Li, Z., Shen, G. Q., & Alshawi, M. (2014). Measuring the impact of prefabrication on construction waste reduction: An empirical study in China. *Resources, Conservation and Recycling*, 91: 27-39. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2014.07.013>

Li, Z.; Shen, G. Q.; & Xue, X. (2014). Critical review of the research on the management of prefabricated construction. *Habitat International*, 43: 240-249. <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2014.04.001>

Lima, M. F. de *et al.* (2017). Estudo comparativo de aplicação dos princípios da construção enxuta em empresas da construção civil no Brasil, através de revisão bibliográfica. Anais do *Simpósio de Engenharia de Produção*, Bauru, 24.

Magalhães, D. F. R. (2020). Filosofia e Ferramentas *Lean*. *Enciclopédia Biosfera Centro Científico Conhecer*, Jandaia, 17 (33): 240-256. DOI: 10.18677/EnciBio_2020C23

Navon, R.; & Sacks, R. (2007). Assessing research issues in automated project performance control (APPC). *Automation in Construction*, 16: 474-484. doi:10.1016/j.autcon.2006.08.001

Oliveira, J. A. J. de *et al.* (2017). Análise da eficiência das empresas de construção civil listadas na BM&F Bovespa: uma aplicação da análise envoltória de dados. *Revista de Finanças e Contabilidade da UNIMEP*, 4 (2): 54-72.

Ogunbiyi, O.; Oladapo, A.; & Goulding, J. (2014). An empirical study of the impact of lean construction techniques on sustainable construction in the UK. *Construction Innovation*, 14 (1): 88-107. <http://dx.doi.org/10.1108/CI-08-2012-0045>

Peretti, L. C.; Faria, A. C. de; & Santos, I. C. dos. (2013). Aplicação dos princípios da produção enxuta em construtoras verticais: estudo de casos múltiplos na região metropolitana de São Paulo. Anais do *Encontro da Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Administração*, Maringá, 37.

Polito, G. (2015). *Gerenciamento de Obras: boas práticas para a melhoria da qualidade e da produtividade*. São Paulo: Pini.

Rattner, H. (1987). Política industrial no Japão: tendências e perspectivas. *Revista de Administração de Empresas*, 27 (1): 11-24.

A indústria da construção pré-fabricada e as ferramentas da construção enxuta: estratégia do gerenciamento baseado no fluxo

Reis, C. C. C. dos *et al.* (2017). Construção enxuta, proposta de diagnóstico e análise de canteiro de obras. *Revista FAE*, 20 (1): 42-58.

Ribeiro, D. V. *et al.* (2019). University Management: the lean production allied to the program quality of life at work. *Gestão e Produção*, 26 (4): 1-9.
<https://doi.org/10.1590/0104-530X2259-19>

Ribeiro, V. (2015). *Logística, sistema toyota de produção e suas implicações na construção civil*. Curitiba: Appris.

Rocha, F. E. M. da *et al.* (2004). *Logística e lógica na construção lean: Um processo de gestão na construção de edifícios*. Fortaleza: Fibra Construções.

Rodrigues, A. S. da S. (2020). *Melhoria contínua no sistema de gestão da qualidade na empresa Mario da Costa Martins & Filhos* (Dissertação de Mestrado). Faculdade de Engenharias e Tecnologias, Universidade Lusíada, Lisboa.

Rodrigues, M. V. (2016). *Entendendo, aprendendo e desenvolvendo: sistema de produção Lean Manufacturing* (2a ed.). Rio de Janeiro: Elsevier.

Rosenblum, A. *et al.* (2007). Avaliação da Mentalidade Enxuta (lean thinking) na construção civil - uma visão estratégica de implantação. *Anais do Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia*, Resende, 4.

Rotta, I. S., & Paulo, M. (2017). A influência dos aspectos comportamentais na aplicação de ferramentas lean para a redução de scrap: um estudo de caso. *Produção em Foco*, 7 (2): 199-221.

Sacks, R., Esquenazi, A., & Goldin, M. (2007). Leapcon: simulation of lean construction of high-rise apartment buildings. *Journal of Construction Engineering and Management*, 133 (7): 529-539.
[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(2007\)133:7\(529\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(2007)133:7(529))

Sacks, R., Treckmann, M., & Rozenfeld, O. (2009). Visualization of work flow to support lean construction. *Journal of Construction Engineering and Management*, 135 (12): 1307-1315.
DOI: 10.1061/ ASCECO.1943-7862.0000102

Sacomano, J. B. *et al.* (2018). *Indústria 4.0: conceitos e fundamentos*. São Paulo: Blucher.

Sarhan, S. *et al.* (2018). Lean construction and sustainability through IGLC community: a critical systematic review of 25 years of experience. *Proceedings of Annual Conference of the International for Lean Construction*, Chennai, 26.
DOI: <https://doi.org/10.24928/2018/0274>.

A indústria da construção pré-fabricada e as ferramentas da construção enxuta: estratégia do gerenciamento baseado no fluxo

Schokker, A. J. (2010). *The Sustainable Concrete Guide Applications*. Farmington Hills: United States Green Concrete Council

Serra, S. M. B., Ferreira, M. de A., & Pigozzo, B. N. (2005). Evolução dos Pré-fabricados de Concrcteto. *Anais do Encontro Nacional de Pesquisa-Projeto-Produção em Concreto Pré-moldado*, São Carlos, 1.

Silva, M. F. *et al.* (2018). Lean construction, como os princípios dos Sistema Toyota de Produção podem contribuir para construções mais enxutas, produtivas e sustentáveis: um estudo de caso na construtora Andrade Gutierrez. *Revista Percurso Acadêmico*, 8 (15): 93-115.

Silveira, L. P. da, & Mano, A. P. (2016). Identificação das práticas de construção enxuta em cinco empresas do sul da Bahia. *Journal of Lean Systems*, 1 (1): 17-30.

Simão, A. dos S. *et al.* (2019). Impactos da Indústria 4.0 na construção civil brasileira. *Brazilian Journal of Development*, 5 (10): 19670-19685.
DOI:10.34117/bjdv5n10-210

Sohler, F. A. S., & Santos, S. B. dos. (2017). *Gerenciamento de Obras, qualidade e desempenho da construção*. Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna.

Tam, V. W. Y. *et al.* (2007). Towards Adoption of prefabrication in construction. *Building and Environment*, 42: 3642-3654. DOI:
<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.10.003>.

Tezel, A., & Nielsen, Y. (2013). Lean construction conformance among construction contractors in Turkey. *Journal of Management in Engineering*, 29 (3): 236-250.

Tommelein, I. D. (2015). Journey toward Lean Construction: Pursuing a Paradigm Shift in the AEC Industry. *Journal Construction Management*, 141 (6): 1-12.
[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000926](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000926)

Torres, L. A. *et al.* (2018). Value stream mapping of the design process in a design-build firm. *Proceedings of International Symposium on Automation and Robotics in Construction*, Berlin, 35.

Trentin, L. (2016). Manufatura enxuta: contribuições para a obtenção da vantagem competitiva. *Revista Espacios*, 38 (9): 1-10.

A indústria da construção pré-fabricada e as ferramentas da construção enxuta: estratégia do gerenciamento baseado no fluxo

Tuholski, S. J. *et al.* (2009). Lean comparison using process charts of complex seismic retrofit projects. *Journal of Construction Engineering and Management*, 135 (4): 330-339.

DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9364(2009)135:4(330)

Urban, W. (2015). The lean management maturity self-assessment tool based on organizational culture diagnosis. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 213: 728-733.

doi: 10.1016/j.sbspro.2015.11.527

Valente., A. C. da C., & Aires, V. M. (2017). *Gestão de projetos e lean construction: uma abordagem prática e integrada*. Curitiba: Appris.

VASCONCELOS, C. A. de. (2002). *O concreto no Brasil: pré-fabricação - monumentos - fundações*. V. 3. São Paulo: Estúdio Nobel.

Vecchia, F. A. D. *et al.* (2020). Práticas lean nos processos produtivos industriais: ações para a redução de custos e resíduos de matéria-prima. *Exacta*, 18 (1): 01-15. <https://doi.org/10.5585/ExactaEP.v18n1.10281>

Viegas, J. B., & Saraiva, F. (2012). Um olhar sobre a pré-fabricação em betão em Portugal. Em C. Chastre, & V. Lúcio (Eds.), *Estruturas pré-moldadas no mundo: aplicações e comportamento estrutural* (39-72). Guarulhos: Editora Parma.

Womack, J. P., & Jones, D. T. (1998). *A mentalidade enxuta nas empresas: elimine o desperdício e crie riqueza* (5a ed.). Rio de Janeiro: Campus.

Womack, J. P., Jones, D. T., & Roos, D. (1992). *A Máquina que mudou o Mundo* (4a ed.). Rio de Janeiro: Campus.

Xiaosheng, T., & Hamzeh, F. (2020). Precast concrete building construction process comparison. *Proceedings of Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, Berkeley, 28.

DOI: <https://doi.org/10.24928/2020/0027>.

Zhang, L., & Chen, X. (2016). Role of lean tools in supporting knowledge creation and performance in lean construction. *Procedia Engineering*, 145: 1267-1274. doi: 10.1016/j.proeng.2016.04.163

SUSTAINABLE ACTIONS FOR THE DISPOSAL OF WASTE WOOD IN THE CONSTRUCTION SITE: BUILDING CLEANER PRODUCTION TO IMPROVE PROCESSES

Elias Riffel¹

Abstract: Waste from the Civil Construction Industry (ICC) constitutes more than 50% of the mass of solid urban waste; however, it had not been placed as an industry with sustainability problems until the mid-1990s. Civil construction needs to implement the concept of sustainable development as a way to reduce environmental consumption in the processes of its production chain, as the different construction sectors are not yet familiar with the amount of waste they produce. In the light of environmental issues integrated by the Cleaner Production (P + L) strategy, the article aims to propose sustainable actions in the destination of wood residues generated in the manufacture of forms for reinforced concrete structures. The bibliographic research was outlined by qualitative and quantitative approaches with the application of two field surveys. In field survey A, it was verified the destination of the pine wood box waste generated at the construction site and, in field survey B, it was determined the average monthly consumption of the same wood used in the manufacture of forms for structures of reinforced concrete. The analysis of the results made it possible to share information dealing with environmental aspects regarding the generation of residues and the consumption of natural resources in civil construction.

Keywords: Civil construction. Sustainability. Cleaner production. Wood.

1 INTRODUÇÃO

Durante o século XX, as cidades brasileiras tornaram-se palcos de grandes transformações econômicas, sociais e espaciais devido ao acelerado processo de industrialização e urbanização do território nacional (ROSA *et al*, 2015). A construção civil, segundo Roth; Garcias (2009, *apud* GOMES;

Mestre em Engenharia de Processos pela Univille, Professor da área de estruturas do curso de Engenharia Civil da Unifebe. E-mail: eliasriffel@unifebe.edu.br

Sustainable Actions For The Disposal Of Waste Wood In The Construction Site: Building
Cleaner Production To Improve Processes

MAGALHÃES, 2018), da maneira como vem sendo praticada no Brasil, provoca degradação ambiental em três etapas distintas do processo: durante a extração e fabricação dos materiais de construção, na fase de execução das obras e, por último, na disposição final dos resíduos; como proposta de mitigação das áreas degradadas, os autores consideram inevitável que a construção civil adote procedimentos adequados aos princípios da construção sustentável.

Segundo Agopyan e John (2011), a construção civil consome entre 40% e 75% da matéria-prima produzida no planeta. Atualmente, o consumo de cimento é maior que o de alimentos e o de concreto só perde para o de água. Passuelo *et al.* (2014), atestam que entre os materiais de construção utilizados tradicionalmente, destaca-se com ampla aplicação o cimento Portland, cuja indústria é reconhecida como uma das principais fontes emissoras de gases do efeito estufa da atualidade, sendo responsável por aproximadamente 7% do somatório de todas as atividades antropogênicas. Bernstein *et al.* (2007), Müller; Harnish (2008), afirmam que o cimento é essencial para quase toda a produção do ambiente construído, conseqüentemente, é o material mais usado no mundo e representa de 5% a 8% da produção mundial de CO₂.

A indústria de modo geral e, da construção civil em particular, demorou em tratar e enfrentar os problemas de sustentabilidade. Apesar de ser a indústria que mais consome recursos naturais e gera resíduos nos canteiros de obra, além de ser historicamente considerada como atividade “suja”, não havia sido colocada como uma indústria com problemas de sustentabilidade até meados da década de 1990. Somente a partir da Rio 92, esse conceito se consolidou e hoje vem sendo progressivamente aplicado a todas as atividades humanas, com grande destaque à cadeia produtiva da construção civil (AGOPYAN; JOHN, 2011).

Nascimento (2012) sustenta que, com a perspectiva de garantir o desenvolvimento sustentável e enfrentar a competitividade industrial, a estratégia de estruturar um sistema de gestão ambiental nas organizações pode ser considerada uma fonte de oportunidades e não um obstáculo. Nas décadas de 1960 e 1970, as soluções tecnológicas conhecidas como fim-de-



Sustainable Actions For The Disposal Of Waste Wood In The Construction Site: Building
Cleaner Production To Improve Processes

tubo controlavam e tratavam as emissões atmosféricas, líquidas ou sólidas, sem alterar os processos de produção ou produtos (OMETTO; GUELERE FILHO; PERES, 2013). Na década de 80, o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), apresentou o conceito de Produção Mais Limpa (P + L) com o objetivo de “definir a aplicação contínua de uma estratégia ambiental preventiva e integral que envolve processos, produtos e serviços, de maneira que se previnam ou reduzem os riscos de curto ou longo prazo para o ser humano e o meio ambiente” (DIAS, 2017, p. 153).

Segundo Silva e Silva (2017), nesta contemporaneidade, as tecnologias de fim de tubo não correspondem mais aos anseios da sociedade em busca da sustentabilidade, uma vez que as abordagens tradicionais são extremamente onerosas e deixaram de ser aplicadas como única estratégia para aprimorar o desempenho ambiental; ações de fim de tubo são diferentes das ações da P + L: enquanto a primeira aborda o tratamento dos resíduos gerados, a segunda estuda as causas e a compreensão da geração dos resíduos.

Bohana *et al.* (2016) corroboram que, grande parte das empresas da indústria da construção civil operam o modo tradicional de produção, utilizando-se de técnicas corretivas para solução de problemas, cuja prática denominada “fim de tubo”, não é a mais adequada, pois permite a degradação do meio ambiente para depois atenuar o problema.

Para Fernandez *et al.* (2015), o setor da construção civil é o maior gerador de resíduos sólidos urbanos, representando cerca de 62% do volume total. A Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (2019), segundo o Panorama 2017, divulga que a geração de Resíduo Sólido Urbano (RSU) em 2016 e 2017, respectivamente, foi de 212.753 t/dia e 214.868 t/dia, enquanto que, as coletas de Resíduo da Construção e Demolição (RCD), em 2016 e 2017, respectivamente, foi de 123.619 t/dia e 123.421 t/dia, ou seja, a construção civil representou uma média de 57,77% da quantidade total no período.

O setor da construção civil é o maior consumidor de madeira tropical do país (SILVA *et al.*, 2016). No Brasil, a indústria da construção civil consome cerca de dois terços (2/3) da madeira natural do país (SOUZA, 2010). Na



Sustainable Actions For The Disposal Of Waste Wood In The Construction Site: Building
Cleaner Production To Improve Processes

construção civil, a madeira é empregada na forma de elementos temporários, como por exemplo: na instalação de canteiro de obras, caixaria para concreto armado, andaimes e escoramentos, e também de forma definitiva, para execução de estruturas de cobertura, esquadrias, pisos e forros (ZENID, 2011). De acordo com Miranda; Ângulo; Careli (2009), os resíduos de madeira na construção civil representam cerca de 31% do volume gerado no canteiro de obras, podendo atingir 42% dos resíduos gerados se considerado a fase de execução estrutural.

Fundamentado na concepção estratégica da Produção Mais Limpa, o artigo tem o objetivo de propor ações sustentáveis na destinação dos resíduos de madeira de caixaria utilizada na fabricação de fôrmas para estruturas de concreto armado, a fim de mitigar um dos maiores problemas da construção civil: o elevado índice do consumo ambiental de materiais empregados nos processos produtivos.

Na metodologia foi utilizada a pesquisa bibliográfica para compreensão dos temas propostos com a combinação de dois levantamentos de campo. No levantamento de campo A foram visitados 26 canteiros de obras para verificar a destinação dos resíduos de madeira do gênero *pinus elliottii* gerados na construção de edificações residenciais unifamiliares e multifamiliares. No levantamento de campo B foram consultadas 35 lojas de materiais de construção para determinar o consumo mensal médio da mesma madeira empregada como caixaria, travamento e cimbramento de fôrmas para estruturas de concreto armado. Os dois levantamentos de campo foram realizados na praça da cidade de Brusque/SC.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 O consumo ambiental da Indústria da Construção Civil (ICC)

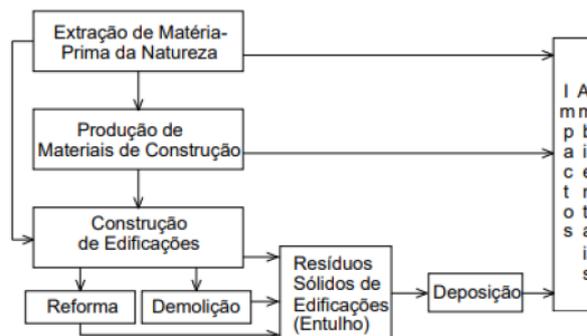
Na história da humanidade, a ideia de desenvolvimento se confunde com o crescente domínio e transformação da natureza, cujo paradigma estabelece os recursos naturais como ilimitados. Os problemas gerados pelo

Sustainable Actions For The Disposal Of Waste Wood In The Construction Site: Building Cleaner Production To Improve Processes

consumismo e a geração insustentável de resíduos atingem a humanidade há algumas décadas; contudo, no final da última década do século XX e no início do século XXI, o impacto do meio ambiente é reconhecido e debatido pela sociedade (RIBEIRO; MORELLI, 2009).

Segundo Lintz *et al.* (2012), a construção civil é uma das atividades mais antigas que se tem conhecimento e desde os primórdios da humanidade, foi empregada de forma artesanal, gerando como subproduto dos processos, grande quantidade residual de diversas naturezas. A ICC é reconhecida como uma das mais importantes áreas industriais para o desenvolvimento econômico e social, contudo, atua como a maior consumidora de recursos naturais em qualquer país do mundo, seja pelo consumo de insumos naturais (ativos ambientais), pela modificação da paisagem ou pela geração de resíduos (passivos ambientais) (MUNHOZ, 2008; SANTOS *et al.*, 2012). A figura 1 mostra como os processos de produção na cadeia da ICC estão interligados e são resultantes de impactos ambientais.

Figura 1 - Impactos ambientais da ICC



Fonte: Roth;Garcias (2009).

O setor da construção civil é responsável por movimentar grande parte da economia brasileira, mesmo com a diminuição do ritmo de crescimento econômico. Ainda assim, o segmento continua uma atividade rentável, pois permeia as diversas camadas sociais com o ideal da casa própria (MARCHI; BOHANA; FERNANDEZ, 2018). Segundo a Diretoria de Estatística e Informações (DIREI, 2018), o conceito de déficit habitacional está ligado às limitações do estoque habitacional, considerando moradias sem condições de

Sustainable Actions For The Disposal Of Waste Wood In The Construction Site: Building Cleaner Production To Improve Processes

serem habitadas em função da precariedade ou do desgaste estrutural, *habitats* rústicos ou cortiços, e coabitação, quando mais de uma família reside na mesma residência. A Pesquisa Nacional por Amostragem de Domicílios (PNAD) do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), conforme última medição de 2015, confirma um *deficit* habitacional total absoluto de 6,355 milhões de moradias.

No Brasil, cerca de 84% da população vive nas cidades e, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a previsão para 2020 é de 90% (WORLDWATCH INSTITUTE, 2013). Tendo em vista a grandiosidade do consumo da cadeia de produção da Indústria da Construção Civil (ICC), fica claro que não será possível alcançar o desenvolvimento sustentável, sem que o próprio setor também se torne sustentável (BRASILEIRO; MATOS, 2015). A cadeia dos processos de produção da ICC consome entre 14% e 50% dos recursos naturais de todo o planeta, conforme Sjöström (1996 *apud* Santos *et al.* 2010); 40% e 75% da matéria-prima produzida no planeta (AGOPYAN; JOHN, 2011). O quadro 1 retrata o estado da arte do consumo ambiental da construção civil.

Quadro 1 - Consumo ambiental da ICC

Autor (ano)	Consumo ambiental
John; Agopyan (2000)	120% de perda dos revestimentos à base de gesso
Uchoa; Hendrickson; Mathews (2002)	46% da atividade econômica 57% das emissões atmosféricas 51% na geração de resíduos perigosos
Araújo (2002)	30% da matéria prima 42% do consumo de energia 25% do consumo de água
Marques Neto (2005)	50% a 70% dos resíduos sólidos urbanos 75% dos recursos naturais extraídos do planeta
Souza (2005)	47,5 % de madeiras em geral
Isaia (2007)	55% da madeira para fins não combustível 40% de energia para fabricação dos materiais de construção
Santos <i>et al.</i> (2011)	14% a 50% dos recursos naturais consumidos na cadeia produtiva
Laruccia (2014)	41% a 70% da massa total de resíduos sólidos urbanos (RSU)
John (2017)	50% de perda no desdobro da madeira

Fonte: Autor (2021).

Sustainable Actions For The Disposal Of Waste Wood In The Construction Site: Building Cleaner Production To Improve Processes

A ICC é a atividade antrópica com maior impacto sobre o meio ambiente (Karpinsk *et al.* 2009; GOMES; DE SÁ MAGALHÃES, 2018). Os números demonstram a importância do tema e a necessidade por ações voltadas para a redução dos impactos na construção civil (SANTOS *et al.* 2010). Apesar da quantidade alarmante de resíduos gerados, a ICC também é um dos setores que possuem maior potencial de inserir resíduos em seu processo produtivo (RIBEIRO; MORELLI, 2009; LINTZ *et al.* 2012). Segundo Schneider (2004), 90% dos resíduos da construção civil podem ser reciclados. John (2000) afirma que a reciclagem dos resíduos da construção civil, por ser o maior gerador de resíduos finais entre macrossetores econômicos, é uma das condições básicas para se atingir o desenvolvimento sustentável.

2.2 Gestão Ambiental: Produção Mais Limpa.

A construção da concepção do Desenvolvimento Sustentável constituído sob a égide de possibilitar a satisfação das necessidades do presente sem comprometer as possibilidades de sobrevivência das gerações futuras, foi consolidado a partir de três grandes marcos emblemáticos na história da gestão ambiental: o livro a Primavera Silenciosa de Rachel Carson, publicado em 1962; o Relatório Brundtland de 1987 e a Conferência ECO-92, no Rio de Janeiro (MOURA, 2002; NASCIMENTO, 2012; OLIVEIRA, 2012). A tabela 1 relaciona os autores e suas publicações:

Tabela 1 - Autores e obras regulatórias do Desenvolvimento Sustentável

Autor/Instituição	Obra	Objetivo
Rachel Carson	Primavera Silenciosa	Denunciar agressões ao meio ambiente e intoxicações em seres humanos causados por agrotóxicos
Gro Haalen Brundtland /ONU	Relatório Brundtland ou Relatório Nosso Futuro Comum	Propor uma agenda global para enfrentar os problemas ambientais do planeta e assegurar o progresso da humanidade

Sustainable Actions For The Disposal Of Waste Wood In The Construction Site: Building
 Cleaner Production To Improve Processes

Conferência do Rio de Janeiro, Eco-92 / ONU	Carta da Terra e Agenda 21	Formular diretrizes sobre a questão ambiental a partir do Desenvolvimento Sustentável
---	----------------------------	---

Fonte: Autor (2021).

Conforme Moura (2009), o livro da bióloga Rachel Carson foi o primeiro a denunciar a ação residual de agrotóxicos no meio ambiente, com a destruição e ameaça de extinção de seres da vida silvestre, como pássaros, peixes e animais; nesse contexto, Dias (2017) atesta ser o relatório produzido pela Comissão Brundtland, o primeiro a apresentar a definição mais elaborada de Desenvolvimento Sustentável; também, Pereira e Sant'anna (2018), complementam dizendo que, a Agenda 21, um dos documentos gerados na Conferência Mundial de Meio Ambiente e Desenvolvimento em 1992, compilou ao longo dos seus 40 capítulos, as recomendações relativas à gestão ambiental nas organizações e também as ações específicas de Produção mais Limpa (P+L).

O conceito de P+L é diferente da abordagem tradicional, ou seja, dos processos industriais que possuem controle somente na etapa final, *end-of-pipe* em inglês, conhecidos como fim de tubo. Esta metodologia não reduz a contaminação, mas diminui a toxicidade transferindo-a de um meio a outro, como por exemplo, na instalação de filtros para retenção de poluentes, os quais serão tratados somente no final do processo. A P+L, ao contrário, sustenta prevenir a geração da poluição na fonte, ao contrário do controle no fim do processo (DIAS, 2017). Para Nascimento (2012); Pereira e Sant'Anna (2018), a P+L pode ser incorporada em todas as etapas produtivas, desde a escolha das matérias-primas, no desenvolvimento do produto, na preocupação em reduzir insumos, resíduos e emissões.

A P+L deve ser compreendida como um processo de melhoria contínua e não como uma atividade isolada ou pontual, não está limitada às indústrias ou empresas de determinadas tipologias ou tamanho, além de promover o crescimento, desde que seja ecologicamente sustentável, trabalhando também nas perspectivas econômica e social (UNIDO/UNEP, 2004).

2.2.1 A Produção mais Limpa na Construção Civil.

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) por meio da resolução 307, de 5 de julho de 2002, estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil, disciplinando ações necessárias de forma a minimizar os impactos ambientais. A resolução define resíduos de construção civil como sendo os entulhos provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica, etc.

A construção civil é uma grande geradora de resíduos. No Brasil, cujos processos construtivos são essencialmente manuais e executados em canteiros de obras, os resíduos de construção e demolição são potencialmente degradadores do meio ambiente, causando problemas logísticos e prejuízos financeiros. O gerenciamento desses resíduos tem por objetivo asseverar a gestão dos resíduos durante as atividades de execução de obras e serviços de engenharia, consolidando estratégias de não geração, minimização, reutilização, reciclagem e descarte adequado dos resíduos sólidos, primando por metodologias de redução da geração na fonte (NAGALLI, 2014).

Para Mattosinho e Pionório (2009), a minimização de resíduos na fonte, foco da P+L, deve ser a principal alternativa a ser implementada na ICC, devido a sua ação preventiva e a possibilidade de reduzir os custos da produção, é possível otimizar o consumo de insumos e matéria-prima. A P+L visa fornecer diretrizes para a busca de soluções dos problemas e limitações na construção civil, pois possibilita potencializar a eficácia de ações direcionadas a mitigação dos resíduos na fonte, atendendo exigências legais, bem como a percepção dos consumidores.

O consumo demasiado de recursos naturais na construção civil é devido, na maioria das vezes, à baixa produtividade em função da falta de planejamento da obra, ineficiência na gestão de recursos e matéria-prima,

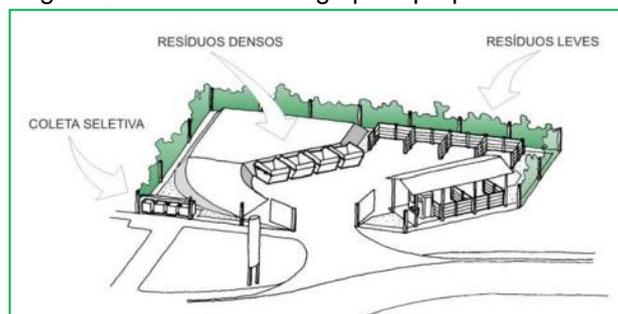
Sustainable Actions For The Disposal Of Waste Wood In The Construction Site: Building
 Cleaner Production To Improve Processes

alteração do projeto arquitetônico, tecnologia inadequada; falta de capacitação e treinamento dos funcionários (OLIVEIRA; RIOS; LUCENA, 2007). Os resíduos gerados pela ICC originam-se dos desperdícios do processo produtivo, considerando fatores como: insuficiência de definição de projetos; ausência de qualidade nos materiais e componentes; falta de procedimentos e mecanismos de controle de execução, entre os quais, perda na estocagem e transporte, recuperação geométrica, nivelamento e planicidade (PINTO, 1999 *apud* MATTOSINHO; PIONÓRIO, 2009).

A gestão integrada de resíduos sólidos estabelece o conjunto de ações voltadas para a busca de soluções para os resíduos sólidos, de forma a considerar as dimensões política, econômica, ambiental, cultural e social, sob a premissa do desenvolvimento sustentável (CONAMA, 2002). As soluções para a gestão dos resíduos da construção civil devem ser viabilizadas de modo a integrar o órgão público municipal, responsável pelo controle e fiscalização; os geradores de resíduos, responsáveis pela disposição final dos resíduos, e, transportadores, responsáveis pela destinação licenciada dos resíduos (PINTO, 2005).

Segundo Pinto e Gonzáles (2005), cabe aos municípios, de acordo com o artigo 6º da Resolução nº 307 do CONAMA, a solução de pontos de coleta para pequenos volumes, geralmente mal dispostos, e o disciplinamento dos geradores no manejo dos grandes volumes de resíduos, determinando que, a nível local, sejam definidas e licenciadas áreas para manejo dos resíduos em conformidade com a resolução, estabelecendo diretrizes técnicas de responsabilidades dos geradores e cadastrando os transportadores dos resíduos, integrando ações para o Projeto de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil, conforme representado na figura 2.

Figura 2 - Ponto de entrega para pequenos volumes



Fonte: Adaptado de Pinto e Gonzáles (2005).

Ao conjunto de ações do projeto de gerenciamento é atribuído os seguintes objetivos:

Disposição facilitada para pequenos volumes; melhoria da limpeza e da paisagem urbana; preservação ambiental; incentivo às parcerias; incentivos à redução de resíduos na fonte (P+L); redução dos custos municipais (PINTO; GONZÁLES, 2005).

2.3 Madeira na construção civil

2.3.1 Extração

Nossos ancestrais, há milhares de anos, descobriram a possibilidade de transpor obstáculos, cujos mecanismos consistiam em troncos de árvores apoiados nas bordas dos vãos (CALIL JUNIOR *et al.*, 2012). O emprego da madeira na produção de ferramentas e na execução de construções ocorreu deste o período paleolítico, com registros de sua utilização pelo *Homo Erectus* que desenvolveu técnicas de entalhe para produção de machados (NAVARRO, 2006). Ao longo da história, as técnicas de uso e manipulação foram se desenvolvendo, resultando em um grande *mix* de produtos, sistemas construtivos e aplicações (SHIGUE, 2018). “A madeira é, provavelmente, o material de construção mais antigo dado a sua disponibilidade na natureza e sua relativa facilidade de manuseio” (PFEIL;PFEIL, 2015, p. 1).

As florestas ocupam hoje uma área de aproximadamente de 4027 milhões de hectares em todo o mundo, cerca de 30% da área de terra (CACHIM, 2014). A Amazônia brasileira abriga mais de 356 milhões de hectares de floresta natural, correspondendo a 84.7% do volume total de madeira nativa dos biomas do país, conforme informações do Serviço Florestal Brasileiro (ADEODATO *et al.* 2011). Segundo estimativas, o índice de ilegalidade da produção madeireira da região amazônica está entre 43% e



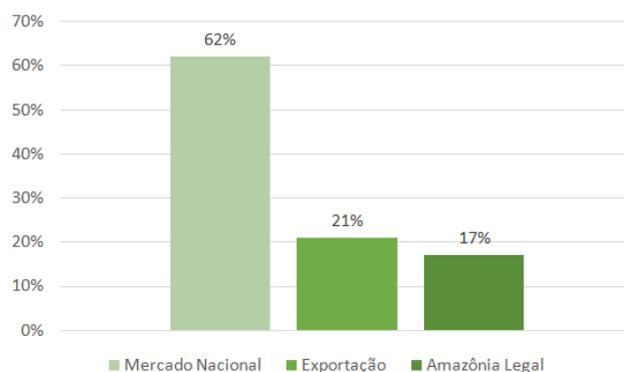
Sustainable Actions For The Disposal Of Waste Wood In The Construction Site: Building Cleaner Production To Improve Processes

80%, proveniente de áreas desmatadas ou exploradas de forma predatória e insustentável; contudo, na Amazônia Legal, 80% dos imóveis situados em áreas de floresta, devem permanecer com a cobertura nativa e original, denominada Reserva Legal (ZENID, 2009). A Amazônia Legal foi criada em 1953 por meio do Código Florestal Brasileiro e compreende os estados do Acre, Amapá, Amazonas, Mato Grosso, Pará, Rondônia, Roraima, Tocantins e Maranhão (SUDAM, 2010).

2.3.3. Resíduo

Segundo o Serviço Florestal Brasileiro (2010), o Brasil é um país florestal com aproximadamente 60,7% de florestas naturais e plantadas. A Amazônia brasileira é uma das principais regiões produtoras de madeira tropical do mundo. O gráfico 1 representa o mercado da madeira processada no Brasil.

Gráfico 1 - Consumo da madeira processada



Fonte: Adaptado de Serviço Florestal Brasileiro (2010).

Em 2009 foram identificadas 2226 empresas madeireiras na Amazônia Legal, abastecendo 62% do mercado nacional, 21% para o mercado externo e 17% para a própria Amazônia Legal (SFB, 2010). Embora tratando-se de um dos poucos materiais renováveis, a maior parte da extração da madeira é feita de maneira não sustentável; estima-se que entre 26% e 50% da madeira extraída no mundo, seja consumida como material de construção (JOHN, 2000). “[...] a indústria da construção civil consome cerca de 66% da madeira

Sustainable Actions For The Disposal Of Waste Wood In The Construction Site: Building
Cleaner Production To Improve Processes

produzida, sendo que a maioria de produto não provém de florestas ambientalmente manejadas (JOHN, 2010 *apud* PIOVEZAN JUNIOR, 2007, p. 18).

A madeira na construção civil se destaca na aplicação de estruturas de cobertura, construções rurais, cimbramentos de estruturas de concreto, transposição de obstáculos, como passarelas, obras portuárias, etc. (CALIL JUNIOR *et al.* 20192). O emprego da madeira em obras, seja na forma de elementos temporários (fôrmas, escoramentos e andaimes), seja na forma de elementos definitivos (coberturas, pisos e acabamentos), gera grande quantidade de resíduos, considerando que, todos os elementos temporários serão descartados (TÉCHNE, 2013).

Os resíduos de madeira representam cerca de 31% do volume de resíduo de construção em uma edificação residencial multifamiliar e, especificamente na fase de execução estrutural, podem atingir 42% dos resíduos gerados durante o processo construtivo (MIRANDA; ÂNGULO; CARELI, 2009).

O conteúdo energético alto do resíduo de madeira viabiliza a utilização como combustível para geração de energia térmica, com significativa redução de volume dos resíduos depois de incinerados. Contudo, na queima da madeira, são liberados gases como o gás carbônico (CO₂) e óxido de nitrogênio (NO_x), os quais são poluentes atmosféricos (SILVA *et al.* 2016).

Os resíduos de madeira não devem ser aterrados, pois sua decomposição sem oxigênio gera gás metano, ainda mais nocivo que o CO₂ em se tratando de efeitos relacionados às mudanças climáticas (SINDUSCON, 2015). Ainda segundo o mesmo autor, os resíduos de madeira gerados nas obras devem ser concentrados em áreas de transbordo e triagem (ATT) que os distribuem para as empresas recicladoras, produzindo cavacos como combustíveis; também, como em um processo de logística reversa, podem ser utilizados como matéria-prima para a fabricação de painéis de madeira industrializada para a construção civil. A figura 3 representa a destinação dos resíduos de madeira gerados nas obras.

Sustainable Actions For The Disposal Of Waste Wood In The Construction Site: Building Cleaner Production To Improve Processes

Figura 3 - Organograma dos resíduos de madeira



Fonte: Adaptado de Sinduscon (2015).

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A pesquisa está delineada com base na organização de três parâmetros: abordagem dos dados, tipo de objetivos e procedimento técnico.

Quanto à abordagem dos dados, a pesquisa é caracterizada como quali-quanti: qualitativa, pois permite a compreensão das definições apresentadas pela descrição teórica e subjetiva dos conceitos inerentes ao estudo desenvolvido e, quantitativa pela representação numérica percentual das informações coletadas referente às disposições residuais do objeto de estudo.

De acordo com os objetivos, a pesquisa é classificada como exploratória, pois possibilita detalhar uma visão geral do tema proposto, comprovando informações extraídas do campo em que a amostra populacional foi contida.

Quanto aos procedimentos técnicos para coleta e operacionalização de informações, o estudo integra a pesquisa bibliográfica e dois levantamentos de campo do tipo *survey*, com a aplicação de duas fichas técnicas para registro e análise de dados. Desta forma, foram planejados dois estudos para o cumprimento dos objetivos da pesquisa.

A primeira etapa da pesquisa, denominada levantamento de campo A, foi realizada de fevereiro/2019 até agosto/2019, sendo visitados 26 canteiros de obras residenciais unifamiliares e multifamiliares da cidade de Brusque/SC, com o objetivo de verificar qual a destinação dos resíduos de madeira do

gênero *pinus*, utilizados de maneira provisória como fôrma de caixaria para estruturas de concreto armado, travamentos e cimbramentos; durante a abordagem ao mestre de obras ou encarregado da obra no momento da visita técnica, foi explicitado o objetivo da pesquisa e anotado qual a disposição dada à madeira residual, por meio de uma ficha técnica para registros *in situ* das informações levantadas.

Na segunda etapa da pesquisa, denominada levantamento de campo B, foi analisado o consumo mensal médio da madeira de caixaria do gênero *pinus*, comercializada em 35 lojas de materiais de construção na cidade de Brusque/SC, representando 100% da amostragem, no período de 06 de maio de 2019 a 01 de julho de 2019, com o objetivo de quantificar o consumo mensal médio comercializado na cidade, definindo como referência os meses de fevereiro/2019, março/2019 e abril/2019; de forma metodológica, foi argumentado ao gerente das lojas o intuito da pesquisa, explicando o preenchimento da ficha técnica para anotações métricas dos valores mensais vendidos e agendando o recolhimento do documento (ficha técnica) para a semana seguinte. O consumo mensal médio foi determinado pelo quociente da média aritmética, somando o consumo parcial dos três meses analisados e fracionando o valor total por 3 (três).

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

De acordo com o levantamento de campo A, foi verificado a disposição dos resíduos de madeira em três níveis distintos conforme representado no quadro 2, que relaciona o método de coleta com a destinação da madeira residual após os processos de fabricação, escoramento e travamento das fôrmas.

Quadro 2 - Disposição dos resíduos

Nível	Método de coleta	Destinação dos resíduos
1	Informal	Lenha para geração de energia térmica
2	Formal não seletiva	Acomodação em caçambas estacionárias de caliças
3	Formal seletiva	Produção de cavaco

Sustainable Actions For The Disposal Of Waste Wood In The Construction Site: Building Cleaner Production To Improve Processes

Fonte: Autor (2021).

No levantamento de campo B, foi avaliado o consumo médio mensal de madeira de caixaria comercializada nas lojas de materiais de construção, referente as competências de fevereiro/2019, março/2019 e abril/2019. A partir das informações pesquisadas, foi contabilizado um consumo mensal médio de 2309,85 dúzias de madeira de caixaria. No campo da praça pesquisada, foi considerada a integralidade de uma população de 35 lojas, obtendo-se uma distribuição do universo amostral conforme representado no quadro 3.

Quadro 3 - Distribuição da amostragem

Volume da amostra (lojas)	Participação da amostra
21	Comercializavam a madeira do gênero <i>pinnus</i>
5	Não comercializavam a madeira
5	Não forneceram informações
4	Fechadas

Fonte: Autor (2021).

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

No levantamento de campo A, foi denominado nível 1 o método de coleta informal, em que terceiros efetuavam o recolhimento dos resíduos no canteiro de obras, e a madeira era destinado como lenha para produção de energia térmica em fornos de instalações comerciais, como pizzarias, olarias, entre outros, com uma ocorrência de 30,77% dos casos. Segundo Silva *et al* (2016), o processo de queima da madeira é nocivo quando há liberação de gases poluentes como gás carbônico (CO₂) e óxido de nitrogênio (NO_x) para os casos de resíduos com colas à base de nitrogênio. Luchezzi (2017) ainda completa dizendo que, podem ser encontrados resíduos de madeira

Sustainable Actions For The Disposal Of Waste Wood In The Construction Site: Building
Cleaner Production To Improve Processes

contaminados por metais, como pregos e arames, além de concreto, argamassa e produtos químicos.

No nível 2, a coleta é formal e não seletiva, ou seja, a madeira é depositada em caçambas estacionárias de empresas contratadas para coleta de caliças, com posterior destinação em lixões ou aterros sanitários, que representaram 32,70% do total, constituindo-se de crime ambiental, pois não tem amparo legal conforme preconiza as orientações da Resolução 307 do Conama (2002); além do que, segundo SINDUSCON (2015), a decomposição sem presença de oxigênio produz gás metano, potencialmente mais danoso que o CO₂, considerando os efeitos relacionados aos gases do efeito estufa.

No nível 3, a coleta formal e seletiva da madeira no canteiro de obras foi destinada à produção de cavaco, com 36,53% das ocorrências pesquisadas, e representou a disposição mais sustentável para os resíduos de madeira, agregando ao processo de triagem, a trituração de todo o material e a separação dos pregos por imantação. Segundo Ramos *et al.* (2017), o cavaco com diâmetro variável entre 5 e 50 mm, permite a condição de melhoria do controle da umidade e aumenta a eficiência térmica das caldeiras, caracterizando ganhos econômico e ambiental. O SINDUSCON (2015) também afirma que, a queima da madeira sob condições controladas acima de 800 °C, é mais segura do ponto de vista ambiental. No conjunto das empresas construtoras pesquisadas, todas responderam que sustentam a prática do reaproveitamento dos cortes maiores para aplicação em outras etapas construtivas da própria obra ou em obras subsequentes.

No levantamento de campo B, a partir da análise da coleta de dados avaliados em 21 lojas que forneceram as informações requisitadas, foi determinado um consumo mensal médio de 2309,85 dúzias de madeira de caixaria do gênero *pinus*, equivalente a 415,77 m³ de madeira. A condição de uso temporário na qual se destina a madeira de *pinus* utilizada como fôrma para estruturas de concreto armado, permite afirmar que em algum momento, após o reaproveitamento dos cortes maiores, todo este volume será descartado. Assim, considerando a bibliografia pesquisada, constatou-se que apenas 50% da madeira bruta extraída é transformada em produto final

Sustainable Actions For The Disposal Of Waste Wood In The Construction Site: Building Cleaner Production To Improve Processes

acabado, ou seja, madeira serrada, neste caso então, são necessários aproximadamente 623,65 m³ de madeira bruta para atendimento da atual demanda. Analisando de forma equivalente e tomando como referência uma árvore de 30 cm de diâmetro e altura do tronco de 6 m, é necessária a expressiva quantidade de 1961,64 árvores mensais.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As análises dos levantamentos de campo permitiram formular algumas ponderações. No levantamento de campo A, apesar do maior índice representar a melhor opção entre as disposições residuais citadas, os valores são muito próximos entre si, evidenciando que não há uma convergência de ações sustentáveis entre profissionais envolvidos no processo, ou seja, as pessoas não estão conscientes da importância na solução dos problemas ambientais gerados pela construção civil. Há uma fraqueza, um desconhecimento generalizado do setor na adoção de medidas que possam mitigar os prejuízos ambientais causados pela cadeia produtiva da ICC. No levantamento de campo B, o consumo bruto de madeira análogo a 1961,64 árvores mensais beira o inimaginável. Apesar da madeira do gênero *pinnus* ter origem de floresta plantada e ser concebida para este fim, os recursos naturais como água, solo e energia são subtraídos do consumo das gerações futuras, premissa do desenvolvimento sustentável. A ineficiência dos processos de produção e a falta de comprometimento dos profissionais em legitimar uma gestão ambiental, corroboram com importante parcela no consumo e na deterioração dos recursos naturais.

A adoção do conceito estratégico da Produção mais Limpa para a compreensão gradativa de medidas na melhoria contínua dos processos de produção da construção civil, tem efeito redutor tanto para o consumo ambiental quanto para desperdício de materiais, e pode atuar como uma referência legal norteadora de políticas ambientais, contemplando uma abordagem técnica na consolidação da aprendizagem em programas de ensino formal e informal.

Sustainable Actions For The Disposal Of Waste Wood In The Construction Site: Building
Cleaner Production To Improve Processes

Em cumprimento ao objetivo do artigo de propor ações sustentáveis para a destinação dos resíduos de madeira gerados na fabricação de fôrmas para estruturas de concreto armado, é apontado a inserção de estratégias de aprendizagem profissionalizante integrando ações disruptivas, a fim de agregar novos saberes e quebrar a resistência imposta pela mão de obra produtiva, parâmetros imperativos para uma modificação estruturante capaz de propiciar um novo paradigma ecológico.

Também é proposto como ação sustentável, a concepção de agir localmente na criação de áreas de triagem e transbordo (ATT) como ponto de coleta para pequenos volumes por parte dos governos municipais, conforme já preconizado pela Resolução 307/2002 do Conama, representando uma ação efetiva que disponibiliza para a população a oportunidade de criar uma cultura com a percepção de viés ecológico e sustentável, evitando o descarte irregular da madeira em vias públicas, queima irregular, contaminação em áreas de preservação ambiental ou em terrenos sem benfeitorias, atribuindo o correto destino seletivo dos materiais ali depositados.

Em respaldo aos dados da pesquisa, atesta-se que a destinação da madeira como lenha não pode ser considerada como um processo sustentável por si só, e está longe de ser ambientalmente correto, pois a generalização das dimensões não estimula a reciclagem de pedaços de madeira maiores, o que prolongaria o ciclo de vida do material em outros processos construtivos. A queima da lenha da madeira em fornos convencionais de estabelecimentos comerciais só se justifica quando não há nenhuma outra alternativa plausível. Enquanto que, a coleta seletiva direcionada para a produção de cavaco proporciona a consciência de triagem na própria obra, e a transformação da madeira, inicialmente residual, em um novo produto em outra indústria, fortalecendo a prática da simbiose industrial, processo que valoriza o resíduo material, diminuindo a exploração dos recursos naturais.

Os profissionais técnicos que atendem pelas atividades na construção civil necessitam adquirir aderência por princípios ambientais aos processos construtivos e na prática executada pela mão de obra produtiva, que está à parte da atual demanda por práticas sustentáveis, adotando medidas



Sustainable Actions For The Disposal Of Waste Wood In The Construction Site: Building
Cleaner Production To Improve Processes

preventivas que evitem o desperdício da madeira, como utilizar as peças de acordo com o projeto e com o planejamento da obra, especificar em plantas técnicas paralelas ao projeto arquitetônico o reuso das peças mais de uma vez, evitando cortes desnecessários.

Finalmente, a indústria da construção civil, face ao relativismo com que trata indistintamente todos os resíduos gerados na cadeia produtiva, necessita desconstruir a atual matriz operacional baseada no consumo de recursos não renováveis a partir de uma visão sistêmica, implementando a execução de projetos cuja exigência de sustentabilidade ambiental seja norteadada por materiais de fontes recicláveis, possibilitando o equilíbrio entre o ambiente construído e o ambiente natural.

REFERÊNCIAS

ADEODATO, Sergio; VILLELA, Malu; BETIOL, Luciana Stocco, MONZONI, Mario. **Madeira de ponta a ponta: o caminho desde a floresta até o consumo.** São Paulo: FGV RAE, 2011.

AGOPYAN, Vahan; JOHN, Vanderlei Moacyr. **O desafio da sustentabilidade na construção civil: volume 5.** José Goldemberg, coordenador. São Paulo: Blucher, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS - ABRELPE. Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2017. Disponível em: <http://www.abrelpe.org.br/panorama>. Acesso em: 24 mar. 2019

BERNSTEIN, Lenny; JOYASHREE, ROY; DELHOTAL, K. Casey; HARNISCH, Jocen; MATSUHASHI, Ryuji; PRICE, Lynn; TANAKA, Kanako; WORREL, Ernst; YAMBA, Francis; FENGQI, Zhou. **Industry. In Climate Change 2007: Mitigation.**

BOHANA, Mirela Carvalho Ribeiro et al. Redução dos resíduos da construção civil: uma tendência para as novas construções. *In: CONGRESSO BAHIANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL*, 4., 2016, Cruz das Almas. **Anais...** Cruz das Almas: UFOB, 2016. p. 1-6.

BRASILEIRO, L. L.; MATOS, J. M. E. Revisão bibliográfica: reutilização de resíduos da construção e demolição na indústria da construção civil. **Cerâmica**, v. 61, p. 178-189, 2015.

CACHIM, Paulo Barreto. **Construção em madeira: a madeira como material de construção.** 2. ed. Porto: Engebook, 2014.

Sustainable Actions For The Disposal Of Waste Wood In The Construction Site: Building Cleaner Production To Improve Processes

CALIL JUNIOR, Carlito *et al.* **Estruturas de madeira: projetos, dimensionamento e exemplos de cálculo.** Rio de Janeiro: Elsevier, 2019.

CALIL JUNIOR, Carlito *et al.* **Manual de projeto e construção de passarelas com estruturas de madeira.** São Paulo: Pini, 2012.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 307**, de 5 de julho de 2002. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama>. Acesso em: 04 ago. 2019.

DIAS, Reinaldo. **Gestão ambiental: responsabilidade social e sustentabilidade.** São Paulo: Atlas, 2017.

DIRETORIA DE ESTATÍSTICA E INFORMAÇÕES - DIREI. **Déficit habitacional no Brasil 2015.** Belo Horizonte: FJP, 2018.

FERNANDEZ, J. L. Borja; MARCHI, Cristina; FLORES, Fernanda. Resíduos sólidos da indústria da construção civil: contribuições, ameaças e possibilidades para um crescimento igualitário nas cidades. *In: SEMANA DE MOBILIZAÇÃO CIENTÍFICA: DIREITOS HUMANOS, ÉTICA E DIGNIDADE*, 18., 2015, Salvador. **Anais...** Salvador: UCSAL, 2015.

GOMES, Danielle L. B; DE SÁ MAGALHÃES, Vitória B. Análise de aspectos e impactos ambientais causados pela construção civil. *In: CONGRESSO NACIONAL DE PESQUISA E ENSINO EM CIÊNCIAS*, 3., 2018, Campina Grande. **Anais...** Campina Grande: UECE, 2018. p. 1-11.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Deficit habitacional total e componentes: Brasil, Grandes Regiões, UF e Regiões Metropolitanas.** Rio de Janeiro: IBGE, 2015.

JOHN, VANDERLEI MOACYR. **A construção, o meio ambiente e a reciclagem.** São Paulo: PCC-EPUSP, 2010.

JOHN, VANDERLEI MOACYR. **Reciclagem de resíduos na construção civil: contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento.** 2000. Tese (Livre Docência) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2000.

KARPINSK, Luisete Andreis *et al.* **Gestão diferenciada de resíduos de construção civil: uma abordagem ambiental.** Porto Alegre: EdiPUCRS, 2009.

LINTZ, Rosa C. Cecche *et al.* Estudo do reaproveitamento de resíduos de construção em concretos empregados na fabricação de blocos. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**, v. 5, n. 2, p. 174-181, 2012.

LUCHEZZI, Celso. **Logística reversa na construção civil: um mundo de oportunidades.** São Paulo: Haryon, 2017.

Sustainable Actions For The Disposal Of Waste Wood In The Construction Site: Building
Cleaner Production To Improve Processes

MARCHI, Cristina Maria Dacah Fernandez; BOHANA, Mirela Carvalho Ribeiro; FERNANDEZ, Jose Luiz Borja. Gestão ambiental em resíduos sólidos: construções sustentáveis e ecoeficiência. **Sistemas & Gestão**, v. 13, p. 118-129, 2018.

MATTOSINHO, Cynthia; PIONÓRIO, Poliana. Aplicação da produção mais limpa na construção civil: uma proposta de minimização de resíduos na fonte. In: International Workshop Advances in Cleaner Production. 2., 2009, São Paulo. **Anais...** São Paulo, 2009. p. 1-9.

MIRANDA, Leonardo F. Rosembach; ANGULO, Sérgio C.; CARELLI, Élcio D. A reciclagem de construção e demolição no Brasil: 1986-2008. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 9, n. 1, p. 57-71, jan./mar. 2009.

MOURA, Romero Marinho de. Rachel Carson e os agrotóxicos 45 anos após primavera silenciosa. **Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agrônoma**, Recife, v. 5, n. 6, p. 44-52, 2008-2009.

MÜLLER, N.; HARNISH, J. **A blueprint for a climate friendly cement industry**. Gland: WWF Lafarge Conservation Partnership, 2008, 94p. (WWF-Lafarge Conservation Partnership Report). Disponível em : http://assets.panda.org/download/english_report_lr_pdf. Acesso em 17 fev. 2019.

MUNHOZ, Fabiana Costa. **Utilização do gesso para fabricação de artefatos alternativos, no contexto de produção mais limpa**. 2008. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2008.

NAGALI, André. **Gerenciamento de resíduos sólidos na construção civil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2014.

NASCIMENTO, Luis Felipe. Gestão ambiental e sustentabilidade. **Florianópolis: Departamento de Ciências da Administração/UFSC**, 148 p., [Brasília]: Capes: UAB, 2012.

NAVARRO, R. F. A evolução dos materiais. Parte 1: da pré-história ao início da era moderna. *Revista Eletrônica de Materiais e Processos*, Campina Grande, v. 1, n. 1, p. 01-11, 2006.

OLIVEIRA, Djane de F.; RIOS, Fábio Remy de A.; LUCENA, Luciana de F. Lopes. Conjuntura atual da gestão de resíduos de construção civil. In: SOUSA, Antonio Augusto P. de (org). **Sinal verde**: gestão ambiental: a experiência do CEGAMI. Campina Grande: EDUEPB, 2007. p. 126-143.

OLIVEIRA, Leandro D. de. Da Eco-92 à Rio +20: uma breve avaliação d duas décadas. **Boletim campeiro de Geografia**, Campinas, v. 2, n. 3, 2012.

Sustainable Actions For The Disposal Of Waste Wood In The Construction Site: Building
Cleaner Production To Improve Processes

OMETTO, Aldo Roberto; GUELERE FILHO, Américo; PERES, Renata Bovo. Gestão ambiental de empresas. *In*: CALIJURO, Maria do Carmo; CUNHA, Davi G. Fernandes (org.). **Engenharia ambiental: conceitos, tecnologia e gestão**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013.

PASSUELLO, Ana Carolina Badalotti et al. Aplicação da Avaliação do Ciclo de Vida na Análise de Impactos Ambientais de Materiais de Construção Inovadores: estudo de caso da pegada de carbono de clínqueres alternativos. **Ambiente construído: revista da Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**. Porto Alegre, RS, v. 14, n. 4, p. 7-20, out. dez., 2014.

PEREIRA, Graciane Regina; SANT'ANNA, Fernando Soares Pinto. **Produção mais limpa no Brasil: subsídios para implantação**. 1ª. ed. - Curitiba: Appris, 2018.

PFEIL, Walter; PFEIL, Michèle. **Estruturas de madeira**. 6. ed. rev. Rio de Janeiro: LTC, 2015.

PINTO, Tarcísio de Paula. **Gestão ambiental de resíduos da construção civil: a experiência do Sinduscon-SP**. São Paulo: Obra Limpa: I&T: Sinduscon-SP, 2005.

PINTO, Tarcísio de Paula. Metodologia para a Gestão Diferenciada de Resíduos Sólidos da Construção Urbana. 1999. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

PINTO, Tarcísio de Paula; GONZÁLES, Juan Luís Rodrigo. **Manejo e gestão de resíduos da construção civil**. Brasília: Caixa, 2005.

PIOVEZAN JÚNIOR, Gilson T. do Amaral. **Avaliação dos resíduos da construção civil (RCC) gerados no município de Santa Maria**. 2007. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

RAMOS, Luciana Cristina de Carvalho *et al.* Redução de custos com a substituição de óleo BPF por biomassa em caldeiras. **Revista Conexão Mineral**, 2017.

RIBEIRO, Daniel Vêras; MORELLI, Márcio Raymundo. **Resíduos sólidos: problema ou oportunidade?**. Rio de Janeiro: Interciência, 2009.

ROSA, T. da S. *et al.* A educação ambiental como estratégia para a redução de riscos socioambientais. **Ambiente & Sociedade. São Paulo**, v. 18, n. 3, p. 211-230, 2015.

ROTH, Caroline das Graças; GARCÍAS, Carlos Mello. Construção civil e a Degradação Ambiental. **Desenvolvimento em Questão**, v. 7, n. 13, p. 111-128, 2009.

Sustainable Actions For The Disposal Of Waste Wood In The Construction Site: Building
Cleaner Production To Improve Processes

SANTOS, Fladimir Fernandes dos *et al.* Adequação dos municípios do estado do Rio Grande do Sul à legislação de gestão de resíduos da construção civil. **Revista Iberoamerica de Engenharia Industrial**, Florianópolis, SC, Brasil, v. 4, n. 8, p. 1-18, 2012.

SANTOS, Maria Fernanda Nóbrega dos *et al.* Importância da avaliação do ciclo de vida na análise de produtos: possíveis aplicações na construção civil. **GEPROS Gestão da Produção, Operações e Sistemas**. Bauru, v. 6, n. 2, p. 57-73, 2010.

SCHNEIDER, Dan Moche; PHILIPPI JR, Arlindo. Gestão pública de resíduos da construção civil no município de São Paulo. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 4, n. 4, p. 21-32, 2004.

SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO. **Florestas do Brasil em resumo - 2010: dados de 2005-2010**. Ministério do Meio Ambiente. Brasília: SFB, 2010.

SJÖSTRÖM, C. Service life of the building. Applications of the performance concept in building. **Proceedings**, Tel Aviv, v. 2, p. 6-11, 1996.

SHIGUE, Erich Kazuo. Panorama do uso da madeira na construção civil no Brasil: empresas e produtos. *In*: XVI Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira, 2018, São Carlos. **Anais...** São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos, 2018, p. 1-17.

SILVA, Nathália Enéas Gomes *et al.* Resíduos de madeira produzidos na construção civil. **Cadernos de Graduação - Ciências Exatas e Tecnológicas**, Maceió, v. 3, n. 3, p. 207-214, nov. 2016.

SILVA, Robson Garcia da; SILVA, Valdenildo Pedro da. Produção mais limpa: contributos teórico-práticos para a sustentabilidade da cerâmica vermelha. **Revista Cerâmica**, São Paulo, v. 63, n. 368, p. 494-507, out./dez. 2017.

SINDICATO DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL DO ESTADO DE SÃO PAULO - SINDUSCON/SP. **Gestão ambiental de resíduos da construção civil: avanços institucionais e melhorias técnicas**. São Paulo: SindusCon, 2015.

SOUZA, Anna Freitas Portela de. **A sustentabilidade no uso da madeira de floresta plantada na construção civil**. 2010. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

SUDAM - SUPERINTENDÊNCIA DO DESENVOLVIMENTO DA AMAZÔNIA. **Legislação sobre a criação da Amazônia Legal**. 2010.

TÉCHNE. Resíduos de madeira na construção: oportunidade ou perigo? **TÉCHNE A revista do engenheiro civil**, São Paulo, n. 196, p. 56-59, jun. 2013.

Sustainable Actions For The Disposal Of Waste Wood In The Construction Site: Building
Cleaner Production To Improve Processes

UNIDO/UNEP. **Guidance manual: how to establish and operate cleaner production centers.** 2004.

WORLDWATCH INSTITUTE. Estado do mundo 2013: **A sustentabilidade ainda é possível ?** Salvador: UMA Editora, 2013.

ZENID, José Geraldo. **Madeira: uso sustentável na construção civil.** 2. ed. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas: SVMA, 2009.

ZENID, José Geraldo. **Madeira na construção civil.** Divisão de Produtos Florestais, São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 2011.



ESTUDO DE AUTOCICATRIZAÇÃO DE FISSURAS EM CONCRETO COM FIBRAS METÁLICAS UTILIZANDO ADITIVO CRISTALIZANTE

*SELF HEALING STUDY OF FISSURES IN CONCRETE WITH METALLIC
FIBERS USING CRYSTALIZING ADDITIVE*

MAINES Alexandre, RIFFEL Elias, SENS, George Lucas, SILVA, Douglas
Araujo, MARTINS Lucas

alexandre.maines@unifebe.edu.br

RESUMO: O concreto armado é amplamente utilizado na construção civil e apresenta importantes vantagens em sua utilização, podendo-se destacar sua alta resistência à compressão. Entretanto, a interação com o meio ambiente associada com a presença de fissuras inerentes ao concreto desencadeia mecanismos de deterioração. O objetivo geral dessa pesquisa é avaliar a ação e efetividade de aditivo cristalizante no fechamento das fissuras ao longo do tempo e verificar potencial recuperação das propriedades mecânicas e de permeabilidade que possam ampliar a durabilidade do concreto. O concreto produzido utiliza fibras metálicas em sua composição. Foram produzidos 28 corpos de prova de concreto com fibras e com aditivo cristalizante, curados em água por 28 dias. Em seguida foi verificada a resistência a compressão do concreto produzido e foram pré-fissurados os demais corpos de prova. Na sequência, aos 7, 14, 21 e 28 dias após a pré-fissuração foram realizados ensaios de resistência e porosidade do concreto. Os resultados mostram em geral um aumento de resistência a compressão do concreto em relação a resistência inicial com pré-fissuras, embora tenha ocorrido uma redução da resistência aos 21 e 28 dias. Com relação a porosidade verificou-se um aumento da porosidade aos 7 e 14 dias e uma menor porosidade aos 21 e 28 dias.

PALAVRAS-CHAVE: Concreto, autocicatrização, aditivo cristalizante.

Estudo De Autocicatrização De Fissuras Em Concreto Com Fibras Metálicas Utilizando Aditivo Cristalizante

ABSTRACT: Reinforced concrete is widely used in civil construction and has advantages in its use, including its high resistance to construction. Interaction, however, with the environment associated with the presence of cracks inherent in concrete triggers. The general objective of the research is to evaluate the supply and construction of this planning structure and verify the potential for recovery of the properties of time and permeability that can increase the durability of the objective. The concrete produced uses metallic fibers in its composition. Twenty-eight specimens with fibers and with a crystallizing additive were made of concrete, cured in water for 28 days. It was verified a reliable resistance together produced and the other specimens were pre-prepared. Subsequently, at 7, 14, 21 and 28 days after pre-cracking, resistance and permeability tests were performed. The yarn-results show an increase in strength at the initial² with a pre-concrete strength ratio, although there was an increase in strength at the early days¹ and in relation to strength. Regarding porosity and porosity, there was an increase in porosity at 7 and 14 days and a porosity at 21 days.

KEYWORDS: *crystallizing aditive, self healing, concrete.*

1 INTRODUÇÃO

O concreto armado é uma técnica construtiva amplamente usada e apresenta importantes vantagens em sua utilização, podendo-se destacar sua alta resistência à compressão. Entretanto, a interação com o meio ambiente associada com a presença de fissuras inerentes ao concreto desencadeia mecanismos de deterioração.

A fissuração do concreto e sua deterioração podem ser originárias de causas intrínsecas ou extrínsecas, e tem influência na durabilidade e nas propriedades mecânicas do material, pois constituem caminhos preferenciais para a passagem de água e agentes agressivos para o interior da estrutura, podendo desencadear manifestações patológicas.

OLIVEIRA (2019) aponta o emprego de aditivo cristalizante como uma alternativa promissora para potencializar o processo de autocicatrização de produtos cimentícios. O apelo tecnológico e operacional do aditivo cristalizante referente à

Estudo De Autocicatrização De Fissuras Em Concreto Com Fibras Metálicas Utilizando Aditivo Cristalizante

facilidade de aquisição, implementação e aplicação na mistura cimentícia torna-o uma opção prática e atraente para investigar seus mecanismos físico-químicos como promotor de autocicatrização.

A fissuração do concreto e sua degradação podem ser originárias de causas intrínsecas ou extrínsecas, e tem influência na durabilidade e nas propriedades mecânicas do material, pois constituem caminhos preferenciais para a passagem de água e agentes agressivos para o interior da estrutura, podendo desencadear danos.

O presente trabalho estuda a autocicatrização do concreto com fibras metálicas com uso aditivo cristalizante.

O objetivo da pesquisa é avaliar a ação e efetividade de aditivo cristalizante no fechamento das fissuras ao longo do tempo e verificar potencial recuperação das propriedades mecânicas e de porosidade que possam ampliar a durabilidade do concreto.

O uso de fibras de aço no concreto é uma alternativa que possibilita melhorar as propriedades do concreto aumentando sua tenacidade, resistência a tração ou ainda, a inclusão de fibras serve como elemento de controle da fissuração, estabelecendo limites ao aparecimento de fissuras. As fibras naturais podem ser utilizadas tanto para controlar a propagação das fissuras, quanto para atuar como reservatórios de umidade, auxiliando o mecanismo de hidratação tardia (FERRARA et al. 2014, apud OLIVEIRA 2019).

2 REFERENCIAL TEÓRICO

A capacidade do concreto produzido com cimento portland de cicatrizar fissuras ao longo do tempo é conhecida a muitas décadas, sendo denominada cicatrização autógena (REPETTE, 2011).

OLIVEIRA (2019) indica algumas definições no processo de autocicatrização, destacando autocicatrização como o processo que envolve a recuperação de resistência mecânica, com a restauração das propriedades do material após o fechamento das fissuras.

Esta autora ainda define autocicatrização autógena (intrínseca ou natural)

Estudo De Autocicatrização De Fissuras Em Concreto Com Fibras Metálicas Utilizando Aditivo
Cristalizante

como o processo de recuperação que usa os componentes genéricos ou originais da mistura, e autocicatrização autônoma (ou engenheirada) o processo de recuperação que usa os componentes externos ou materiais engenheirados, que não são originais da mistura, por exemplo, bactérias.

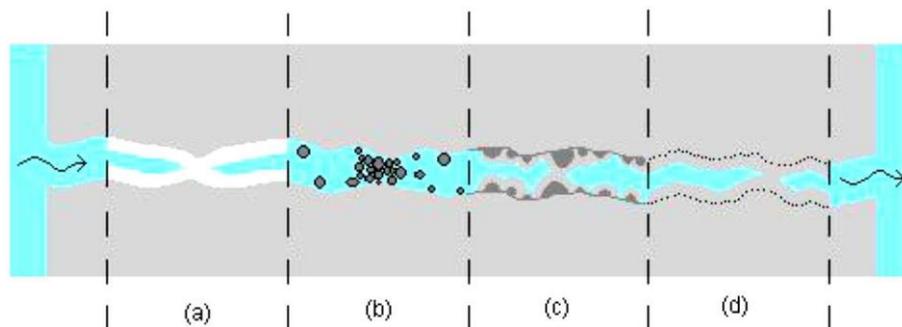
O uso de aditivo autocicatrizante por ser um produto original incluído na mistura se qualifica como autocicatrização autógena. Sua ação de recuperação de fissuras apresenta eficiência em aberturas de até 0,4mm.

Os estudos sobre a autocicatrização voltados à prevenção dos danos e aumento da durabilidade do concreto são recentes. Por isso, a pesquisa nesta área é importante para o avanço desta tecnologia.

OLIVEIRA (2019) ressalta que estudos iniciais sobre autocicatrização do concreto focaram mais na descoberta e identificação do fenômeno. As abordagens mais criteriosas sobre as metodologias e as técnicas de ensaio propostas para quantificar o potencial de cicatrização datam pouco mais de 5 anos.

BIANCHIN (2018) apresenta uma figura que destaca as formas de autocicatrização do concreto, como mostra a figura 01.

Figura 01 – tipos de autocicatrização autógena do concreto.



Fonte: (BIANCHIN, 2018).

A figura 01 aponta 4 mecanismos de autocicatrização naturais que são: (a) formação de carbonato de cálcio ou hidróxido de cálcio; (b) deposição de impurezas transportadas pela água ou de partículas desprendidas das paredes da fissura; (c) hidratação tardia de grãos anidros de cimento; (d) expansão da matriz de cimento

Estudo De Autocicatrização De Fissuras Em Concreto Com Fibras Metálicas Utilizando Aditivo Cristalizante

O primeiro mecanismo ocorre pela formação de carbonato de cálcio obstruindo as fissuras, reduzindo a permeabilidade, entretanto não ocorre recuperação das propriedades mecânicas do concreto.

O segundo mecanismo se dá por obstrução das fissuras devido ao acúmulo de partículas sólidas transportadas pela água que flui através dela ou oriundas do próprio local na superfície do concreto. Ocorre redução da permeabilidade, entretanto não ocorre recuperação das propriedades mecânicas do concreto.

O terceiro mecanismo se dá pela hidratação tardia de partículas de cimento anidro que não foram consumidas pela água de mistura do concreto. Ocorre formação de novos cristais hidratados de cimento devido a contato com umidade que penetra pela abertura de fissuras. Neste caso, além da redução da permeabilidade, também se dá a recuperação das propriedades mecânicas do concreto.

O quarto mecanismo ocorre em estruturas submetidas à exposição contínua à umidade, a redução de permeabilidade é devida à expansão da matriz de cimento, que devido à saturação tende a apresentar um aumento do volume.

3 METODOLOGIA.

Este item apresenta a metodologia utilizada na pesquisa, os materiais empregados a produção do concreto e os ensaios realizados.

Os materiais utilizados foram os mesmos utilizados em (ALVES, 2021). Os ensaios de caracterização dos agregados foram realizados no laboratório no Centro Universitário UNIFE pelo citado autor. Também a dosagem do concreto foi a mesma definida por este autor.

Pode-se classificar a pesquisa como exploratória e descritiva, pois possui características de ambas durante seu processo de execução.

A pesquisa é exploratória porque visa um acesso mais próximo com o problema investigado, sendo fornecidas informações sobre a temática escolhida, aprofundando conceitos e gerando a construção de hipóteses. Sendo que há um planejamento inicial das ideias a serem estudadas, junto com pesquisas bibliográficas (MANUAL DE ORIENTAÇÕES METODOLÓGICAS UNIFE, 2021).

Estudo De Autocicatrização De Fissuras Em Concreto Com Fibras Metálicas Utilizando Aditivo Cristalizante

A pesquisa é descritiva, porque, visa a observação, registro e análise, sendo executado a descrição das características da população de amostra (nesse caso a descrição das características mecânicas dos corpos de provas). Sendo correlacionados as variáveis dos dados coletados e registrados.

O objetivo da pesquisa é avaliar a ação e efetividade de aditivo cristalizante no fechamento das fissuras ao longo do tempo e verificar potencial recuperação das propriedades mecânicas e de porosidade que possam ampliar a durabilidade do concreto.

Para atingir estes objetivos serão realizados ensaios específicos tanto no estado fresco quanto no estado endurecido do concreto produzido, compreendendo ensaios de determinação da consistência do concreto, ensaios para determinar as propriedades mecânicas e ensaios para determinar sua porosidade.

Como desenvolvimento temporal da pesquisa estão programadas cinco etapas estabelecidas da seguinte forma:

- Realizar estudos preliminares de formulação de projeto inicial, estudo de trabalhos realizados,
- Caracterizar os materiais componentes do concreto com fibras e definir formulação deste concreto a estudar,
- Produzir corpos de prova de concreto com fibras com aditivo cristalizante e realizar sua cura em água,
- Realizar ensaios de resistência e porosidade do concreto com fibras aos 28 dias dos corpos de prova produzidos,
- Aos 28 dias produzir fissuração nos concretos produzidos,
- Realizar ensaios de resistência e porosidade nos concretos pré-fissurados aos 7, 14, 21 e 28 dias após fissuração.

3.1 MATERIAIS UTILIZADOS

Na reprodução do concreto foi utilizado o **Cimento Portland CP IV-32-RS**, com resistência 32 MPa e adição de pozolana. O peso específico do cimento é de 3.100

Estudo De Autocicatrização De Fissuras Em Concreto Com Fibras Metálicas Utilizando Aditivo Cristalizante

kg/m³. A escolha deste produto se dá por sua disponibilidade na região e também pelo seu recorrente uso na construção civil.

O **agregado miúdo** utilizado foi uma areia média com peso específico de 2.580 kg/m³, peso unitário de 1.421 kg/m³ e com módulo de finura, MF=2,59. Anterior ao uso, a mesma foi seca em estufa a 100° Celsius, e constipada a temperatura ambiente por aproximadamente 24 horas para ser utilizada.

O **agregado graúdo** utilizado foi uma brita com peso específico de 2.840 kg/m³, peso unitário de 1.496 kg/m³ e diâmetro máximo característico, DMC = 9,5 mm. Anterior ao uso, a brita foi lavada para a remoção dos resíduos de poeira que possivelmente poderiam influenciar no desempenho dos concretos. Posteriormente foi seca na estufa a 100°C por 24 horas.

A **água** utilizada na construção do concreto para os corpos de prova é distribuída pela rede pública regional de Brusque (SAMAE).

O **aditivo** utilizado para a elaboração do concreto foi o ADMIX C-500 NF da marca Xypex. Este produto possui uma mistura de cimento Portland, aliado a sílica e diferentes tipos de substâncias químicas ativas.

As **fibras de aço** utilizadas na produção do concreto, caracterizam-se por possuir ancoragem em suas extremidades, sendo considerada como fibras tipo “A” e oriunda de arame trefilado a frio, segundo a norma brasileira NBR15530 (2007). As fibras foram disponibilizadas pelo laboratório no Centro Universitário UNIFE.

3.2 PRODUÇÃO DO CONCRETO.

Destaca-se novamente que o traço do concreto utilizado nesta pesquisa foi o mesmo definido por (ALVES, 2021). Este autor definiu um traço pelo método da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), com adaptação do método ACI 211.1-81, ABCP/ACI, para uma resistência de dosagem de 25 MPA. O traço ficou definido com a seguinte proporção de materiais 1:2,4:3:0,5 com adição de 2% de fibras metálicas.

Estudo De Autocicatrização De Fissuras Em Concreto Com Fibras Metálicas Utilizando Aditivo Cristalizante

Para produzir o concreto inicialmente foram pesados os materiais e colocados em uma betoneira na seguinte ordem: Brita: Aditivo cristalizante: 30% água: cimento: 30% água: areia: restante da água: fibras metálicas.

Após a produção do concreto foi realizado o ensaio de abatimento do concreto (SLUMP TEST) para determinar sua consistência. Para chegar ao slump definido em (ALVES, 2021) – 100mm - o concreto foi ajustado pela adição de água e cimento na proporção do traço. A figura 02 ilustra este procedimento.

Figura 02 – Ensaio de abatimento de tronco.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Na sequência foram moldados 28 corpos de prova em moldes cilíndricos com diâmetro 100mm e altura 200mm. O adensamento do concreto foi feito com haste metálica e procedimento determinados em NBR 5738 (1994). A figura 03 ilustra os corpos de prova já enformados.

Figura 03 – corpos de prova enformados.



Fonte: elaborado pelos autores.

Estudo De Autocicatrização De Fissuras Em Concreto Com Fibras Metálicas Utilizando Aditivo Cristalizante

Após 24 horas os corpos de prova foram desmoldados e colocados em água para realizar a cura por um tempo de 28 dias. A figura 04 mostra os corpos de prova em cura

Figura 04 – corpos de prova em cura.



Fonte: Elaborado pelos autores.

3.3 PRODUÇÃO DE FISSURAS.

Após o período estipulado de 28 dias de cura em água os corpos de prova foram retirados da câmara com água para realização de ensaios previstos.

Inicialmente foram realizados ensaios de compressão em 6 corpos de prova para determinar a resistência a compressão do concreto produzido, segundo os procedimentos prescritos em NBR 5739 (1994). A figura 05 ilustra o corpo de prova em ensaio de compressão.

Estudo De Autocicatrização De Fissuras Em Concreto Com Fibras Metálicas Utilizando Aditivo Cristalizante

Figura 05 – ensaio de compressão.

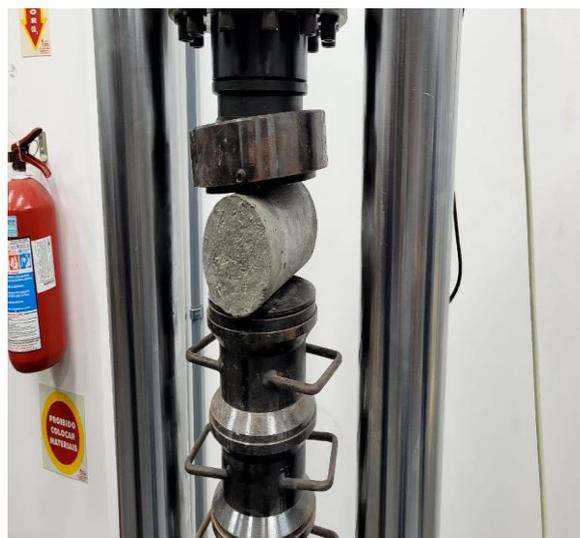


Fonte: elaborado pelos autores.

Para realizar ensaios de porosidade do concreto produzido foram separados 3 corpos de prova que foram preparados, pesados e postos em estufa para verificar sua porosidade.

Em seguida, nos corpos de prova restante, realizou-se o ensaio de tração por compressão diametral. a figura 06 ilustra este ensaio.

Figura 06 – Corpos de prova sendo fissurados.



Fonte: elaborado pelos autores.

Estudo De Autocicatrização De Fissuras Em Concreto Com Fibras Metálicas Utilizando Aditivo Cristalizante

Posteriormente os corpos de prova foram inseridos na câmara de água para induzir a autocicatrização. Por fim, aplicaram-se testes aos 7, 14, 21 e 28 dias pós fissura.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os ensaios realizados objetivam avaliar a ação e efetividade do aditivo impermeabilizante por cristalização, além de determinar as propriedades mecânicas e sua porosidade do concreto.

A seguir apresenta-se os resultados obtidos nos testes e sua análise.

4.1 RESULTADOS DE RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO AXIAL

Os ensaios de resistência a compressão foram feitos antes e depois do concreto fissurado. Antes de fissurar o concreto busca-se determinar a resistência a compressão do concreto produzido.

Após induzir fissuras no concreto os corpos de prova ficaram em cura por 28 dias.

Em seguida foram ensaiados aos 7, 14, 21 e 28 dias e verificada sua resistência a compressão com objetivo de verificar recuperação de suas propriedades mecânicas.

A tabela 01, mostra estes resultados.

Estudo De Autocicatrização De Fissuras Em Concreto Com Fibras Metálicas Utilizando Aditivo Cristalizante

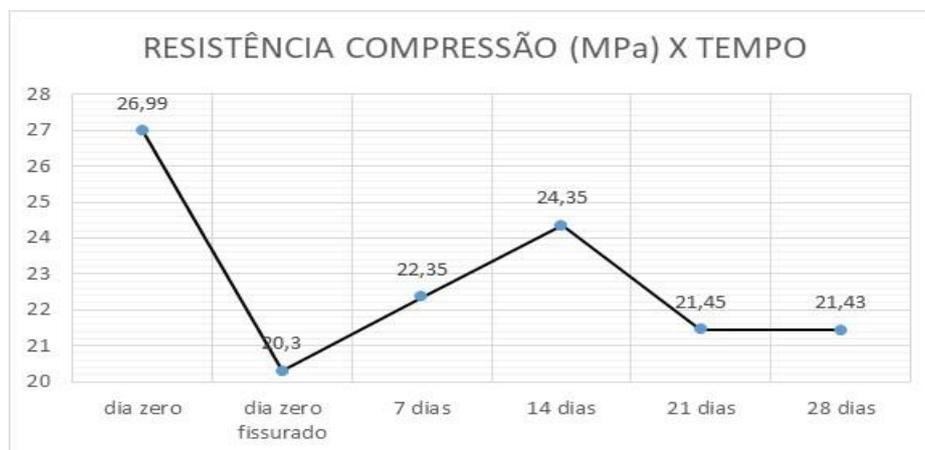
Tabela 01 – Resistência a compressão do concreto em MPa

Corpo de Prova	Intacto dia zero	Fissurado dia zero	Fissurado 7 dias	Fissurado 14 dias	Fissurado 21 dias	Fissurado 28 dias
CP1	25,55	20,5	21,8	25	20,4	20,5
CP2	27,12	19,4	22,9	23,7	22,5	22,1
CP3	27,91	21	--	--	--	21,7
CP4	25,89	--	--	--	--	--
CP5	26,33	--	--	--	--	--
CP6	29,22	--	--	--	--	--
Média	26,99	20,3	22,35	24,35	21,45	21,43

Fonte: Elaborado pelos autores

O gráfico 01 a seguir mostra a evolução da compressão do concreto.

Gráfico 01: Evolução da compressão do concreto.



Fonte: Elaborado pelos autores

OBS: O dia zero é o primeiro dia de análise do concreto, ou seja, 28 dias após sua produção e cura.

Analisando os resultados mostrados na tabela 01 e no gráfico 01, pode-se destacar as seguintes observações:

- Os corpos de prova produzidos apresentam uma resistência média de 26,99 MPa,
- Após pré-fissurados a resistência média baixa para 20,30 MPa,

Estudo De Autocicatrização De Fissuras Em Concreto Com Fibras Metálicas Utilizando Aditivo Cristalizante

- Nos seguintes 7, 14, 21 e 28 dias a resistência dos corpos de prova apresentam valor superior do que aos 0 dias fissurado, indicando ganho de resistência.
- Apesar de resultados com valores superiores ao do dia 0 fissurado, os valores aos 21 e 28 dias eram esperados maiores.

O aditivo cristalizante utilizado (XYPEX ADMIX C500-NF) indica em sua ficha técnica eficiência em fissuras até 0,4 mm aos 28 dias,

Pode-se concluir pelos resultados mostrados que o concreto obteve ganhos de resistência, apesar de redução não esperadas aos 21 e 28 dias quando o aditivo deveria ter ação maior.

4.2 RESULTADOS DE POROSIDADE DO CONCRETO.

Os ensaios de porosidade do concreto foram feitos antes e depois do concreto fissurado. Antes de fissurar o concreto busca-se determinar a porosidade do concreto produzido. Após induzir fissuras no concreto os corpos de prova ficaram em cura por 28 dias.

Em seguida estes foram ensaiados aos 7, 14, 21 e 28 dias e verificada sua porosidade com objetivo de verificar a capacidade do aditivo cicatrizante em diminuir volume de poros em concretos fissurados.

O cálculo de porosidade foi feito com a equação 1, a seguir,

$$p = (P_{\text{sat}} - P_{\text{seco}}) / V_{\text{total}} \quad \text{Eq. 1}$$

p : Porosidade

P_{sat} : Peso do corpo de prova saturado.

P_{seco} : Peso do corpo de prova seco em estufa por 24 h.

V_{total} : Volume do corpo de prova.

Estudo De Autocicatrização De Fissuras Em Concreto Com Fibras Metálicas Utilizando Aditivo Cristalizante

A tabela 02, mostra estes resultados.

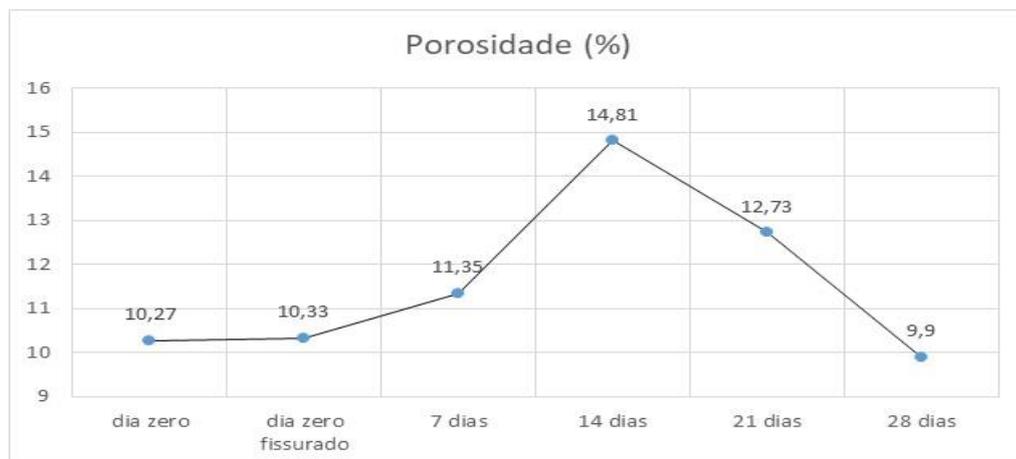
Tabela 02 – Porosidade do concreto em porcentagem

Corpo de Prova	Intacto dia zero	Fissurado dia zero	Fissurado 7 dias	Fissurado 14 dias	Fissurado 21 dias	Fissurado 28 dias
CP1	10,50%	9,90%	10,90%	14,83%	12,73%	9,90%
CP2	10,20%	11,10%	11,80%	14,78%	---	---
CP3	10,10%	10,00%	---	---	---	---
Média	10,27%	10,33%	11,35%	14,81%	12,73%	9,90%

Fonte: Elaborado pelos autores

O gráfico 02 a seguir mostra a evolução da porosidade do concreto.

Gráfico 02 – Evolução da porosidade do concreto



Fonte: elaborado pelos autores.

OBS: O dia zero é o primeiro dia de análise do concreto, ou seja, 28 dias após sua produção e cura.

Analisando os resultados mostrados na tabela 02 e no gráfico 02, pode-se destacar as seguintes observações:

- Os corpos de prova produzidos apresentam uma porosidade de 10,27%,

Estudo De Autocicatrização De Fissuras Em Concreto Com Fibras Metálicas Utilizando Aditivo Cristalizante

- Após pré-fissurados a porosidade aumentou bem pouco para 10,33%. Apesar do aumento da porosidade esperava-se um aumento maior.
- Nos seguintes 7 e 14 a porosidade aumenta para 11,35% e 14,81, resultados estes não esperados, principalmente o aumento do dia 7 para o dia 14.
- Aos 21 e 28 dias a porosidade cai substancialmente, sendo que aos 28 dias a porosidade resulta inferior ao concreto intacto.

O aditivo cristalizante utilizado (XYPEX ADMIX C500-NF) indica em sua ficha técnica eficiência em fissuras até 0,4 mm aos 28 dias,

Pode-se concluir pelos resultados mostrados, principalmente se analisarmos a porosidade no dia zero e no dia 28 que houve uma ação do aditivo cristalizante em diminuir a porosidade do concreto.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os testes realizados em laboratório, puderam demonstrar a eficácia do aditivo cristalizante na autocicatrização, com recomposição da resistência do concreto com fibras e também com diminuição da porosidade..

Desta forma, com o desenvolvimento e a conclusão do trabalho foram cumpridos os seguintes objetivos específicos:

- Realizar estudos preliminares de formulação de projeto inicial, estudo de trabalhos realizados,
- Caracterizar os materiais componentes do concreto com fibras e definir formulação deste concreto a estudar,
- Produzir corpos de prova de concreto com fibras com aditivo cristalizante e realizar sua cura em água,
- Realizar ensaios de resistência e porosidade do concreto com fibras aos 28 dias dos corpos de prova produzidos,
- Aos 28 dias produzir fissuração nos concretos produzidos,
- Realizar ensaios de resistência e porosidade nos concretos pré-fissurados aos 7, 14, 21 e 28 dias após fissuração.

Estudo De Autocicatrização De Fissuras Em Concreto Com Fibras Metálicas Utilizando Aditivo Cristalizante

Em conclusão, o aditivo cristalizante incorporado e aliado ao concreto com fibras teve um papel fundamental na recomposição das propriedades mecânicas e na indução do auto cicatrização, possibilitando assim maior durabilidade do concreto.

6 REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMA TÉCNICAS. **NBR 15530**. Fibras de aço para concreto – Requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMA TÉCNICAS. **NBR 6207**. Aroles de aço – Ensaio de tração. Rio de Janeiro, 1982.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMA TÉCNICAS. **NBR 5738**. Moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos ou prismáticos de concreto. Rio de Janeiro, 1994.

ALVES, Dhiego de Dliveira. **Métodos de dosagem do concreto**. 2021. TCC. Centro universitário UNIFEBE.

BENTUR, Arnon; MENTE, Sidney. **Compósitos cimentícios reforçados com fibras**. CRC Press, 2006.

BIANCHIN, Felipe Hirata. **Avaliação da autocicatrização em concretos produzidos com aditivo cristalizante e fissurados nas primeiras Idades**. Porto Alegre. TCC, 2018.

BRASILEIRO, Ada Magaly Matias. **Manual de produção de textos acadêmicos e científicos**. São Paulo: Atlas, 2013.

FIGUEIREDO, Antonio Domingues de. **Concreto reforçado com fibras**. 2011. Tese de Doutorado. USP: Universidade de São Paulo.

Estudo De Autocicatrização De Fissuras Em Concreto Com Fibras Metálicas Utilizando Aditivo
Cristalizante

FIGUEIREDO, Antonio Domingues. **Concreto com fibras**. Instituto Brasileiro do Concreto. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Capítulo 37, 2005.

WIEGRINK, Karl; MARIKUNTE, Shashidhara; SHAH, Surendra P. **Fissuração por retração do concreto de alta resistência**. *Revista de Materiais*: v. 93, n. 5, pág. 409-415, 1996.

OLIVEIRA, Eduardo Peron de. **Análise de influência das fibras de aço na matriz do concreto**. 2021. TCC. Centro universitário UNIFEBE.

OLIVEIRA, A. S. **Estudo do potencial de aditivo cristalizante como estimulador de autocicatrização de fissuras de matrizes cimentícias**. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), 2019.

REPETTE W. L. **Concretos para fins especiais e de última geração**. In: *Concreto: Ciência e Tecnologia*. IBRACON, 2011. v1

SALOMOM, Delcio Vieira. **Como fazer uma monografia**. 12. ed. São Paulo: Martins Fontes, 2010
TARGINO, M. G. Comunicação científica: uma revisão de seus elementos básicos. *Revista Informação & Sociedade: Estudos*, João Pessoa, v. 10, n. 2, p. 37-85, 2000.

SANTOS, Angela Sikorski et al. **Manual de orientações metodológicas**. 2021. Centro universitário de Brusque UNIFEBE.

TAKAGI, E. M. **Concretos autocicatrizantes com cimentos brasileiros de escória de alto-forno ativados por catalisador cristalino**. São José dos Campos: Instituto Tecnológico da Aeronáutica, São José dos Campos, 2013.

PAVIMENTOS DRENANTES: ESTUDO SOBRE PEÇAS DE CONCRETO PERMEÁVEL DO TIPO *PAVER* INTERTRAVADO POROSO

DRAINAGE FLOORS: STUDY ON POROUS INTERLOCKED PAVER TYPE PERMEABLE CONCRETE PARTS

Alexandre Schroeder¹
Arnoldo Wesley Imhof²
William de Chaves Pinheiro³
Alexandre Maines⁴
Elias Riffel⁵

RESUMO: O desenvolvimento e a utilização de infraestruturas sustentáveis é uma estratégia que ganha crescente importância em âmbito global com o aumento da conscientização sobre a construção de sistemas de pavimentação sustentáveis no país. Nesse sentido, o presente projeto visa estudar a efetividade dos pavimentos drenantes, cujo principal benefício é evitar o rápido e indesejado acúmulo de volumes de água acima da superfície do piso. Por permitirem a passagem de água, eles também proporcionam impacto ambiental positivo na prevenção de enchentes urbanas, redução de ilhas de calor e manutenção de aquíferos subterrâneos. A fim de justificar a finalidade do projeto, pretende-se desenvolver um estudo sobre o revestimento permeável de concreto poroso para pavimento do tipo *paver* drenante em laboratório concedido por um fabricante local. Na determinação do coeficiente de permeabilidade (k) foi construída uma bancada em estrutura metálica constituída de grelha e calha para realização do ensaio. Os resultados da pesquisa convergiram com o disposto na norma técnica cujo escopo tipifica os revestimentos permeáveis, regulamenta o método e o cálculo da eficiência hidráulica dos pavimentos drenantes.

Palavras-chave: Pavimentos drenantes. Revestimentos porosos. Drenagem.

¹Acadêmico de Engenharia Civil da Unifebe. E-mail: alexandre_schro@hotmail.com

²Acadêmico de Engenharia Civil da Unifebe. E-mail: arnoldo@unifebe.edu.br

³Acadêmico de Arquitetura e Urbanismo da Unifebe. E-mail:
william.pinheiro@unifebe.edu.br

⁴Professor orientador. Doutor em Estruturas. E-mail: alexandremaines@gmail.com

⁵Professor orientador. Mestre em Engenharia de Processos. E-mail:
eliasriffel@unifebe.edu.br

Pavimentos drenantes: estudo sobre peças de concreto permeável do tipo *paver* intertravado poroso

RESUMO: The development and use of sustainable infrastructure is a strategy that is gaining increasing importance at a global level with the increase in awareness about the construction of sustainable paving systems in the country. In this sense, the present project aims to study the effectiveness of draining pavements, whose main benefit is to avoid the rapid and unwanted accumulation of water volumes above the surface of the floor. By allowing water to pass through, they also provide a positive environmental impact in preventing urban flooding, reducing heat islands and maintaining underground aquifers. In order to justify the purpose of the project, it is intended to develop a study on the permeable coating of porous concrete for draining paver type pavement in a laboratory granted by a local manufacturer. In determining the permeability coefficient (k), a bench was built in a metallic structure consisting of a grid and a gutter to carry out the test. The research results converged with the provisions of the technical standard whose scope typifies permeable coatings, regulates the method and calculation of the hydraulic efficiency of draining pavements.

Palavras-chave: Draining floors. Porous coatings. Drainage.

1 INTRODUÇÃO

O crescimento acelerado da população urbana em cidades de países em vias de desenvolvimento é um tema recorrente, pois os constantes deslocamentos de cargas e pessoas implicam no aumento da necessidade de vias pavimentadas. A falta de planejamento acarreta uma série de impactos ambientais como a falta de moradias, o êxodo rural e a industrialização, resultando em altas taxas de impermeabilização do solo e, conseqüentemente na ausência de espaços urbanos, como parques e jardins, que propiciam a infiltração da água no solo e a recarga dos lençóis freáticos (PINTO, 2011).

O número de áreas impermeáveis vem aumentando diuturnamente com o processo de urbanização. A transformação e ocupação do meio ambiente por meio da construção de áreas de passeio, estradas, de estacionamentos, de edificações, dentre outros, afeta e modifica o funcionamento de ecossistemas inteiros (KLENZENDORF *et al.*, 2012).



Pavimentos drenantes: estudo sobre peças de concreto permeável do tipo *paver* intertravado poroso

Neste cenário de alta urbanização dos últimos tempos, em paralelo com o aumento de construções verticais, calçadas, e construções de grande porte como galpões industriais, as águas pluviais necessitam fazer seu ciclo hidrológico natural, e o concreto poroso é um mecanismo que pode auxiliar no escoamento dessas águas, auxiliando também na taxa de permeabilidade do solo (PRUNER, 2018).

A partir dessa perspectiva, é viável o estudo de novas tecnologias e, o emprego de pavimentos permeáveis em áreas urbanas estratégicas, pode auxiliar no processo de drenagem (DINIZ *et al*, 2021). Os pavimentos de concreto apresentam as camadas de rolamento ou de revestimento elaboradas com concreto poroso sendo produzidas com agregados e ligantes hidráulicos, empregando diversas técnicas de manipulação e elaboração, como pré-moldagem ou produção *in loco* (BALBO, 2009).

A NBR 16416 (2015) define pavimento de concreto permeável como sendo o revestimento de concreto moldado no local em que a percolação de água ocorre pelo concreto. Os pavimentos permeáveis, segundo Suzuki, Azevedo e Kabbach Júnior (2013), também podem ser denominados de estruturas-reservatórios, referindo-se à função mecânica que permite suportar o carregamento solicitado pelo tráfego de veículos, e à função hidráulica, cujo reservatório assegura a retenção temporária das águas pela porosidade dos materiais.

Em face ao atual cenário, tendo em vista que um dos principais problemas é a impermeabilização do solo decorrente da ocupação urbana, a qual altera o ciclo hidrológico e resulta em um aumento das enchentes nos centros urbanos, além do aumento de substâncias poluentes nos corpos d'água, o presente trabalho tem como objetivo analisar o desempenho hidráulico dos pavimentos drenantes fabricados no contexto local. A metodologia do estudo foi delineada por uma pesquisa bibliográfica para embasamento conceitual da nomenclatura técnica e foi combinada a uma pesquisa experimental avaliativa realizada em laboratório para verificação do índice de permeabilidade das amostras de *paver* drenante intertravado. Os



Pavimentos drenantes: estudo sobre peças de concreto permeável do tipo *paver* intertravado poroso

resultados da pesquisa demonstraram validação dos parâmetros normativos e atenderam a conformidade dos objetivos propostos.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 A INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL (ICC)

A construção civil possui ampla capacidade de produção e geração de milhares de postos de trabalho de forma rápida, essencial para a retomada da economia brasileira pós-pandemia de COVID-19. O setor movimenta uma grande cadeia produtiva, desde o canteiro de obras até a fabricação de insumos, com grande potencial de crescimento para os próximos anos. Indicadores atuais mostram que 10% dos trabalhadores brasileiros estão empregados na construção civil e que 7% do PIB nacional é proveniente da construção civil, movimentando 62 atividades econômicas da indústria brasileira. Segundo dados do Caged divulgados pelo Ministério da Economia, em 2020, o país criou 142 mil vagas de trabalho formais (CLT), das quais 112 mil foram oriundas da construção civil (ABRAIN, 2021).

Segundo Mello e Amorim (2009) a construção civil é um ramo que possui inúmeras atividades, ligadas entre si por uma vasta diversificação de produtos, com processos tecnológicos variados, vinculando-se a diferentes tipos de demanda, abriga em seu nicho de mercado indústrias de tecnologia de ponta e capital intensivo, como cimento, siderurgia, e milhares de microempresas de serviços, como: escritório de projeto, empreiteira de mão de obra, topografia, etc., sendo a maior parte com baixo conteúdo tecnológico, podendo-se assim afirmar que uma das características marcantes do setor da construção é a sua heterogeneidade.

Lintz *et al.* (2012) atestam que a construção civil é uma das atividades mais antigas dentre as indústrias, e que desde o princípio foi aparelhada de forma artesanal, gerando como subproduto dos processos, grande quantidade residual de diversas naturezas. A ICC é reconhecida como uma das mais



Pavimentos drenantes: estudo sobre peças de concreto permeável do tipo *paver* intertravado poroso

importantes áreas industriais para o desenvolvimento social e econômico, contudo, atua como a maior consumidora de recursos naturais em qualquer país do mundo, seja pelo consumo de insumos naturais (ativos ambientais), pela modificação da paisagem ou pela geração de resíduos (passivos ambientais) (MUNHOZ, 2008; SANTOS *et al.*, 2012).

2.2 PAVIMENTOS DRENANTES: PASSO HISTÓRICO

Os pavimentos com estrutura porosa foram aplicados pela primeira vez na França entre 1945-1950 sem muito sucesso, pois a qualidade do asfalto na época (heterogênea e de má usinabilidade) não suportava a ligação da estrutura devido a grande quantidade de vazios. (AZZOUT *et al.*, 1994).

Segundo Virgiliis (2009) os estudos de pavimento drenante foram iniciados de forma mais acentuada em uma modesta escala nas primícias dos anos 70, contendo diferentes países participantes como Suécia, Estados Unidos, Japão e França.

Já em nosso país, desde 2007, as pesquisas relacionadas a esse novo material se tornaram mais extensas para encontrar soluções para os problemas de drenagem urbana do Brasil. Entretanto, as primeiras razões para a utilização dos pavimentos drenantes foram o rápido crescimento pós-guerra, na qual acarretou uma sobrecarga nos sistemas de drenagem existentes, os escoamentos das águas pluviais das pistas de rolamento, assim como a baixa emissão de ruídos com relação aos pavimentos comuns. (SUZUKI; AZEVEDO; KABBACH JUNIOR, 2013).

2.3 PAVIMENTOS DRENANTES

A concepção dos projetos de pavimentos tradicionais procuram atribuir a máxima impermeabilidade ao revestimento superficial, visando proporcionar aos materiais subjacentes proteção contra o aumento da umidade, o que poderia diminuir sua capacidade de carga, e evitar a rápida degradação do



Pavimentos drenantes: estudo sobre peças de concreto permeável do tipo *paver* intertravado poroso

revestimento, que fissa-se quando submetido à pressões hidrodinâmicas pela ação do tráfego pesado. Com a evolução da malha viária e o crescimento das cidades em todo o mundo, a impermeabilização do solo fez aumentar a intensidade e a frequência dos eventos de inundação intraurbana, levando à procura de técnicas alternativas de drenagem que devolvessem ao solo a capacidade de infiltração pré-urbanização (SUZUKI, AZEVEDO; KABBACH JUNIOR, 2013).

O pavimento permeável tem por função capturar a água da chuva e permitir que ela penetre diretamente no solo, ou então decorra ao interior da camada de armazenamento temporário no terreno, a qual é absorvida gradualmente pelo solo diminuindo assim os sistemas públicos de drenagem urbana (COSTA *et al*, 2007).

Os revestimentos em concreto permeáveis são cabíveis em áreas de estacionamento de veículos de passeio, desde que devidamente tratada a drenagem local (base + subleito) com base granular também permeável como caixa de acúmulo temporário de águas pluviais (BALBO, 2009). Os pavimentos permeáveis podem ser implementados como mecanismos de mitigação dos impactos causados pela impermeabilização do solo, sendo utilizados, na maior parte dos locais, em áreas destinadas ao tráfego leve de veículos ou estacionamentos, contudo, está sendo executado em calçadas, praças e parques (PARRA; TEIXEIRA, 2015).

A ABNT NBR 16416:2015 define pavimento permeável como aquele que atende as solicitações de esforços mecânicos e condições de rolamento, simultaneamente, cuja estrutura permite a percolação e/ou acúmulo temporário de água, diminuindo o escoamento superficial, sem causar dano à estrutura. A mesma norma ainda define estrutura permeável como sendo a combinação das camadas de sub-base permeável, base permeável, camada de assentamento permeável (quando for o caso) e revestimento permeável, dimensionada para permitir a percolação de água, distribuir os esforços no subleito e suportar o carregamento do tráfego, conforme mostrado na figura 1.



Pavimentos drenantes: estudo sobre peças de concreto permeável do tipo *paver* intertravado poroso

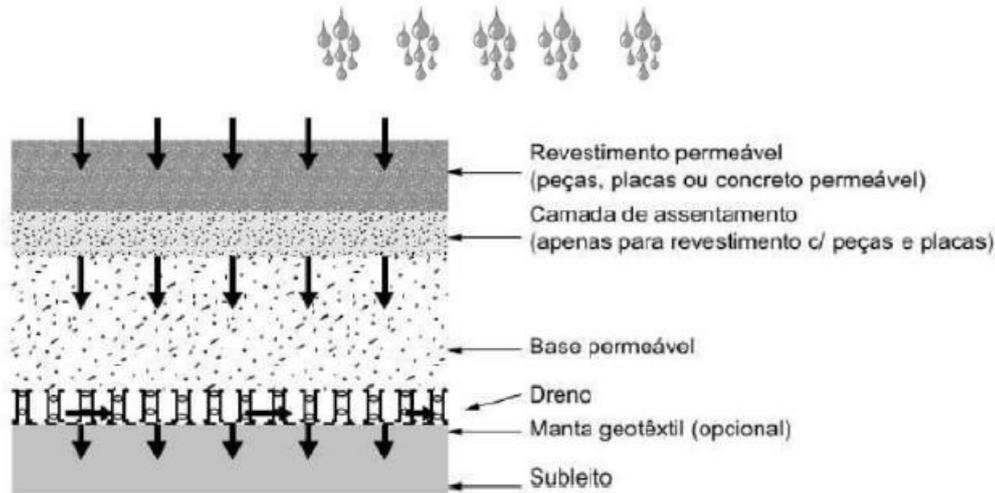


Figura 1 - Camadas estruturais do pavimento permeável
Fonte: ABNT NBR 16416 (2015).

Gonçalves e Oliveira (2014) também definem pavimentos permeáveis como sendo os que possuem espaços livres em sua estrutura, pelos quais há escoamento de água que pode infiltrar no solo ou ser transportado através de um sistema auxiliar de drenagem. O mesmo autor ainda classifica os pavimentos permeáveis de acordo com a sua composição em:

- ✓ Pavimento de blocos de concreto vazado: os blocos de concreto vazado são assentados sobre material granular, como areia, e preenchidos com vegetação rasteira, como grama.
- ✓ Pavimento de blocos de concreto e paralelepípedos: os blocos intertravados de concreto também possuem permeabilidade, cuja magnitude depende da permeabilidade do concreto do bloco e da granulometria do material de assentamento e das juntas.
- ✓ Pavimentos de concreto drenante: A camada superior é composta a partir do conceito similar ao do concreto asfáltico poroso, com a retirada de uma fração de areia fina da mistura dos agregados do pavimento, resultando de 15% a 25% de vazios.
- ✓ Pavimentos de asfalto drenante ou camada porosa de atrito (CPA): a base do funcionamento do CPA é composta de uma mistura de agregados, com ou

Pavimentos drenantes: estudo sobre peças de concreto permeável do tipo *paver* intertravado poroso

sem fíler, que incide uma porcentagem de vazios entre 18% a 25% (BALBO, 2007).

3. METODOLOGIA

A metodologia foi delimitada por uma pesquisa com a finalidade de natureza aplicada e objetivos exploratórios, sendo referenciada através de um embasamento técnico constituído de livros, artigos científicos, normas técnicas e trabalhos acadêmicos, constituindo um perfil qualitativo; assim como a expressão métrica do coeficiente de percolação k associou também uma abordagem quantitativa ao projeto. Quanto aos procedimentos técnicos para coleta de dados, a pesquisa foi delineada por um suporte bibliográfico e aplicada através de um estudo experimental que foi desenvolvido nas atividades de laboratório.

No laboratório foram realizados os ensaios para determinação da eficiência hidráulica através da determinação do coeficiente de permeabilidade k em amostras de revestimento para pavimento drenante do tipo *paver* intertravado produzido em concreto poroso. Para montagem do ensaio foi fabricado um mobiliário de apoio para utilização como mesa de bancada, e cuja estrutura metálica tem dimensões quadradas de lado 110 cm e altura 85 cm, sendo composta por uma grelha de 11 barras lisas de $\varnothing 5/8'$ e uma calha de alumínio 0.7 mm, para retenção do volume de água percolada durante os ensaios das amostras de *paver*, conforme mostrado na figura 2



Pavimentos drenantes: estudo sobre peças de concreto permeável do tipo *paver* intertravado poroso



Figura 2 - Mesa metálica para bancada dos ensaios
Fonte: Autores (2022).

3.1 COEFICIENTE DE PERMEABILIDADE

As 3 amostras estudadas compreenderam a paginação de 8 unidades do pavimento intertravado tipo *paver* de seção 10 cm x 20 cm x 6 cm de espessura, totalizando 24 peças; cada um dos três conjuntos amostrais (denominadas de amostra 1, amostra 2 e amostra 3) apresentavam seção 40 cm x 40 cm, formatando uma área de 160,00 cm², como ilustram as figuras 3a, 3b e 3c. A amostragem mínima para verificação do coeficiente de permeabilidade k atendeu as orientações da ABNT NBR 16416:2015 que prescreve até 3 ensaios para lotes que devem corresponder ao mínimo de 2500 m². A norma ainda estabelece critérios para inspeção visual (IV), avaliação dimensional (AD) e amostragem (A), entre os quais:

IV: aspecto homogêneo, ângulos retos, arestas regulares nas duas faces e nas paredes laterais, livre de defeitos ou rebarbas, sem delaminação ou descamação do concreto.

Pavimentos drenantes: estudo sobre peças de concreto permeável do tipo *paver* intertravado poroso

AD: tolerância dimensional para comprimento, largura e espessura de mais ou menos 3 mm em relação às respectivas medidas nominais.

A: os corpos de prova devem ser coletados de forma aleatória, de modo a representar todo o lote pavimentado; o lote máximo deve corresponder a uma área pavimentada de 10000 m².

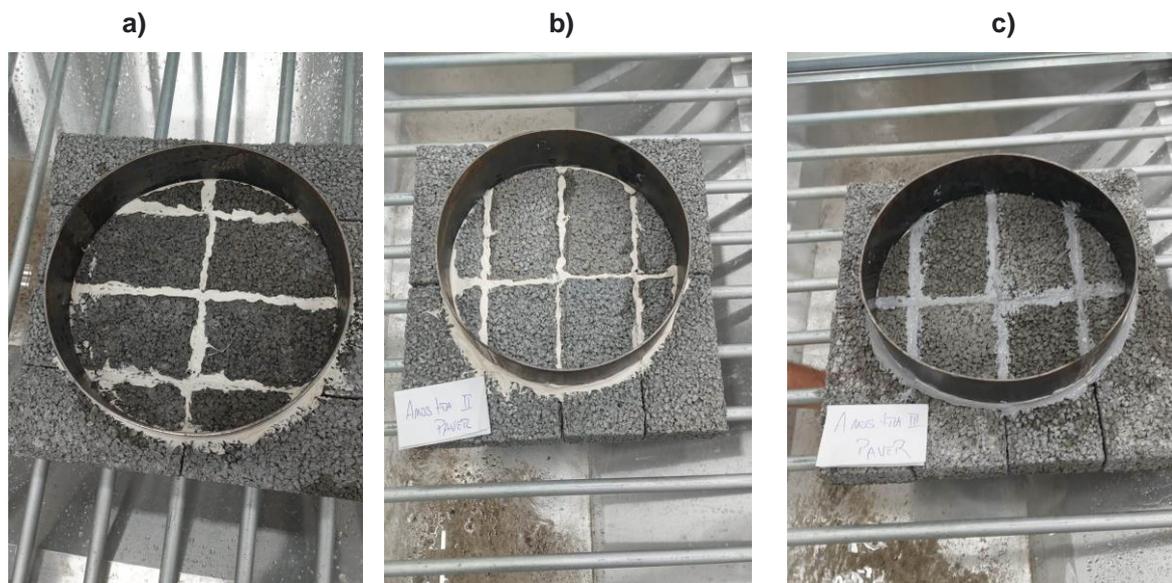


Figura 3 - Amostra 1 (a); Amostra 2 (b); Amostra 3 (c)
Fonte: Autores (2022).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para a análise dos ensaios da eficiência hidráulica de condutividade d' água do *paver* intertravado foi adotado o método prescrito pela NBR-16416/2015, cujo anexo A especifica a descrição dos seguintes materiais e equipamentos:

- a) Anel de infiltração com diâmetro de 300 mm e altura de 70 mm, marcado com duas linhas de referência com distância de 10 mm e 15 mm em relação à face da inferior do anel, para nivelamento controlado do volume de água durante a execução do ensaio;
- b) Balança com resolução de 0,1 g;

Pavimentos drenantes: estudo sobre peças de concreto permeável do tipo *paver* intertravado poroso

- c) Cronômetro com resolução de 0,1 s;
- d) Massa de calafetar para vedação entre *pavers* e entre *paver* e anel;
- e) Recipiente para derramamento do volume de água.

A metodologia do ensaio consta do procedimento das seguintes etapas:

- a) O conjunto das amostras escolhidas para testes do coeficiente de permeabilidade foram limpas, com intuito de retirar sedimentos e outros materiais;
- b) A paginação das oito unidades de cada amostra do conjunto foi montada sobre a grelha metálica da estrutura de apoio;
- c) Sobre o pavimento foi posicionado o anel de infiltração sendo posteriormente vedada a parte inferior com massa de calafetar para não permitir vazamentos;
- d) De forma preliminar ao início do ensaio, é aplicado uma pré-molhagem com o volume de 3,6 litros nas amostras; o tempo de percolação d'água na pré-molhagem define a massa de água do ensaio, de acordo com o quadro 1.

Tempo de pré-molhagem (s)	Massa de água para o ensaio (kg)
≤ 30	18 +/- 0,05
> 30	3,60 +/- 0,05

Quadro 1 - Massa de água do ensaio
Fonte: ABNT NBR 16416 (2015).

- e) Iniciar o ensaio em até 2 min depois da execução da pré-molhagem, no qual se despeja a água no anel de infiltração com velocidade suficiente para manter o nível da água entre as duas marcações inferiores e internas ao anel entre 10 e 15 mm;
- f) Registrar o intervalo de tempo acionando o cronômetro assim que a água atingir a superfície do pavimento permeável, parando-se o cronômetro quando não houver mais água livre na superfície do mesmo. Registra-se o tempo com exatidão de 0,1 s, adotando-se o tempo médio de 3 medições para cada um dos 3 conjuntos amostrais.

Pavimentos drenantes: estudo sobre peças de concreto permeável do tipo *paver* intertravado poroso

O coeficiente de permeabilidade k foi calculado conforme orientação na NBR 16416 (2015), como mostrado na equação 1:

(equação 1)
$$K = \frac{C \cdot m}{(d^2 \cdot t)}$$
 , na qual:

K : é o coeficiente de permeabilidade expressa em milímetros por hora (mm/h);

m : é a massa de água infiltrada em quilogramas (kg);

d : é o diâmetro interno do cilindro de infiltração expresso em milímetros (mm);

t : é o tempo necessário para toda a água percolar expresso em segundos (s);

C : fator de conversão dos dados das unidades para o Sistema Internacional (SI) de medidas para $C = 4\,583\,666\,000$.

O quadro 2 apresenta os resultados determinados no cálculo do coeficiente de permeabilidade k das amostras pesquisadas.

Conjunto amostral	Tempo médio de percolação (s)	Coeficiente de permeabilidade k (m/s)
Amostra 1	55	$4,63 \cdot 10^{-3}$
Amostra 2	36	$7,07 \cdot 10^{-3}$
Amostra 3	44	$5,70 \cdot 10^{-3}$

Quadro 2 - Coeficiente de permeabilidade k

Fonte: Autores (2022).

A partir do tempo médio das três medições (ensaios) para cada uma das três amostras, foram aferidos os resultados do coeficiente de permeabilidade k determinados de acordo com a equação 1. Os valores do coeficiente k apresentaram índices apropriados para todo o lote do conjunto amostral. Uma vez confrontados, os valores indicados pelo cálculo resultaram conformidade com o parâmetro prescritivo da ABNT NBR 16416 (2015) e Balbo (2020) que designaram o resultado da expressão numérica para valores da permeabilidade

Pavimentos drenantes: estudo sobre peças de concreto permeável do tipo *paver* intertravado poroso

(velocidade) maiores que 1.10^{-3} m/s ($>10^{-3}$) como o coeficiente de referência válido para a experimentação dos ensaios.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O sistema da pavimentação drenante tem a atribuição de reduzir de forma estratégica o escoamento pluvial no atual processo de urbanização das cidades, ao empregar soluções que minimizem o problema da impermeabilização das superfícies urbanas naturais, com envolvem vias, estacionamentos e parques, proporcionando controle na velocidade de escoamento dos volumes de precipitação da água da chuva e contribuindo com a recarga de aquíferos.

Ademais, concomitantemente, os pavimentos permeáveis ao permitirem a infiltração do escoamento superficial, viabilizam a possibilidade de aproveitamento racional das águas pluviais, através da coleta e utilização de forma não potável, para limpeza da infraestrutura urbana, como vias públicas, ciclovias, parques e calçadas. Desta forma, a adequação ao pavimento drenante possibilita também o desenvolvimento para a construção sustentável em cidades e áreas urbanizadas, cujo planejamento vem consolidando crescente relevância em âmbito global, com ganhos ambientais e econômicos.

Com o aumento da conscientização sobre a construção de sistemas de pavimentação sustentáveis, materiais porosos estão sendo usados cada vez mais em pavimentação. Os revestimentos dos pavimentos permeáveis a partir de estruturas porosas de concreto, podem ser aplicados nas mais diversas tipologias e já estão preconizados por normas técnicas, entre os quais: peças intertravadas de concreto, placas de concreto permeável e revestimento de pavimento de concreto permeável.

Nesta pesquisa, o escopo de trabalho foi examinar a eficiência hídrica para percolação das águas pluviais em revestimentos porosos de concreto para pavimentos drenantes tipo *paver* intertravado pré-moldado. A análise do parâmetro hidráulico através do coeficiente k de percolação permitiu concluir



Pavimentos drenantes: estudo sobre peças de concreto permeável do tipo *paver* intertravado poroso

que o resultados determinados nos ensaios foram validados de acordo com as prescrições normativas. A representação deste valor e, em cum

Ao mesmo que, de acordo com laudo técnico emitido por laboratório credenciado, foram analisados os parâmetros físicos e mecânicos de exemplares do *paver* intertravado para o mesmo fornecedor local. Na avaliação dos parâmetros físicos, foi examinado o atendimento à análise dimensional das amostras e, na avaliação mecânica, foram realizados ensaios de resistência característica à compressão f_{ck} . Na análise geométrica, as peças não excederam a tolerância dimensional de ± 3 mm, atendendo a ABNT NBR 9781/2013. Nos ensaios de resistência, os resultados também foram conclusivos expressando valores de 22,8 MPa para a compressão, superior a 20,00 MPa conforme indicações da ABNT NBR 16416/2015, tabela 8.

A indicação da resposta ao coeficiente de permeabilidade k concedeu cumprimento ao objetivo proposto na pesquisa, que recomenda a continuidade dos estudos sobre a temática do sistema de pavimentação drenante, evidenciadamente citado pela produção acadêmica como pavimentos sustentáveis, em razão da possibilidade de promover o controle do escoamento pluvial urbano e da remoção de poluentes, além da reposição dos fluxos aos lençóis freáticos. O estudo de outras tipologias de revestimentos porosos de concreto já supracitados ajustados com a análise de outros parâmetros físicos, mecânicos e hidráulicos, podem resultar em ações de esclarecimentos e posterior embasamento técnico para aplicação dos pavimentos drenantes, como processo de construção para uma infraestrutura urbana aliada ao crescimento acelerado dos centros urbanos.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE INCORPORADORAS IMOBILIÁRIAS - ABRAINCO. **A importância da Construção Civil para impulsionar a economia brasileira**. Disponível em: <https://www.abrainco.org.br/abrainco-explica>. Acesso em 17 jun. 2022.

Pavimentos drenantes: estudo sobre peças de concreto permeável do tipo *paver* intertravado poroso

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 9781:** Peças de concreto para pavimentação - Especificação e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2013. 21 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 16416:** Pavimentos permeáveis de concreto - requisitos e procedimentos. Rio de Janeiro, 2015. 25 p.

AZZOUT, Yolande *et al.* **Techniques alternatives en assainissement pluvial.** Paris: Technique et Documentation - Lavoisier, 1994. 372 p.

BALBO, José Tadeu. **Pavimentação asfáltica:** materiais, projeto e restauração. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

BALBO, José Tadeu. **Pavimentos de concreto.** São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

BALBO, José Tadeu. **Pavimentos de concreto permeáveis:** uma visão ambiental da tecnologia sustentável emergente. São Paulo: Oficina de Textos, 2020.

COSTA, Alfredo Ribeiro da *et al.* **Curso básico de Hidrologia Urbana:** nível 3. Brasília: ReCESA, 2007.

DINIZ, Maria Ingridy Lacerda *et al.* Estudo da eficiência de pavimentos permeáveis: análise da permeabilidade e das propriedades mecânicas. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, São Paulo, v. 12, n. 3, p. 398-407, 2021.

GONÇALVES, Andre Bertoletti; OLIVEIRA, Rafael Henrique de. **Pavimentos permeáveis e sua influência sobre a drenagem.** Seminários da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, São Paulo, 2014.

KLENZENDORF, Joshua Brandon *et al.* Quantificar o comportamento de revestimentos porosos de asfalto em relação à hidráulica de drenagem e à qualidade da água de escoamento.

Geociência Ambiental e Engenharia, v. 18, n. 1, pág. 99-111, 2012.

LINTZ, Rosa C. Cecche *et al.* Estudo do reaproveitamento de resíduos de construção em concretos empregados na fabricação de blocos. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**, v. 5, n. 2, p. 174-181, 2012.

MELLO, Luiz Carlos Brasil de Brito; AMORIM, Sergio Roberto Leusin de. O subsetor de edificações da construção civil no Brasil: uma análise comparativa em relação à União Europeia e aos Estados Unidos. **Produção**, v. 19, n. 2, p. 388-399, 2009.

Pavimentos drenantes: estudo sobre peças de concreto permeável do tipo *paver* intertravado poroso

MUNHOZ, Fabiana Costa. **Utilização do gesso para fabricação de artefatos alternativos, no contexto de produção mais limpa**. 2008. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2008.

PARRA, Geovana Geloni; TEIXIRA, Bernardo A. do Nascimento. Análise da permeabilidade e dos métodos de instalação de pavimentos permeáveis contidos em artigos científicos e em catálogos técnicos. **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades**, Tupã, v. 03, n. 15, p. 142-157, 2015.

PINTO, Liliana Lopes Costa Alves. **O desempenho de pavimentos permeáveis como medida mitigadora da impermeabilização do solo urbano**. 2011. Tese de Doutorado (Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental - PHA), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

PRUNER, Lenon H. da Costa. **A influência dos agregados sobre as propriedades do concreto permeável**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Civil) - Centro Universitário de Brusque, Brusque, 2018.

SANTOS, Fladimir Fernandes dos *et al.* Adequação dos municípios do estado do Rio Grande do Sul à legislação de gestão de resíduos da construção civil. **Revista Iberoamerica de Engenharia Industrial**, Florianópolis, SC, Brasil, v. 4, n. 8, p. 1-18, 2012.

SUZUKI, Carlos Yukio; AZEVEDO, Angela Martins; KABBACH JÚNIOR, Felipe Issa. **Drenagem subsuperficial de pavimentos: conceitos e dimensionamento**. São Paulo: Oficina de Textos, 2013.

VIRGILIIS, Afonso Luís Corrêa de. **Procedimentos de projeto e execução de pavimentos permeáveis visando retenção e amortecimento de picos de cheias**. Dissertação (Mestrado em Engenharia), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2009.



ADEQUAÇÃO DO ARRANJO FÍSICO E REALOCAÇÃO DOS PROCESSOS TERCEIRIZADOS DE UMA EMPRESA DE CALÇADOS FEMININOS PARA ATENDER A CRESCENTE DEMANDA DE MERCADO

ADEQUACY OF THE PHYSICAL ARRANGEMENT AND RELOCATION OF OUTSOURCED PROCESSES OF A WOMEN'S FOOTWEAR COMPANY TO MEET THE GROWING MARKET DEMAND

Paulo Fernando Mazera¹

Cristiano Chiminelli²

RESUMO: O presente artigo aborda o estudo de uma família de produtos de uma empresa de calçados femininos que está em seus anos iniciais, visando o aumento da capacidade produtiva por meio de uma proposta de adequação dos processos com embasamento em estudos e análises científicas. Deste modo, será apresentado a família de produtos em questão, contemplando 9 modelos de calçados que atravessam setores similares, a elaboração de fluxogramas para entendimento dos processos, o estudo de tempos e métodos, a apresentação de uma proposta de *layout* futura compreendendo a quantidade de máquinas, pessoas e área física necessária para suportar a capacidade produtiva bem como, a comparação do *lead time* e índice de qualidade atual com a proposta do *lead time* e índice de qualidade futuros por meio da verticalização dos processos terceirizados. Deste modo, conseguiu-se reduzir o *lead time* em 11 dias, bem como, o aumento do índice de qualidade em 16,1% com a readequação dos processos terceirizados. Tal estudo foi elaborado com o método de pesquisa-ação com dados reais da empresa, buscando apresentar a mudança de um parque fabril de 65 m² para um novo parque fabril de 220 m².

Palavras-chave: capacidade; *layout*; verticalização; *lead time*.

¹ Paulo Fernando Mazera do curso Engenharia de Produção da UNIFE. *E-mail:* paulomazera@unife.edu.br

² Cristiano Chiminelli. Me. *E-mail:* chiminelli@unife.edu.br

Adequação Do Arranjo Físico E Realocação Dos Processos Terceirizados De Uma Empresa De Calçados Femininos Para Atender A Crescente Demanda De Mercado

ABSTRACT: *This article addresses the study of a family of products from a women's footwear company that is in its early years, aiming at increasing production capacity through a proposal for adapting processes based on scientific studies and analyses. In this way, the family of products in question will be presented, contemplating 9 models of shoes that cross similar sectors, the elaboration of flowcharts to understand the processes, the study of times and methods, the presentation of a proposal for a future layout comprising the amount of machines, people and physical area necessary to support the production capacity, as well as the comparison of the current lead time and quality index with the proposal of future lead time and quality index through the verticalization of outsourced processes. In this way, it was possible to reduce the lead time by 11 days, as well as an increase in the quality index by 16.1% with the readjustment of outsourced processes. This study was carried out using the action research method with real data from the company, seeking to present the change from an industrial park of 65 m² to a new industrial park of 220 m².*

Keywords: *capacity; layout; verticalization; lead time.*

1 INTRODUÇÃO

Percebe-se ao passar do tempo que a vontade de empreender vem sendo fomentada na vida das pessoas de maneira crescente, desde e-commerce, lojas físicas, consultorias, indústrias e diversas tantas outras áreas que o empreendedorismo pode abranger. Para tanto, dedicação, detenção de conhecimento e horas árduas de trabalho se fazem presente quando o assunto é empreender e correr riscos calculados.

No segundo semestre do ano de 2019, o presente acadêmico iniciou suas atividades empreendedoras na área produtiva de calçados, onde o atual projeto apontou excelentes prospecções e, no ano de 2020, as vendas de calçados chegaram a ser seis vezes maiores do que no ano anterior. Por esta razão, as previsões de venda estão se elevando a outros patamares no ano de 2021, havendo assim a

Adequação Do Arranjo Físico E Realocação Dos Processos Terceirizados De Uma Empresa De Calçados Femininos Para Atender A Crescente Demanda De Mercado

necessidade de alteração do parque fabril, que atualmente é de 65 m², para um novo parque fabril de 220 m².

O artigo aborda estudos da empresa baseado nos dados atuais para que se tenha informações consistentes sobre a capacidade produtiva, quantidade de mão de obra necessária, quantidade de máquinas e equipamentos e uma proposta de *layout* fabril futuro visto que, uma das maiores dificuldades atualmente é o espaço físico limitado, trazendo diversas movimentações desnecessárias e, conseqüentemente, atraso nas entregas.

Para obtenção das informações necessárias para este estudo, utilizou-se ferramentas produtivas como: fluxograma de processos detalhado de uma família de produtos, estudo de tempos e métodos para definição de tempo padrão, criação de gráfico de balanceamento de operadores e elaboração de caminho crítico de processo, buscando objetivar a readequação dos processos terceirizados, e a adequação do *layout* onde, como consequência disto, obteve-se a melhora significativa nos índices de qualidade e confiabilidade nos prazos de entrega dos produtos, bem como uma redução do *lead time*.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 EMPREENDEDORISMO

Segundo (Chiavenatto, 2008), o empreendedor é a pessoa que consegue fazer as coisas acontecerem, pois é dotado de sensibilidade para os negócios, tino financeiro e capacidade de identificar oportunidades. Com esse arsenal, transforma ideias em realidade, para benefício próprio e para benefício da comunidade.

Por outro lado, Gaither e Norman (2002) afirmam que uma característica dos pequenos negócios e dos novos empreendimentos é que eles tipicamente enfrentam escassez de quase tudo: de capital a espaço físico e habilidades especiais.

Adequação Do Arranjo Físico E Realocação Dos Processos Terceirizados De Uma Empresa De Calçados Femininos Para Atender A Crescente Demanda De Mercado

“A vantagem competitiva advinda do tamanho, patrimônio ou outros fatores têm mudado gradativamente em favor de organizações que se dedicam à inovação, sendo que novos produtos ou serviços permitem capturar e reter novas fatias de mercado” (TIDD; BESSANT; PAVITT, 2008).

2.2 FAMÍLIA DE PRODUTOS

Para Hitt, Ireland e Hoskisson (2011), são várias as motivações que levam as empresas a utilizarem a estratégia de ampliação do mix de produtos, buscando aumentar o valor da empresa e melhorar seu desempenho geral.

Já para Rodrigues et al. (2008), a seleção de mix de produtos é uma questão central em qualquer tipo de empresa, pois sua performance financeira está diretamente relacionada a essa decisão.

Deste modo, Womack (2001) sugere a criação da matriz da família de produtos, que consiste na criação de uma tabela descrevendo a lista de produtos e os processos ou equipamentos utilizados, conforme apresentado no quadro 1.

Quadro 1 - Criação da matriz da família de produtos.

	Downstream Steps & Equipment							
	1	2	3	4	5	6	7	8
A	X	X	X		X	X		
B	X	X	X	X	X	X		
C	X	X	X		X	X	Y	
D		X	X	X			X	X
E		X	X	X			X	Y
F	X		X		X	X	X	
G	X		X		X	X	X	

Fonte: The Product Family Matrix, Womack (2001).

Adequação Do Arranjo Físico E Realocação Dos Processos Terceirizados De Uma Empresa De Calçados Femininos Para Atender A Crescente Demanda De Mercado

2.3 FLUXOGRAMA

De acordo com Cruz (2013), o fluxograma sintético expressa um processo de uma maneira superficial, com informações genéricas, fluxograma que não contém títulos, cargos, nem localização da atividade. No fluxograma sintético consta apenas informação, através de um nome formado por substantivo, sobre o que faz cada atividade.

Chinelato Filho (1993) propõe sobre a definição e as características de um fluxograma, que o mesmo evidencia de forma nítida e lógica as etapas com problemas e atividades desnecessárias, podendo, assim, propor soluções racionais sobre a melhor maneira de utilização de recursos, a racionalização e a simplificação do trabalho, além de auxiliar nos processos gerenciais da organização.

2.4 TEMPOS E MÉTODOS

“A cronometragem é a ferramenta que melhor alcança resultados para a indicação do tempo gasto para executar uma operação. É através dela que se torna possível determinar o método mais rápido e eficiente para execução de uma operação promovendo assim a identificação de possíveis falhas e conseqüentemente redução de custos dos produtos” (FIGUEIREDO et al., 2011).

“Dessa forma, compreende-se que o estudo de tempos e movimentos é de suma importância para a determinação do melhor método a ser utilizado pela organização” (BARNES, In: LISBOA, 2020).

“Em geral, para a cronometragem, as operações são subdivididas em elementos, que são cronometrados individualmente” (BARNES, 1977).

“A tolerância de fadiga depende exclusivamente da forma de trabalho que é executada e das condições ambientais. Não existe medida precisa e satisfatória para

Adequação Do Arranjo Físico E Realocação Dos Processos Terceirizados De Uma Empresa De Calçados Femininos Para Atender A Crescente Demanda De Mercado

mensurar a tolerância de fadiga, pois ela é proporcional a carga de trabalho, ergonomia e ambiente. Existem empresas que combinam períodos de descanso durante o horário de trabalho, pois o esforço demandado para executar o trabalho é alto” (BARNES, 1977).

2.5 LAYOUT

Conforme Toledo Jr. (2004), *layout* é a utilização do espaço físico disponível da melhor maneira, resultando em um processo mais eficaz, visando menor distância para produzir com o menor tempo disponível.

De acordo com Martins e Laugeri (2005), o *layout* das empresas industriais deve seguir uma sequência lógica, sendo definidas primeiramente a localização da unidade industrial, a determinação da capacidade de produção e, logo após, a elaboração do *layout*.

2.6 VERTICALIZAÇÃO

“A integração vertical defende a união dos processos de produção, distribuição e venda dentro das organizações. Esta alternativa visa facilitar o controle das operações diminuindo os riscos envolvidos. Seu principal atrativo para os empresários é a expectativa de redução dos custos de produção” (PORTER, 2004).

Para Slack, Chambers e Johnston (2002) os pontos positivos de uma integração vertical em uma empresa devem levar em conta diversos aspectos e não somente o custo envolvido. Através de melhorias realizadas durante a verticalização pode-se identificar benefícios nos processos produtivos proporcionando maior eficiência, qualidade e confiabilidade na manufatura dos produtos, além de possibilitar



Adequação Do Arranjo Físico E Realocação Dos Processos Terceirizados De Uma Empresa De Calçados Femininos Para Atender A Crescente Demanda De Mercado

uma maior flexibilidade nas operações devido as mesmas estarem introduzidas dentro da organização.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Nesta secção, será apresentada a metodologia e as etapas de execução do trabalho. Desta forma, descreveu-se minuciosamente cada etapa realizada, possibilitando entender os recursos, estratégias, instrumentos e procedimentos utilizados para desenvolvimento do trabalho.

Como método de pesquisa, foi utilizada a pesquisa-ação. Com isso, foi possível descrever e analisar de forma clara e objetiva a contextualização entre a teoria da padronização, capacidade de produção e adequação de layout.

O trabalho foi realizado na empresa PAULO MAZERA, empresa do setor calçadista. Atualmente a empresa em questão conta com poucas ferramentas que auxiliam na produção visto que, é uma empresa criada há pouco tempo, porém, aponta boas prospecções para os produtos que a mesma produz. Embora a produção seja em baixa escala, aproximadamente 80 pares por dia, a demanda do mercado indica que é preciso aumentar a capacidade produtiva a curto prazo pois, as vendas totais realizadas no ano de 2020 foram superadas no ano de 2021.

Atualmente a empresa trabalha no formato de contra pedido e com produtos relacionados diretamente ao padrão *fast fashion*. Conta com 3 operadores trabalhando na costura e acabamento final e terceiriza os processos de corte e montagem. No cenário produtivo, o trabalho é desenvolvido em uma área de aproximadamente 65 m², o qual apresenta limitações e por consequência, não atende à demanda. Além disso, não há qualquer ferramenta que possa auxiliar na produção, desde fluxogramas, fichas técnicas completas, estudos de tempos e qualquer método padronizado. Em consonância, busca-se um *lead time* de 35 dias, porém, com as dificuldades de mão de obra, escassez de matéria prima, retrabalho, elevado tempo

Adequação Do Arranjo Físico E Realocação Dos Processos Terceirizados De Uma Empresa De Calçados Femininos Para Atender A Crescente Demanda De Mercado

nos processos terceirizados, falta de espaço e diversos outros fatores produtivos, percebe-se um atraso de aproximadamente 9 dias na entrega de cada pedido.

Deste modo, verificou-se a necessidade de um estudo que pudesse satisfazer tais dificuldades e a possibilidade de iniciar, em meados de 2022, o aumento da produção para 200 pares diários, com uma área fabril de 220 m² entre parque produtivo e área administrativa.

Com as presentes análises realizadas *in loco*, optou-se por realizar o estudo com uma família de produtos em que se coletou dados e informações relevantes, trazendo assertividade para elaboração do estudo, bem como uma leitura integral da construção de um novo *layout* e uma futura implementação das ferramentas aprofundadas neste trabalho.

A coleta de dados foi realizada com auxílio de entrevistas, observação direta, cronometragens, formulários de acompanhamento de processo e trabalho em conjunto com os operadores nos diferentes turnos. A partir da obtenção dos dados, os mesmos foram repassados para planilhas, para geração de dados e análise. Diante disto, foi possível detectar os principais pontos de melhorias e as variabilidades existentes nos processos.

O estudo está estruturado de acordo com as seguintes etapas: Coleta de dados, definição da família de produto, fluxograma do processo produtivo, estudo de tempos e métodos, análise de capacidade, balanceamento de operadores, desenvolvimento da proposta de *layout* e análise dos índices de qualidade.

3.1 FAMÍLIA DE PRODUTOS

A empresa trabalha com 6 famílias de produtos e, para compor o estudo, foi selecionado a família 2000 que está presente em todas as coleções, composta por 9 produtos e que percorrem máquinas e processos semelhantes (Quadro 2).

Adequação Do Arranjo Físico E Realocação Dos Processos Terceirizados De Uma Empresa De Calçados Femininos Para Atender A Crescente Demanda De Mercado

Quadro 2 - Produtos que percorrem em máquinas semelhantes.

PROCESSO	PRODUTOS								
									
CORTE	●	●	●	●	●	●	●	●	●
PRÉ-COSTURA	●	●	●	●	●	●	●	●	●
COSTURA	●			●	●	●		●	
PREPARAÇÃO	●	●	●	●	●	●		●	●
MONTAGEM	●	●	●	●	●	●	●	●	●
ACABAMENTO	●	●	●	●	●	●	●	●	●

Fonte: O autor (2021).

O quadro 2 apresenta a imagem de cada produto e o caminho percorrido durante o seu processo produtivo, divididos nos setores de corte, pré costura, costura, preparação, montagem e acabamento.

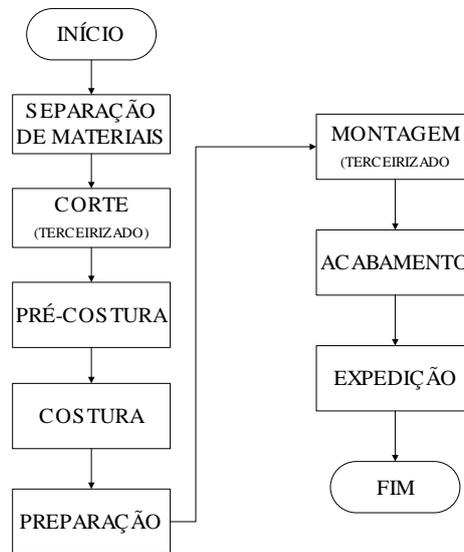
3.2 FLUXOGRAMA DE PROCESSO

Durante o estudo, verificou-se diversas dificuldades para levantamento de dados consistentes visto que, a empresa em questão está nos seus anos iniciais e não possui dados consistentes. Atualmente, os setores de corte e montagem são terceirizados, dificultando a garantia de qualidade nos processos, a busca por medições e a compreensão das perdas e oportunidades de melhoria.

O entendimento do processo foi um dos fatores primordiais para que houvesse dados precisos. Portanto, percebeu-se a necessidade inicial de elaborar um fluxograma atual, descrevendo os processos internos e terceirizados.

Adequação Do Arranjo Físico E Realocação Dos Processos Terceirizados De Uma Empresa De Calçados Femininos Para Atender A Crescente Demanda De Mercado

Figura 1 - Fluxograma da linha de calçados 2000.



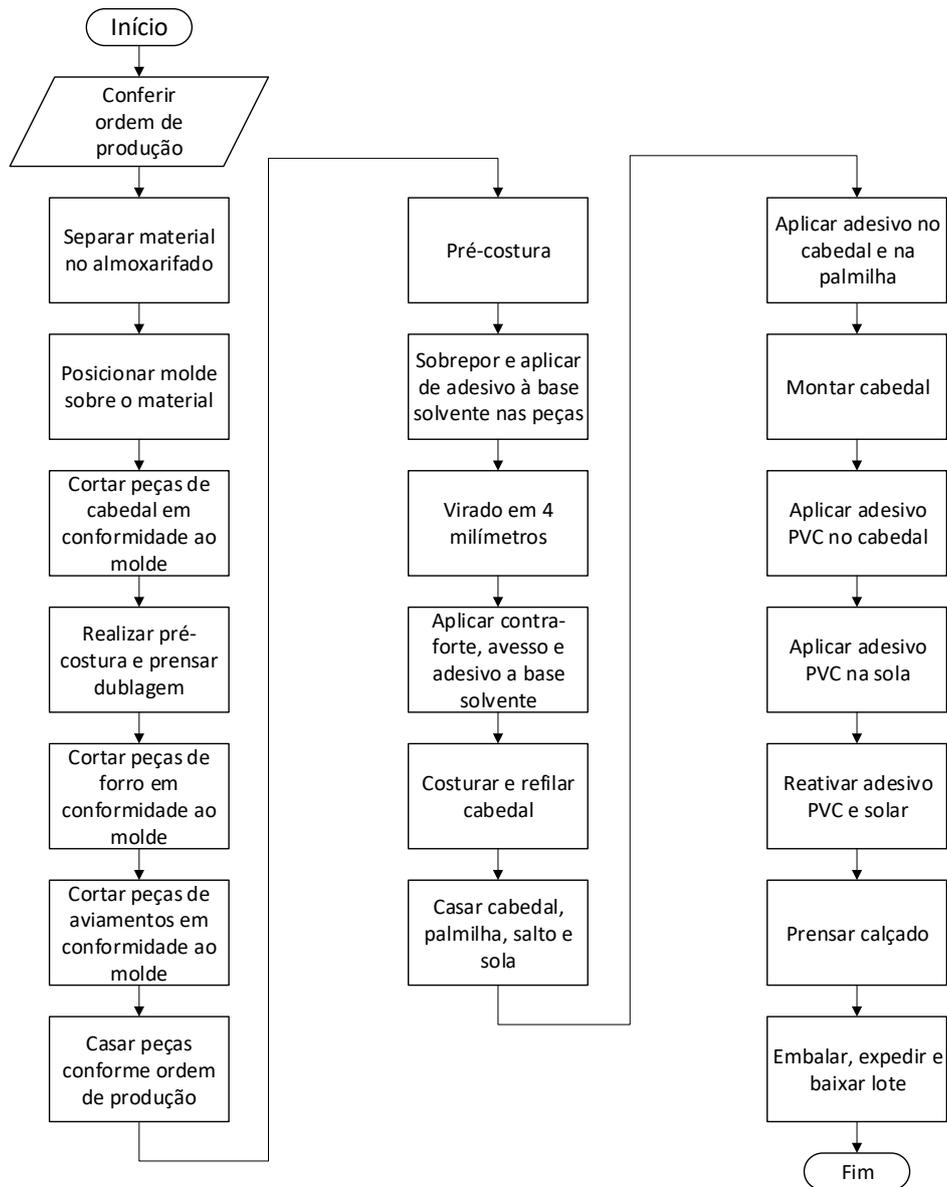
Fonte: O autor (2021).

Analisando os resultados e compreendendo a família de produtos em questão, o fluxograma da linha de calçados 2000 (Figura 2), foi criado com uma visão holística, tendo como função principal representar de maneira visual e rápida, as etapas do processo dos produtos em questão.

Afim de satisfazer os estudos posteriores de tempos e métodos, buscou-se fragmentar os processos (Figura 2) em um fluxograma aprofundado (Figura 3) conhecido como diagrama de bloco ou fluxograma de bloco onde Cruz (2013) afirma que, este instrumento de análise é diferente do anterior por mostrar, de maneira resumida, o processo do objeto de análise.

Figura 2 - Fluxograma detalhado da linha de calçados 2000.

Adequação Do Arranjo Físico E Realocação Dos Processos Terceirizados De Uma Empresa De Calçados Femininos Para Atender A Crescente Demanda De Mercado



Fonte: O autor (2021).

A figura 3 representa o fluxograma detalhado da família 2000, fazendo com que seja possível verificar o início do processo, dados, sequenciamento das etapas bem como, o final do processo.

Adequação Do Arranjo Físico E Realocação Dos Processos Terceirizados De Uma Empresa De Calçados Femininos Para Atender A Crescente Demanda De Mercado

3.3 TEMPOS E MÉTODOS

Apoiado no detalhamento de cada processo por meio do detalhamento do fluxograma, é notório o quão importante é seguir o estudo com base nas capacidades produtivas para que pudesse realizar o levantamento da quantidade e capacidade de pessoas, recursos, máquinas e equipamentos para a demanda do mercado.

As tabelas 1 e 2 apresentam a cronometragem de 21 elementos que acontecem na produção da linha 2000 onde, coletou-se 10 tomadas de tempo de cada elemento, tornando-se fundamental para definir as próximas etapas de levantamento de máquinas, equipamentos, espaço físico e desperdícios.

Tabela 1 - Folha de cronometragem (parte 1)

CICLOS	ELEMENTOS										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	18,9	110,9	18,4	55,2	51,4	22,8	110,8	66,2	59,4	73,4	58,9
2	18,7	111,2	18,6	54,6	52,1	22,9	110,7	65,9	59,4	73,4	58,7
3	18,9	110,7	18,5	54,9	52,1	22,3	110,5	65,8	58,9	73,5	58,4
4	18,7	111,3	18,5	55,1	51,6	22,3	110,8	65,8	59,5	73,5	57,9
5	18,7	111,1	18,7	55,0	51,9	22,7	110,7	65,6	58,7	73,8	57,8
6	18,7	111,1	18,9	54,5	51,7	22,9	110,3	65,6	59,6	73,2	58,1
7	18,7	111,0	18,4	54,6	51,7	22,9	110,9	65,8	59,3	73,2	58,2
8	18,7	110,9	18,7	54,6	51,7	22,8	110,9	66,1	59,4	72,9	58,3
9	18,6	110,9	18,7	55,0	52,1	22,8	110,8	65,5	59,3	72,8	58,3
10	18,9	111,2	18,0	54,8	51,5	22,3	110,9	65,4	59,5	72,9	58,5
Somatório (s)	187,5	1110,3	185,4	548,3	517,8	226,7	1107,3	657,7	593,0	732,6	583,1
Média (s)	18,8	111,0	18,5	54,8	51,8	22,7	110,7	65,8	59,3	73,3	58,3
Valor max (s)	18,9	111,3	18,9	55,2	52,1	22,9	110,9	66,2	59,6	73,8	58,9
Valor min (s)	18,6	110,7	18,0	54,5	51,4	22,3	110,3	65,4	58,7	72,8	57,8
Amplitude (s)	0,3	0,6	0,9	0,7	0,7	0,6	0,6	0,8	0,9	1,0	1,1
Ritmo (%)	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
Tolerâncias (%)	20%	20%	20%	22%	20%	20%	20%	20%	25%	20%	20%
Tempo padrão (s)	20,3	119,9	20,0	60,2	56,9	24,5	119,6	71,0	66,7	79,1	63,0

Fonte: O autor (2021).

Tabela 2 – Folha de cronometragem (parte 2)

Adequação Do Arranjo Físico E Realocação Dos Processos Terceirizados De Uma Empresa De Calçados Femininos Para Atender A Crescente Demanda De Mercado

CICLOS	ELEMENTOS									
	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
1	87,2	45,4	26,0	110,0	124,1	90,4	46,1	83,0	45,8	129,3
2	87,1	45,1	26,1	109,7	124,2	90,5	45,9	83,2	44,9	129,4
3	87,6	45,2	26,4	109,5	124,4	90,2	45,8	83,4	45,2	129,4
4	87,5	45,3	26,4	109,4	124,1	89,7	45,7	83,4	45,3	129,2
5	87,7	45,1	26,2	109,7	124,1	89,6	46,3	83,4	45,4	129,1
6	87,4	45,0	26,5	109,8	123,8	89,8	46,4	82,9	45,4	129,1
7	87,4	45,0	26,5	109,4	124,1	90,0	46,3	82,9	45,2	128,9
8	87,2	45,1	26,1	109,3	123,4	90,1	46,2	83,0	45,3	129,5
9	87,3	45,1	26,2	109,3	123,7	89,8	46,3	82,9	45,1	129,6
10	87,2	45,2	26,0	110,1	123,2	90,0	45,9	83,4	45,2	129,7
Somatório (s)	873,6	451,5	262,4	1096,2	1239,1	900,1	460,9	831,5	452,8	1293,2
Média (s)	87,4	45,2	26,2	109,6	123,9	90,0	46,1	83,2	45,3	129,3
Valor max (s)	87,7	45,4	26,5	110,1	124,4	90,5	46,4	83,4	45,8	129,7
Valor min (s)	87,1	45,0	26,0	109,3	123,2	89,6	45,7	82,9	44,9	128,9
Amplitude (s)	0,6	0,4	0,5	0,8	1,2	0,9	0,7	0,5	0,9	0,8
Ritmo (%)	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
Tolerâncias (%)	20%	20%	20%	20%	25%	20%	20%	20%	20%	20%
Tempo padrão (s)	94,3	48,8	28,3	118,4	139,4	97,2	49,8	89,8	48,9	139,7

Fonte: O autor (2021).

Para o levantamento dos tempos, aplicou-se uma tolerância de 20% para fadiga e fatores externos com um ritmo de trabalho de 90%. Entretanto, para os elementos 4, 9 e 16, foram aplicadas tolerâncias de 22%, 25% e 25% respectivamente, visto que são setores que demandam maior concentração, geração de ruído e calor e postura monótona. As tolerâncias foram baseadas nos dados do quadro 3.

Quadro 3 – Tabela para cálculo de fadiga.

Adequação Do Arranjo Físico E Realocação Dos Processos Terceirizados De Uma Empresa De Calçados Femininos Para Atender A Crescente Demanda De Mercado

CÁLCULO DA FADIGA																														
ESFORÇO FÍSICO (EF)		Grau	% ABONO	TEMPO RECUPERAÇÃO (R) É a parte do ciclo de trabalho a qual o operador permanece parado enquanto a máquina opera automaticamente.																										
Trabalho sentado, serviço manual, operar pesos minúsculos, movimentos de braços e mãos.		Muito Leve	1,8																											
Trabalho sentado, serviço manual, pequena movimentação do corpo.		Leve	3,6																											
Trabalho em pé, pequena movimentação, operar pesos médios.		Médio	5,4																											
Trabalho em pé, pode haver movimentação em torno do local, carregar, puxar ou manter pesos.		Pesado	7,2																											
Operar de modo contínuo pesos grandes.		Muito Pesado	9,0																											
Avaliação a ser Usada				<table border="1"> <thead> <tr> <th>% Recuperado</th> <th>Fator Recuperação</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0 - 5</td><td>1,00</td></tr> <tr><td>6 - 10</td><td>0,90</td></tr> <tr><td>11 - 15</td><td>0,80</td></tr> <tr><td>16 - 20</td><td>0,71</td></tr> <tr><td>21 - 25</td><td>0,62</td></tr> <tr><td>26 - 30</td><td>0,54</td></tr> <tr><td>31 - 35</td><td>0,46</td></tr> <tr><td>36 - 40</td><td>0,39</td></tr> <tr><td>41 - 45</td><td>0,32</td></tr> <tr><td>46 - 50</td><td>0,26</td></tr> <tr><td>51 - 55</td><td>0,20</td></tr> <tr><td>56 - 60</td><td>0,15</td></tr> </tbody> </table>	% Recuperado	Fator Recuperação	0 - 5	1,00	6 - 10	0,90	11 - 15	0,80	16 - 20	0,71	21 - 25	0,62	26 - 30	0,54	31 - 35	0,46	36 - 40	0,39	41 - 45	0,32	46 - 50	0,26	51 - 55	0,20	56 - 60	0,15
% Recuperado	Fator Recuperação																													
0 - 5	1,00																													
6 - 10	0,90																													
11 - 15	0,80																													
16 - 20	0,71																													
21 - 25	0,62																													
26 - 30	0,54																													
31 - 35	0,46																													
36 - 40	0,39																													
41 - 45	0,32																													
46 - 50	0,26																													
51 - 55	0,20																													
56 - 60	0,15																													
ESFORÇO MENTAL (EM)			% ABONO	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Avaliação a ser Usada</th> <th>% ABONO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0,20</td><td></td></tr> </tbody> </table>	Avaliação a ser Usada	% ABONO	0,20																							
Avaliação a ser Usada	% ABONO																													
0,20																														
Serviço repetitivo e invariável, pequena responsabilidade de segurança e qualidade, trabalho que não requer decisões.		Leve	0,6																											
Responsabilidade de segurança e qualidade, trabalho requer pequenas decisões e/ou uso de instrumentos.		Médio	1,8																											
Grande responsabilidade de segurança e qualidade, responsabilidade pelo trabalho dos outros, grande necessidade de decisões.		Pesado	3,0																											
Avaliação a ser Usada			0,60																											
Cond. Atmosféricas																														
Descrição		Tipo	%																											
Local bem ventilado ou ar fresco.		Boas	0,0																											
Local mal ventilado, presença de mau cheiro ou fumaça não tóxica.		Razoáveis	2,4																											
Alta concentração de pó, presença de fumaça ou pó tóxico, uso obrigatório de máscara facial.		Más	5,6																											
Vibração																														
Descrição			%																											
Vibração do solo ou máquina			1,8																											
Térmicas																														
Tipo	Temperatura (°C)	%																												
Gelada	0 - 7	3,6																												
Baixa	8 - 15	1,8																												
Normal	16 - 26	0,0																												
Alta	27 - 34	1,8																												
Muito Alta	35 - 40	3,6																												
% DE FADIGA = ((EF+EM)*R)+M+CA																														
CONDICÕES AMBIENTAIS (CA)																														
Cond. Atmosféricas			2,40																											
Ruído			0,00																											
Umidade			1,80																											
Vibração			1,80																											
Térmicas			3,60																											
TOTAL CA (%)			9,60																											

Fonte: Releitura pelo autor com base no livro - Estudo de Movimentos e Tempos, Baners (1977).

Barnes (1977) afirma que após o cálculo do tempo normal é possível obter o tempo padrão, o qual deve conter a duração de todos os elementos da operação e, além disso, deve incluir o tempo para as tolerâncias necessárias (BARNES, 1977).

Adequação Do Arranjo Físico E Realocação Dos Processos Terceirizados De Uma Empresa De Calçados Femininos Para Atender A Crescente Demanda De Mercado

Contudo, coletou-se dados do tempo da jornada de trabalho bem como, a demanda em que a empresa futuramente pretende produzir para a criação de um cenário futuro, obtendo os seguintes dados:

- Jornada de trabalho: 8,8 horas;
- Demanda futura: 200 pares de calçados por dia.

Deste modo, o tempo em horas foi transformado para segundos, visto que todas as cronometragens foram coletadas em segundos. Assim temos:

$$TDS = N^{\circ} HD * SH, \text{ onde:}$$

TDS: tempo disponível diário em segundos;

Nº HD: quantidade de horas em 1 dia de trabalho;

SH: quantidade de segundos em 1 hora.

$$TDS = 8,8 * 3600 = 30528$$

Para calcular o *takt time*, utilizou-se:

$$Takt\ time = \frac{TDS}{Demanda}$$

$$Takt\ time = \frac{30528}{200} = 152,64$$

O quadro 4 apresenta a organização das informações coletadas e a divisão dos processos de corte, levando em consideração o tempo padrão, a produção diária de cada elemento, a ocupação de cada operador e o balanceamento dos operadores.

Adequação Do Arranjo Físico E Realocação Dos Processos Terceirizados De Uma Empresa De Calçados Femininos Para Atender A Crescente Demanda De Mercado

Quadro 4 - Estudos de tempos e métodos do processo de corte dos calçados.

Jornada de trabalho (segundos)	30528	TP = Tempo padrão				
Processo	Corte	PD = Produção diária				
Tipo	Manual/Mecânico	CSB = Cálculo sem balanceamento				
Produção diária prevista	200	CCB = Cálculo com balanceamento				
Família de produtos	2000	NC = Necessidade de operadores				
Takt time	152,64					
Descrição	TP	PD	CSB	CCB	OPERADORES	
1 - Conferir ordem de produção	20	1526	13%	92%	1	
2 - Separar material no almoxarifado	120	254	79%			
3 - Posicionar molde sobre o material	20	1526	13%	95%	1	
4 - Cortar peças de cabedal em conformidade ao molde	68	449	45%			
5 - Cortar peças de forro em conformidade ao molde	57	536	37%			
6 - Cortar peças de aviamentos em conformidade ao molde	24	1272	16%	94%	1	
7 - Casar peças conforme ordem de produção	120	254	79%			

Fonte: O autor (2021).

Diante disto, verificou-se a necessidade inicial de 7 operadores para realizar a tarefa, porém, as ociosidades foram em patamares elevados conforme o quadro 4 apresenta. De tal modo, verificou-se a possibilidade da unificação dos elementos e compreendeu-se que somente 3 operadores serão suficientes para efetuar o processo de corte, mantendo a ocupação acima de 90% de cada operador.

Os elementos 1 e 2 foram unificados e um operador consegue fazer as duas operações; os elementos 3, 4 e 5 foram unificados e um operador consegue fazer toda a operação; os elementos 6 e 7 também foram unificados e somente um operador consegue executar o processo.

Prosseguindo, o estudo norteou o setor de preparação (Quadro 5) com os seguintes dados:

Quadro 5 - Estudos de tempos e métodos do processo de preparação dos calçados.

Adequação Do Arranjo Físico E Realocação Dos Processos Terceirizados De Uma Empresa De Calçados Femininos Para Atender A Crescente Demanda De Mercado

Jornada de trabalho (segundos)	30528	TP = Tempo padrão				
Processo	Preparação/Costura	PD = Produção diária				
Tipo	Manual/Mecânico	CSB = Cálculo sem balanceamento				
Produção diária prevista	200	CCB = Cálculo com balanceamento				
Família de produtos	2000	NC = Necessidade de operadores				
Takt time	152,64					
Descrição						
		TP	PD	CSB	CCB	OPERADORES
8 - Pré-costura		71	430	47%	90%	1
9 - Sobrepor e aplicar de adesivo à base solvente nas peças		67	456	44%		
10 - Virar de 4 milímetros		79	386	52%	93%	1
11- Aplicar contra-forte, avesso e adesivo a base solvente		63	485	41%		
12 - Costurar e refilar cabedal		94	325	62%	94%	1
13 - Casar cabedal, palmilha, salto e sola		49	623	32%		

Fonte: O autor (2021).

Desta forma, o setor de preparação apresentou inicialmente a necessidade de 6 operadores. Após uma cronoanálise percebeu-se que 3 operadores serão suficientes para a realização do processo, mantendo a eficiência acima de 90%.

O setor de preparação ficou com o balanceamento da seguinte maneira: Os elementos 9 e 8 serão unificados, garantindo somente um operador para executar a função; os elementos 10 e 11 serão unificados e somente um operador será necessária para executar a função; os elementos 12 e 13 também serão unificados e somente um operador irá executar tal função.

Por fim, o último estudo de tempos e métodos foi elaborado no setor de montagem/expedição (quadro 6) em que, analisando tais dados, percebeu-se que é um setor que demanda mais operadores, sendo gargalo no processo produtivo.

Adequação Do Arranjo Físico E Realocação Dos Processos Terceirizados De Uma Empresa De Calçados Femininos Para Atender A Crescente Demanda De Mercado

Quadro 6 - Estudos de tempos e métodos do processo de montagem dos calçados.

Jornada de trabalho (segundos)	30528	TP = Tempo padrão			
Processo	Montagem	PD = Produção diária			
Tipo	Manual/Mecânico	CSB = Cálculo sem balanceamento			
Produção diária prevista	200	CCB = Cálculo com balanceamento			
Família de produtos	2000	NC = Necessidade de operadores			
Takt time	152,64				
Descrição					
Descrição	TP	PD	CSB	CCB	OPERADORES
14 - Aplicar palmilha sobre a forma	28	1090	18%	96%	1
15 - Aplicar adesivo no cabedal e na palmilha	118	259	77%		
16 - Montar cabedal	139	220	91%	91%	1
17- Aplicar adesivo PVC no cabedal	97	315	64%	96%	1
18 - Aplicar adesivo PVC na sola	50	611	33%		
19 - Reativar adesivo PVC e solar	90	339	59%	91%	1
20 - Prensar calçado	49	623	32%		
21 - Embalar, expedir e baixar lote	140	218	92%	92%	1

Fonte: O autor (2021).

O setor de montagem apresentou inicialmente uma necessidade de 8 operadores e então, após os resultados obtidos pela cronoanálise, devido as funções próximas e semelhantes, foi verificado a necessidade de 5 operadores.

Os elementos 14 e 15 serão unificados e somente um operador exercerá a função; o elemento 16 será executado por um operador; os elementos 17 e 18 serão unificados e terá um operador para executar a função; os elementos 19 e 20 serão executados somente por um operador; o elemento 21 será feito também, por somente um operador, totalizando 5 operadores no processo em questão.

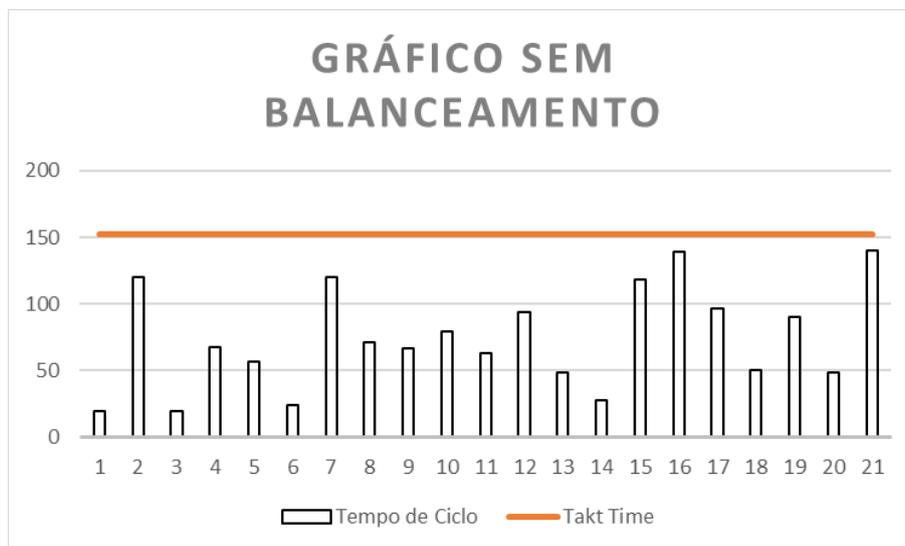
Deste modo, a proposta para atender a demanda de mercado de 200 pares diários será realizar a contratação de 3 operadores para operar entre os setores de corte e almoxarife; 3 operadores para operar entre os setores de pré-costura, costura e preparação; 5 operadores para operar entre o setor de montagem e expedição, sendo necessária a contratação de 11 pessoas para exercer as funções.

3.4 GRÁFICO DE BALANCEAMENTO DE OPERADORES (GBO)

Adequação Do Arranjo Físico E Realocação Dos Processos Terceirizados De Uma Empresa De Calçados Femininos Para Atender A Crescente Demanda De Mercado

Para que se tenha conhecimento, foi elaborado, com base nos tempos obtidos, um gráfico da necessidade de pessoas para a área produtiva sem balanceamento de produção (Gráfico 1) e um gráfico com o balanceamento de produção com balanceamento (Gráfico 2) para efeitos de comparação. Deste modo, é possível comparar os gráficos e visualizar as ociosidades dos elementos.

Gráfico 1 - Balanceamento de operadores sem balanceamento.

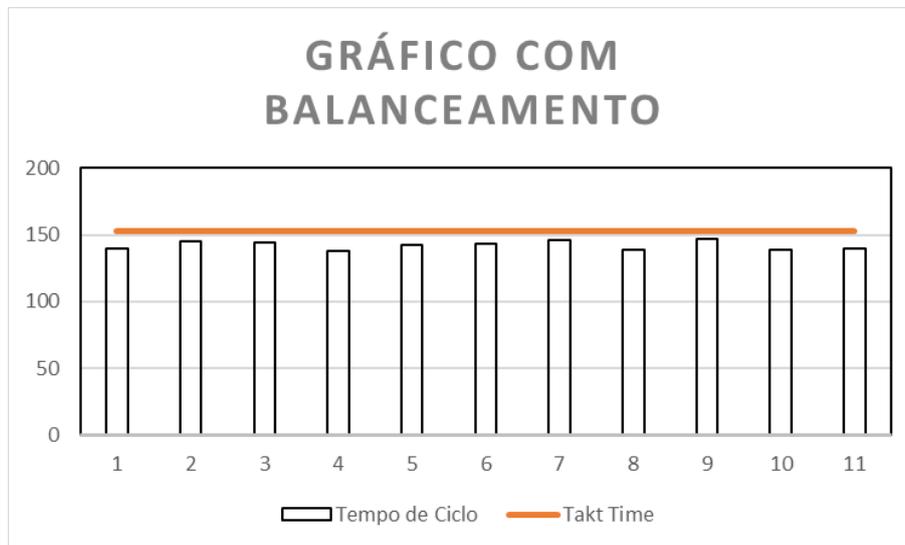


Fonte: O autor (2021).

Percebe-se que o gráfico 1 apresenta 21 elementos e com uma ociosidade alta, quando comparada ao *takt time*. Também é notório a falta de estabilidade nos processos, trazendo alta variabilidade nas capacidades de operadores. Assim, o gráfico de com balanceamento (Gráfico 2) apresentará uma solução do aumento da eficiência com base nos estudos de tempos.

Adequação Do Arranjo Físico E Realocação Dos Processos Terceirizados De Uma Empresa De Calçados Femininos Para Atender A Crescente Demanda De Mercado

Gráfico 2 - Balanceamento de operadores com balanceamento.



Fonte: O autor (2021).

Após a observação dos elementos similares e o agrupamento dos mesmos, verificou-se a linearização dos processos e baixa oscilação, reduzindo a ociosidade e aumentando a eficiência. Vale ressaltar que o estudo foi elaborado somente com os processos relacionados as operações e não a cargos administrativos.

3.5 PROPOSTA DE NOVO LAYOUT

A partir dos estudos elaborados até o momento, percebeu-se que a demanda crescente do mercado não poderá ser alcançada se a empresa em questão permanecer com o mesmo parque fabril. O *layout*, de acordo com Vieira (1976, p.12), tem por objetivo reduzir custos e obter maior produtividade, basicamente por meio de

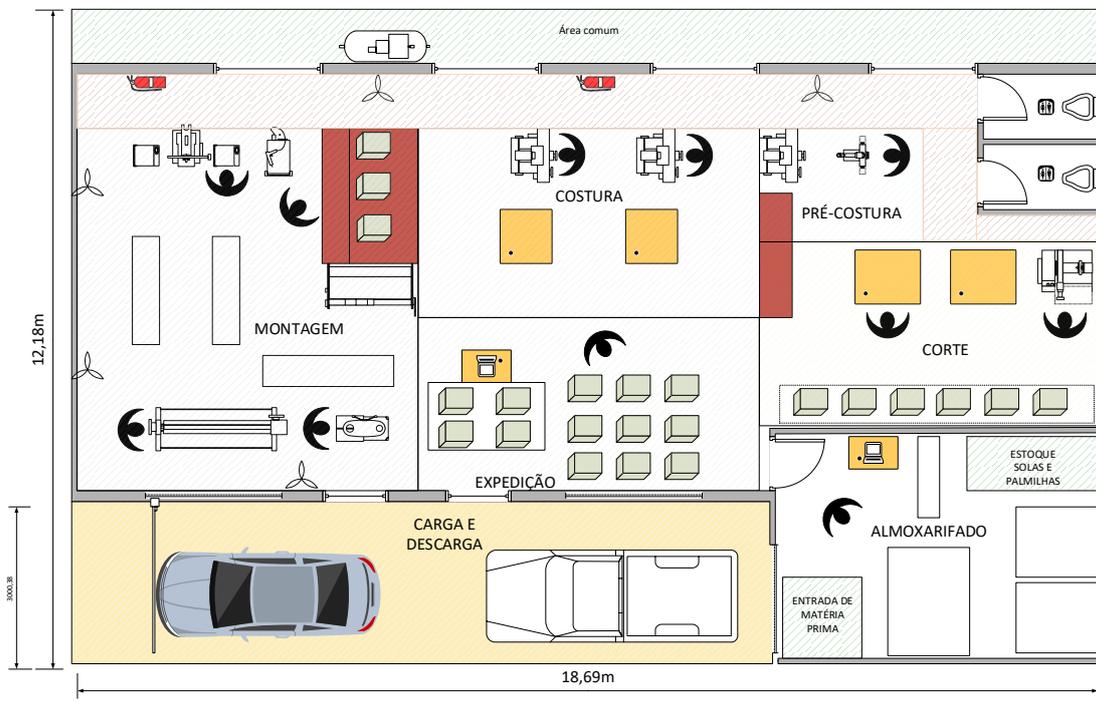
Adequação Do Arranjo Físico E Realocação Dos Processos Terceirizados De Uma Empresa De Calçados Femininos Para Atender A Crescente Demanda De Mercado

melhor utilização do espaço disponível; redução da movimentação de materiais, produtos e pessoal; fluxo mais racional evitando paradas no processo de produção; menor tempo de produção (*lead time*) e melhores condições de trabalho.

Portanto, os sócios da empresa têm disponível um terreno para suportar uma área construída entre chão de fábrica e administrativo de aproximadamente 220 m² que, quando confrontado com a área atual de aproximadamente 65 m², apresenta um ganho de 185 m² de espaço, organização, diminuição da movimentação e capacidade para trabalhar uma quantidade maior de pessoas e atender a demanda do mercado.

Nos estudos de cronometragem realizados, concluiu-se a necessidade de 11 operadores para executar os processos que envolvem mão de obra direta do produto. Assim, a nova proposta de *layout* foi realizada com base na quantidade de operadores, medidas reais de máquinas, equipamentos e metragem de terreno disponível, conforme apresentado na figura 3.

Figura 3 - Proposta de layout.



Fonte: O autor (2021).

Adequação Do Arranjo Físico E Realocação Dos Processos Terceirizados De Uma Empresa De Calçados Femininos Para Atender A Crescente Demanda De Mercado

A figura 3 representa o posicionamento das máquinas em uma dimensão de duas vistas (2D). Entretanto, para realizar uma apresentação atrativa, visto que é uma proposta de *layout* futuro, foi realizado o projeto da fachada da empresa com visão em três dimensões (3D), conforme figura 4 e 5.

Figura 4 - Projeto 3D da fachada (vista 1).



Fonte: O autor (2021)

Figura 5 - Projeto 3D do parque fabril (vista 2).



Fonte: O autor (2021)

Adequação Do Arranjo Físico E Realocação Dos Processos Terceirizados De Uma Empresa De Calçados Femininos Para Atender A Crescente Demanda De Mercado

As figuras 4 e 5 representam as dimensões reais para a construção de 220 m² de parque fabril e área administrativa. A figura 4 apresenta a fachada da empresa e a figura 5 apresenta o espaço fabril disponível e o mezanino, onde se desenvolverá toda a parte administrativa e desenvolvimento de produto que, no presente trabalho, não foram objetos de estudo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Fundamentado na coleta de dados científicos e observações *in loco* realizada na empresa, é de suma importância a comparação do estado atual em que a empresa se encontra com a proposta futura em que o presente estudo aponta. Em vista disso, através de análises e números, é possível observar a diminuição de movimentação e baixa na quantidade de horas extras e *lead time*, garantindo assim a qualidade no atendimento do cliente final e satisfação dos colaboradores que atuam diretamente no chão de fábrica.

O quadro 7 apresenta o levantamento do *lead time* atual e a dependência dos elementos dividida em três partes, sendo elas: Tempo em que os fornecedores entregam os produtos, tempo em que as terceirizações entregam o processo semiacabado e o tempo levado para a produção dos processos internos. Araújo et al. (2012) observaram que as empresas, cada vez mais, buscam estratégias para otimização dos prazos de produção, bem como a influência do lead time no fornecimento de materiais críticos nos processos industriais.

Adequação Do Arranjo Físico E Realocação Dos Processos Terceirizados De Uma Empresa De Calçados Femininos Para Atender A Crescente Demanda De Mercado

Quadro 7 – Descrição dos caminhos críticos do cenário atual.

ITEM	Fornecedores	Prazo de entrega Atual	Dependência	Caminho crítico
A	Sola	13 dias	-	13 dias
B	Salto/Taco	14 dias	-	14 dias
C	Palmilha	12 dias	-	12 dias
D	Adesivo P.U	3 dias	-	3 dias
E	Sintético	1 dia	-	1 dia
ITEM	Terceirizações	Prazo de entrega Atual	Dependência	Caminho crítico
F	Corte	12 dias	E	13 dias
G	Conformação	2 dias	F,L	14 dias
H	Tiras 8mm	5 dias	F	17 dias
I	Encapar salto	4 dias	B,F	30 dias
J	Debrum/Biqueira	4 dias	C,F	28 dias
K	Montagem	10 dias	A,B,C,D,H,I,J	44 dias
ITEM	Interno	Prazo de entrega Atual	Dependência	Caminho crítico
L	Costura/Preparação	2 dias	F	14 dias
M	Acabamento	1 dia	K,H	45 dias

Fonte: O autor (2021)

Conforme apresentado no quadro 7, é possível verificar o *lead time* atual representado por um tempo de 45 dias úteis, sendo que o cliente solicita a entrega em 35 dias úteis após a efetivação da compra. Deste modo, pode-se identificar que as tarefas **B, F, I, K e M** fazem parte do caminho crítico, indicando que o *lead time* não seja atendido. Sendo assim, com as análises coletadas percebe-se a importância de verticalizar a empresa visto que, os setores de montagem e corte são realizados de modo terceirizado, trazendo alto tempo de processamento e gerando atrasos com aumento no *lead time*.

O quadro 8 abaixo apresenta a readequação dos processos internos e propõe melhora no *lead time* com a verticalização dos mesmos.

Quadro 8 – Descrição dos caminhos críticos do cenário futuro.

Adequação Do Arranjo Físico E Realocação Dos Processos Terceirizados De Uma Empresa De Calçados Femininos Para Atender A Crescente Demanda De Mercado

ITEM	Fornecedores	Prazo de entrega Atual	Dependência	Caminho crítico
A	Sola	13 dias	-	13 dias
B	Salto/Taco	14 dias	-	14 dias
C	Palmilha	12 dias	-	12 dias
D	Adesivo P.U	3 dias	-	3 dias
E	Sintético	1 dia	-	1 dia
ITEM	Terceirizações	Prazo de entrega Atual	Dependência	Caminho crítico
G	Conformação	2 dias	F,L	5 dias
H	Tiras 8mm	5 dias	F	5 dias
I	Encapar salto	4 dias	B,F	19 dias
J	Debrum/Biqueira	4 dias	C,F	17 dias
ITEM	Interno	Prazo de entrega Atual	Dependência	Caminho crítico
L	Costura/Preparação	2 dias	F	5 dias
M	Acabamento	1 dia	K,H	34 dias
F	Corte	1 dia	E	4 dias
K	Montagem	1 dia	A,B,C,D,H,I,J	44 dias

Fonte: O autor (2021)

Comparando o *lead time* do quadro 7 com o *lead time* do quadro 8, percebe-se uma redução do *lead time* de 11 dias considerando a verticalização dos setores de corte e montagem. Para tanto, além do ganho de 11 dias, também é possível obter resultados melhores referente ao índice de qualidade pois, com os setores terceirizados não há monitoramento dos procedimentos utilizados, apresentando diversas falhas nos processos.

Para calcular o índice de qualidade atual e futuro, utilizou-se o seguinte cálculo:

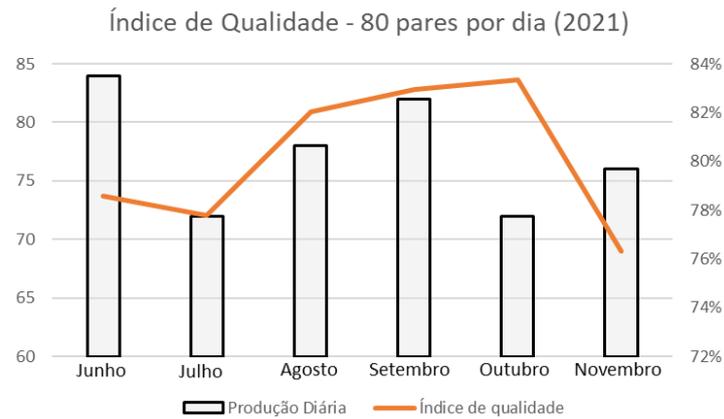
$$\text{Índice de qualidade} = \frac{(PP-PD)}{PP} \times 100$$

PP: peças produzidas;

PD: peças defeituosas.

Gráfico 3 – Índice de qualidade do cenário atual.

Adequação Do Arranjo Físico E Realocação Dos Processos Terceirizados De Uma Empresa De Calçados Femininos Para Atender A Crescente Demanda De Mercado

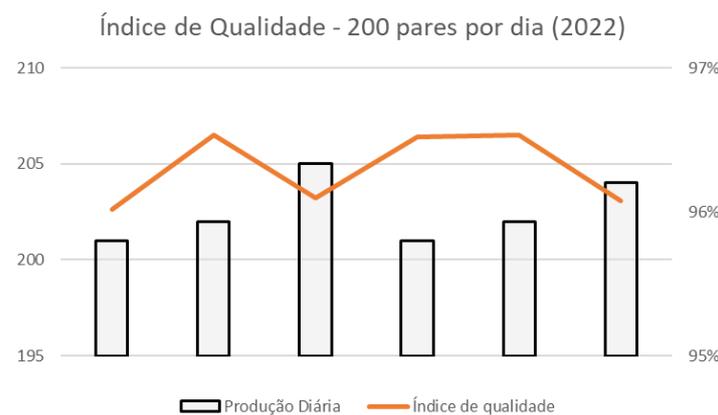


Fonte: O autor (2021)

Na representação do gráfico 3, a empresa trabalha com a produção média de 77 pares por dia, contando com um retrabalho médio de aproximadamente 16 pares, ou seja, o índice de qualidade fica em torno de 80,2%.

Com uma perspectiva de aumentar a capacidade produtiva para 200 pares médios diários e aumentar o índice de qualidade, criou-se, conforme o gráfico 4, uma projeção futura de como a empresa iria trabalhar caso os processos de corte e montagem forem verticalizados.

Gráfico 4 – Índice de qualidade do cenário futuro.



Fonte: O autor (2021)

Com base no gráfico 4, propõe-se uma produção de 200 pares médios diários e estima-se a não qualidade de aproximadamente 8 produtos que podem ser reprocessados ou gerariam refugo, garantindo assim um índice de qualidade superior ao processo anterior (gráfico 3), de 96,1%. Com isso, dispõe-se do aumento da

Adequação Do Arranjo Físico E Realocação Dos Processos Terceirizados De Uma Empresa De Calçados Femininos Para Atender A Crescente Demanda De Mercado

qualidade devido ao monitoramento *in loco*, além de ganho de velocidade, pelo fato de eliminar a locomoção em terceirizações e maior assertividade na solução dos problemas. O gráfico 4 não apresenta linha do tempo definida pois, é uma proposta de produção para meados de 2022.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Embora o entendimento dos processos produtivos de calçados seja executado na prática, levantar dados teóricos é de suma importância para se obter uma visão minuciosa de cada processo, fazendo com que a efetividade na resolução de problemas possa ser cada vez mais assertiva.

Deste modo, o presente estudo possibilitou o levantamento de informações suficientes e comparações do cenário atual com uma proposta de cenário futuro, propondo a readequação do espaço fabril juntamente com o estudo de tempos e métodos e aplicação de ferramentas básicas para gerenciar a produção.

Em síntese, foi possível listar a quantidade de operadores necessária para realizar o trabalho de 200 pares por dia por meio das observações de tempos e métodos, apontar uma redução *do lead time* de 45 para 34 dias, que é o ponto crucial para o atendimento do cliente final, uma melhora significativa no índice de qualidade, que atualmente é de aproximadamente 80,2% e com o cenário futuro passará para 96,1% com a verticalização dos processos e, por fim, a readequação de todo o parque fabril com todos os dados coletados durante o estudo para apresentar uma proposta de *layout* futura, visando atender a demanda crescente do mercado.

Por fim, o presente trabalho possibilitou a interdisciplinaridade do curso, colocando em prática todo o aprendizado adquirido durante anos, fazendo com que o acadêmico tenha posturas adequadas quando confrontado a situações complexas, obtendo um leque de opções quando deparado a problemas, buscando resolvê-los progressivamente de maneira mais eficiente, com baixo custo e com melhor retorno

Adequação Do Arranjo Físico E Realocação Dos Processos Terceirizados De Uma Empresa De Calçados Femininos Para Atender A Crescente Demanda De Mercado

financeiro, tendo como foco principal a satisfação dos profissionais que o norteiam diariamente.

REFERÊNCIAS

ARAUJO, T. R.; PIERRE, F. C.; TARRENTO, G. E.; JOAQUIM JR., C. F. **Utilização das técnicas PERT-CPM para redução do prazo de entrega: Estudo de caso em uma indústria automobilística.** Revista Tekhne e Logos, Botucatu, SP, v.3, n.3, novembro 2012

BARNES, R, M. **Estudo de Movimentos e de Tempos, Projeto e Medida de Trabalho.** Tradução da 6ª edição Americana, Editora Edgard Blücher Ltda, 1977.

CHIAVENATO, Idalberto. **Empreendedorismo: Dando asas ao espírito empreendedor.** 2. ed. São Paulo : Saraiva, 2008.

CHINELATO FILHO, João. **Arte de organizar para informatizar.** Rio de Janeiro: LTC, 1993.

CRUZ, T. **Sistemas, organização e métodos. Estudo integrado orientado a processos de negócios sobre organizações e tecnologias da informação. Introdução à gerência do conteúdo e do conhecimento.** São Paulo: Atlas, 2013.

FIGUEIREDO, F. J. S., OLIVEIRA, T. R. C., SANTOS, A. P. B. M. **Estudos de tempos em uma indústria e comércio de calçados e injetado Ltda.** Belo Horizonte, XXXI Encontro Nacional de Engenharia de Produção. 2011.

FRAZIER, G.; GAITHER, N. **Administração da produção e operações.** 8ª ed. São Paulo: Pioneira, 2002.

Adequação Do Arranjo Físico E Realocação Dos Processos Terceirizados De Uma Empresa De Calçados Femininos Para Atender A Crescente Demanda De Mercado

GAITHER, Norman; FRAZIER, Greg. **Administração da produção e operações**. 8. ed. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2002.

HITT, M. A.; IRELAND, R. D.; HOSKISSON, R. E. **Administração estratégica: competitividade e estratégia**. São Paulo: Cengage Learning, 2011.

LISBOA, W. P. M., **Uso do controle estatístico de processo (CEP) e análise de tempos: um estudo de caso em uma empresa do setor de confecções**. 2020. 51. Monografia Engenharia de Produção. Universidade Federal Rural do Semiárido, UFRSA, 2020.

MARTINS, Petronio Garcia; LAUGERI, Fernando Piero. **Administração da Produção**. 2 ed. São Paulo: Saraiva, 2005

PORTER, Michael. **Estratégia competitiva: técnicas para análise de indústrias e da concorrência**. 2 ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2004.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Administração da Produção**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

TEIXEIRA, E. S. M. **Análise descritiva do estudo de tempos e métodos: uma aplicação no setor de embaladeira de uma indústria têxtil: estudo de caso**. 2012. Monografia – Instituto Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina, 2012

TIDD, Joe; BESSANT, John; PAVITT, Keith. **Gestão da Inovação**. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2008.

TOLEDO JR., Itis Fides Bueno. **Balanceamento de linhas**. 7. ed. Editora Raphael A. Godoy. 2004.

TUBINO, Dalvio Ferrari. **Sistemas de produção: a produtividade no chão de fábrica**. Porto Alegre: Bookman, 1999.

Adequação Do Arranjo Físico E Realocação Dos Processos Terceirizados De Uma Empresa De Calçados Femininos Para Atender A Crescente Demanda De Mercado

WOMACK, J. **The product family matrix: homework before value stream mapping.** In: LeanThinkers' Corner, 2001.



A EFICIÊNCIA DO MIX DE PRODUTOS DE UMA EMPRESA DE ETIQUETAS COM USO DO MÉTODO DE ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS

THE EFFICIENCY OF THE PRODUCT MIX OF A LABEL COMPANY USING THE DATA ENVELOPMENT ANALYSIS METHOD

Carla Cristina Batistoti Cabral¹

Wallace Nóbrega Lopo²

RESUMO: Os últimos tempos marcam uma forte preocupação das empresas em relação ao fortalecimento de suas marcas e fidelização de clientes, pois cada dia mais a competitividade entre as empresas aumentam em relação à busca de melhorias e aumento da eficiência. Considerando a importância no *mix de produtos* e da eficiência para chegar a um resultado satisfatório para a empresa, esta pesquisa tem como objetivo melhorar a eficiência do *mix de produtos* de uma empresa, por meio do método da análise envoltória de dados. Portanto, o objetivo deste estudo é analisar a eficiência do *mix de produtos* de uma empresa fabricante de etiquetas e para atingir este objetivo proposto pelo estudo, foi realizada uma pesquisa descritiva e quantitativa. Os dados para a elaboração do trabalho, foram coletados na base de dados da empresa no mês de março de 2022. Para analisar os dados utilizou-se a ferramenta Análise Envoltória de Dados (DEA), a partir do modelo BBC com orientação ao *output*. Os resultados das análises realizadas entre os vinte e dois (22) itens indicam que treze (13) produtos são muito eficientes e que outros dois (2) produtos também podem ser considerados eficientes já que sua pontuação chegou próxima dos 100%. Por outro lado, sete (7) produtos se mostraram não serem eficientes, sendo que três (3) deles tiveram pontuações muito baixas. Conclui-se que 68,18% dos produtos são eficientes.

¹ Acadêmica do curso de Engenharia de Produção da UNIFEBE. *E-mail:* carla.batistoti@unifebe.edu.br

² Professor orientador. Mestre em Engenharia de Produção. *E-mail:* wallace@unifebe.edu.br

A Eficiência Do Mix De Produtos De Uma Empresa De Etiquetas Com Uso Do Método De
Análise Envoltória De Dados

Palavras-chave: Eficiência. DEA. Mix de Produtos. Etiquetas.

ABSTRACT: *Recent times have marked a strong concern of companies in relation to strengthening their brands and customer loyalty, as the competitiveness between companies increases every day in relation to the search for improvements and increased efficiency. Considering the importance of product mix and efficiency to reach a satisfactory result for the company, this research aims to improve the efficiency of a company's product mix, through the data envelopment analysis method. Therefore, the objective of this study is to analyze the efficiency of the product mix of a label manufacturer company and to achieve this objective proposed by the study, a descriptive and quantitative research was carried out. The data for the elaboration of the work were collected in the company's database in March 2022. To analyze the data, the Data Envelopment Analysis (DEA) tool was used, based on the BBC model with output orientation. The results of the analyzes carried out between the twenty-two (22) items indicate that thirteen (13) products are very efficient and that another two (2) products can also be considered efficient since their score reached close to 100%. On the other hand, seven (7) products proved to be inefficient, and three (3) of them had very low scores. It is concluded that 68.18% of the products are efficient.*

Keywords: Efficiency. DEA Product Mix. Label.

1 INTRODUÇÃO

Para garantir a sobrevivência no mercado, toda empresa precisa de eficiência e gestão para o desenvolvimento de seus produtos. Os últimos tempos marcam uma forte preocupação das empresas em relação ao fortalecimento de suas marcas e fidelização de clientes. Sendo assim, buscam novas estratégias de mercado, fabricam produtos com maior valor agregado, apostam em qualidade e no aumento do *mix de produtos* em relação aos concorrentes, acrescentando novas matérias-primas, máquinas e tecnologias (DÂNDARO et al, 2012).

A Eficiência Do Mix De Produtos De Uma Empresa De Etiquetas Com Uso Do Método De
Análise Envoltória De Dados

Com isso, Slack et al. (2009) afirmam que todos os processos das empresas produzem produtos e serviços através da transformação de entradas e saídas, o que é chamado de processo de manufatura. Pode-se entender que o processo produtivo tem início com as entradas de materiais (inputs), sendo eles transformados na produção, definindo as saídas (outputs) de bens e/ou serviços. O *mix de produtos* permite que seja produzido mais de um tipo de produto na mesma linha de montagem, e para que estes arranjos mistos se tornem viáveis considerando a atual concorrência do mercado, busca-se aumentar a eficiência determinando o método de trabalho mais racional e seguro de realiza-lo (REGINATO et al, 2016).

Para medir a eficiência, a Análise Envoltória de Dados (DEA) tem sido muito utilizada em vários estudos. O DEA tem se mostrado muito eficaz para realizar a busca de um conjunto familiar de produtos que seja eficiente para a produção baseada nas características dos mesmos, como número de lotes de produção, estações de trabalho, tempo de ciclo, entre outros (FLORIANI, 2018).

Com o objetivo de compreender quais as práticas necessárias para se alcançar um padrão de eficiência maior, diversas organizações têm usado as ferramentas de *benchmark* como forma de reunir conhecimento. O termo *benchmarking* pode ser definido como a busca, em uma indústria, pelas melhores práticas, responsáveis pela apresentação de um desempenho mais elevado. Sendo assim, em conjunto com a DEA, proporciona oportunidades de aprendizado, reflexão e por consequência, melhorias. (SIMIONATO, 2019).

Considerando a importância no *mix de produtos* e da eficiência para chegar a um resultado satisfatório para a empresa, esta pesquisa tem como objetivo melhorar a eficiência do *mix de produtos* de uma empresa, por meio do método da análise envoltória de dados. Com isso, visa contribuir para a tomada de decisão com relação à determinada situação de produtos que podem não estar contribuindo com o resultado geral do negócio. Para isso, será preciso levar em consideração a margem de lucro, custos de produção e demanda dos produtos.

Justifica-se a pesquisa devido a necessidade de propor um instrumento de gestão com foco na busca por melhorias na eficiência de produtos da empresa, tendo

A Eficiência Do Mix De Produtos De Uma Empresa De Etiquetas Com Uso Do Método De Análise Envoltória De Dados

como base a importância da avaliação da eficiência em indústrias de produção de bens ou serviços e a aplicação da Análise Envoltória de Dados, esta pesquisa será uma ferramenta muito útil para a empresa utilizar e se basear nas tomadas de decisões.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Para fundamentar a pesquisa, será necessário aprofundar os estudos em três itens importantes; a análise envoltória de dados (DEA) ferramenta principal do trabalho, a teoria de *mix de produtos* e a eficiência no processo de manufatura. Para isso, se fez uso de referências bibliográficas de pesquisas já realizadas a respeito dos temas.

2.1 ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS

A análise envoltória de dados (Data Envelopment Analysis – DEA) foi desenvolvida por Charnes, Cooper e Rhodes (1978), e é uma técnica matemática que tem como objetivo avaliar a eficiência quando há entradas e saídas múltiplas, utilizando Problemas de Programação Linear (LPP) para avaliar o desempenho das Unidades de Decisão (DMU) (FLORIANI, 2018).

O modelo DEA possui duas variações, sendo que a primeira foi proposta por Charnes, Cooper e Rhodes (1978) e se chama Escala de Retorno Constante (CRS), também conhecido como CCR. Neste modelo as DMUs são comparadas entre si, e está orientado para os *inputs*, permitindo que cada DMU escolha os pesos para cada variável (entrada ou saída), desde que esses pesos aplicados as demais DMUs não gerem uma razão maior que 1. Pode-se desenvolver um modelo orientado a *outputs*, ou seja, que maximiza as saídas mantendo inalteradas as entradas (SÎRBU;

A Eficiência Do Mix De Produtos De Uma Empresa De Etiquetas Com Uso Do Método De
 Análise Envoltória De Dados

CIMPOIÊS; RACUL, 2016). A Figura 1 mostra as equações do modelo CCR orientado para *input* e orientado para *output*.

Figura 1: Modelo DEA CCR.

Input-oriented	
Envelopment model	Multiplier model
$\min \theta - \varepsilon \left(\sum_{i=1}^m s_i^- + \sum_{r=1}^s s_r^+ \right)$	$\max z = \sum_{r=1}^s \mu_r y_{ro}$
subject to	subject to
$\sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j + s_i^- = \theta x_{io} \quad i = 1, 2, \dots, m;$	$\sum_{r=1}^s \mu_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} \leq 0$
$\sum_{j=1}^n y_{rj} \lambda_j - s_r^+ = y_{ro} \quad r = 1, 2, \dots, s;$	$\sum_{i=1}^m v_i x_{io} = 1$
$\lambda_j \geq 0 \quad j = 1, 2, \dots, n$	$\mu_r, v_i \geq \varepsilon > 0$
Output-oriented	
Envelopment model	Multiplier model
$\max \varphi + \varepsilon \left(\sum_{i=1}^m s_i^- + \sum_{r=1}^s s_r^+ \right)$	$\min q = \sum_{i=1}^m v_i x_{io}$
subject to	subject to
$\sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j + s_i^- = x_{io} \quad i = 1, 2, \dots, m;$	$\sum_{i=1}^m v_i x_{ij} - \sum_{r=1}^s \mu_r y_{rj} \geq 0$
$\sum_{j=1}^n y_{rj} \lambda_j - s_r^+ = \varphi y_{ro} \quad r = 1, 2, \dots, s;$	$\sum_{r=1}^s \mu_r y_{ro} = 1$
$\lambda_j \geq 0 \quad j = 1, 2, \dots, n.$	$\mu_r, v_i \geq \varepsilon > 0$

Fonte: Cooper, Seiford e Zhu (2011).

O outro modelo do DEA é o Escala de Retorno Variável (VRS) ou BBC desenvolvido por Banker, Charnes e Cooper (1984), que inclui retornos variáveis de escala, podendo ser comparado DMUs com portes diferentes, já que estas podem ser crescentes ou decrescentes. Se comparados, o CCR e BBC podem trazer resultados divergentes, considerando que o modelo CCR visa calcular a eficiência total, enquanto o modelo BBC calcula a eficiência técnica (GRESELE; KRUKOSKI; REITZ, 2020).

A Eficiência Do Mix De Produtos De Uma Empresa De Etiquetas Com Uso Do Método De
 Análise Envoltória De Dados

Figura 2: Modelo DEA BCC.

$\max z = \sum_{r=1}^s u_r y_{r0} - u_0$ <p>subject to</p> $\sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} - u_0 \leq 0 \quad j=1,2,\dots,n \quad (2)$ $\sum_{i=1}^m v_i x_{i0} = 1 \quad v_i \geq \epsilon$ $u_r \geq \epsilon$	$E_0 = \text{Min} \sum_{i=1}^m v_i x_{i0} - \rho_0$ <p>subject to</p> $\sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} + \rho_0 \leq 0 \quad j=1,2,\dots,n$ $\sum_{r=1}^s u_r y_{r0} = 1 \quad u_r \geq \epsilon$ $v_i \geq \epsilon$
---	---

Fonte: Cooper, Seiford e Zhu (2011).

O aumento no uso dessa técnica (DEA) é uma ótima oportunidade pelas grandes possibilidades de análise de dados que a metodologia demonstra. Os fatores que mais chamam atenção na mesma são as poucas técnicas de avaliação de eficiência das empresas, facilidade na elaboração de cenários e utilização. Através da comparação entre entradas e saídas de cada organização, é possível a identificação das mais eficientes e não eficientes (FLORIANI, 2018).

2.2 MIX DE PRODUTOS

No atual cenário econômico e político do país existe grande competitividade entre as empresas, gerando uma grande busca por melhorias, diminuição de custos, e as melhores ideias de expansão. Com isso, a procura pelo *mix de produtos* ideal fica cada vez mais difícil, visto que há necessidade de diminuição de margens, crescimento da concorrência, alto custo financeiro e alta carga tributária (FERNANDES; GOVEIA; PINTO, 2012).

O *mix de produtos* considera fatores internos e externos das empresas, sendo os externos relacionados aos preços do produto, competitividade, produtos substitutos, clientes entre outros, que resultam em impactos no preço do produto final. E para os fatores internos, é levado em consideração à capacidade industrial, preços,

A Eficiência Do Mix De Produtos De Uma Empresa De Etiquetas Com Uso Do Método De Análise Envoltória De Dados

matéria-prima e produtos conjuntos, que impactam no custo do produto (FLORIANI, 2018).

Entretanto, o *mix de produtos* possui quatro dimensões importantes: amplitude, que diz respeito a variedades nas linhas de produtos; extensão, que é a quantidade total de itens no mix; profundidade, que corresponde às versões dos produtos de cada linha, e consistência, que se refere com o nível de ligação entre as várias linhas (MEDEIROS, 2022).

2.3 EFICIÊNCIA NO PROCESSO DE MANUFATURA

A eficiência é definida como a capacidade de produzir mais com menos recursos, sendo a mesma um dos mais importantes indicadores de qualidade. Da mesma forma, a produtividade é definida como a eficiência da produção. O processo produtivo conta com a combinação ótima dos insumos e processos (inputs) que gerem o máximo de produto (outputs) (FLORIANI, 2018).

A produção tem sua eficiência definida a partir do desempenho das atividades por um determinado método de execução, que seja de forma racional e segura, e dependa da menor quantidade de recursos possíveis para completar a atividade. O desempenho das empresas depende desta produção, onde é analisada através de indicadores, possibilitando agregar valor ao produto e dando a empresa um diferencial no mercado (GRIPA; HAUSSMANN; DOMINGUES, 2017).

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A população da pesquisa é formada por noventa e cinco (95) produtos que compõe o mix de produtos da empresa em estudo. Para a pesquisa foram utilizados vinte e dois (22) produtos, pois para o cálculo foi escolhido a família de produtos de etiquetas que são os principais e mais vendidos da empresa no período de janeiro de 2022 à março de 2022. O restante não foi inserido no cálculo, pois

A Eficiência Do Mix De Produtos De Uma Empresa De Etiquetas Com Uso Do Método De
 Análise Envoltória De Dados

compõem outras famílias de produtos, que incluem materiais e cores diferentes, além de outras características.

Quadro 1: Amostra de produtos analisados.

Produtos
Etiqueta Couchê 100x100mm
Etiqueta Couchê 100x150mm
Etiqueta Couchê 100x210mm
Etiqueta Couchê 100x38mm
Etiqueta Couchê 101x50mm
Etiqueta Couchê 102x76mm
Etiqueta Couchê 104x140mm
Etiqueta Couchê 104x171mm
Etiqueta Couchê 104x25mm
Etiqueta Couchê 104x64mm
Etiqueta Couchê 109x208mm
Etiqueta Couchê 33x22mm
Etiqueta Couchê 40x70mm
Etiqueta Couchê 50x30mm
Etiqueta Couchê 50x50mm
Etiqueta Couchê 52x35mm
Etiqueta Couchê 60x40mm
Etiqueta Couchê 77x120mm
Etiqueta Couchê 77x30mm
Etiqueta Couchê 85x35mm
Etiqueta Couchê 85x50mm
Etiqueta Couchê 90x50mm

Fonte: Dados da pesquisa (2022).

Para a coleta de dados foi utilizado uma planilha em formato Excel, com dados obtidos através do sistema Bling, que a empresa utiliza. Os dados são: valor de mão de obra unitário, valor de matéria-prima unitário, gastos gerais unitários, sendo esses considerados como *input*. Preço de venda unitário, (%) margem de lucro e quantidade vendida no determinado período de cada produto considerado como *outputs*.

A Eficiência Do Mix De Produtos De Uma Empresa De Etiquetas Com Uso Do Método De
 Análise Envoltória De Dados

As variáveis do *input* que se referem aos dados que deseja diminuir e as variáveis do *output*, que se referem aos dados que se deseja aumentar. Abaixo, no Quadro 2, todos os dados obtidos.

Quadro 2: Dados obtidos na empresa.

Produtos	INPUT			OUTPUT		
	Mão de obra	Custo Material	Gastos Gerais	Preço de Venda	Lucro (%)	Quantidade Vendida
Etiqueta Couchê 100x100mm	R\$ 2,94	R\$ 24,85	R\$ 2,23	R\$ 52,94	43%	50
Etiqueta Couchê 100x150mm	R\$ 3,05	R\$ 36,76	R\$ 2,85	R\$ 68,04	34%	348
Etiqueta Couchê 100x210mm	R\$ 3,15	R\$ 50,62	R\$ 4,69	R\$ 111,80	48%	155
Etiqueta Couchê 100x38mm	R\$ 2,85	R\$ 9,89	R\$ 0,80	R\$ 19,05	28%	65
Etiqueta Couchê 101x50mm	R\$ 2,90	R\$ 13,00	R\$ 1,02	R\$ 24,43	0%	276
Etiqueta Couchê 102x76mm	R\$ 2,91	R\$ 19,67	R\$ 1,52	R\$ 36,35	34%	589
Etiqueta Couchê 104x140mm	R\$ 3,01	R\$ 36,01	R\$ 2,77	R\$ 65,94	37%	212
Etiqueta Couchê 104x171mm	R\$ 3,12	R\$ 43,75	R\$ 3,37	R\$ 80,21	38%	52
Etiqueta Couchê 104x25mm	R\$ 2,82	R\$ 7,12	R\$ 0,56	R\$ 13,43	0%	48
Etiqueta Couchê 104x64mm	R\$ 2,90	R\$ 17,04	R\$ 1,37	R\$ 32,75	35%	66
Etiqueta Couchê 109x208mm	R\$ 3,05	R\$ 55,14	R\$ 4,32	R\$ 102,08	39%	180
Etiqueta Couchê 33x22mm	R\$ 2,50	R\$ 2,08	R\$ 0,25	R\$ 5,93	0%	238
Etiqueta Couchê 40x70mm	R\$ 2,52	R\$ 7,36	R\$ 0,63	R\$ 15,02	27%	129
Etiqueta Couchê 50x30mm	R\$ 2,62	R\$ 7,17	R\$ 0,33	R\$ 7,80	0%	284
Etiqueta Couchê 50x50mm	R\$ 2,66	R\$ 6,32	R\$ 0,53	R\$ 12,73	0%	120
Etiqueta Couchê 52x35mm	R\$ 2,04	R\$ 5,19	R\$ 0,43	R\$ 10,35	42%	145
Etiqueta Couchê 60x40mm	R\$ 2,07	R\$ 6,46	R\$ 0,54	R\$ 12,96	0%	56
Etiqueta Couchê 77x120mm	R\$ 3,01	R\$ 23,31	R\$ 1,83	R\$ 43,63	36%	319
Etiqueta Couchê 77x30mm	R\$ 2,66	R\$ 6,30	R\$ 0,52	R\$ 12,50	0%	154
Etiqueta Couchê 85x35mm	R\$ 2,67	R\$ 8,01	R\$ 0,65	R\$ 15,43	10%	557
Etiqueta Couchê 85x50mm	R\$ 2,72	R\$ 11,07	R\$ 0,88	R\$ 21,04	13%	687
Etiqueta Couchê 90x50mm	R\$ 2,83	R\$ 11,86	R\$ 1,11	R\$ 26,64	40%	276

Fonte: Dados da pesquisa (2022).

Neste trabalho foi optado por utilizar o modelo BBC, pois na análise dos produtos, esse modelo avalia todos os produtos, permitindo maior distribuição dos resultados. Foi utilizado o modelo com orientação para *output*, ou seja, os resultados priorizam as saídas: preço de venda unitário, margem de lucro e quantidade vendida.

A Eficiência Do Mix De Produtos De Uma Empresa De Etiquetas Com Uso Do Método De
 Análise Envoltória De Dados

E para base de calculo foi utilizado o *software* Solver e o *software* Excel, que gerou todos os resultados futuramente apresentados.

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Dando segmento aos dados coletados, apresenta-se a análise descritiva da pesquisa, bem como os resultados do DEA dos vinte e dois (22) produtos analisados nesta pesquisa. Na Tabela 1, dispõe todas as principais características descritivas dos dados utilizados, ou seja, mínimo, máximo, média e desvio padrão de cada variável. Dados esses que foram obtidos através do Excel.

Tabela 1: Dados obtidos da Análise Envoltória de Dados.

	Mão de obra	Custo Material	Gastos Gerais	Preço de Venda	Lucro (%)	Quantidade Vendida
Mínimo	R\$ 2,04	R\$ 2,08	R\$ 0,25	R\$ 5,93	0,00%	48
Máximo	R\$ 2,77	R\$ 55,14	R\$ 4,69	R\$ 111,80	48,00%	687
Média	R\$ 2,77	R\$ 18,59	R\$ 1,51	R\$ 35,96	22,91%	228
Desvio Padrão	0,29	15,89	1,31	31,19	18%	182,43

Fonte: Dados da pesquisa (2022).

Ao analisar a tabela, nota-se grande variação de dados, ou seja, a quantidade vendida vai de 48 a 687 produtos. Sendo que o preço de venda também há uma variação, indo de R\$ 5,93 à R\$ 111,80. Isso mostra que a empresa tem grande variedade de produtos em seu *mix*, atendendo várias demandas.

Na Tabela 2, apresenta-se a análise obtida a partir do *software* Solver, de eficiência dos vinte e dois (22) produtos da empresa.

Tabela 2: Eficiência DEA.

Produtos	Padrão	Produtos	Padrão
1	1	12	0,877552
2	1	13	1
3	1	14	0,583257

A Eficiência Do Mix De Produtos De Uma Empresa De Etiquetas Com Uso Do Método De
Análise Envoltória De Dados

4	1	15	0,808697
5	0,89794	16	1
6	1	17	0,728069
7	1	18	1
8	1	19	0,668737
9	0,877552	20	0,998067
10	1	21	0,998377
11	1	22	1

Fonte: Dados da pesquisa (2022).

Na Tabela 2 pode ser observado que treze (13) produtos são muito eficientes com pontuação 1, sendo eles: 1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 10, 11, 13, 16, 18 e 22. Outros dois (2) produtos também podem ser considerados eficientes, são eles: 20 e 21, uma vez que suas pontuações ficaram entre 0,99. Os itens 5, 9, 12, 14, 15, 17 e 19 não foram muito eficientes considerando sua pontuação abaixo de 0,90, sendo os itens com pontuação mais baixa 14, 17 e 19 abaixo de 0,80.

Com isso, alguns itens devem ser revisados para se tornarem eficientes. Outra saída do DEA pelo *software* Solver, são os valores alvo para cada variável, cada produto que a pontuação não seja 100%, o sistema gera uma tabela de “alvo”. Como exemplo, foram utilizados os itens 5 e 19 para demonstrar a funcionalidade, conforme Tabela 3 e 4.

Tabela 3: Alvos de Eficiência DEA.

PRODUTO 5	Eficiência (0,89794)	
	<i>Atual</i>	<i>Alvo</i>
<i>Variável</i>		
Mão de Obra	2,9	2,5
Custo Material	13	11,75
Gastos Gerais	1,02	1,02
Preço de Venda	24,43	27,48
Lucro (%)	0%	7%
Quantidade Vendida	276	276

Fonte: Dados da pesquisa (2022).

A Eficiência Do Mix De Produtos De Uma Empresa De Etiquetas Com Uso Do Método De
Análise Envoltória De Dados

Na Tabela 3 pode ser analisado que a eficiência é de 89,79% e para chegar em 100% será preciso revisar o custo com mão de obra onde atualmente é R\$ 2,90 e o alvo R\$ 2,50, assim como o custo de material que atualmente é R\$ 13,00 e o alvo R\$ 11,75. Também é necessário aumentar o preço de venda de R\$ 24,43 para R\$ 27,48, para com isso aumentar os lucros de 0% para 7%.

Já na Tabela 4 observa-se que para aumentar a eficiência de 66,87% para 100% é necessário diminuir o custo de mão de obra de R\$ 2,66 para R\$ 2,50. O preço de venda também deve ser revisado, pois atualmente está R\$ 12,50 e seu alvo é R\$ 15,76, aumentando seu lucro de 0% para 11%, se suas vendas também aumentarem de 154 produtos para 206.

Para tornar ainda melhor as análises, o Solver também disponibiliza outra saída do DEA que é o *benchmarking*, e através deste, os produtos que foram sinalizados como menos eficientes podem tomar como referência os produtos que mais se aproximam de sua realidade, e assim melhorar seu desempenho. A Tabela 5 apresenta os resultados do *benchmarking* dos produtos.

Ao analisar a Tabela 5, pode ser observado que a empresa pode utilizar esta tabela para tornar o item 5 com 100% de eficiência, já que ele se assemelha muito com o item 22, assim como os itens 9, 15, 17 e 19 são semelhantes ao 16. O item 12 pode ser comparado ao item 13 e o item 14 pode ser comparado ao item 11.

Tabela 5: Benchmarking.

<i>Produtos</i>	1	2	3	6	11	12	13	16	20	21	22
1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0,420145	0,159309	0	0	0,420546
5	0	0	0	0	0	0	0	0,11905	0	0,039331	0,941619
6	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0,49046794	0,22530329	0	0	0	0	0	0	0	0,284229
8	0	0,90356419	0,28932914	0	0	0	0	0	0	0	0,007107
9	0	0	0	0	0	0	0	0,908824	0	0	0,191176
10	0	0,14942529	0	0	0	0	0	0	0	0	0,950575
11	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	1	0,980575	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0,99614589	0,84368149	0	0,041068	0	0,11525	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0,852941	0	0	0,147059
16	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
17	0	0	0,02547307	0	0	0	0	0,972344	0	0	0,002183
18	0	0,40247277	0	0,04804238	0	0	0	0	0	0	0,549485
19	0	0	0	0	0	0	0	0,867647	0	0	0,132353
20	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

Fonte: Dados da pesquisa (2022).

Na tabela 6 abaixo estão os produtos sugeridos para continuarem no *mix de produtos* da empresa, pois estes tiveram pontuação acima de 0,80 e são produtos que podem se tornar 100% eficientes com pouco gasto.

Tabela 6: Produtos Sugeridos.

Produtos	Padrão
1	1
2	1
3	1
4	1
5	0,89794
6	1
7	1
8	1
9	0,877552
10	1
11	1
12	0,877552
13	1
15	0,828697
16	1
18	1
20	0,998067
21	0,998377
22	1

Fonte: Dados da pesquisa (2022).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho, que teve como objetivo analisar a eficiência de um *mix de produtos* de uma empresa fabricante de etiquetas, serviu para realizar esta análise, utilizando a ferramenta Análise Envoltória de Dados (DEA), que é um recurso de otimização de processos que visa dividir as unidades de produção em unidades eficientes ou não eficientes e compará-las. Para realizar a análise de eficiência foi utilizado o estudo voltado para *outputs*, sendo essas as variáveis que a empresa

A Eficiência Do Mix De Produtos De Uma Empresa De Etiquetas Com Uso Do Método De
Análise Envoltória De Dados

deseja aumentar e para seus *inputs* foram utilizadas as variáveis que precisam para produzir os produtos.

Com isso, podem ser encontrados resultados que ajudem a empresa a descobrir um *mix de produtos* que seja eficiente para a mesma produzir. Foram analisados vinte e dois (22) produtos entre si, e os resultados da análise envoltória de dados (DEA) mostraram que treze (13) produtos são muito eficientes com pontuação 1. Outros dois (2) produtos também podem ser considerados eficientes, uma vez que suas pontuações ficaram entre 0,99. E os outros sete (7) itens não foram muito eficientes considerando sua pontuação abaixo de 0,90, sendo que três (3) itens tiveram pontuação mais baixa, menor que 0,80.

Diante do exposto, a empresa consegue utilizar esses resultados para administrar seus *inputs* e procurar aumentar seus *outputs*. Os produtos mais eficientes podem ser utilizados como exemplo para os produtos de menor eficiência, considerando que o item 16 serviu de *benchmarking* para a maioria dos produtos menos eficientes. Como sugestão, pode ser utilizado mais variáveis para a análise das eficiências e ajudar nas decisões mais complexas, utilizando produtos da mesma família e aumentando a quantidade de *input* e *output*.

O desenvolvimento desta pesquisa gerou alguns questionamentos que podem servir para a elaboração de novos trabalhos neste sentido. Como sugestão de trabalhos futuros, deve ser considerada a inclusão de novos *inputs*, como por exemplo, o índice de reclamações dos clientes, utilizando uma pesquisa de satisfação. Também pode ser feito uma pesquisa de clientes ou simulação de demanda, de modo que possa ter uma análise completa de todo o ciclo de venda do produto.

REFERÊNCIAS

COOPER, William W.; SEIFORD, Lawrence M.; ZHU, Joe. **Data Envelopment Analysis: History, Models, and Interpretations**. [S. l.: s. n.], 2011. 39 p.

A Eficiência Do Mix De Produtos De Uma Empresa De Etiquetas Com Uso Do Método De
Análise Envoltória De Dados

DÂNDARO, et al. **MELHORIA NO PROCESSO DE PRODUÇÃO DE ETIQUETAS EMBORRACHADAS NA EMPRESA BRASTIK.** *Tekne e Logos*, Botucatu, SP, v. 4, ed. 1, p. 168-181, Abril 2013. Disponível em: <http://revista.fatecbt.edu.br/index.php/tl/article/view/172>. Acesso em: 23 nov. 2021.

FERNANDES, Rui; GOUVEIA, Joaquim B.; PINTO, Carlos. **Product mix strategy and manufacturing flexibility.** *Journal of Manufacturing Systems*, v. 31, n. 3, p. 301-311, 2012.

FLORIANI, Juliana. **A EFICIÊNCIA DO MIX DE PRODUTOS DE UMA EMPRESA METALMECÂNICA COM USO DO MÉTODO DE ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS.** 2018. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia de Produção) - Centro Universitário de Brusque – UNIFE, [S. l.], 2018.

GRESELE, Wanderson Dutra; KRUKOSKI, Franklin Ângelo; REITZ, Danieli Inês. **ANÁLISE DA RENTABILIDADE DAS MAIORES COOPERATIVAS AGROINDUSTRIAS BRASILEIRAS NO ANO DE 2016 POR MEIO DA ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS.** *FAZ CIÊNCIA*, [s. l.], v. 22, ed. 35, p. 160-178, JAN/JUN 2022. DOI <https://e-revista.unioeste.br/index.php/fazciencia/article/view/24815>. Disponível em: <https://e-revista.unioeste.br/index.php/fazciencia/article/view/24815/16332>. Acesso em: 23 maio 2022.

GRIPA, Sidnei; HAUSSMANN, Darclê C.S.; DOMINGUES, Maria J. C. S. **A EFICIÊNCIA DAS INSTITUIÇÕES DE ENSINO SUPERIOR DO SISTEMA ACAFE COM USO DO MÉTODO DE ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS.** 2017.

MEDEIROS, Belkarla Maria Azevedo. **IMPACTO ECONÔMICO-FINANCEIRO DAS ESTRATÉGIAS DE MIX DE PRODUTOS E DE INOVAÇÃO TECNOLÓGICA COMO VANTAGEM COMPETITIVA: ESTUDO DE CASO NA AMBEV NO PERÍODO DE**

A Eficiência Do Mix De Produtos De Uma Empresa De Etiquetas Com Uso Do Método De
Análise Envoltória De Dados

2019 A 2021. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Ciências Contábeis) - UFRN, [S. /], 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/bitstream/123456789/46445/1/TCC%20-%20BELKARLA%20MARIA.pdf>. Acesso em: 23 maio 2022.

REGINATO, et al. **Balanceamento de linha de montagem mista em cenários com distintos mix de produtos.** **SciELO Brasil**, Porto Alegre, RS, v. 23, ed. 2, p. 294-307, 5 maio 2015. DOI <https://www.scielo.br/j/gp/a/6TKpNZzdy8Tnc67QgdDsPfF/?lang=pt>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/gp/a/6TKpNZzdy8Tnc67QgdDsPfF/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 23 nov. 2021.

SLACK, N. et al. **Administração da produção.** 3ª ed. São Paulo: Atlas, 2009. SIMIONATO, Vinícius Eduardo. **ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS (DEA) COMO FERRAMENTA PARA MELHORIA DE PROCESSOS BASEADO NA EFICIÊNCIA DOS AGENTES: ESTUDO DE CASO EM UMA INSTITUIÇÃO FINANCEIRA.** 2019. Dissertação (Engenharia de Produção) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, [S. /], 2019. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/201342/001105025.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 23 maio 2022.

SÎRBU, Adrian; CIMPOIEȘ, Dragoș; RACUL, Anatol. **Use of Data Envelopment Analysis to Measure the Performance Efficiency of Academic Departments.** **Agriculture and Agricultural Science Procedia**, v. 10, p. 578-585, 2016.

APLICAÇÃO DO MÉTODO DE REDE PERT/CPM E GRÁFICO DE GANTT NO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE UMA MÁQUINA VIBRO PRENSA EM UMA INDÚSTRIA METALÚRGICA DE PEQUENO PORTE

Milena Cristina Zen ¹
Cristiano Chiminelli ²

RESUMO: O presente estudo demonstra a importância de uma indústria possuir um bom gerenciamento de projetos, visto que atualmente o mercado está cada vez mais competitivo, diante disso, o presente artigo tem por finalidade analisar o processo de fabricação de uma máquina Vibro Prensa projetada e elaborada por uma empresa metalúrgica de pequeno porte através das ferramentas PERT/CPM, gráfico de Gantt e probabilidade Z. O trabalho foi realizado por meio de estudo de caso, onde a coleta de dados ocorreu através de entrevista, o desenvolvimento se deu a partir da definição dos tempos de processo para cada uma das etapas do projeto, em seguida foi elaborada a rede CPM, definido o seu caminho crítico e representado no gráfico de Gantt. Percebeu-se que atualmente a empresa não tem capacidade para atender aos 110 dias de prazo de entrega, concluindo que há a necessidade de fazer o uso de um sistema ERP de qualidade, compartilhar atividades do caminho crítico através do uso de mais recursos e adquirir um software para gestão de projetos com o objetivo de auxiliar no acompanhamento daqueles que estiverem em andamento.

Palavras-chave: projeto; PERT/CPM; caminho crítico; gráfico de Gantt.

1 INTRODUÇÃO

Em uma economia globalizada, uma das vantagens competitivas está relacionada ao atendimento das exigências de um cliente no menor prazo possível, visto que existe uma pressão do mercado sobre as organizações e uma necessidade

¹ Acadêmica do curso de Engenharia de Produção da UNIFE. *E-mail:* milena.zen@unifebe.edu.br

² Professor orientador. Mestre em Engenharia de Produção. *E-mail:* chiminelli@unifebe.edu.br

de preparo para enfrentar a concorrência. A fabricação de produtos por projeto requer uma atenção especial à forma em que é realizada a sua gestão de produção, devido a importância na estruturação e acompanhamento da sequência de atividades para que o prazo de entrega seja atendido.

O problema encontrado no decorrer deste estudo diz respeito a complexidade do gerenciamento de projetos, pois este agrega diversas atividades que consomem tempo e recursos diferenciados. Atualmente existe uma cobrança interna da gerência para que os projetos desenvolvidos sejam entregues na data combinada em contrato com o cliente, evitando problemas no departamento comercial, portanto, visando uma assertividade nos prazos de entrega e maior eficiência, pretende-se fazer o uso de ferramentas que auxiliam no planejamento de projetos, sendo elas: PERT/CPM, gráfico de Gantt e cálculo de probabilidade Z.

A finalidade deste trabalho é analisar o processo de fabricação de uma máquina Vibro Prensa projetada e elaborada por uma empresa metalúrgica de pequeno porte, a escolha por esse equipamento se deu pelo motivo de possuir um índice de venda maior comparado aos outros produtos fabricados pela empresa, além de recentemente ter sido entregue uma máquina do mesmo modelo mencionado, para isso serão aplicadas ferramentas de gestão da produção no sequenciamento de atividades do projeto, seu principal objetivo é identificar se a empresa possui a capacidade de atender ao prazo de entrega estipulado pela equipe de vendas, além de sugerir melhorias para que o setor produtivo seja cada vez mais eficiente, evitando atrasos e insatisfação de clientes.

Para atender os objetivos específicos deve-se detalhar o sequenciamento de atividades para a fabricação da máquina, elaborar as estimativas de tempo dessas atividades, em dias, para análise otimista, mais provável e pessimista, calcular a média e o desvio padrão de cada uma das etapas do processo, representar o sequenciamento de produção da máquina Vibro Prensa através do gráfico de Gantt, elaborar a rede do método CPM, definir o caminho crítico e encontrar qual a probabilidade de entregar o equipamento dentro de 110 dias.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 GERENCIAMENTO DE TEMPO

Gerenciar o tempo de um projeto é essencial para evitar atrasos e insatisfação de clientes, quanto mais se retarda um projeto, mais lentamente se chega no resultado esperado, além de correr risco em perder grandes oportunidades no mercado.

O gerenciamento de tempo vai desde a definição de atividades, sequenciamento, definição de recursos por atividade, estimativa de duração e montagem até o controle do cronograma. (BARCAUI *et al.*, 2013)

2.2 PLANEJAMENTO DE PROJETOS

O *Project Management Institute* [PMI] (2008) destaca que projeto é um esforço temporário empreendido para criar um produto, serviço ou resultado exclusivo. Todos os projetos são temporários e possuem o início e o fim definidos. A temporalidade não significa curta duração, pois projetos podem durar de semanas a anos e, mesmo que acabem, seus produtos e resultados podem perdura por um longo período de tempo. (RABECHINI JUNIOR; CARVALHO, 2011)

O processo de planejamento é robusto pois demanda atenção em todas as áreas de conhecimento, no intuito de evitar a ocorrência de uma ação indesejada até o final do projeto. O planejamento requer o detalhamento do escopo tanto quanto possível, pois, quando realizado adequadamente, explicita todas as intenções e entregas desejadas, bem como a abrangência do projeto. (RABECHINI JUNIOR; CARVALHO, 2011)

Para Bastos *et al* (2014), a ferramenta computacional de gerenciamento de projetos utilizada no desenvolvimento do estudo dos autores permitiu rapidamente sequenciar atividades, determinar o caminho crítico e calcular as folgas totais das atividades não críticas.

2.3 REDE PERT/CPM

Uma rede PERT/CPM, também conhecida como método do caminho crítico, nada mais é do que um conjunto de técnicas utilizada para planejar e acompanhar projetos, tendo como finalidade controlar a execução de um projeto da melhor forma possível.

Para Avila e Jungles (2013), o método PERT/CPM foi desenvolvido para alcançar os objetivos seguintes:

- Minimizar problemas nos projetos, tais como atrasos na entrega final da obra e interrupções de serviços;
- Conhecer antecipadamente as atividades consideradas críticas, ou seja, atividades que podem influenciar a duração total da execução da obra;
- Manter os administradores do projeto informados quanto ao cumprimento dos prazos de cada atividade, sendo favoráveis ou desfavoráveis ao planejamento inicial, permitindo ações corretivas no momento oportuno;
- Ser um instrumento de planejamento, coordenação e controle de qualquer projeto, devendo ser aplicado respeitando as adversidades e singularidades de cada um.

A primeira providência para utilizar a técnica PERT/CPM consiste em elaborar uma rede, ou diagrama, que represente as dependências entre todas as atividades que compõem o projeto. A partir da montagem da rede, pode-se trabalhar com os tempos e a distribuição de recursos necessários para atingir a previsão de conclusão. (FERRARI, 2017)

De acordo com Ulbricht *et al.* (2020), a aplicação da metodologia PERT/CPM no gerenciamento de um projeto possibilita a verificação do fluxo de execução de tarefas, identificando níveis de precedência e dependência entre elas. A metodologia permite um maior controle sobre o projeto a ser desenvolvido, pois identifica atividades que precisam ser executadas em série, ou paralelamente, e a partir daí calcula seus tempos de início e término, possibilitando identificar o caminho crítico.

2.4 CAMINHO CRÍTICO

O caminho crítico é definido como aquele que leva maior tempo para ser finalizado, ou seja, através dele é determinado o tempo em que o projeto será concluído, se caso houver atraso na execução de alguma atividade que faça parte do caminho crítico, certamente causarão atrasos na conclusão do projeto.

O caminho crítico é decifrado como a rota que permite origem ao nó inicial, chegando ao nó final. A consignação do comprimento deste caminho se refere a soma das durações de atividades que pertencem ao caminho crítico. (NEVES *et al.*, 2021)

Para Hernández Vergara *et al* (2017), entre as principais vantagens de utilizar a metodologia está o apontamento das interdependências e as sequências lógicas entre as atividades e a apresentação da lógica no planejamento do projeto mediante uma rede, que é valorada em função do tempo, depois otimizada e, finalmente, representada em um calendário.

2.5 GRÁFICO DE GANTT

Um dos fatores que diferencia o gráfico de Gantt de todos os outros é a capacidade de comparar o trabalho executado e o trabalho previsto, inserindo informações de previsão e de tempo realmente utilizado para cada tarefa, ou seja, ele representa uma relação entre o tempo planejado e o tempo realizado.

Para a aplicação do Gráfico de Gantt é necessário compreender a estrutura e a divisão do trabalho, entender como funcionam os processos produtivos e como eles se relacionam entre si, portanto deve-se compreender as atividades que são independentes e as que são dependentes.

De acordo com Mattos (2010), o gráfico de Gantt constitui uma importante ferramenta de controle, porque é visualmente atraente, apresenta de maneira simples e imediata a posição relativa das atividades ao longo do tempo e tem facilidade de leitura. Qualquer indivíduo com um mínimo de instrução pode manusear um cronograma e dele tirar informações sem dificuldade. O cronograma de barras tem a defasagem de não possibilitar a visualização da ligação entre as atividades, não levar em conta as folgas e não mostrar o caminho.

Para Kremer e Kovaleski (2008), a utilização dos gráficos de Gantt como ferramenta na elaboração de cronogramas, permite à gerência da produção vários tipos de controle e acompanhamento, além de tornar mais rápida e objetiva a comparação entre o planejamento e a execução real, através da facilidade de interpretação dos dados e gráficos.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A unidade concedente para o desenvolvimento deste trabalho foi a H.Zen Automação Industrial Ltda, empresa fundada no ano de 2008 na cidade de Brusque/SC, iniciou seus trabalhos prestando serviços em manutenção e usinagem para empresas instaladas nas cidades vizinhas, ingressando, no ano de 2011, no mercado de equipamentos para fabricação de peças de concreto e para concreteiras em geral, além de realizar projetos de automação para essas indústrias, onde vem até hoje desenvolvendo, fabricando e prestando serviços para este mesmo ramo.

O desenvolvimento do estudo se deu início a partir da escolha de um dos produtos do portfólio da empresa, para isso, se teve como base os projetos que já estavam em andamento na produção. Hoje a empresa atende o ramo de construção civil, tendo a fabricação de máquinas Vibro Prensa como um projeto pioneiro e que vem alcançando cada vez mais reconhecimento no mercado, estas máquinas produzem peças de concreto como pavers, lajotas, meio fio e bloco.

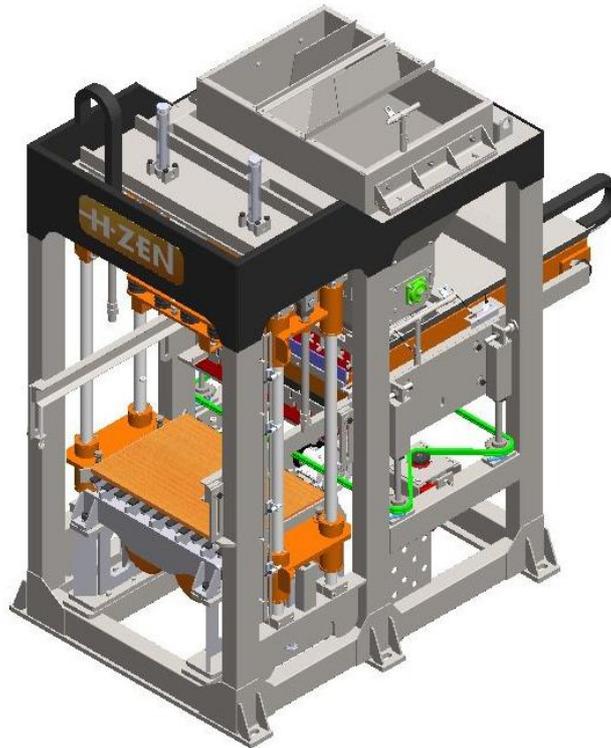
Atualmente a empresa já projetou e elaborou quatro modelos de Vibro Prensas, a principal diferença entre elas é o tamanho e a capacidade de produção de cada modelo. Tendo como base a produção diária em 8h de trabalho, sem considerar paradas, para um molde de paver holandês, temos:

- Modelo HZ-3.2 produzindo 170 m² de pavimento;
- Modelo HZ-04 produzindo 340 m² de pavimento;
- Modelo HZ-06 produzindo 640 m² de pavimento;
- Modelo HZ-08 produzindo 960 m² de pavimento.

No desenvolvimento deste trabalho foi escolhido a Vibro Prensa HZ-06 para aplicação das ferramentas de gestão de projetos, pois este é o modelo com maior

índice de venda, além de recentemente ter sido fabricada e entregue uma máquina igual ao modelo mencionado, o que auxilia consideravelmente na coleta de dados e acompanhamento real de cada uma das etapas de produção, o modelo escolhido está representado na Figura 1.

Figura 1: Projeto de uma máquina Vibro Prensa HZ-06



Fonte: Elaborado pela autora (2022)

Após a escolha do projeto de estudo realizou-se a coleta de dados, esta foi obtida através de uma reunião com os engenheiros projetistas da empresa para que se pudesse definir as etapas e processos de fabricação que o projeto é submetido, além de estabelecer as respectivas dependências de cada uma dessas etapas.

3.1 MÉTODO PERT/CPM

Os tempos considerados para a produção do projeto foram estimados através do histórico de outros já desenvolvidos, estes foram adquiridos através do acompanhamento diário na produção e com o auxílio dos colaboradores da empresa

Aplicação Do Método De Rede Pert/Cpm E Gáfico De Gantt No Processo De Fabricação De Uma Máquina Vibro Prensa Em Uma Indústria Metalúrgica De Pequeno Porte

que se prontificaram em fazer os apontamentos manuais diariamente, o esquema elaborado está demonstrado na Tabela 1.

Tabela 1: Etapas de fabricação e suas respectivas predecessoras

<i>Atividade</i>	<i>Descrição</i>	<i>Dependência</i>	<i>Estimativa Otimista</i>	<i>Estimativa mais provável</i>	<i>Estimativa Pessimista</i>
A	Revisão e Impressão do Projeto	-	5	7	9
B	Almoxarifado	A	2	3	4
C	Compra de Matéria Prima	A, B	15	20	25
D	Compra de Insumos	A, B	25	35	45
E	Montagem Painel Elétrico	B, D	8	10	12
F	Serra	B, C	10	14	20
G	Corte/Dobra (Terceirizado)	B, C	12	15	20
H	Torno	F	8	10	14
I	Fresa/Furação	F, G, H	10	12	15
J	Pré-Montagem	D, F, G, H, I	12	14	16
K	Solda	J	8	10	12
L	Pintura	K	4	5	8
M	Montagem Final	D, L	4	5	6
N	Instalação Elétrica	D, M	2	3	4
O	Testes	E, N	1	2	3

Fonte: Elaborado pela autora (2022)

Tendo em mãos os dados coletados foi possível dar continuidade no desenvolvimento dos cálculos necessários para o método PERT. Primeiramente é preciso calcular a média das estimativas de cada uma das etapas, sendo necessário o uso da fórmula a seguir:

$$\mu = \frac{O + 4.M + P}{6}$$

Legenda: μ – Média

O – Estimativa Otimista

M – Estimativa Mais Provável

P – Estimativa Pessimista

Em seguida foi necessário calcular o desvio padrão de cada uma das etapas do processo para indicar o quanto a duração calculada na fórmula PERT ainda poderá variar, para mais e para menos, sendo assim, é utilizada a fórmula a seguir:

$$\sigma = \frac{P - O}{6}$$

Legenda: σ – Desvio Padrão

O – Estimativa Otimista

P – Estimativa Pessimista

Por fim, calculou-se a variância de cada etapa do processo, e para isso é necessário utilizar a mesma fórmula de cálculo do desvio padrão, porém elevando-a ao quadrado conforme apresentado a seguir:

$$\sigma = \left(\frac{P - O}{6} \right)^2$$

Ao desenvolver todos os cálculos de média, variância e desvio padrão para cada uma das etapas do projeto, foi possível elaborar o esquema conforme informações apresentadas na Tabela 2.

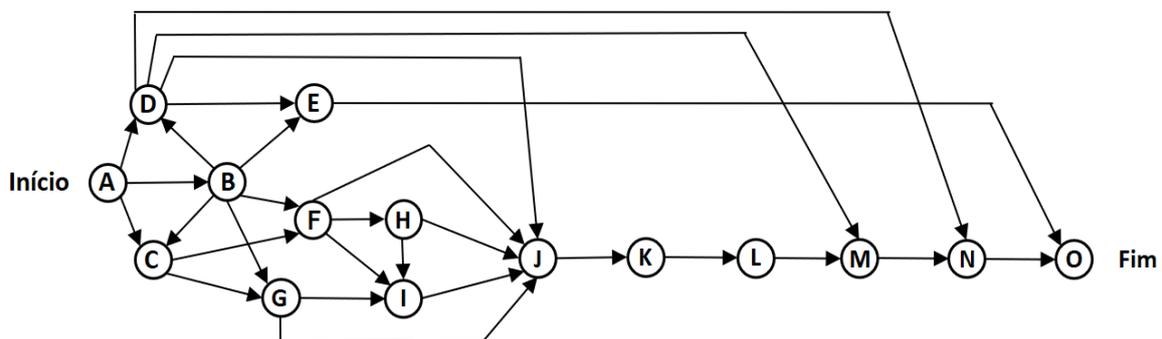
Tabela 2: Resultados obtidos para o método PERT

Atividade	Estimativa Otimista	Estimativa mais provável	Estimativa Pessimista	Média	Variância	Desvio Padrão
A	5	7	9	7	0,44	0,67
B	2	3	4	3	0,11	0,33
C	15	20	25	20	2,78	1,67
D	25	35	45	35	11,11	3,33
E	8	10	12	10	0,44	0,67
F	10	14	20	14	2,78	1,67
G	12	15	20	15	1,78	1,33
H	8	10	14	10	1,00	1,00
I	10	12	15	12	0,69	0,83
J	12	14	16	14	0,44	0,67
K	8	10	12	10	0,44	0,67
L	4	5	8	5	0,44	0,67
M	4	5	6	5	0,11	0,33
N	2	3	4	3	0,11	0,33
O	1	2	3	2	0,11	0,33

Fonte: Elaborado pela autora (2022)

Após o desenvolvimento da tabela com os dados do método PERT, foi necessário dar início à elaboração do método CPM, este que, dada a sequência de atividades tem por objetivo apurar o caminho crítico do projeto, dessa forma foi possível elaborar o caminho conforme representado na Figura 2.

Figura 2: Representação da rede CPM do projeto



Fonte: Elaborado pela autora (2022)

3.2 CAMINHO CRÍTICO

Com o esquema da rede CPM elaborado fica mais fácil visualizar quais são os caminhos possíveis, neste caso foram encontrados 27 caminhos diferentes. Para identificar qual é o caminho crítico do projeto, fez-se necessário realizar o somatório das médias correspondentes às etapas de cada um dos caminhos possíveis, aquele que obtivesse o maior resultado seria o definido como caminho crítico do projeto, ou seja, aquele que demonstra a sua maior duração, diante disso, encontrou-se os dados representados na Tabela 3.

Tabela 3: Somatório de tempo dos caminhos possíveis no método CPM do projeto

<i>Caminhos</i>	<i>Somatório</i>	<i>Resultado</i>
1 - A - D - N - O	7+35+3+2	47
2 - A - D - M - N - O	7+35+5+3+2	52
3 - A - D - J - K - L - M - N - O	7+35+14+10+5+5+3+2	81
4 - A - D - E - O	7+35+10+2	54
5 - A - B - D - N - O	7+3+35+3+2	50
6 - A - B - D - M - N - O	7+3+35+5+3+2	55
7 - A - B - D - J - K - L - M - N - O	7+3+35+14+10+5+5+3+2	84
8 - A - B - D - E - O	7+3+35+10+2	57
9 - A - B - E - O	7+3+10+2	22
10 - A - B - F - J - K - L - M - N - O	7+3+14+14+10+5+5+3+2	63
11 - A - B - F - H - I - J - K - L - M - N - O	7+3+14+10+12+14+10+5+5+3+2	85
12 - A - B - F - H - J - K - L - M - N - O	7+3+14+10+14+10+5+5+3+2	73
13 - A - B - F - I - J - K - L - M - N - O	7+3+14+12+14+10+5+5+3+2	75
14 - A - B - G - I - J - K - L - M - N - O	7+3+15+12+14+10+5+5+3+2	76
15 - A - B - G - J - K - L - M - N - O	7+3+15+14+10+5+5+3+2	64
16 - A - B - C - F - H - I - J - K - L - M - N - O	7+3+20+14+10+12+14+10+5+5+3+2	105
17 - A - B - C - F - H - J - K - L - M - N - O	7+3+20+14+10+14+10+5+5+3+2	93
18 - A - B - C - F - I - J - K - L - M - N - O	7+3+20+14+12+14+10+5+5+3+2	95
19 - A - B - C - F - J - K - L - M - N - O	7+3+20+14+14+10+5+5+3+2	83
20 - A - B - C - G - I - J - K - L - M - N - O	7+3+20+15+12+14+10+5+5+3+2	96

21	A - B - C - G - J - K - L - M - N - O	7+3+20+15+14+10+5+5+3+2	84
22	A - C - F - H - I - J - K - L - M - N - O	7+20+14+10+12+14+10+5+5+3+2	102
23	A - C - F - H - J - K - L - M - N - O	7+20+14+10+14+10+5+5+3+2	90
24	A - C - F - I - J - K - L - M - N - O	7+20+14+12+14+10+5+5+3+2	92
25	A - C - F - J - K - L - M - N - O	7+20+14+14+10+5+5+3+2	80
26	A - C - G - I - J - K - L - M - N - O	7+20+15+12+14+10+5+5+3+2	93
27	A - C - G - J - K - L - M - N - O	7+20+15+14+10+5+5+3+2	81

Fonte: Elaborado pela autora (2022)

De acordo com os dados representados na Tabela 3, percebe-se que o caminho considerado como crítico é o de número 16, pois apresentou uma duração de 105 dias trabalhados, sendo o maior tempo comparando com o somatório dos outros caminhos possíveis. A partir desta informação, conclui-se que o caminho 16 representa o sequenciamento de atividades mais importante para que o processo seja executado no menor tempo possível.

Normalmente o prazo de entrega informado pela equipe de vendas a um cliente é de 110 dias corridos, o que representaria em média 80 dias úteis, portanto, sabe-se que pelo menos 14 dos caminhos são iguais ou ultrapassam esse prazo estimado, reforçando que o processo precisa de uma implantação de melhorias.

3.3 PROBABILIDADE Z

Após descobrir que o caminho crítico do projeto tem duração de 105 dias trabalhados, equivalendo a 144 dias corridos, utilizou-se a fórmula para cálculo de probabilidade visando saber qual a possibilidade de se entregar este projeto dentro de 110 dias, para isso fez-se necessário o uso da fórmula representada na Figura 3.

Figura 3: Fórmula para o cálculo da probabilidade Z

$$Z = \frac{D - T}{\sqrt{\sum \sigma_{cp}^2}}$$

D = Data de conclusão esperada do projeto
 T = Tempo estimado para realização do projeto
 $\sum \sigma_{cp}^2$ = Soma das variâncias ao longo do caminho crítico

Fonte: Elaborado pela autora (2022)

$$Z = \frac{110 - 144}{\sqrt{0,44 + 0,11 + 2,78 + 2,78 + 1 + 0,69 + 0,44 + 0,44 + 0,44 + 0,11 + 0,11 + 0,11}}$$

$$Z = \frac{110 - 144}{\sqrt{9,45}}$$

$$Z = - 11,06$$

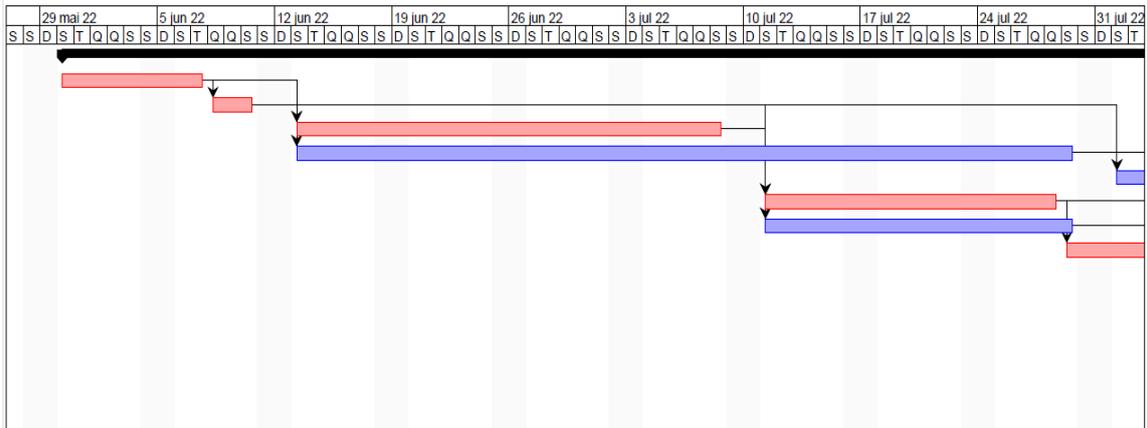
Diante do resultado encontrado, percebe-se que pelo fato de o valor de Z ser negativo, não existe probabilidade alguma para que este projeto seja entregue dentro de 110 dias corridos conforme era esperado pela equipe de vendas e pelo cliente.

3.4 GRÁFICO DE GANTT

Buscando um entendimento facilitado e uma informação mais visual, os dados da Tabela 1 foram transferidas pra o software de gestão de projetos “*Project Libre*”, este que já calcula o caminho crítico do projeto e faz a representação do gráfico de Gantt. Para fins de cálculo, o início das atividades se deu a partir do dia 30 de maio de 2022, o resultado encontrado está representado na Figura 4, Figura 5 e Figura 6.

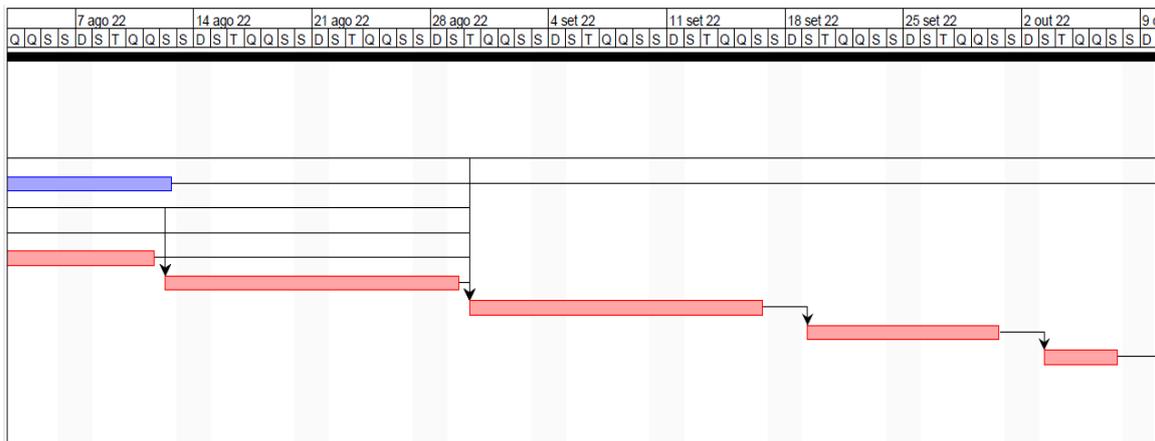
Figura 4: Representação do gráfico de Gantt para as 10 primeiras semanas do projeto

Aplicação Do Método De Rede Pert/Cpm E Gáfico De Gantt No Processo De Fabricação De Uma Máquina Vibro Prensa Em Uma Indústria Metalúrgica De Pequeno Porte



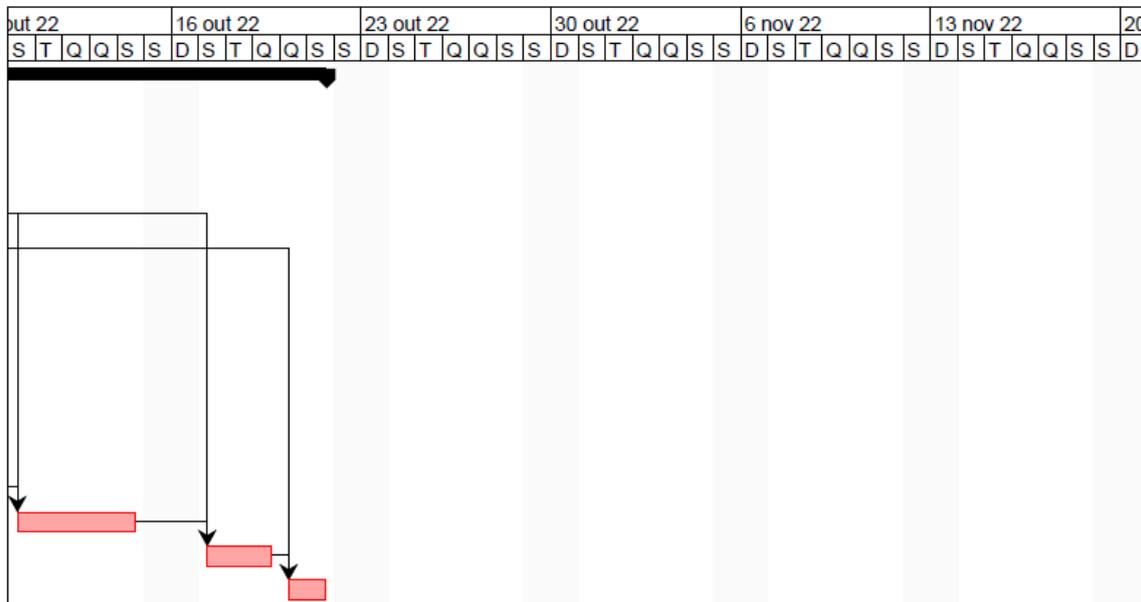
Fonte: Elaborado pela autora (2022)

Figura 5: Representação do gráfico de Gantt das semanas 11 a 19 do projeto



Fonte: Elaborado pela autora (2022)

Figura 6: Representação do gráfico de Gantt para as semanas 20 e 21 do projeto



Fonte: Elaborado pela autora (2022)

Conforme representado no gráfico de Gantt, as barras em vermelho mostram o caminho crítico do projeto e as barras em cor azul representam as outras etapas que não correspondem ao caminho crítico. Este cronograma possibilita um acompanhamento específico e individual do projeto, visto que durante a sua fabricação é possível incluir as informações do andamento das etapas de fabricação para que o software realize a comparação entre o planejado e o real executado, auxiliando na gestão de tempos e em ações de melhoria.

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

O estudo realizado apresentou o resultado para acompanhamento da produção do projeto de uma máquina Vibro Prensa HZ-06 através das ferramentas PERT/CPM e gráfico de Gantt. O prazo estimado para entrega do projeto era de 110 dias corridos, após as análises realizadas no decorrer do estudo, constatou-se que são necessários pelo menos 105 dias trabalhados, ou 144 dias corridos, para a conclusão do projeto, esta informação está representada na Figura 7, esquema

Aplicação Do Método De Rede Pert/Cpm E Gáfico De Gantt No Processo De Fabricação De Uma Máquina Vibro Prensa Em Uma Indústria Metalúrgica De Pequeno Porte

elaborado através do software *Project Libre*, onde representa o início do projeto no dia 30 de maio de 2022 com finalização no dia 21 de outubro de 2022.

Figura 7: Estimativa de duração do projeto de acordo com a programação do software *Project Libre*

	🕒	Nome	Duração	Início	Fim	Antecessores
1	☑	VIBRO PRENSA HZ-06	105 dias	30/05/22 08:00	21/10/22 17:00	
2		Revisão e Impressão do Projeto	7 dias	30/05/22 08:00	07/06/22 17:00	
3		Almoxarifado	3 dias	08/06/22 08:00	10/06/22 17:00	2
4		Compra de Matéria Prima	20 dias	13/06/22 08:00	08/07/22 17:00	2;3
5		Compra de Insumos	35 dias	13/06/22 08:00	29/07/22 17:00	2;3
6		Montagem Painel Elétrico	10 dias	01/08/22 08:00	12/08/22 17:00	3;5
7		Serra	14 dias	11/07/22 08:00	28/07/22 17:00	3;4
8		Corte/Dobra (Terceirizado)	15 dias	11/07/22 08:00	29/07/22 17:00	3;4
9		Torno	10 dias	29/07/22 08:00	11/08/22 17:00	7
10		Fresa e Furação	12 dias	12/08/22 08:00	29/08/22 17:00	7;8;9
11		Pré-Montagem	14 dias	30/08/22 08:00	16/09/22 17:00	5;7;8;9;10
12		Solda	10 dias	19/09/22 08:00	30/09/22 17:00	11
13		Pintura	5 dias	03/10/22 08:00	07/10/22 17:00	12
14		Montagem Final	5 dias	10/10/22 08:00	14/10/22 17:00	5;13
15		Instalação Elétrica	3 dias	17/10/22 08:00	19/10/22 17:00	5;14
16		Testes	2 dias	20/10/22 08:00	21/10/22 17:00	6;15

Fonte: Elaborado pela autora (2022)

Percebeu-se que entre as 15 atividades do projeto, 12 delas fazem parte do caminho crítico, além de pelo menos 14 dos caminhos traçados na rede CPM do projeto serem iguais ou ultrapassarem os 80 dias úteis que fazem parte do lead time do projeto, esses dados representam a dificuldade em atender o prazo de entrega esperado, pois 80% das atividades compõem o caminho crítico do projeto, ou seja, 80% das etapas não podem atrasar nem um dia sequer, caso isso acontecer, a entrega será postergada.

Na prática, a última entrega de um mesmo projeto conforme este que está sendo estudado foi entregue dentro de 160 dias corridos, porém, não foi entregue somente este projeto para o cliente, e sim um conjunto de equipamentos que compõem uma fábrica produtora de peças de concreto.

Durante o desenvolvimento do trabalho foi possível perceber que muitas vezes o setor de pré-montagem acaba ficando parado por falta de alguma peça, normalmente isso é ocasionado por erro na conferência de desenhos pelo setor de

projetos, onde acaba passando despercebido a falta de alguma peça ao enviar os desenhos para a empresa terceirizada fazer os processos de corte e dobra.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo teve como objetivo apresentar as ferramentas PERT/CPM, gráfico de Gantt e cálculo de probabilidade para auxiliar na gestão da produção do projeto de uma máquina Vibro Prensa HZ-06, demonstrou o fluxo de execução de tarefas, identificando as dependências de cada etapa de fabricação e permitindo um maior controle de tempos para o desenvolvimento do projeto.

Através dos resultados obtidos, as ferramentas de estudo se apresentaram eficazes na busca da melhoria do controle de tempos para cada atividade, identificando seu caminho crítico e concluindo que são necessárias melhorias nos processos internos da empresa para que seja possível atender aos prazos de entrega.

Para desenvolvimento de estudos futuros sugere-se que a empresa adquira um sistema ERP de qualidade para auxiliar em apontamentos eletrônicos, faça o uso de mais de um recurso para trabalhar nas atividades críticas de alta duração através de atividade compartilhada, passar a utilizar algum software para gestão de projetos no dia a dia com o objetivo de auxiliar no acompanhamento da produção dos projetos, e por fim, fazer um acompanhamento na produção para encontrar os gargalos atuais e desenvolver melhorias sobre eles.

REFERÊNCIAS

AVILA, A. V.; JUNGLES A. E. **Gestão do Controle e Planejamento de Empreendimentos**. Florianópolis, 2013.

BARCAUI, André B. *et al.* **Gerenciamento de Tempo em Projetos**. 4. ed. Rio de Janeiro: FGV, 2013

BASTOS, Leonardo dos Santos Lourenço *et al.* REDE PERT/CPM COMO INSTRUMENTO DE ANÁLISE DO SEQUENCIAMENTO DE PROJETOS EM UMA EMPRESA DE SISTEMAS INTEGRADOS DE ERP. In: XXI SIMPEP, 2014, Bauru. **As Demandas de Infraestrutura Logística para o Crescimento Econômico Brasileiro**.

FERRARI, T. D. **Planejamento e Controle da Produção: teoria e prática**, 3. ed. São Paulo: Grupo GEN, 2017.

Hernández Vergara, Walter Roberto; Suemi Yamanari, Juliana; Tais Teixeira, Renata. **Análise de risco em projetos de engenharia: uso do PERT/CPM com simulação**. *Exacta*. 2017, 15(1), 75-88. ISSN: 1678-5428.

KREMER, Cristian Dekkers; KOVALESKI, João Luiz. **Planejamento e controle dos processos de fabricação metalúrgicos auxiliado pelo gráfico de gantt: um estudo de caso**. In: ENCONTRO DE ENGENHARIA E TECNOLOGIA DOS CAMPOS GERAIS, 2., Campos Gerais, 2008.

MATTOS, A. D. **Planejamento e Controle de Obras**. 1. ed. São Paulo: Pini, 2010.

NEVES, Cleber Nelson da Rocha das *et al.* Utilização do método do caminho crítico em obras do Complexo Naval da Ilha do Governador. **Diversitas Journal**, Santana do Ipanema, v. 6, n. 1, p. 396-410, jan. 2021. Universidade Estadual de Alagoas. <http://dx.doi.org/10.17648/diversitas-journal-v6i1-1340>.

RABECHINI JUNIOR, Roque; CARVALHO, Marly Monteiro. **Fundamentos em Gestão de Projetos: construindo competências para gerenciar projetos**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2011.

Aplicação Do Método De Rede Pert/Cpm E Gáfico De Gantt No Processo De Fabricação De Uma Máquina Vibro Prensa Em Uma Indústria Metalúrgica De Pequeno Porte

ULBRICHT, Gerson *et al.* Gerenciamento de projetos com utilização de redes PERT/CPM: uma aplicação industrial. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 10., 2020, Paraná, 2020.



APLICAÇÃO DO MÉTODO FMEA NO PROCESSO DE SERIGRAFIA DE UMA EMPRESA DE ACRÍLICOS

APPLICATION OF THE FMEA METHOD IN THE SCREEN PRINTING PROCESS OF AN ACRYLIC COMPANY

Samanta de Freitas Dalmolini¹

Wallace Nóbrega Lopo²

RESUMO: Na fase econômica na qual o mundo está vivendo, uma das vantagens competitivas do mercado está relacionada ao atendimento das necessidades dos clientes no menor tempo possível e na melhor qualidade, pois as organizações lidam com a pressão do mercado e precisam estar preparadas para enfrentar a concorrência. A proposta deste artigo, baseada em pesquisa de campo e aplicada, é analisar o fluxo de informações do processamento de pedidos de uma empresa de materiais acrílicos, que teve como objetivo detectar possíveis falhas no processo de serigrafia da mesma e, para alcançar essa proposta, foi utilizado o método FMEA com o intuito de detectar tais irregularidades na manufatura. Como resultados, foram observadas algumas falhas consideradas críticas, que ocasionavam percas, tanto de produtividade tanto de produtos, ocasionando perda de lucro e rentabilidade, além de possíveis atrasos e retrabalhos, os quais poderiam ser evitados. Foram então elaboradas estratégias para analisar as possíveis ações para corrigir as falhas encontradas no FMEA. Apesar da empresa em questão usar de formas bastante primárias para medições de desperdício e detecção de falhas, considera-se que ainda se sai muito bem em relação aos mesmos, tendo opções viáveis para consertar seus desperdícios sem muitas percas.

Palavras-chave: FMEA; serigrafia; qualidade; manufatura.

¹ Acadêmica do curso de Engenharia de Produção da UNIFEBE. *E-mail:* sadalmolini@unifebe.edu.br

² Professor orientador. *E-mail:* wallace@unifebe.edu.br

ABSTRACT: *In the economic phase in which the world is living, one of the competitive advantages of the market is related to meeting customer needs in the shortest possible time and in the best quality, as organizations deal with market pressure and need to be prepared to face competition. The purpose of this article, based on field and applied research, is to analyze the flow of information from the order processing of an acrylic materials company, which aimed to detect possible flaws in the silkscreen printing process of the same and, to achieve this proposal, the FMEA method will be used in order to detect such irregularities in manufacturing. As a result, some critical failures were observed, which caused losses in both productivity and products, causing loss of profit and profitability, in addition to possible delays and rework, which could be avoided. Strategies were then developed to analyze possible actions to correct the flaws found in the FMEA. Despite the fact that the company in question uses very primary ways of measuring waste and detecting failures, it is considered that it still does very well in relation to them, having viable options to fix its waste without much loss.*

Keywords: *FMEA; serigraphy; quality; manufacture.*

1 INTRODUÇÃO

Na fase econômica na qual o mundo está vivendo, uma das vantagens competitivas do mercado está relacionada ao atendimento das necessidades dos clientes no menor tempo possível e na melhor qualidade, pois as organizações lidam com a pressão do mercado e precisam estar preparadas para enfrentar a concorrência. Devido à importância da sequência das atividades de construção e monitoramento, a fabricação de produtos requer atenção especial para a implementação da gestão da qualidade.

Vários conceitos e técnicas de melhoria contínua de processos foram aplicados a setores de diferentes departamentos e prestadores de serviços. No ambiente de manufatura e gerenciamento, muitas empresas viram oportunidades para aplicar técnicas de melhoria de qualidade e processo, assim como técnicas de Gestão da Qualidade. No entanto, foi apontado que algumas iniciativas de melhoria falharam

porque não foram planejadas e priorizadas adequadamente. Portanto, é importante buscar formas de melhorar a eficácia das medidas de melhoria e aumentar a taxa de sucesso de implementação.

O conceito de qualidade é antigo e, segundo Machado (2012), a visão e o conceito de qualidade mudaram ao longo do tempo, onde inicialmente, a qualidade era vista sob a ótica da inspeção. Com isso, tentava-se alcançar a consistência do produto por meio de instrumentos de medição; em outro momento, buscaram-se ferramentas e técnicas para alcançar o controle estatístico da qualidade; na etapa seguinte, a qualidade estava mais preocupada com sua própria integridade. Já atualmente, o controle de qualidade está orientado para a gestão estratégica da qualidade, em que o foco principal é competir tentando atender às necessidades dos clientes e do mercado.

Segundo Vergueiro (2002) o desenvolvimento de novos produtos é a garantia de sobrevivência das empresas diante da competitividade do mercado. Com isso, a garantia da qualidade é um ponto muito importante a ser assegurado pelas organizações e ela só pode ser efetiva se for adotada e implementada durante o desenvolvimento do produto.

O objetivo desta pesquisa é detectar possíveis falhas no processo de serigrafia em uma empresa de produtos em acrílico e para alcançar essa proposta, será utilizado um método com o intuito de detectar tais irregularidades na manufatura e para isso o FMEA foi escolhido como método.

O método FMEA (*Failure Mode and Effects Analysis*); segundo Souza (2012), é uma técnica consagrada no contexto de melhoria contínua de processos e produtos; e foi aplicado ao processo de serigrafia, processo de impressão à base de estêncil. Esse método determina ações prioritárias com base nos critérios de severidade, ocorrência e detecção para eliminar ou minimizar falhas e desperdícios durante o processo.

Justifica-se a presente pesquisa, pois, o mercado da empresa analisada está exigindo cada vez mais por qualidade, menor preço e menores prazos de entrega e somente com uma análise minuciosa do processo, será possível atender ao cliente. A empresa, em questão, é produtora de materiais acrílicos, através da injeção de plástico do tipo PS em diversas cores. Os itens são personalizáveis pelo processo de

serigrafia, o qual é feito através de um *silk* manual, esse processo ainda não é automatizado. A empresa conta com vendas para clientes finais ou no atacado para redes de lojas.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Gestão da Qualidade

A qualidade existe desde que, no início da sociedade, um artesão desempenhava, sozinho, todas as funções da sua organização em troca de cuidar da sua família e de seu sustento. Logo depois, com a Revolução Industrial, surgiu a produção em massa, ou seja, a produção em grandes escalas para clientes pouco exigentes, onde cada operação de produção começou a ser dividida por operários altamente produtivos que desempenhavam sempre a mesma função e ficavam sob supervisão de um líder. Com o aumento da produtividade e das produções em larga escala, foi observado que os produtos confeccionados estavam sujeitos a muitas falhas e defeitos, e isso, segundo Fernandes (2005), ocasionava a perda da qualidade do produto final.

Diante disso, surgia a necessidade de inspeções de qualidade, pois, segundo Ramos, Chaves e Brandalise (2012), o próximo passo em relação a qualidade foi dado após a Segunda Guerra Mundial, quando o Estados Unidos foi apontado como potência econômica já utilizando técnicas de estatísticas de controle de qualidade. Com isso também surgiram as 7 ferramentas básicas da qualidade utilizadas na produção: Folha de Verificação, Estratificação, Gráfico de Pareto, Diagrama de Causa e Efeito, Histograma, Diagrama de Dispersão e Gráfico de Controle. Novas ferramentas também foram surgindo para garantir a qualidade do processo reduzindo os defeitos como o Seis Sigma e o FMEA.

Hoje em dia, para empresas se tornarem ou continuarem competitivas em seus mercados, elas têm enfrentado um cenário sem precedentes. Taj e Morosan (2011), citam que é necessário que empresas ofereçam produtos e serviços de alta qualidade e, além disso, melhorem suas operações administrativas e de manufatura

para conseguir obter custos baixos de produção. Para obtenção desses baixos custos, é necessário que se eliminem as falhas em processos e desperdícios produtivos.

Diante disso, percebe-se que a necessidade de redução dos custos e melhora no desempenho dos processos internos e na qualidade dos produtos entregues, coincide com a demanda do mercado por produtos de alta qualidade, alto valor agregado e preço adequado. De acordo com o que Corrêa e Corrêa (2005) discutem, a qualidade, em seu conceito atual, de um produto ou serviço, é adquirida durante seus processos, ou seja, não é algo que se possa ser encaixado no final, deve ser acompanhada do início ao fim da produção.

Seguindo esse mesmo raciocínio, Souza (2012) acrescenta que para melhorar a qualidade dos processos de uma empresa e diminuir os custos de maneira sustentável, devem ser tomadas ações que eliminem desperdícios desnecessários existentes no fluxo dos mesmos. Ainda nesse contexto, somam também que, para que isso seja atingido, é importante o aprimoramento de técnicas e metodologias que proporcionem isso junto com a melhoria contínua, entre as quais se encaixam a Gestão da Qualidade e a Produção Enxuta.

Produção Enxuta: tem como objetivo melhorar o desempenho de sistemas produtivos (manufatureiros e de serviços) em termos de redução de custos e aumento da velocidade de entrega por meio da eliminação de desperdícios e perdas (atividades que não agregam valor ao produto ou serviço); e
Gestão da Qualidade: tem como objetivo melhorar a qualidade dos produtos e serviços por meio do aumento da qualidade e da confiabilidade de seus processos de produção (SOUZA, 2012).

2.2 Ferramentas da Qualidade

Segundo Lucinda (2010), uma única pessoa, por mais habilidades e conhecimento que tenha, não irá conseguir solucionar a todos os problemas organizacionais sozinho, com isso, gera-se a necessidade de trabalho em equipe, já que os problemas têm crescido de complexidade com a crescente dificuldade das atividades organizacionais. As ferramentas da qualidade são meios capazes de levar a compreensão e a razão dos problemas de forma a identificá-los e ajudar na busca por soluções para eliminá-los.

Para que as ações sejam pertinentes e de acordo com o problema, é necessário analisá-lo em todos os aspectos e até mesmo analisar potenciais futuras razões de problemas (DANIEL; MURBACK, 2014). A estrutura das ferramentas da qualidade surgiu a partir da década de 1950 e foi baseada em conceitos e práticas existentes. Desde então, o uso de ferramentas gerou enorme valor para o sistema de gestão como sendo um conjunto de ferramentas estatísticas para melhoria de produtos, serviços e processos.

Segundo Ramos, Chaves e Brandelise (2012), “as ferramentas para o controle da qualidade são técnicas que definem, mensuram, analisam e propõem soluções para os problemas que interferem no bom desempenho dos processos, permitindo resolver um grande número de problemas de Controle da Qualidade”. A maior parte das ferramentas são dadas através de gráficos ou tabelas para que as análises sejam evidentes e demonstrem a questão que se pretende estudar e ou solucionar (VERGUEIRO, 2002).

Já Lins (1993, p.153) citado por Vergueiro (2002), diz que as ferramentas da qualidade se diferem em básicas e complementares, sendo as básicas instrumentos para auxiliar na análise e as complementares são as que servem de apoio às primeiras. Meireles (2001) cita Deming dizendo que 94% dos problemas administrativos acontecem devido a causas comuns atribuídas a processos e métodos e somente 6% podem ser relacionados à operários.

Nesse mesmo sentido, o autor ainda cita que Ishikawa afirma que 65% de 80% dos problemas agravantes de uma empresa são de responsabilidade da gerência e que 95% desses mesmos problemas poderiam ser resolvidos com a aplicação prática de ferramentas da qualidade. Segundo Ramos, Chaves e Brandelise (2012), foram criadas primeiramente 7 ferramentas da qualidade que auxiliam na identificação e solução dos problemas já existentes na produção e manutenção de empresas, ou seja, olham para o passado, são elas: Folha de verificação, Estratificação, Gráfico de Pareto, Diagrama de Causa e Efeito, Histograma, Diagrama de Dispersão e Gráfico de Controle.

Como o Controle da Qualidade evoluiu para a redução da variabilidade de processos e na antecipação/prevenção da ocorrência de problemas e falhas, as ferramentas acompanharam a evolução e assim, surgiram novas, as quais focam na

redução e prevenção de falhas especificamente. E são elas: Brainstorming, Seis Sigma, Confiabilidade e FMEA.

2.3 Produção Enxuta

De acordo com Elias e Magalhães (2003), a produção enxuta surgiu no Japão em 1950 graças a pesquisa de dois engenheiros, Eiji Toyoda e Taiichi Ohno. Após visitar os Estados Unidos, e mais especificamente a Ford, que utilizava um sistema de produção em massa, verificou-se que copiar ou melhorar o sistema Ford não era viável, e que seria necessário a criação de um novo sistema de produção. A partir daí, foi criado o Sistema de Produção Lean, também conhecido como Sistema Toyota de Produção.

A Produção Enxuta foi criada com o objetivo de otimizar processos e procedimentos dentro de um sistema de produção, reduzindo continuamente os desperdícios, como o excesso de estoque entre as estações de trabalho, bem como os longos tempos de espera entre operações e também o desperdício de produtos defeituosos. Seus principais objetivos são a qualidade e a flexibilidade dos processos, aumentando sua capacidade de produzir e competir neste cenário globalizado.

Womack & Jones (1996), citado por Nazareno, Rentes e Silva (2001), ressaltam que sete tipos de desperdícios foram identificados por Shigeo Shingo para o Sistema Toyota/Enxuto de Produção:

(1) Superprodução: Produzir excessivamente ou cedo demais, resultando em um fluxo pobre de peças e informações, ou excesso de inventário; (2) Espera: Longos períodos de ociosidade de pessoas, peças e informação, resultando em um fluxo pobre, bem como em lead times longos; (3) Transporte excessivo: Movimento excessivo de pessoas, informação ou peças resultando em dispêndio desnecessário de capital, tempo e energia; (4) Processos Inadequados: Utilização do jogo errado de ferramentas, sistemas ou procedimentos, geralmente quando uma aproximação mais simples pode ser mais efetiva; (5) Inventário desnecessário: Armazenamento excessivo e falta de informação ou produtos, resultando em custos excessivos e baixa performance do serviço prestado ao cliente; (6) Movimentação desnecessária: Desorganização do ambiente de trabalho, resultando baixa performance dos aspectos ergonômicos e perda frequente de itens. (7) Produtos Defeituosos: Problemas frequentes nas cartas de processo, problemas de qualidade do produto, ou baixa performance na entrega (NAZARENO; RENTES; SILVA, 2001).

Dessa forma, o FMEA é uma ferramenta particularmente interessante para a redução contínua dos desperdícios causados por produtos defeituosos, que é o enfoque deste trabalho. A ideia é obter, através do FMEA, uma visualização clara dos processos de produção do setor e de alguns de seus desperdícios causados pela falta de qualidade e erros de processo, bem como diretrizes eficazes de análise que auxiliem no projeto de otimização do fluxo e eliminação destes desperdícios.

2.4 FMEA como resolução de problemas de qualidade

O método FMEA é uma técnica consagrada no contexto de melhoria contínua de processos e produtos e tem como objetivo, segundo Sankar e Prabhu (2001), identificar falhas existentes ou potenciais e priorizar a eliminação ou prevenção das mesmas. Ou seja, é um método responsável por analisar modos/tipos de falha e seus efeitos no produto. Segundo August (2002), o FMEA é utilizado para desenvolvimento e melhorias de produtos, e tem sido cada vez mais usado para melhorias em processos de manufatura e manutenção, também para identificação de falhas e suas consequências.

Para obter bons resultados ao utilizar o FMEA, Ramos, Chaves e Brandalise (2012) dizem ser necessário: identificar possíveis tipos de falhas; descrever os efeitos, causas e medidas de controle de cada modo de falha; calcular o risco, gravidade e probabilidade de detecção de cada falha; recomendar ações corretivas; reavaliar os índices de risco; analisar de forma incremental. Além disso, acrescentam que “o formulário do FMEA de Processo consiste em uma análise quantitativa e qualitativa dos defeitos e ações corretivas. Deve ser preenchido pela equipe multidisciplinar, obedecendo aos critérios de clareza e objetividade”.

Ainda citando Ramos, Chaves e Brandalise (2012), as etapas para elaboração da parte qualitativa da construção do FMEA são as seguintes:

- Identificar as etapas do processo e listar as não conformidades encontradas;
- Identificar modos de falha conhecidos e potenciais e listar quais os defeitos que podem ser gerados no produto, geralmente usando Brainstorming;
- Identificar os efeitos de cada modo de falha, ou seja, quais efeitos a falha causará no cliente interno ou final do produto;

- Identificar as causas possíveis para cada modo de falha usando Brainstorming ou Diagrama de Ishikawa;
- Identificar o meio de prevenção e detecção das falhas listadas;
Já a parte seguinte, da análise quantitativa é dada da seguinte forma:
 - Definição do grau de gravidade de acordo com uma escala que vai de 1 a 10. Sendo 1 um impacto baixíssimo no cliente e 10 um impacto alto;
 - Frequência, dada pela probabilidade de ocorrer o defeito.
 - Detecção, que indica a probabilidade de não detectar o defeito com o plano de monitoramento recomendado. Sendo 1 para uma probabilidade muito pequena de não detectar e 10 para uma probabilidade elevada de não detectar;
 - Determinar o Número de Prioridade de Risco (NPR), que segundo o Manual de Referência do FMEA (2008), a criticidade é o resultado da multiplicação entre a Gravidade (G), Frequência (F) e não detecção (D).
 - Estudo da criticidade limite, que é um limite atribuído pela empresa de acordo com a gravidade. Se a criticidade for maior que o limite, há necessidade de determinar uma ação.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

3.1 Apresentação da empresa alvo da pesquisa

A unidade concedente para o desenvolvimento deste trabalho foi a Plasmago Indústria e Comércio de Artefatos Plásticos LTDA., fundada em 26/04/2013 e sob nova direção desde 2018. A empresa atua no comércio de copos, taças, baldes e pegadores de gelo produzidos através da injeção em plástico do tipo PS (poliestireno) de diversas cores. Além dos artefatos de forma básica (lisa), atua também na personalização dos mesmos, tendo um portfólio de personalizados com fitas metálicas, estampados em serigrafia ou ambos.

3.2 Classificação da pesquisa

Segundo Souza (2012), “uma pesquisa é um procedimento racional e sistemático para responder às questões que são propostas”. Este trabalho usa como métodos de pesquisa a pesquisa de campo e a pesquisa aplicada, além de pesquisas bibliográficas para elaboração do referencial teórico.

Segundo Gonsalves (2001, p.67), a pesquisa de campo é definida como:

[...] o tipo de pesquisa que pretende buscar a informação diretamente com a população pesquisada. A pesquisa de campo é aquela que exige do pesquisador um encontro mais direto. Nesse caso, o pesquisador precisa ir ao espaço onde o fenômeno ocorre, ou ocorreu e reunir um conjunto de informações a serem documentadas [...].

Pesquisa aplicada consiste na realização de um trabalho original sobre um tema já estudado ou não com a finalidade de aquisição de novos conhecimentos e com um intuito ou objetivo prático. Ou seja, objetiva gerar conhecimento para aplicação prática dirigida a solução de problemas (TUMELERO, 2019).

Caracteriza-se uma pesquisa bibliográfica pela identificação e análise de dados escritos em livros, artigos de revistas, etc. A sua finalidade é colocar o leitor em contato com o que já se sabe acerca do tema da pesquisa (GONSALVES, 2001).

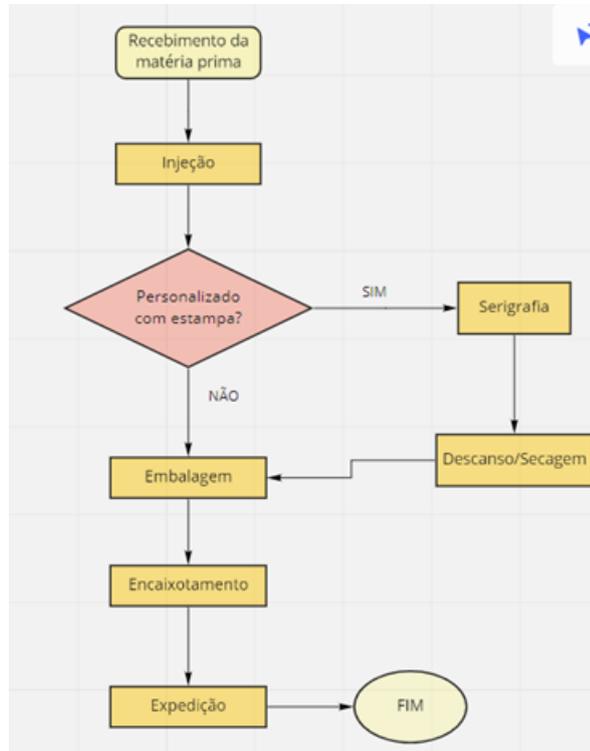
Segundo Boccato (2006, p. 266),

A pesquisa bibliográfica busca a resolução de um problema (hipótese) por meio de referenciais teóricos publicados, analisando e discutindo as várias contribuições científicas. Esse tipo de pesquisa trará subsídios para o conhecimento sobre o que foi pesquisado, como e sob que enfoque e/ou perspectivas foi tratado o assunto apresentado na literatura científica.

3.3 O processo

Em uma pesquisa de campo realizada na empresa Plasmago, o fluxo de produção apresentou um fluxograma de processos, conforme a Figura 1:

Figura 1: Fluxograma dos processos



Fonte: Dados da pesquisa (2022).

O processo analisado durante a pesquisa foi o de serigrafia, que é o processo também conhecido como *silk-screen*, impressão à base de estêncil. A tela, que é a matriz serigráfica é esticada em um quadro de madeira e o processo de impressão consiste em vazar a tinta através da tela preparada no copo, balde ou taça. Esse processo, durante o acompanhamento da produção, foi o que mais apresentou falhas ou potenciais defeitos nos produtos, o que acaba causando a maior parte dos desperdícios apresentados pela empresa.

Com isso, foi listado todas as possibilidades de falhas e defeitos apresentados durante a serigrafia. Após detectar as falhas do processo elaborou-se o FMEA com o objetivo de reduzir as chances de ocorrer novas ou a reincidência das falhas e para melhor visualização dos procedimentos.

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

O processo escolhido para ser analisado foi a serigrafia, que é a parte de estampa/*silk* do artefato plástico, podendo ele ser um balde, um copo ou uma taça. Após a escolha do processo produtivo a ser estudado, fez-se uma observação dos tipos de falha que podem ser observados durante a produção e foram encontrados:

- Falha na estampa;
- Estampa torta;
- Estampa borrada;
- Estampa errada.

Com a aplicação do FMEA, foi elaborado um mapeamento para que seja possível encontrar as falhas que podem ocorrer no processo e como são identificadas, além disso, consta como parte do FMEA, ações corretivas para a causa da falha encontrada, conforme pode ser observado no Quadro 1.

Quadro 1 – Formulário FMEA no processo de serigrafia

EMPRESA: PLASMAGO		FMEA - Análise do Modo e Efeito de Falha											Data: 30/11/2021		
Coordenador: Samanta		Equipe:							Tipo FMEA: FMEA de Processo						
Local: Plasmago		Setor: Serigrafia			Sistema:				Equipamento:						
Componente/ Processo	Função do componente	Possíveis Falhas			Controle Atual	Índices			NPR	Ações Preventivas		Índices Melhorados			NPR
		Modo(s)	Efeito(s)	Causa(s)		F	G	D		Recomendada	Adotada	F	G	D	
Colocar copo no suporte	Segurar e girar copo para serigrafia	Mal colocado	Estampa torta	Mal colocação do operador	Sensitivo e visual	2	7	1	14	Sempre confirmar o encaixe	Confirmação do encaixe	1	7	1	7
Quadro de estampa	Passar estampa para o copo	Erro de gravação	Estampa errada	Erro no desenho	Visual	1	9	3	27	Confirmar desenho escolhido com o cliente e testar em copo teste	Am bas	1	9	2	18
		Falha na gravação	Estampa falhada	Pouco tempo de gravação	Visual	4	9	3	108	Gravar quadro no tempo necessário	Usar o tempo necessário para gravação do quadro	2	9	2	36
Tinta	Gravar estampa no copo	Muita tinta	Estampa borrada	Erro na dosagem	Visual	1	9	1	9	Copo medidor	Medição visual	1	8	1	8
		Pouca tinta	Estampa falhada	Erro na dosagem	Visual	1	9	1	9	Copo medidor	Medição visual	1	8	1	8
Secagem	Fixação da estampa	Não seco	Estampa borrada	Pouco tempo de secagem	Tempo e teste de toque	1	5	1	5	Seguir tempo estabelecido para secagem	Tempo padrão de secagem	1	5	1	5
				Dias úmidos	Análise do tempo	1	5	1	5	Cronometragem	Marcar no relógio	1	5	1	5

Fonte: Dados da pesquisa (2021).

Diante do quadro, pode-se constatar que grande parte das falhas são controladas de forma visual e de formas bastante primárias, ocasionando erros que, por mais que muitas vezes são corrigíveis, ocasionam perda de produtividade e algumas vezes de produtos bons. Nesse caso, pode-se perceber que, de acordo com

o NPR calculado, a falha mais crítica para esse processo seria a falha no quadro de estampa, ocasionado pelo pouco tempo de gravação do quadro, o que causaria falhas graves de estampa e geraria um retrabalho muito maior, que seria a desgravação e nova gravação do quadro a ser utilizado.

Como o número de funcionários da empresa não é alto, devido a demanda de serviço e por serem processos simples, o tempo perdido por um funcionário para desgravação e regravação do novo quadro faria grande falta da produção diária da empresa estudada. Ocasionalmente, assim, uma falha na sequência produtiva e inclusive podendo correr risco de atraso do pedido trabalhado e dos seguintes a serem produzidos.

Para análise completa do FMEA elaborado foi feita uma análise para classificação da gravidade das falhas e frequência de ocorrência. Isso é apresentado no Quadro 2:

Quadro 2 – Tabela de auxílio ao FMEA

Componente do NPR	Classificação	Peso
FREQUÊNCIA DA CORRÊNCIA F	Improvável	1
	Muito Pequena	2 a 3
	Pequena	4 a 6
	Média	7 a 8
	Alta	9 a 10
GRAVIDADE DA FALHA G	Apenas perceptível	1
	Pouca importância	2 a 3
	Moderadamente grave	4 a 6
	Grave	7 a 8
	Extremamente grave	9 a 10
DETECTABILIDADE D	Alta	1
	Média	2 a 5
	Pequena	6 a 8
	Muito pequena	9
	Improvável	10
ÍNDICE DE RISCO NPR	Baixo	1 A 50
	Médio	50 A 100
	Alto	100 A 200
	Muito alto	200 A 1000

Fonte: Dados da pesquisa (2021).

Os outros erros observados no quadro 1 podem ser considerados de baixa gravidade de acordo com o NPR calculado e apresentado no quadro 2. E, além de baixo NPR, também foi constatado durante a pesquisa que, os copos com falhas

grotescas e que não são enviados ao cliente sofrem um tipo de reciclagem. Ou seja, cada copo estampado errado (com estampa torta, borrada ou falhada) vai para uma caixa separada que tem como destino o moedor. A moagem dos copos falhados é feita pelo fornecedor do serviço de injeção, e os copos já moídos são usados para nova injeção de outro item na cor preta, pois o corante preto é capaz de cobrir qualquer outra cor de matéria prima.

Como os pedidos são pautados em quantidades solicitadas, não deve haver sobra de produtos já estampados, visto que as produções desses itens são personalizadas. Mas, como qualquer empresa produtiva, nesta também há sempre uma margem de falha calculada para produção. Ou seja, cada pedido produzido é considerado de 5 a 10 itens a mais para caso ocorrer qualquer tipo de falha que só seja observada após a produção pronta, durante o processo de embalagem e conferência, por exemplo. Sendo assim, caso ainda ultrapasse a quantidade do pedido solicitado pelo cliente, os itens sobrantes são oferecidos ao cliente ou enviados como brinde caso a quantidade seja pequena, de 2 a 3 produtos para evitar o desperdício.

O acompanhamento feito para a elaboração do trabalho já serviu como uma grande oportunidade para a empresa de observar suas falhas e suas possibilidades de melhora, podendo ser observado que os próprios operários já ficaram atentos às suas atitudes durante o estudo. Como suas funções são muitas vezes feitas em “modo automático” e repetitivas, isso impede que sejam totalmente fiáveis.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Percebe-se que a ferramenta FMEA apresenta capacidade de mapear todas as etapas de um processo e suas possíveis falhas, além do tipo de falha, causa e efeito que ela pode causar na produção de um lote total, permitindo uma visão mais ampla de como deve-se agir em relação aos problemas encontrados e qual são as falhas que devem ser corrigidas de forma mais urgente. Ou seja, as falhas mais críticas podem ser motivo de grandes percas, tanto de produtividade tanto de produtos, ocasionando perca de lucro e rentabilidade, além de possíveis atrasos e retrabalhos, os quais poderiam ser evitados.

Para a empresa em questão é possível observar o quão grave seria algumas das falhas analisadas no trabalho, podendo ocasionar falta de produtividade diária e desperdício de produtos. Para trabalhos futuros, sugere-se obter os dados reais (tempo perdido, quantidade de produtos desperdiçados) no processo de serigrafia de um mesmo modelo em que foi aplicada a ferramenta, para que se possa obter um resultado mais preciso, visto que hoje a empresa não possui um sistema com apontamento de tempos de processo.

Além disso, seria interessante formar um plano de ação para correção das falhas listadas no FMEA para analisar as possíveis ações para corrigi-las. Apesar de a empresa em questão usar de formas bastante primárias para medições de desperdício e detecção de falhas, considera-se que ainda se sai muito bem em relação aos mesmos, tendo opções viáveis para consertar seus desperdícios sem muitas percas.

REFERÊNCIAS

AUGUST, J. Failure Mode and Effect Analysis. CQA, **American Bilrite Inc., Tape Products Division**, Moorestown (USA), 2002.

BOCCATO, V. R. C. Metodologia da pesquisa bibliográfica na área odontológica e o artigo científico como forma de comunicação. **Rev. Odontol. Univ. Cidade de São Paulo**, São Paulo, v. 18, n. 3, p. 265-274, 2006.

CORRÊA, H. L.; CORRÊA, C. A. **Administração de produção e de operações: manufatura e serviços: um enfoque estratégico**. 1 ed, São Paulo, Atlas, 2005.

DANIEL, E. A.; MURBACK, F. G. R. Levantamento bibliográfico do uso das ferramentas da qualidade. **Gestão e Conhecimento: Revista do curso de Administração**, Poços de Caldas, v. 2014, n. 8, p. 32-23, 29 dez. 2014. Disponível em: https://www.pucpcaldas.br/graduacao/administracao/revista/artigos/v2014/Artigo16_2014.pdf. Acesso em: 05 abr. 2022.

ELIAS, S. J. B.; MAGALHÃES, L. C. Contribuição da Produção Enxuta para obtenção da Produção mais Limpa. In: **ENEGEP**, 23., 2003, Ouro Preto. ABEPRO, 2003. p. 1-8. Disponível em: <https://www.producaoonline.org.br/rpo/article/view/577/623>. Acesso em: 07 abr. 2022.

FERNADES, J. **Proposição de Abordagem Integrada de Métodos da Qualidade Baseada no FMEA.** 2005. Disponível em: <http://www.produtronica.pucpr.br/sip/conteudo/dissertacoes/pdf/JoseFernandes.pdf> Acesso em: 30 mar. 2022.

GONSALVES, E. P. **Conversas sobre Iniciação à Pesquisa Científica.** 2. ed. Campinas: Alínea, 2001. 78 p. Disponível em: <https://docs.google.com/viewer?a=v&pid=sites&srcid=ZGVmYXVsdGRvbWFpbnxLYWRpd2VifGd4OjIzMjI0MmNjODU0OTdlYzZM>. Acesso em: 01 maio 2022.

LUCINDA, M. A. **Qualidade: fundamentos e prática para cursos de graduação.** 3 ed. Rio de Janeiro: Brasport, 2010.

MACHADO, S. S. **Gestão da Qualidade.** Inhumas: Sistema Escola Técnica Aberta do Brasil – E-Tec Brasil, 2012. 92 p. Disponível em: http://proedu.rnp.br/bitstream/handle/123456789/386/gestao_da_qualidade.pdf?seq. Acesso em: 23 mar. 2022.

Manual de Referência - Análise de Modo e Efeitos de Falha Potencial (FMEA). Chrysler LLC, Ford Motor Company, General Motors Corporation. Editado pelo Instituto da Qualidade Automotiva (IQA). 2008.

MEIRELES, M. **Ferramentas administrativas para identificar, observar e analisar problemas: organizações com foco no cliente.** São Paulo: Arte e Ciência, 2001.

NAZARENO, R. R.; RENTES, A. F.; SILVA, A. L. Implantado técnicas e conceitos da Produção Enxuta integradas à dimensão de análise de custos. In: **ENEGEP**, 21., 2001,

Salvador. Disponível em:
https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/50692352/ENEGEP2001_TR10_0846-with-cover-page-v2.pdf?Expires=1649344522&Signature=E4eLXzFUjYjY1wf7VYy0y01YPrrqpRIYpwrpxxAHRN1IFWOwJ1bjdqs6643UrxoOh1J4b0DabB5XwiiDrCOgVCuPoHTTMTnnHk5fsRM~tIKUNdchKfA-i0nX7leqlx24fkIIca25-Cm~bZ~trGoJBni3qhVfwjtC5riAmBtRD4lJdGJWNMtRCKUORdIJyKanx5pcxlk62Tlp5vWvKIEb1JHZ6ODbzjbnslMB5-QWn7E6oIC1Z-4UHDfRRIQkc7ULXRzyc7MiA7QI04S50ocSw9z01RBOBXEPnP-LnuvtVO6~tDtCcvCdfi78Dzjq3s~Y0NeCjqXRzuc8n3ODERJFg__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA. Acesso em: 07 abr. 2022.

RAMOS, H. A.; CHAVES, C. A.; BRANDALISE, N. Aplicação do Método Fmea no Processo de Climatização de uma Indústria Automobilística. In: **Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia**, 9., 2012, Rio de Janeiro. Disponível em: <https://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos12/551691.pdf>. Acesso em: 30 mar. 2022.

SANKAR, N. R.; PRABHU, B. S. Modified approach for prioritization of failures in a system Failure mode and Effects Analysis. **International Journal of Quality & Reability Management**. Chennai (India), v. 18, n. 3, p. 324-335, 2001.

SOUZA, R. V. B. **Aplicação do método FMEA para priorização de ações de melhoria em fluxos de processos**. 2012. 152 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Produção, Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18156/tde-15012013-103231/publico/DissertSouzaRuyVictorBdeCorrig.pdf>. Acesso em: 01 maio 2022.

TAJ, S.; MOROSAN, C. The impact of lean operations on the Chinese manufacturing performance. **Journal of Manufacturing Technology Management**. Houston (USA), v. 22, n. 2, p. 223-240, 2011.

TUMELERO, N. **Pesquisa aplicada**: material completo, com exemplos e características. Material completo, com exemplos e características. 2019. Disponível em: <https://blog.metzger.com/pesquisa-aplicada/>. Acesso em: 01 maio 2022.

VERGUEIRO, W. **Qualidade em serviços de informação**. 2002. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=pOhOtn8HOiUC&pg=PA52&dq=Ferramentas+da+Qualidade&hl=pt-BR&sa=X&ei=9Q-hUKi-Ooua8gSypYHwAw&q=Ferramentas+da+Qualidade>. Acesso: 05 mar. 2022.



ESTUDO DE CASO E ANÁLISE ECONÔMICA SOBRE A VERTICALIZAÇÃO DA PRODUÇÃO DE TUBOS DE DISTRIBUIÇÃO DE GÁS INFLAMÁVEL UTILIZADOS EM ELETRODOMÉSTICOS

Rafael Eller Riscaroli,
Felipe Gesser Battisti

Resumo: Este trabalho apresenta um estudo de caso realizado na empresa Ponto XY, fabricante de eletrodomésticos da linha branca. Tal empresa produziu aproximadamente um milhão de eletrodomésticos no ano de 2020, atuando tanto no mercado nacional quanto no internacional. Neste cenário, o crescente aumento no consumo de bens e serviços faz com que a competitividade no mercado aumente, o que impulsiona as empresas a buscarem aperfeiçoar seus processos produtivos e planejamentos estratégicos a fim de reduzir custos e aumentar a qualidade dos produtos. Dentre as formas para alcançarem tais resultados, deve ser avaliada a capacidade técnica e a viabilidade econômica de produção interna ou por terceiros. É neste sentido que se dá o desenvolvimento deste trabalho, o qual tem por objetivo analisar a capacidade técnica e a viabilidade econômica para a verticalização da fabricação de tubos de distribuição de gás inflamável utilizados em eletrodomésticos, os quais são fabricados a partir de processos de fabricação mecânica, especificamente trefilação, laminação, dobramento, estampagem de corte e forjamento. Realiza-se a análise de cada processo para avaliar sua capacidade e seus parâmetros, permitindo computar os investimentos necessários para a verticalização desta demanda e os benefícios gerados, possibilitando realizar a análise econômica do projeto a partir dos indicadores financeiros de Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR) e Payback simples. A análise econômica resultou em VPL de R\$ 331.812,23 com TIR de 51% a.m., correspondendo a Payback simples inferior a dois meses, o que resulta em um projeto com alto índice de aprovação.

Palavras-chave: *Linha Branca. Verticalização de produção. Processos de fabricação. Análise econômica.*

1. INTRODUÇÃO

A evolução das indústrias e a acirrada concorrência forçam as empresas a buscar por alternativas que os mantenham competitivas no mercado que atuam, superando

Rafael Eller Riscaroli, Felipe Gesser Battisti. Estudo de Caso e Análise Econômica Sobre a Verticalização da Produção de Tubos de Distribuição de Gás Inflamável Utilizados no Setor de Eletrodomésticos

Estudo De Caso E Análise Econômica Sobre A Verticalização Da Produção De Tubos De Distribuição De Gás Inflamável Utilizados Em Eletrodomésticos

assim o aumento de concorrentes, fusões entre empresas e o aumento da exigência entre os clientes (VEY *et al.*, 2014).

O setor de eletrodomésticos está em crescente expansão no Brasil, no qual registrou o recorde de faturamento no terceiro trimestre de 2020, com receita de R\$ 4,3 bilhões, o qual gerou um crescimento de 114,8% ao ano anterior, superior à média do mercado nacional que teve o aumento de 85,1% (E-COMMERCE BRASIL, 2020). Tais aumentos, impõe as indústrias de linha branca a vivenciar momentos de transformações em seus processos produtivos, as quais buscam por estratégias de produção que agreguem maiores benefícios para a companhia (CALIFE; NOGUEIRA; FILHO, 2010).

Devido às dificuldades enfrentadas pelas indústrias fabricantes de eletrodomésticos classificados como de linha branca, Hayes *et al.* (2008) descreve que determinar quais atividades devem ser realizadas internamente e quais devem ser terceirizadas a fornecedores é uma das decisões estratégicas mais importantes com a qual empresas deparam-se.

Assim como outras companhias do setor, a companhia Ponto XY¹ sonda métodos de produtividade que reduzem os custos de fabricação de componentes utilizados na montagem dos produtos e aumenta a qualidade do produto entregue ao cliente.

A companhia Ponto XY é uma empresa pioneira no mercado de linha branca, responsável por produzir aproximadamente 1 milhão de eletrodomésticos em 2020. Entre estes, estão os produtos que utilizam gás inflamável, como os Fogões de Piso, *Cooktop* e Churrasqueiras, produtos estes que utilizam um tubo de distribuição, conforme ilustra a Fig. 1, a qual é responsável por distribuir o gás inflamável entre os queimadores do equipamento.

¹Adotou-se o nome fictício Ponto XY para a empresa no decorrer deste trabalho por motivo da confidencialidade.

Estudo De Caso E Análise Econômica Sobre A Verticalização Da Produção De Tubos De Distribuição De Gás Inflamável Utilizados Em Eletrodomésticos

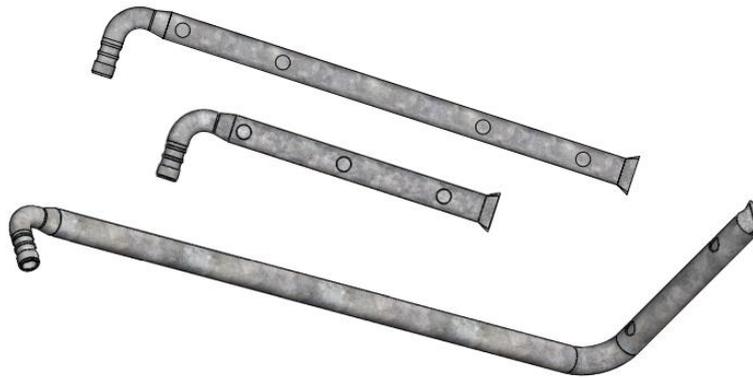


Figura 1. Exemplos de tubos de distribuição (OS AUTORES).

Com o princípio de reduzir o custo dos produtos adquiridos pela companhia Ponto XY, dá-se a importância de avaliar a capacidade para verticalizar o processo produtivo dos modelos fabricados por terceiros, visto que já é realizada a fabricação de itens similares internamente e apenas uma parte é terceirizada no momento.

A fabricação dos tubos é realizada a partir de processos de conformação mecânica, a qual Bresciani Filho *et al.* (2011) descreve como processos de conformação plástica, no qual comumente aplica-se tensões inferiores ao limite de resistência à ruptura do material e permite a fabricação de peças com a utilização do material em seu estado sólido.

O desenvolvimento deste trabalho é de grande importância para a companhia Ponto XY, pois a verticalização desta produção pode agregar diversos benefícios, como redução de custo, maior utilização dos recursos internos, maior controle de qualidade e menor *lead time*, ou seja, menor tempo de resposta para a chegada dos componentes na linha de montagem do produto final.

Este trabalho objetiva avaliar a verticalização da produção dos tubos de distribuição, em que será avaliado a disponibilidade da célula de trabalho, a capacidade de produção em cada processo, a necessidade e desenvolvimento de adequações, dispositivos e ferramentas. Posteriormente, realizar o estudo de viabilidade econômica e financeira sobre a verticalização da produção.

Estudo De Caso E Análise Econômica Sobre A Verticalização Da Produção De Tubos De Distribuição De Gás Inflamável Utilizados Em Eletrodomésticos

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nesta seção, inicialmente, contextualiza-se o setor de eletrodomésticos de linha branca. Então, são apresentados os métodos de produção e as particularidades das abordagens vertical e horizontal, os indicadores de desempenho de equipamento e os processos de fabricação dos tubos de distribuição.

2.1. Indústria de Linha Branca

A indústria de linha branca é responsável por produzir eletrodomésticos que contribuem com atividades realizadas diariamente por seus consumidores, poupando-lhes tempo e permitindo-lhes realizar outras tarefas (DINIZ, 2010). Neste mercado, entre os principais produtos estão os fogões, fornos micro-ondas, refrigeradores, freezers verticais e horizontais, lavadoras de roupas e de louças (ROTTA; COELHO; MEDONÇA, 2013).

Conforme descreve Mascarenhas (2005), o Brasil apresenta um dos países com um dos maiores mercados de eletrodomésticos em volume do mundo. Tal fator atraiu várias empresas multinacionais ao país, motivando assim as grandes transformações que o setor vem enfrentando desde 1994.

Atualmente, as empresas estão enfrentando grandes desafios devido ao mercado competitivo, os quais impulsionam a busca por alternativas que proporcionam redução de custos e o desenvolvimento de produtos diferenciados, com maior qualidade e menor prazo de entrega (CALIFE; NOGUEIRA; FILHO, 2010).

2.2. Métodos de Produção - Verticalização e Horizontalização

As empresas estão sempre em busca de aprimorar a qualidade e eficiência dos seus processos, assim como de melhorar a sua gestão de negócios para aumentar sua aderência ao mercado de atuação. Desta forma, é possível avaliar a produção

Estudo De Caso E Análise Econômica Sobre A Verticalização Da Produção De Tubos De Distribuição De Gás Inflamável Utilizados Em Eletrodomésticos

como vertical ou horizontal, as quais são definidas a partir de uma reestruturação organizacional (CORRÊA, 2021).

O método de produção vertical busca realizar os processos dentro da empresa, sem o envolvimento de terceiros. Método este, já utilizado por grandes empresas, as quais buscavam produzir todos os itens de consumo para fabricação e montagem de seus produtos, preservando assim o controle e as tecnologias empregadas no processo de produção e de seus negócios (ALVES, 2019).

Já a horizontalização, de acordo com Borinelli (1998), consiste em realizar a compra de componentes/ produtos de fornecedores externos, fatores estes que estimulam o nascimento de pequenas empresas, as quais iniciam sua produção especificamente para atender demandas de outras empresas.

A terceirização da produção apresenta fatores positivos e negativos para as indústrias, em que Borinelli (1998) descreve como fator positivo a concentração da empresa em realizar somente suas atividades principais, sendo os produtos fabricados por empresas especializadas em cada processo e, conseqüentemente, os custos fixos passam a ser custos variáveis. Em contrapartida, Aragão, Holanda e Fontana (2016), enfatizam que a partir de uma tomada de decisão errada a produção terceirizada pode trazer conseqüências negativas para a companhia, como a falta de confiabilidade dos produtos, entregas fora de prazo e menor qualidade dos produtos, os quais podem levar a empresa a reduzir suas vendas e até mesmo à falência.

Já para Marques (2019), a verticalização pode trazer inúmeras vantagens para as companhias, como a autonomia sobre a relação de produção e venda e o uso da própria tecnologia para facilitar o domínio sobre a produção.

2.3. OEE – Overall Equipment Effectiveness

De acordo com Alvarenga (2018), a Eficiência Geral de Equipamentos – em tradução livre de *Overall Equipment Effectiveness (OEE)* – é um indicador desempenho de um equipamento ou de uma área produtiva, ou seja, ele avalia a produção real com relação à produção ideal.

Estudo De Caso E Análise Econômica Sobre A Verticalização Da Produção De Tubos De Distribuição De Gás Inflamável Utilizados Em Eletrodomésticos

O resultado do indicador de *OEE* é dado pela multiplicação entre as taxas de disponibilidade do equipamento, eficiência e a qualidade de produção, sendo que seu resultado é expresso em percentual (ZATTAR; RUDEK; TURQUINO, 2010).

A equação utilizada para o cálculo de disponibilidade pode ser diferente entre empresas ou mesmo entre setores, mas mantém a mesma representação: a ocupação de um determinado equipamento em relação às horas totais planejadas (VIANA, 2002).

Conforme descreve Mesquita (2015), às perdas de disponibilidade de um equipamento são as paradas não programadas, ou seja, eventos que interrompem o tempo planejado para produção, como quebras de máquina, falta de material e *setup*.

De acordo com Zattar, Rudek e Turquino (2010), a taxa de desempenho é a relação entre o tempo padrão de produção e o tempo real, enquanto a taxa de qualidade representa a proporção de itens com defeito em relação ao volume total produzido.

2.4. Processos Mecânicos de Fabricação

De acordo com Santos e Quadros (2018), os processos de fabricação tiveram origem a partir das necessidades de sobrevivência, quando o homem primitivo passou a realizar operações de desbaste, polimento e fixação de pedras a outro elemento. Por volta de 4.000 a.C., houve a substituição das pedras por metais, iniciando-se por cobre, bronze e, posteriormente, ferro.

Os processos de fabricação são formas de produzir uma peça com a geometria desejada a partir da transformação de matérias-primas em produtos, os quais são utilizados em grande escala nas indústrias automobilística, de máquinas agrícolas, entre outros (SANTOS; QUADROS, 2018).

Entre as técnicas de fabricação de peças metálicas, a conformação mecânica é um campo de grande importância, em que o material está sujeito a aplicações de esforços mecânicos externos, proporcionando a mudança da geometria e dimensões dos metais (HELMAN; CETLIN, 2010).

Estudo De Caso E Análise Econômica Sobre A Verticalização Da Produção De Tubos De Distribuição De Gás Inflamável Utilizados Em Eletrodomésticos

Dentre os processos de fabricação mecânica, os processos cobertos neste trabalho são de trefilação, laminação, dobramento, estampagem de corte e forjamento.

2.4.1. Processo de Trefilação

De acordo com Bresciani Filho *et al.* (2011), a trefilação caracteriza-se pelo processo de direcionar uma peça - a qual pode ser um fio, barra ou tubo - através de uma ferramenta denominada fieira que possui em seu centro um furo com diferentes dimensões de diâmetro e ângulos, conforme mostra a Fig.2.

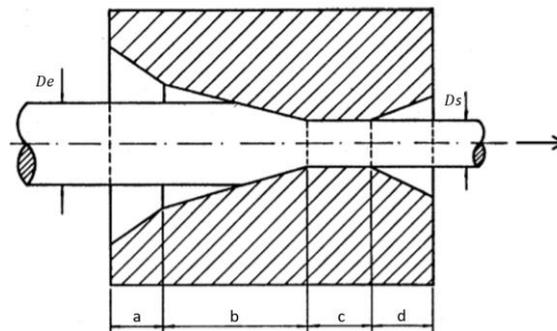


Figura 2. Modelo e regiões internas da fieira: D_e) diâmetro de entrada, D_s) diâmetro de saída, a) cone de entrada, b) cone de trabalho, c) cilindro de calibração e d) cone de saída do material (Adaptado de BRESCIANI FILHO *et al.*, 2011).

O percentual de redução na área e a forma final podem ser modificados pela geometria da fieira. Normalmente, o processo ocorre à temperatura ambiente, mas a depender o nível de redução final, o processo pode ser realizado em diversos passes e pode ser utilizado o recozimento entre cada passe (SOUZA, 2011).

2.4.2. Processo de Laminação

A laminação dos metais é um processo de conformação que consiste na passagem de uma peça entre dois cilindros rotativos, os quais exercem altas tensões de compressão sobre o material, conforme mostra a Fig. 3. Devido a este processo

Estudo De Caso E Análise Econômica Sobre A Verticalização Da Produção De Tubos De Distribuição De Gás Inflamável Utilizados Em Eletrodomésticos

proporcionar alta produtividade e bom controle dimensional, ele é um dos processos mais utilizados dentre os de transformação mecânica (LOVATO NETO, 2006).

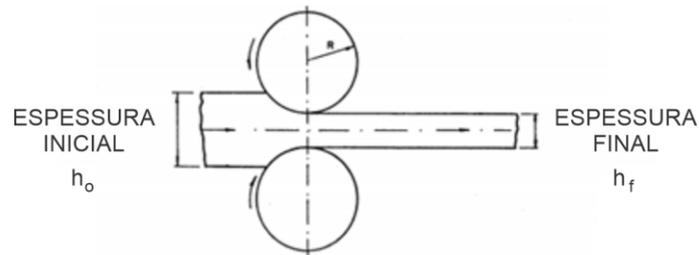


Figura 3. Ilustração do processo de laminação (BRESCIANI FILHO *et al.*, 2011).

2.4.3. Processo de Dobramento de Tubos

O processo de dobramento consiste em utilizar uma peça inicial em forma de tira, a qual são aplicados esforços em duas direções opostas para provocar a flexão e conseqüentemente a deformação plástica, resultando assim, em duas superfícies em ângulo e com raio de concordância entre ambas (BRESCIANI FILHO *et al.*, 2011).

Os processos de dobramento de tubos têm grande aplicação na fabricação de componentes, com ênfase nas indústrias aeronáutica, de eletrodomésticos, automotiva e para a fabricação de estruturas no setor da construção civil (GONZÁLEZ, 2000).

Entre as formas de realizar o processo, os principais métodos estão apresentados na Fig.4.

Estudo De Caso E Análise Econômica Sobre A Verticalização Da Produção De Tubos De Distribuição De Gás Inflamável Utilizados Em Eletrodomésticos

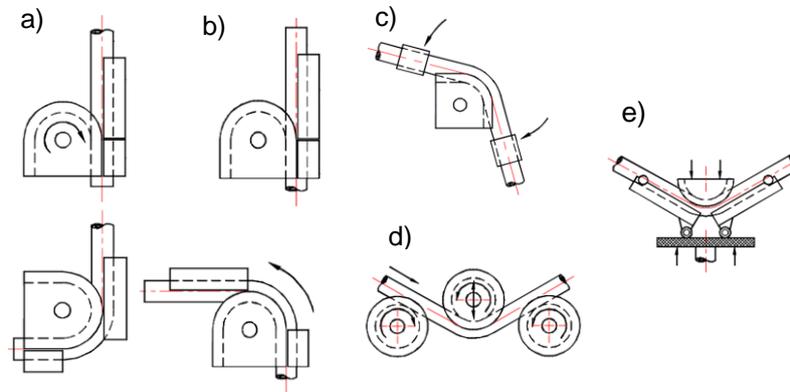


Figura 4. Principais processos para dobramento de tubos (Adaptado de GONZÁLEZ, 2000).

sendo, a) dobramento por tração, b) dobramento por compressão, c) dobramento por estiramento, d) dobramento por calandragem e, e) dobramento por prensa hidráulica.

2.4.4. Processo de Estampagem de Corte

Os processos de estampagem abrangem as operações realizadas em prensas, com o objetivo de deformar o material, transformando-as em produtos com dimensões precisas e formas geométricas definidas, em que conforme a necessidade de cada produto há processos de estampagem específicos e diferentes parâmetros de processo (DALEFFE, 2008).

Conforme descreve Brito (2004), o processo de estampagem é muito utilizado por proporcionar baixo custo de operação e por sua homogeneidade entre cada peça, o que faz as empresas desenvolverem ao máximo os processos de estamparia, automatizando e simplificando os processos a partir de estudos, planejamentos e projetos.

Conforme mostra a Fig.5, durante o processo de estampagem de corte, a matriz e o punção submete o material a passar por três estágios até o momento do corte da peça, os quais são o esmagamento, cisalhamento e a ruptura (BRITO, 2004).

Estudo De Caso E Análise Econômica Sobre A Verticalização Da Produção De Tubos De Distribuição De Gás Inflamável Utilizados Em Eletrodomésticos

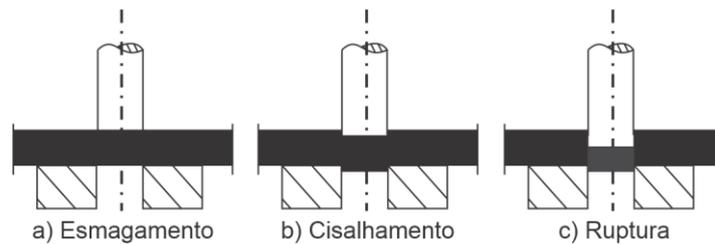


Figura 5. Estágios de corte por estampagem (Adaptado de BRITO, 2004).

2.4.5. Forjamento

O processo de forjamento consiste em realizar a alteração da geometria da peça, a qual comumente é realizada a quente, embora também possa ser efetuado a frio. O processo pode ser executado por martelamento, ou seja, os martelos provocam impactos sobre o material os quais geram a deformações na peça ou a partir de prensas, as quais aplicam pressão gradativamente sobre o material em baixa velocidade (BRESCIANI FILHO *et al.*, 2011).

De acordo com Helman e Cetlin (2010), a operação de forjamento pode ser realizada em matriz aberta ou em matriz fechada, isto é, matrizes abertas são de baixa complexibilidade e com pequena restrição sobre o movimento do material, enquanto matrizes fechadas possuem maior complexibilidade e o material deve adotar a geometria da matriz, conforme mostra a Fig. 6.

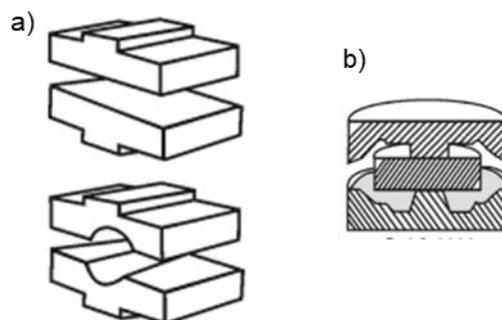


Figura 6. Exemplos de matrizes para forjamento. a) Matriz aberta. b) Matriz fechada (Adaptado de HELMAN; CETLIN, 2010).

Estudo De Caso E Análise Econômica Sobre A Verticalização Da Produção De Tubos De Distribuição De Gás Inflamável Utilizados Em Eletrodomésticos

2.5. Estudo de Viabilidade Econômica e Financeira

Para as empresas, um investimento é realizado com o objetivo de aumentar os fluxos de benefícios gerados em seus processos. Conforme descreve Souza e Clemente (2015), um investimento só é caso este apresente perspectiva de retornar benefícios futuros.

Entre os métodos de avaliação, pode estar baseado ao fluxo de caixa, a qual são características principais o fluxo de caixa e avaliados com os indicadores de *Payback*, taxa interna de retorno e o valor no presente líquido ou baseado através de resultados econômicos/contábil, os quais consideram os impactos econômicos de um projeto por meio das demonstrações do balanço patrimonial e resultados. (FREZATTI, 2008).

Entre os diversos tipos de indicadores para análise financeira, para o desenvolvimento de estudo de viabilidade econômica e financeira, as ferramentas utilizadas são: Valor Presente Líquido, Taxa Interna de Retorno e o *Payback* Simples.

2.5.1. Valor Presente Líquido

Conforme descrito por Brom e Balian (2007), a análise de Valor Presente Líquido (VPL) busca trazer todos os fluxos de caixas de um projeto de investimento para o valor atual, ou seja, esta análise faz a comparação entre o valor necessário de investimento com os valores de retorno esperados em forma de fluxo de caixa líquido.

Resultados de VPL superiores a zero representam, financeiramente, que se deve dar continuidade ao projeto; por outro lado, para resultados negativos, conclui-se que o projeto deve ser descartado (CAMLOFFSKI, 2014). O cálculo de VPL é dado por

$$VPL = \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+i)^t}, \quad \text{Eq. (1)}$$

em que *FC* representa o fluxo de caixa, *t* o momento em que o fluxo de caixa ocorreu, *i* a taxa de desconto ou taxa mínima de atratividade e *t* o período de tempo.

Estudo De Caso E Análise Econômica Sobre A Verticalização Da Produção De Tubos De Distribuição De Gás Inflamável Utilizados Em Eletrodomésticos

2.5.2. Taxa Interna de Retorno

A Taxa Interna de Retorno (TIR) é um indicador financeiro que representa a taxa média periódica de retorno gerada por um determinado projeto. Ela não depende de informações externas ao próprio fluxo de caixa, isto é, iguala as entradas e as saídas de um projeto, resultando em VPL igual a zero (BROM; BALIAN, 2007). A TIR pode ser calculada por

$$VP = \text{capital} + \sum_{t=1}^N \frac{F_t}{(1+i)^t}, \quad \text{Eq. (2)}$$

sendo VP o valor presente, capital o valor de investimento, N a quantidade de períodos, F_t a entrada de capital no período t e i a taxa interna de retorno.

2.5.3. Payback Simples

O método do *Payback* simples PB é uma forma de avaliar o período necessário para se recuperar o investimento realizado. Por não considerar o custo de capital da empresa, o desenvolvimento deste é simples e rápido (BRUNI; FAMÁ, 2017), sendo obtido como

$$PB = \frac{I}{L}, \quad \text{Eq. (3)}$$

em que I é o investimento realizado no projeto e L o lucro obtido com o investimento.

A validação de um projeto a partir da análise financeira por meio do *payback* simples pode apresentar diferentes resultados. Para *payback* simples menor do que o prazo máximo de recuperação do capital investido, o projeto apresenta viabilidade financeira e deve ser aceito. Caso o *payback* simples seja maior do que o prazo

Estudo De Caso E Análise Econômica Sobre A Verticalização Da Produção De Tubos De Distribuição De Gás Inflamável Utilizados Em Eletrodomésticos

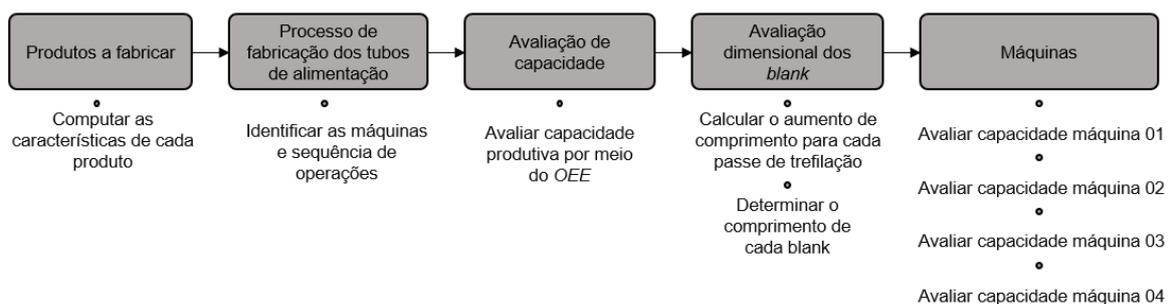
máximo de recuperação do capital investido, não se deve dar continuidade ao projeto. Finalmente, para *payback* simples igual ao prazo máximo de recuperação do capital investido, é indiferente a continuidade ou não do projeto (BRUNI; FAMÁ, 2017).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Em 2020, 88% dos tubos de distribuição utilizados nos produtos fabricados pela companhia Ponto XY foram produzidos internamente. O processo de fabricação dos tubos de distribuição é realizado em uma célula de trabalho composta por quatro máquinas instaladas, as quais são responsáveis por todas as operações de fabricação.

O restante da produção dos tubos de distribuição é realizado por terceiros, o qual corresponde a 12% da produção. O desenvolvimento deste estudo de caso consiste em avaliar a capacidade e a viabilidade econômica em verticalizar a produção destes modelos, visto que a demanda dos produtos que utilizam os tubos de distribuição fabricados por terceiros está em constante aumento, os quais devem passar a representar 28% sobre a produção total, ou seja, a demanda terá um crescimento de 45580 para 128760 unidades anual.

Objetiva-se deste estudo, avaliar a disponibilidade, capacidades de máquina, a necessidade no desenvolvimento de ferramentas, adequações em sistemas de enclausuramento e dispositivos, posteriormente realizar a análise econômica do projeto. A Figura 7 apresenta o processo para o desenvolvimento deste estudo e o respectivo fluxograma das atividades desenvolvidas. Na sequência, cada procedimento é descrito detalhadamente.



Estudo De Caso E Análise Econômica Sobre A Verticalização Da Produção De Tubos De Distribuição De Gás Inflamável Utilizados Em Eletrodomésticos

Figura 7. Processo de desenvolvimento do estudo de caso e o respectivo fluxograma de atividades (OS AUTORES).

3.1. Avaliação dos Novos Produtos

A avaliação dos novos produtos é de grande importância para uma produção de qualidade. A partir do detalhamento técnico de cada produto é realizada a avaliação das características que podem impactar o processo de fabricação dos tubos de distribuição, os quais são fabricados em aço ABNT 1010, inicialmente com diâmetro externo de 15,87 mm e espessura de parede de 0,95 mm.

Identificada a mesma geometria de forjamento da extremidade para todos os produtos, adotou-se este como ponto inicial para a avaliação das distâncias entre os furos, conforme apresenta a Fig.8.

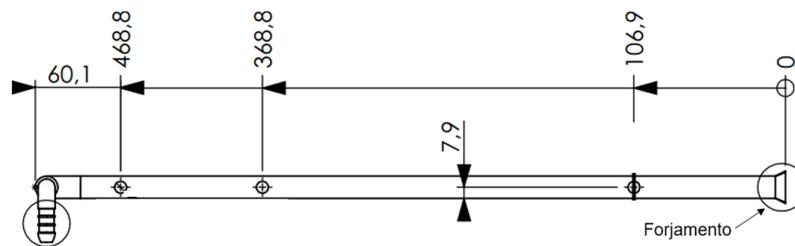


Figura 8. Detalhamento do tubo de distribuição modelo A003 (OS AUTORES).

Características adicionais de cada modelo são apresentadas na Tab. 1, sem suas tolerâncias dimensionais.

Estudo De Caso E Análise Econômica Sobre A Verticalização Da Produção De Tubos De Distribuição De Gás Inflamável Utilizados Em Eletrodomésticos

Tabela 1. Características dos novos produtos (OS AUTORES).

Item	Produção mensal [-]	Comprimento total [mm]	Número de furos [-]	Distância entre furos [mm]
A001	131	1040,5	4	56,8 - 156,8 - 368,8 - 468,8
A002	3382	883	5	20 - 110 - 170 - 230 - 289
A003	65	1040,5	3	106,9 - 368,8 - 468,8
A004	27	676,1	2	33,5 - 133,5
A005	7527	938,5	6	20 - 140 - 200 - 260 - 320 - 380
A006	573	1262,9	5	57,1 - 222,5 - 100 - 212 - 100

Complementando a Tab. 1 e as demais dimensões apresentadas neste trabalho, as tolerâncias dimensionais não especificadas são adotadas conforme mostra a Tab. 2.

Tabela 2. Tolerâncias dimensionais não especificadas diretamente (Adaptado da NBR ISO 2768-1, 2001).

		Dimensões em mm					
Classe de tolerância		Afastamentos admissíveis para intervalo de dimensões básicas					
Designação	Descrição	Acima de 0,5	Acima de 3	Acima de 6	Acima de 30	Acima de 120	Acima de 400
			Até 3	Até 6	Até 30	Até 120	Até 400
m	médio	± 0,1	± 0,1	± 0,2	± 0,3	± 0,5	± 0,8

Estudo De Caso E Análise Econômica Sobre A Verticalização Da Produção De Tubos De Distribuição De Gás Inflamável Utilizados Em Eletrodomésticos

3.2. Equipamentos e Processos de Fabricação

Esta avaliação objetiva computar a capacidade de produção de cada máquina para comportar os novos produtos e respectivas quantidades, comprimentos e distâncias entre os furos. Busca-se avaliar quais recursos necessitam de investimentos para desenvolvimento de adequações, dispositivos ou novas ferramentas.

Inicialmente, computou-se o mapeamento do processo de fabricação dos tubos de distribuição com a utilização da ferramenta *SIPOC* - abreviação em inglês dos termos, *Suppliers*, *Inputs*, *Process*, *Outputs* e *Customer* - a qual objetiva mapear as principais entradas e saídas e os processos envolvidos (SANTOS, 2021). O processo para a fabricação dos tubos de distribuição é realizado conforme mostra a Fig.9.

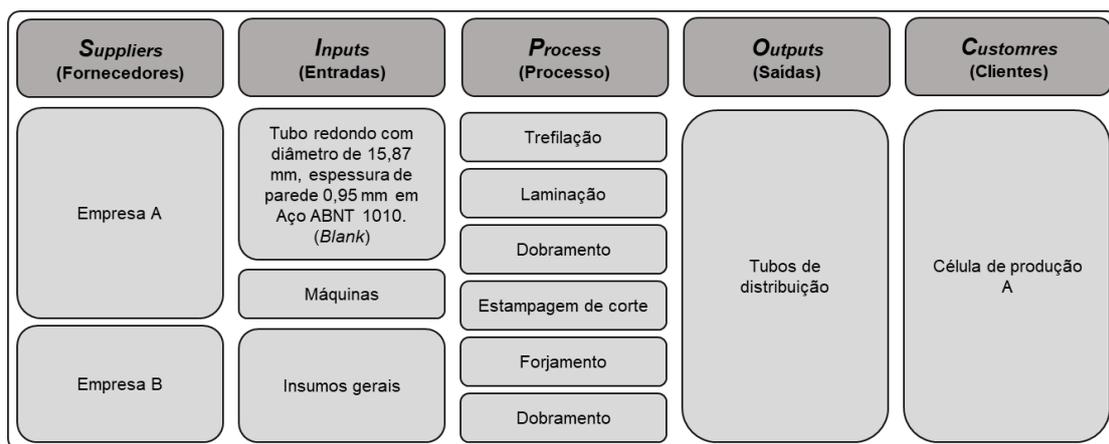


Figura 9. Mapa de processo de fabricação dos tubos de distribuição (OS AUTORES).

Para avaliação de disponibilidade as informações referentes aos tempos de ciclo, de produção, paradas, entre outros, foram coletadas através do sistema *on-line* utilizado pela empresa Ponto XY. Para avaliação de capacidade dos recursos, foram utilizadas as informações referentes a cada equipamento junto à avaliação *in loco* com o *blank* (ou seja, o tubo antes das operações) de cada produto.

Estudo De Caso E Análise Econômica Sobre A Verticalização Da Produção De Tubos De Distribuição De Gás Inflamável Utilizados Em Eletrodomésticos

3.3. Avaliação OEE

Ao iniciar a produção de novos produtos ou ao aumentar a produção, é realizada a avaliação de disponibilidade do centro de trabalho para atender à demanda adicional.

O desenvolvimento da avaliação de disponibilidade tem como base a produção mensal e o tempo de ciclo correspondente ao processo gargalo, ou seja, o mais demorado dentre as etapas de fabricação.

Para avaliação de disponibilidade, as paradas de máquina, sejam por estratégia de produção ou manutenções preventivas, não são consideradas, devido ao recurso continuar disponível para trabalho, mas se consideram paradas por manutenção corretiva e paradas não programadas (ALVARENGA, 2018).

A disponibilidade *Disp* atual da célula de trabalho para atender ao aumento na demanda de produção mensal é dada por

$$Disp = \frac{T_p}{T_{pp}} \cdot 100, \quad \text{Eq. (4)}$$

sendo T_p o tempo de produção real e T_{pp} o tempo de produção planejada.

Para determinar o tempo de produção dos novos itens, avaliou-se o tempo necessário para cada produto com a eficiência (η) do centro de trabalho, em que Mesquita (2015) descreve que a eficiência calcula as perdas de velocidade durante a produção, incluindo todos os fatores que fazem a produção ser menor do que a máxima possível, isto significa, comparar o tempo em que a peça deveria ser produzida com o tempo real. Tal conceito é expresso por

$$\eta = \frac{T_{ci} \cdot S_{pp}}{T_p} \cdot 100, \quad \text{Eq. (5)}$$

sendo T_{ci} o tempo de ciclo ideal e S_{pp} o somatório de peças produzidas.

Estudo De Caso E Análise Econômica Sobre A Verticalização Da Produção De Tubos De Distribuição De Gás Inflamável Utilizados Em Eletrodomésticos

Complementado o indicador de *OEE* da célula de trabalho, é determinado a taxa de qualidade da produção, a qual é contabilizada a partir das peças que foram segregadas do processo por má qualidade e direcionadas a sucata ou retrabalhadas (MESQUITA, 2015). A Taxa de qualidade é dada por

$$Qualidade = \frac{Peças\ boas}{Total\ de\ peças\ produzidas} .100, \quad Eq. (6)$$

3.4. Avaliação Dimensional dos *Blanks*

Para desenvolvimento deste estudo e análise técnica de cada equipamento, devem ser determinadas as especificações para cada *blank* em cada operação de trefilação, a qual é um processo sem remoção de material, isto é, o volume de material é constante ao decorrer das operações, o que resulta no aumento do comprimento do tubo.

O comprimento inicial da região a qual é realizado o processo de trefilação é dado por L_i , conforme ilustra a Fig.10.



Figura 10. Modelo de *blank* (OS AUTORES).

O processo de redução de diâmetro é realizado a partir da conformação por trefilação. Nela o comprimento inicial L_i é de 47 mm com diâmetro externo no primeiro passe de 15,87 mm e o diâmetro externo de saída desta operação é de 14 mm, na qual o comprimento após a primeira operação é dado por L_f , conforme mostra a Fig.11.

Estudo De Caso E Análise Econômica Sobre A Verticalização Da Produção De Tubos De Distribuição De Gás Inflamável Utilizados Em Eletrodomésticos



Figura 11. Tubo após o primeiro passe de trefilação (OS AUTORES).

Posteriormente, o tubo de distribuição é direcionado para o segundo passe, em que se conclui o processo de trefilação com diâmetro externo de 12 mm e comprimento final dado por L_f' , conforme apresentado na Fig. 12.



Figura 12. Tubo após o segundo passe de trefilação (OS AUTORES).

Conforme apresentado no Apêndice A, o comprimento inicial L_i de 47 mm resultou em comprimentos $L_f = 53,7$ mm e $L_f' = 61,5$ mm, ou seja, os aumentos de comprimento no primeiro e segundo passe de trefilação são de $x' = 6,7$ mm e $x'' = 7,7$ mm, respectivamente.

Com base nas características dimensionais apresentadas na Tab. 1, o comprimento de cada *blank* dado por L_{blank} é determinado por

$$L_{blank} = L_{prod} - x' - x'' \quad , \quad \text{Eq. (6)}$$

em que L_{prod} é o comprimento total do tubo conforme produto acabado.

Posteriormente, foram definidas as dimensões dos *blanks* entre cada operação, conforme mostra a Tab.3. Nela, L_{total}' determina o comprimento do *blank* após o primeiro passe de trefilação e L_{total}'' o comprimento do *blank* após o segundo passe de trefilação.

Estudo De Caso E Análise Econômica Sobre A Verticalização Da Produção De Tubos De Distribuição De Gás Inflamável Utilizados Em Eletrodomésticos

Tabela 3. Características dimensionais de cada *blank* (OS AUTORES).

Modelo	L_{prod} [mm]	L_{blank} [mm]	L_{total}' [mm]	L_{total}'' [mm]
A001	1040,5	1026	1032,7	1040,4
A002	883	868,5	875,2	882,9
A003	1040,5	1026	1032,7	1040,4
A004	676,1	661,6	668,3	676
A005	938,5	924	930,7	938,4
A006	1262,9	1248,4	1255,1	1262,8

Após a definição de comprimento de cada *blank*, prossegue-se para a avaliação de capacidade em cada máquina.

3.5. Avaliação de Capacidade das Máquinas

Esta análise tem como objetivo avaliar a capacidade em iniciar a produção dos novos produtos internamente, ou seja, a partir das especificações de cada produto e as respectivas dimensões de cada *blank*, avaliar a capacidade ou as necessidades de investimentos em cada equipamento.

3.5.1. Máquina 01 – Redução de Diâmetro por Trefilação

Para realizar a operação de redução do diâmetro, o *blank* é posicionado para o primeiro passe. Após realizado o processo, transfere-se o tubo para a segunda redução e posiciona-se um novo *blank* na primeira operação e, então, aciona-se o equipamento novamente. Tal processo ocorre conforme apresentado na Fig.13. Assim, a cada ciclo, uma peça sai pronta e outra encontra-se parcialmente processada.

Estudo De Caso E Análise Econômica Sobre A Verticalização Da Produção De Tubos De Distribuição De Gás Inflamável Utilizados Em Eletrodomésticos

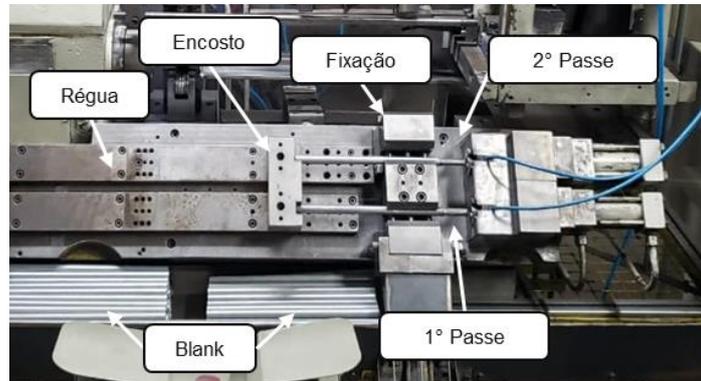


Figura 13. Máquina para o processo de trefilação (OS AUTORES).

Identificou-se que o equipamento atual possui capacidade para tubos com comprimento máximo de 965,8 mm, havendo necessidade de realizar *setup* para alterar a posição do encosto conforme o modelo a ser produzido.

O encosto é fixado à régua, na qual há posicionamentos específicos de fixação para cada modelo já produzido internamente, conforme mostrado na Tab.4.

Tabela 4. Configurações de encosto disponíveis - Máquina 1 (OS AUTORES).

Produto	Distância encosto 1° passe [mm]	Distância encosto 2° Passe [mm]
AA001	606,5	613,2
AA002	322,5	329,2
AA003	571,5	578,2
AA004	900,5	907,2
AA005	900,5	907,2
AA006	588,5	595,2

Visto que o material, o diâmetro externo e a espessura de parede dos tubos de distribuição são iguais aos dos itens já produzidos, não é necessário realizar a avaliação da unidade hidráulica nem das feiras responsáveis por realizar as operações de redução de diâmetro.

Estudo De Caso E Análise Econômica Sobre A Verticalização Da Produção De Tubos De Distribuição De Gás Inflamável Utilizados Em Eletrodomésticos

A partir da avaliação realizada e computado os comprimentos de cada tubo na entrada e a cada etapa da operação, desenvolveu-se a relação de posicionamentos necessários para fixação do encosto a régua, a qual deve comportar os produtos já fabricados e os novos produtos, conforme apresenta o Apêndice B.

3.5.2. Máquina 2 – Processo de Laminação

O processo de conformação de laminação é realizado em um equipamento rotativo em conjunto a uma ferramenta de rolete especial para a conformação da geometria externa dos tubos, conforme o modelo apresentado na Fig.14.



Figura 14: Modelo de produto com conformação externa (OS AUTORES).

Com base no comprimento dos tubos, avaliou-se a capacidade da máquina atual de atender à produção dos novos produtos. Como os tubos de distribuição já produzidos e os novos produtos requerem a mesma geometria externa, prosseguiu-se com a análise dos sistemas de encosto/expulsor e enclausuramento do equipamento.

A partir do *setup* do equipamento para o modelo a ser produzido, inicia-se a produção. A operação de laminação transversal consiste em posicionar o tubo na parte interna do equipamento até que a extremidade se apoia no encosto/expulsor e acionar o equipamento, conforme mostra a Fig. 15. Após a operação ser realizada, o expulsor ejeta o tubo para a parte externa.

Estudo De Caso E Análise Econômica Sobre A Verticalização Da Produção De Tubos De Distribuição De Gás Inflamável Utilizados Em Eletrodomésticos



Figura 15. Máquina para laminação do tubo de distribuição (OS AUTORES).

Conforme a avaliação realizada, identificou-se que a produção de tubos com comprimentos distintos requer sistemas de encosto/expulsor específicos, ou seja, o equipamento atual possui limitação dimensional para produção dos itens já produzidos internamente, na qual há disponível cinco configurações para atender os comprimentos dos produtos atuais.

Posteriormente, computou-se as características de cada sistema disponível e analisou-se as características de sistemas de encosto/expulsor para atender a produção dos novos produtos, conforme apresenta o Apêndice C.

3.5.3. Máquina 3 – Processo de Dobramento

Nesta operação, é realizado o dobramento do tubo na parte em que se realizou o processo de trefilação, a qual é realizada no mesmo local para todos os modelos de tubos de alimentação, conforme mostrado na Fig. 16.



Figura 16. Conformação de dobra tubo de distribuição (OS AUTORES).

Estudo De Caso E Análise Econômica Sobre A Verticalização Da Produção De Tubos De Distribuição De Gás Inflamável Utilizados Em Eletrodomésticos

Nesta operação, avaliou-se a capacidade da máquina em realizar o dobramento da extremidade a qual recebeu as operações de conformação. Para realizar o processo, o tubo é posicionado na ferramenta e realiza-se a dobra através de um sistema hidráulico com ferramenta especial. Em sequência, o expulsor ejeta o tubo, conforme mostra a Fig. 17.

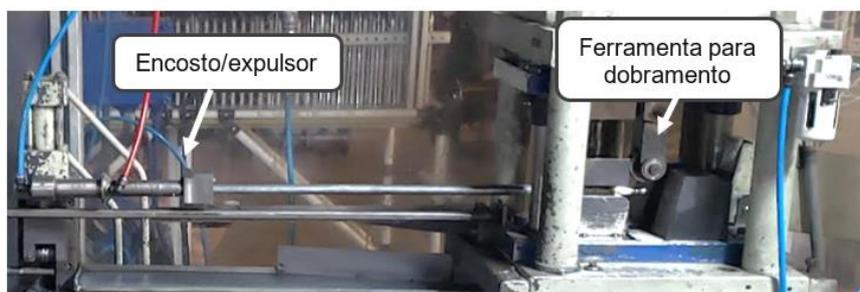


Figura 17. Máquina para dobramento dos tubos de distribuição (OS AUTORES).

O sistema encosto/expulsor é fixo a uma régua linear, a qual possui posições determinadas, conforme o modelo de produto a ser produzido.

Durante a avaliação, identificou-se a capacidade em produzir somente o item A002 e A004, devido ao comprimento máximo de ajuste na régua ser de 920 mm. Constatou-se a limitação do sistema atual devido ao comprimento máximo de ajuste da régua e às dimensões entre as máquinas, ou seja, para produtos com comprimentos superiores a 920 mm ocorre a colisão entre o sistema encosto/expulsor e a estrutura da máquina ao lado.

Desta forma, computou-se as possíveis posições para alteração da máquina de dobramento, conforme mostra a Tab.5.

Tabela 5. Alteração de posicionamento Máquina 3 (OS AUTORES).

Descrição	Prós	Contras
Alterar o local do equipamento	Capacidade de produzir todos os modelos	Maior deslocamento do operador,

Estudo De Caso E Análise Econômica Sobre A Verticalização Da Produção De Tubos De Distribuição De Gás Inflamável Utilizados Em Eletrodomésticos

		consequentemente maior tempo de ciclo
Elevar o equipamento	Permitir a passagem do tubo por cima da outra máquina	Dificuldade ergonômica para posicionamento
Deslocar o equipamento para frente	Não colidir em nenhum equipamento, permitindo a produção de todos os modelos	Nenhum efeito para o processo e operador

Posteriormente identificado as posições disponíveis, determinou-se as posições necessários para fixação do encosto/expulsor para comportar os novos produtos, conforme apresenta o Apêndice D.

3.5.4. Máquina 4 – Processo de Estampagem de Corte, Forjamento e Dobramento

Neste equipamento, são realizadas três operações do processo produtivo dos tubos de distribuição. Na estampagem de corte, realiza-se a furação dos tubos, conforme quantidade e dimensões de cada produto. Em seguida, é realizado o forjamento em matriz aberta da extremidade e posteriormente, conclui-se o processo com a operação de dobramento, a qual é realizada em posições determinadas para cada produto, conforme modelo apresentado na Fig. 18.

Estudo De Caso E Análise Econômica Sobre A Verticalização Da Produção De Tubos De Distribuição De Gás Inflamável Utilizados Em Eletrodomésticos

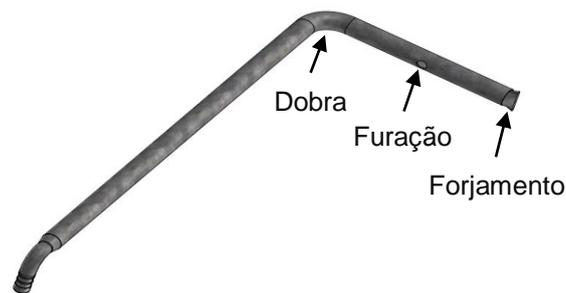


Figura 18. Modelo de tubo de distribuição (OS AUTORES).

A avaliação de capacidade para produção dos novos produtos foi realizada a partir do projeto de cada ferramenta disponível na companhia para este processo. Conforme mostra a Fig. 19, as ferramentas estão instaladas em uma única máquina, a qual é responsável por estas operações.

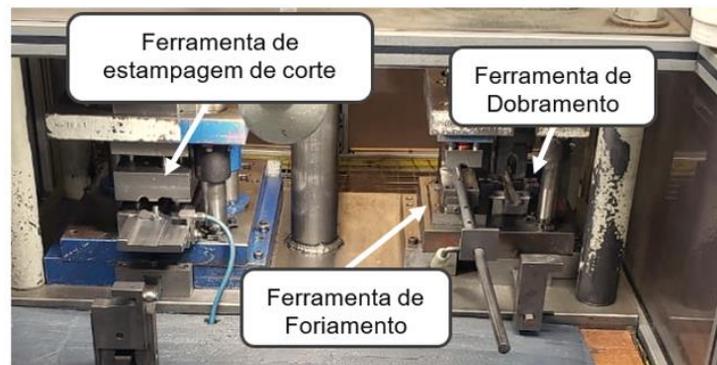


Figura 19. Equipamento para os processos de estampagem de corte, forjamento e dobra dos tubos de distribuição (OS AUTORES).

Realizou-se a avaliação dos produtos já fabricados internamente e foram computadas suas características de quantidades e distâncias entre furos, conforme Tab. 6. Foram identificadas, assim, as configurações das ferramentas já disponíveis.

Tabela 6. Ferramentas disponíveis para o processo de estampagem de corte (OS AUTORES).

Produto	Número de furos [-]	Distância entre furos [mm]
---------	------------------------	----------------------------

Estudo De Caso E Análise Econômica Sobre A Verticalização Da Produção De Tubos De Distribuição De Gás Inflamável Utilizados Em Eletrodomésticos

AA001	5	30 - 75 - 120 - 165 - 210
AA002	4	30 - 90 - 210 - 270
AA003	2	30 - 83
AA004	2	30 - 97,25
AA005	3	30 - 97,25 - 164,5
AA006	1	75

A partir das Tab. 1 e Tab.6, prosseguiu-se a avaliação das configurações de cada ferramenta e as configurações de cada produto. Avaliou-se, desta forma, a capacidade de compartilhamento de ferramentas para os produtos já fabricados e os novos produtos.

Posteriormente, realizou-se a avaliação para o processo de forjamento da extremidade, na qual se identificou que o posicionamento é realizado a partir da extremidade a qual receberá a operação, ou seja, o comprimento dos tubos não tem influência nesta operação.

A última operação realizada é a conformação de dobramento, na qual realizam-se dobras em locais determinados em cada produto. Para esta operação nos tubos de distribuição, utiliza-se uma ferramenta para realizar a dobra de 90°, na qual os tubos são posicionados e delimitados a partir do encosto ajustável da ferramenta. Avaliou-se o ângulo de dobra para todos os produtos e identificou-se que a ferramenta atual pode ser utilizada para os novos produtos, sendo necessário o desenvolvimento de posições específicas de dobra, respeitando assim, as dimensões e geometria de cada produto.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção, são apresentadas e analisadas as informações referentes ao processo de fabricação dos tubos de distribuição, seguindo-se o procedimento desenvolvido na seção de materiais e métodos.

Estudo De Caso E Análise Econômica Sobre A Verticalização Da Produção De Tubos De Distribuição De Gás Inflamável Utilizados Em Eletrodomésticos

4.1. Avaliação de OEE e Capacidade

Para avaliação da disponibilidade da célula de trabalho, avaliou-se a produção para um período em que a produção mensal interna foi de 30377 tubos de distribuição, com tempo de ciclo ideal de 15,9 segundos.

Conforme apresentado de forma detalhada em Apêndice E, o tempo de produção planejado é de 31320 segundos mensais e ao total 2743 segundos em paradas não planejadas. Os quais resultaram em uma disponibilidade de 91%, eficiência de 89% e qualidade de 99%, resultando assim em *OEE* de 80%, a qual de acordo com Setlik e Salomão (2016), está superior à taxa média, conforme ilustra a Fig. 20.

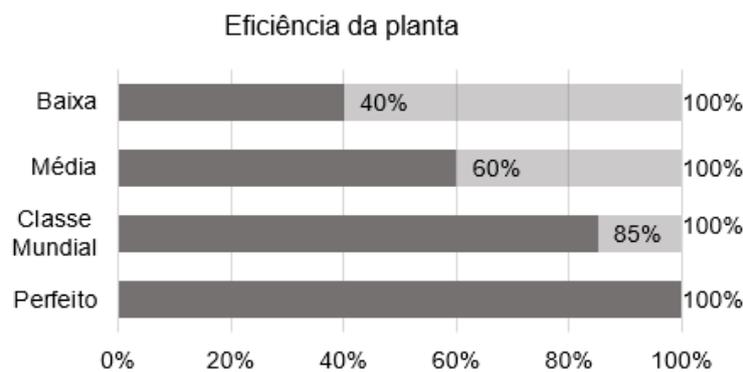


Figura 20: Indicadores de *OEE* (Adaptado de SETLIK; SALOMÃO, 2016).

A produção atual requer a ocupação de 90,4% do tempo de trabalho da célula, a qual resulta assim a disponibilidade de 9,6% para atender a produção dos novos produtos.

Ao total, a produção em terceiros é de 10730 tubos de distribuição mensais, no qual para a produção interna é necessário ao total 191693 segundos de produção, ou seja, aproximadamente 53 horas. Parte desta carga pode ser realizada no período em que a célula de trabalho está disponível com a produção atual e a carga faltante de 134258 segundos, isto é, aproximadamente 37 horas, pode ser realizada em outro expediente de trabalho, visto que no ano de 2020 foi utilizado o equipamento somente em um turno e alguns setores da companhia operam por três turnos.

Estudo De Caso E Análise Econômica Sobre A Verticalização Da Produção De Tubos De Distribuição De Gás Inflamável Utilizados Em Eletrodomésticos

4.2. Máquina 1 - Redução de Diâmetro por Trefilação

Após o processo de avaliação do equipamento atual e suas respectivas capacidades dimensionais, realizou-se a avaliação em conjunto das características de cada novo produto. Objetivou-se compreender a capacidade ou as melhorias necessárias, caso o sistema atual não comporte todos os produtos.

O desenvolvimento de projetos e a fabricação de dispositivos e ferramentas ocorrem em conjunto ao setor de ferramentaria da companhia. Já as adequações de máquinas e sistemas de enclausuramento são realizadas pelo setor de manutenção.

Para a produção dos novos tubos de alimentação na máquina 1, ou seja, o processo de trefilação, identificou-se que os produtos A001, A003 e A006 possuem comprimento superior ao tamanho da régua atual e as posições de encostos para os novos produtos divergem das posições disponíveis atuais. Assim, conclui-se que o processo de redução de diâmetro não possui capacidade em atender aos novos produtos.

No entanto, a partir dos comprimentos de cada produto e do aumento de comprimento para passe de trefilação, desenvolveu-se o projeto de uma nova régua com as características de posicionamentos necessárias para comportar os produtos já fabricados e os novos produtos, conforme apresentado na Fig.21.

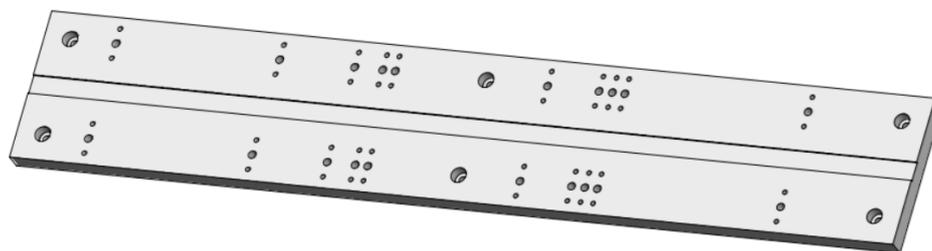


Figura 21. Projeto da nova régua para a máquina de trefilação (OS AUTORES).

4.3. Máquina 2 – Processo de Laminação

Estudo De Caso E Análise Econômica Sobre A Verticalização Da Produção De Tubos De Distribuição De Gás Inflamável Utilizados Em Eletrodomésticos

Com base na avaliação realizada, identificou-se que os posicionadores/expulsores atuais não comportam os novos produtos devido às diferenças de comprimento entre eles, no qual para cada modelo utiliza-se um sistema específico, sendo necessário realizar *setup* do equipamento para troca do modelo a produzir, ou seja, os produtos com comprimentos iguais podem utilizar o mesmo sistema, sem a necessidade de *setup* e desenvolvimento de novos sistemas.

No total, são cinco produtos com comprimentos diferentes, desta forma, é necessário a fabricação de cinco novos modelos de posicionador/expulsor para possibilitar a produção dos novos produtos, conforme apresenta o Apêndice C. O sistema consiste no desenvolvimento de atuadores pneumáticos, acionados após a conformação para ejetar o tubo para a parte externa do equipamento, conforme modelo apresentado na Fig.22.



Figura 22. Projeto do sistema de posicionamento e expulsor máquina 2 (OS AUTORES).

Conforme apresenta o Apêndice C, os modelos de expulsor para os produtos A001, A002, A003 e A005 resultaram em comprimentos negativos, ou seja, o comprimento do tubo excede a região interna do equipamento. Desta forma, é necessário o desenvolvimento de prolongadores para estes modelos, o qual o comprimento necessário é igual ao comprimento que excede o equipamento e apresentado na coluna dada por Comp. Enc. Exp.

4.4. Máquina 3 – Processo de Dobramento

Estudo De Caso E Análise Econômica Sobre A Verticalização Da Produção De Tubos De Distribuição De Gás Inflamável Utilizados Em Eletrodomésticos

Conforme apresentado na Tab.6, a posição atual do equipamento impossibilita a produção dos novos produtos. Desta forma, é necessário realocar o equipamento para manter o fluxo de trabalho, priorizando a ergonomia e qualidade de trabalho do operador.

Com base na avaliação realizada, entre as possíveis formas de realocar o equipamento, optou-se em deslocá-lo em 50 mm para frente, ou seja, o equipamento ficará mais próximo ao operador, mantendo-se a altura atual. Com isto, o deslocamento necessário para o posicionamento dos tubos é menor e possibilita-se a inserção dos tubos sem a colisão com outro equipamento.

Com a modificação da posição do sistema hidráulico, é necessário prolongar a tubulação da unidade hidráulica responsável por acionar o pistão hidráulico em 50 mm, medida igual ao deslocamento do equipamento.

O sistema de encosto/expulsor neste equipamento é fixado a uma régua, a qual possui posições específicas conforme o modelo a ser produzido. Devido ao comprimento exceder o limite da régua atual, é necessário o desenvolvimento de uma nova régua, a qual deve conter posições específicas conforme as distâncias apresentadas em Apêndice D, e identificação de posicionamento para cada modelo de produto a ser produzido, conforme ilustra a Fig. 23.



Figura 23. Modelo de régua com identificação de posições para *setup* (OS AUTORES).

4.5. Máquina 4 – Processo de Estampagem de Corte, Forjamento e Dobramento

Conforme descrito na seção 4.5.4., este equipamento é utilizado para realizar três operações do processo de fabricação dos tubos de distribuição, as quais são realizadas por ferramentas acionadas por uma prensa hidráulica.

Estudo De Caso E Análise Econômica Sobre A Verticalização Da Produção De Tubos De Distribuição De Gás Inflamável Utilizados Em Eletrodomésticos

A partir da análise realizada, foram identificadas as características de cada ferramenta disponível na companhia, com o propósito de compartilhar ferramentas para os produtos.

Porém, as ferramentas são incompatíveis para os novos produtos devido às distâncias e quantidades de furos, portanto, é necessário o desenvolvimento de novas ferramentas, as quais devem respeitar a quantidade de furos e distâncias entre eles, conforme as características de cada novo produto apresentado na Tab.1.

No total, são necessárias seis configurações de furações distintas, as quais podem ser empregadas em duas ferramentas com múltiplas configurações, conforme o modelo apresentado na Fig.24. As configurações são canais específicos para cada produto e a relação de canal a ser utilizado para cada modelo é identificada através da ordem de fabricação dos produtos, a qual é entregue ao operador.

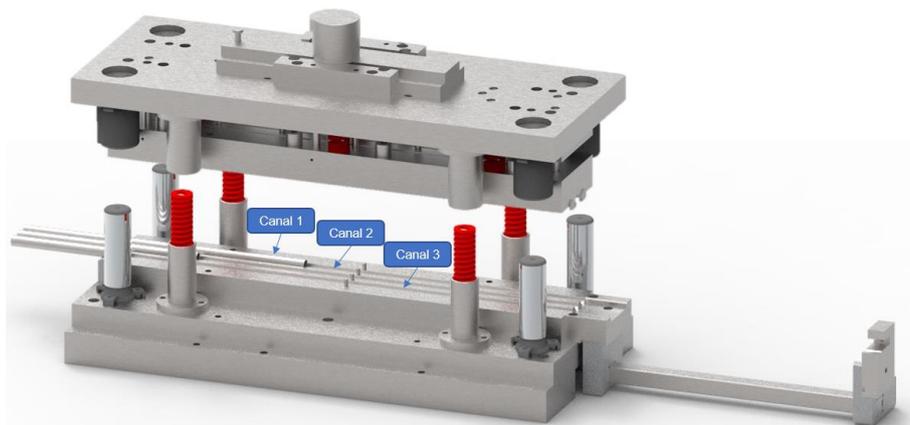


Figura 24. Vista ferramenta de estampagem de corte com três canais (OS AUTORES).

Determinou-se o desenvolvimento de uma ferramenta destinada aos produtos A001, A003, A004 e A006, no qual os produtos A001 e A003 utilizam o mesmo canal após o *setup* na ferramenta, a qual o *setup* consiste em realizar a inserção ou remoção de punções. Enquanto a segunda ferramenta é direcionada aos produtos A002 e A005 com dois canais. O desenvolvimento de ferramentas com configurações de furação diferentes tem como objetivo reduzir o investimento para desenvolvimento e

Estudo De Caso E Análise Econômica Sobre A Verticalização Da Produção De Tubos De Distribuição De Gás Inflamável Utilizados Em Eletrodomésticos

fabricação de ferramentas, assim como menor tempo de *setup* na troca de produto a ser fabricado.

Após o processo de furação, é realizado o processo de forjamento da ponta e posteriormente o dobramento, para os quais não se identificou a necessidade em realizar nenhuma adequação ou desenvolvimento de ferramentas.

4.6. Análise Econômica

A análise econômica foi realizada a partir dos processos, custos operacionais e custos de materiais, considerando os valores pagos na compra dos tubos de distribuição fabricados por terceiros, conforme ilustra o Apêndice F. A taxa de custo operacional da célula de produção interna é dada em R\$/min, na qual estão inclusos os valores de depreciação, mão de obra, custos fixos, entre outros.

Havendo sido realizada a análise e a identificação das melhorias necessárias em cada equipamento, o departamento de ferramentaria da empresa Ponto XY computou os valores de investimentos necessários para a verticalização da produção dos tubos de distribuição, os quais somam ao total R\$ 75.000,00 e estão apresentados de forma individual para cada processo em Apêndice G.

Enquanto os ganhos decorrentes desta verticalização foram computados em conjunto ao setor de custos da companhia. Na qual a diferença de valor entre os produtos comprados e os fabricados internamente soma uma redução de custo de R\$ 38.468,00 mensais.

A análise de viabilidade econômica e Financeira foi realizada com a utilização dos indicadores de VPL, TIR e *Payback* simples, conforme mostrado na Tab.7.

Estudo De Caso E Análise Econômica Sobre A Verticalização Da Produção De Tubos De Distribuição De Gás Inflamável Utilizados Em Eletrodomésticos

Tabela 7: Análise econômica sobre a verticalização de produção dos tubos de distribuição (OS AUTORES).

Investimento inicial		R\$	75.000,00
Taxa de Desconto (<i>i</i>) - (<i>a.m</i>)		2%	
Período (Meses)	Fluxo de caixa (FC)	Valor Presente	VPL Acumulado
0	-R\$ 75.000,00	-R\$ 75.000,00	-R\$ 75.000,00
1	R\$ 38.468,00	R\$ 37.713,73	-R\$ 37.286,27
2	R\$ 38.468,00	R\$ 36.974,24	-R\$ 312,03
3	R\$ 38.468,00	R\$ 36.249,26	R\$ 35.937,22
4	R\$ 38.468,00	R\$ 35.538,49	R\$ 71.475,71
5	R\$ 38.468,00	R\$ 34.841,65	R\$ 106.317,36
6	R\$ 38.468,00	R\$ 34.158,48	R\$ 140.475,84
7	R\$ 38.468,00	R\$ 33.488,71	R\$ 173.964,55
8	R\$ 38.468,00	R\$ 32.832,07	R\$ 206.796,62
9	R\$ 38.468,00	R\$ 32.188,30	R\$ 238.984,92
10	R\$ 38.468,00	R\$ 31.557,16	R\$ 270.542,08
11	R\$ 38.468,00	R\$ 30.938,39	R\$ 301.480,47
12	R\$ 38.468,00	R\$ 30.331,76	R\$ 331.812,23
Resultados	VPL	TIR	Payback simples
	R\$ 331.812,23	51%	1,95

A análise foi realizada para um período de 12 meses, em que o instante 0 corresponde ao momento em que é realizado o investimento, quando considera-se que ainda ocorre a compra dos tubos de distribuição de terceiros. No instante 1, passa-se a produzir os tubos internamente. Desta forma, inicia-se o retorno financeiro em forma de fluxo de caixa, a qual corresponde ao valor de R\$ 38.468,00 mensais, os quais resultam em R\$ 37.713,73 no Período 1 em valor presente, quando utilizada a taxa de desconto $i = 2\%$ a.m., a qual representa a taxa média de retorno desejada em um projeto realizado na companhia Ponto XY.

Com base nos resultados apresentados na Tab.7, em um período de 12 meses com fluxo de caixa positivo, os indicadores financeiros resultaram em valores significativos para aprovação e implementação do projeto. Especificamente, ao longo de 12 meses, atingiu-se o VPL de R\$ 331.812,23. Posteriormente, a avaliação da TIR foi realizada a partir do fluxo de caixa gerado ao longo da implementação do projeto,

Estudo De Caso E Análise Econômica Sobre A Verticalização Da Produção De Tubos De Distribuição De Gás Inflamável Utilizados Em Eletrodomésticos

resultando em TIR de 51% a.m. e obtendo-se *Payback* Simples em menos de dois meses.

Mediante ao apresentado, os resultados obtidos estão dentro do esperado para a viabilidade econômica do projeto, visto que o resultado de VPL é superior a R\$ 0,00, a taxa TIR é maior que vinte vezes à taxa de desconto, a qual é taxa mínima para aceitação do projeto e o *Payback* simples inferior ao período de 24 meses, ou seja, inferior ao período de aceitação pela companhia Ponto XY.

5. CONCLUSÕES

O presente trabalho teve como objetivo analisar tecnicamente e economicamente o processo para a verticalização na fabricação de tubos de distribuição, no qual foram obtidos resultados distintos conforme o equipamento avaliado na célula de fabricação, podendo-se indicar as seguintes conclusões:

- A análise realizada ao longo do trabalho foi de extrema importância para a avaliação da verticalização da produção dos tubos de distribuição, visto que foram identificadas todas as melhorias necessárias para possibilitar a produção dos novos produtos.
- A célula de trabalho mostrou-se capaz de atender o aumento na demanda de produção, a qual soma o incremento de aproximadamente 53 horas de operação.
- Todas as máquinas possuem capacidade de produzir os novos produtos, desde que desenvolvidos os dispositivos, adequações e ferramentas, conforme apresentado neste trabalho.
- O projeto apresentou resultado de VPL de R\$ 331.812,23 em um período de 12 meses, evidenciando que o projeto deve ser aprovado, pois resultados de VPL superiores a R\$ 0,00 indicam que o projeto apresenta resultados positivos para a viabilidade financeira do projeto.

Estudo De Caso E Análise Econômica Sobre A Verticalização Da Produção De Tubos De Distribuição De Gás Inflamável Utilizados Em Eletrodomésticos

- A TIR resultou em 51%, representando alto potencial de retorno financeiro quando comparado a taxa de desconto, a qual é superior a vinte vezes a taxa de desconto.
- O indicador de *Payback* simples resultou em 1,95 mês, representando assim que o retorno do investimento realizado no período 0 ocorre em menos de dois meses.

Portanto, conclui-se a partir do estudo de caso realizado que o método de produção vertical trará bons resultados econômicos para a empresa Ponto XY, quando comparado ao método de produção horizontal, conforme os indicadores financeiros apresentados.

6. AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço a Deus por suprir todas as minhas necessidades durante toda a trajetória. A minha família por sempre estar presente e me motivando nos períodos de maior dificuldade. A meu orientador por sua dedicação e contribuição neste trabalho.

7. REFERÊNCIAS

ALVARENGA, Gustavo Quintão. **MELHORIA DA DISPONIBILIDADE DE MÁQUINA ATRAVÉS DA APLICAÇÃO DA METODOLOGIA SEIS SIGMA NA INDÚSTRIA MINEIRA**. 2018. 96 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2018.

ALVES, Marcelo Franklin da Silva. **Verticalização x horizontalização**: decisão estratégica entre produzir ou terceiriza. Decisão estratégica entre produzir ou terceiriza. 2019. Publicação de Administradores.com. Disponível em: <https://administradores.com.br/artigos/verticaliza%C3%A7%C3%A3o-x-horizontaliza%C3%A7%C3%A3o>. Acesso em: 22 out. 2021.

Estudo De Caso E Análise Econômica Sobre A Verticalização Da Produção De Tubos De Distribuição
De Gás Inflamável Utilizados Em Eletrodomésticos

ARAGÃO, João Paulo Santos; HOLANDA, Cinthia Ladjane de Souza; FONTANA, Marcele Elisa. **MODELO MULTICRITÉRIO DE APOIO À DECISÃO ENTRE TERCEIRIZAR E PRODUZIR: UM ESTUDO DE CASO NO SEGMENTO TÊXTIL DE PERNAMBUCO.** In: **ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**, 36., 2016, João Pessoa. Anais [...] . João Pessoa: Enegep, 2016. p. 2-2.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 2768-1:** Tolerâncias gerais Parte 1: Tolerâncias para dimensões lineares e angulares sem indicação de tolerância individual. Rio de Janeiro, 2001. 5 p.

BORINELLI, Márcio Luiz. **A IDENTIFICAÇÃO DO CICLO DE VIDA DAS PEQUENAS EMPRESAS ATRAVES DAS DEMONSTRAÇÕES CONTÁBEIS.** 1998. 179 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Produção, Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, Florianópolis, 1998.

BRESCIANI FILHO, Ettore *et al.* **CONFORMAÇÃO PLÁSTICA DOS METAIS.** São Paulo: Epusp, 2011. 258 p.

BRITO, Osmar de. **Técnicas e Aplicações dos Estampos de Corte.** Porto Alegre: Hemus, 2004. 185 p.

BROM, Luiz Guilherme; BALIAN, Jose Eduardo Amato. **ANÁLISE DE INVESTIMENTOS E CAPITAL DE GIRO:** conceitos e aplicações. São Paulo: Saraiva, 2007. 132 p.

BRUNI, Adriano Leal; FAMÁ, Rubens. **As decisões de investimentos com aplicações na hp 12c e excel.** 4. ed. São Paulo: Atlas, 2017. 139 p.

Estudo De Caso E Análise Econômica Sobre A Verticalização Da Produção De Tubos De Distribuição De Gás Inflamável Utilizados Em Eletrodomésticos

CALIFE, Naiara Faiad Sebba; NOGUEIRA, Edemilson; ALVES FILHO, Alceu Gomes. **Empresas do setor de linha branca e suas estratégias competitivas e de produção.** Revista Produção On Line, Florianópolis, v. 10, n. 1, p. 1-23, 2 jun. 2010

CAMLOFFSKI, Rodrigo. **ANÁLISE DE INVESTIMENTOS E VIABILIDADE FINANCEIRA DAS EMPRESAS.** São Paulo: Atlas, 2014. 126 p.

CORRÊA, Tayrane. **Integração vertical e horizontal: o que é, vantagens e desvantagens, exemplos e dicas.** 2021. Disponível em: <https://www.siteware.com.br/gestao-estrategica/integracao-vertical-e-horizontal/>. Acesso em: 26 out. 2021.

DALEFFE, Anderson. **ESTUDO DO PROCESSO DE ESTAMPAGEM INCREMENTAL EM CHAPA DE ALUMÍNIO PURO.** 2008. 100 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Minas, Metalúrgica e dos Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

DINIZ, Camila Oficiati. **ESTRATÉGIAS DE PRODUÇÃO E INFLUÊNCIAS NA CADEIA DE SUPRIMENTOS: ESTUDOS DE CASO NO SETOR DE LINHA BRANCA.** 2010. 174 f. Dissertação (Doutorado) - Curso de Engenharia de Produção, Engenharia de Produção, Universidade de São Carlos, São Carlos, 2010.

E-COMMERCE BRASIL (org.). **Eletrodomésticos faturam R\$ 4,3 bilhões em e-commerce no 3º trimestre.** Disponível em: <https://www.ecommercebrasil.com.br/noticias/eletrodomesticos-faturam-e-commerce-trimestre/>. Acesso em: 21 nov. 2021.

FREZATTI, Fábio. **GESTÃO DA VIABILIDADE ECONÔMICO-FINANCEIRA DOS PROJETOS DE INVESTIMENTO.** São Paulo: Atlas, 2008. 128 p.

Estudo De Caso E Análise Econômica Sobre A Verticalização Da Produção De Tubos De Distribuição De Gás Inflamável Utilizados Em Eletrodomésticos

GONZÁLEZ, Paula Cristina Salas. **TÉCNICA NÃO CONVENCIONAL PARA DOBRAMENTO DE TUBOS DE PAREDE FINA USANDO ELASTÔMETRO**. 2000. 167 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica e Aeronáutica, Tecnologia de Fabricação, Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, 2000.

HAYES, Robert *et al.* **PRODUÇÃO, ESTRATÉGIA E TECNOLOGIA**: em busca da vantagem competitiva. Porto Alegre: Bookman, 2008. 382 p. Tradução Marcelo Klippel.

HELMAN, Horacio; CETLIN, Paulo Roberto. **FUNDAMENTOS DA CONFORMAÇÃO MECÂNICA DOS METAIS**. 2. ed. São Paulo: Artlibert Editora Ltda, 2010. 260 p.

LOVATO NETO, Carlos. "**Simulação numérica da laminação a frio no laminador Sendzimir Número 2 da Acesita**". 2006. 97 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Metalúrgica e de Minas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.

MARQUES, José Roberto. **AS PRINCIPAIS DIFERENÇAS ENTRE VERTICALIZAÇÃO E HORIZONTALIZAÇÃO**. 2019. Portal Instituto Brasileiro de Coaching. Disponível em: <https://www.ibccoaching.com.br/portal/as-principais-diferencas-entre-verticalizacao-e-horizontalizacao/>. Acesso em: 22 out. 2021.

MASCARENHAS, Henrique Ribeiro. **O setor de eletrodomésticos de linha branca**: um diagnóstico e a relação varejo- indústria. 2005. 238 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Economia, Escola de Economia de São Paulo - Fgv/Eesp, São Paulo, 2005

MESQUITA, Beatriz de Moura Leite. **METODOLOGIA PARA CÁLCULO DA EFICIÊNCIA DE UM PROCESSO DE PINTURA DE RODAS AGRÍCOLAS**. 2015. 36

Estudo De Caso E Análise Econômica Sobre A Verticalização Da Produção De Tubos De Distribuição De Gás Inflamável Utilizados Em Eletrodomésticos

f. TCC (Graduação) - Curso de Engenheiro Industrial Químico, Universidade de São Paulo - Escola de Engenharia de Lorena, Lorena, 2015.

ZATTAR, Izabel Cristina; RUDEK, Samuel; TURQUINO, Geizy Siélly. **O USO DO INDICADOR OEE COMO FERRAMENTA NA TOMADA DE DECISÕES EM UMA INDÚSTRIA GRÁFICA – UM CASO PRÁTICO.** Florianópolis: IJIE, v. 2, n. 2, dez. 2010. Semestral. Issn 2175-8018.

ROTTA, Ivana Salvagni; COELHO, William Douglas Paes; MENDONÇA, Fernando Cesar. **Análise das Estratégias Competitivas utilizadas no Setor de Linha Branca.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 3., 2013, Ponta Grossa. Anais [...] . Araras: Conbrepro, 2013. p. 1-1

SANTOS, Bruna Karine dos; QUADROS, Marcelo Luiz de. **Processo de conformação.** Porto Alegre: Sagah, 2018. 254 p.

SANTOS, Virgílio F. M. dos. **SIPOC:** aprenda como melhorar seus processos com a ferramenta. 2021. Disponível em: <https://www.fm2s.com.br/como-fazer-um-sipoc/>. Acesso em: 09 nov. 2021

SETLIK, Felipe; SALOMÃO, Alexandre. **OEE - Eficiência Global dos Equipamentos.** Disponível em: <https://qualyteam.com/pb/blog/oeeficiencia-global-dos-equipamentos/>. Acesso em: 22 nov. 2021.

SOUZA, Alceu; CLEMENTE, Ademir. **DECISÕES FINANCEIRAS E ANÁLISE DE INVESTIEMNTO:** fundamentos, técnicas e aplicações. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2015. 186 p.

SOUZA, Tomaz Fantin de. **SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS PARA ANÁLISE E MINIMIZAÇÃO DAS TENSÕES RESIDUAIS NO PROCESSO DE TREFILAÇÃO.**

Estudo De Caso E Análise Econômica Sobre A Verticalização Da Produção De Tubos De Distribuição De Gás Inflamável Utilizados Em Eletrodomésticos

2011. 68 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

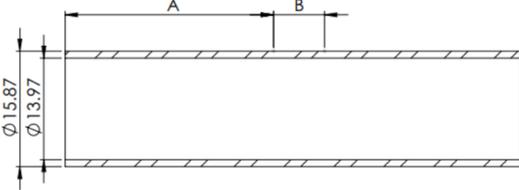
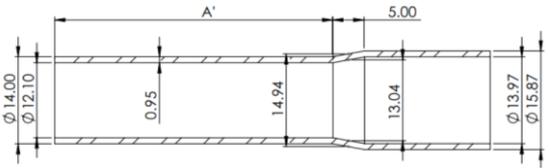
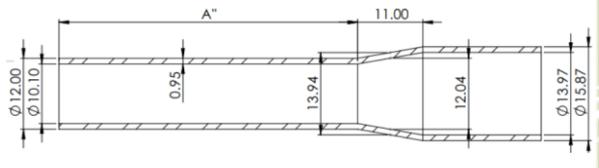
VEY, Flávia Weissheimer *et al.* **Métodos do valor presente líquido e taxa interna de retorno: a viabilidade econômica da aquisição de um novo caminhão para uma transportadora de Restinga Seca – RS.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 4., 2014, Santa Maria. Anais [...]. Ponta Grossa: Conbrepro, 2014. p. 1-2.

VIANA, Herbert Ricardo Garcia. **Planejamento e Controle da Manutenção.** Rio de Janeiro: Qualitymark Editora Ltda, 2006. 182 p.

8. APÊNDICE

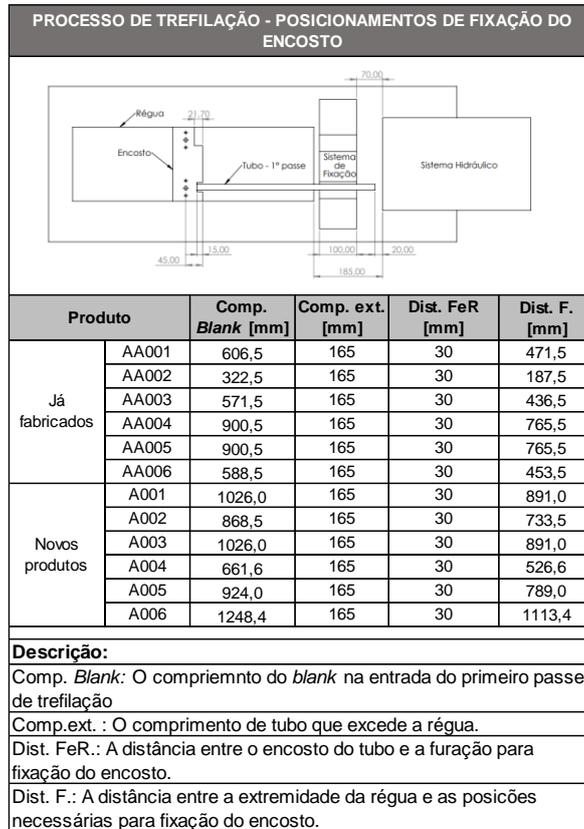
APÊNDICE A – PROCESSO DE TREFILAÇÃO

Estudo De Caso E Análise Econômica Sobre A Verticalização Da Produção De Tubos De Distribuição De Gás Inflamável Utilizados Em Eletrodomésticos

PROCESSO DE TREFILAÇÃO				
Blank				
	Diâmetro Externo [mm]	15,87		
	Área Externa [mm ²]	197,8		
	Diâmetro Interno [mm]	14,0		
	Área Interno [mm ²]	153,3		
	Área Total [mm ²]	44,5		
	Seção A + B	Comprimento [mm]	Volume [mm³]	
	47	2092,9		
1° Passe		2° Passe		
	Chanfro 1° Passe			
		Diâmetro Externo Médio [mm]	14,9	
		Área Externa Média [mm ²]	175,3	
		Diâmetro Interno Médio [mm]	13,0	
		Área Interno Média [mm ²]	133,6	
		Área. Total. Média [mm ²]	41,8	
Seção B - 1° Passe	Comprimento [mm]	Volume [mm³]		
	5	194,7		
Volume Total Área de Operação [mm³]		2092,9		
Volume Chanfro [mm³]		194,7		
Volume Restante [mm³]		1898,1		
Comprimento Região de Redução				
Diâmetro Externo [mm]	14,0			
Área Externa [mm ²]	153,9			
Diâmetro Interno [mm]	12,1			
Área Interno [mm ²]	115,0			
Área Total [mm ²]	38,9			
Comprimento A' [mm]	48,73			
Comprimento Final A+B [mm]	53,7			
Aumento de comprimento [mm]	6,7			
Aumento Total [mm]		14,4		
	Chanfro 2° Passe			
		Diâmetro Externo Médio [mm]	13,9	
		Área Externa Média [mm ²]	152,6	
		Diâmetro Interno Médio [mm]	12,0	
		Área Interno Média [mm ²]	113,9	
		Área. Total. Média [mm ²]	38,8	
Seção B - 2° Passe	Comprimento [mm]	Volume [mm³]		
	11	428,4		
Volume Total Área de Operação [mm³]		2092,9		
Volume Chanfro [mm³]		428,4		
Volume Restante [mm³]		1664,4		
Comprimento Região de Redução				
Diâmetro Externo [mm]	12,0			
Área Externa [mm ²]	113,1			
Diâmetro Interno [mm]	10,1			
Área Interno [mm ²]	80,1			
Área Total [mm ²]	33,0			
Comprimento A'' [mm]	50,47			
Comprimento Final A+B [mm]	61,5			
Aumento de comprimento [mm]	7,7			

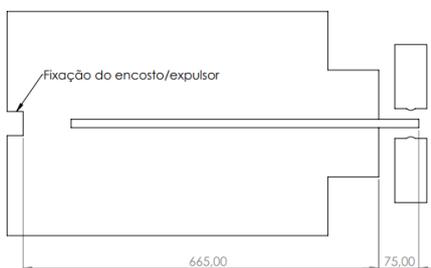
APÊNDICE B – POSIÇÕES DE ENCOSTO PARA O PROCESSO DE TREFILAÇÃO

Estudo De Caso E Análise Econômica Sobre A Verticalização Da Produção De Tubos De Distribuição De Gás Inflamável Utilizados Em Eletrodomésticos



APÊNDICE C – CARACTERÍSTICAS DOS SISTEMAS DE ENCOSTO/EXPULSOR – PROCESSO DE LAMINAÇÃO

Estudo De Caso E Análise Econômica Sobre A Verticalização Da Produção De Tubos De Distribuição De Gás Inflamável Utilizados Em Eletrodomésticos

SISTEMAS DE ENCOSTO/EXPULSOR – PROCESSO DE LAMINAÇÃO					
					
Produto	Comp. Tubo [mm]	Comp. ext. [mm]	Dist. CeF [mm]	Comp. Enc.Exp. [mm]	
Novos produtos	A001	1040,5	75	665	-300,5
	A002	883,0	75	665	-143,0
	A003	1040,5	75	665	-300,5
	A004	676,1	75	665	63,9
	A005	938,5	75	665	-198,5
	A006	1262,9	75	665	-522,9
Descrição:					
Comp. Tubo: O comprimento do tubo na entrada da operação de					
Comp.ext. : O comprimento de tubo que excede a parte interna da máquina					
Dist. CeF.: A distância entre a extremidade do equipamento e o sistema de fixação do sistema de encosto/ expulsor					
Comp. Enc.Exp...: O comprimento necessário do encosto.					
Nota: Resultados de Comp. Enc.Exp negativo, representam que o tubo excede a região interna do equipamento.					

APÊNDICE D – POSIÇÕES DE AJUSTE DE ENCOSTO/EXPULSOR – PROCESSO DE DOBRAMENTO

Estudo De Caso E Análise Econômica Sobre A Verticalização Da Produção De Tubos De Distribuição De Gás Inflamável Utilizados Em Eletrodomésticos

POSIÇÕES DE AJUSTE PROCESSO DE DOBRAMENTO				
				
Produto	Comp. Tubo [mm]	Comp. ext. [mm]	Pos. Ident	
Já fabricados	AA001	621	190	431,0
	AA002	337	190	147,0
	AA003	596	190	406,0
	AA004	915	190	725,0
	AA005	915	190	725,0
	AA006	603	190	413,0
Novos produtos	A001	1040,5	190	850,5
	A002	883,0	190	693,0
	A003	1040,5	190	850,5
	A004	676,1	190	486,1
	A005	938,5	190	748,5
	A006	1262,9	190	1072,9
Descrição:				
Comp. <i>Blank</i> : O comprimento do tubo na entrada da operação de laminação.				
Comp.ext. : O comprimento de tubo que excede a região da				
Pos. Ident: A distância a partir do ponto 0 a qual deve conter uma indicação para posicionamento do encosto para cada modelo de produto.				

APÊNDICE E - OEE E OCUPAÇÃO DE MÁQUINAS

Estudo De Caso E Análise Econômica Sobre A Verticalização Da Produção De Tubos De Distribuição De Gás Inflamável Utilizados Em Eletrodomésticos

AVALIAÇÃO OEE	
1. Disponibilidade	
Dias Mês [dias]	21
T_{pp} - Tempo de produção planejado [s]	31320
Paradas não planejadas [s]	2743
T_p - Tempo real de produção [s]	28577
Disponibilidade	91%
2. Eficiência (η)	
T_{ci} - Tempo de ciclo ideal [s]	15,9
S_{pp} - Somatório peças produzidas	30377
T_p - Tempo real de produção [s]	542690
Eficiência	89%
3. Qualidade	
Quantidade produzida	30377
Quantidade refugada	440
Quantidade retrabalhada	0
Qualidade	99%
OEE	80%

OCUPAÇÃO DE MÁQUINA		
Descrição	Referência	
Tempo disponível ideal [s/dia]	31320	
Tempo disponível real [s/dia]	28577,4	
Dias Mês [dias]	21	
Tempo total disponível real [s/mês]	600125,4	
T_{ci} - Tempo de ciclo ideal [s]	15,9	
Eficiência (η)	89%	
T_{cr} - Tempo de ciclo real [s]	17,9	
Somatório peças produzidas [unid./mês]	30377	
Tempo de ocupação [s/mês]	542690	90,4%
Tempo disponível [s/mês]	57435,4	9,6%
Tempo disponível [h/mês]	15,95	
Somatório peças a verticalizar [unid./mês]	10730	
Tempo necessário de produção [s/mês]	191693	
Tempo necessário de produção [h/mês]	53,25	
Tempo a adicionar [s/mês]	134258	
Tempo a adicionar [h/mês]	37	

APÊNDICE F – CUSTOS DE COMPRA E FABRICAÇÃO TUBOS DE DISTRIBUIÇÃO

Item	Quantidades Anual	Externo		Processo		Interno		Custo Total
		Custo Externo	Valor	Tempo de ciclo Ideal [s]	Eficiência	Tempo de ciclo Real [s]	Material + Processo	
A001	37.200	R\$ 7,44	R\$ 276.768	15,96	89%	17,93	R\$ 4,47	R\$ 166.099
A002	82.800	R\$ 7,60	R\$ 629.619	15,96	89%	17,93	R\$ 3,87	R\$ 320.626
A003	300	R\$ 7,31	R\$ 2.193	15,96	89%	17,93	R\$ 4,47	R\$ 1.340
A004	720	R\$ 6,02	R\$ 4.334	15,96	89%	17,93	R\$ 3,09	R\$ 2.227
A005	1.440	R\$ 7,94	R\$ 11.434	15,96	89%	17,93	R\$ 4,08	R\$ 5.877
A006	6.300	R\$ 10,61	R\$ 66.843	15,96	89%	17,93	R\$ 5,30	R\$ 33.403
		Total	R\$ 991.191				Total	R\$ 529.571
							Redução	47%

* Custo externo, valor médio entre fabricantes.

Estudo De Caso E Análise Econômica Sobre A Verticalização Da Produção De Tubos De Distribuição
De Gás Inflamável Utilizados Em Eletrodomésticos

APÊNDICE G – INVESTIMENTOS NECESSÁRIOS PARA COMPORTAR OS NOVOS PRODUTOS

DESCRIÇÃO	VALOR
Trefilação - Desenvolvimento e fabricação de régua para fixação do encosto	R\$ 7.000,00
Laminação - Desenvolvimento e Fabricação de Posicionadores/Expulsores + Suportes	R\$ 10.800,00
Dobramento - Desenvolvimento e fabricação de régua e adequações para realocar equipamento	R\$ 6.300,00
Estampagem de Corte - Desenvolvimento e fabricação de ferramentas para estampagem de corte	R\$ 50.900,00
Total	R\$ 75.000,00

CASE STUDY AND ECONOMIC ANALYSIS ON VERTICALIZATION OF THE PRODUCTION OF FLAMMABLE GAS DISTRIBUTION TUBES USED IN HOUSEHOLD APPLIANCES

Rafael Eller Riscaroli, rafariscaroli@unifebe.edu.br¹

Felipe Gesser Battisti, felipe.battisti@unifebe.edu.br¹

¹UNIFEBE – Centro Universitário de Brusque, Rua Dorval Luz, 123 – Santa Terezinha – CEP: 88352-400 – Brusque/SC – Cx. Postal: 1501

Estudo De Caso E Análise Econômica Sobre A Verticalização Da Produção De Tubos De Distribuição
De Gás Inflamável Utilizados Em Eletrodomésticos

Abstract: *This work presents a case study carried out at Ponto XY, a manufacturer of white goods. This company produced approximately one million household appliances in 2020, operating both in the national and international markets. In this scenario, the growing increase in the consumption of goods and services makes market competitiveness increase, which drives companies to seek to improve their production processes and strategic planning in order to reduce costs and increase product quality. Among the ways to achieve such results, the technical capacity and economic feasibility of internal production or by third parties must be evaluated. It is in this sense that the development of this work takes place, which aims to analyze the technical capacity and economic feasibility for the verticalization of the manufacture of flammable gas distribution tubes used in household appliances, which are manufactured using mechanical manufacturing processes, specifically drawing, rolling, bending, die-cutting and forging. The analysis of each process is carried out to assess its capacity and parameters, allowing the computation of the investments necessary for the verticalization of this demand and the benefits generated, making it possible to carry out the economic analysis of the project based on the Net Present Value (NPV) financial indicators, Internal Rate of Return (IRR) and simple Payback. Which the economic analysis resulted in a NPV of R\$ 331.812,23 with an IRR of 51% p.m., corresponding to a simple Payback of less than two months, which results in a project with a high approval rate.*

Keywords: *White-good appliances. Manufacturing processes. Manufacturing processes. Economic analysis.*

ANÁLISE COMPRESSIVA DO PREENCHIMENTO GIROIDE EM PEÇAS FABRICADAS POR FDM

COMPRESSIVE ANALYSIS OF GYROID INFILL IN PARTS MANUFACTURED BY FDM

**Lucas Hörner Decker,
Julio Cesar Frantz**

Resumo: *A manufatura aditiva (AM) ou popularmente conhecida como impressão 3D tem, cada vez mais, substituído os métodos tradicionais de fabricação, de forma a permitir o acesso a novas alternativas, ideias ou conceitos que aparentemente exigiam complexidade em sua fabricação. Um tipo de estrutura que tem permitido avanços na área de impressão 3D é a aplicação do giroide como forma de preenchimento. O giroide identifica-se nesse meio por apresentar uma estrutura complexa de difícil fabricação, a qual foi justamente ignorada em sua descoberta na década de 70, mas com os avanços tecnológicos possibilita-se o estudo, análise e aplicação do mesmo. Com isso diversas áreas entre a medicina e a engenharia investigam, indicam e evidenciam as vantagens e qualidades propiciadas pelo giroide como, por exemplo, permeabilidade e comportamento satisfatório em relação à peso x resistência. Este trabalho têm como objetivo analisar e aplicar o giroide utilizando o processo de Fused Deposition Modeling (FDM) avaliando sua resistência compressiva em comparação aos preenchimentos linear e triangular. O desenvolvimento dos corpos de prova deu-se através do software Ultimaker Cura seguido da fabricação na impressora 3D Creativity Ender 3 sendo submetidos aos critérios de pico de carregamento, efeito anisotrópico e tempo de impressão. O presente estudo revelou que o giroide apresenta aspecto homogêneo em ambas as direções as quais sofreu carregamento destacando-o sobre os outros tipos de preenchimento, no entanto o preenchimento triangular realçou o menor tempo de impressão em conjunto a maior resistência compressiva na direção da impressão.*

Análise Compressiva Do Preenchimento
Giroide Em Peças Fabricadas Por Fdm

Palavras-chave: Giroide. Manufatura Aditiva. Impressão 3D. FDM.

Abstract: Additive manufacturing or popularly known as 3D printing has increasingly replaced traditional manufacturing methods, in order to allow access to new alternatives, ideas or concepts that apparently required complexity in their manufacture. One type of structure that has allowed advances in the area of 3D printing is the application of the gyroid as a form of infill. The gyroid is identified in this environment because it presents a complex structure that is difficult to manufacture, which was precisely ignored in its discovery in the 70s, but with technological advances it is possible to study, analyze and apply it. With this, several areas between medicine and engineering investigate, indicate and show the advantages and qualities provided by the gyroid, such as, for example, permeability and satisfactory behavior in relation to weight x resistance. This work aims to analyze and apply the gyroid using the Fused Deposition Modeling (FDM) process, evaluating its compressive strength in comparison to the linear and triangular infills. The development of the specimens took place through the Ultimaker Cura software, followed by fabrication in the Creativity Ender 3 3D printer, being submitted to the criteria of load peak, anisotropic effect and printing time. The present study revealed that the gyroid has a homogeneous aspect in both directions which has been loaded, highlighting it over the other types of infills, however the triangular infill highlighted the shorter printing time together with the greater compressive strength in the printing direction.

Keywords: Gyroid. Additive Manufacturing. 3D Printing. FDM.

1. INTRODUÇÃO

A engenharia dos tecidos caracteriza-se por ser um campo multidisciplinar entre a biologia e a engenharia, tendo como objetivo recuperar, manter ou melhorar os tecidos celulares ou até órgãos. Envolvendo células, biomateriais e fatores bioativos, os quais

Análise Compressiva Do Preenchimento
Giroide Em Peças Fabricadas Por Fdm

em conjunto devem conseguir reproduzir os movimentos físicos e químicos do corpo, ajudando na regeneração de um tecido danificado. O biomaterial normalmente aplica-se na forma de “*scaffolds*”, onde o mesmo deve ser capaz de adaptar-se ao ambiente de aplicação, bem como garantir as propriedades mecânicas, dentre as restrições do ambiente celular a porosidade torna-se um fator importante, pois o tamanho dos poros e a interconectividade determinam a comunicação entre as células, difusão de nutrientes, gases e resíduos (GERMAIN et al., 2018).

Estruturas criadas com Superfícies Mínimas Triplamente Periódicas (TPMS) apresentam-se como procedências interessantes para a engenharia dos tecidos, visto demonstrarem características biomórficas, como alta porosidade, rede altamente interconectada e superfície lisa (YANG et al., 2019).

Melchels et al. (2010) analisou as propriedades de proliferação celular de “*scaffolds*” com diferentes arquiteturas de poros e constatou que o TPMS giroide mostrou 10 vezes mais permeabilidade que os outros modelos de TPMS, sendo facilmente umedecidos e instruídos por uma suspensão de células.

TPMS distingue-se como superfícies contínuas que não se interseccionam, que possuem a curvatura média igual a zero, sua área superficial é minimizada localmente de modo que se entrelaçam no espaço 3D, delimitando o volume em um número finito de “labirintos”. As estruturas de TPMS evidenciam vantagens em sua eficiência estrutural sobre as estruturas convencionais, despertando relevância ao setor de projetos, envolvendo aplicações de estruturas de alta rigidez, absorvedores de impacto de energia, catalisadores químicos e implantes ósseos médicos (LEARY et al., 2019). Existem diversos tipos de estruturas na família das TPMS, pode-se visualizar alguns exemplos na Fig. 1.

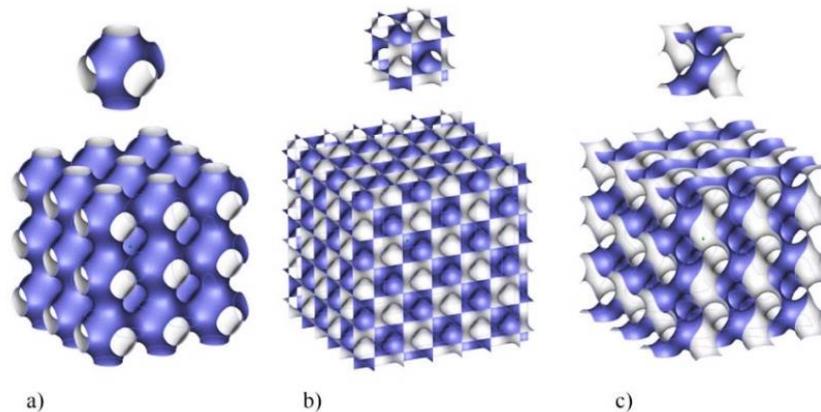
Análise Compressiva Do Preenchimento
 Giroide Em Peças Fabricadas Por Fdm


Figura 1. Estruturas TPMS, (a) Schwarz Primitive, (b) Schwarz Diamond e (c) Schoen Gyroid (adaptado de AL-KETAN e AL-RUB, 2019)

A superfície giroide trata-se de um dos modelos mais comuns de TPMS, o cientista da NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) Alan Schoen foi o responsável por sua descoberta em 1970, visando projetos com novos materiais leves de alta resistência (LI et al., 2019). Ao conectar uma rede de giroide forma-se uma estrutura que atende vantagens como: (1) Possuir alto entrelaçamento, ou seja, conectividade estrutural. (2) Devido a sua forma, não há geração de suporte durante a fabricação por AM. (3) Exibe alta resistência em baixa densidade. Em comparação com os outros modelos comuns de TPMS (como Schwarz Diamond e Primitive), a estrutura giroide dispõe de uma área mais ampla de conexão (LI et al., 2019).

Neste trabalho, o objetivo geral é investigar o comportamento compressivo do giroide e compará-lo com outros dois tipos de preenchimentos, o linear e triangular. Para isso, dividiu-se nos seguintes objetivos específicos: realizar uma pesquisa bibliográfica sobre o giroide e suas aplicações; desenvolver o *design* do corpo de prova e o método de fabricação; comparar os preenchimentos.

O desenvolvimento deste estudo está ligado a linha de pesquisa de Análise de Projeto Mecânico do Curso de Engenharia Mecânica da UNIFE. A organização deste trabalho estabeleceu-se da seguinte forma: Na revisão bibliográfica, apresenta-se uma contextualização sobre o giroide, manufatura aditiva e o ensaio de compressão. Em seguida, define-se os parâmetros e critérios de avaliação do estudo, a fabricação dos corpos de prova, ensaios e análise dos resultados. Nas conclusões são destacadas as principais vantagens bem como sugestões de trabalhos futuros.

Análise Compressiva Do Preenchimento
Giroide Em Peças Fabricadas Por Fdm

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A AM consegue replicar uma variedade de processos que fabricam componentes diretamente do modelo CAD (Desenho Assistido por Computador), utilizando basicamente uma sequência de camadas unidas e integradas. Conseqüentemente não possui as mesmas restrições que a fabricação convencional, logo permitindo a geração de formas complexas, oferecendo a possibilidade de redução de massa com aumento na funcionalidade do componente (MASKERY et al., 2017).

Stan e Milodin (2020) estudaram o comportamento mecânico de um braço robótico submetido a esforços de flexão de forma híbrida, integrando em uma parte do braço a estrutura de giroide impressa pelo processo de Sinterização Seletiva a Laser (SLS). Em seu trabalho verificaram que uma estrutura baseada apenas em giroide não é recomendada para aplicações as quais necessitam de atividades repetitivas, visto o aumento de elasticidade que resulta na perda de rigidez do sistema quando comparado a um corpo sólido com as mesmas proporções. Entretanto, Stan e Milodin (2020) concluíram que uma estrutura giroide torna-se interessante para ser implementada em sistemas robóticos controlados remotamente e que realizem tarefas com cargas relativamente baixas (4-5 kg), sendo que sua principal vantagem relaciona-se à redução de peso e momento de inércia, mantendo a resistência mecânica.

Ao implementar estruturas no formato de giroide em um componente de disjuntor a pesquisa de Hussmo e Schröder (2020) verificou que é possível manter a rigidez e a resistência em certos níveis em conjunto com a otimização da massa de forma a melhorar o desempenho do componente. A partir destes estudos os mesmos autores concluem que o giroide torna-se aplicável a uma ampla gama de produtos. Além disso, eles apontaram que o giroide pode ser fabricado com AM em uma variedade de materiais.

Pelanconi e Ortona (2019) desenvolveram um modelo inovador de viga incorporando em seu núcleo uma estrutura giroide em conjunto com hastes plásticas reforçadas com fibra de carbono nas extremidades. Os estudos demonstram que a

Análise Compressiva Do Preenchimento
 Giroide Em Peças Fabricadas Por Fdm

vantagem do sistema se encontra em posicionar as hastes de reforço exatamente ao longo das linhas de tensões solicitadas pela aplicação. Entretanto, notou-se inviabilidade para vigas com grande comprimento devido à dificuldade de inserção das hastes plásticas.

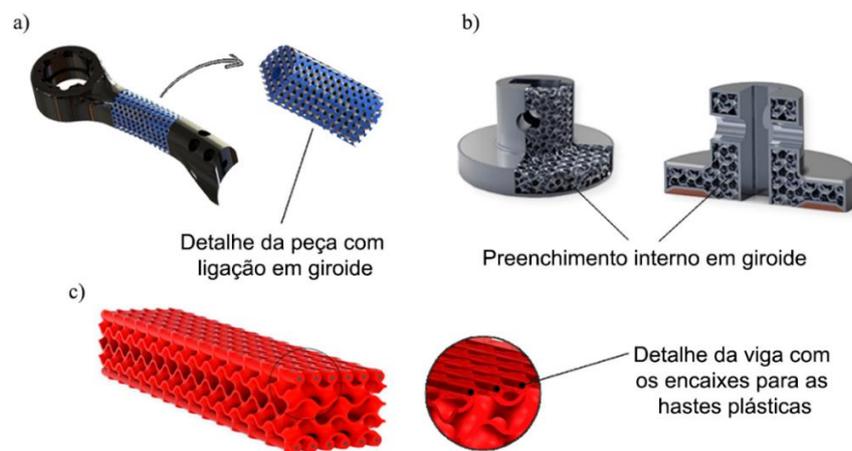


Figura 2. Exemplo de aplicações com giroide, onde (a) representa o braço robótico de STAN e MILODIN, (b) o componente de disjuntor (HUSSMO e SCHRÖDER) e (c) o modelo de viga proposto por PELANCONI e ORTONA (adaptado de STAN e MILONDIN, HUSSMO e SCHRÖDER, PELANCONI e ORTONA, 2019)

A impressão 3D está sendo aplicada em diversos campos, como a medicina, segmentos de artes visuais, educação e o próprio meio industrial. A facilidade de produzir peças customizadas e com custo relativamente baixo de recursos ressalta cada vez mais a tecnologia, além de ser um processo sustentável (GUERRA, 2019). Segundo Wang et al. (2018) uma das formas interessantes de controlar o custo é reduzir a taxa de preenchimento interno dos objetos impressos (Fig. 2), buscando manter a resistência.

Existem diversas técnicas de fabricação dentro da AM, cada uma com seus pontos positivos e negativos, tendo a possibilidade de usar diferentes materiais. A deposição de material fundido (*Fused Deposition Modeling* – FDM) é uma das mais populares técnicas, visto seu baixo custo de aquisição e simples operação comparando-se aos outros métodos. A tecnologia FDM consiste basicamente na deposição de um composto termoplástico, o qual é fundido e extrusado em um cabeçote de impressão que em conjunto com a movimentação dos eixos X, Y e Z da máquina forma camadas e sucessivamente a peça projetada (CAMPOS, 2019). Contudo, os métodos de

Análise Compressiva Do Preenchimento
Giroide Em Peças Fabricadas Por Fdm

impressão 3D normalmente seguem os mesmos passos: (1) criação do modelo 3D em um *software* CAD, (2) conversão do modelo para o formato STL (Linguagem padrão do triângulo), (3) transformar o STL em G-code, nesta etapa define-se as informações geométricas como espessura, densidade e formato das camadas de preenchimento do modelo, as quais ajustam-se de acordo com as necessidades de projeto (BUERGER, 2019).

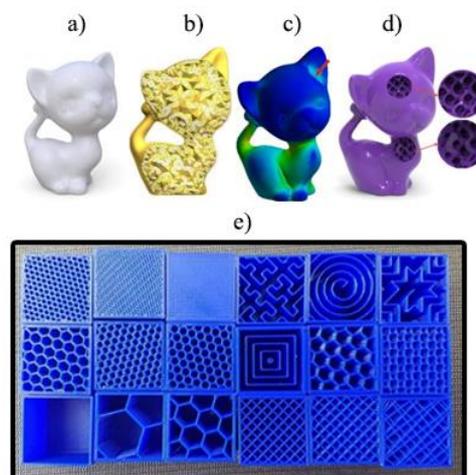


Figura 3. Ilustração do desenvolvimento de um componente, sendo a etapa (a) corresponde a criação do modelo 3D, (b) geração da malha tetrahedra, (c) análise de elementos finitos, (d) definição das informações geométricas e (e) alguns tipos de preenchimentos existentes (adaptado de WANG et al., 2020 e GOLDSCHMIDT, 2021)

Como os outros métodos de fabricação, a impressão 3D também apresenta necessidade de seleção da matéria prima. O material definido para este trabalho é o Políácido Láctico (PLA), considerado o principal filamento empregado nas impressoras 3D. Algumas características que influenciam na seleção deste material são, por não requerer o aquecimento da mesa durante a impressão e ser sintetizado a partir do ácido láctico, o qual é obtido de fontes renováveis proveniente do amido de milho, cana-de-açúcar e amido de batata.

O PLA é um material atóxico, ou seja, inofensivo ao organismo humano e devido esta propriedade é utilizado na medicina em suturas e implantes cirúrgicos, inclusive pode ser aplicado em louças descartáveis, produtos de higiene, embalagens de alimentos, entre outros (BESKO et al., 2017).

2.1. TPMS / GIROIDE

As superfícies mínimas de acordo com Hussmo e Schröder (2020) são descritas como uma superfície com área mínima que a curvatura média é igual a zero, onde a curvatura média de uma superfície corresponde à medida em qualquer ponto da superfície. Um dos exemplos mais utilizados para representar as superfícies mínimas são os filmes de sabão, visto que ao mergulhar uma estrutura de arame em uma solução com sabão permite-se observar os filmes se estenderem entre os limites da estrutura de arame formando uma superfície com área mínima. As Superfícies Mínimas Triplamente Periódicas (TPMS) possuem estrutura cristalina, a qual se repete em três dimensões, ou seja, periódicas triplamente (HUSSMO e SCHRÖDER, 2020).

O giroide foi descoberto em 1970 pelo cientista da NASA Alan Schoen com requisitos para se enquadrar em uma TPMS, tendo características como não se auto interseccionar e não possuir quaisquer linhas retas (DOWNING et al., 2021). O giroide obteve o reconhecimento como uma estrutura biológica e cristalográfica, como a estrutura de cristal fotônico em escamas de asas de borboletas (Fig. 4) e membranas mitocôndrias em cones retiniais de musaranhos. A Figura 4 ilustra uma visão de uma borboleta (A) com o detalhe das suas asas em (B) e uma imagem ampliada com os detalhes da estrutura da asa (C) semelhante a estrutura giroide ilustrada em (D). Entretanto, devido a época de descoberta do giroide e com seu formato complexo, logo difícil de produzir pelos métodos tradicionais de fabricação o mesmo não recebeu atenção, mas com surgimento e a facilidade fornecida pela AM a aplicação de giroide está em crescente demanda no segmento da engenharia avançada de materiais (DOWNING et al., 2021). O giroide pode ser aproximado pela Eq. (1), de forma a permitir a implementação e desenvolvimento em *softwares* numéricos no qual extrai-se as coordenadas dos pontos geométricos e ajusta-se conforme necessidade, entretanto neste trabalho a implementação realiza-se diretamente pelo fatiador (*Ultimaker Cura*).

Análise Compressiva Do Preenchimento
Giroide Em Peças Fabricadas Por Fdm

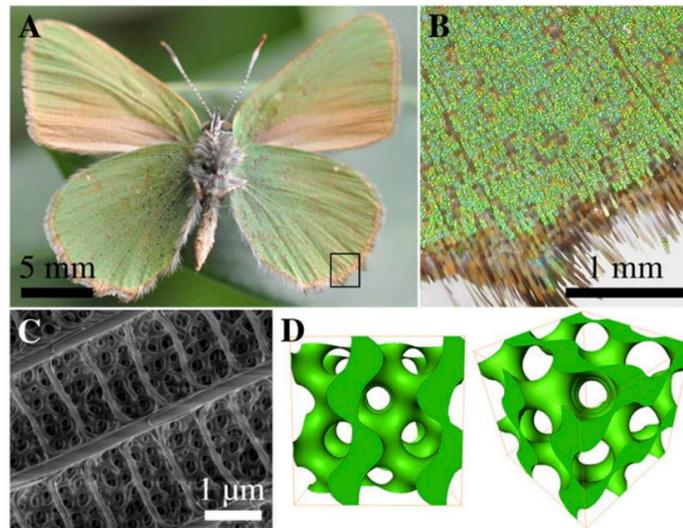


Figura 4. (A) borboleta e microestrutura nas asas (B) e (C) com indícios de giroide (D) (WINTER et al., 2015)

$$\sin\left(2\pi \frac{x}{a}\right) \cos\left(2\pi \frac{y}{a}\right) + \sin\left(2\pi \frac{y}{a}\right) \cos\left(2\pi \frac{z}{a}\right) + \sin\left(2\pi \frac{z}{a}\right) \cos\left(2\pi \frac{x}{a}\right) - t = 0 \text{ Eq. (1)}$$

Onde:

a – tamanho da célula unitária

t – é um parâmetro para a espessura em função da densidade relativa que varia entre -1,5 (fração de volume 0%) e 1,5 (fração de volume 100%)

2.2. ENSAIO DE COMPRESSÃO

Os ensaios de compressão proporcionam a análise de um corpo de prova quantificando as propriedades mecânicas como resistência e rigidez, introduzindo estes parâmetros com os geométricos e relacionando-os pode-se projetar redes de estruturas giroide para uma abrangente gama de aplicações. Além disso, a investigação experimental auxilia a detectar os benefícios e defeitos de fabricação, ou seja, o impacto dessas características no desempenho mecânico estrutural. Basicamente, o ensaio de compressão segue as etapas: (1) insere-se um corpo de prova na máquina que é exposto a uma força crescente em uma velocidade determinada, (2) conforme a amostra é comprimida os sensores medem o deslocamento do material (mm) e o nível de tensão (MPa) é encontrado, (3) gerando com estes dados o diagrama de tensão x deformação, onde as principais

características buscadas são deformação, tensão de escoamento, resistência a tração e o módulo de elasticidade (MACONACHIE et al., 2020 ; HUSSMO e SCHRÖDER, 2020).

Abaixo estão listadas as equações que são utilizadas para encontrar a tensão (Eq. 2), deformação (Eq. 3) e módulo de elasticidade (Eq. 4).

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad \text{Eq. (2)}$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} \quad \text{Eq. (3)}$$

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad \text{Eq. (4)}$$

Onde:

σ – Tensão (MPa)

F – Força (N)

A – Área (mm²)

ε – Deformação (%)

Δl – Variação do comprimento do corpo (mm)

l_0 – Comprimento inicial do corpo (mm)

E – Módulo de elasticidade (MPa)

Parab e Zaveri (2020) estudaram a influência do tipo de preenchimento no comportamento compressivo de peças em PLA fabricadas por FDM. O estudo aplicou-se em corpos de prova cúbicos (dimensões 35 x 35 x 35 mm) e revelou que o preenchimento triangular é extremamente resistente na direção de impressão e suporta cargas mais altas em relação aos outros preenchimentos (linear e giroide). Além disso, eles apontaram que o preenchimento giroide recomenda-se aplicar em situações as quais desconhece-se a direção do carregamento ou peças sujeitas ao carregamento transversal.

Ao comparar estruturas giroides fabricadas por diferentes tecnologias (FDM e *Polyjet*) Silva (2019) concluiu que a própria estrutura possui maior influência no comportamento compressivo do que o material e ressaltou que estruturas giroides fabricadas por métodos com menos influência anisotrópica geram peças com comportamento semelhante sob compressão, independente da direção do carregamento.

Análise Compressiva Do Preenchimento
Giroide Em Peças Fabricadas Por Fdm

No presente trabalho identificou-se a ausência de normas técnicas destinadas exclusivamente para ensaios compressão em peças plásticas impressas 3D, sendo atribuído as orientações de repetibilidade conforme a norma ASTM D695-15 (*Standard Test Method for Compressive Properties of Rigid Plastics*).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Para realização do estudo e análise organizou-se o procedimento em seis etapas (Fig. 5), inicialmente empregou-se o giroide em corpos de prova comparando-o com outros tipos de preenchimento e posteriormente investigou-se uma aplicação em função dos resultados.



Figura 5. Fluxograma do procedimento (OS AUTORES)

Desenvolveu-se o modelo 3D no *software Solid Edge 2020 Student Edition*, sendo um cubo das seguintes dimensões 20 x 20 x 20 mm, o qual importou-se no fatiador *Ultimaker Cura*.

Neste programa realizou-se a seleção dos parâmetros de impressão como tipo de preenchimento, percentual de preenchimento, velocidade de impressão, entre outros, finalizando com a geração do G-code (linguagem de programação que faz uso do sistema Comando Numérico Computadorizado – CNC), logo limitando-se as configurações propostas pela impressora 3D.

Para realização da impressão 3D dos corpos de prova utilizou-se o equipamento *Creatily Ender 3* de tecnologia FDM com o filamento de PLA EasyFill da marca 3D Fila e espessura nominal de 1,75 mm.

Na Tabela 1 estão expressos os parâmetros fixos, ou seja, que não sofreram alteração durante o processo de impressão.

Tabela 1. Parâmetros fixos de impressão (OS AUTORES)

Dimensões dos corpos de prova	20 x 20 x 20 mm
--------------------------------------	-----------------

Análise Compressiva Do Preenchimento
 Giroide Em Peças Fabricadas Por Fdm

Diâmetro do bico extrusor	0,4 mm
Temperatura do bico extrusor	220 °C
Altura da camada	0,2 mm
Espessura da parede	0,8 mm (2 perímetros)
Espessura da camada superior/inferior	0,8 mm (4 camadas)
Velocidade	60 mm/s
Temperatura da mesa	50 °C

Para realização dos corpos de prova selecionou-se os seguintes tipos de preenchimento: linear, triangular e o giroide. O preenchimento linear encontra-se normalmente como a primeira opção pré-selecionada na maioria dos programas, desde os que acompanham a própria impressora até os mais dedicados, conseqüentemente estima-se que apresente um alto nível de utilização, sendo interessante para efetuar a comparação com o giroide. Em relação ao preenchimento triangular um estudo realizado por Aloyaydi et al. (2020) demonstrou que o mesmo obteve destaque perante a força máxima de pico suportada ao comparar-se a outros tipos de preenchimento, tendo em vista tal característica torna-se proeminente a análise comparativa.

É importante destacar na fabricação dos corpos de prova o estudo de Lovo e Fortulan (2016), pois revelaram que peças impressas 3D por FDM com PLA apresentam caráter anisotrópico (Fig. 6), logo evidencia-se a necessidade de observar este aspecto nos ensaios, com isso realizou-se a impressão no sentido 45°/45° (com exceção do giroide que é uma isosuperfície), sendo executado o ensaio de compressão no sentido de impressão e no sentido perpendicular a mesma, propiciando mostrar os efeitos anisotrópicos presentes.

Análise Compressiva Do Preenchimento
Giroide Em Peças Fabricadas Por Fdm

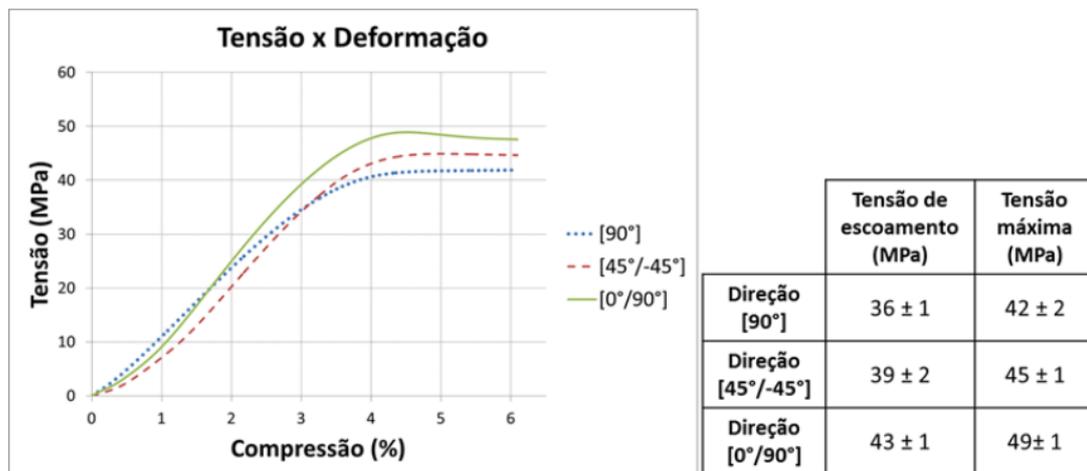


Figura 6. Ensaio de compressão com diferentes direções de impressão (LOVO E FORTULAN, 2016)

Enquadra-se na Tabela 2 os parâmetros variáveis, os quais dividiu-se em nove grupos e foram impressos dois lotes de cada. No primeiro lote executou-se o ensaio de compressão no sentido de impressão e o segundo na direção perpendicular, tendo uma repetibilidade de cinco ensaios por lote, ou seja, foram testadas no total 10 (dez) peças por grupo. O procedimento segue as orientações de repetibilidade conforme a norma ASTM D695-15 (*Standard Test Method for Compressive Properties of Rigid Plastics*).

Tabela 2. Parâmetros variáveis (OS AUTORES)

Nome do grupo de ensaios	L20	L50	L80	T20	T50	T80	G20	G50	G80
Tipo de preenchimento	Linear			Triangular			Giroide		
Percentual de preenchimento	20%	50%	80%	20%	50%	80%	20%	50%	80%

Realizou-se os ensaios na máquina Pantec Versat 300 kN da fabricante Panantec que permite a carga máxima de 300 kN e indica o deslocamento com precisão de 1 µm. Utilizou-se nos ensaios a velocidade de avanço em 5 mm/min com a carga máxima do equipamento e definiu-se mensurar até 5% da deformação, ou seja, 1 mm de deslocamento. Avaliou-se o pico de carregamento até a deformação proposta e em 0,2%, onde realizou-se a média aritmética dos resultados de carregamento e deslocamento para cada lote, os quais são apresentados em gráficos de acordo com sentido de impressão.

Através dos ensaios de compressão realizou-se a coleta de dados dos resultados médios de pico de carregamento (F) e deslocamento (Δl). Posteriormente analisou-se os dados por meio de uma planilha no Excel aplicando-se a Eq. 2 e Eq.3 para encontrar a tensão (σ) e a deformação (ε), tendo em vista a área do corpo de prova (A) e o comprimento inicial (l_0).

Na Figura 7 demonstrou-se o procedimento de teste efetuado: (a) modelamento CAD, (b) seleção dos parâmetros no fatiador, (c) impressão dos corpos de prova e (d) ensaio de compressão no sentido de impressão (detalhe - seta para cima) e no sentido perpendicular (detalhe - seta para direita).

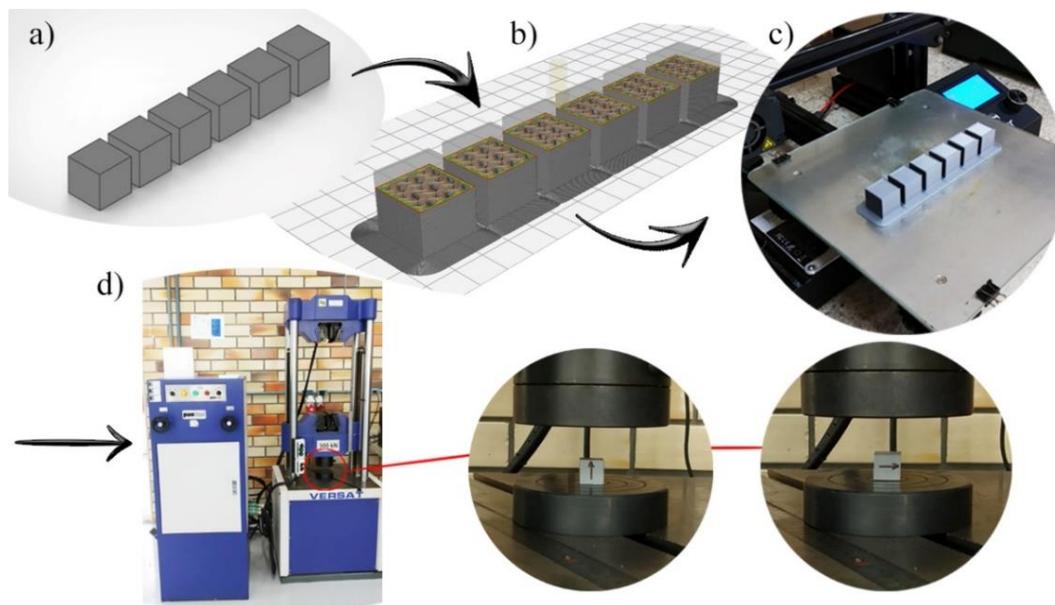


Figura 7. Procedimento de teste (OS AUTORES)

Outro fator que observou-se foram as massas dos corpos de prova com a balança digital Tomate MH-502, onde calculou-se a média aritmética dos valores encontrados e em conjunto analisou-se o tempo de impressão por peça em função dos grupos definidos. Subsequentemente aos ensaios de compressão direcionou-se os valores obtidos ao *software Excel* para análise e avaliação dos resultados sendo gerado gráficos visando mensurar o desempenho dos corpos de prova e facilitar a interpretação dos dados.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Análise Compressiva Do Preenchimento
Giroide Em Peças Fabricadas Por Fdm

Nesta seção apresenta-se a análise dos dados coletados durante o processo experimental conforme definido em materiais e métodos. A Figura 8 (a) ilustra os corpos de prova com preenchimento giroide sem as paredes, apenas com objetivo de visualização, (b) mostra os corpos de prova giroide deformados 20% na direção da impressão e (c) no sentido perpendicular todos na sequência 20/50/80% de preenchimento.

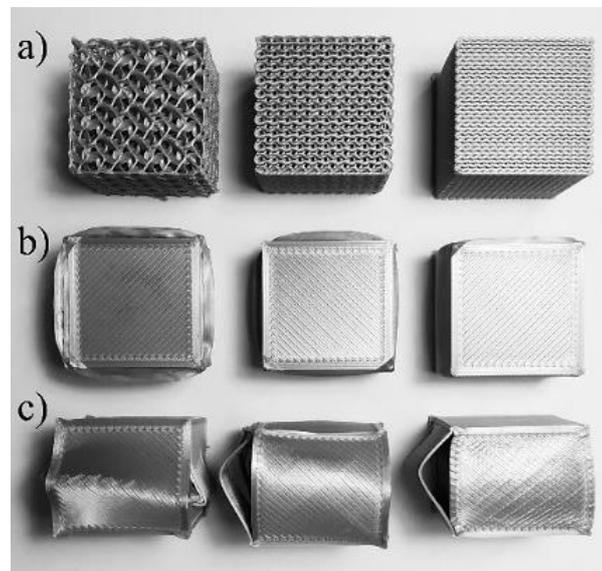


Figura 8. Corpos de prova (OS AUTORES)

Nas Figuras 9 e 10 são apresentados os valores médios de pico de carregamento e tensão atingidos na direção da impressão, logo visualiza-se o destaque para o preenchimento triangular (T20, T50 e T80) em todos percentuais o mesmo realçou a maior resistência compressiva, tal como indicado no estudo de Parab e Zaveri (2020) e Aloyaydi et al. (2020). Em relação ao linear (L20) e o giroide (G20), o T20 expressou um pico de carregamento aproximadamente 8% superior, enquanto em 50% (T50) de preenchimento essa diferença aumentou para 18% em relação ao L50 e 25% ao G50. Contudo, percebe-se que nos ensaios com 80% o giroide reduziu a diferença e permaneceu com desempenho apenas 6% inferior, nota-se também o comportamento similar entre o linear e o giroide até a deformação mensurada.

Análise Compressiva Do Preenchimento
Giroide Em Peças Fabricadas Por Fdm

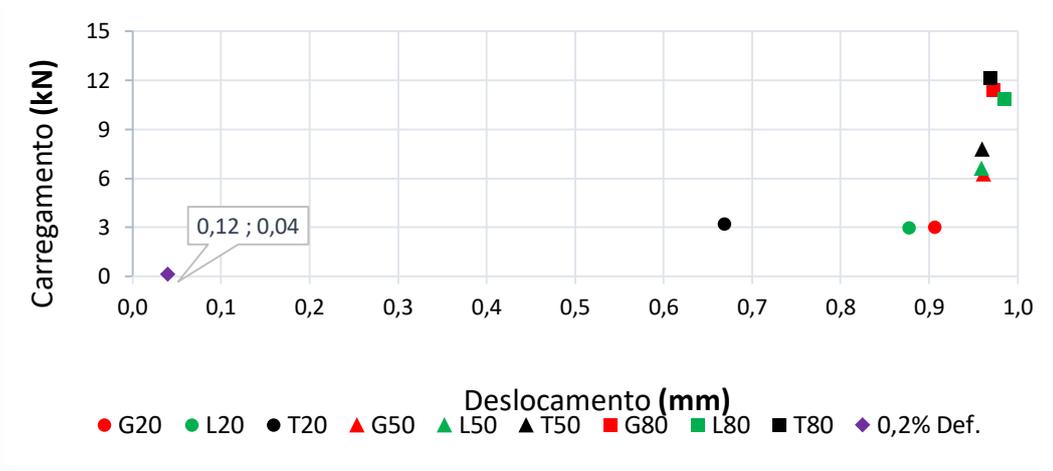


Figura 9. Comparação entre os grupos na direção da impressão (Pico de carregamento até 5% deformação) (OS AUTORES)

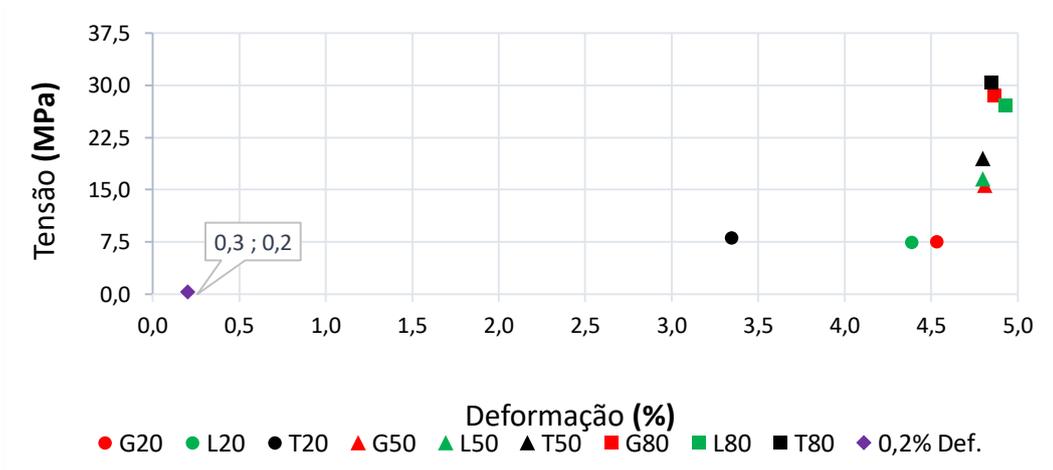


Figura 10. Comparação entre os grupos na direção da impressão (Pico de tensão até 5% da deformação) (OS AUTORES)

Observou-se entre os intervalos dos grupos que a região de 0,2% de deformação (losango na cor roxa, Fig. 9, 10, 11 e 12) exibiu valores próximos sendo possível indicar um valor médio para todos os tipos de preenchimentos analisados, atingindo 0,12 kN / 0,3 MPa (direção da impressão) e 0,11 kN / 0,27 MPa (90° da impressão).

Como indicado por Lovo e Fortulan (2016) os resultados no sentido perpendicular (Fig. 11 e 12) evidenciaram os efeitos anisotrópicos, onde o giroide distinguiu-se dos demais preenchimentos exibindo um comportamento homogêneo em ambas as direções. Todavia, percebe-se que na mudança de direção os outros preenchimentos sofreram uma queda considerável no desempenho.

Análise Compressiva Do Preenchimento
Giroide Em Peças Fabricadas Por Fdm

Na etapa inicial com 20% a queda de desempenho foi minimizada sendo próximo de 5% no linear e 13% no triangular, porém nos outros grupos de ensaios apresentaram reduções expressivas atingindo valores com mais de 25% de redução.

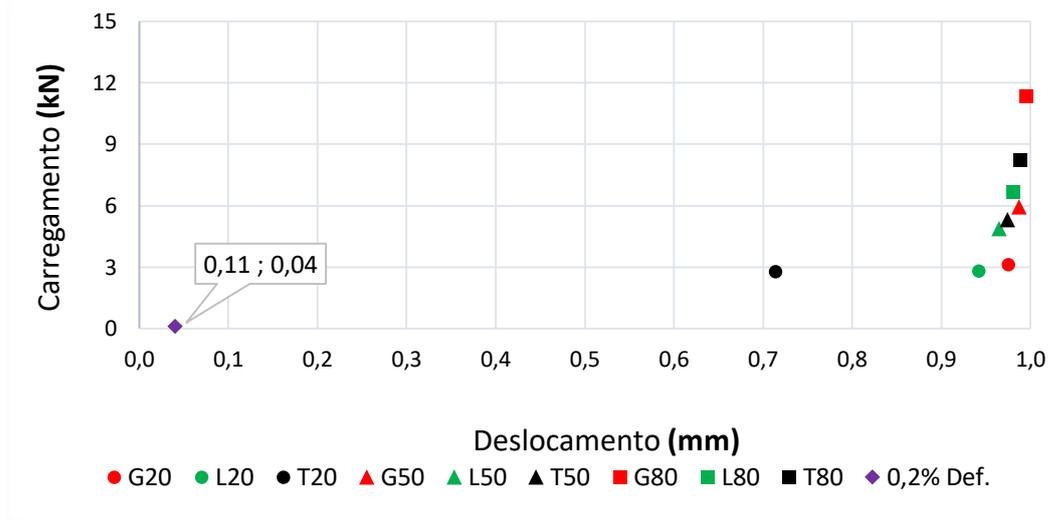


Figura 11. Comparação entre os grupos na direção perpendicular a impressão (Pico de carregamento até 5% deformação) (OS AUTORES)

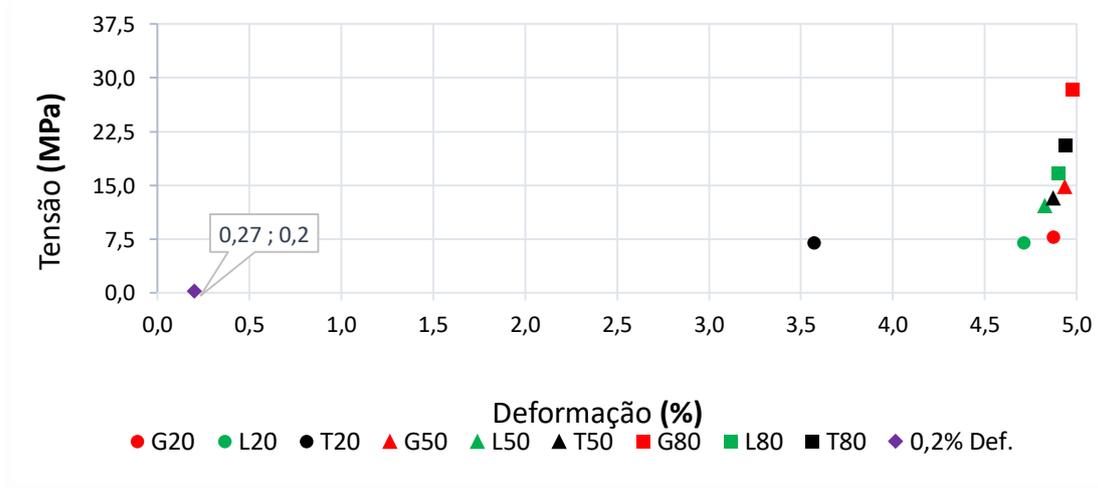


Figura 12. Comparação entre os grupos na direção perpendicular a impressão (Pico de tensão até 5% deformação) (OS AUTORES)

A Figura 13 demonstra a comparação direta em ambas as direções destacando os valores de pico de carregamento em contrapartida ao tipo e percentual de preenchimento, percebe-se claramente a proximidade de comportamento nas linhas do giroide (linhas em vermelho), as quais assemelham-se ao estudo de Silva (2019)

Análise Compressiva Do Preenchimento
Giroide Em Peças Fabricadas Por Fdm

que evidencia a influência das estruturas giroides no desempenho compressivo independente da direção do carregamento. Em referência a massas aferidas, encontrou-se os valores médios por grupo sendo 3,9 gramas para 20% de preenchimento, 5,7 gramas (50%) e 7,8 gramas (80%).

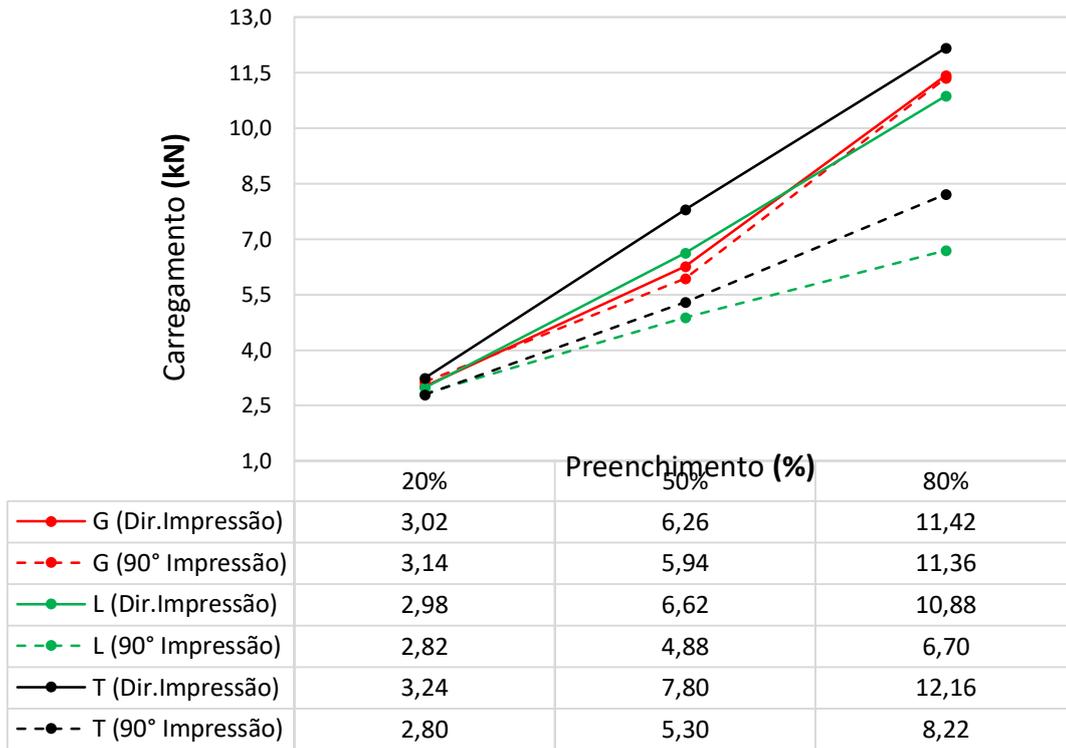


Figura 13. Comparação direta entre os grupos em ambas as direções (OS AUTORES)

A utilização de novas alternativas, métodos e conceitos tornam as empresas mais competitivas no seu mercado de atuação, do mesmo modo que aprimorar processos, produtos, reduzir custos e aumentar a qualidade. Logo, o tempo de impressão torna-se um critério interessante para analisar, pois detêm uma influência significativa no custo de impressão 3D, desse modo comparou-se o tipo de preenchimento em relação ao seu tempo de impressão (Fig. 14).

Análise Compressiva Do Preenchimento
Giroide Em Peças Fabricadas Por Fdm

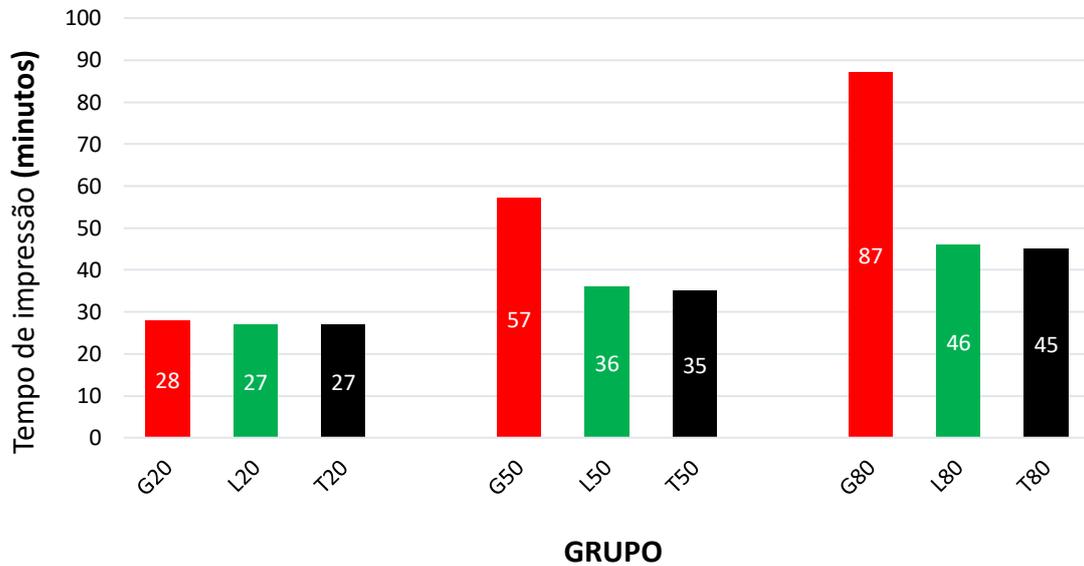


Figura 14. Comparativo entre os grupos e o tempo de impressão (OS AUTORES)

Identifica-se na Figura 14 os tempos de impressões por grupo para cada peça (Cubo 20 x 20 x 20 mm) em que o giroide atinge o maior tempo de impressão em todos os casos, no entanto em 20% de preenchimento a diferença é irrelevante, expressando somente cerca de 4%. Contudo, atentando-se aos preenchimentos subsequentes a distinção dos valores ultrapassa mais de 50%.

De acordo com o comportamento demonstrado nos corpos de prova comprovou-se que a resistência compressiva na direção da impressão é superior a perpendicular com exceção do giroide, o qual em ambas as direções expressou desempenho similar, com isso identifica-se e ressalta-se sua recomendação para aplicações onde as peças ou componentes sofram esforço em diferentes direções, por exemplo, engrenagens (que possuem uma força na direção centrípeta e outra tangencial) e aplicações em que não é viável a impressão no sentido da direção do carregamento, por exemplo, uma viga W (visto a quantidade excessiva de suportes gerados para execução da impressão 3D).

A Figura 15 ilustra os suportes criados para fabricação em azul claro, a letra (a) e (c) retratam a posição adequada em vista os carregamentos solicitados pelas peças, logo evidenciam a inviabilidade do processo por questões de tempo de impressão e remoção dos suportes pós-impressão. Dessa forma, a situação (b) e (d), mostram-se

vantajosas para a aplicação do giroide inclusive considerando a questão do tempo mencionado na Fig. 14.

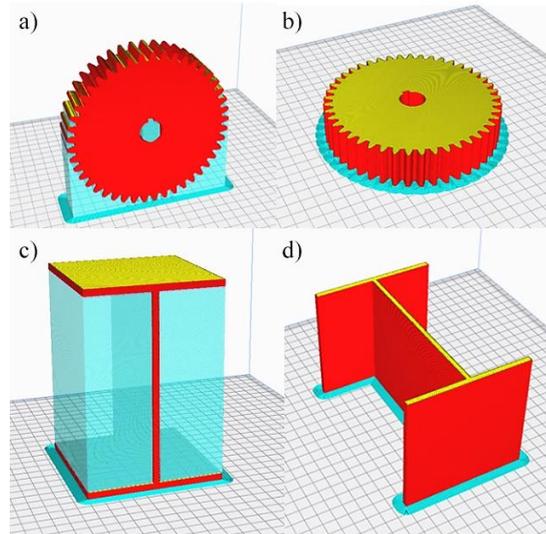


Figura 15. Exemplo de aplicações (OS AUTORES)

5. CONCLUSÕES

O presente trabalho buscou analisar, comparar e aplicar o giroide avaliando seu comportamento compressivo até 5% da deformação em relação aos critérios: pico de carregamento, efeito anisotrópico e tempo de impressão, logo permitem-se tirar as seguintes conclusões:

- O preenchimento triangular destacou-se perante o pico de carregamento no sentido da impressão somado ao menor tempo, mas teve seu desempenho reduzido na direção perpendicular a impressão em comparação ao giroide, constata-se que é importante aplicá-lo em situações estáticas nas quais a direção do carregamento é conhecida, por exemplo, uma coluna;
- Não foi evidenciada no estudo vantagem no uso do preenchimento linear, apesar de possuir o tempo de impressão equivalente ao triangular sua resistência apresentou-se inferior na maioria dos ensaios, somente em 20% de preenchimento no sentido perpendicular que o linear obteve um desempenho 0,7% superior ao triangular;
- O giroide evidenciou comportamento similar em ambas as direções com carregamento satisfatório comparando-se aos outros tipos de preenchimentos, de fato, recomenda-se para aplicações com carregamentos em diferentes

Análise Compressiva Do Preenchimento
Giroide Em Peças Fabricadas Por Fdm

direções. Contudo, o giroide detêm uma adversidade em relação ao seu extenso tempo de impressão que é notável acima dos 20% de preenchimento.

Portanto, este estudo revelou a relevância do preenchimento giroide e também a importância na correta seleção do tipo de preenchimento, conhecimento muito relevante para engenheiros e projetistas da área de Engenharia Mecânica. Para complementar e aprofundar o estudo sobre o giroide pode-se sugerir a realização de trabalhos futuros comparando com outros materiais como o ABS e também em outros processos dentro da AM como a Fusão Seletiva a Laser (SLM), buscando a inserção de materiais metálicos e análise sobre o seu comportamento.

6. AGRADECIMENTOS

O desenvolvimento deste trabalho de conclusão de curso contou com ajuda de várias pessoas, dentre as quais agradeço:

Ao professor orientador, por todos os auxílios, solicitações e disposições necessárias para elaboração do trabalho;

Aos técnicos de laboratório do Centro de Tecnologia e Inovação em Fabricação (CTIF) dentro do Centro Universitário de Brusque (UNIFE), por terem auxiliado e a instituição pela disponibilização da infraestrutura para realização do estudo;

Aos doutores e mestres do curso de Engenharia Mecânica que contribuíram com seus ensinamentos para execução deste trabalho;

Aos meus pais, amigos e colegas de turma que incentivaram ou sugeriram melhorias durante este período;

Enfim, agradeço a mim por todas as horas de dedicação, vontade e perseverança visando desenvolvimento profissional e pessoal.

7. REFERÊNCIAS

AL-KETAN, Oraib; AL-RUB, Rashid K. Abu. Multifunctional Mechanical Metamaterials Based on Triply Periodic Minimal Surface Lattices. **Advanced Engineering Materials**, [S.L.], v. 21, n. 10, p. 1900524, 20 ago. 2019. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/adem.201900524>.

ALOYAYDI, Bandar; SIVASANKARAN, Subbarayan; MUSTAFA, Ammar. Investigation of infill-patterns on mechanical response of 3D printed poly-lactic-acid. **Polymer Testing**, [S.L.], v. 87, p. 106557, jul. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.polymertesting.2020.106557>.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D695-15**: Standard Test Method for Compressive Properties of Rigid Plastics. West Conshohocken, 2015. 8p.

BESKO, Marcos; BILYK, Claudio; SIEBEN, Priscila Gritten. Aspectos técnicos e nocivos dos principais filamentos usados em impressão 3D. **Gestão, Tecnologia e Inovação**, v. 01, p. 9-18, 2017. Disponível em: <https://www.opet.com.br/faculdade/revista-engenharas/pdf/n3/Artigo2-n3-Bilyk.pdf>. Acesso em: 18 abr. 21.

BUERGER, Glauco. **IMPRESSÃO 3D COM ADIÇÃO DE GRAFITE DURANTE PROCESSO**. 2019. 19 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, UNIFEBE, Brusque, 2019.

CAMPOS, Alexander Beuting. **FABRICAÇÃO ADITIVA MULTICOLOR UTILIZANDO SISTEMA DE CORES CMY**. 2019. 19 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, UNIFEBE, Brusque, 2019.

DOWNING, David; JONES, Alistair; BRANDT, Milan; LEARY, Martin. Increased efficiency gyroid structures by tailored material distribution. **Materials & Design**, [S.L.], v. 197, p. 109096, jan. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.matdes.2020.109096>.

GERMAIN, Loïc; FUENTES, Carlos A.; VAN VUURE, Aart W.; RIEUX, Anne Des; DUPONT-GILLAIN, Christine. 3D-printed biodegradable gyroid scaffolds for tissue engineering applications. **Materials & Design**, [S.L.], v. 151, p. 113-122, ago. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.matdes.2018.04.037>.

GOLDSCHMIDT, Benjamin. **The Best Cura Infill Pattern (for Your Needs)**. 2021. Disponível em: <https://all3dp.com/2/cura-infill-patterns-all-you-need-to-know/>. Acesso em: 24 abr. 21.

GUERRA, Raphael Afonso. **Impressão 3D de conectores baseados em modelos matemáticos para aplicação em mobiliário**. 2019. 135 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Design Industrial e de Produto, FEUP, Porto, 2019. Disponível em: <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/123558/2/363346.pdf>. Acesso em: 18 abr. 21.

HUSSMO, Jonatan; SCHRÖDER, Roman. **Experiments, analysis and an application of 3D-printed gyroid structures**. 2020. 70 f. Bachelor thesis in Mechanical Engineering, Örebro University, Örebro, 2020. Disponível em:

Análise Compressiva Do Preenchimento
Giroide Em Peças Fabricadas Por Fdm

<http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1470388/FULLTEXT01.pdf>. Acesso em: 18 abr. 21.

LEARY, Martin; YANG, Eric; LOZANOVSKI, Bill; DOWNING, David; MAZUR, Maciej; SARKER, Avik; KHORASANI, Amirmahyar; JONES, Alistair; MACONACHIE, Tobias; BATEMAN, Stuart. Effect of geometry on the mechanical properties of Ti-6Al-4V Gyroid structures fabricated via SLM: a numerical study. **Materials & Design**, [S.L.], v. 184, p. 108165, dez. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.matdes.2019.108165>.

LI, Dawei; LIAO, Wenhe; DAI, Ning; XIE, Yi Min. Comparison of Mechanical Properties and Energy Absorption of Sheet-Based and Strut-Based Gyroid Cellular Structures with Graded Densities. **Materials**, [S.L.], v. 12, n. 13, p. 2183, 7 jul. 2019. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/ma12132183>.

LOVO, J. F. P.; FORTULAN, C. A. **ESTUDO DE PROPRIEDADES MECÂNICAS E ANISOTROPIA EM PEÇAS FABRICADAS POR MANUFATURA ADITIVA TIPO FDM**. Simpósio do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, 1. Ed. Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2016.

MACONACHIE, Tobias; TINO, Rance; LOZANOVSKI, Bill; WATSON, Marcus; JONES, Alistair; PANDELIDI, Chrysoula; ALGHAMDI, Ahmad; ALMALKI, Abduladheem; DOWNING, David; BRANDT, Milan. The compressive behaviour of ABS gyroid lattice structures manufactured by fused deposition modelling. **The International Journal Of Advanced Manufacturing Technology**, [S.L.], v. 107, n. 11-12, p. 4449-4467, abr. 2020. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s00170-020-05239-4>.

MASKERY, I.; ABOULKHAIR, N.T.; AREMU, A.O.; TUCK, C.J.; ASHCROFT, I.A.. Compressive failure modes and energy absorption in additively manufactured double gyroid lattices. **Additive Manufacturing**, [S.L.], v. 16, p. 24-29, ago. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.addma.2017.04.003>.

MELCHELS, Ferry P.W.; BARRADAS, Ana M.C.; VAN BLITTERSWIJK, Clemens A.; BOER, Jan de; FEIJEN, Jan; GRIJPMA, Dirk W.. Effects of the architecture of tissue engineering scaffolds on cell seeding and culturing. **Acta Biomaterialia**, [S.L.], v. 6, n. 11, p. 4208-4217, nov. 2010. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.actbio.2010.06.012>.

PARAB, Sanket; ZAVERI, Nilay. Investigating the Influence of Infill Pattern on the Compressive Strength of Fused Deposition Modelled PLA Parts. **Proceedings Of International Conference On Intelligent Manufacturing And Automation**, [S.L.], p. 239-247, 2020. Springer Singapore. http://dx.doi.org/10.1007/978-981-15-4485-9_25.

PELANCONI, Marco; ORTONA, Alberto. Nature-Inspired, Ultra-Lightweight Structures with Gyroid Cores Produced by Additive Manufacturing and Reinforced by

Unidirectional Carbon Fiber Ribs. **Materials**, [S.L.], v. 12, n. 24, p. 4134, 10 dez. 2019. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/ma12244134>.

SILVA, Catarina. **3D printing of gyroid structures for superior structural behaviour**. 2019. 184 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Feup, Porto, 2019.

STAN, Alexandru; MILODIN, Nichita Larisa. ROBOTIC ARM STRUCTURAL FRAME ENHANCEMENT BY GYROID LATTICE CUBE INTEGRATION. **International Journal of Mechatronics and Applied Mechanics**, [S.L.], v. 2, n. 8, nov. 2020. INCDMTM. <http://dx.doi.org/10.17683/ijomam/issue8.33>.

WANG, Jidong; ZHAO, Ruibin; PANG, Mingyong. Modeling Single-Gyroid Structures in Surface Mesh Models for 3D Printing. **International Conference On Cyberworlds (CW)**, [S.L.], p. 1-8, out. 2018. IEEE. <http://dx.doi.org/10.1109/cw.2018.00015>.

WINTER, Benjamin; BUTZ, Benjamin; DIEKER, Christel; SCHRÖDER-TURK, Gerd E.; MECKE, Klaus; SPIECKER, Erdmann. Coexistence of both gyroid chiralities in individual butterfly wing scales of *Callophrys rubi*. **Proceedings Of The National Academy Of Sciences**, [S.L.], v. 112, n. 42, p. 12911-12916, 5 out. 2015. Proceedings of the National Academy of Sciences. <http://dx.doi.org/10.1073/pnas.1511354112>.

YANG, Lei; YAN, Chunze; CAO, Wenchao; LIU, Zhufeng; SONG, Bo; WEN, Shifeng; ZHANG, Cong; SHI, Yusheng; YANG, Shoufeng. Compression–compression fatigue behaviour of gyroid-type triply periodic minimal surface porous structures fabricated by selective laser melting. **Acta Materialia**, [S.L.], v. 181, p. 49-66, dez. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.actamat.2019.09.042>.

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM SISTEMA DE AR COMPRIMIDO UTILIZANDO FLUXOSTATO

ENERGY EFFICIENCY IN COMPRESSED AIR SYSTEM USING FLOW SWITCH

Franciane da Silva Alves¹

Milton Augusto Pinotti²

Resumo: O Brasil apresenta desperdício de cerca de 40 milhões de kWh de energia elétrica atualmente. As indústrias representam 70% desses gastos na geração de ar comprimido. Essas indústrias são exemplos pontuais no potencial de diminuição no combate ao desperdício energético. Objetiva este trabalho avaliar a eficiência energética do sistema de ar comprimido de uma esteira transportadora de caixas, fazendo uso do fluxostato como detector de vazamento do fluxo de ar. Essa avaliação será realizada através de uma bancada de testes. Por meio da quantificação das perdas por vazamentos no sistemas de ar comprimido, efetuou-se o cálculos dos valores de energia gastos para suprir os vazamentos, além do tempo de retorno financetiro na instalação do fluxostato. Os resultados mostraram que com a instalação do equipamento na esteira transportadora de caixas pode-se deixar de gastar o valor de R\$31512,00 por ano, e, considerando a mesma aplicação sem a instalação do fluxostato, a eficiência energética pode ser aumentada em 80% no ano, com a instalação do fluxostato como instrumento na detecção de vazão.

Palavras-chave: Eficiência energética. Fluxostato. Vazamento de ar comprimido.

¹Aluna do Curso de Engenharia Mecânica, Centro Universitário de Brusque

²Orientador, Professor do Curso de Engenharia Mecânica, Centro Universitário de Brusque

Eficiência Energética Em Sistema De Ar Comprimido Utilizando Fluxostato

Abstract: *Brazil has waste of about 40 million kW of electricity today. Industries account for 70% of this spending on compressed air generation. These industries are one-off examples of the potential for reduction in combating energy waste. The objective of this work was to evaluate the energy efficiency of the compressed air system of a box conveyor belt, making use of the flow switch as an airflow leak detector. This evaluation will be performed through a test bench. By quantifying the leakage losses in the compressed air systems, the energy values spent to supply the leaks were calculated, as well as the financial return time in the flow switch installation. The results showed that with the installation of the equipment on the box conveyor belt, the amount of R\$ 31.512,00 per year can be avoided, and, considering the same application without the installation of the switch, the energy efficiency can be increased by 80% in the year, with the installation of the flow switch as an instrument in the flow detection.*

Keywords: *Energy efficiency. Flow switch. Compressed air leak.*

1. INTRODUÇÃO

Os problemas de abastecimento energético que atingiram o Brasil nos últimos anos, evidenciam que a energia elétrica é um fator imprescindível para a expansão econômica do país. A crise energética contribuiu sobremaneira para a pesquisa, e consolidação, de novas fontes geradoras de energia, bem como o desenvolvimento de estratégias que visem a eficiência energética das fontes de consumo do insumo energia elétrica. Delaiba, *et al.* (2007) ratificam esta informação, afirmando que “essa necessidade de encontrar artifícios que visam à eficiência energética foi comprovada pela crise de abastecimento vivenciada pelo país no ano de 2001”.

A utilização de energia elétrica de forma eficiente pode ser entendida como o combate do desperdício energético através do consumo racional na realização do

trabalho. Utilizar energia elétrica, de forma eficiente, tem reflexos importantes na redução do uso dos recursos naturais em sua geração, e a energia economizada permite adiar o investimento em novas unidades geradoras e aplicar os recursos do governo federal em outras áreas (HAHN. A - ELETROBRÁS/PROCEL/EFEI, 2008).

Segundo dados do Sebrae (2019), cerca de 40 milhões de kWh de energia elétrica são desperdiçados anualmente no Brasil, sendo que as indústrias de transformação, comércio e residências consomem 55% desse total.

De acordo com Companhia Energética de Minas Gerais CEMIG (2019), a utilização de recursos elétricos está presente em toda cadeia produtiva sendo, a produção de ar comprimido, o mais oneroso recurso no consumo de energia elétrica, correspondendo a 50% das cargas elétricas utilizadas dentro da indústria. A energia elétrica gasta no acionamento dos motores elétricos dos compressores, para geração de ar comprimido, representa 70% dos gastos deste insumo (HAHN. A - ELETROBRÁS/PROCEL/EFEI, 2008).

O ar comprimido é uma importante fonte energética, fundamental em diversos processos da indústria moderna. Compreender as necessidades de eficiência energética do mercado e traduzir em produtos inovadores, aliado ao esforço contínuo em oferecer soluções que representam o máximo de economia é de suma importância em sistemas que utilizam ar comprimido.

De acordo com Bortolin (2014, p.13, *apud* Metalplan, 2010, p.5) atualmente 6 bilhões de toneladas de ar comprimido são utilizadas no planeta, a um custo de 30 bilhões de dólares, gerando um consumo de 500 bilhões de kWh.

Em uma instalação de ar comprimido as mangueiras, engates rápidos, conexões mal instaladas, mal vedadas ou com furos, bem como, as válvulas, são responsáveis pelos vazamentos da rede e, conseqüentemente pelos desperdícios em um sistema pneumático. Esses vazamentos ocorrem principalmente em equipamentos ou dispositivos acoplados a linha ou mesmo na tubulação.

As formas mais comuns de identificar os vazamentos em uma linha pneumática são a inspeção visual e a inspeção por ultrassom. A inspeção visual da linha requer treinamento do manutentor e, em alguns casos, parada do equipamento para averiguação do sistema sendo, essa inspeção, geralmente realizada na manutenção corretiva, ou seja, quando já existe falhas no sistema.

A inspeção por ultrassom, por sua vez, é realizada utilizando-se detector acústico onde, o manutentor, percorre a linha com o equipamento realizando a varredura das instalações. Possui, esse sistema, microfones de banda larga com faixa de medição que reconhece a alta frequência sonora associada ao vazamento de ar. Essa verificação, geralmente, é realizada de forma periódica (manutenção preventiva ou preditiva), ou de forma corretiva na ocorrência de fatos que justifiquem esta intervenção. No entanto possui um alto valor agregado na aquisição do equipamento, bem como mão-de-obra especializada nessa atividade, requerendo um profissional habilitado e experiente para essa função.

Uma forma menos usual de realizar a detecção de vazamentos em sistemas de ar comprimido, porém mais eficaz, faz uso do fluxostato (sensor de fluxo), onde o fluxo é monitorado por um sistema de medição calorimétrico, utilizando o efeito de resfriamento do fluido para detectar a taxa do fluxo.

Visa, o presente trabalho, avaliar a eficiência energética do sistema de ar comprimido de uma esteira transportadora de caixas, com comprimento de 1000 metros, fazendo uso do fluxostato como detector de vazamento do fluxo de ar. A validação da utilização do equipamento fluxostato será realizada em uma bancada de testes, simulando a aplicação real acima citada. Os dados gerados na simulação serão coletados através do sistema supervisorio *Smart System Edge*. Para tanto, foram elencados os seguintes objetivos específicos: quantificar a energia desperdiçada para suprir os vazamentos; calcular o retorno do investimento na instalação do fluxostato.

2. ESTADO DA ARTE

2.1 Matriz Energética Brasileira

Conforme Marques (2006) a correta compreensão da realidade no consumo energético do país permite aos pesquisadores estabelecer metas e desenvolver projetos que visam minimizar as perdas energéticas em sistemas de ar comprimido, desde a geração até a distribuição.

No Brasil, houve uma diminuição na matriz de fontes renováveis entre os anos de 2011 até 2014, com mudança no cenário nacional a partir de 2015, com crescimento de 42,9% em 2017 de acordo com a Empresa de Pesquisa Energética - EPE (2018).

Neste cenário de consumo energético, as indústrias eletrointensivas como empresas de alumínio, aço, petroquímica, papel e celulose consomem 20% da eletricidade produzida no Brasil, o que representa 40% do consumo energético das industriais nacionais. (Castro, 2009).

2.2 Perdas Energéticas em Sistema de Ar Comprimido

De acordo com Berni (2014) em um sistema de ar comprimido identificar e caracterizar as perdas energéticas, ajudam a encontrar soluções para melhoria da eficiência energética.

Outrossim, conforme Schulz (2002), problemas não controlados em sistemas de ar comprimido podem gerar flutuações nos sistemas de pressão, exigir maior trabalho dos compressores, aumentando o consumo de energia elétrica, consequentemente elevando os custos.

A título de ilustração, um orifício de 3 mm de diâmetro, na tubulação de ar comprimido, provoca uma perda energética equivalente a quase 40 lâmpadas de 100 watts, ligadas permanentemente durante 3 turnos de 8 horas por 365 dias. Enquanto o vazamento persistir, essa será a penalidade financeira que a empresa estará sofrendo. Isso pode representar aproximadamente cerca de R\$ 10.000,00 por ano de gasto inútil (Schulz, 2002).

A Tabela 1 representa os vazamentos ocorridos em um sistema de ar comprimido, através do diâmetro dos furos apresentados em uma tubulação e as perdas energéticas em potência nesses vazamentos que são utilizados para suprir esses vazamentos.

Tabela 1. Representação Parker para vazamento de ar comprimido e perda de potência em furos (ADAPTADO AUTORES).

Diâmetro do furo		Escape de ar			Potência necessária para compressão	
		588,36 kPa	6 bar	85 psi		
mm	pol	m ³ /s	l/s	c.f.m	cv	kW
1	3/64	0,001	1	2	0,4	0,3
3	1/8	0,01	10	21	4,2	3,1
5	3/16	0,027	27	57	11,2	8,3
10	3/8	0,105	105	220	44	33

A energia elétrica é o elemento básico para a utilização do ar comprimido, portanto qualquer irregularidade na utilização ou produção do ar comprimido representa perda de energia elétrica.

Para manter a pressão da rede, visando compensar os vazamentos de ar comprimido, são solicitadas maiores potências dos motores elétricos representando, desta forma, grande perda energética. (Zapellini, 2008).

2.3 Quantificação das perdas por vazamentos em sistemas de ar comprimido

Para manter um sistema de ar comprimido energeticamente eficiente, e a um baixo custo, os vazamentos não podem ultrapassar 5% da capacidade instalada. Utilizar modelos matemáticos é fundamental para avaliar as perdas por vazamento em sistemas de ar comprimido (Schulz, 2002).

Existem vários métodos matemáticos para determinar o vazamento de ar comprimido destacando-se os elencados abaixo.

Conforme estabelecido pela ELETROBRÁS/PROCEL/EFEI (2008), pode-se medir vazão do compressor, através do vazamento caudal, conforme Eq. (1).

$$V_v = V_c \cdot \frac{\sum_i^5 1 t_i}{t_{total}}$$

Eq.(1) onde:

V_v - caudal do vazamento [m³/s]

V_c - vazão do compressor na pressão de trabalho [m³/s]

$\sum_i^5 t_i$ - tempo de funcionamento em carga total [s]

t_{total} - tempo de medição total [s]

O percentual de perdas por vazamentos pode ser calculado através da Eq. (2).

$$V_v\% = \frac{V_v}{V_c} \cdot 100$$

Eq. (2) onde:

$V_v\%$ - percentual de perdas por vazamento (%)

V_v - caudal do vazamento [m³/s]

V_c - vazão do compressor na pressão de trabalho [m³/s]

O preço do vazamento anual, ou seja, da perda ocasionada pelo vazamento, pode ser calculada utilizando-se a Eq. (3).

$$C_v = C_{ac} \cdot \frac{V_v\%}{100}$$

Eq.(3) onde:

C_v - custo da perda por vazamento [R\$/ano]

C_{cac} - custo de geração de ar comprimido [R\$/ano]

$V_v\%$ - percentual de perdas por vazamento (%)

O custo de geração de ar comprimido (C_{ac}) é dado pela Eq. (3).

$$C_{ac} = P_m \cdot t_c \cdot C_{kwh}$$

Eq.(4) onde:

P_m - potência média [kW/h]

t_c - tempo de operação do compressor em carga [h/ano]

C_{kwh} - custo da perda por vazamento (R\$/kWh)

2.4 Retorno do investimento na instalação do fluxostato

De acordo com Freitas (2008), a Equação 5 demonstra matematicamente a viabilidade de investir na investigação de vazamento de ar comprimido visando economia energética. Ainda, conforme Freitas (2008), os valores investidos, retornarão mensalmente sendo que, o tempo calculado de retorno financeiro, não considera a capitalização do valor da economia mensal, considerando uma taxa de juros zero.

$$T_{rs} = \frac{\Delta C}{Eco\ R\$mensal}$$

Eq. (5) onde:

T_{rs} - tempo de retorno simples

Δ_c - custo do investimento

$E_{Co\ R\$mensal}$ - economia por mês em reais

2.5 Fluxostato

O fluxostato, conforme anexo A, atua como um sensor que indica o aumento ou a queda de vazão no fluxo. Esse equipamento é aplicado como um dispositivo que complementa a segurança no sistema de ar comprimido, e sinaliza por meio de painéis de controle qualquer alteração na vazão (vazamento).

O equipamento possui uma ponta com um sensor, dotado de dois transistores e um elemento de aquecimento. Um dos transistores é instalado na ponta do sensor de fluxo, próximo da circulação do fluido, tendo a finalidade de detectar as mudanças de velocidade do fluido. O segundo transistor é ligado na parede cilíndrica que serve de referência para as condições do fluido no ambiente. O elemento de aquecimento, detecta alteração através da quantidade de energia térmica removida da ponta, portanto a remoção é determinada pela taxa de fluxo local (AVENTICS, 2019).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Descrição da empresa

A empresa em que este trabalho foi pesquisado atua há 25 anos no ramo de automação industrial, desenvolvendo projetos de produtos e serviços para sistemas pneumáticos, elétricos e hidráulicos.

Com o avanço da indústria 4.0 no Brasil, a empresa desenvolveu uma versão compacta e acessível de uma bancada de testes, ou seja, um sistema para realizar o monitoramento em 3 principais áreas: hidráulica, pneumática e elétrica. Esse sistema atende às áreas citadas acima, de forma independente cada qual com um sistema supervisorio denominado *Smart System Edge* e laboratório de testes que inclui a bancada 4.0.

3.1 Descrição do sistema supervisorio da bancada de testes

Para validação do fluxostato, e diagnóstico dos dados de consumo energético, optou-se por utilizar o fluxostato, na bancada pneumática combinada com o sistema supervisorio de monitoramento, visando detectar vazamentos de ar comprimido e determinar, com os dados coletados, a eficiência do fluxostato no combate ao desperdício energético.

O sistema supervisorio do laboratório de testes, está habilitado para monitorar os vazamentos em tempo real do sistema pneumático em operação, através da integração com sistema ERP (Sistema Integrado de Gestão Empresarial). Esse sistema supervisorio oferece rastreabilidade do processo produtivo, indicando manutenção para as correções dos vazamentos com alertas via e-mail, mensagem de texto, geração de relatórios online, e notificação de alarmes classificados por prioridades.

A Figura 1, representa a tela principal do sistema supervisorio da bancada 4.0, com informações especificas como pressão da rede de ar comprimido e vazão do fluido.



Figura 1. Tela principal do supervisório Smart System EDGE (AVENTICS, 2019).

3.5 Descrição do processo

A Figura 2 mostra um fluxograma do processo de funcionamento da bancada 4.0 instalada no laboratório existente na indústria, conforme apresentado no diagrama pneumático no Anexo B. O ar comprimido alimenta todo o processo de movimentação da esteira e é responsável por transportar todos os produtos da esteira através do acionamento dos cilindros.

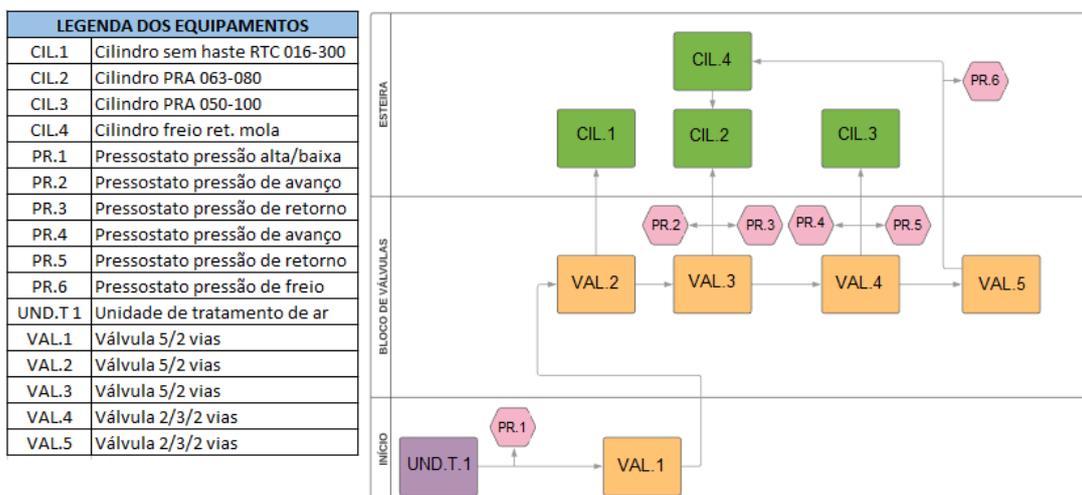


Figura 2. Fluxograma do circuito de funcionamento da bancada 4.0 (OS AUTORES).

O ar insuflado pelo compressor, ou seja, comprimido da rede alimenta a unidade de tratamento de ar (UND.T 1) que tem como princípio remover partículas de água remanescentes chamadas de impurezas, de modo a fornecer para o sistema um recurso limpo, filtrado e seco. Após o tratamento o ar passa pelo pressostato (PR.1) que é utilizado para medir a pressão do sistema tendo, esse equipamento, a função de controlar a sobrepressão ou subpressão no funcionamento da bancada.

O sistema conta ainda com uma válvula de bloqueio (VAL.1) que é integrada de modo que o fluxo de ar continue sob pressão, dessa maneira a força gerada é usada para acionar o dispositivo.

Em seguida o ar passa por um bloco de válvulas que funcionam conforme da seguinte forma, a válvula (VAL.2), faz o acionamento do cilindro (CIL.1) que transporta a esteira no primeiro estágio de movimentação da esteira. A válvula (VAL.3) faz o acionamento do cilindro (CIL.2) efetuando o transporte na segunda parte do trajeto. Essa válvula trabalha em conjunto com a válvula (VAL. 5), pois a mesma aciona o cilindro de freio (CIL.4) na parada das caixas, para o carregamento de mercadorias.

Os pressostatos (PR.2 e PR.3) demonstram onde a pressão de trabalho do sistema está instalada, para avanço ou recuo do cilindro (CIL.2) respectivamente.

O cilindro de freio (CIL.4) possui um pressostato (PR.6) que confirma a pressão para o avanço desse cilindro, pois o retorno desse cilindro acontece por mola.

A válvula (VAL.4) aciona o cilindro (CIL.3) na continuação do trajeto da esteira, ou seja, na movimentação linear das caixas. Os pressostatos (PR.4 e PR.5) também demonstram onde a pressão de trabalho do sistema está instalado, para avanço ou recuo do cilindro (CIL.3) respectivamente.

3.6 Coleta e tratamento de dados

Foram realizados dois monitoramentos no sistema pneumático. Os dados coletados foram enviados automaticamente para o *CLP* (controlador lógico programável) que faz a leitura e comunicação do equipamento instalado na bancada 4.0. Nesse monitoramento foram registrados o tempo ativo, nome da ocorrência, estado atual e prioridade definida para o ocorrido, como mostra a Figura 3.

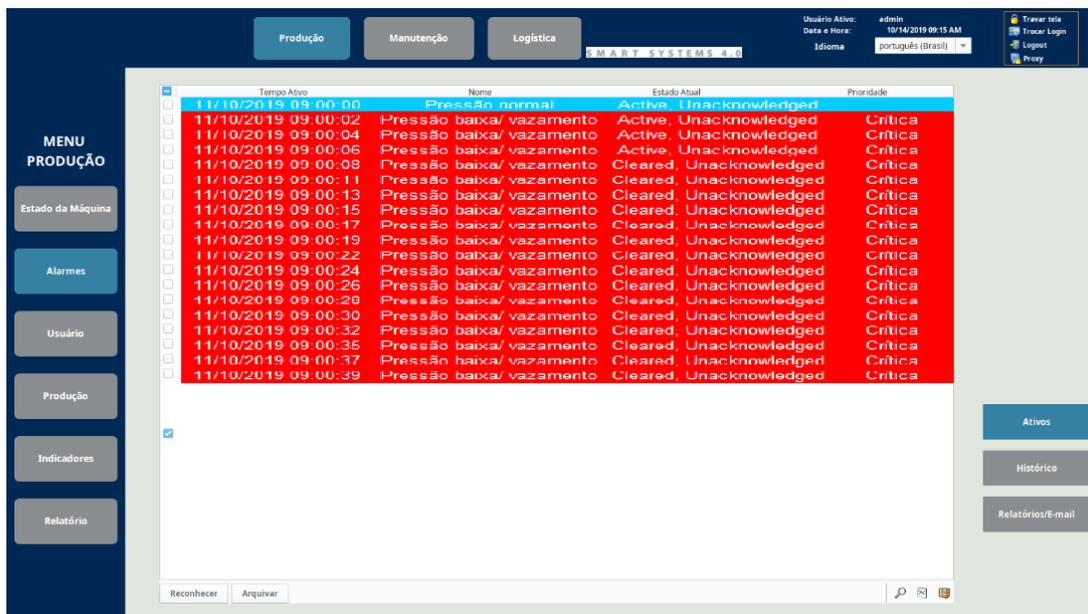


Figura 3. Tela inicial da leitura dos dados do CLP (AVENTICS, 2019).

O primeiro monitoramento, realizado de forma visual e sem a instalação do fluxostato, num período de 2 horas. Essa inspeção foi repetida por 5 dias, devido ao fato de ocorrer maior possibilidade de erros por falha humana.

O segundo monitoramento foi realizado, desta feita com a instalação do fluxostato, num período de 9 horas, por 5 dias. O período de cada um dos monitoramentos na bancada de testes, simula o tempo de trabalho da esteira de uma semana e, os dados coletados, demonstram a rotina real de utilização da esteira transportadora de caixas.

A Tabela 5, mostra os valores adotados para as análises, segundo o funcionamento da bancada.

Tabela 5. Condições de contorno da bancada 4.0 (OS AUTORES).

Descrição	Valor	Unidade
Custo da energia elétrica – mercado livre	0,45	R\$/kWh
Custo de aquisição do fluxostato	1112,00	R\$
Dias de funcionamento do compressor em uma semana	5	dias

Dias úteis ano	255	dias
Potência média do compressor	2,2371	kW
Pressão de trabalho do sistema	6	bar
Semanas ano	52	semanas
Tempo de funcionamento do compressor por dia	24	horas
Tempo de funcionamento do compressor em carga por dia	17	horas

Identificam-se dois cenários para o cálculo da eficiência energética no sistema de ar comprimido (I e II).

No cenário I a inspeção foi realizada com a mistura de água e sabão. Assim, com a ajuda de uma esponja, realizou-se a molhadura das uniões, tubos e instalações da bancada em geral, para verificar se havia a existência de aspiração de bolhas, ao colocar-se em contato a mistura com o material inspecionado.

Nesse cenário, realizou-se a inspeção sem a instalação do fluxostato, conforme figura 4. Assumiu-se que o vazamento foi detectado após 5 dias de utilização do sistema, devido ao fato de que os vazamentos apresentados não são audíveis, sendo difícil a detecção imediata do vazamento ocorrido na linha.



Figura 4. Cenário I - diagrama pneumático parcial da bancada 4.0 (ADAPTADO AUTORES).

Na sequência inseriu-se, no sistema de ar comprimido, um fluxostato, conforme figura 5, para a realização das medições, de maneira discutir os resultados frente a diferença de medições efetuadas na inspeção visual do cenário I. Portanto o cenário II, a inspeção foi realizada com a instalação do fluxostato.



Figura 5. Cenário II - diagrama pneumático parcial bancada 4.0 com a instalação do fluxostato (ADAPTADO AUTORES).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Ao considerar o cenário I, que consistiu em realizar as medições de vazamento através da inspeção visual, pode-se demonstrar que é possível quantificar os custos relacionados aos tipos de vazamentos encontrados. Nesta inspeção detectou-se 3 pontos de vazamentos na tubulação, que foram categorizados de acordo com o tamanho aproximado dos furos, conforme apresentado na Tabela 3.

Tabela 3. Resultados da inspeção visual (OS AUTORES).

Ponto	Diâmetro do furo (mm)	Vazamento (l/min)
1	1	60,00
2	1	60,00
3	1	60,00

Por meio da Eq. (3), calculou-se as perdas por vazamentos com base nos dados da inspeção visual apresentados acima. Ao adotar esse cenário, o vazamento caudal encontrado foi de $0,003m^3/s$ e o percentual de perdas por vazamentos calculado é de 71% conforme Eq. (2). Os valores gastos para suprir esse vazamento, calculados segundo a Eq. (3), são de R\$60,61.

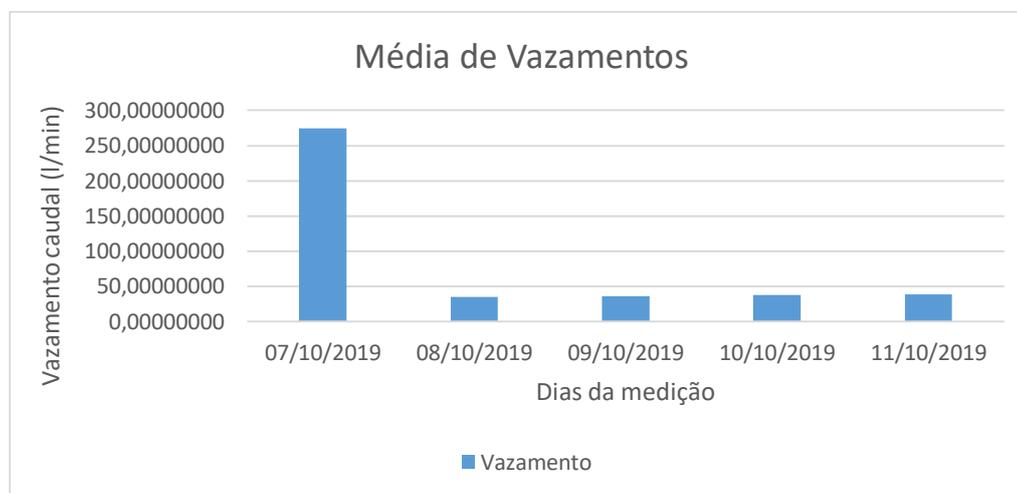
Ao realizar a análise do cenário II, que considera a instalação do fluxostato no sistema de ar comprimido, verificou-se através da tabela 4, que os vazamentos ocorreram no 1º dia, pois esse componente detecta de forma imediata, qualquer alteração de vazão ocorrida no sistema.

Tabela 4. Dados coletados do fluxostato através do sistema supervisorio *Smart Systems Edge* (ADAPTADO AUTORES).

Medição	Horário	Vazamento caudal (l/min)				
		07/10/2019	08/10/2019	09/10/2019	10/10/2019	11/10/2019
1	08:30	254,89937	33,88749233	35,27339704	36,659302	38,040366
2	09:30	271,07758	34,04148174	35,42738645	36,813291	38,194636
3	10:30	278,76563	34,19547115	35,58137586	36,967281	38,348906
4	11:30	274,38364	34,34946057	35,73536528	37,12127	38,503176
5	12:30	279,03949	34,50344998	35,88935469	37,275259	38,657446
6	13:30	275,32263	34,65743939	36,0433441	37,429249	38,811716
7	14:30	274,16843	34,8114288	36,19733351	37,583238	38,965986
8	15:30	283,85187	34,96541821	36,35132292	37,737228	39,120256

O Gráfico 1 demonstra a média dos vazamentos, apresentados ao longo da semana, em cada dia de medição. Essa média pode ser calculada com base no número de medições extraído no dia e valores de vazamentos.

Gráfico1. Média do vazamento caudal por dia de medição (OS AUTORES).



Devido ao fluxostato, enviar automaticamente o valor real de vazamento ocorrido, nota-se que a vazão maior no sistema ocorreu somente no primeiro dia de coleta de dados. Esta situação se justifica devido ao fato de que o vazamento ocorreu apenas neste dia. Dessa maneira, nos 4 outros dias em que ocorreram as medições, realizou-se a média de vazamento intrínseco ao sistema. Esse vazamento é inerente ao

sistema de ar comprimido, e acontece devido a necessidade de vazão para a movimentação da esteira.

Com essa média, o valor apresentado foi subtraído do vazamento contabilizado no sistema no primeiro dia de medição, de forma a obter valores seguros do real desperdício gerado por ele.

O cenário II apresentou vazamento caudal de $0,00458150129m^3/s$. O valor gasto para suprir esse vazamento, ocorrido somente no primeiro dia de inspeção, foi de R\$12,12, conforme Eq. (3), e o percentual de perdas calculado utilizando a Eq. (2) para esse cenário foi de 14,17%.

As diferenças entre os cenários I e II são estatisticamente, significativas, representando uma diferença de R\$48,49 nos valores para suprir esse vazamento. Depreende-se que o maior potencial de redução de gastos está no cenário II, pois o equipamento fluxostato consegue detectar o real vazamento ocorrido no funcionamento da esteira.

No caso da inspeção visual o vazamento pode ocorrer por um período maior do que o que foi demonstrado nos cálculos, por se tratar de pequenos vazamentos encontrados no sistema de ar comprimido.

Observa-se que os valores encontrados na análise dos cenários I e II, apresentam uma diferença de vazamentos caudal de $0,001581501m^3/s$ devido ao fato de a inspeção visual detectar valores de vazamentos com base da aproximação da dimensão de furos já tabelados, conforme Tabela (1).

A redução nos dias para a detecção dos vazamentos de ar comprimido, promovem redução no desperdício de energia gerada para o funcionamento do sistema de ar comprimido.

Ao considerar o custo do equipamento (fluxostato), instalado na bancada conforme Tabela 5, pode-se calcular o tempo de retorno financeiro com base na Eq. (5). Visto o custo de fluxostato é de R\$1112,00, o investimento será pago no período de 4 meses.

Ao considerar uma esteira transportadora de caixas de 1000 metros, pode-se ampliar a quantidade de equipamentos fluxostato instalados no sistema de ar comprimido para 10 unidades, pois esse equipamento é capaz de realizar a medição sem apresentar erros ou variações nos dados coletados na distância de 100 metros

(Aventics, 2019). Sendo assim, o total de investimento em equipamentos para a medição do vazamento caudal para essa aplicação será de R\$11120,00.

Considerando que os vazamentos ocorridos no cenário II, sejam multiplicados em 10 vezes, admitindo que os vazamentos se repetirão igualmente ao logo dos 1000 metros da esteira transportadora de caixas, o valor economizado em um dia será de R\$121,20.

Considerando que o vazamento possa ter ocorrido conforme o cenário I, na mesma proporção apresentadas acima a cada 100 metros no percurso de 1000 metros, o valor economizado em um ano será de R\$31512,00.

5 CONCLUSÕES

O estudo foi realizado no laboratório pneumático da indústria, com intuito de comprovar grandezas numéricas quanto a eficiência energética, através da instalação do fluxostato que auxilia na detecção de vazamentos em um sistema de ar comprimido. Esse estudo comprova a redução de custos com a instalação do equipamento na linha, simulando a aplicação da esteira transportadora de caixas.

Os dados obtidos fornecem parâmetros que comprovam o retorno de investimento do sistema como alternativa na redução de custos, pois a bancada simula em menor escala a mesma aplicação da esteira transportadora de caixas.

A partir da análise realizada, conclui-se ser possível reduzir os vazamentos no sistema de ar comprimido com maior diminuição de custos por perdas em vazamentos com a instalação do fluxostato. A eficiência energética no processo com a instalação do fluxostato pode ser aumentada, teoricamente, em 80%.

Ao delinear e quantificar a energia desperdiçada pela bancada em funcionamento, considerando os dois cenários, identificou-se circunstância para melhor aproveitamento do ar comprimido e da energia consumida para sua geração no cenário II, que implica em instalar no sistema de ar comprimido da bancada um fluxostato. Esse equipamento é capaz de realizar a leitura em tempo real da vazão apresentada no funcionamento normal da bancada, de modo a identificar qualquer alteração além do fluxo intrínseco do sistema.

Sendo assim no cenário II, tem-se maior economia no desperdício energético, pois o gasto apresentando foi de R\$12,12 para suprir o vazamento ao longo de uma semana de análise.

O gasto energético, está diretamente ligado a identificação de potenciais vazamentos em uma rede de ar comprimido. Assim, solucionar vazamentos no valor de R\$12,12 diários ao longo de um ano trabalhado, no caso 255 dias no ano de 2019, pode-se gerar uma economia de R\$3151,00 considerando a aquisição do equipamento fluxostato como equipamento de identificação desses vazamentos. Aplicando esse valor na esteira transportadora de caixas de 1000 metros a economia no desperdício pelos vazamentos apontou um valor de R\$31512,00 no período de um ano.

Como sugestão para futuros trabalhos, deve-se realizar análise de eficiência energética em indústrias têxteis utilizando fluxostato. O estudo torna-se conveniente pois, a região do Sul concentra 29% dessas indústrias e Brusque tem cerca de mais de 500 empresas nesse segmento. Outra sugestão é o estudo da viabilidade econômica, da instalação do fluxostato no sistema de ar comprimido sugerido acima.

6 AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus primeiramente, por me conceder força, saúde e coragem ao longo desses anos para superar as dificuldades em alcançar meus objetivos. Agradeço aos professores por me proporcionar o conhecimento, além do caráter a afetividade no processo de formação profissional, por tanto se dedicarem a mim, não somente por terem me ensinado, mas por me terem feito aprender. Agradeço ao meu orientador Milton, pelo suporte no pouco tempo que lhe coube, pelos incentivos e correções. Agradeço a minha família e amigos que nos momentos de minha ausência dedicados ao aprendizado, sempre fizeram entender que futuro é realizado a partir da constante dedicação no presente. Agradeço minha mãe Laci e meu pai Nicassio, que deram apoio e incentivo nas horas difíceis, de desânimo e cansaço. Agradeço especialmente a meu filho Pedro e meu esposo Rafael que trilharam comigo esses anos difíceis de muita abdicção no convívio familiar para o processo de formação acadêmica. Deixo então, meu eterno agradecimento a todos, de alguma maneira

contribuíram nessa caminhada, pois sei que não seria possível essa conquista sem cada uma dessas pessoas.

7 REFERÊNCIAS

- AVENTICS. **Smart Pneumatics Monitor**. 2019. Disponível em: <<https://www.aventics.com/uk/en/products/smart-pneumatics/smart-pneumatics-monitor/>>. Acesso em: 15 abril 2019.
- BERNI, Mauro Donizeti. **Eficiência Energética e os Sistemas de Ar Comprimido**. O Papel, Campinas, p.64-65, dez. 2014. Mensal.
- BORTOLIN, Eduardo. **Dimensionamento De Um Sistema De Ar Comprimido Para Uma Empresa De Pequeno Porte**. 2014. 45 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Faculdade Horizontina, Horizontina, 2014. Disponível em: <http://www.fahor.com.br/images/Documentos/Biblioteca/TFCs/Eng_Mecanica/2014/Eduardo_Bortolin.pdf>. Acesso em: 15 set. 2019.
- CASTRO, Nivalde J. de; SIMÕES, Juliana T. **Relatório Conjuntura: grandes consumidores de energia elétrica**. Rio de Janeiro: GESEL, 2009. Disponível em: Acesso em: 2 out. 2019.
- CEMIG - Companhia Energética de Minas Gerais (Minas Gerais). 2019. **A correta utilização da energia elétrica**. Minas Gerais. Disponível em: <www.cemig.com.br>. Acesso em: 06 maio 2019.
- DELAIBA, S. F. P. et als – **Especificação para um laboratório de Eficiência Industrial**. II CBEE, Vitória – ES, 2007.
- EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (Rio de Janeiro). **Balço Energético Nacional 2018: Relatório Síntese ano base 2017**. Rio de Janeiro, v. 1, n. 1, p.1-62, jun. 2019.
- FREITAS, P.C.F. e Outros. (2008). **Análise comparativa dos rendimentos dos motores da linha padrão e de alto rendimento sob o enfoque da eficiência energética**. In: Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos. Belo Horizonte, p. 1-4.
- HAHN. A., **Programa de Eficientização Industrial Módulo Compressores**. ELETROBRÁS/PROCEL. Dezembro 2004.

MARQUES, M.S.C *et als* (2006). **Conservação de Energia: Eficiência Energética de Equipamentos e instalações**. 3. Ed. Itajubá: FUPAI.

PROCEL. Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica. **Centrais Elétricas Brasileiras**. Disponível em: <www.eletronbras.com/procel>. Acesso em: 29 maio 2019.

PROCEL. Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica. Eletrobrás (2008). **Eficiência Energética em Sistemas de Ar Comprimido**. São Paulo: Orientações Gerais Para Conservação de Energia em Prédios Públicos. Brasília.

SCHULZ, Compressores. (2002). **Tratamento e Aplicação do Ar Comprimido**. Joinville: Schulz, 2002. 16 p.

SEBRAE. (2019). **Programa de Eficiência Energética**. Disponível em: <[ZAPPELINI, Alexandre Borges. **Análise de Eficiência Energética em Sistemas de Ar Comprimido**. 2008. 158 f. Dissertação \(Mestrado\) - Curso de Ciências, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2008. Disponível em: <<https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/14379/1/Alexandre.pdf>>. Acesso em: 10 jul. 2019.](http://www.sebrae.com.br/ setor/ agroenergia/o-setor/ inovação-e-tecnologica-1/ eficiência – energética/ >. Acesso em: 04 abril 2019.</p></div><div data-bbox=)

8 ANEXOS

8.1 Anexo A

Figura 6 e 7, fluxostato instalado na bancada 4.0.



Figura 6. Frontal fluxostato Aventics (OS AUTORES).

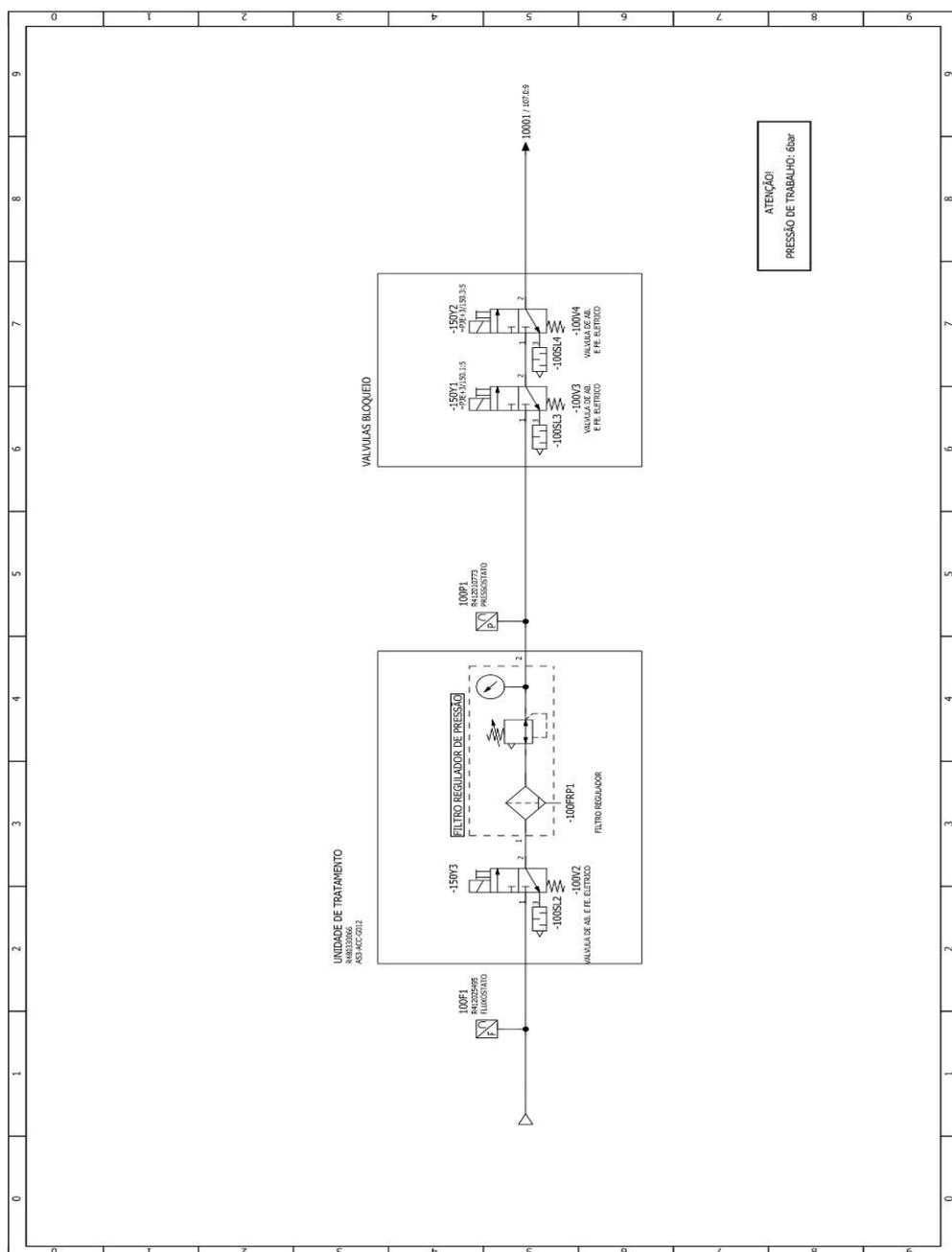


Figura 7. Lateral fluxostato Lateral Aventics (OS AUTORES)

8.2 Anexo B

Figura 8 e 9, diagrama pneumático completo da bancada de teste 4.0 com a instalação do fluxostato.

Figura 8. Diagrama pneumático da bancada parte I (AVENTICS, 2019).



ANÁLISE COMPARATIVA DA QUALIDADE DAS SOLDAS REALIZADAS PELO PROCESSO GMAW NAS PRINCIPAIS POSIÇÕES DE SOLDAGEM

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE QUALITY OF WELDS MADE BY THE GMAW PROCESS IN THE MAIN WELDING POSITIONS

Allan Bismarck Mesquita de Souza¹
Julio Cesar Frantz¹

Resumo: Em um mercado cada vez mais competitivo, onde o sucesso está em uma linha tênue entre o tempo de execução e a qualidade de um produto, os diversos processos de soldagem carecem cada vez mais de atenção. A soldagem está presente na maioria dos projetos, independentemente do tamanho, possui uma grande influência tanto na segurança e qualidade final do projeto como no tempo de execução. Em inúmeras situações da engenharia, facilmente encontra-se um ambiente de difícil acesso em que foi necessário executar um procedimento de soldagem. Nesse tipo de ambiente, normalmente a qualidade da solda cai de acordo com essa dificuldade de acesso. Neste contexto o presente trabalho tem por objetivo analisar pelo processo de soldagem GMAW (Gas Metal Arc Welding) a qualidade de juntas soldadas nas principais posições de soldagem encontradas na indústria utilizando como parâmetro as normas NBR 7438 e American Society of Mechanical Engineers (ASME) Section IX. Com essa finalidade, executaram-se a soldagem de corpos de prova nas posições plana, horizontal, vertical e sobrecabeça, utilizando o aço SAE 1020, de 12,7 mm de espessura como metal de base. Aplicaram-se sobre esses corpos de prova os ensaios mecânicos destrutivos e não destrutivos solicitados pela ASME IX. Dentre as quatro posições de soldagem, destacou-se a posição sobrecabeça como sendo a dos piores resultados e nas posições plana e horizontal apresentaram-se os melhores resultados. Ao término do trabalho, pode-se confirmar a influência da posição de soldagem na qualidade final da solda e a importância da aplicação dos ensaios mecânicos para qualificação das soldas.

Palavras-chave: MIG. MAG. GMAW. ASTM. Tração. Dobramento.

Abstract: *In an increasingly competitive market, where success lies on a straight line between execution time and product quality. The various welding processes need more and more attention, because it is an area present in most projects regardless of size and for having a great influence on both safety and final quality of the project, as well as the total execution time. Anywhere you look, you can easily find a place of difficult access where there was the need to perform a weld, and usually the quality of this falls according to this difficulty of access. In this context the present work has for objective to analyze for the process of welding GMAW (Gas Metal Arc Welding) the quality of welded joints in the main positions of welding found in the industry using as parameter the norms NBR 7438 and American Society of Mechanical Engineers (ASME) Section IX. With this purpose, and through the aid of scientific bases, the welding of specimens was performed in the flat, horizontal, vertical and overhead positions, using SAE 1020 steel, 12.7 mm thick as base metal. On these specimens, the destructive and non-destructive mechanical tests required by ASME IX were applied. Among the four positions to which the tests were applied, the overhead position stood out as the one with the worst results and the flat and horizontal positions presented the best results, being the only approved positions. At the end of the work, it was possible to confirm the influence of the welding position in the final quality of the weld and the importance of the application of the mechanical tests for qualification of the welds.*

Keywords: MIG. MAG. GMAW. ASTM. Traction. Bending.

1. INTRODUÇÃO

Os diversos processos de soldagem aplicam-se em praticamente todas as áreas de construção e estão presentes em larga escala dentro do setor metal mecânico, além disso, vale ressaltar que na maioria dos casos as soldas estão sujeitas a falhas

Análise Comparativa Da Qualidade Das Soldas Realizadas Pelo Processo Gmaw Nas Principais Posições De Soldagem que podem comprometer todo um projeto. Essas falhas acontecem, principalmente decorrentes da falta de qualificação dos profissionais, desconhecimento das normas vigentes, e devido ao grau de dificuldade na aplicação do cordão de solda interferindo na qualidade do produto soldado. Pode-se mencionar como exemplos de aplicação de solda: a fabricação de caldeiras e vasos de pressão. Conforme Oliveira (2012) nesse tipo de projeto, devido as altas pressões envolvidas, uma falha proveniente da execução de uma solda de má qualidade, pode facilmente gerar grandes acidentes e prejuízos.

Dessa forma aumenta-se cada vez mais a necessidade de formação adequada para que profissionais qualificados possam executar as soldas com maior precisão e segurança, além da realização de um projeto adequado que antecipe a aplicação de soldas que podem ser realizadas em bancadas, aumentando a probabilidade de se obter um cordão de qualidade. Para que isso possa ser alcançado, conforme a Norma *American Society of Mechanical Engineers (ASME) Section IX* é necessário que um fabricante padronize as especificações das juntas soldadas, respeitando as normas vigentes. Essa padronização é realizada através do procedimento de soldagem (EPS) que compreende ainda os registros da qualificação do procedimento (RQP), onde estão contidas todas as anotações das variáveis coletadas enquanto os materiais de teste são soldados. Na EPS também estão definidos aplicação de testes mecânicos que validem esses procedimentos, aplicando-os nos mais diversos processos de soldagem, como GMAW (*Gas Metal Arc Welding*), mais conhecido como *Metal Inert Gas* (MIG) ou *Metal Active Gas* (MAG), processo esse que é objeto de estudo deste trabalho.

De acordo com Oliveira (2012), o processo GMAW, apresenta algumas vantagens quando comparado a outros processos de soldagem, pois permite que sejam soldados a maior parte dos materiais metálicos utilizados na indústria, não acarreta grandes custos para sua implantação, além de oferecer maior produtividade quando comparado a outros processos de soldagem.

Conforme trabalho realizado por Dihlmann (2016), onde realizou-se um comparativo entre os resultados dos ensaios mecânicos no processo de soldagem por eletrodo revestido nas posições plana, horizontal, vertical e sobre cabeça no aço

ASTM A36. Dihlmann (2016), conclui que a posição de soldagem apresenta grande relevância na obtenção de resultados satisfatórios, sendo sugerido inclusive que seja dada preferência na realização das soldas na posição plana e evitado a solda na posição sobre cabeça sempre que for possível.

Tendo em vista a vasta aplicabilidade do processo de soldagem e a necessidade de sua utilização em diversos projetos, desde os mais simples como a fabricação de um corrimão, até projetos mais complexos e de grande porte, como a fabricação de embarcações e plataformas offshore. Este trabalho tem por objetivo realizar um comparativo de juntas soldadas nas principais posições de soldagem utilizadas na indústria, através do processo GMAW, realizando os principais ensaios mecânicos descritos nas normas *ASME Section IX* e *NBR 7438*, apresentar a importância da aplicação dos ensaios mecânicos, tanto destrutivos quanto não destrutivos e demonstrar através dos resultados obtidos nesses ensaios, se o grau de dificuldade proporcionado pela posição de soldagem, influencia na qualidade final da junta soldada. Para que dessa forma seja possível de maneira geral constatar a real necessidade de se proporcionar um ambiente adequado e que permita que a solda seja aplicada com maior facilidade.

O trabalho divide-se da seguinte forma: Primeiro apresenta-se na revisão bibliográfica os conceitos teóricos aplicados, onde se busca fundamentar o trabalho através de uma pesquisa na literatura correspondente ao assunto. Em seguida, nos materiais e métodos, são descritos os procedimentos realizados, iniciando na montagem e soldagem dos corpos de prova e posteriormente apresentando a aplicação dos ensaios destrutivos e não destrutivos, por último em resultados e discussões, são apresentados os resultados dos ensaios aplicados e as conclusões tiradas após análise desses resultados.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Para a elaboração deste trabalho, realizou-se uma pesquisa na literatura visando fundamentar as decisões a serem tomadas ao longo do desenvolvimento do trabalho, esclarecendo e conceituando o processo de soldagem com gás de proteção,

Análise Comparativa Da Qualidade Das Soldas Realizadas Pelo Processo Gmaw Nas Principais Posições De Soldagem os tipos mais comuns de transferência metálica e as principais posições de soldagem utilizadas atualmente no mercado.

2.1. Gas Metal Arc Welding

No processo de GMAW o arco elétrico é formado pela adição de um material, chamado de eletrodo ou arame eletrodo, o gás de proteção e a alimentação de corrente ocorre pelo cabo de corrente elétrica (Fig. 1). O arco elétrico se forma quando ocorre a passagem de elevada corrente elétrica entre dois metais, fazendo com que a corrente salte de um metal para o outro gerando temperaturas que variam em torno de 3300 °C à 4400 °C (Santos, 2015). Podemos entender o conceito de arco elétrico como sendo uma descarga elétrica que passa a existir por intermédio de um gás ionizado que é capaz de manter essa descarga. Isso se inicia através de uma certa quantidade de elétrons provenientes do aquecimento do eletrodo negativo (cátodo) que é por sua vez sustentado pela ionização térmica do gás que foi submetido ao aquecimento gerado no processo (Wainer, Brandi, Mello, 1992).

De acordo com Santos (2015) no processo de soldagem GMAW, o material consumível que é um eletrodo sem revestimento, é depositado no metal base de forma contínua através de um alimentador. A energia para a realização do processo é obtida do arco elétrico gerado como uma fonte de calor e é o próprio eletrodo o responsável por conduzir essa energia até o metal base, conforme ocorre a alimentação. Com essa condição de temperatura elevada a extremidade do eletrodo começa a se fundir e depositar-se em uma poça. A poça de fusão é formada sobre o metal base a ser soldado e através das altas temperaturas envolvidas fundem-se o metal base da peça a ser soldada com o material do eletrodo, formando-se o cordão de solda.

Podemos definir esse processo como automático nos casos em que a condução da tocha se dá de forma mecânica ou automatizada e semiautomática nos casos em que essa condução ocorre por intermédio de um operador (Santos, 2015). Na Figura 1 podemos observar de maneira mais clara como esse processo ocorre, no interior da tocha observam-se os principais componentes responsáveis pelo processo em si, em vermelho observa-se o cabo de corrente, em amarelo o arame que é

alimentado de forma contínua e em verde o duto responsável por transportar o gás de proteção. Conforme a tocha se desloca a poça de fusão vai se solidificando e formando o cordão de solda que pode ser observado na cor marrom, este cordão é o responsável pela união das duas peças a serem soldadas.

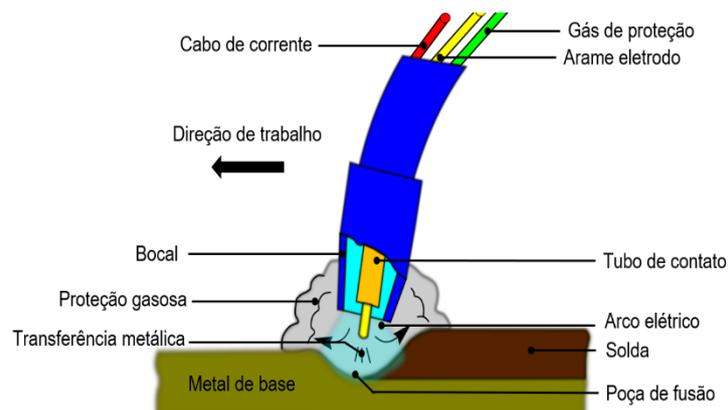


Figura 1. Processo de soldagem GMAW (Adaptado de SANTOS, 2015).

O processo GMAW possui uma grande aplicabilidade e apresenta vantagens quando comparado a outros processos de soldagem como, por exemplo, o Tungstênio Inerte Gás (TIG), eletrodo revestido e arco submerso. Segundo Wink (2015), entre essas vantagens podemos citar: a possibilidade de realizar a solda em todas as posições de soldagem desde que os materiais apresentem uma espessura superior a 0,76 mm, maior deposição do metal na poça de fusão, menor tempo para execução do trabalho podendo chegar a 50% se comparado ao processo de eletrodo revestido, aproveitamento total do arame utilizado no processo ao contrário dos processos TIG e eletrodo revestido, onde se desperdiçam partes do consumível, permite trabalhar com velocidades de soldagem mais elevadas.

2.2. Tipos de transferência metálica

A transferência metálica ocorre quando o metal superaquecido que atinge seu ponto de fusão, se desloca da extremidade do metal de adição até a poça de fusão na superfície do metal base e a forma com que ocorre essa transferência metálica dentro dos processos de soldagem é um assunto amplamente discutido e estudado,

Análise Comparativa Da Qualidade Das Soldas Realizadas Pelo Processo Gmaw Nas Principais Posições De Soldagem devido a grande influência gerada no processo como um todo. Segundo Wink (2015) essa influência ocorre principalmente nos níveis de respingos, estabilidade do processo, aparência do cordão e até mesmo na possibilidade ou não de se aplicar o cordão de solda fora da posição plana. O tipo de transferência está relacionado a fatores como por exemplo, metal de adição, combinação dos valores de corrente e tensão, pressão e gás de proteção. Na Figura 2 podemos visualizar os três principais tipos de transferência metálica: tipo globular, tipo *spray* e tipo curto circuito.

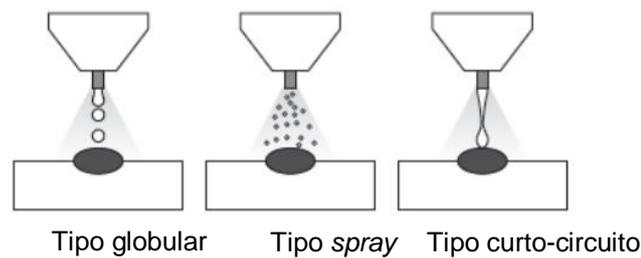


Figura 2. Principais tipos de transferência metálica (SILVEIRA, 2016).

De acordo com Marques *et al.* (2005), a transferência do tipo curto-circuito geralmente é aplicada em soldas com posições diferentes da posição plana ou em soldagem de peças de pequena espessura onde não se utilizam altas energias de soldagem. Na transferência por curto circuito a ponta do eletrodo começa a mudar de fase se tornando uma gota de metal derretido, essa gota aumenta até o ponto de atingir a poça de fusão, então é atraída para a poça de fusão devido a ação da tensão superficial. Esse tipo de transferência ocorre ao serem usados valores baixos de corrente e tensão. Nele percebe-se um elevado nível de respingos, porém esse problema pode ser minimizado através de uma seleção adequada dos parâmetros de soldagem e ajuste da indutância na fonte de energia, controlando os curtos-circuitos para que ocorram da forma mais suave possível, fazendo com que parte da ponta do eletrodo fique mergulhada na poça de fusão, tornando o arco mais estável.

A transferência metálica tipo globular, quando comparada a transferência do tipo curto-circuito, resulta em uma maior estabilidade do arco devido aos valores intermediários de tensão e corrente, porém a transferência metálica ocorre de forma imprevisível e desordenada. Normalmente as gotas que se formam apresentam um diâmetro maior do que o diâmetro do eletrodo, o tamanho dessas gotas está

relacionado com a corrente que está sendo utilizada e irá variar com essa corrente. Conforme Wink (2015) a transferência metálica do tipo globular, apresentará um desprendimento das gotas de metal líquido, similar ao gotejamento em uma torneira parcialmente aberta. Primeiramente, devido as altas temperaturas, a ponta do arame inicia o processo de fusão formando a gota metálica, porém esse metal líquido permanece ligado ao arame devido a ação da tensão superficial, até que, por ação da gravidade, a gota de metal líquido que se formou se desprende devido ao seu peso e é dessa forma depositado na poça de fusão. Devido a essa dependência da gravidade, arco instável e grande volume de respingos, a transferência do tipo globular apresenta uma utilização limitada na soldagem GMAW.

Conforme Marques *et al.* (2005), existe uma faixa de valores entre os modos de transferência metálica globular e spray que é chamada de corrente de transição, conforme a corrente de soldagem aumenta, as gotas de metal líquido que se formam na extremidade do arame diminuem, até que, ao se ultrapassar a faixa de corrente de transição, o modo de transferência passa de globular para spray de maneira repentina. A transferência do modo spray, apresenta uma grande quantidade de pequenas gotas de metal que são menores do que o diâmetro da extremidade do arame, devido a esse tamanho e facilidade de locomoção dessas pequenas gotas, a transferência por spray praticamente não gera respingos e apresenta um cordão regular e suave resultando em um arco com boa estabilidade. Essa transferência não ocorre com todas as proteções gasosas, na Tab. 1 podemos observar melhor os tipos de gases e valores da corrente de transição.

Segundo Guimarães (2016), quanto mais facilmente ocorrer a transferência metálica, maior estabilidade terá o arco elétrico, permitindo obter melhores resultados com relação a regularidade da geometria do cordão de solda. Em seu trabalho, coletam-se os valores de tensão e corrente ao longo do processo de soldagem e analisa-se a regularidade e facilidade de transferência metálica a partir da ocorrência e regularidade de curto-circuito e transferência da gota, os dados coletados são compilados e analisados com o auxílio do software Matlab®, comparando os valores de corrente de 200 e 230A, permitindo finalmente a avaliação da estabilidade do arco elétrico. Após esta análise Guimarães (2016) constata que os ensaios soldados com

Análise Comparativa Da Qualidade Das Soldas Realizadas Pelo Processo Gmaw Nas Principais Posições De Soldagem a corrente de 200A, foram os que apresentaram maior facilidade de transferência metálica e conseqüentemente maior estabilidade do arco.

Tabela 1. Gases e correntes de transição (MARQUES *et al.* 2005).

Material	Diâmetro do arame (mm)	Gás de proteção	Corrente de transição (A)
Aço carbono	0,8	Argônio 2% Oxigênio	150
	1	Argônio 2% Oxigênio	165
	1,2	Argônio 2% Oxigênio	220
	1,6	Argônio 2% Oxigênio	275
Aço inoxidável	0,8	Argônio 2% Oxigênio	170
	1,2	Argônio 2% Oxigênio	225
	1,6	Argônio 2% Oxigênio	285
Alumínio	0,8	Argônio	95
	1,2	Argônio	135
	1,6	Argônio	180

2.3. Posições de soldagem

Conforme Marques *et al.* (2005) em um processo de soldagem, duas peças são unidas através do cordão de solda ou de vários cordões, a região onde esse cordão é aplicado, denomina-se junta e o que vai determinar o tipo de posição em que será realizada a solda, é justamente a forma com que essas duas peças são unidas. Chiaverini (1986), apresenta as juntas de topo, sobreposta, de canto, e juntas em T, como sendo os principais tipos de juntas soldadas. O que as diferencia é a forma com que as partes do metal de base são soldadas, onde nas juntas de topo as partes são soldadas em suas superfícies externas, nas sobrepostas as partes ficam uma sobre a outra sendo que esta largura de contato deve ser de 3 a 5 vezes sua espessura, as juntas em canto também são soldadas em suas superfícies externas porém as partes se posicionam perpendicularmente uma a outra, finalmente as juntas em T onde as partes soldadas formam um ângulo de 90° entre elas. Chiaverini (1986) salienta ainda que é de extrema importância que as extremidades estejam chanfradas, sendo isso dispensado somente em casos de aplicação de baixas cargas estáticas.

Para Marques *et al.* (2005) as formas de união entre as partes podem ser divididas em cinco tipos básicos de junta, conforme ilustrado na Fig.3

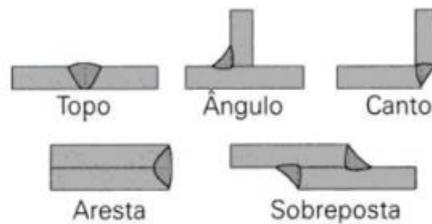


Figura 3. Tipos básicos de junta (MARQUES *et al.* 2005).

Conforme Marques *et al.* (2005), as posições de soldagem são identificadas através de um número e uma letra, para as soldas de topo e soldas circunferenciais, que são aplicadas em chanfro, se utiliza a letra G que se refere a Groove, quando as peças que serão soldadas se encontram perpendiculares uma a outra, se utiliza a letra F que se refere a Fillet ou filete. Sendo assim podemos definir as posições de soldagem como sendo: Plana 1G e 1F, horizontal 2G e 2F, vertical 3G e 3F e sobre cabeça 4G e 4F, conforme apresentado na Fig. 4.

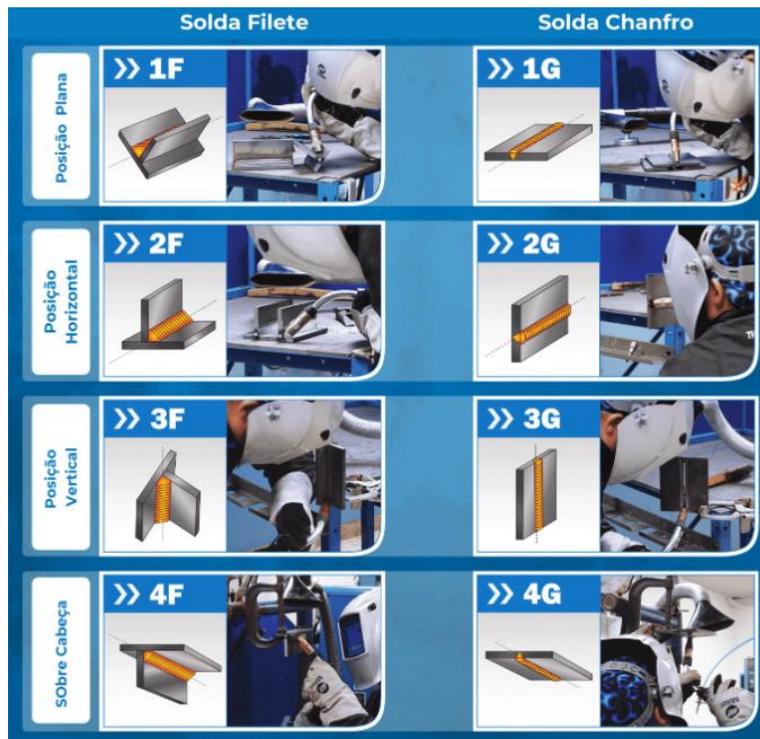


Figura 4. Principais posições de soldagem (AVENTA, 2021).

A posição em que a solda é aplicada é um fator relevante, pois conforme Júnior (2015), a produtividade e o nível de dificuldade da solda são diretamente influenciados por esse fator, para Júnior (2015) apud SENAI (1998), os diferentes posicionamentos

Análise Comparativa Da Qualidade Das Soldas Realizadas Pelo Processo Gmaw Nas Principais Posições De Soldagem de soldagem são fatores relevantes sobre a resistência mecânica da junta soldada, pois possuem diferentes níveis de dificuldade o que interfere na qualidade da solda.

Silva *et al.* (2012) utilizando o processo de soldagem GMAW para soldar o material AA5052, realizou um comparativo entre as posições 1G plana e 4G sobrecabeça, onde as variáveis eram apenas a posição de soldagem e a distância entre o bico de contato e a peça (DBCP). Após a realização do processo de soldagem, os corpos de prova foram submetidos a um ensaio metalográfico para medição dos parâmetros geométricos (largura, penetração e reforço), os resultados mostraram que, ao contrário da influência ocasionada pela alteração da posição de soldagem, a DBCP não foi um parâmetro de grande influência na qualidade do cordão, pois, ao aumentar-se a DBCP a tensão utilizada também é aumentada trazendo equilíbrio ao processo.

Silva *et al.* (2012) conclui que as soldas realizadas na posição plana, apresentaram maiores valores de largura, penetração e reforço do que na posição sobrecabeça. Isso deve-se principalmente pela ação da gravidade, pois, a posição plana tende a facilitar a deposição de material na poça, por estar atuando no mesmo sentido da deposição do material, ao passo que na posição sobrecabeça ocorre o contrário.

Após realizar um comparativo entre as principais posições de soldagem, Dilhmann (2016) também destaca a posição plana como sendo a melhor posição para se realizar uma solda e a posição sobrecabeça como a posição que deve ser evitada sempre que possível pelo fato de seu grau de dificuldade interferir diretamente nos resultados obtidos nos ensaios.

A Fig. 5 apresenta um comparativo entre a qualidade das soldas nas posições plana e sobre cabeça, realizadas através do processo de soldagem por eletrodo revestido, onde fica evidente após um teste por líquido penetrante que na posição sobre cabeça, Fig. 5(b) ocorrem falhas decorrentes da dificuldade de execução da soldagem nessa posição, ao passo que a posição plana Fig. 5(a) não apresenta falhas.

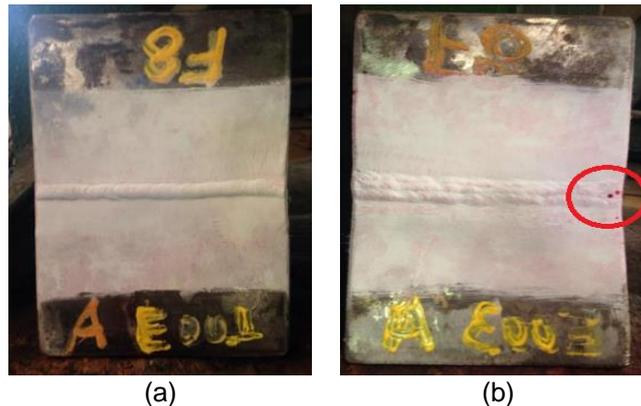


Figura 5. Qualidade da solda nas posições: (a) plana e (b) sobre cabeça (Adaptado de DIHLMANN, 2016).

2.4. Ensaios mecânicos

A aplicação da solda em uma peça, implica em alterações nas propriedades mecânicas da região próxima à junta soldada, (Chiaverini 1986), além disso, a qualidade de uma junta soldada está consideravelmente relacionada a utilização correta dos parâmetros de soldagem tais como: ângulo da tocha em relação a peça, velocidade do arame, corrente aplicada, composição do material de adição, etc. (Wainer et al. 2011).

Quando algum desses parâmetros é selecionado de maneira incorreta ou dependendo da posição e dificuldade de execução da solda, ocorrem defeitos na junta soldada que podem comprometer todo um projeto. Por isso é de extrema importância que após finalizado o processo de soldagem, sejam aplicados testes que comprovem que a qualidade da junta soldada atende aos limites preestabelecidos no projeto.

De acordo com Dihlmann (2016) os ensaios mecânicos visam justamente confirmar se a junta soldada está dentro desses limites, isso porque ensaios desse tipo são capazes de expor importantes propriedades mecânicas dos materiais, bem como simular situações que revelem como a junta soldada se comportará.

De acordo com Garcia (2012), esses tipos de ensaios podem ser classificados através da integridade geométrica e dimensional ou através da velocidade de aplicação da carga:

Integridade geométrica e dimensional:

- Ensaios destrutivos: Provocam danos permanentes na peça inutilizando a mesma, como por exemplo: ensaio de tração, impacto, dobramento, compressão etc.;
- Ensaios não destrutivos: São chamados assim justamente pelo fato de não inutilizar a peça, como por exemplo: ensaio visual, partícula magnética, raio-x, líquido penetrante etc.

Análise Comparativa Da Qualidade Das Soldas Realizadas Pelo Processo Gmaw Nas Principais Posições De Soldagem

Velocidade de aplicação da carga:

- Carga estática: É chamado dessa forma pois o corpo de prova é submetido a uma carga que é adicionada de maneira lenta, isso leva a uma série de estados de equilíbrio, por exemplo ensaios de flexão, tração e compressão.
- Dinâmicos: Neste tipo de ensaio, aplica-se a carga de maneira cíclica, como por exemplo o ensaio de fadiga.
- Carga constante: Em ensaios de carga constante, aplica-se a carga por um longo período como exemplo pode-se citar o ensaio de fluência.

Nesse trabalho apresenta-se, de forma breve, a inspeção visual, por líquido penetrante, dobramento e tração, os quais foram utilizados durante os procedimentos experimentais.

2.5. Inspeção visual

De acordo com Oliveira (2012) apud Chiaverini (1986), a inspeção visual apresenta algumas vantagens como por exemplo a agilidade e o baixo custo na aplicação do mesmo, através dela é possível detectar falhas importantes que são visíveis a olho nu, como por exemplo porosidades, mordeduras, falta de fusão, respingos, etc.

Oliveira (2012) realiza um comparativo através de ensaios mecânicos entre as posições de soldagem 2G, 3G e 4G no aço ASTM A36, pelo processo de eletrodo revestido, em corpos de prova soldados por três diferentes soldadores, neste trabalho após aplicar a inspeção visual, reprovam-se os três corpos de prova de um dos soldadores sendo possível observar a influência exercida também pela experiência destes na qualidade final da junta soldada.

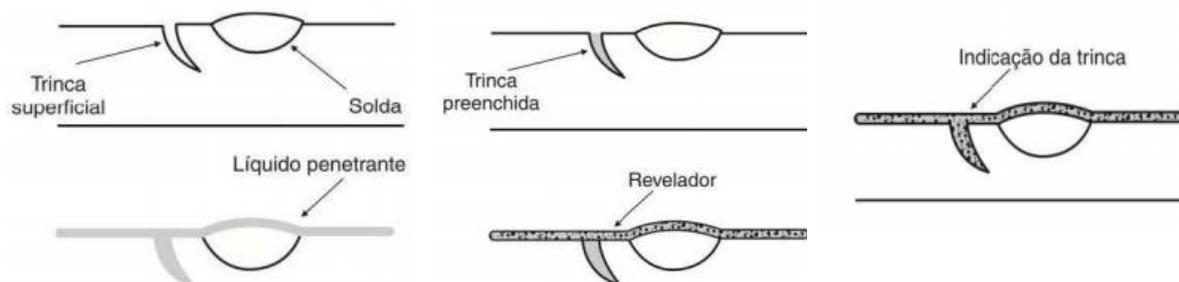
2.6. Ensaio por líquido penetrante

Dependendo da aplicação do material soldado, uma simples inspeção visual a olho nu, apesar de ser capaz de detectar falhas como falta de fusão, porosidade e inclusão de escória, trincas aparentes, não é suficiente para aprovar uma junta soldada. Uma vez que, pequenos poros imperceptíveis a olho nu podem revelar uma falha considerável na solda, capaz de condenar a junta, é necessário utilizar outros tipos de ensaios.

Dessa forma ainda na etapa de inspeção visual é possível aplicar um teste por líquido penetrante, que é um teste relativamente barato e eficaz. Conforme Chiaverini (1986), o ensaio por líquido penetrante também pode ser considerado um ensaio visual, esse método é capaz de revelar pequenas e grandes descontinuidades através de uma pequena falha na superfície.

Para a realização desse tipo de ensaio são necessários dois elementos que são utilizados em duas etapas distintas ao longo do ensaio. O primeiro deles é o líquido penetrante que como o próprio nome diz, tem a função de penetrar nas descontinuidades da peça, ou seja, sua função é exatamente ocupar qualquer espaço vazio do corpo de prova, desde que possua uma entrada na superfície. O segundo elemento é o revelador que é aplicado após o penetrante, este recebe esse nome por tratar-se de uma substância absorvente que drena o penetrante alojado nas descontinuidades, tornando visíveis estas falhas e dando inclusive noções de grandezas dimensionais, é importante que se aguarde a reação de absorção do revelador para que se obtenha sucesso no ensaio, em seu trabalho, De Andrade e Dantas (2018) aguardam um tempo de aproximadamente 15 min.

De acordo com Garcia (2012), o absorvente é de cor branca e pode ser um líquido volátil ou pó revelador e a aplicação do ensaio se dá da seguinte forma: primeiro a peça deve ser limpa para que as entradas das falhas fiquem desobstruídas permitindo a penetração do líquido conforme mostrado na Fig. 6(a), após isso deve-se realizar uma limpeza superficial do corpo de prova removendo o excesso de líquido penetrante, o objetivo aqui é que permaneça líquido apenas dentro das descontinuidades como é mostrado na Fig. 6(b), por fim deve ser aplicado o revelador que absorve o líquido alojado nas trincas tornando-as facilmente visíveis conforme Fig. 6(c). Os procedimentos adotados por Garcia (2012) e De Andrade e Dantas (2018), estão de acordo com o que determina a ABENDI Associação Brasileira de ensaios não destrutivos.



Análise Comparativa Da Qualidade Das Soldas Realizadas Pelo Processo Gmaw Nas Principais
Posições De Soldagem

(a)

(b)

(c)

Figura 6. Etapas do processo de ensaio por líquidos penetrantes (GARCIA, 2012)

Conforme Andreucci (2018) que utiliza as normas ASME SEC. VIII DIV.1 AP.8 e ASME SEC.I, as falhas que devem ser consideradas como relevantes são chamadas de indicações e devem apresentar dimensões de no mínimo 1,5 mm, essas indicações são separadas em 2 categorias:

- Arredondada – cujo comprimento é igual ou menor que três vezes a largura;
- Linear - cujo comprimento é maior que três vezes a largura;

Sendo que, de acordo com Andreucci (2018), para que o teste seja aprovado, as superfícies examinadas não podem conter: nenhuma indicação relevante linear, nenhuma indicação relevante arredondada superior a 5 mm e não devem conter mais do que três indicações relevantes arredondadas, distribuídas na mesma linha e com uma distância menor ou igual a 1,5 mm.

2.7. Ensaio de dobramento

Conforme a norma ASME IX, o ensaio de dobramento é qualitativo e visa simplesmente constatar a presença de defeitos visíveis a olho nu, dessa forma, após a realização do dobramento, a superfície convexa deve ser examinada visualmente a fim de detectar qualquer descontinuidade, sendo que as descontinuidades encontradas não podem ultrapassar 3mm. A solda deve ser reprovada caso seja encontrada qualquer descontinuidade que exceda 3mm, a soma destas descontinuidades com comprimento cujos valores estejam entre 1 e 3 mm devem ser somados e não podem ultrapassar 10 mm, entretanto a norma recomenda que não sejam consideradas as trincas que forem constatadas nos cantos do corpo de prova ensaiado a menos que essa trinca seja oriunda de algum defeito interno da solda.

Conforme Dihlmann (2016), a severidade do ensaio de dobramento está diretamente relacionada ao ângulo utilizado, sendo que os ângulos aplicados nesse tipo de ensaio geralmente são de 90° , 120° ou 180° , podendo considerar 90° como o menos severo e 180° como o mais severo.

2.8. Ensaio de tração

Segundo Garcia (2012), para realizar um ensaio de tração, é necessário que o corpo de prova seja submetido a uma carga de tração uniaxial que deve ser aplicada de maneira crescente até que o corpo de prova seja levado a ruptura. É um ensaio muito utilizado pois é capaz de fornecer importantes dados referentes as características mecânicas do corpo de prova que está sendo testado, como por exemplo: módulo de elasticidade, coeficiente de encruamento, coeficiente de resistência, limite de escoamento, limite de resistência a tração. Além disso, o ensaio de tração pode indicar o comportamento do material ensaiado no que se diz respeito a ductilidade através da estrição e do alongamento (Garcia, 2012; Chiaverini, 1986).

Para aplicação do teste o corpo de prova deve ser fixado pelas extremidades e então realiza-se a carga de tração F , conforme ilustrado na Fig. 7, esse corpo de prova possui um comprimento inicial l_0 e área inicial A_0 , conforme a carga é aplicada ocorre a estrição ou empescoçamento do corpo de prova que passa a ter uma redução nessa área da seção transversal e aumento do comprimento.

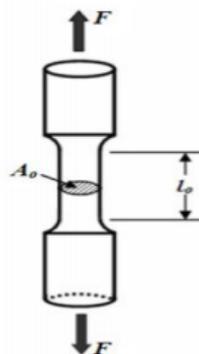


Figura 7. Corpo de prova sob ensaio de tração (DIHLMANN, 2016, apud CALISTER,2002).

Através destas medidas de comprimento e área coletados antes e após a aplicação da carga, é possível plotar o gráfico Tensão x Deformação que nos mostra as características mecânicas desse material ensaiado, conforme ilustra Fig. 8.

Análise Comparativa Da Qualidade Das Soldas Realizadas Pelo Processo Gmaw Nas Principais Posições De Soldagem

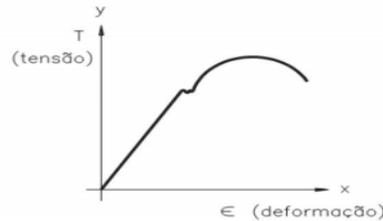


Figura 8. Diagrama Tensão x Deformação (DIHLMANN, 2016, *apud* CALISTER, 2002).

Bulla (2018) realiza em seu trabalho um ensaio de tração no aço SAE1020 utilizando a norma NBR ISO 6892-1:2013 Versão Corrigida 2: 2018 que estabelece as condições para o ensaio de tração à temperatura ambiente. Para fabricar o corpo de prova, a chapa é cortada em formato de um retângulo com o auxílio de uma guilhotina e ficando com as dimensões de 200 mm x 20 mm, após isso utiliza-se uma fresadora ferramenteira para usinar o corpo de prova deixando o mesmo com formato ilustrado pela Fig. 9.

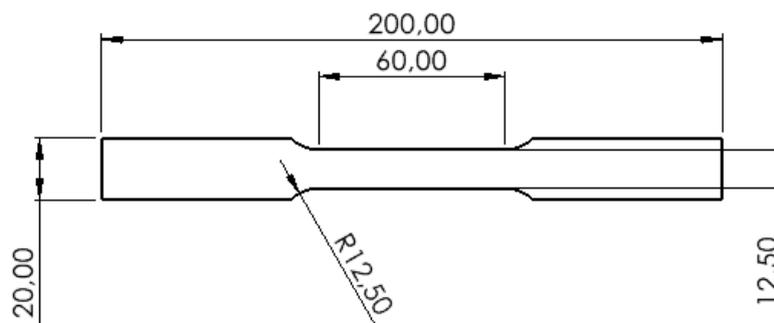


Figura 9. Corpo de prova para ensaio de tração com unidade em mm (BULLA, 2018).

2.9. Ensaio de tração para corpos de prova soldados

Em seu trabalho, Dilhmann (2016), realiza o ensaio de tração conforme orientações da norma ASTM A370, sendo que esta é utilizada para ensaios com os corpos de prova CP a temperatura ambiente, o corpo de prova é cortado de forma a deixar o cordão de solda posicionado perpendicularmente à direção em que a força de tração é aplicada. Os ensaios são realizados em corpos de prova fabricados a partir de

chapas de aço ASTM A36 e soldadas através de eletrodo revestido nas posições horizontal, plana e sobrecabeça. Após análise dos resultados obtidos nos ensaios, Dilhmann (2016) obtém os valores apresentados na Tab. 2.

Tabela 2. Resultados obtidos no ensaio de tração em aço A36 (DIHLMANN, 2016).

Posição	Limite de escoamento(Mpa)	Limite de resistência a tração (Mpa)	Alongamento
Plana	311	515	33%
Horizontal	280	491	34,8%
Sobrecabeça	358	509	52,2%

Apesar de o CP soldado na posição sobrecabeça apresentar um bom resultado no ensaio de tração, Dilhmann (2016) conclui que a posição sobrecabeça deve ser evitada, pois a dificuldade operacional na parte de aplicação da solda facilita a ocorrência de falhas, como inclusão de escórias e descontinuidades, essa afirmação é validada pelos resultados obtidos por exemplo no ensaio de dobramento onde são constatadas descontinuidades que ultrapassam os limites determinados pela norma ASTM A370.

2.10. Aço SAE 1020 e a zona termicamente afetada (ZTA)

Conforme definição de Padilha (1997), materiais podem ser considerados como importantes substâncias que detém uma série de propriedades e de acordo com essas propriedades define-se sua aplicação na fabricação de diversos produtos. A descoberta de diferentes classes de materiais é um fator relevante na história da humanidade, principalmente no que se diz respeito ao desenvolvimento econômico e avanço tecnológico, nesse contexto pode-se dizer que dentro da classe de materiais metálicos, as ligas de ferro e aço são os tipos de materiais de maior aplicabilidade nas mais diversas áreas, essa importância pode ser constatada por exemplo através do período da idade do ferro (Askeland, 2008).

Segundo Dilhmann (2016) apud Askeland (2015), os aços de baixo carbono possuem boa usinabilidade e soldabilidade, essa classe de aço possui um limite máximo de cerca de 0,2% de carbono em sua composição o que resulta em um material com alta tenacidade e ductilidade e com baixa dureza e resistência mecânica.

Análise Comparativa Da Qualidade Das Soldas Realizadas Pelo Processo Gmaw Nas Principais Posições De Soldagem

Para Askeland (2008), a soldabilidade do aço é uma propriedade de extrema importância, uma vez que para a fabricação de diversos projetos como estruturas metálicas por exemplo, é necessário realizar a junção de partes do material, o que implica na necessidade de ter-se uma junta soldada que ofereça uma resistência adequada. Esse grau de soldabilidade está relacionado a alterações nas propriedades do material, que ocorrem dentro da zona termicamente afetada (ZTA).

Conforme Chiaverini (1986), a ZTA situa-se no metal de base, imediatamente após a junta soldada e nesta região, apesar de não ocorrer uma alteração na composição química do material, o aquecimento e resfriamento ocorrem de maneira consideravelmente rápida, o que acaba ocasionando alterações na estrutura do metal, pois, de acordo com Askeland (2008), ocorre nessa região a possibilidade de formação de martensita, o que resulta em baixa tenacidade na junta soldada. Segundo Chiaverini (1986), a dimensão da ZTA está relacionada a combinação entre o processo de soldagem aplicado e o tipo de material do metal-base, sendo que no processo GMAW, essa região estende-se por cerca de 20 a 25 mm.

De acordo com Barbosa (2018) apud Callister (2008), o aço 1020 apresenta vantagens relacionadas a custo-benefício quando comparado a outros tipos de aços, como os ligados por exemplo, classifica-se como aço carbono comum devido ao fato de possuir baixo teor de carbono, é um material de vasta aplicação, entre as quais pode-se mencionar: pino-guia, virabrequins, engrenagens, etc. Conforme Barbosa (2018) apud Luz (2016) o aço SAE 1020 apresenta uma resistência a tração de aproximadamente 420 MPa, limite de escoamento de aproximadamente 350 MPa e um módulo de elasticidade de 205 GPa

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Nesta seção apresenta-se o processo de desenvolvimento da pesquisa. As etapas de todo o processo estão descritas na Fig. 10. Para isso, realizou-se a fabricação de corpos de prova com chapas de aço carbono, os mesmos foram soldados pelo processo GMAW em diferentes posições de soldagem. Em seguida realizaram-se os

ensaios, não destrutivos e destrutivos, coletando dados e finalmente realizando-se a análise dos resultados.

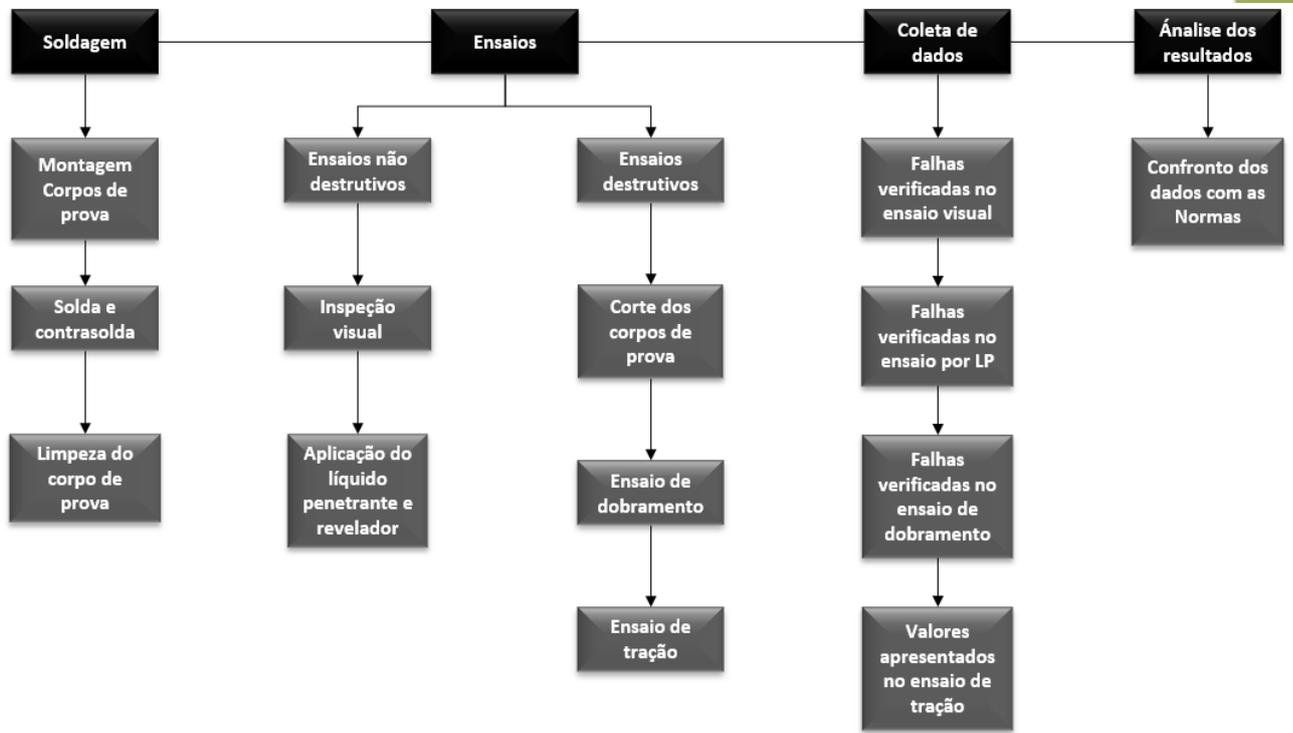


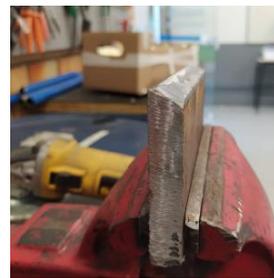
Figura 10. Etapas do processo de realização do trabalho (OS AUTORES).

3.1. Fabricação e preparação dos corpos de prova

Para a elaboração deste trabalho, inicialmente foram cortadas chapas de aço SAE 1020 utilizando uma máquina de plasma, formando as partes a serem soldadas com as dimensões de 12,7mm x 75mm x 150mm. Para montagem dos corpos de prova realizou-se a união de duas partes através do processo de soldagem. As dimensões finais do corpo de prova são 12,7mm x 152,5mm x 150mm. Para a junção das partes, devido a espessura de 12,7mm utilizou-se como parâmetro uma junta de topo em “V”.



(a)



(b)

Análise Comparativa Da Qualidade Das Soldas Realizadas Pelo Processo Gmaw Nas Principais Posições De Soldagem

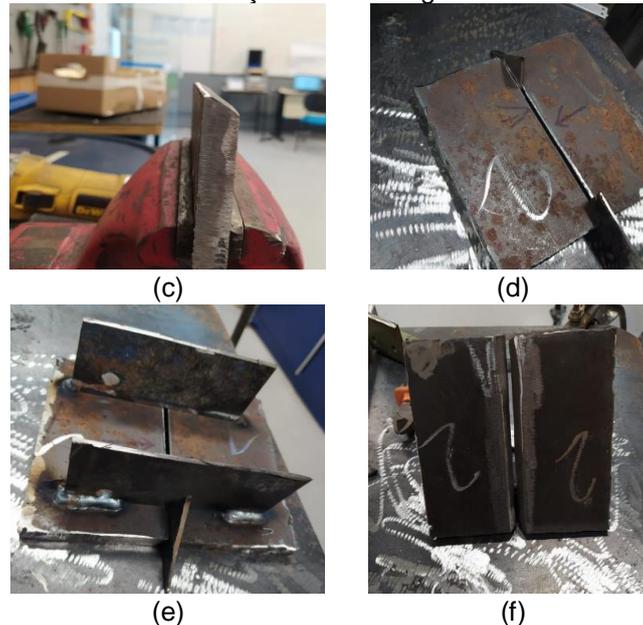


Figura 11. Montagem dos corpos de prova (OS AUTORES).

A Figura 11 ilustra a montagem dos corpos de prova, as extremidades das partes a serem soldadas foram desbastadas com o auxílio de uma esmerilhadeira deixando uma face de raiz de aproximadamente 2mm e um bisel de aproximadamente 30°, conforme apresentado nas Figs. 11 (a), (b) e (c). Com a ajuda de um gabarito as partes biseladas são montadas deixando uma abertura com aproximadamente 2,5mm Fig. 11(d). Para finalizar a montagem dos corpos de prova é necessário colocar travas na parte de traz dos corpos de prova, foram utilizadas chapas do mesmo material e essas travas foram soldadas para que a abertura não sofra nenhum desalinhamento Fig.11 (e). Após isso, para remover as contaminações da superfície a ser soldada, aplicou-se uma escova rotativa de aço com o auxílio de uma esmerilhadeira, deixando os corpos de prova prontos para se iniciar o processo de soldagem Fig. 11 (f).

3.2. Soldagem dos corpos de prova

Os corpos de prova foram fixados nas posições preestabelecidas no projeto, com o auxílio de uma bancada.

O arame utilizado foi o ER70S-6 com diâmetro de 0,8 mm, utilizando-se uma mistura de 25% de Dióxido de Carbono em Argônio (Ar/CO₂) como proteção gasosa.

A máquina utilizada para o processo é da marca ESAB, modelo Smashweld 266 X, conforme ilustra a Fig. 12. Esse equipamento permite a utilização de arames com bitola de até 1,0 mm, seu funcionamento é bastante simples e seu painel permite que a tocha seja ligada diretamente na máquina, dispensando o uso de um cabeçote em operações de soldagem em bancadas.



Figura 12. Máquina de solda ESAB modelo Smashweld 266X (ESAB, 2019).

Os parâmetros exatos de corrente e tensão selecionados, não foram coletados uma vez que se utiliza uma máquina de solda que não dispõe de um indicador digital de corrente e tensão e devido a falta de instrumentos adequados de medição de corrente e tensão no local de execução das soldas.

Conforme ESAB (2019), o modelo Smashweld 266X permite a utilização de corrente entre 150A~250A e tensão entre 21,5V~26,5V, dependendo do fator de trabalho, sendo que este relaciona-se com o percentual de tempo de arco aberto em um período de dez minutos. Neste trabalho executaram-se os cordões de solda com um tempo máximo de dois minutos de arco aberto, compreendendo neste caso a faixa de 35% do fator de trabalho, utilizando-se uma tensão entre 24 V ~ 26 V e corrente entre 180 A ~ 200 A, valores estes que foram estimados relacionando-se os parâmetros selecionados na máquina aos dados técnicos do fabricante, ficando dentro dos parâmetros recomendados. Na Fig 13 apresentam-se os dados do fabricante.

Análise Comparativa Da Qualidade Das Soldas Realizadas Pelo Processo Gmaw Nas Principais Posições De Soldagem

Dados Técnicos	
Fonte de energia	Smashweld® 266X
Fonte de energia	RETIFICADOR
Tensão da rede	220V - 3Φ / ±10% 380V - 3Φ / ±10%
Frequência da rede (Hz)	3~50/60Hz
Seção do cabo de alimentação (cobre) para comprimento até 5 metros	4x6mm ²
Seção do cabo	35mm ²
35% do fator de trabalho	250A / 26,5 V
60% do fator de trabalho	200A / 24V
100% do fator de trabalho	150A / 21,5V

Figura 13. Dados técnicos da máquina de solda ESAB Smashweld 266X (ESAB, 2019).

A Figura 14 apresenta o processo de soldagem passo a passo na posição 3G, o mesmo processo se repete para as demais posições de soldagem, a mudança está no posicionamento do corpo de prova. Posicionou-se o corpo de prova na bancada, aplicando-se então o passe de raiz Fig. 14(a), antes de aplicar o passe de enchimento realiza-se um ensaio visual no passe de raiz e esmerilham-se as partes que apresentam inclusão de escória, para que não ocorram descontinuidades na parte interna da junta soldada. Após essa verificação aplicou-se o passe de enchimento Fig.14 (b), novamente realizou-se um ensaio visual e com o auxílio de uma esmerilhadeira foi feito um guia para facilitar a aplicação do primeiro passe de acabamento e na sequência aplicou-se o segundo passe de acabamento Fig. 14 (c).

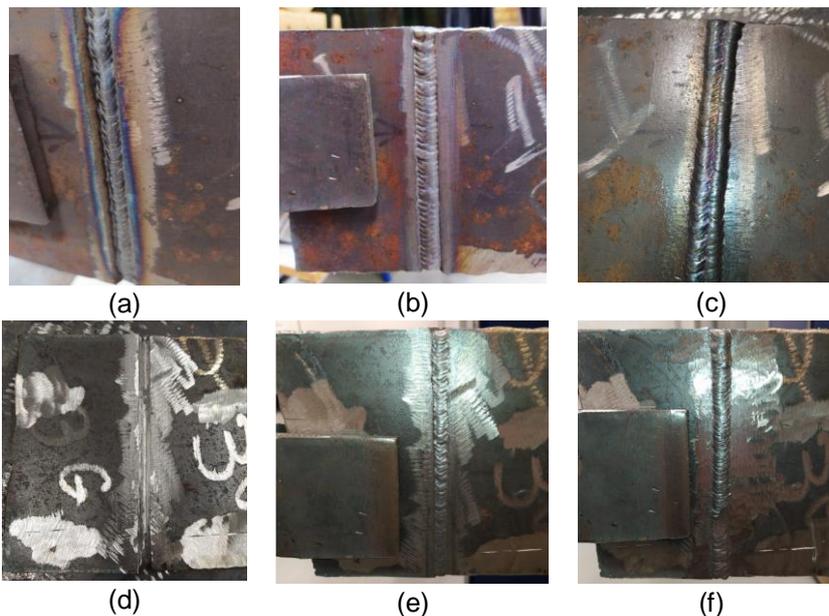


Figura 14. Soldagem na posição 3G (OS AUTORES).

Após finalizada essa etapa, removeram-se os suportes da parte de traz do corpo de prova e utilizando-se um disco de desbaste, abre-se a parte de traz da junta soldada até encontrar a raiz da solda que foi aplicada pela parte frontal. Novamente realiza-se um ensaio visual a fim de detectar qualquer descontinuidade ou inclusão de escória, deixando a região limpa e apta a receber o enchimento Fig. 14(d), aplicou-se o passe de enchimento Fig. 14(e) e por fim o passe de acabamento Fig.14(f). Todas as soldas são executadas por um soldador com experiência de aproximadamente 10 anos no processo GMAW, porém o mesmo já se encontrava afastado da função a aproximadamente 4 anos, não realizando-se nenhum tipo de curso de reciclagem para a execução deste trabalho.

Na Fig. 15 são apresentados os corpos de prova finalizados nas demais posições, posição 1G acabamento Fig. 15(a), posição 1G contra solda Fig. 15(b), posição 2G acabamento Fig. 15(c), posição 2G contra solda Fig. 15(d), posição 4G acabamento Fig. 15(e), posição 4G contra solda Fig. 15(f).

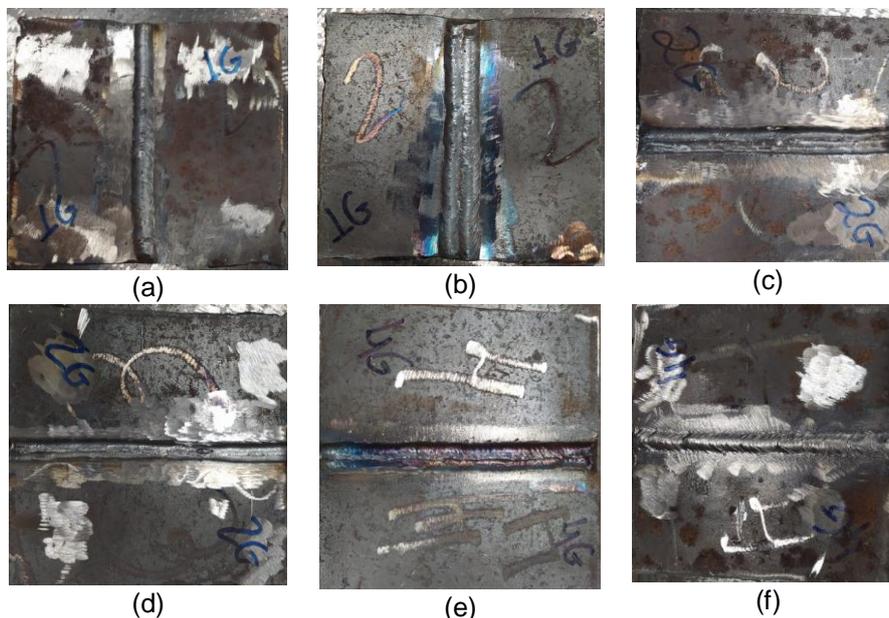


Figura 15. Soldagem nas posições 1G, 2G e 4G (OS AUTORES).

Análise Comparativa Da Qualidade Das Soldas Realizadas Pelo Processo Gmaw Nas Principais Posições De Soldagem

3.3. Ensaios

Nesta seção são apresentadas as aplicações dos ensaios não destrutivos e destrutivos que foram realizados em todos os corpos de prova soldados. Para os ensaios de tração e dobramento os corpos de prova foram cortados com jato d'água, os corpos de prova são apresentados na Fig.16. As extremidades dos corpos de prova são descartadas conforme recomenda a Norma ASME IX.



Figura 16. Corpo de prova de dobramento e tração para ensaios destrutivos e zona descartada (OS AUTORES).

3.3.1. Ensaio visual

Para a realização do ensaio visual, primeiro efetua-se uma limpeza prévia dos corpos de prova para em seguida verificar se as juntas soldadas apresentam algum tipo de não conformidade, como por exemplo, inclusão de escória, porosidades, mordedura, respingos, falta de fusão etc. Na Figura 17 (a) e (b) ilustram-se a solda e contra solda, respectivamente, realizadas na posição 4G (posição que apresenta maior dificuldade de execução), pode-se observar que não foram constatadas falhas a olho nu, não foram encontradas não conformidades em nenhuma junta soldada.

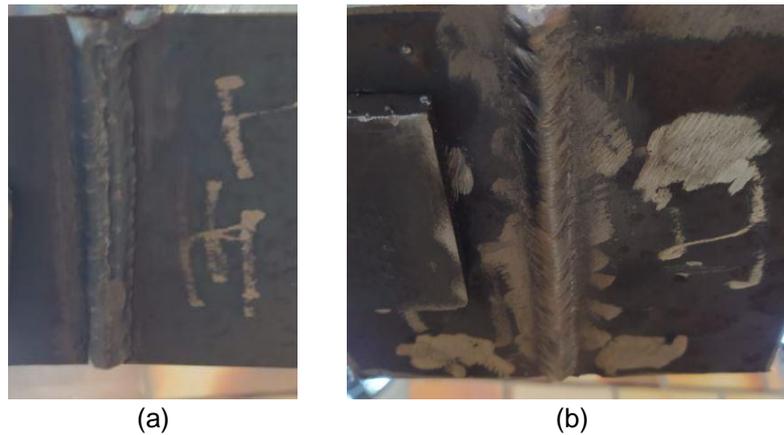


Figura 17. Inspeção visual dos corpos de prova na posição 4G (OS AUTORES).

3.3.2. Ensaio por líquido penetrante

Após o resfriamento de cada corpo de prova, realiza-se uma limpeza da peça com o auxílio de uma escova rotativa. Esse processo é feito com cuidado a fim de evitar aplicação exagerada de força nessa escovação, podendo ocasionar preenchimento superficial de poros, impedindo a entrada do líquido penetrante e mascarando o resultado. Depois de escovada, a superfície é então limpa com a aplicação de um solvente removedor Fig. 18 (a). A partir dessa etapa, utilizam-se as instruções do fabricante do kit (removedor, líquido penetrante e revelador), conforme essas instruções, passados 5 minutos da aplicação do removedor, aplica-se o líquido penetrante Fig. 18 (b). Após 20 min, remove-se o excesso do líquido penetrante e limpa-se novamente a superfície com o removedor Fig. 18 (c). Aguarda-se novamente um período de 5 minutos para evaporação do removedor, aplica-se então o revelador por toda a superfície e aguarda-se um período de no mínimo 20 minutos para realizar a inspeção Fig.18 (d), conforme instruções do fabricante e de acordo com a ABENDI.

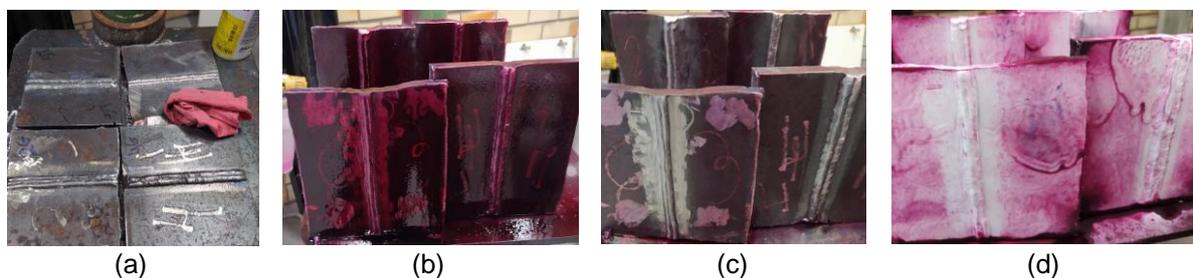


Figura 18. Soldagem nas posições 1G, 2G e 4G (OS AUTORES).

Análise Comparativa Da Qualidade Das Soldas Realizadas Pelo Processo Gmaw Nas Principais Posições De Soldagem

3.3.3. Ensaio de dobramento

Os corpos de prova para o ensaio de dobramento são cortados por jato d'água e dimensionados de acordo com as normas ASME IX e ABNT NBR ISO 7438, conforme ilustra a Fig.19.

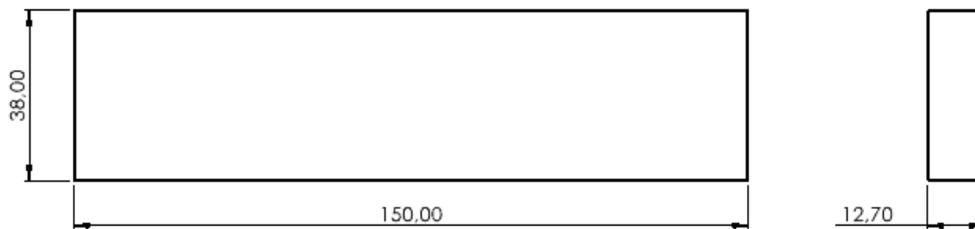


Figura 19. Dimensões do corpo de prova para o ensaio de dobramento (OS AUTORES).

Após fabricados os corpos de prova, todo o reforço de solda deve ser removido, deixando toda a superfície nivelada, o corpo de prova é posicionado sobre os roletes e uma força é aplicada no centro do corpo de prova fazendo com que a raiz da solda seja comprimida e a face da solda tracionada, conforme ilustra a Fig 20.

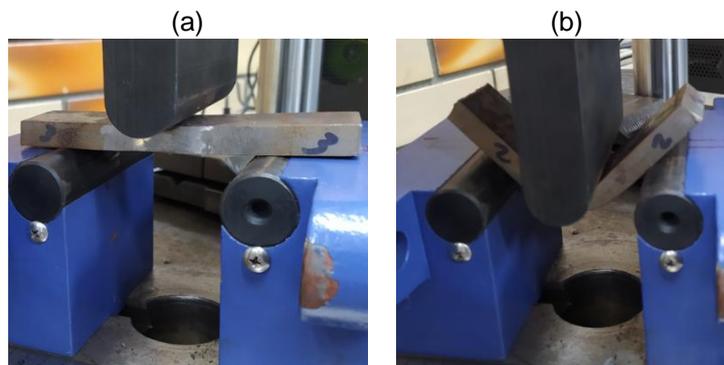


Figura 20. Corpo de prova sendo submetido ao ensaio de dobramento (OS AUTORES).

Após a realização do ensaio de dobramento, os corpos de prova são retirados de sobre os roletes e são submetidos a uma inspeção visual no intuito de constatar falhas que caracterizem sua reprovação. Para que não ocorram interpretações

incorretas, essa inspeção deve ser realizada em um local bem iluminado e por uma pessoa de boa acuidade visual.

3.3.4. Ensaio de tração

Realizou-se o ensaio de tração conforme norma ASME IX, em uma máquina de ensaio universal da marca Panantec, modelo VERSAT 300, com capacidade máxima de aplicação de força de 300kN. Antes de aplicar o ensaio, medem-se a espessura e a largura da seção reduzida do corpo de prova. Para que o corpo de prova seja aprovado no ensaio de tração é necessário que a ruptura ocorra fora da região soldada e o valor da resistência a tração coletada no ensaio não pode ser menor do que a resistência a tração do material. Todos os corpos de prova foram fabricados com as dimensões apresentadas na Fig. 21, de acordo com o que recomenda a norma ASME IX, o reforço de solda deve ser esmerilhado até que ambas as faces soldadas fiquem paralelas uma a outra.

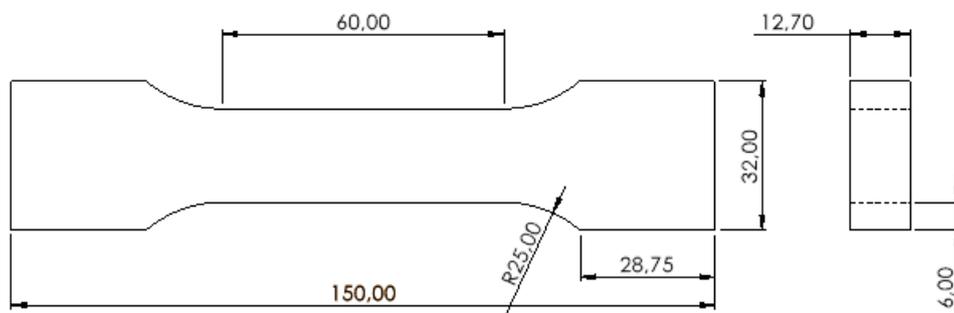


Figura 21. Dimensões do corpo de prova para o ensaio de tração (OS AUTORES).

Na Fig. 22 são apresentadas as imagens do corpo de prova, antes de ser tracionado na máquina de ensaio e após o término do ensaio, respectivamente. Ao longo do ensaio a máquina registra a força que está sendo aplicada e com esses registros plota-se um gráfico de tensão x deformação. O gráfico apresenta informações importantes como alongamento, limite de escoamento e a resistência a tração, que é o principal dado a ser analisado segundo a norma ASME IX.

Análise Comparativa Da Qualidade Das Soldas Realizadas Pelo Processo Gmaw Nas Principais Posições De Soldagem

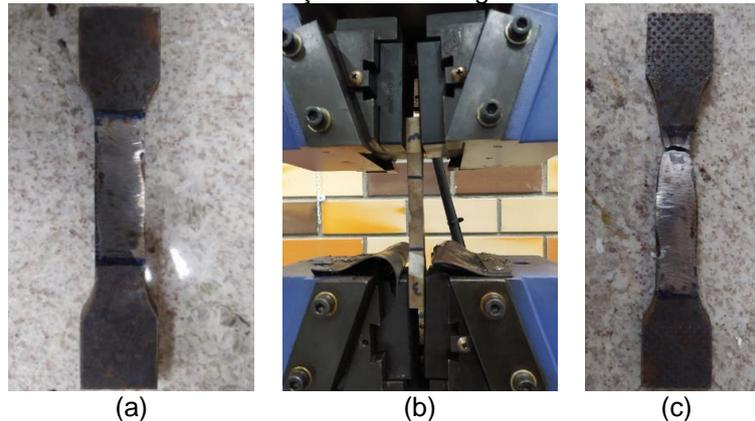


Figura 22. Ensaio de tração: a) corpo de prova antes do ensaio, b) corpo de prova fixo na máquina e, c) corpo de prova após o ensaio de tração (OS AUTORES).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção apresentam-se os resultados obtidos através da realização dos ensaios destrutivos e ensaios não destrutivos, comparando-se com os valores exigidos pela norma ASME IX e com outros trabalhos que também fizeram comparativos entre posições de soldagem.

4.1. Ensaio visual e por líquido penetrante

O único corpo de prova reprovado nos ensaios não destrutivos foi o soldado na posição sobre cabeça, sendo que neste apresentou-se uma indicação relevante arredondada no ensaio de líquido penetrante.

Apesar de todos os corpos de prova serem aprovados no ensaio visual, observa-se que no corpo de prova soldado na posição sobre cabeça apresentam-se alguns pontos esteticamente defeituosos, porém esses pontos situam-se nas extremidades do corpo de prova, local que deve ser descartado conforme a norma ASME IX. A Fig. 23 ilustra um comparativo entre o corpo de prova que obteve o melhor resultado geral, Fig. 23 (a) posição 2G e o corpo de prova que obteve o pior resultado geral, inclusive sendo reprovado, Fig. 23 (b) posição 4G.



Figura 23. Corpos de prova soldados: (a) posição 2G e, (b) posição 4G (OS AUTORES).

Após a realização do ensaio por líquido penetrante nos corpos de prova de todas as posições, pode-se constatar indicações relevantes apenas na solda realizada na posição 4G sobre cabeça, onde conforme ilustrado pela Fig. 24 apresenta-se uma indicação relevante arredondada com mais que 5mm, localizada no primeiro cordão de solda do acabamento, o que caracteriza a reprovação deste corpo de prova conforme ABENDI (Associação Brasileira de ensaios não destrutivos e inspeção), o destaque se dá devido a quantidade de líquido penetrante remanescente no local mesmo após aguardar-se um período de mais de 30 minutos.



Figura 24. Presença de poro na junta soldada na posição 4G (OS AUTORES).

Os resultados obtidos neste ensaio são similares ao que apresenta o trabalho de Oliveira (2012), onde constataram-se falhas grandes na posição 4G, porém em seu trabalho também houve reprovações com indicações consideráveis na posição 3G e os melhores resultados foram obtidos na posição 2G. No trabalho de Dihlmann (2016), apresentaram-se indicações apenas no corpo de prova soldado na posição 4G porém o corpo de prova foi considerado aprovado devido as dimensões das indicações.

Análise Comparativa Da Qualidade Das Soldas Realizadas Pelo Processo Gmaw Nas Principais Posições De Soldagem

4.2. Ensaio de tração

A Tabela 4 apresenta os valores de força, tensão de escoamento, alongamento e resistência a tração obtidos no ensaio de tração. Os corpos de prova soldados nas posições 1G, 2G e 3G apresentam uma resistência a tração acima de 420 Mpa que é a resistência a tração do aço SAE 1020. Apenas um dos corpos de prova, que é soldado na posição 4G, apresenta uma resistência a tração inferior, porém acima de 95% da resistência a tração do metal de base, podendo ser então considerado aprovado conforme ASME IX. Pode-se notar também que a posição 2G apresenta o maior valor de resistência a tração. Todos os corpos de prova são considerados aprovados no ensaio de tração

Tabela 4. Resultados obtidos no ensaio de tração (OS AUTORES).

Corpo de prova	Posição	Força - kN	Resistência a tração - MPa	Tensão de escoamento - MPa	Alongamento %
1	1G	111,8	433,7	275	26
2	1G	110,7	427,3	274	29,5
1	2G	116,5	501,2	275	17
2	2G	109,1	421,1	275	25
1	3G	109,3	430	274	27
2	3G	110,8	422	276	28
1	4G	104,8	413	277	25
2	4G	110,8	430	277	25

Porém, apesar de aprovarem-se todos os corpos de prova tracionados, observa-se que os melhores resultados de resistência a tração obtidos, foram nos ensaios realizados nas posições horizontal (2G) e plana (1G), onde obtiveram-se resistências a tração de 501,2 MPa e 433,7 MPa respectivamente.

Apesar da aprovação dos dois corpos de prova tracionados na posição 4G, percebe-se que um destes apresentou uma resistência a tração de 413 MPa, valor inferior a resistência a tração do aço SAE 1020 que é de 420 MPa. Todavia o mesmo foi aprovado pois a norma ASME IX considera como aceitável uma resistência a tração

inferior a do material, desde que o rompimento ocorra fora da solda e da ZTA e com uma resistência a tração de pelo menos 95% do valor da resistência a tração do material, condições essas que foram perfeitamente atendidas nos ensaios desse corpo de prova, porém que chamam a atenção para essa particularidade.

A Figura 25 apresenta os locais de ruptura dos corpos de prova submetidos ao ensaio de tração, todos rompem fora da junta soldada atendendo ao primeiro requisito da norma ASME IX. Os gráficos referentes aos ensaios de tração estão disponíveis nos apêndices.



Figura 25. Corpos de prova após serem submetidos ao ensaio de tração (OS AUTORES).

No trabalho de Dihlmann (2016), os corpos de prova também são aprovados em todas as posições, destacando-se que a posição 4G não foi a que apresentou o menor valor de resistência a tração como o que apresenta-se neste trabalho, porém conforme Oliveira (2012) o soldador exerce forte influência sobre os resultados, uma vez que diversos parâmetros como o ângulo da posição de soldagem, variações na tensão, na corrente e principalmente a velocidade de soldagem dependem diretamente do operador e são extremamente relevantes para o resultado final dos ensaios.

4.3. Ensaio de dobramento

Novamente o corpo de prova soldado na posição sobre cabeça, apresenta o pior resultado entre os ensaios de dobramento realizados, nessa posição percebe-se que a extremidade do cordão de solda gera uma abertura praticamente ao longo de toda a lateral do cordão de solda. Na Figura 26 apresenta-se um comparativo entre os corpos de prova já submetidos ao ensaio de dobramento, sendo a Fig. 26(a) posição 1G e a Fig. 26(b) posição 4G.

Análise Comparativa Da Qualidade Das Soldas Realizadas Pelo Processo Gmaw Nas Principais Posições De Soldagem

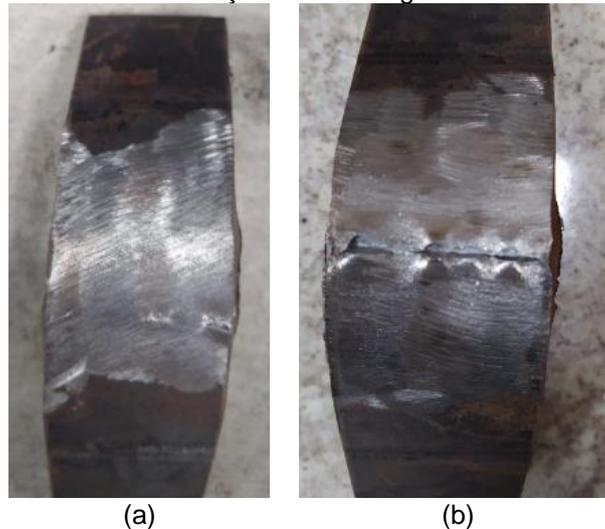


Figura 26. Corpo de prova de dobramento: (a) posição 1G e, (b) posição 4G (OS AUTORES).

Após a realização da inspeção, percebem-se falhas em toda a lateral do cordão de solda das posições 3G e 4G, na posição 2G também constam algumas fissuras, porém menores do que 3 mm e por fim, na posição 1G não foram encontradas fissuras superiores a 3 mm, a não ser na extremidade do corpo de prova.

Dessa forma é possível determinar a aprovação ou reprovação dos corpos de prova, conforme apresentado na Tab. 5.

Tabela 5. Resultados obtidos no ensaio de dobramento (OS AUTORES).

Posição de soldagem	Falhas encontradas	Resultado do ensaio
1G	Ponto de fissura superior a 3 mm na extremidade do corpo de prova.	Aprovado
2G	Pontos de fissuras inferiores a 3 mm.	Aprovado
3G	Rompimento parcial da solda com fissuras superiores a 3 mm.	Reprovado
4G	Rompimento parcial da solda com fissuras superiores a 5 mm.	Reprovado

4.4. Resultados gerais dos ensaios

Após a obtenção dos resultados oriundos da realização de todos os ensaios planejados, é possível classificar os quatro corpos de prova soldados como aprovados ou reprovados, conforme apresenta-se na Tab. 6.

Tabela 6. Avaliação final dos corpos de prova soldados (OS AUTORES).

Posição	Inspeção Visual	Ensaio por Líquido Penetrante	Ensaio de tração	Ensaio de dobramento	Resultado

1G	Aprovado	Aprovado	Aprovado	Aprovado	Aprovado
2G	Aprovado	Aprovado	Aprovado	Aprovado	Aprovado
3G	Aprovado	Aprovado	Aprovado	Reprovado	Reprovado
4G	Aprovado	Reprovado	Aprovado	Reprovado	Reprovado

Consideram-se as posições 1G e 2G como aprovadas e as posições 3G e 4G como reprovadas, destacando-se a posição 4G como sendo a única a reprovar no ensaio por líquido penetrante, observando-se também neste corpo de prova o pior resultado no ensaio de dobramento.

É importante observar que se analisando os ensaios por grupo, todos os corpos de prova seriam aprovados se os únicos ensaios aplicados fossem a inspeção visual e o ensaio de tração.

Nos resultados obtidos nos trabalhos de Dihlmann (2016), considera-se a posição 1G com os melhores resultados e a posição 4G apresentando os piores resultados, no trabalho de Oliveira (2012) destaca-se a grande influência da experiência do soldador na qualidade final da solda, porém é possível observar em seu trabalho que é realizado nas posições 2G, 3G e 4G, que de modo geral, a posição 2G apresenta os melhores resultados nos testes e a posição 4G apresenta os piores resultados. No trabalho de Silva (2012) que compara apenas as posições plana e sobrecabeça, o autor conclui que a posição plana apresenta os melhores valores de penetração, largura e reforço de solda.

Dessa forma os resultados obtidos neste trabalho estão em conformidade com os demais trabalhos analisados e apontam a grande influência da posição de soldagem na qualidade final da solda, destacando-se o grau de dificuldade na execução da solda na posição sobrecabeça, independentemente do metal de base que está sendo soldado e do processo escolhido para se realizar a solda. Esta dificuldade está relacionada a questões ergonômicas relacionadas ao posicionamento do soldador e a ação da gravidade que dificulta a transferência metálica reduzindo a estabilidade do arco conforme afirma Guimarães (2016).

5. CONCLUSÕES

Através da aplicação dos ensaios destrutivos e não destrutivos realizados nos corpos de prova soldados pelo processo GMAW, pode-se comparar o resultado de

Análise Comparativa Da Qualidade Das Soldas Realizadas Pelo Processo Gmaw Nas Principais Posições De Soldagem cada teste, com o auxílio dos parâmetros estabelecidos pelas normas utilizadas nesse trabalho.

Por intermédio desses resultados, pode-se constatar que as posições 1G e 2G foram aprovadas nos testes realizados. Em contrapartida tratando-se da posição 4G, constata-se que além da reprovação, nesta posição apresenta-se o pior resultado entre todos os corpos de prova, apesar de que, baseando-se em trabalhos similares já mencionados na seção de revisão bibliográfica e nos ensaios não destrutivos deste trabalho, já esperava-se que nesta posição ocorreria reprovação, observa-se que para o corpo de prova soldado na posição 4G, obteve-se apenas 50% de aprovação nos ensaios, sendo também este, o único corpo de prova a reprovar no ensaio por líquido penetrante, estes resultados evidenciam a influência da posição de soldagem sobre a qualidade da solda.

A reprovação do corpo de prova soldado na posição 3G surpreende pelo fato de ser uma posição de soldagem com grau de dificuldade similar a posição 2G, porém nesse caso vale ressaltar a influência exercida pela experiência do soldador, fato que fica comprovado após análise de outros trabalhos.

Evidencia-se também, a importância de aplicar não apenas os ensaios não destrutivos como também os ensaios destrutivos de tração e dobramento e avaliar ambos os testes para que se possa obter os resultados corretos.

Sendo assim, conclui-se que os objetivos do trabalho foram alcançados com êxito, pois através dos resultados obtidos pode-se apresentar quão fortemente a posição de soldagem interfere na qualidade final da junta soldada. Também pode-se comprovar que é de suma importância, na elaboração de um projeto que necessite da aplicação de solda, que se realize um acompanhamento do processo de soldagem, qualificando os profissionais responsáveis e proporcionando condições favoráveis para a execução das soldas. Dessa forma, é essencial promover a utilização de bancadas em locais espaçosos, utilizando as posições 1G e 2G (plana e horizontal) sempre que possível.

Sugere-se para futuros trabalhos:

- Adicionar diferentes ensaios, como ultrassom, impacto e partícula magnética;

- Aumentar a quantidade de corpos de prova testados, realizando o mesmo processo, porém com mais de um soldador, sendo estes de diferentes níveis de experiência;
- Realizar o mesmo ensaio com diferentes materiais e procedimentos de soldagem, comparando com este trabalho;
- Realizar o mesmo procedimento com diferentes combinações de gás de proteção e metal de adição e comparar os resultados

6. REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS. **ASME section IX: qualification standard for welding and brazing procedures, welders, brazers, and welding and brazing operators.** IX ed. New York: ASME; 2010.

ANDREUCCI, Ricardo. **Líquidos penetrantes.** Ed. Novembro 2018 São Paulo - SP.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS - ABENDI. **Ensaio não destrutivo e inspeção.** São Paulo, 2018. Disponível em:
http://www.abendi.org.br/abendi/Upload/file/Certificacao/PR001Rev8_LP.pdf

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR ISO 7438:2016. **Materiais metálicos – Ensaio de dobramento.** Rio de Janeiro, 2016. 8 p.

ASKELAND, D. R. **Ciência e Engenharia dos Materiais.** ed: Cengage. São Paulo, 2008.

AVENTA. **Equipamentos para soldagem.** Disponível em: link
<https://aventa.com.br/novidades/posicoes-soldagem>. Acesso em 04 de maio de 2021 às 21h:35min.

BARBOSA, Larissa Moreira. **Análise de concentração de tensão do aço SAE 1020 tratado termicamente.** Monografia. Universidade Federal Rural do Semi-Árido.2018

BULLA, Pedro. **Relatório de Ensaio de tração.** 2018. Disponível em
https://kupdf.net/download/ensaio-de-traao_5bf3f051e2b6f58c30956455_pdf

Chiaverini, Tecnologia Mecânica: **Materiais de Construção Mecânica,** McGraw-Hill, 2.ed, São Paulo, Brasil, pp. 250-258. 1986

DE ANDRADE, Lucas Astrad Lira; DANTAS, Marcello Araújo. **AVALIAÇÃO DE DESCONTINUIDADES SUPERFICIAIS PELO MÉTODO DE LÍQUIDOS PENETRANTES EM AÇO SAE 1020 SOLDADO POR PROCESSO SMAW.** Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba. III CONAPESC. 2018

DE OLIVEIRA, Helder Silveira Costa. **ELABORAÇÃO DE PROCEDIMENTO DE SOLDAGEM E ANÁLISE DE DESEMPENHO DE SOLDADORES ATENDENDO AS ESPECIFICAÇÕES DA NORMA ASME.** Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal de Sergipe.2012

DIHLMANN, Jahn Lisboa. **Avaliação das Propriedades Mecânicas em Juntas Soldadas do Aço ASTM A 36 pelo Processo de Eletrodo Revestido em Diferentes Posições de Soldagem.** Dissertação. Centro Universitario Estadual da Zona Oeste.2016

Análise Comparativa Da Qualidade Das Soldas Realizadas Pelo Processo Gmaw Nas Principais Posições De Soldagem

ESAB. **Manual do usuário e peças de reposição Smashweld 266X**. São Paulo - SP. Disponível em: https://www.esab.com.br/br/pt/support/documentation/upload/0223505_smashweld-266x_pt_rev05.pdf

GARCIA, A. Amauri Garcia, Jaime Alvares Spim, Carlos Alexandre dos Santos. **Ensaaios dos Materiais**, 2012.

GUIMARÃES, Jéssika Batista. **Análise de parâmetros de soldagem pelo processo convencional com arame tubular**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. 2016

MARQUES, Paulo Villani; MODENESI, Paulo José; BRACARENSE, Alexandre Queiroz. **Soldagem: fundamentos e tecnologia**. Ed. da UFMG, 2005.

MORAIS JÚNIOR, Rui Rosa de. **Estudo do desempenho da soldagem por eletrodo revestido em diferentes posições por meio de análise de variância**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Pampa.

PADILHA, Angelo Fernando. Microestrutura e Propriedades. **São Paulo: Hemus**, 1997.

SANTOS, Givanildo Alves dos. **Tecnologia dos materiais metálicos : propriedades, estruturas e processos de obtenção**. São Paulo. Recurso online ISBN 9788536520414.2015

SILVA, Elivelton Luis da; COSTA, Jonathã Da Fonseca; SILVA, Celina Leal Mendes da. MIG pulsado: **Estudo comparativo da variação da Distância Bico pelo Contato Peça sob a geometria da solda na liga AA5052 em duas posições de soldagem**. In: VII CONNEPI-Congresso Norte Nordeste de Pesquisa e Inovação. 2012.

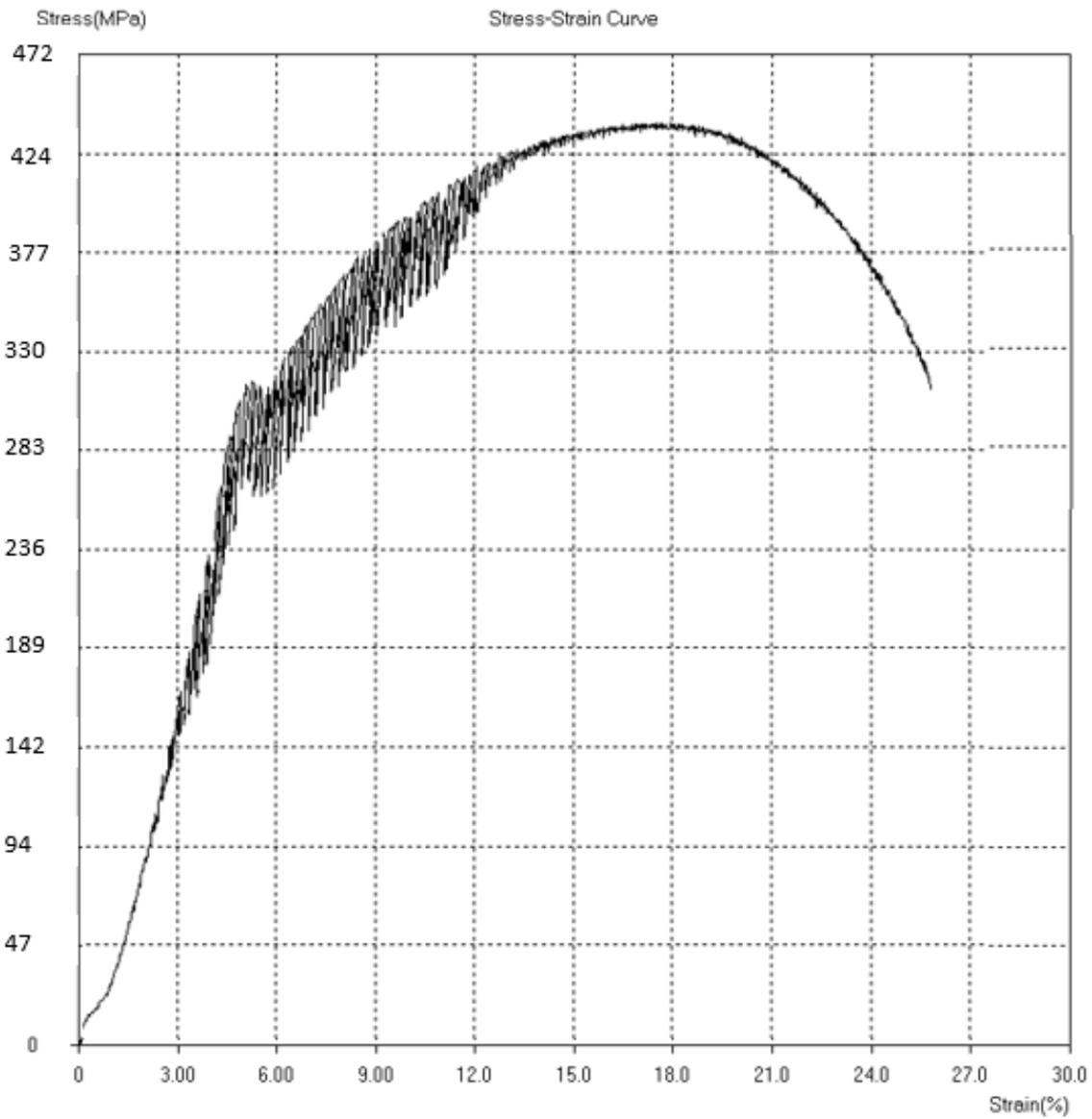
SILVEIRA, J. L. L. **Anotações de aula da disciplina de soldagem**. 2016. UFRJ, Centro de tecnologia. Disponível em: <http://www.mecanica-ufrj.educacao.ws/util/b2evolution/media/blogs/joseluis/3-Soldagem-2016-1.pdf>. Acessado em : 05/05/2021.

WAINER, Emílio; BRANDI, Sérgio Duarte; DE MELLO, Fabio Decourt Homem. **Soldagem: processos e metalurgia**. Editora Blucher, 1992.

WINK, Paulo Roberto. **Estudo das características dos modos de transferência metálica por soldagem MAG em processos industriais robotizados**. Trabalho de conclusão de curso. Unijuí. 2015

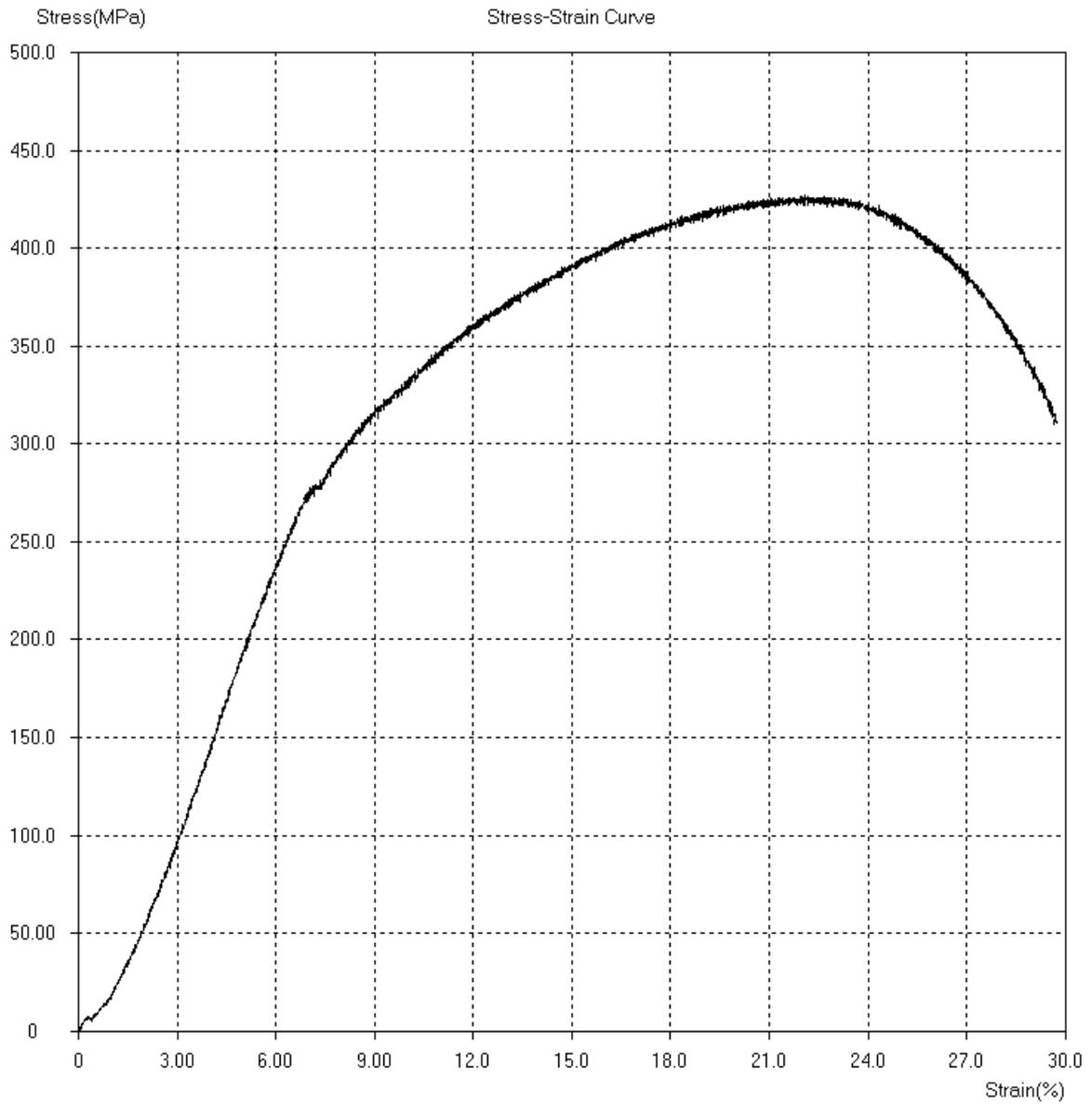
7. APÊNDICE

7.1. Apêndice A - Gráfico de Curva tensão x deformação da posição 1G CP1

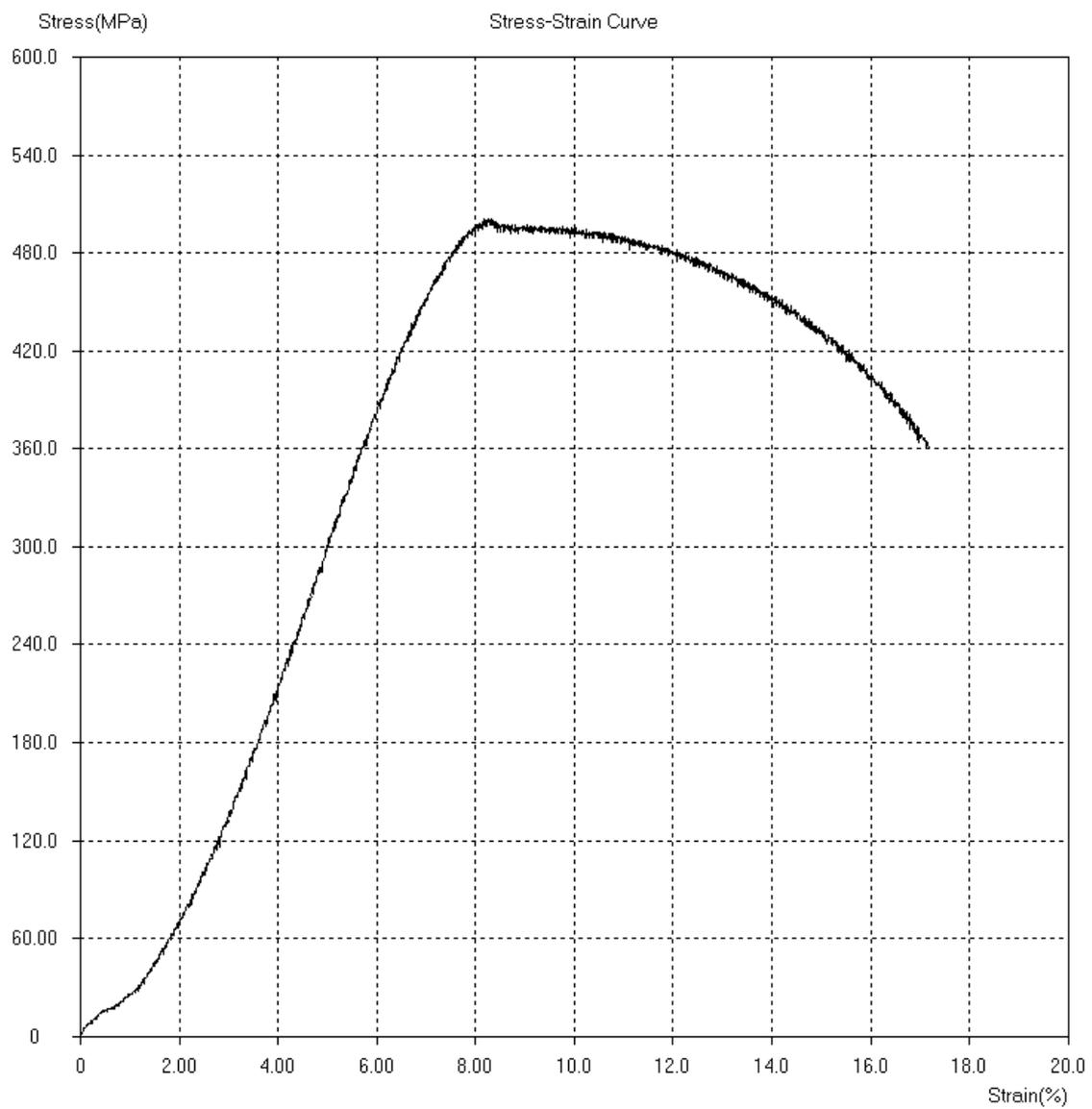


Análise Comparativa Da Qualidade Das Soldas Realizadas Pelo Processo Gmaw Nas Principais Posições De Soldagem

7.2. Apêndice B - Gráfico de Curva tensão x deformação da posição 1G CP2

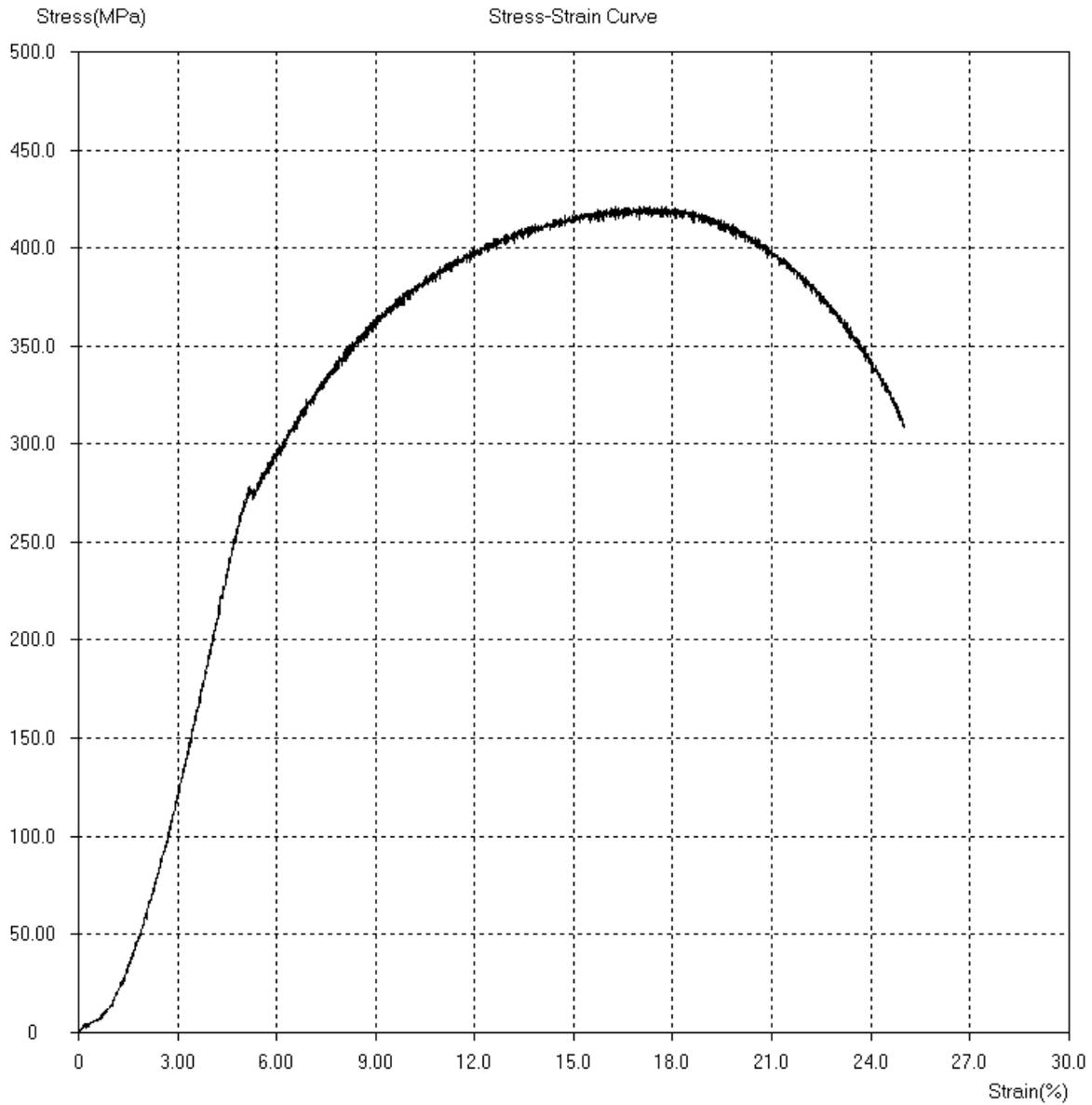


7.3. Apêndice C - Gráfico de Curva tensão x deformação da posição 2G CP1

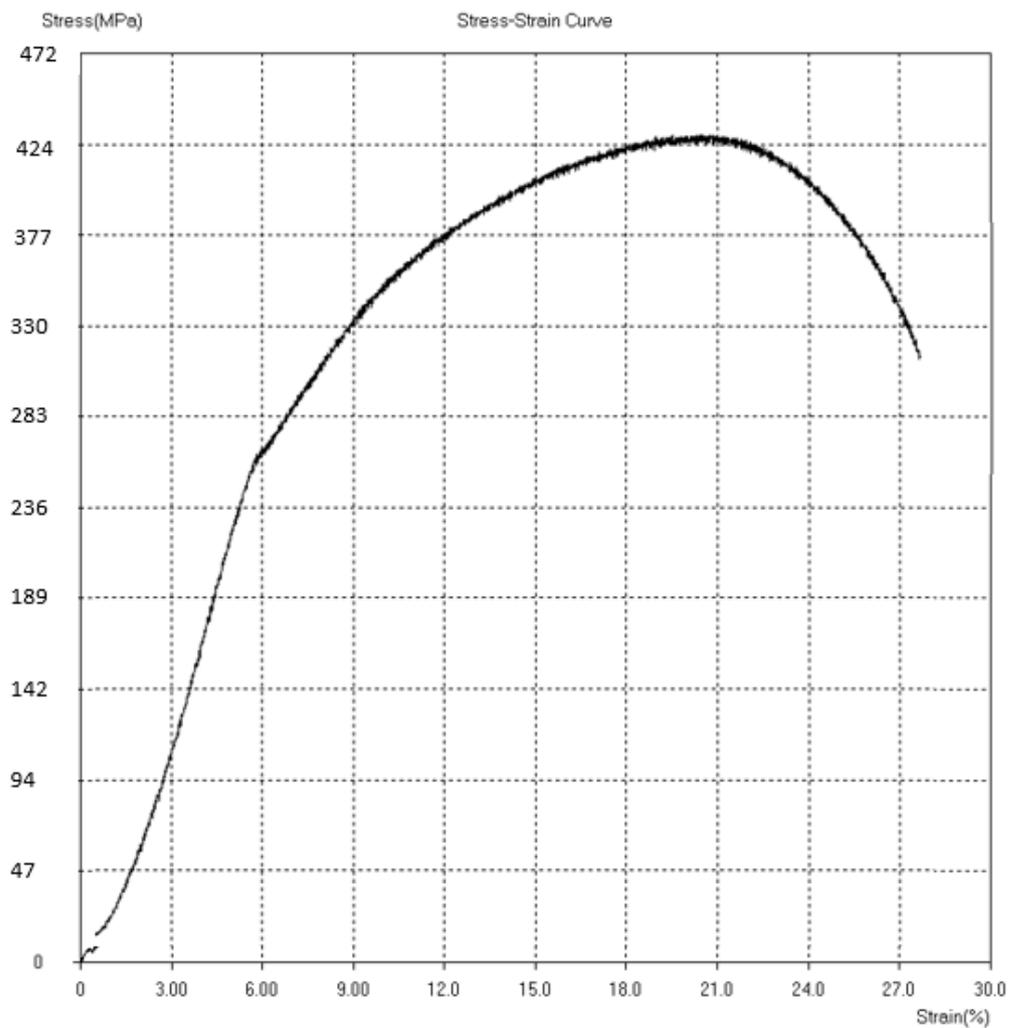


Análise Comparativa Da Qualidade Das Soldas Realizadas Pelo Processo Gmaw Nas Principais Posições De Soldagem

7.4. Apêndice D - Gráfico de Curva tensão x deformação da posição 2G CP2

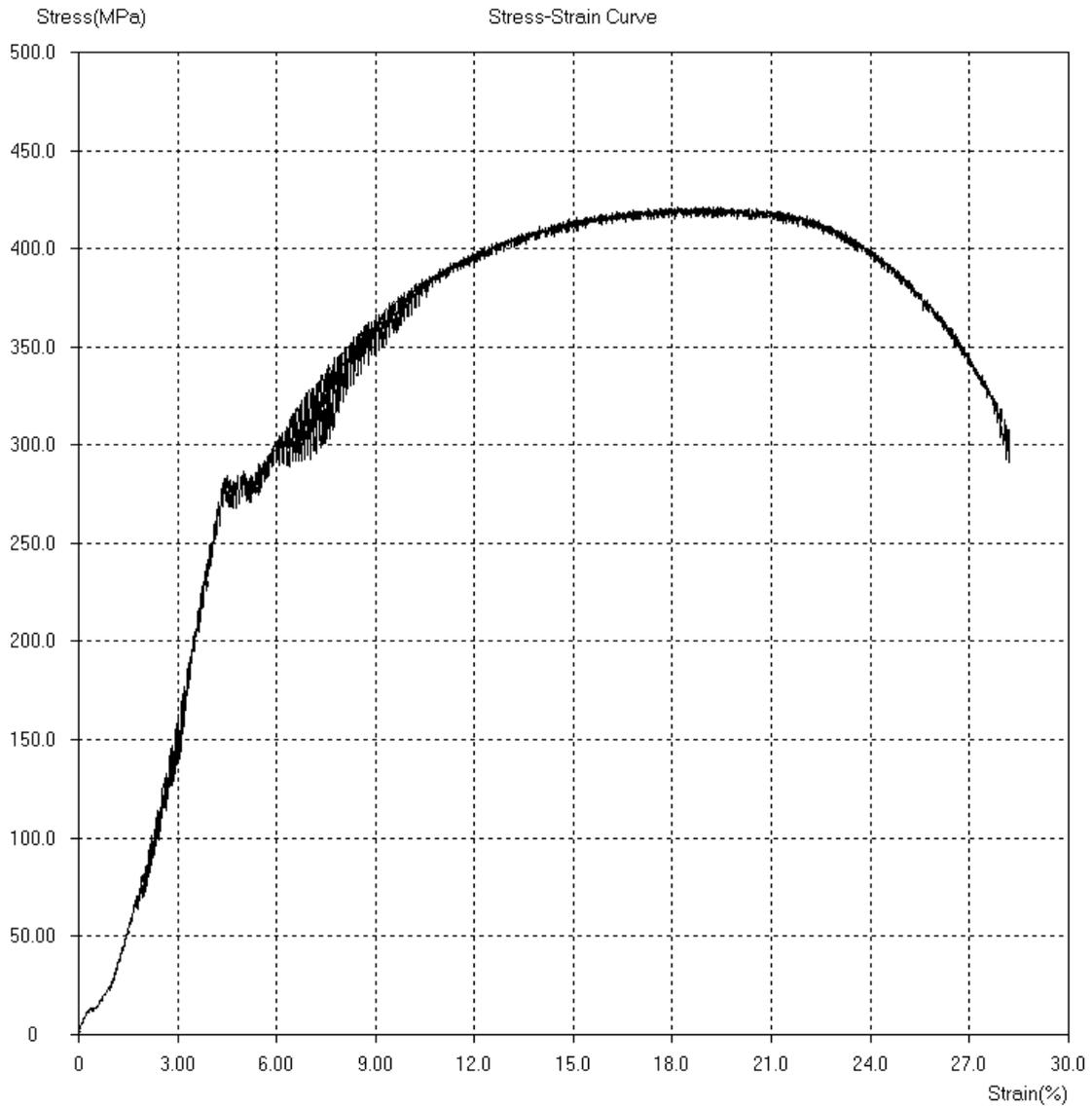


7.5. Apêndice E - Gráfico de Curva tensão x deformação da posição 3G CP1

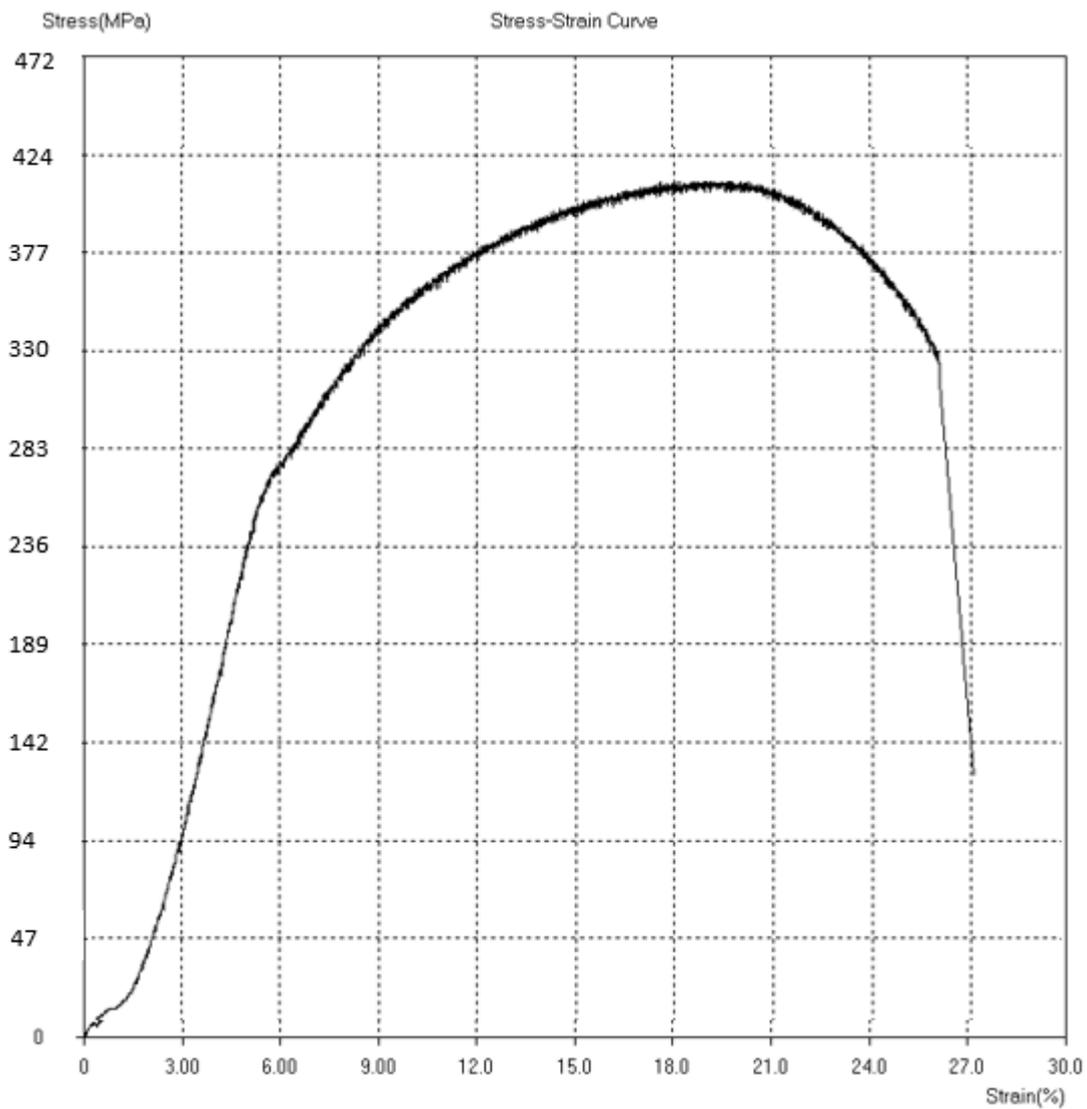


Análise Comparativa Da Qualidade Das Soldas Realizadas Pelo Processo Gmaw Nas Principais Posições De Soldagem

7.6. Apêndice F - Gráfico de Curva tensão x deformação da posição 3G CP2

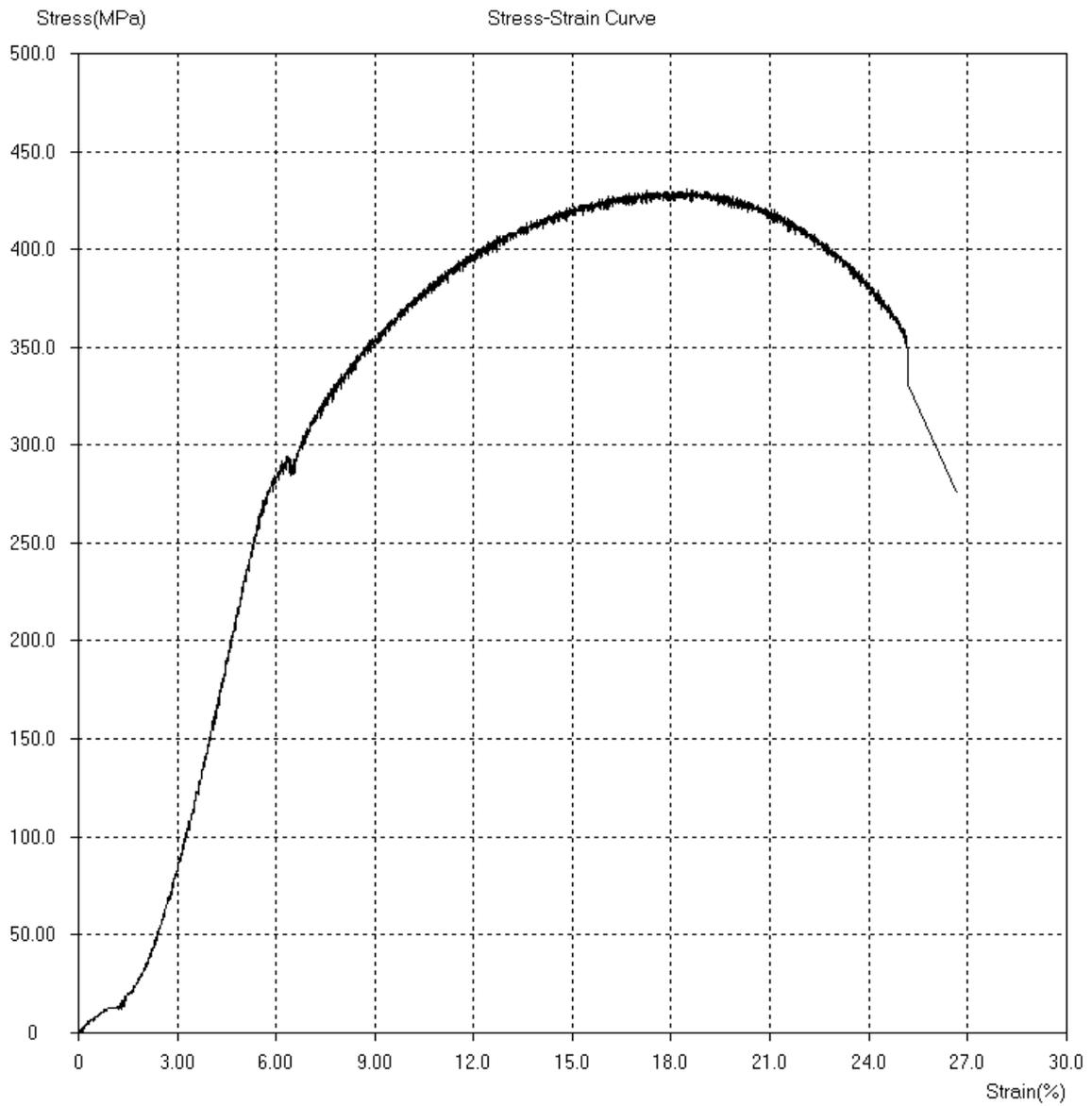


7.7. Apêndice G - Gráfico de Curva tensão x deformação da posição 4G CP1



Análise Comparativa Da Qualidade Das Soldas Realizadas Pelo Processo Gmaw Nas Principais Posições De Soldagem

7.8. Apêndice H - Gráfico de Curva tensão x deformação da posição 4G CP2



ESTUDO DA INFLUÊNCIA DOS PARÂMETROS DE LASER DE FIBRA NA GERAÇÃO DE CAVIDADES PARA MEDIÇÃO DE TENSÃO RESIDUAL

STUDY OF THE INFLUENCE OF FIBER LASER PARAMETERS ON CAVITY GENERATION FOR RESIDUAL VOLTAGE MEASUREMENT

Igor dos Santos Roik,
Rodrigo Blödorn

Resumo: *Com o objetivo de realizar a medição de tensão residual pelo Método do Furo Cego através de furos produzidos pelo processo de laser, realizou-se uma análise de parâmetros utilizando-se uma liga de cobre e um aço inoxidável AISI 304. Utilizou-se um laser de fibra para gerar cavidades retangulares com comprimento de 2,5 mm e largura de 1,5 mm, tendo sua profundidade variada de acordo com os parâmetros selecionados. Os mesmos parâmetros foram analisados para cada tipo de material, mantendo-se a distância focal em 0,25 mm abaixo da superfície da peça, variando-se a quantidade de passadas que o laser realiza sobre a superfície da peça e a taxa de sobreposição. Utilizando-se um microscópio de variação de foco Alicona G5 realizou-se a análise geométrica das cavidades, podendo-se verificar a profundidade e rugosidade 3D, a fim de avaliar quais parâmetros apresentam maior influência na obtenção de melhores geometrias e quais devem ser considerados quando deseja-se atingir a profundidade desejada. Tendo sido possível verificar através de uma análise estatística de variância que uma maior quantidade de repetições do laser sobre a superfície implica em uma maior taxa de remoção de material, enquanto através dos gráficos e imagens pôde-se observar que uma menor taxa de sobreposição é mais recomendada para obter melhores acabamentos internos. Utilizando-se as considerações observadas neste trabalho é possível determinar os parâmetros ideais para ambos os materiais, sendo a configuração 20_90, ou seja, 20 passadas e 90% de sobreposição, garantindo assim uma maior profundidade com um melhor acabamento no fundo das cavidades.*

Igor Dos Santos Roik, Rodrigo Blödorn. Estudo Da Influência Dos Parâmetros De Laser De Fibra Na Geração De Cavidades Para Medição De Tensão Residual

Palavras-chave: Laser. Cavidades. Qualidade. Profundidade. Tensão Residual.

Abstract: *In order to measure residual stress using the Blind Hole Method through holes produced by the laser process, a parameter analysis was carried out using a copper alloy and an AISI 304 stainless steel. of fiber to generate rectangular cavities with a length of 2.5 mm and width of 1.5 mm, having their depth varied according to the selected parameters. The same parameters were analyzed for each type of material, keeping the focal distance at 0.25 mm below the surface of the piece, varying the number of passes that the laser performs over the surface of the piece and the rate of overlap. Using an Alicona G5 focus variation microscope, the geometric analysis of the cavities was performed, verifying the 3D depth and roughness, in order to assess which parameters, have the greatest influence on obtaining better geometries and which should be considered when you want to reach the desired depth. It was possible to verify through a statistical analysis of variance that a greater number of laser repetitions on the surface implies a higher material removal rate, while through the graphics and images it could be observed that a lower rate of overlap is more recommended for best interior finishes. Using the considerations observed in this work, it is possible to determine the ideal parameters for both materials, with the setting 20_90, that is, 20 passes and 90% overlap, thus ensuring greater depth with a better finish at the bottom of the cavities.*

Keywords: Laser. Cavities. Quality. Depth. Residual Stress.

1. INTRODUÇÃO

Todos os processos tendem a gerar tensões residuais, podendo ser elas trativas ou compressivas, em alguns casos tendem a prejudicar a utilização dos materiais, em outros, elas auxiliam no aumento da vida em fadiga, pois as tensões geradas podem ser trativas ou compressivas, tendo sinal positivo para tensões trativas e negativo para tensões compressivas, logo, como o somatório das tensões tende a zero, quando as tensões com sinal negativo são introduzidas no material, elas tendem a se somar

Estudo Da Influência Dos Parâmetros De Laser De Fibra Na Geração De Cavidades Para Medição De Tensão Residual

com as tensões presentes e a reduzir as tensões totais do material, enquanto as tensões trativas quando somadas aos carregamentos de trabalho, aumentam as tensões causando a falha estrutural..

Segundo Blödorn (2014), o conhecimento das tensões residuais é extremamente necessário visando segurança e prevenção de falhas de equipamentos e peças. O autor também ressalta o crescente uso do Método do Furo Cego (MFC) para a realização da medição destas tensões em ambiente laboratorial e industrial, método este baseado na realização de um pequeno furo no material a ser analisado, e a partir das deformações geradas ao redor do furo, é possível determinar a tensão residual utilizando métodos ópticos para sua medição.

Alguns materiais apresentam maiores resistências mecânicas, dificultando a remoção controlada de material, outros tendem a aderir nas ferramentas caso não seja utilizada uma refrigeração correta, gerando arestas postiças e fazendo com que seja removido mais material do que o adequado, prejudicando também na qualidade da superfície usinada. As dificuldades de medição de tensões residuais devido à difícil usinabilidade de alguns materiais, a interferência do desgaste das ferramentas, problemas de fixação, falta de potência das máquinas, definição errônea de parâmetros aliadas ao crescente uso de processos a laser nas indústrias torna este uma alternativa interessante para utilização na realização de furos cegos para posterior medição de tensões residuais.

Porém, para isto deve-se analisar corretamente os parâmetros de processo, visando reduzir os danos gerados pelo laser, e assim obter uma geometria adequada e posteriormente conseguir realizar uma correta análise, a qual é orientada pela norma ASTM E837, que padroniza a medição de tensões residuais utilizando o Método do Furo Cego (MFC). Este método busca avaliar o perfil de tensão residual abaixo da superfície, e para isso deve-se realizar um furo menor que a espessura do material analisado. Além disso, algumas recomendações são incluídas, como por exemplo, a diferença da profundidade, que por sua vez é variável dependendo do tipo de roseta que será utilizada. Para rosetas do tipo A e B, a profundidade não deve ultrapassar o valor de 0,2 vezes o diâmetro do furo, já para rosetas do tipo C, não deve ultrapassar 0,24 vezes o diâmetro.

Estudo Da Influência Dos Parâmetros De Laser De Fibra Na Geração De Cavidades Para Medição De Tensão Residual

Devido a difícil usinabilidade de alguns materiais, processos a laser são utilizados como uma alternativa para facilitar a remoção de material, enquanto em outros casos, acabam substituindo alguns processos devido a sua precisão e velocidade.

Os processos a laser vêm sendo muito utilizados nas indústrias para a realização de cortes e marcações em peças metálicas, outra aplicação se dá no auxílio de processos de usinagem, nos quais o laser atua com o objetivo de realizar o aquecimento das peças e assim facilitar a remoção de material, este processo recebe o nome de (LAM) do inglês, *Laser Assisted Machining*, traduzida como usinagem assistida por laser.

Os processos a laser são divididos em laser contínuo e pulsado, apresentando benefícios e dificuldades. Dentro desta divisão estão presentes diferentes tecnologias de laser, possuindo aplicações distintas e similares, algumas possuem métodos de funcionamento com pequenas divergências. Neste trabalho utilizou-se um sistema de laser de fibra óptica para realização de ensaios com o objetivo de avaliar a influência dos parâmetros de processo na capacidade de produção de cavidades com geometria controlada. Tendo como principal objetivo identificar o quão intensamente cada parâmetro interfere nas características das cavidades geradas, com o intuito de replicar os ensaios para materiais distintos, e posteriormente realizar a medição de tensões residuais pelo método do furo cego (MFC). Para estes ensaios utilizou-se dois materiais, sendo eles um aço inoxidável AISI 304 e uma liga de cobre. Para a avaliação das cavidades geradas utilizou-se um microscópio de variação de foco – Alicona G5, realizando uma análise de profundidade e qualidade do fundo das cavidades. Com o intuito de identificar quais parâmetros apresentam maior influência no processo, realizou-se uma análise de variância, podendo assim confirmar quais os parâmetros são mais indicados para a correta realização do processo.

O desenvolvimento do presente trabalho está vinculado com uma dissertação de mestrado da Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, tendo aproveitado alguns ensaios realizados com o objetivo de explicar a interferência dos parâmetros de processo na profundidade e na qualidade de cavidades geradas em dois materiais diferentes, sendo eles um aço inoxidável AISI 304 e o outro uma liga de cobre.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo apresenta uma breve revisão da literatura, com o intuito de facilitar o entendimento do tema abordado a fim de compreender sua importância tanto para o meio acadêmico quanto para o industrial.

2.1. Tecnologia laser

Segundo Hitz, Ewing e Hecht (2012), a palavra laser deriva do inglês, esta é um acrônimo de “*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*”, que traduzido para o português significa, Amplificação de Luz por Emissão de Radiação Estimulada. O laser nada mais é do que uma luz especial gerada através de uma fonte de alimentação elétrica, que gera um feixe de luz estreito que possui uma cor pura (monocromático) e ondas de luz alinhadas umas com as outras (colimado), em alguns casos a potência do sistema que gera esta luz é menor do que a potência de uma lanterna.

O processo a laser é dividido entre laser contínuo e pulsado, tendo aplicações distintas, mas ambos apresentam algumas características similares, pois este é um processo que utiliza uma grande quantidade de energia térmica concentrada para realizar processos de corte, marcação ou aquecimento do material, tendo como principais parâmetros a potência do laser e a velocidade de corte. Este processo apresenta como vantagens a velocidade e precisão, tendo como principal desvantagem o desenvolvimento de tensões residuais no local de corte.

Segundo Hitz *et al.* (2012), a energia gerada pelo laser pulsado é comprimida e liberada através de pulsos concentrados, sendo mais potente do que a energia liberada em um laser contínuo. Nesse caso, o laser pulsado libera uma quantidade de energia de tempos em tempos, enquanto o laser contínuo libera energia durante todo o processo, sendo assim recomendado para a realização de cortes, enquanto o laser pulsado é utilizado em processos de remoção de material, marcação ou como auxílio no processo de usinagem.

Estudo Da Influência Dos Parâmetros De Laser De Fibra Na Geração De Cavidades Para Medição De Tensão Residual

A Figura 1 apresenta os efeitos causados pelas diferenças entre duração de pulso, em que nos pulsos curtos ocorre um maior equilíbrio entre o pulso de laser, resultando em menores impactos na superfície do material, enquanto para pulsos longos pode-se notar variações na superfície da peça e até mesmo a geração de micro trincas internas, para o laser contínuo esse fenômeno ocorre de forma mais agressiva ainda, pode-se notar também que pulsos curtos não afetam termicamente a superfície dos materiais.

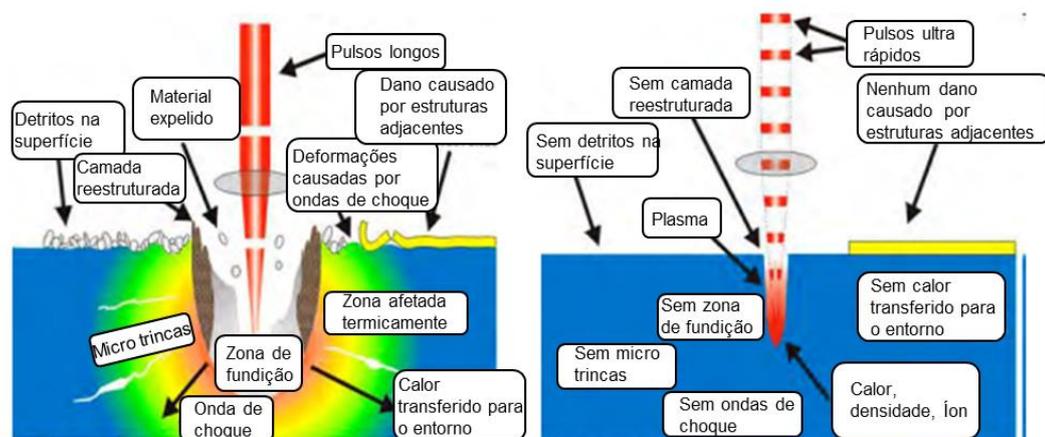


Figura 1. Diferença entre a duração dos pulsos laser (VIDAL, 2010).

Existem diferentes tecnologias de laser, sendo muito parecidas entre elas, mas cada uma possuindo alguma particularidade ou aplicação específica, podendo ser observados na Tab. 1 Os principais tipos de laser existentes são: ópticos não lineares que estendem as aplicações de lasers através do aumento do número de comprimento de onda disponível, podendo produzir comprimentos de onda maiores ou menores; laser de semicondutores que são popularmente conhecidos como laser de diodo, sendo presentes em diversos componentes, esse é um laser muito menor que os demais, além de ser mais leve e mais robusto, ele é formado pela junção de dois diferentes semicondutores, tendo a luz gerada diretamente da borda do bloco, da junção gerada; laser de estado sólido, sendo mais comum o Nd:YAG, seu meio ativo é um cristal hospedeiro passivo YAG e um íon ativo Nd, sendo estes os componentes que dão nome ao laser; laser de fibra, este que será abordado com maiores detalhes neste trabalho; laser de gás que possibilita o uso de diferentes gases, tendo como requisitos básicos um mecanismo de excitação, um tubo para conter o gás e um

Estudo Da Influência Dos Parâmetros De Laser De Fibra Na Geração De Cavidades Para Medição De Tensão Residual

ressonador óptico que gera o feixe, o mecanismo de excitação tem como função excitar o gás para produzir uma inversão; laser de dióxido de carbono e outros vibracionais que são lasers de gás que realizam a sua emissão de luz na transição entre níveis de energia vibracional, tendo algumas vantagens como comprimento de onda mais longo do que os lasers de gás citados anteriormente e uma maior eficiência, tendo o como o mais conhecido desta tecnologia o laser de dióxido de carbono; laser eximer, que é o único capaz de produzir uma saída de alta potência ultravioleta com boa eficiência elétrica, este tipo de laser opera com alta pressão dentro da câmara de laser, este laser tem sua energia entregue em pulsos, e por fim laser ultrarrápidos e sintonizáveis que são de frequência ajustável, adequados para aplicações práticas, os lasers sintonizáveis iniciam com uma largura de banda alta e posteriormente são utilizadas técnicas para obter essa redução, essas técnicas geralmente envolvem a manipulação da realimentação, já o laser ultrarrápido significa pulsos menores que um picosegundo (HITZ *et al.*, 2012).

Cada tecnologia de laser possui indicações ou restrições de aplicação, isso devido ao seu modo de funcionamento ou alguma limitação do processo, porém, diferentes métodos de funcionamento possibilitam inúmeros métodos de utilização. As aplicações de laser se dão desde leitura de gravações feitas em CD ou DVD, leitura do código de barras de produtos no supermercado, na telecomunicação gerando sinais ópticos por fibras ópticas, na medicina em procedimentos oftalmológicos, em gráficas, nas forças armadas como detectores de distância e designadores de alvos até na utilização como auxílio de mira ou na realização do processamento de materiais, neste último, pode-se considerar cortar, furar, soldar, tratar termicamente, alterar propriedades de metais e não metais e realizar marcações em peças (HITZ *et al.*, 2012).

Diferentes materiais utilizados, diferentes processos e aplicações requerem parâmetros de trabalhos distintos e específicos, logo, o conhecimento da tecnologia que se deseja utilizar é de extrema importância, pois somente assim é possível obter os melhores resultados possíveis.

Estudo Da Influência Dos Parâmetros De Laser De Fibra Na Geração De Cavidades Para Medição De Tensão Residual

2.2. Laser de Fibra

Uma fonte a laser gera um feixe de energia, que é fornecido para a cabeça do sistema de laser através de um cabo de fibra óptica, esta fibra faz com que o feixe seja transferido com qualidade, atendendo de forma eficiente a tarefa solicitada (HYPERTHERM, 2021)

A Figura 2 evidencia um sistema de laser de fibra e todos os seus componentes necessários para o correto funcionamento.

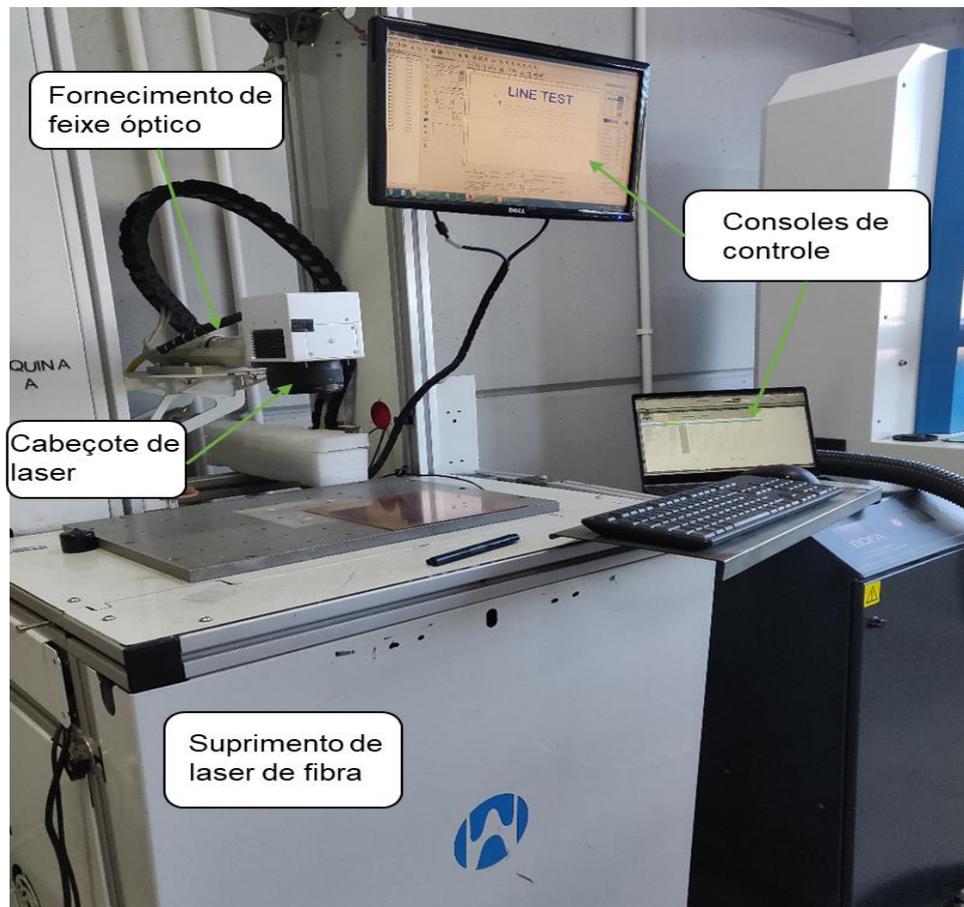


Figura 2. Sistema de laser de fibra.

Segundo Telesis Technologies Inc (2020), o laser de fibra se baseia em um dispositivo que possui uma fibra óptica que utiliza elementos de terras raras para a realização do processo, sendo elas: érbio, itérbio, neodímio, disprósio, praseodímeo, túlio e hólmio. Uma grande característica dos lasers de fibra é a maior concentração

Estudo Da Influência Dos Parâmetros De Laser De Fibra Na Geração De Cavidades Para Medição De Tensão Residual

do feixe, suscitando um processo mais eficiente e preciso. Tornando o mesmo extremamente vantajoso para aplicações mais finas.

A fibra do laser é um filamento fino feito de vidro que possui dimensões que variam de vários micrometros até mais de um milímetro de diâmetro e metros de comprimento. Uma fibra simples possui duas camadas, sendo uma delas um núcleo que guia a luz e um revestimento, que envolve este núcleo, para guiar a luz (HITZ *et al.*, 2012).

Um amplo conhecimento de todo sistema de laser de fibra auxilia na correta utilização dele, gerando assim um menor desgaste da máquina e reduzindo as manutenções necessárias.

Segundo Hitz *et al.*, (2012), as bombas de radiação para lasers de fibra são acopladas nas extremidades da fibra, ficando presa por dentro da fibra, podendo ser absorvido por todo o comprimento, o autor também ressalta que lasers de fibra quase sempre são bombeados com lasers de diodo, devido a sua eficiência e a necessidade de uma pequena área, porém, alguns núcleos dos lasers de fibra são tão pequenos que fica difícil acoplar um diodo.

Existem formas de otimizar, melhorar ou corrigir erros gerados nos processos a laser de fibra, sendo uma delas a instalação de um par de espelhos normais nas extremidades da fibra com o objetivo de sustentar a oscilação dele, porém, isto exige um alinhamento extremamente cuidadoso (HITZ *et al.*, 2012).

O laser de fibra, por sua vez não necessita de componentes ópticos para a geração do laser, trazendo benefícios para o processo. Segundo Holdings (2021), devido a não utilização de componentes ópticos para gerar o laser, a não necessidade de limpeza ou troca desses componentes faz com que a longo prazo o laser de fibra se torne vantajoso do ponto de vista financeiro, quando comparado a um laser de CO₂.

Na Figura 3 é possível observar um esquema de funcionamento de um sistema de laser de fibra utilizado em aplicações industriais.

Estudo Da Influência Dos Parâmetros De Laser De Fibra Na Geração De Cavidades Para Medição De Tensão Residual

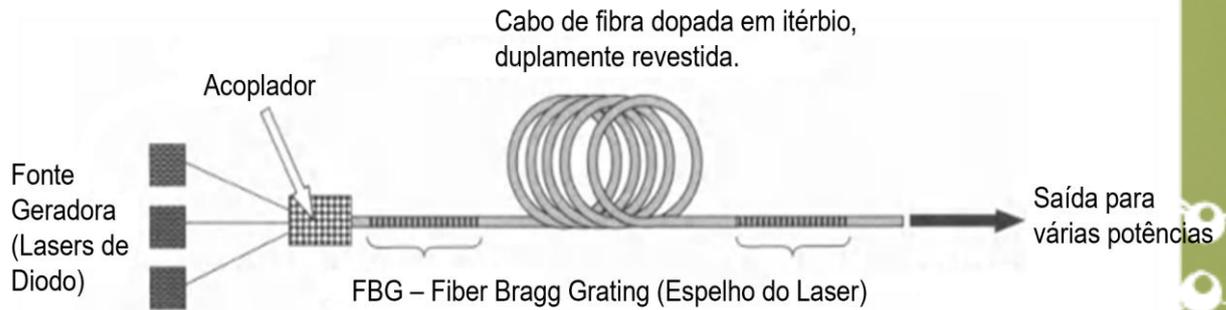


Figura 3. Sistema de laser de fibra utilizado em aplicações industriais (Hitz *et al.*, 2012).

Existem diferentes proporções de máquinas de laser de fibra, alguns modelos menores com foco em pesquisa ou pequenas operações e os modelos industriais. Segundo Hitz *et al.*, (2012), existem modelos de laser de fibra voltados para aplicações industriais, como soldagem de metal ou marcação, seu funcionamento se dá através de feixes de saída de múltiplos lasers de diodo que são combinados por um acoplador multimodo, que está acoplado ao revestimento da fibra de dupla camada. A fibra geralmente possui vários metros, com isso, ela é enrolada para que fique encaixada dentro de um recipiente de tamanho conveniente para a aplicação. Em ambas as extremidades estão instalados os FBGs (Fiber Bragg Gratings) que geram o *feedback* necessário para o correto funcionamento do laser e atingimento da potência de saída na faixa de quilowatts.

Alguns parâmetros são tidos como mais importantes e suficientes para buscar os melhores resultados quando se fala em laser de fibra, sendo eles: duração de pulso, frequência, velocidade e distância de sobreposição. O conhecimento destes parâmetros é necessário para dimensionar aplicações corretamente, para isso, alguns são estudados de maneira a entender seu funcionamento.

O parâmetro de velocidade corresponde à velocidade do avanço do laser enquanto ele está ativado, e a frequência nada mais é que a frequência de repetição dos pulsos de laser (WELLE LASER TECHNOLOGY, 2018).

Diversos autores realizaram estudos de parâmetros de processos a laser visando sua otimização. Uma diminuição na largura temporal dos pulsos resulta, por exemplo, em uma melhoria nas bordas da região usinada (MIRIM *et al.*, 2014).

Segundo Vidal (2010), não é possível realizar a retirada controlada de um volume de material utilizando pulso único, normalmente utiliza-se pulsos longos e a máxima energia disponível, em alguns casos utiliza-se a energia necessária para chegar na profundidade pretendida, quando os parâmetros de processo são conhecidos. Para isso recomenda-se a realização de ensaios visando entender os parâmetros e seu comportamento com diferentes materiais, podendo assim defini-los de maneira correta e eficiente.

2.3. Processos a Laser na Usinagem

O uso de processo a laser para auxílio na usinagem vem crescendo cada vez mais nas indústrias, possuindo diferentes formas de uso. Processos como furação e corte de materiais são alguns dos processos mais realizados com o uso de lasers, seja para materiais metálicos ou não metálicos (MARCICANO, 2002). Mas, para a correta realização deste processo, deve-se ter conhecimento dos parâmetros que mais impactam no processo.

Segundo Vidal (2010), a usinagem utilizando métodos a laser requer o uso de múltiplos pulsos, tornando muito importante um entendimento do comportamento da interação entre o laser e o material. Para isso, deve-se analisar o fator de fluência e determinar as regiões mais afetadas pelo processamento a laser, pois este entendimento auxilia na obtenção de uma melhor definição de parâmetros de processo (VIDAL, 2010). Com o objetivo de obter resultados satisfatórios nos processos de usinagem assistidos por laser, diversos ensaios são realizados, como os citados abaixo, por exemplo.

Mirim *et al.* (2014) avaliaram o limiar de ablação para pulsos sobrepostos, além do parâmetro de incubação do aço AISI 1045, e verificaram os efeitos na morfologia da superfície em função da variação dos parâmetros.

Vidal (2010) avaliou que o diâmetro dos danos causados pelos pulsos do laser tende a aumentar de acordo com o aumento da energia e quantidade de pulsos.

Através de ensaios é possível observar algumas características tidas como importantes para a realização do processo, e com isso entender melhor a influência

Estudo Da Influência Dos Parâmetros De Laser De Fibra Na Geração De Cavidades Para Medição De Tensão Residual

de cada uma nos processos realizados. Refletividade da superfície, condutividade térmica, calor específico e calor latente de fusão do material são algumas propriedades importantes para a realização do processo de usinagem por laser (MARCICANO, 2002).

O uso de lasers como auxílio na usinagem se mostra eficiente para a obtenção de resultados mais satisfatórios em vida de ferramenta, formação de cavaco e qualidade superficial, mas para isso é necessário entender de maneira eficiente os parâmetros do processo, com base nisso alguns pesquisadores realizaram ensaios com o intuito de verificar quais parâmetros apresentam maior interferência no processo.

Almeida *et al.* (2003) observaram que um número muito grande de parâmetros foi relevante no processo, porém, alguns apresentam maior influência na obtenção de uma melhor qualidade de corte, sendo eles: largura temporal do pulso, taxa de repetição, energia do pulso e potência média. A largura temporal de pulso é o tempo de duração de cada pulso, tornando ele um pulso curto ou longo de acordo com sua variação, a taxa de repetição é a quantidade de vezes que este laser percorre o mesmo trajeto, a energia do pulso é a energia medida após o pulso atingir a superfície que será trabalhada, e a potência média é a potência da fonte geradora do laser.

Além de conhecer os parâmetros e entender suas influências, deve-se levar em consideração algumas características do material que se deseja trabalhar. Segundo Marcicano (2002), algumas considerações de projeto devem ser adotadas para peças usinadas por laser, sendo elas: refletividade da superfície, a consideração de efeitos de elevadas temperaturas na superfície da peça e que cantos vivos devem ser evitados.

A Figura 4 demonstra um sistema de usinagem assistido por laser instalado em um centro de torneamento, sistema esse que foi utilizado por Dumitrescu *et al.* (2006) em seus ensaios.

Estudo Da Influência Dos Parâmetros De Laser De Fibra Na Geração De Cavidades Para Medição De Tensão Residual

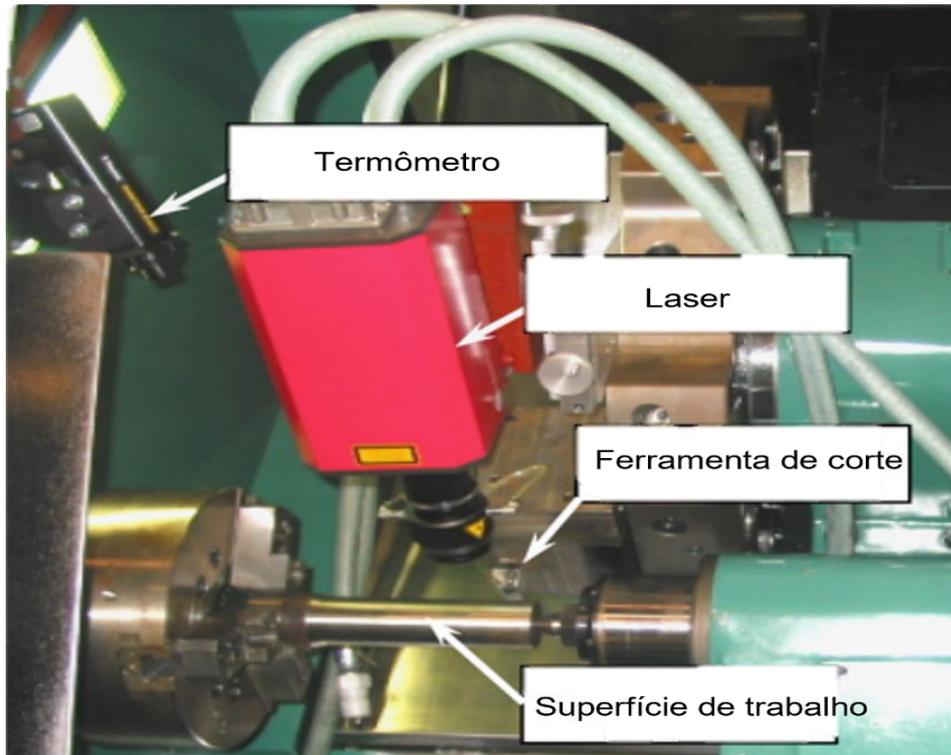


Figura 4. Sistema laser para auxílio na usinagem instalado (DUMITRESCU *et al.*, 2006).

Rossi *et al.* (2001) avaliaram o processo de micro furação a laser em chapas de aço inoxidável AISI 304, visando entender a influência dos parâmetros de intensidade do feixe de laser no processo de furação, na produção de furos passantes, observaram que quanto maior a intensidade do feixe, maiores os diâmetros iniciais obtidos nos ensaios, porém, quanto maior esta intensidade, mais próximos do ideal eram os diâmetros de saída, reduzindo assim a conicidade dos furos gerados.

Comportamento este que também foi observado por Junior *et al.* (2016) em seu trabalho, cuja avaliação foi realizada em chapas de aço inoxidável AISI 316L utilizando-se um laser pulsado Nd:YAG confirmando que quanto maior a potência, menor é a conicidade do furo. Porém, deve-se analisar a potência que se deseja utilizar, pois potências altas reduzem a conicidade, mas também causam danos na forma do furo, perdendo a circularidade. A Fig. 5 demonstra o perfil de um dos furos analisados nos ensaios, podendo verificar a conicidade causada no furo.

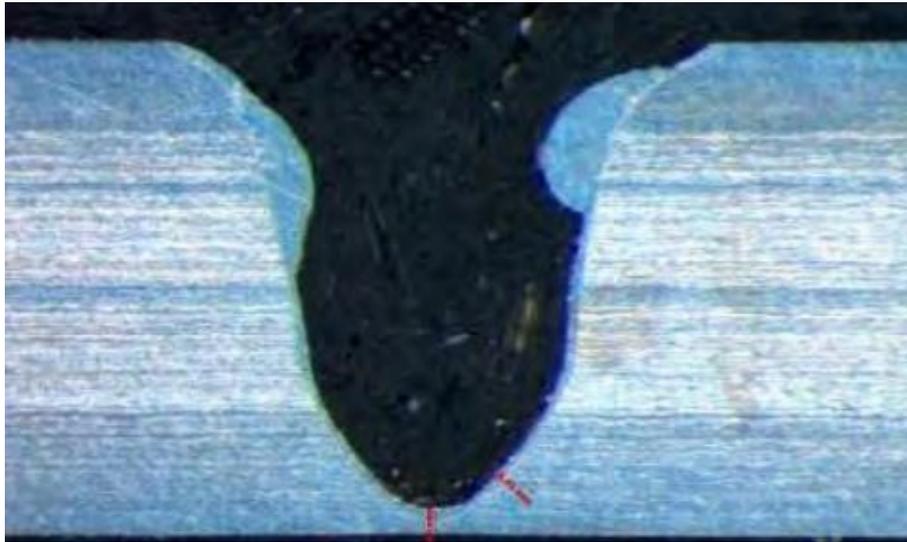


Figura 5. Perfil de furo gerado por laser pulsado (JUNIOR *et al.*, 2016).

Observou-se que o escoamento do material ocorreu da entrada para o fundo do furo, interferindo nos valores medidos de rugosidade, pois parte do material removido é vaporizado, enquanto uma pequena parcela deste retorna para o interior do furo causando um aumento na espessura do material ressolidificado, fenômeno este que se intensifica quando utilizada uma potência abaixo do ideal (JUNIOR *et al.*, 2016).

2.4. Tensão Residual

Tensões residuais são consequências comuns geradas em todos os processos de fabricação, possuindo diferentes tipos e impactos nos materiais, seu conhecimento é extremamente importante para um correto dimensionamento de um sistema ou peça a ser produzida, e para isso existem diferentes métodos de medição, um deles é o MFC, método este que tem grande destaque em sua utilização.

Segundo Blödorn (2018), o MFC é baseado na medição de deformações geradas em uma superfície através de realização de um furo, com essas deformações, com a geometria do furo e as propriedades do material analisado é possível realizar os cálculos das tensões presentes no local analisado.

Ensaio de medição de tensão residual são extremamente importantes para a indústria, com base nisso, diversos pesquisadores visam entender esse fenômeno da melhor maneira possível, além de desenvolver os processos de medição.

Blödorn (2014 e 2018) avaliou a influência de processo de usinagem do furo cego sobre sua geometria. Foi observado que o processo de furação em cheio utilizando-se uma turbina pneumática de alta rotação produz furos com desvios geométricos e dimensionais muito superiores ao fresamento orbital em um centro de usinagem.

A correta realização dos furos possibilita em uma medição mais eficiente e precisa das tensões geradas no material, com base nisso alguns trabalhos foram realizados visando avaliar a geometria do furo cego fabricada pelo processo de fresamento orbital. Pessoa (2021) avaliou o MFC para dois materiais, sendo eles um aço ABNT 1020 e um DIN 16MnCr5, ambos cementados, obtendo incertezas de medição de perpendicularidade do fundo do furo em relação à parede de $\pm 0,53^\circ$ e $\pm 0,16^\circ$ respectivamente, apresentando bons resultados para qualidade dimensional, tornando o método possível para avaliação em materiais cementados.

Na Figura 6 é possível observar os valores de medição obtidos por Pessoa (2021) para ambos os materiais. O diâmetro do furo cego realizado em seus ensaios foi de 1,5 mm, tendo uma pequena variação no diâmetro medido para ambos os materiais, ficando próximos do diâmetro nominal, como pode ser visto na imagem.

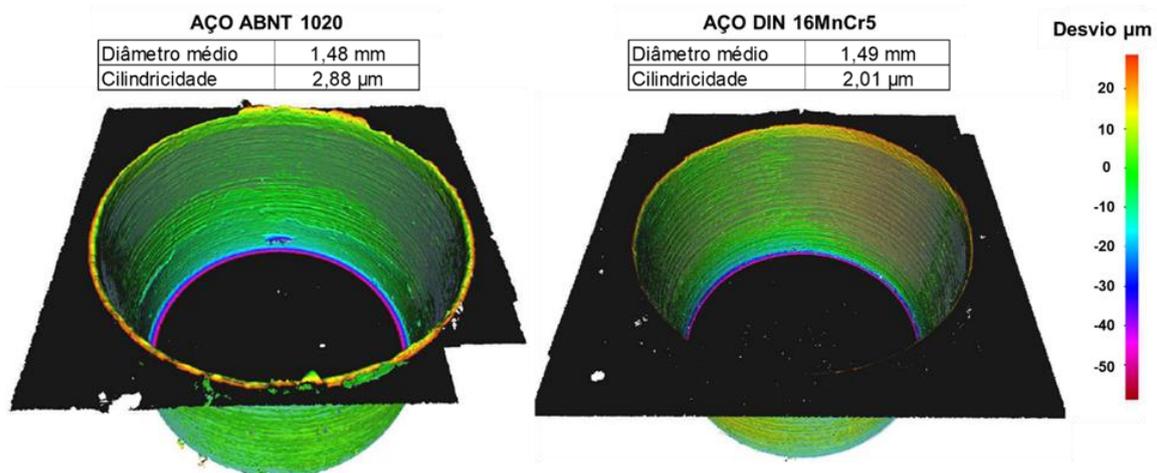


Figura 6. Desvios geométricos dos furos analisados (PESSOA, 2021).

O desgaste da ferramenta e difícil usinabilidade de materiais de alta dureza dificultam as medições de tensão residual pelo MFC, para isso, buscam-se alternativas eficientes em outros processos visando a correta realização do furo.

Estudo Da Influência Dos Parâmetros De Laser De Fibra Na Geração De Cavidades Para Medição De Tensão Residual

Na Figura 7 Pode-se observar o comportamento no fundo das cavidades realizadas por Pedrini *et al.* (2015) em seu trabalho, obtendo diferentes comportamentos para diferentes formatos gerados, sendo eles apenas uma ranhura, um anel e uma cruz, variando tanto a profundidade quanto a espessura.

Pedrini *et al.* (2015) realizaram uma análise de tensão residual de revestimento cerâmico por ablação a laser e Holografia Digital, evidenciando que para tal análise deve possuir uma geometria sem erros de forma ou então sem defeitos no fundo das cavidades realizadas, podendo gerar interferências nos resultados obtidos.

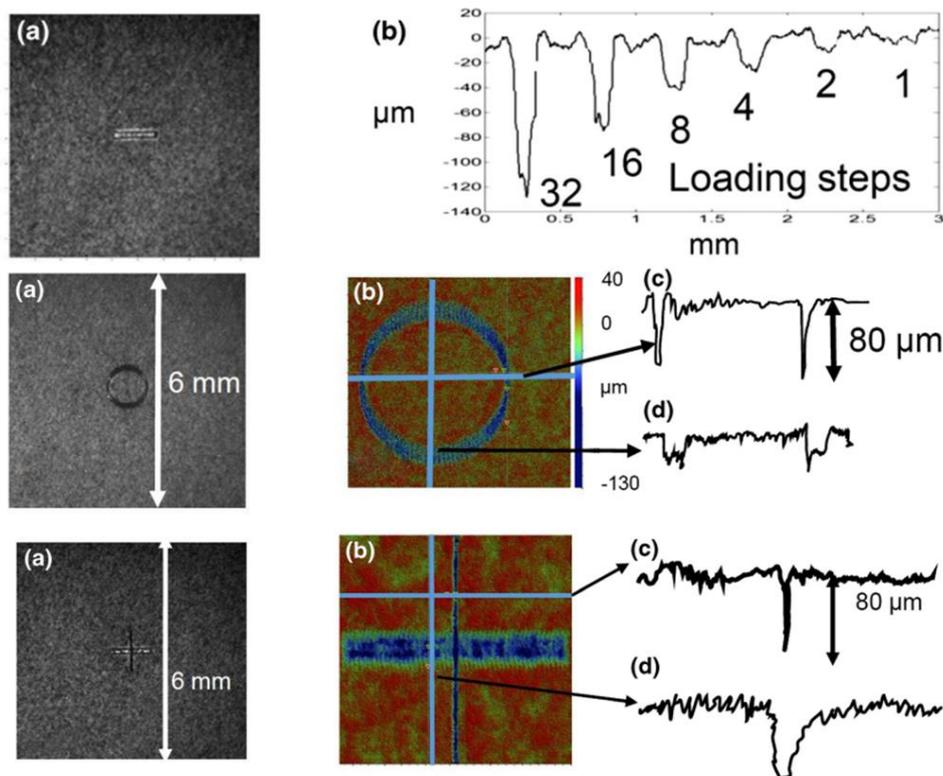


Figura 7. Diferença de comportamento para diferentes cavidades (Adaptado de PEDRINI *et al.* 2015).

É possível observar que quanto maiores as profundidades das cavidades geradas, mais irregulares são as regiões do fundo, variando também de acordo com o formato das cavidades geradas, devido à potência utilizada para atingir a profundidade em questão.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Os ensaios foram realizados utilizando-se um equipamento de laser de fibra YLPN-1-1x120-50-M, com comprimento de onda de 1064 nm, uma potência máxima de 50 W, duração de pulso ajustável em 8 posições, possuindo uma faixa de 1 a 120 ns, uma frequência nominal de pulso que varia de 2 a 5000 kHz, possuindo 7,6 mm de diâmetro do raio laser na saída do colimador. O sistema possui cinco eixos lineares (X, Y, Z, A e B), tendo 300 mm de curso e velocidade máxima de 150 mm/s nos eixos X e Y, já para o eixo Z, a velocidade máxima é de apenas 50 mm/s, mas possuindo um curso igual aos anteriores.

Na Figura 8 é possível observar o equipamento utilizado para a realização dos ensaios. Este encontra-se no Laboratório de Mecânica de Precisão (LMP) da UFSC.



Figura 8. Equipamento laser utilizado para a realização dos ensaios, infraestrutura do LMP/UFSC (BAUMGRATZ, 2019).

As cavidades foram geradas em formato retangular, possuindo 2,5 mm de comprimento e 1,5 mm de largura, sendo sua profundidade resultante da combinação de parâmetros do equipamento laser. Foram utilizados dois materiais para as análises: um aço inoxidável AISI 304 e uma liga de cobre.

Os parâmetros utilizados podem ser observados na Tab. 1, sendo variado apenas o percentual de sobreposição de cada passe e a quantidade de passadas totais,

mantendo-se sempre padrão a altura de foco para 0,25 mm abaixo da superfície da peça.

Tabela 1. Parâmetros utilizados para a realização dos ensaios.

Altura de foco (mm)	Passadas	Sobreposição (%)
-0,25	1	90, 94 e 97
-0,25	5	90, 94 e 97
-0,25	20	90, 94 e 97

Utilizou-se uma variação na taxa de sobreposição dos pulsos de 90, 94 e 97%, ou seja, o pulso seguinte cobre esse percentual de área do pulso anterior, deslocando-se apenas o percentual restante. Os valores de 1, 5 e 20 são a quantidade de vezes que o pulso do laser passou pela mesma região, ou seja, quantas vezes ele refez o trajeto de remoção de material. Os parâmetros utilizados foram definidos aleatoriamente, com o objetivo de avaliar a influência de cada um, devido ao pouco conhecimento acerca da máquina utilizada para a realização dos ensaios.

A Figura 9a demonstra o parâmetro de taxa de sobreposição, mostrando a região em que o pulso atual sobrepõe a região em que o pulso anterior passou, enquanto na Fig. 9b pode-se ver o trajeto percorrido pelo laser durante a realização do ensaio, ele avança da esquerda para a direita ativado e realiza o retorno desativado.

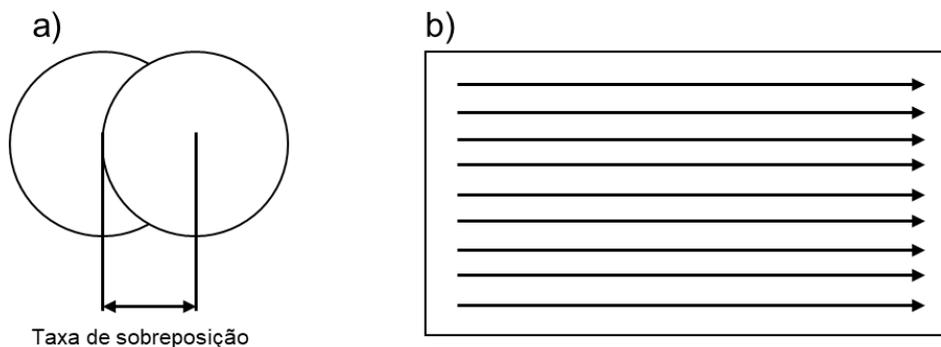


Figura 9. a) Representação da taxa de sobreposição do pulso laser; b) trajeto do pulso ao longo da amostra.

Após o processo de usinagem a laser das cavidades, utilizou-se o microscópio de variação de foco Alicona G5, do Centro Universitário de Brusque - UNIFEBE, que pode

Estudo Da Influência Dos Parâmetros De Laser De Fibra Na Geração De Cavidades Para Medição De Tensão Residual

ser observado na Fig. 10, para a aquisição das imagens e posterior medição de profundidade e qualidade do fundo das cavidades. Para a realização da medição, utilizou-se uma lente de ampliação de 10X, para a aquisição da imagem posicionou-se a amostra na mesa do microscópio, selecionou-se a região desejada e definiu-se as configurações de brilho, contraste e resolução que atendessem às necessidades, gerando a imagem sem falhas e com uma boa repetibilidade.

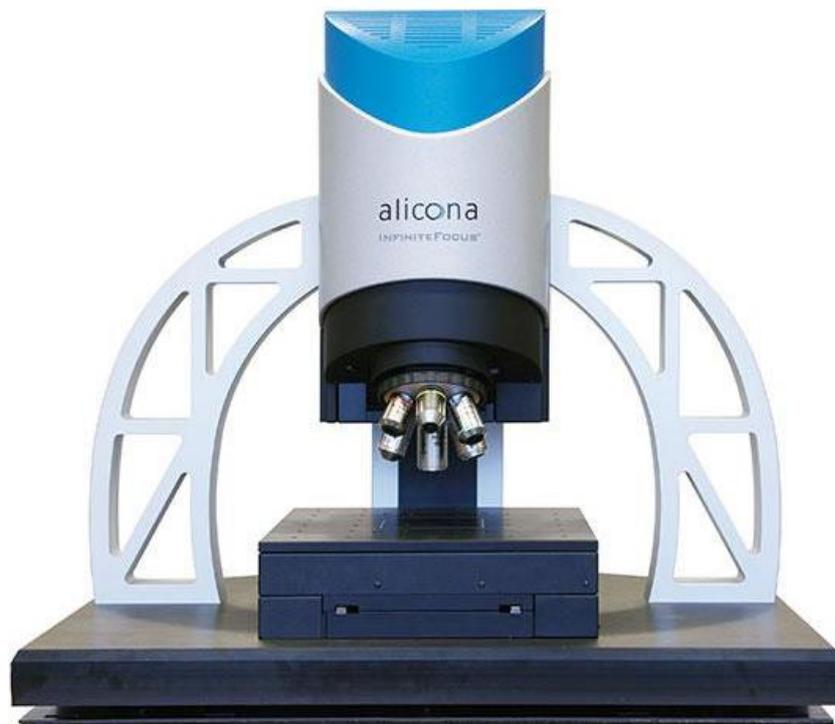


Figura 10. Microscópio de variação de foco – Alicona G5.

Empregando ferramentas disponíveis no *software* do microscópio, foram realizadas medições de profundidade e, posteriormente, avaliou-se a qualidade do fundo das cavidades.

Para realizar as medições de profundidade das cavidades utilizou-se um plano para cortar a amostra no centro e, posteriormente, mediu-se a profundidade média da região, gerando duas linhas de referência (em vermelho na Fig. 11) a partir da seleção da superfície da cavidade e do fundo. O procedimento realizado pode ser notado na Fig. 11, onde a Fig. 11a ilustra o corte na cavidade, e na Fig. 11b, as linhas traçadas para a realização da medição de profundidade.

Estudo Da Influência Dos Parâmetros De Laser De Fibra Na Geração De Cavidades Para Medição De Tensão Residual

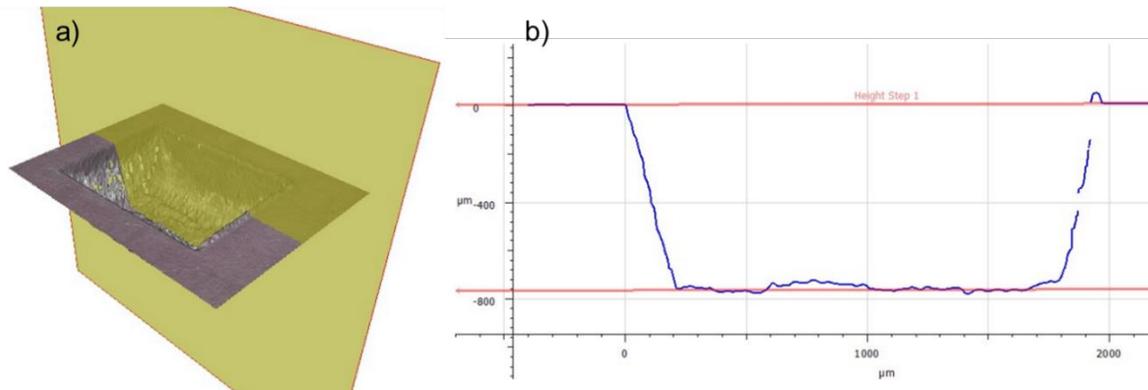


Figura 11. a) Plano traçado para geração do perfil da cavidade; b) Perfil gerado para medição de profundidade.

Para avaliar a qualidade do fundo das cavidades mediu-se os valores de pico máximo e de profundidade máxima da superfície selecionada. Os passos realizados para esta medição podem ser observados na Fig. 12. A partir da imagem 3D da cavidade gerada, realizou-se um corte do fundo dela, excluindo o restante da imagem, após isso, removeu-se a forma do fundo com o objetivo de eliminar possíveis erros oriundos do processo, e por fim, mediu-se a qualidade do fundo da cavidade, avaliando os parâmetros de máximos picos (S_p) e máximos vales (S_v).

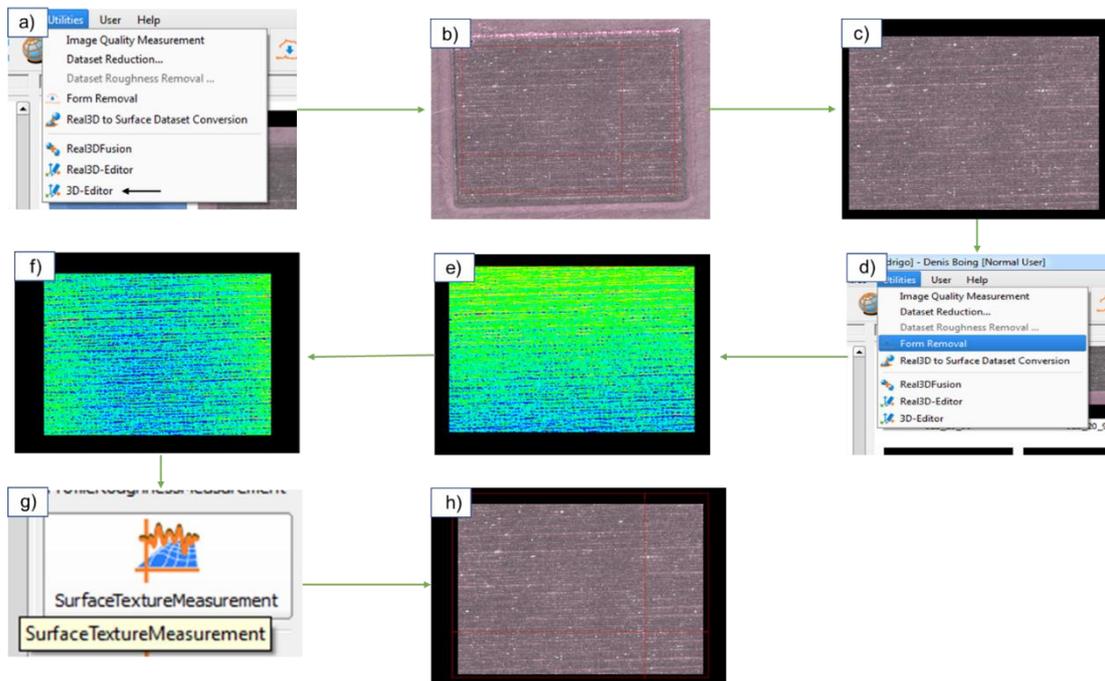


Figura 12. a) seleção da ferramenta de corte; b) seleção da área a ser mantida; c) área restante após o corte; d) seleção de ferramenta para remoção de forma; e) seleção da superfície; f) área

Estudo Da Influência Dos Parâmetros De Laser De Fibra Na Geração De Cavidades Para Medição De Tensão Residual

selecionada após remoção de forma; g) seleção de ferramenta para medição de superfície; h) seleção de região que será analisada.

Através destas medições realizou-se uma análise dos resultados e parâmetros visando obter as recomendações ideais para a geração de furos cegos para medição de tensões residuais. Visando facilitar a análise destes resultados, foram gerados gráficos no Excel que favorecem a visualização dos resultados e auxiliam no entendimento dos efeitos ocorridos, além da realização de uma análise ANOVA, que nada mais é do que uma análise de variância utilizando-se uma fórmula estatística para comparar as variâncias entre as médias de diferentes grupos, e assim, obter um melhor entendimento da influência de cada parâmetro no processo para os materiais analisados, podendo-se determinar quais parâmetros apresentam maior influência sobre a qualidade da cavidade.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A seguir, são apresentados os resultados da avaliação da geometria das cavidades produzidas. Os valores analisados representam uma média da profundidade ao longo da região selecionada, para cada combinação de parâmetros.

A Figura 13 apresenta os valores de profundidade obtidos para a liga de cobre, tornando-se possível realizar uma avaliação de seus respectivos parâmetros para identificar qual apresenta maior influência na obtenção de uma determinada profundidade.

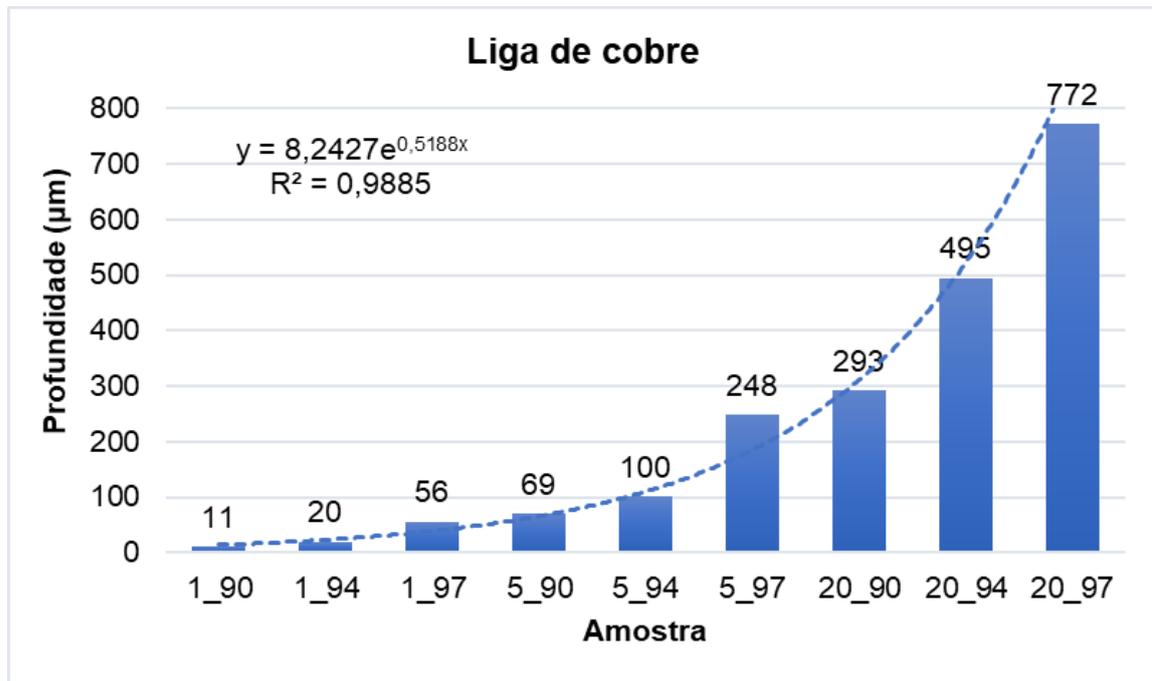


Figura 13. Gráfico com os resultados de profundidade obtidas para a liga de cobre.

Observa-se um crescimento exponencial da profundidade obtida, podendo-se realizar uma previsão do aumento desta profundidade variando-se os parâmetros de entrada. Pode-se notar também um grande salto nos valores obtidos com um maior número de passadas do laser. É possível notar que ambos os parâmetros apresentam influência na obtenção de maiores profundidades.

Os valores apresentaram um grande salto entre o segundo e terceiro ensaio, quando considerada apenas uma passada, e alterada a taxa de sobreposição de 94% para 97%, houve um aumento de quase 3 vezes nos valores obtidos. Comportamento similar foi observado para 5 passadas, quando houve uma variação na taxa de sobreposição igual ao anterior, obteve-se um aumento de quase 2,5 vezes, porém o efeito não se manteve no último caso, quando consideradas 20 passadas o aumento foi de apenas 1,5 vezes, valor próximo ao obtidos nas outras amostras.

Na Figura 14 é possível observar os resultados obtidos para o aço inoxidável AISI 304, apresentando a mesma tendência que para a liga de cobre, porém com um crescimento menor, tendo um grande salto no último ensaio.

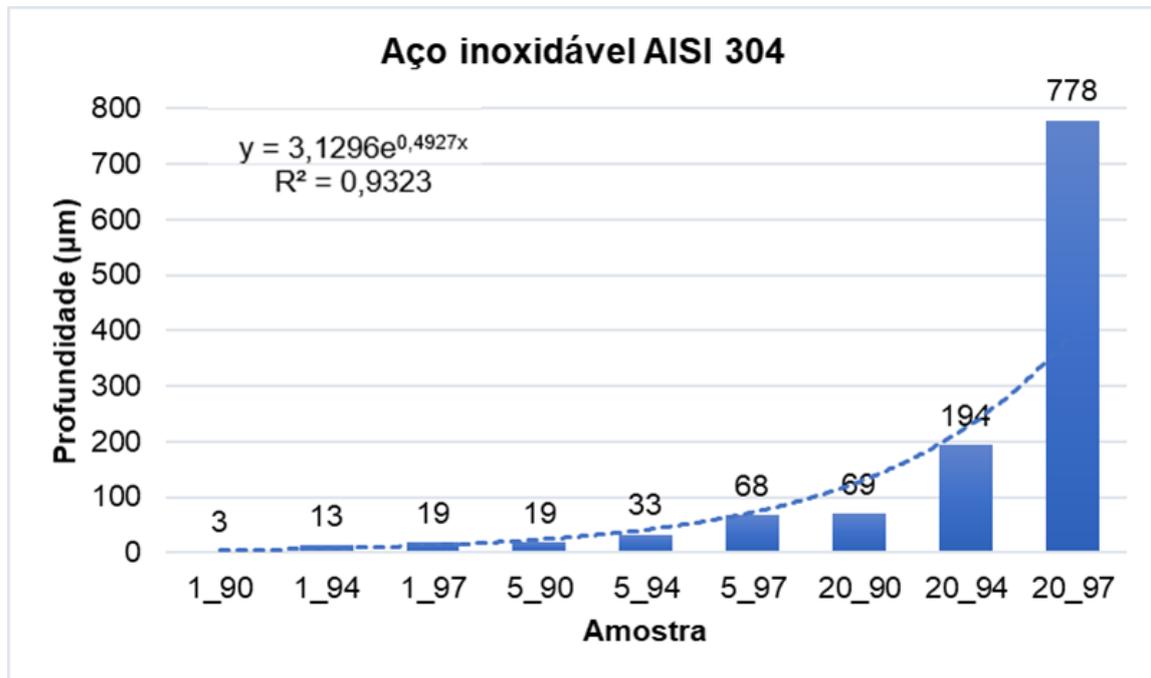


Figura 14. Gráfico com os resultados de profundidade obtida no aço inoxidável AISI 304.

Pode-se ajustar aos pontos experimentais plotados nas Fig. 13 e Fig. 14 uma equação exponencial de forma a permitir uma previsão de parâmetros, facilitando assim na obtenção de parâmetros ideais para atingir profundidades específicas. A curva é traçada considerando-se o crescimento exponencial de todas as amostras ensaiadas, porém, devido ao grande avanço do último ensaio utilizando-se o aço inoxidável AISI 304, considerou-se apenas até o penúltimo ensaio para a geração desta curva neste material, obtendo-se assim um melhor ajuste da equação.

Comparando-se os resultados entre os materiais, é possível notar que até o penúltimo ensaio, todos os valores de profundidade para a liga de cobre foram maiores do que para o aço inoxidável AISI 304, mas no último houve um grande crescimento para o aço inoxidável AISI 304, superando a maior profundidade da liga de cobre. Os baixos valores de profundidade obtidos são devido ao fenômeno observado por Junior *et al.* (2016) e Rossi *et al.* (2001), que observaram que baixas intensidades de energia fazem com que uma pequena parcela de material seja vaporizada, enquanto o restante volta para o fundo das cavidades e se ressolidifica.

Na Figura 15 nota-se o avanço da profundidade das cavidades realizadas na liga de cobre, este que manteve uma certa regularidade nas análises de profundidade, apresentando um crescimento mais controlado, diferente do aço inoxidável AISI 304,

Estudo Da Influência Dos Parâmetros De Laser De Fibra Na Geração De Cavidades Para Medição De Tensão Residual

que apresentou um grande salto no último ensaio realizado, fenômeno que pode ser visto na Fig. 16.

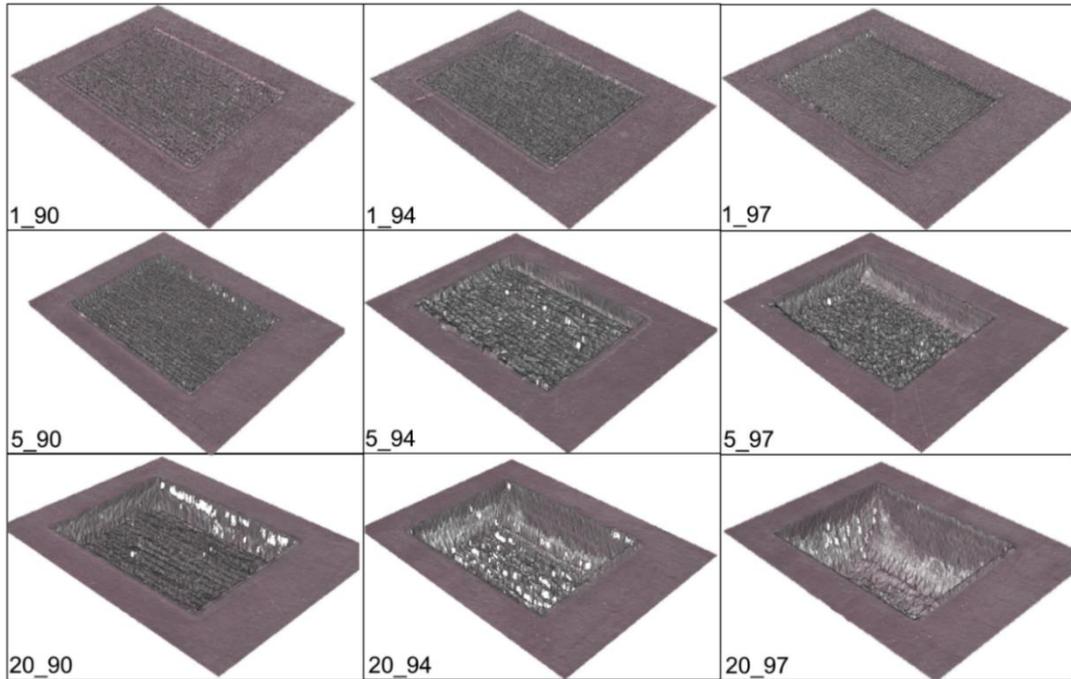


Figura 15. Progressão das cavidades geradas nos ensaios na liga de cobre.

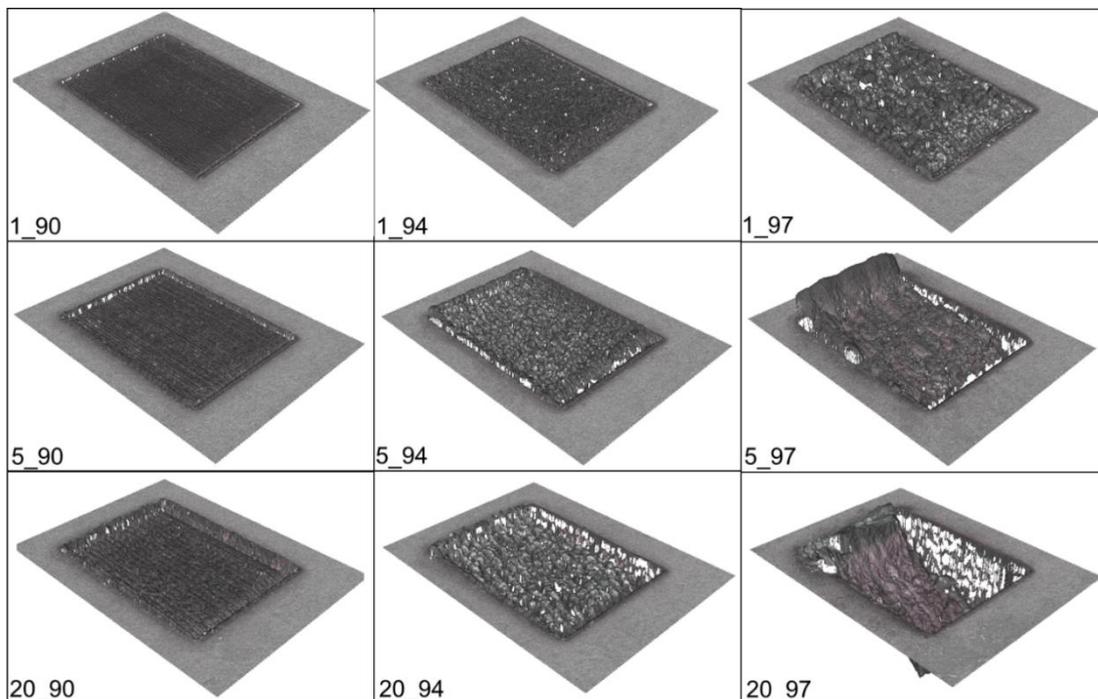


Figura 16. Progressão das cavidades geradas nos ensaios no aço inoxidável AISI 304.

Estudo Da Influência Dos Parâmetros De Laser De Fibra Na Geração De Cavidades Para Medição De Tensão Residual

Nota-se uma maior qualidade no fundo das cavidades com menor taxa de sobreposição, além de uma maior uniformidade nas cavidades geradas, isso para ambos os materiais.

Pode-se observar na Fig. 17 as cavidades geradas nos últimos ensaios, com a configuração -0,25_20_97 de ambos os materiais. Observa-se uma não uniformidade no fundo da cavidade gerada no aço inoxidável AISI 304, mantendo uma grande quantidade de material no lado esquerdo, enquanto no lado direito, observa-se a maior profundidade obtida. Isso ocorre devido ao trajeto dos pulsos do laser, pois a região pela qual o laser já passou tende a resfriar primeiro, causando a ressolidificação desta região enquanto a região sobreposta posteriormente desloca material para as laterais. Isso faz com que o material seja jogado para trás, ou seja, para a região onde o laser já passou, mantendo assim uma certa quantidade de material que não será removida pelos próximos pulsos, enquanto para a liga de cobre nota-se uma profundidade mais uniforme, apenas podendo observar um pequeno arredondamento no canto da amostra. Ambos os efeitos são oriundos da energia gerada no processo, sendo diferentes entre eles por conta da resistência térmica de cada material analisado.

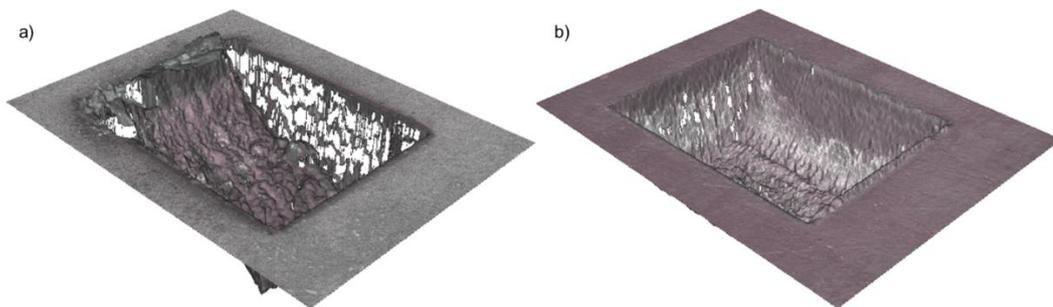


Figura 17. a) Maior cavidade gerada no aço inoxidável AISI 304; b) Maior cavidade gerada na liga de cobre.

Os resultados apresentaram comportamentos diferentes entre os materiais, devido as diferenças de características destes, como refletividade da superfície e condutividade térmica, como afirmado por Marcicano (2002).

A Figura 18 apresenta os resultados com a máxima altura de picos das regiões selecionadas (S_p) nas cavidades produzidas na liga de cobre e no aço inoxidável AISI 304.

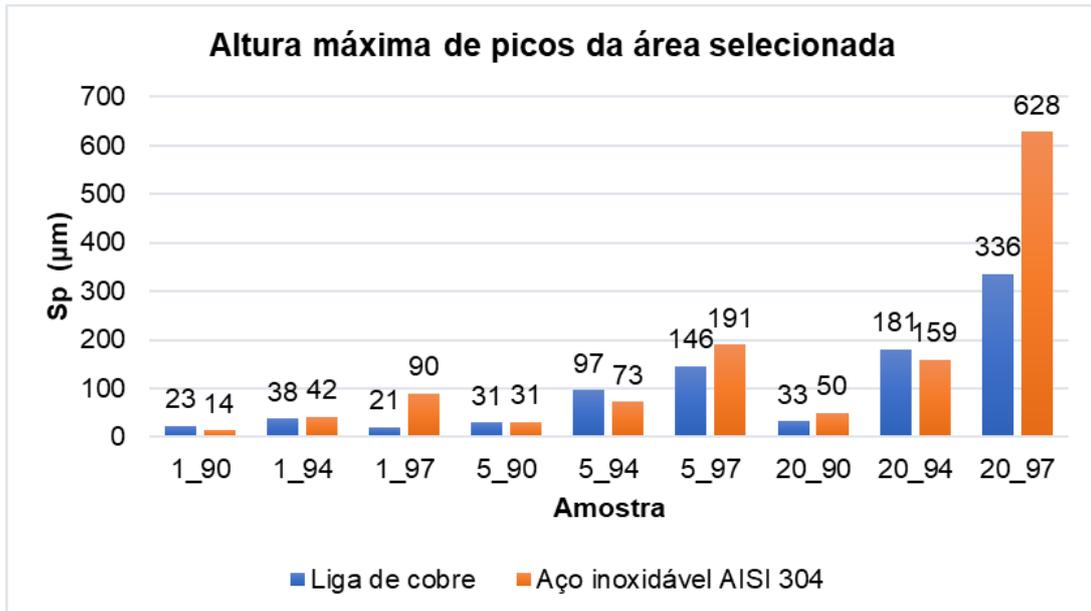


Figura 18. Gráfico com os valores máximos de picos (Sp) obtidos para a liga de cobre e para o aço inoxidável AISI 304.

Nota-se um aumento controlado e menor para a liga de cobre, porém, no aço inoxidável manteve-se um padrão, sempre aumentando os valores de acordo com o aumento da taxa de sobreposição.

A Figura 19 apresenta os resultados com a máxima profundidade das regiões selecionadas (Sv) nas cavidades produzidas na liga de cobre e no aço inoxidável AISI 304. Neste caso, nota-se que a taxa de sobreposição de 94% apresentou maiores valores em todos os casos da liga de cobre, enquanto para o aço inoxidável, os maiores valores foram obtidos com a taxa de sobreposição de 97%.

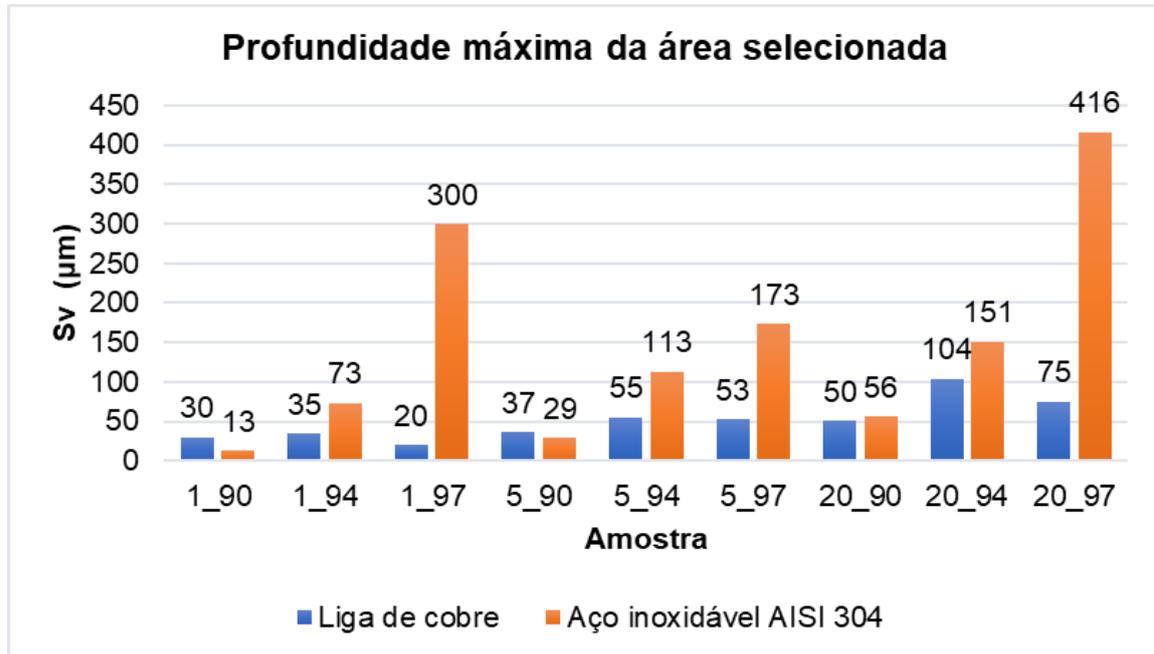


Figura 19. Gráfico com os valores máximos de profundidade (Sv) obtidos para a liga de cobre.

Observa-se uma grande variação nos valores de Sv entre o percentual de sobreposição para o aço inoxidável, tendo grandes aumentos para todos os ensaios quando se analisa a diferença entre 90% e 97%. O resultado observado na última amostra apresentou um valor elevado devido à alta energia gerada no processo, decorrente da influência da taxa de sobreposição aliada à quantidade de repetições do laser. Para o aço inoxidável pode-se observar um comportamento similar ao dos valores de máximos picos, em que a maior diferença se dá devido ao aumento da taxa de sobreposição, facilitando na análise da influência dos parâmetros

Nota-se em ambos os gráficos para os dois materiais que uma menor taxa de sobreposição gera menores valores de Sp e Sv, podendo assim inferir que uma menor taxa de sobreposição tende a gerar uma melhor qualidade no fundo das cavidades.

A influência dos parâmetros na geração das cavidades pode ser observada na Tab. 2, após a realização da análise estatística ANOVA, podendo-se concluir quais os parâmetros que apresentam maior influência para cada configuração de ensaio, e com isso determinar os parâmetros ideais para a realização das medições de tensão residual.

Tabela 2. Resultados de influência dos parâmetros obtidos após a realização de uma análise ANOVA.

Estudo Da Influência Dos Parâmetros De Laser De Fibra Na Geração De Cavidades Para Medição De Tensão Residual

Liga de cobre				Aço inoxidável AISI 304			
Variável	Profundidade	Sp	Sv	Variável	Profundidade	Sp	Sv
	Valor-P	Valor-P	Valor-P		Valor-P	Valor-P	Valor-P
Quantidade de passadas	0,016324247	0,204347562	0,038134692	Quantidade de passadas	0,195933093	0,343139295	0,678960066
Taxa de sobreposição	0,568830064	0,310139001	0,531599239	Taxa de sobreposição	0,462263223	0,199280922	0,012849422

Após avaliar os resultados obtidos pela análise ANOVA pode-se observar que para a liga de cobre, a quantidade de passadas é o parâmetro que apresenta maior influência no processo, porém, apenas para a profundidade da cavidade e para a profundidade máxima do fundo (Sv) obteve-se um valor considerável, ficando com o valor de P abaixo de 0,05. Nota-se também que para os valores de picos máximos, a influência não foi tão significativa, pois os valores ficaram acima do estipulado para obter uma significância de 95%. Nesse caso, recomenda-se um maior número de passadas e maior taxa de sobreposição, tendo como parâmetros ideais 20 passadas e 97% de sobreposição, porém, avaliando-se os valores individualmente, nota-se que a sobreposição de 90% é a mais recomendada para obter melhores resultados de qualidade, pois esta apresentou resultados melhores para os valores de Sp e Sv, porém réplicas são fundamentais para uma afirmação mais correta e precisa.

Para os ensaios realizados no aço inoxidável AISI 304 pode-se notar que a quantidade de passadas apresentou maior influência na profundidade das cavidades, enquanto a taxa de sobreposição influenciou nos valores de Sp e Sv. Porém, apenas para os valores de profundidade máxima no fundo (Sv) o resultado foi significativo, atingindo um valor de P menor que 0,05 e mantendo a significância de 95%. Neste caso, o parâmetro ideal é de 20 passadas com uma taxa de sobreposição de 90%, garantindo-se assim uma maior profundidade e obtendo-se uma melhor qualidade no fundo das cavidades.

Considerando-se os ensaios realizados por Pessoa (2021), em que os furos foram realizados com diâmetro e profundidade de 1,5 mm e 1 mm, respectivamente, a condição que mais se aproxima desta profundidade é a com maior número de passadas e maior taxa de sobreposição, sendo a configuração 20_97 de ambos os materiais. Porém, considerando-se também a afirmação de Pedrini *et. al.* (2015) quanto a qualidade no fundo dos furos, pode-se notar que os resultados que apresentaram melhor qualidade foram utilizando-se uma menor taxa de sobreposição,

Estudo Da Influência Dos Parâmetros De Laser De Fibra Na Geração De Cavidades Para Medição De Tensão Residual

tendo assim como parâmetro ideal para obter um furo com a maior profundidade e melhor qualidade a configuração 20_90, para ambos os materiais.

A interferência da taxa de repetição na qualidade das cavidades geradas na liga de cobre apresentou comportamento análogo ao citado por Almeida *et al.* (2003). Este, por sua vez, afirmou que a taxa de repetição era um dos parâmetros que apresentavam maior interferência na qualidade das superfícies geradas.

A Figura 20 demonstra a diferença entre o fundo das cavidades analisadas, podendo-se observar a influência dos parâmetros no fundo.

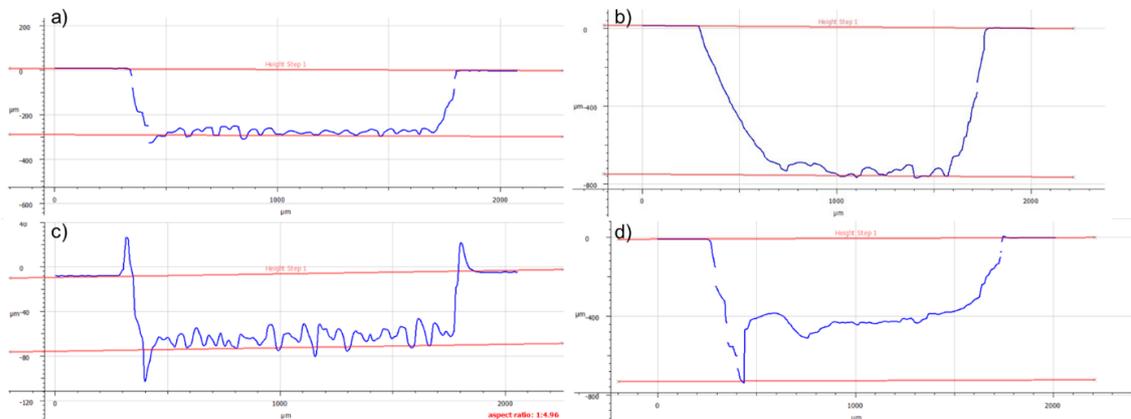


Figura 20. a) liga de cobre com 20 passadas e 90% de sobreposição; b) liga de cobre com 20 passadas e 97% de sobreposição; c) aço inoxidável AISI 304 com 20 passadas e 90% de sobreposição; d) aço inoxidável AISI 304 com 20 passadas e 97% de sobreposição.

Observa-se que as imagens da esquerda apresentam maior regularidade no fundo das cavidades, diferente das imagens da direita, que apresentam grandes desvios. Com isso, pode-se entender a influência da taxa de sobreposição no fundo das cavidades.

Para o aço inoxidável AISI 304 observou-se que a taxa de sobreposição apresentou maior interferência na qualidade das cavidades, diferente da liga de cobre. Porém, observa-se que para ambos os materiais a taxa de sobreposição de 90% apresentou os melhores resultados, tanto para alturas de picos máximos quanto para profundidades máximas. Nota-se também que o fundo das cavidades se manteve mais regular para os ensaios com menor taxa de sobreposição.

5. CONCLUSÕES

Observando-se os valores obtidos de profundidade, foi possível traçar uma curva exponencial e gerar uma equação de tendência, com isso pode-se realizar uma previsão de possíveis valores de profundidade para parâmetros futuros, podendo-se ajustá-los de acordo com a profundidade desejada, atendendo assim de maneira eficiente aos requisitos para a geração de furos cegos para a medição de tensão residual.

A tabela com os resultados de profundidade de ambos os materiais apresenta um mesmo comportamento, tendo como maior influência a quantidade de passadas do laser pela mesma posição, além de uma maior taxa de sobreposição. Nota-se que quanto maior for o número de passadas e a taxa de sobreposição, maior será a profundidade, isso para ambos os materiais analisados. Porém, a quantidade de vezes que o laser passa pela mesma região tem um impacto mais significativo.

Pode-se notar um comportamento diferente entre os materiais nas análises de picos e profundidades máximas. Para o caso do aço inoxidável AISI 304, este demonstrou uma repetibilidade nos efeitos de profundidade máxima e picos máximos, tendo sempre como maiores valores as maiores taxas de sobreposição, enquanto para a liga de cobre houve algumas divergências.

Analisando-se do ponto de vista da geometria ideal para medição de tensão residual e correta produção dos furos cegos, nota-se que se deve utilizar uma maior quantidade de repetições do laser visando atingir maiores profundidades, enquanto mantém-se uma menor taxa de sobreposição, podendo-se assim evitar erros de forma que venham a prejudicar as medições de tensão residual. Para os ensaios e avaliações realizadas obteve-se como condição ideal 20 passadas e 90% de sobreposição, assim sendo possível obter uma maior profundidade com melhor qualidade, aproximando-se do ideal, que é regulamentado pela norma ASTM E837 (2020).

Com os conceitos observados neste trabalho é possível aproximar-se de uma geometria ideal para medição de tensão residual no aço inoxidável AISI 304 e na liga de cobre, devido ao entendimento da influência de cada parâmetro no processo.

Entretanto, para materiais diferentes deve-se realizar outra análise de parâmetros visando compreender os efeitos, devido às diferentes características de cada material.

Sugere-se para trabalhos futuros a realização de uma análise de conicidade nas cavidades geradas, além de uma análise de parâmetros em aços de elevada dureza, na faixa de 60 à 65 HRC, pois estes apresentam dificuldades de serem usinados com ferramentas de geometria definida, podendo ter o processo a laser como uma alternativa viável para a realização dos furos cegos e posterior medição de tensões residuais.

6. AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de agradecer aos meus pais, por todo o apoio ao longo dessa caminhada e por toda a paciência nos meus momentos de estresse.

Agradeço à minha noiva, que sempre esteve ao meu lado, foi parceira, compreensiva e sempre exigiu que eu desse o melhor de mim; agradeço por ela ter me incentivado desde o início e me ajudado a não desistir.

Agradeço a todos os meus amigos adquiridos ao longo desses anos de curso, por toda a parceria e troca de experiência.

Agradeço ao meu orientador, professor Rodrigo Blödorn, que ao longo dessa caminhada tornou-se um grande amigo. Estendo o agradecimento a todos os meus professores, pois todos contribuíram imensamente com seus conhecimentos e experiências.

Agradeço ao Centro Universitário de Brusque – UNIFEBE, por deixar à disposição a utilização dos laboratórios e equipamentos, bem como a Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, que disponibilizou a utilização do laser para a realização dos ensaios.

Agradeço ao professor Milton, pela oportunidade de realizar este trabalho em conjunto, e ao mestrando Fred, que disponibilizou algumas de suas amostras e auxiliou em alguns esclarecimentos acerca do processo.

Agradeço, por fim, aos integrantes da banca, por terem aceitado fazer parte deste momento tão especial para mim.

7. REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, Ivan Alves de; ROSSI, Wagner de; LIMA, Milton S. F.; BERETTA, José Roberto; MORATO, Spero Penha. **Corte de titânio por laser pulsado de neodímio:YAG**. In: congresso nacional de soldagem, 29., 2003, São Paulo. São Paulo: 2003.
- AMADA HOLDINGS. **Ressonador a laser de fibra série AJ**. Disponível em: <http://amada.com.br/engineering/ressonador-laser-de-fibra-serie-aj/baixo-consumo/>. Acesso em: 31 out. 2021.
- ASTM E837-20, **Método de Teste Padrão para Determinar Tensões Residuais pelo Método Strain Gage de Perfuração**, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2020, www.astm.org
- BAUMGRATZ, Frederico Marques. **Micro usinagem de raio laser tridimensional: desenvolvimento e implementação**. 2019. 23 f. (Projeto de Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2020.
- BLÖDORN, R. **Estudo do Furo e Processo de Furação Empregado no Método do Furo Cego para Medição de Tensões Residuais**. 177f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.
- BLÖDORN, R. **Efeito do fresamento orbital com fresa de topo e furação em cheio com broca helicoidal sobre os valores medidos da tensão residual pelo “método do furo cego”**. 2018. 242 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2018.
- DUMITRESCU, P.; KOSHY, P.; STENEKES, J.; ELBESTAWI, M.A. **High-power diode laser assisted hard turning of AISI D2 tool steel**. International Journal of Machine Tools And Manufacture, [S.L.], v. 46, n. 15, p. 2009-2016, dez. 2006. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijmachtools.2006.01.005>.
- HITZ, C. Breck; EWING, J.; HECHT, Jeff. **Introduction to laser Technology**. 4. ed. New Jersey: A John Wiley & Sons, Inc., Publication, 2012.
- HYPERTHERM. **Como lasers funcionam**. Disponível em: <https://www.hypertherm.com/pt/learn/cutting-education/laser-technology/how-lasers-work/>. Acesso em: 31 out. 2021.
- JUNIOR; VENTRELLA; GALLEGRO. **Microfuração com laser pulsado Nd:YAG em chapas de aço inoxidável AISI 316L**. In: CBECimat, 22., 2016, Natal. Anais. Mato Grosso: 2016. p. 1-57.

Estudo Da Influência Dos Parâmetros De Laser De Fibra Na Geração De Cavidades Para Medição De Tensão Residual

MARCICANO, João Paulo Pereira. **Tópicos em Fabricação Mecânica**. São Paulo, 2001.

MIRIM, Denilson de Camargo; ROSSI, Wagner de; SAMAD, Ricardo Elgul; VIEIRA JÚNIOR, Nilson Dias; NEVES, Maurício David Martins das. **Ablação com laser de pulsos ultracurtos**: avaliação dos efeitos no aço aisi 1045. In: congresso anual da ABM, 69., 2014, São Paulo. Conference paper. São Paulo, 2014.

PEDRINI, G.; MARTÍNEZ-GARCÍA, V.; WEIDMANN, P.; WENZELBURGER, M.; KILLINGER, A.; WEBER, U.; SCHMAUDER, S.; GADOW, R.; OSTEN, W. **Residual Stress Analysis of Ceramic Coating by laser Ablation and Digital Holography**. Experimental Mechanics, [S.L.], v. 56, n. 5, p. 683-701, 29 dez. 2015. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s11340-015-0120-3>.

PESSOA, Eduardo. **Avaliação da integridade de materiais cementados aplicados na indústria automotiva**. 2021. 20 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Centro Universitário de Brusque, Brusque, 2021.

ROSSI, Wagner de; BRITO, Roberto de; BERRETTA, José; ALMEIDA, Ivan Alves de; VIEIRA JUNIOR, Nilson Dias. **Microfuração a laser em chapa de aço inoxidável AISI 304**. In: COBEF, 1., 2001, Curitiba.

TELESIS TECHNOLOGIES INC. **Noções básicas sobre lasers**: o que é um laser de fibra? O que é um laser de fibra? 2020. Disponível em: <https://telesis.com/pt/understanding-lasers-what-is-a-fiber-laser/>. Acesso em: 29 ago. 2021.

VIDAL, José Tort. **Desenvolvimento de um sistema opto-mecânico para micro usinagem com laser de femtosegundo**. 2010. 108 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências na Área de Tecnologia Nuclear, Autarquia Associada A Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

WELLE LASER TECHNOLOGY. **Principais parâmetros para uma marcação a laser ideal**. 2018. Disponível em: <https://wellelaser.com/principais-parametros-para-uma-marcacao-a-laser-ideal/>. Acesso em: 16 set. 2021.

ESTUDO DE IMPLANTAÇÃO DE SISTEMA FOTOVOLTAICO EM ESTAÇÕES DE MANUTENÇÃO DE BICICLETAS NO MUNICÍPIO DE GUABIRUBA/SC

STUDY OF PHOTOVOLTAIC SYSTEM IMPLEMENTATION IN BICYCLE MAINTENANCE STATIONS IN THE MUNICIPALITY OF GUABIRUBA/SC

**Larissa Ignês Boos
Milton Augusto Pinotti**

Resumo: *A busca por métodos de geração de energia de forma renovável tem se destacado sendo, a energia proveniente de recursos solares, uma alternativa interessante, para auxiliar na contribuição do aumento dos índices de geração de energia limpa. As vantagens proporcionadas pela energia solar são inúmeras, principalmente em países em que os valores de irradiação são expressivos, como no caso do Brasil. Diversos investimentos, quer sejam privados ou governamentais, tem sido realizados na pesquisa e utilização dessa fonte de geração de energia elétrica. Atualmente, a cidade de Guabiruba/SC participa de um acordo de cooperação internacional em prol do meio ambiente e do clima, que tem como objetivo incentivar ações relacionadas a sustentabilidade, preservação do meio ambiente, além de contribuir com melhorias no meio urbano, propiciando saúde, bem estar e segurança à população. Analisando-se a recente implantação de diversos pontos de estações de manutenção de bicicletas, fruto da parceria firmada entre o município de Guabiruba/SC e a cidade Karlsdorf- Neuthard (Alemanha), o presente trabalho visa contribuir com uma proposta de implantação de uma cobertura fotovoltaica nessas estações de bicicletas. Visa, essa implantação, apoiar os ciclistas que trafegam pela região, propiciando pontos de carregamento de dispositivos eletrônicos, através de módulos USB, e iluminação noturna no local, auxiliando na visibilidade para utilização dos equipamentos existentes nas estações, destinados a realizar pequenas manutenções em seus veículos. Ademais foi este projeto concebido para, além de aproveitar o espaço para geração de energia renovável, proteger a estrutura existente de eventuais intempéries. Outrossim, justifica-se a viabilidade da instalação desta estrutura fotovoltaica, o fato de que o município busca incentivar o uso da bicicleta como meio de transporte e a implantação de um projeto relacionado ao ciclo turismo.*

Estudo De Implantação De Sistema Fotovoltaico Em Estações De Manutenção De Bicicletas No Município De Guabiruba/Sc

Palavras-chave: *Sistemas fotovoltaicos. Energia Solar. Sustentabilidade. Estações de Bicicleta.*

Abstract: *The search for all energy generation in a renewable way is that energy from solar resources is an interesting alternative to help contribute to the increase in the rates of clean energy generation. The advantages provided by solar energy are numerous, especially in countries where irradiation values are expressive, as in the case of Brazil. Several investments, whether private or governmental, have been carried out in the research and use of this source of electricity generation. Currently, the city of Guabiruba/SC participates in an international cooperation agreement for the environment and climate, which aims to encourage actions related to sustainability, and preservation of the environment, in addition to contributing to improvements in the urban environment, providing health, well-being, and safety to the population. Analyzing the recent implementation of several points of bicycle maintenance stations, the result of the partnership between the municipality of Guabiruba/SC and the city Karlsdorf- Neuthard (Germany), this work aims to contribute to a proposal for the implementation of photovoltaic coverage for bicycle stations. It aims, in the implementation, to support cyclists traveling through the region, providing charging points for electronic devices, through USB modules, and night lighting on site, assisting in visibility for the use of existing equipment in the stations and intended to perform small maintenance on their vehicles. In addition, this project was designed to taking advantage of the space for renewable energy generation, protect the existing structure from any weather. Moreover, the feasibility of installing this photovoltaic structure is justified, by the fact that the municipality seeks to encourage the use of bicycles as a means of transport and the implementation of a project related to the tourism cycle.*

Keywords: *Photovoltaic systems. Solar energy. Sustainability. Bicycle Stations.*

1. INTRODUÇÃO

Estudo De Implantação De Sistema Fotovoltaico Em Estações De Manutenção De Bicicletas No Município De Guabiruba/Sc

A energia elétrica se tornou um insumo vital para o desenvolvimento da sociedade contemporânea, sendo uma das formas de energia mais utilizadas no mundo. A criação de novos artefatos elétricos, que auxiliam na rotina de vida das pessoas, vem crescendo constantemente, demandando dessa forma um incremento no consumo de energia elétrica.

De acordo com Silva (2020), a energia elétrica pode ser gerada através de diversas fontes, tais como a hidráulica, eólica, solar, gás natural, biomassa, carvão, derivados de petróleo. Com base no Relatório de *status* global de energia renovável publicado pela Renewables (2020), no ano de 2018, a principal fonte de energia utilizada em âmbito mundial foi a proveniente de combustíveis fósseis (representada por um percentual de 79,9% em relação as demais fontes acima mencionadas). Apoiados nesta informação, pode-se concluir que a matriz global de energia ainda se baseia principalmente em fontes não renováveis.

Tendo em vista os diversos danos ambientais causados pela geração de energia elétrica, em especial as fontes derivadas de petróleo, diversos países procuram investir em projetos relacionados a geração de energia sustentável, em particular através de relações públicas e privadas.

De acordo com a Organização das Nações Unidas do Brasil (2020) os investimentos globais voltados a geração de energia renovável no ano de 2018 alcançaram em torno de 288,9 bilhões de dólares. O valor apresentou uma queda de 11% em relação ao ano anterior. Porém, esta queda pode ser parcialmente justificada pela diminuição nos custos relacionados a tecnologia solar fotovoltaica, ou seja, a mesma quantidade de energia pode ser gerada com investimentos menores.

A geração de energia elétrica, produzida a partir do calor e da luz solar, ganhou força no início da década de 1970, impulsionada pela crise do petróleo, onde notou-se que os recursos naturais eram finitos. Em paralelo com a crise, começaram a surgir diversos movimentos ecológicos voltados a incentivar pesquisas relacionadas a geração de energia, entre elas a energia solar (OLIVEIRA; VILLA; COSTA, 2017).

Conforme Oliveira, Villa e Costa (2017), a aplicação de painéis fotovoltaicos para a geração de energia solar é o que mais vem tendo destaque atualmente. Pinho e

Estudo De Implantação De Sistema Fotovoltaico Em Estações De Manutenção De Bicicletas No Município De Guabiruba/Sc

Galdino (2014) descrevem que a energia fotovoltaica é obtida através da transformação direta da luz em eletricidade, originando o efeito fotovoltaico.

De acordo com Júnior A., Júnior J. e Júnior H. (2017), o Brasil possui um grande potencial para geração de energia através de sistemas fotovoltaicos, devido a sua grande extensão territorial, incidência de radiação média e pouca variedade interanual em grande parte de suas regiões. O Brasil, possuindo área territorial similar a China e Estados Unidos da América (primeiro e terceiro colocados no *ranking* mundial de geração de energia solar, respectivamente), e área ligeiramente maior que a do Japão e Alemanha (segundo e quarto colocados no *ranking* mundial de geração de energia solar, respectivamente) apresentou, no ano de 2019, um ínfimo percentual de geração de energia solar de 1,1 %, ao se comparar com as demais fontes de produção de energia elétrica, conforme com o relatório anual de estatísticas de energia elétrica desenvolvido pela EPE (Empresa de Pesquisa Energética).

A despeito da participação da geração de energia elétrica, através de recurso solar ainda estar abaixo dos níveis esperados no território brasileiro, cabe ressaltar que, de acordo com o anuário estatístico de energia elétrica disponibilizado pela EPE, entre 2018 e 2019 o aumento da aplicação de sistemas fotovoltaicos aumentou em 92,1%. Ou seja, os investimentos nessa área estão sendo realizados. A elevação deste percentual pode ser justificada pelas medidas governamentais no âmbito comercial, residencial e parcerias público privadas, que acabam incentivando os investimentos em geração de energia através de fontes renováveis.

Com o aumento da frota veicular nas cidades, principalmente nas grandes metrópoles, os impactos ambientais causados pela poluição dos veículos automotores tornaram-se uma preocupação constante das autoridades locais. Silveira (2010) destaca que uma das metas do planejamento de transportes é incentivar novas medidas de desenvolvimento sustentável. Estas medidas visam contribuir com a humanização no trânsito, a mobilidade urbana e ao meio ambiente.

A administração pública do município de Guabiruba/SC, procurando inserir o município no contexto da sustentabilidade ambiental, iniciou a elaboração de um plano de ação sustentável firmando, no ano de 2019, parceria com a cidade Karlsdorf-Neuthard (Alemanha), relacionadas ao projeto 50 Parcerias pelo Clima e alinhado com

Estudo De Implantação De Sistema Fotovoltaico Em Estações De Manutenção De Bicicletas No Município De Guabiruba/Sc

os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). Desta forma, o objetivo do primeiro projeto (50 Parcerias pelo Clima) é fortalecer e desenvolver a cooperação de municípios alemães e da América Latina em prol do meio ambiente, financiados pelo engajamento global dos serviços de agências e cooperativas associadas ao projeto. O segundo projeto (ODS), constitui uma agenda mundial voltada em desenvolver ações de melhorias na qualidade de vida das pessoas e do meio ambiente, por meio de elaboração de padrões de consumo e investimentos em projetos voltados a sustentabilidade.

Obteve-se como um dos resultados do plano de ações sustentáveis, impulsionado pela parceria entre a cidade de Guabiruba e o distrito alemão, bem como em consonância com o Objetivo ODS 11 (Cidades e Comunidades Sustentáveis), a implantação de pontos de manutenção de bicicletas em diversos locais da cidade. O projeto também foi incentivado pela CIMVI, devido a relação com o tema cicloturismo.

Com o intuito de estimular a utilização de bicicletas como meio de transporte, visto que este não expõe riscos consideráveis ao meio ambiente, além de contribuir com o estilo de vida saudável do ser humano, os investimentos realizados pelos órgãos públicos voltados a urbanização podem ser um grande avanço nesta área. Os pontos de manutenção de bicicletas existentes no município de Guabiruba/SC servem como exemplo deste tipo de incentivo, justificado pelo fato de que auxiliam como ponto de apoio aos ciclistas que trafegam pela região.

Em virtude de a estrutura dos pontos de manutenção de bicicletas estarem totalmente expostas ao clima (sol, chuva, calor e outros), a vida útil da estrutura acaba sendo comprometida ao longo do tempo, necessitando de manutenções com maior frequência. Pode-se destacar também que a falta de iluminação do local acarreta, no período noturno, dificuldade do manuseio dos equipamentos pelos ciclistas que por ali trafegam.

Em análise realizada nos locais em que as estações de bicicletas se encontram instaladas, notou-se a disponibilidade de uma área livre em torno dessas estações, onde planeja-se construir uma estrutura de telhado do tipo *carport*. A implantação desta cobertura visa contribuir com a proteção da estrutura metálica existente, que serve como apoio para estacionamento de bicicletas, e acoplamento das ferramentas

Estudo De Implantação De Sistema Fotovoltaico Em Estações De Manutenção De Bicicletas No Município De Guabiruba/Sc

utilizadas para manutenção das mesmas. O projeto conceitual prevê a instalação de painéis fotovoltaicos integrados a cobertura, permitindo gerar energia suficiente para alimentar um ponto de iluminação, bem como carregar dispositivos eletrônicos através de uma conexão padrão USB.

2. ESTADO DA ARTE

2.1. Energia Solar

“A energia solar está diretamente relacionada com os processos químicos, físicos e biológicos, ou seja, está associada com a vida na Terra. As variações dessa energia têm impacto na atmosfera e no clima da Terra em largas escalas de tempo” (GÓMEZ *et al.*, 2018, p.1).

Segundo Pinho e Galdino (2014), a energia gerada pelo sol se torna inesgotável na escala terrestre, servindo tanto como fonte de calor, como de luz. É importante destacar que praticamente todas as demais fontes de energia dependem da incidência de sol, ou seja, diversas outras fontes de energia são provenientes da energia solar. Por exemplo, a partir da energia do sol se obtém a evaporação, logo contribui com o ciclo das águas, onde por meio de represamento, resulta na geração da energia hidrelétrica.

Com foco na engenharia, Pinho e Galdino (2014) designam evidência para a energia solar térmica e a energia solar fotovoltaica sendo, essa última, referência como objeto para esse estudo. No caso da energia térmica, o interesse consiste em determinar a quantidade de energia que um corpo é capaz de absorver, sob a forma de calor, a partir da radiação que incide sobre ele. Os equipamentos utilizados para essa ação são conhecidos como coletores solares. A energia solar fotovoltaica, por sua vez, é aquela resultante da conversão direta da luz em eletricidade, através de um dispositivo específico para este processo, denominada célula fotovoltaica.

2.2. Geração Fotovoltaica

Estudo De Implantação De Sistema Fotovoltaico Em Estações De Manutenção De Bicicletas No Município De Guabiruba/Sc

A origem do efeito fotovoltaico foi descoberta em meados de 1839, por Edmond Becquerel, que desenvolveu estudos relacionados ao aparecimento de uma diferença de potencial nos terminais de uma estrutura semicondutora causada pela absorção da luz sobre ela (NASCIMENTO, 2004). No ano de 1876 foi desenvolvido o primeiro mecanismo fotovoltaico, proveniente dos estudos da física e do estado sólido. A produção industrial e o crescimento da área de eletrônica do dispositivo surgiu somente após o ano de 1956 (PINHO; GALDINO, 2014).

A célula fotovoltaica é o componente que têm como função principal converter a luz solar em eletricidade. Em geral, elas são formadas por dois tipos de materiais semicondutores, sendo um com terminal positivo (material P) e outro negativo (material N). Dessa forma, quando a luz solar incide sobre a junção dos materiais semicondutores, uma corrente é gerada e transformada em energia elétrica pela célula fotovoltaica (SOLARPRIME, 2020).

Para a geração de uma quantidade de energia considerável, torna-se necessário a união de diversas células fotovoltaicas conectadas em série e encapsuladas em várias camadas de proteção. O conjunto dessas células resultam nas denominadas placas solares, também conhecidas como módulos fotovoltaicos (FONTES, 2019).

Conforme FONTES (2019), a estrutura do painel fotovoltaico consiste basicamente nas seguintes camadas: uma lâmina de vidro temperado, um material orgânico (como por exemplo etileno – vinil- acetato), as células conectadas, mais uma lâmina de material orgânico e uma cobertura (podendo ser vidro, polímeros e similares). Posteriormente a estrutura é emoldurada, na maioria das vezes por material similar ao alumínio, e por fim inseridas as caixas de conexão (cabos e conectores) para a ligação em série.

2.3 Sistema desconectado à rede – *Off Grid*

Os Sistemas Fotovoltaicos (SFT) desconectados à rede caracterizam-se por não possuírem conexão com a rede de distribuição das concessionárias elétricas, e dependem unicamente da radiação solar para a geração de energia. Classifica-se este

Estudo De Implantação De Sistema Fotovoltaico Em Estações De Manutenção De Bicicletas No Município De Guabiruba/Sc

tipo de sistema em três subgrupos: sistema *off grid* com armazenamento, sistema *off grid* sem armazenamento e sistema *off grid* híbrido.

Conforme Bortoloto *et al.* (2017), os SFT isolados são aplicados de maneira mais comum em áreas rurais e locais em que não há distribuição de rede de energia elétrica. A aplicação dos SFT *off grid* também está ganhando espaços em cidades grandes, onde deseja-se alimentar um ponto de consumo específico.

A caracterização do SFT *off grid* com armazenamento é definida por carecer de algum tipo de armazenamento. “O armazenamento pode ser em baterias, quando se deseja utilizar aparelhos elétricos nos períodos em que não há geração fotovoltaica, ou em outras formas de armazenamento de energia” (Pinho e Galdino, 2014). De acordo com Pinho e Galdino (2014), o sistema também deve conter um dispositivo responsável pelo controle e condicionamento de potência composta por inversor e controlador de carga.

2.4 Controlador de Carga

Segundo Pinho e Galdino (2014) o controlador de carga (também denominados de gerenciadores de carga /reguladores de carga) tem como função principal, quando incluídos junto aos SFT isolados, proteger a bateria contra cargas excessivas. Os controladores devem se desconectar do gerador de energia no momento em que a bateria alcançar um nível de carga mínimo de segurança. Alguns reguladores de carga possuem a função de monitorar o desempenho do SFT, acionando um sistema de alarmes quando há a ocorrência de alguma anormalidade.

É importante destacar que, no momento de a escolha do tipo de controlador, deve ser avaliado suas especificações em relação ao tipo de bateria utilizado no sistema, a fim de buscar o dispositivo mais eficiente para a configuração do sistema adotado.

2.5 Baterias

As baterias são comumente aplicadas junto aos SFT isolados e híbridos, garantindo o fornecimento de energia elétrica durante o período noturno ou nos dias

Estudo De Implantação De Sistema Fotovoltaico Em Estações De Manutenção De Bicicletas No Município De Guabiruba/Sc

de menor irradiação solar. Em geral, as baterias são dispositivos eletroquímicos responsáveis em converter energia química em energia elétrica e vice-versa (PINHO; GALDINO, 2014).

A vida útil destes dispositivos pode ser expressa em duas formas: através do número de ciclos ou do período de tempo de utilização, variando de acordo com o tipo de serviço que a bateria foi especificada. A vida útil, determinada pelo número de ciclos, depende da profundidade de descarga do ciclo, da corrente de descarga e da temperatura de operação. Conforme Pinho e Galdino (2014), na aplicação das baterias junto aos SFT, os ciclos de carga/ descarga são diários, correspondendo ciclo de vida relacionado ao número de dias de serviço. Com a locação do equipamento em local adequado e com temperaturas ambientes controladas, além do controle de carga e sobrecarga, a vida útil do equipamento pode ser prolongada.

Quanto ao tipo de bateria aplicada nos sistemas fotovoltaicos, comumente são utilizadas as baterias estacionárias, que apresentam melhor desempenho para este tipo de sistema. Este tipo de bateria é fabricado com placas de chumbo mais grossas e materiais internos mais nobres que as convencionais. Além disso, possuem a capacidade de descarga mais profunda (80% da capacidade total), garantindo maior vida útil ao equipamento e menor tempo de uso (GUIMARÃES, 2020). Em alguns casos, utilizam-se também as baterias automotivas, porém, pelo fato de as baterias automotivas serem projetadas para operar em sua maior parte do tempo totalmente carregadas, a descarga máxima de uma bateria automotiva é relativamente menor se comparado a uma bateria estacionária, resultando em mais ciclos de uso em curto período de tempo.

2.6 Carport Solar

Os *carport* solares são estruturas que vem sendo muito aplicados para comportar painéis fotovoltaicos. Caracterizam-se como armações semelhantes àquelas utilizadas como suporte de placas fotovoltaicas instaladas sobre o solo, possuindo como diferencial a utilização da área inferior do telhado, pelo fato de serem instaladas a uma altura mais elevada, similares a de um estacionamento coberto comum.

Estudo De Implantação De Sistema Fotovoltaico Em Estações De Manutenção De Bicicletas No Município De Guabiruba/Sc

De acordo com Fontes (2020) o “carport” solar se resume em uma estrutura metálica que utiliza as placas solares para fechamento da cobertura. Esses, além de proporcionar uma fixação segura para as placas, possibilitam o posicionamento ideal em relação a orientação ao sol desejada, bem como a altura de instalação em relação ao piso, propiciando a área do piso suficiente para comportar os veículos.

2.7 Aplicação de iluminação LED em espaços públicos

Considerando que diversas cidades ainda utilizam luminárias de vapor de mercúrio, e outros modelos similares no sistema de iluminação pública, Novicki e Martinez (2008) destacam a importância da substituição dos modelos atuais por uma nova tecnologia LED (*Ligth Emitting Diode*), a fim de contribuir com a diminuição do consumo de energia e emissão de gases poluentes.

Dentre as diversas vantagens do uso de LED's para iluminação de espaços públicos, Novicki e Martinez (2008) destacam os principais:

- A segurança deste tipo de equipamento, diminuindo o risco de acidentes ocorridos durante a instalação e manutenção;
- Vida útil prolongada, representando cerca de 50 mil horas, reduzindo a necessidade de manutenções e trocas dos dispositivos;
- Menor consumo proporcionado pelo elevado grau de eficiência do equipamento, projetado para atingir um fluxo luminoso ideal;
- Ausência da emissão de radiação ultravioleta, diminuindo a atração de insetos a luminária, gerando menores riscos de degradação do equipamento;
- Resistência aos impactos e vibrações
- Minimização da poluição luminosa gerada pela bolha luminosa das luminárias sem tecnologia LED, projetadas de forma incorreta que contribuem com a redução da nitidez do céu.

Considerando os itens descritos acima, conclui-se que a aplicação dos LED's no meio urbano é recomendada, pois esta é capaz de produzir muito mais luz do que o calor, se comparado pelo emprego das lâmpadas incandescentes. Desta forma, as

Estudo De Implantação De Sistema Fotovoltaico Em Estações De Manutenção De Bicicletas No Município De Guabiruba/Sc

luminárias LED's tornam-se mais eficientes, capazes de reduzir o consumo de energia em até 50% em relação as luminárias comuns empregadas nesta situação

2.8 Emprego de Portas USB em Espaços Públicos

Os dispositivos USB (*Universal serial bus*) se tornaram uma tecnologia simples e rápida com a função de conectar diversos tipos de aparelhos (câmeras, *pen drives*, impressoras, carregadores) ao computador e a dispositivos móveis. Conforme Alecrim (2009), uma das vantagens de criação da tecnologia é a necessidade de padronizar a interconexão de equipamentos distintos, tornando isento a necessidade de um tipo de conector para cada aparelho.

Analisando-se a crescente demanda de equipamentos móveis nas atividades do ser humano, e considerando os constantes avanços na autonomia das baterias, em determinado momento se faz necessário o carregamento destes aparelhos, e a demanda por tomadas ou portas USB se tornam essenciais (ALECRIM, 2009).

Levando-se em conta a ampla necessidade da existência de pontos de alimentação e portas do tipo USB's, para carregamento de dispositivos móveis, a implantação destes módulos vem ganhando força em meio aos espaços públicos, tais como pontos de ônibus, praças e postes inteligentes, tornando uma solução bastante conhecida na rotina diária das pessoas. A implantação das portas USB's são bem aceitas por se tratar de uma instalação elétrica relativamente simples e de baixo consumo de energia elétrica.

Conforme Jornal da Cidade.Net (2020) o carregamento via USB geralmente padroniza o valor de tensão em 5V (volt), e possui variação de corrente entre 0,5 a 2 A (ampere), ou seja, quanto maior a corrente oferecida pelo módulo, mais rápido se torna o carregamento do dispositivo.

2.9 Estações de Manutenção de Bicicletas

As estações de manutenção de bicicletas existentes na cidade de Guabiruba/SC, encontram-se instaladas em praças e em áreas de estacionamento próximo a

Estudo De Implantação De Sistema Fotovoltaico Em Estações De Manutenção De Bicicletas No Município De Guabiruba/Sc

edificações públicas da cidade. As estações são compostas por uma estrutura metálica, para acondicionamento de bicicletas (quatro vagas de estacionamento) e um nicho com ferramentas e equipamentos, a serem utilizados na realização de pequenas manutenções nos veículos dos ciclistas. As Figuras 1 e 2 ilustram duas estações instaladas nos bairros Centro e Aymoré, respectivamente.



Figura 1: Perspectiva da estação localizada no centro durante o período noturno (OS AUTORES, 2020)

Estudo De Implantação De Sistema Fotovoltaico Em Estações De Manutenção De Bicicletas No Município De Guabiruba/Sc



Figura 2: Perspectiva da estação localizada no bairro Aymoré durante o período diurno (ABRADBI, 2020)

Em ambas as figuras (1 e 2) pode-se observar a área livre de obstáculos em torno das estações de manutenção de bicicletas, justificando a viabilidade de implantação de uma estrutura de telhado do tipo *carport* no local. Na figura 1 também é possível verificar que, no período noturno, o local fica desprovido de iluminação ideal para utilização do espaço.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

A finalidade do presente estudo consiste na elaboração de um projeto de sistema fotovoltaico e de uma estrutura do tipo *carport*, que devem ser implantadas junto as estações de manutenção de bicicletas localizadas no município de Guabiruba/SC.

Estudo De Implantação De Sistema Fotovoltaico Em Estações De Manutenção De Bicicletas No Município De Guabiruba/Sc

A escolha do desenvolvimento do projeto foi impulsionada pelas ações que a administração pública do município vem realizando, apoiados por parcerias internacionais e regionais, visando o desenvolvimento do ciclo turismo na região e ações voltadas a sustentabilidade.

3.1 Métodos Empregados

O trabalho desenvolvido pode ser caracterizado como sendo de natureza exploratória e descritiva, fazendo uso do método quantitativo para obtenção de dados e informações relevantes para o desenvolvimento do projeto. Da mesma forma, utiliza esse projeto, uma adequada revisão bibliográfica, visando sustentar de forma lógica e coerente os resultados do presente estudo.

3.2 Coleta de Dados / Informações

3.2.1 Localização das estações

Atualmente existem 6 pontos de estações de manutenção de bicicletas instaladas no município de Guabiruba, conforme identificados no mapa ilustrado pela Fig. 3.



Estudo De Implantação De Sistema Fotovoltaico Em Estações De Manutenção De Bicicletas No Município De Guabiruba/Sc



Figura 3: Pontos de estações de manutenção de bicicletas instalados no município de Guabiruba/SC (Fonte: GOOGLE EARTH, editado pelos autores, 2020).

O levantamento dos pontos existentes se tornou necessário com a finalidade de verificar qual o ponto de menor área livre disponível, para elaboração de uma estrutura de telhado padrão para todas as unidades.

3.2.2 Avaliação da radiação solar no município de Guabiruba/SC

Utilizou-se o programa SunData, na sua versão 3.0, para realização do procedimento de avaliação do recurso solar, referente aos locais de implantação do sistema fotovoltaico. O programa tem como principal função indicar o índice de irradiação média mensal, em qualquer ponto do território nacional.

Para obtenção dos resultados de irradiação solar, fez-se necessário a inserção dos dados referente a localização geográfica do município de Guabiruba no programa SunData, representada pelas coordenadas geográficas: Latitude 27° 5' 11" e Longitude 48° 59' 12".

Com os dados inseridos o programa apresentou os valores de irradiação solar média diária mensal no plano horizontal (HSP- hora de sol pleno), além da média total anual, conforme demonstra a Tab. 1.

Estudo De Implantação De Sistema Fotovoltaico Em Estações De Manutenção De Bicicletas No Município De Guabiruba/Sc

Tabela 1: Dados irradiação solar média diária mensal no Plano Horizontal para o município de Guabiruba, com base no programa Sun Data (Os AUTORES, 2020).

IRRADIAÇÃO SOLAR DIÁRIA MÉDIA MENSAL (kWh/m ² . dia)												
JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	MÉDIA
5,25	5,12	4,40	3,54	2,97	2,45	2,62	3,24	3,30	3,70	4,86	5,36	3,90

Analisando-se a Tabela 1, verifica-se que o mês de junho apresentou menor irradiância solar diária, representando uma queda de 45% em relação ao mês de dezembro, representado pela maior incidência solar do ano.

3.3 Definição dos Parâmetros do Sistema

Neste item deve ser definido o tipo de sistema fotovoltaico adotado, a forma de estrutura de telhado, o tipo de módulo fotovoltaico e demais equipamentos que devem compor o projeto.

3.3.1 Descrição do sistema a ser implantado

Optou-se pela implantação de sistema fotovoltaico *off grid* com armazenamento por baterias, considerando que o sistema deve atender uma demanda de potência relativamente baixa, bem como da impossibilidade de alimentação elétrica, das estações, através da concessionária de energia elétrica local.

Visto que o sistema tem a finalidade de atender os equipamentos de baixa tensão (5V e 12V), como dispositivos eletrônicos e um ponto de iluminação, o circuito adotado deve funcionar em C.C, tornando desnecessária a utilização do inversor fotovoltaico (inversor CC – CA).

3.3.2 Estrutura a ser adotada

O tipo de estrutura adotada é similar a uma estrutura do tipo “*carport*” sendo agregado, a essa, um forro de material do tipo policarbonato. A finalidade, deste forro, será a de facilitar a fixação dos painéis fotovoltaicos na estrutura, proporcionar maior

Estudo De Implantação De Sistema Fotovoltaico Em Estações De Manutenção De Bicicletas No Município De Guabiruba/Sc

resistência ao vento e isolamento da chuva, e proteger a estrutura que se encontra abaixo do telhado, destinada ao apoio das bicicletas, ferramentas de manutenção e demais componentes do sistema fotovoltaico. A inclinação da estrutura foi definida em função da latitude geográfica da localidade de Guabiruba/SC (neste caso 27°), considerando que é a inclinação recomendada para a instalação do painel solar, a fim de obter o melhor aproveitamento do equipamento.

3.3.3 Definição dos equipamentos de consumo de energia elétrica

Por se tratar de um projeto inicial e, a princípio, experimental, o custo de implantação deve ser minimizado. Assim sendo, num primeiro momento, os equipamentos a serem instalados serão dois módulos USB (com duas conexões cada, totalizando 4 portas USB), destinados ao carregamento de equipamentos eletrônicos, e uma luminária LED para iluminação do local durante os períodos de ausência de luminosidade natural. As características de cada equipamento adotado estão descritas a seguir.

3.3.3.1 Módulo USB

Devido a fonte de alimentação dos dispositivos a serem implantados ser proveniente de um sistema de baterias, optou-se pelo uso de módulo USB náutico, destinado para aplicações em barcos/lanchas ou até veículos automotores, por conter as características de tensão de operação de 12 à 24V, e ser indicado para aplicação em áreas externas, por ser fabricado de material mais resistente e possuir tampa protetora.

3.3.3.2 Luminária LED

O tipo da luminária LED, elegida para esse projeto, possui potência de 6,8 W, tensão de alimentação de 12V, fluxo luminoso de 830 lúmens (lm), material composto por alumínio e acrílico de alta qualidade, com vida útil estimada em 50.000 horas.

Estudo De Implantação De Sistema Fotovoltaico Em Estações De Manutenção De Bicicletas No Município De Guabiruba/Sc

Além das características mencionadas acima, o produto possui tecnologia *ActiveDim*, que permite ajustes da intensidade luminosa da luminária, resultando em maior economia de energia elétrica e iluminação adequada para o tipo de ambiente. Outrossim, esta tecnologia, possibilita a compensação da luz externa do ambiente, neste caso no período diurno, em que não se faz necessário o acionamento da luminária.

3.3.4 Módulo fotovoltaico a ser instalado

Optou-se na instalação de um módulo policristalino fabricado pela empresa *Canadian Solar*, a fim de garantir a potência mínima necessária para alimentação dos equipamentos previstos na instalação, assegurando também uma margem excedente de energia gerada permitindo a implantação futura de novos equipamentos no futuro.

Para a escolha do equipamento se fez necessário realizar o levantamento da área disponível de instalação (conforme definida no projeto básico da estrutura metálica), com a finalidade de realizar a escolha de um módulo que se enquadraria nas dimensões disponíveis.

3.3.5 Demais componentes do sistema fotovoltaico

Neste item devem ser descritos os equipamentos e suas especificações que compõem o sistema fotovoltaico híbrido.

3.3.5.1 Controlador de carga MPPT

A escolha do controlador, a compor o sistema, dar-se-á em função da corrente dimensionada no projeto, de modo que atenda também as especificações do painel escolhido. Em relação ao modelo, optou-se na instalação de um controlador de carga MPPT- *maximum power point tracking* (no português, rastreamento de ponto de potência máximo), por apresentarem um fator de aproveitamento cerca de 30% maior do que os controladores tradicionais. Para o ganho dessa eficiência, é importante

Estudo De Implantação De Sistema Fotovoltaico Em Estações De Manutenção De Bicicletas No Município De Guabiruba/Sc

analisar a corrente máxima de potência do painel solar, para que não ultrapasse a corrente máxima de potência do controlador de carga.

3.3.5.2 Bateria estacionária

Em relação ao modelo de bateria a ser adotada no sistema, optou-se por uma bateria do tipo estacionária, por permitir grandes ciclos de descarga diários (podendo chegar até 80% da capacidade total). Devido a vida útil destes equipamentos serem projetadas para períodos consideráveis, se torna uma opção eficiente para aplicação em sistemas solares, considerando também o custo-benefício do equipamento em relação a outros tipos de baterias utilizadas para esta finalidade. Como exemplo de uma inadequada relação custo-benefício, na atualidade, pode-se citar as baterias de lítio, que possuem uma capacidade de descarga de 100% tendo, no entanto, valores de mercado mais elevados.

3.3.6 Fator de desempenho do sistema fotovoltaico

Para a obtenção dos valores de geração de energia total do sistema fotovoltaico, devem ser considerados alguns fatores de perdas envolvidos no sistema, em função da temperatura, sombreamento, sujeiras que se acumulam nos painéis, posicionamento dos módulos e outras considerações. De um modo geral, este índice, denominado *Performance Ratio*, avalia a geração real de um projeto em relação a capacidade de geração teórica máxima possível (ENERGES, 2020).

A energia gerada é o valor registrado pelo monitoramento do sistema, dado em kWh. Tendo a informação de geração, adota-se um intervalo de tempo, geralmente meses ou ano, para obtenção do valor de energia teórica dentro do período escolhido. É importante destacar que o mesmo intervalo de tempo deve ser adotado no cálculo da energia teórica.

Em relação a energia teórica, esta é definida através da análise entre a irradiação existente no local de instalação do sistema, o tempo de análise, a área de ocupação dos módulos e o rendimento do módulo.

Estudo De Implantação De Sistema Fotovoltaico Em Estações De Manutenção De Bicicletas No Município De Guabiruba/Sc

De acordo com Energes (2020), de um modo geral os sistemas fotovoltaicos apresentam uma *Performance Ratio* em torno de 75%, ou seja, considerando o valor de perda equivalente a 25%. Para o presente estudo adotou-se uma taxa padrão de *performance ratio* de 60%, visto que deve haver uma variação de perdas entre os 06 pontos de estações de manutenção de bicicletas, devido as características de cada local e orientação (em geral voltadas para o nordeste). Desta forma, trabalhou-se como um fator de segurança acima do indicado, garantindo a eficiência do sistema padrão, para que possa ser replicado nas 6 localidades desejadas.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Dimensionamento do Sistema

O dimensionamento de cada elemento do sistema foi elaborado através dos cálculos apresentados a seguir.

4.1.1 Cálculo de demanda energética do sistema

A Tabela 2 apresenta a somatória das potências (W) dos equipamentos que o sistema fotovoltaico deve alimentar.

Tabela 2: Descrição e demanda energética dos equipamentos adotados no SFT (OS AUTORES, 2020).

EXIGÊNCIAS DE CONSUMO					
ITEM	DESCRIÇÃO	QTD.	POTÊNCIA (W)	HORAS DE CONSUMO (h)	CONSUMO DIÁRIO (Wh)
1	Luminária LED 12V	1	6,8	12	81,60
2	Módulo USB 5V	2	20	8	160
Consumo total diário (Wh)					241,60

4.1.2 Cálculo de Potência dos Módulos Fotovoltaicos

O valor de potência mínima do painel solar obter-se-á através da Eq 1:

Estudo De Implantação De Sistema Fotovoltaico Em Estações De Manutenção De Bicicletas No Município De Guabiruba/Sc

$$P = \frac{E}{IR * n} \quad \text{Eq. (1)}$$

$$P = \frac{241,60}{2,45 * 0,60}$$

$$P = 164,35 \text{ W}$$

Onde:

P = potência mínima necessária no painel solar, em Watts (W);

E = demanda energética diária dos equipamentos (Wh);

Ir = Irradiação solar diária média mensal (kWh/m². dia) do mês mais crítico, considerado mês de junho, conforme a tabela 1 ilustrada no tópico 3.2.2;

n= fator de desempenho do sistema (adotado 60%).

Através dos valores obtidos, optou-se pelo modelo de módulo MAXPOWER2CS6U330P da *Canadian Solar*. Para a escolha desse modelo de módulo, além de verificar a demanda mínima necessária e a área disponível para instalação, outro fator que influenciou na escolha desse modelo foi o valor comercial, visto que módulos com potência menor (entre 150 a 250W) geram um investimento maior do que se aplicado um módulo com capacidade de 330W (como pode ser observado na tabela 3), tornando a terceira opção mais atraente ao consumidor.

Tabela 3: Comparativo de custos entre módulos fotovoltaicos (OS AUTORES, 2020)

Comparativo de Custos dos módulos fotovoltaicos				
Fornecedor	Potência do módulo (W)	Quantidade de módulos necessária	Custo médio de mercado por unidade	Custo médio total
NEOSOLAR	150	2,0	R\$ 439,00	R\$ 878,00
PW ELETRÔNICOS	250	1,0	Produto descontinuado	-
	330	1,0	R\$ 775,00	R\$ 775,00

4.1.3 Dimensionamento do Controlador de Carga

O valor da corrente (A), que o controlador de carga deve atender, será definido através da Eq. 2, a seguir:

Estudo De Implantação De Sistema Fotovoltaico Em Estações De Manutenção De Bicicletas No Município De Guabiruba/Sc

Eq. (2)
$$I = \frac{P}{V}$$

$$I = \frac{164,35}{12}$$

$$I = 13,70 A$$

Onde:

I = corrente mínima necessária para o controlador de carga (A);

P = Capacidade de potência do painel (Wh); V = tensão de operação do sistema (V).

De acordo com os cálculos efetuados, para a corrente a ser consumida pelas cargas, um controlador comum de 20A seria o suficiente para atender a demanda. Porém, considerando as especificações técnicas do equipamento, para atender a potência de 330W gerada pelos painéis, tornou-se necessário a implantação de um controlador MPPT de 30A para satisfazer todos os pré-requisitos necessários.

4.1.4 Cálculo de Capacidade da Bateria

Através das informações estabelecidas na Tab.4, referente ao quadro de cargas do sistema *off-grid* analisado, realizou-se os cálculos necessários (representados na Eq. 03) a fim de definir a capacidade da bateria a ser adotada no sistema.

Tabela 4: Tabela de dimensionamento de autonomia de Baterias (OS AUTORES,2020).

Tabela de Cargas Sistema Off-Grid Dimensionamento de Autonomia de Baterias						
ITEM	DESCRIÇÃO	QTD.	POTÊNCIA (W)	Horas / Dia	CONSUMO DIÁRIO (Wh)	Bateria (Ah)
11	Luminária LED 12V	1	6,8	12	81,6	6,8
2	Módulo USB 5V	2	20	8	120	32
Capacidade da bateria (Ah)						38,8

A capacidade necessária da bateria será dimensionada através da Eq. 3 abaixo:

Estudo De Implantação De Sistema Fotovoltaico Em Estações De Manutenção De Bicicletas No Município De Guabiruba/Sc

Eq. (3) $Capacidade\ mínima\ da\ bateria\ (luminária) = I * tempo$

$$Capacidade\ mínima\ da\ bateria = \left(\frac{6,8}{12}\right) * 12$$

$$Capacidade\ mínima\ da\ bateria = 0,5 * 12$$

$$Capacidade\ mínima\ da\ bateria = 6,8\ Ah$$

Eq. (3) $Capacidade\ mínima\ da\ bateria\ (módulos\ USB) = I * tempo$

$$Capacidade\ mínima\ da\ bateria = \left(\frac{20}{5}\right) * 12$$

$$Capacidade\ mínima\ da\ bateria = 4 * 8$$

$$Capacidade\ mínima\ da\ bateria = 32\ Ah$$

Onde:

Capacidade mínima da bateria =

calculada em Ah;

I = corrente calculada no sistema, através da Eq. 2 (A);

T = tempo de funcionamento do equipamento (horas).

Realizando a somatória da demanda de bateria que cada equipamento deve consumir, obteve-se o resultado de capacidade total da bateria, sendo de 38,8Ah, conforme demonstrado na Tab. 4. Considerando que a capacidade de descarga, de bateria estacionárias, situa-se em torno de 80%, admitiu-se 20% a mais da carga calculada (resultando em 46,56Ah), a fim de armazenar 100% da energia necessária para o sistema operar em um dia de autonomia, realizando apenas um ciclo de descarga. Por outro lado, este percentual de acréscimo na capacidade de armazenamento, evita que a bateria se descarregue por completo, evitando danos e diminuição da vida útil deste equipamento.

4.2 Dimensionamento com a utilização do aplicativo PVSYST

Com o intuito de ratificar e/ou retificar os resultados apresentados no tópico 4.1, realizou-se o pré-dimensionamento do sistema isolado com auxílio do software PVsyst versão 7.0. Detalha-se, a seguir, as etapas de tarefas inseridas no software para obtenção dos resultados.

Estudo De Implantação De Sistema Fotovoltaico Em Estações De Manutenção De Bicicletas No Município De Guabiruba/Sc

Inicialmente realizou-se a escolha do tipo de pré-dimensionamento adotado, nesse caso para um sistema isolado com armazenamento de baterias. A Figura 4 demonstra as etapas do pré-dimensionamento realizado no software, sendo dividida nos seguintes itens:

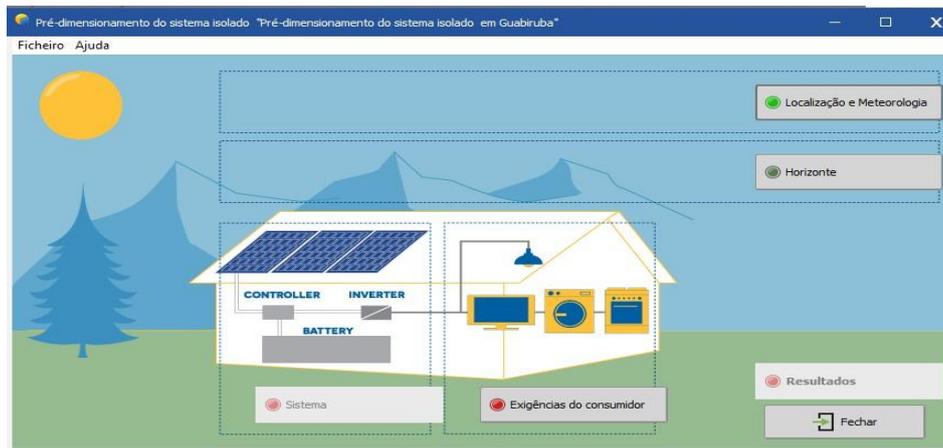


Figura 4. Etapas do pré-dimensionamento definidas pelo software PVsyst (PVsyst V.7.0, 2020).

➤ **Localização e Meteorologia:** neste item foram adicionadas as coordenadas geográficas do município de Guabiruba, haja visto que a localidade não se encontra pré-definida no banco de dados do sistema. Com a inserção das coordenadas, realizou-se o preenchimento dos dados referente a irradiação global horizontal, conforme dados apresentados na Tab.1. Nessa aba também foram inseridas informações referentes as temperaturas médias mínimas registradas em um período de 30 anos, de acordo com os registros realizados pelo Climatempo (2020). A Fig. 5 demonstra a aba em que estas informações foram inseridas no software *PVsyst*.

Estudo De Implantação De Sistema Fotovoltaico Em Estações De Manutenção De Bicicletas No Município De Guabiruba/Sc

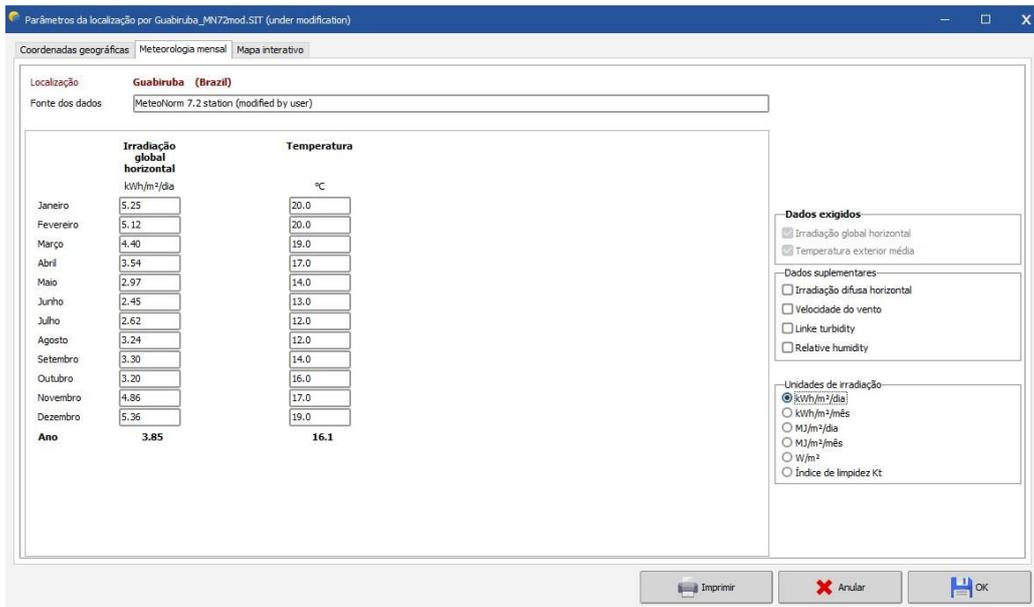


Figura 5. Inserção dos dados de irradiação e temperatura para a localidade de Guabiruba/SC (PVsyst, 2020).

➤ Horizonte: neste item devem ser definidos os parâmetros referentes a sombreamentos que possam influenciar na eficiência do sistema. Considerando que este fator deve variar entre os 6 pontos de aplicação do sistema, considerou-se uma carga horária de irradiação solar existente entre as 8:00 horas da manhã até as 16:00 horas da tarde, compensando a pequena fração horária em que possa ocorrer algum tipo de sombreamento nos locais de objeto deste estudo. A Fig. 6 demonstra a definição do horizonte adotada no software Pvsyst.

Estudo De Implantação De Sistema Fotovoltaico Em Estações De Manutenção De Bicicletas No Município De Guabiruba/Sc

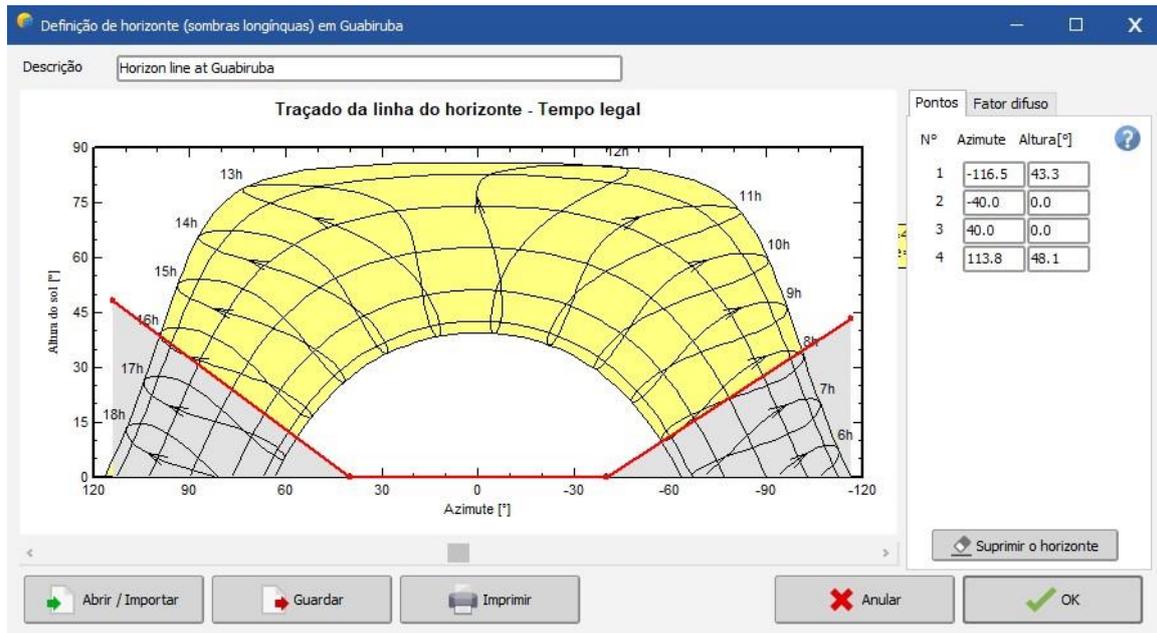


Figura 6. Definição do horizonte (PVsyst, 2020).

➤ Exigências do consumidor: nesta etapa inseriu-se todas as informações referente a especificação dos equipamentos que o sistema deve atender, destacando a potência de cada equipamento e as horas de funcionamento de cada um deles. As figuras 6 e 7 demonstram as etapas descritas neste item.

Estudo De Implantação De Sistema Fotovoltaico Em Estações De Manutenção De Bicicletas No Município De Guabiruba/Sc

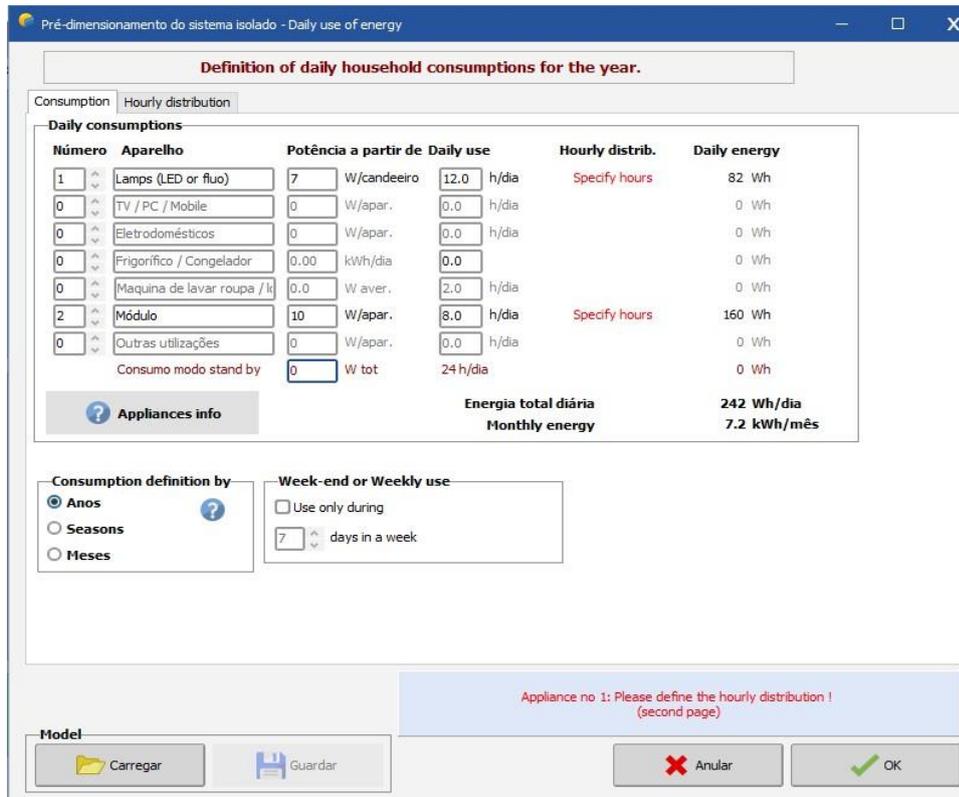


Figura 6. Especificação dos equipamentos que o sistema deve alimentar (PVsyst, 2020).

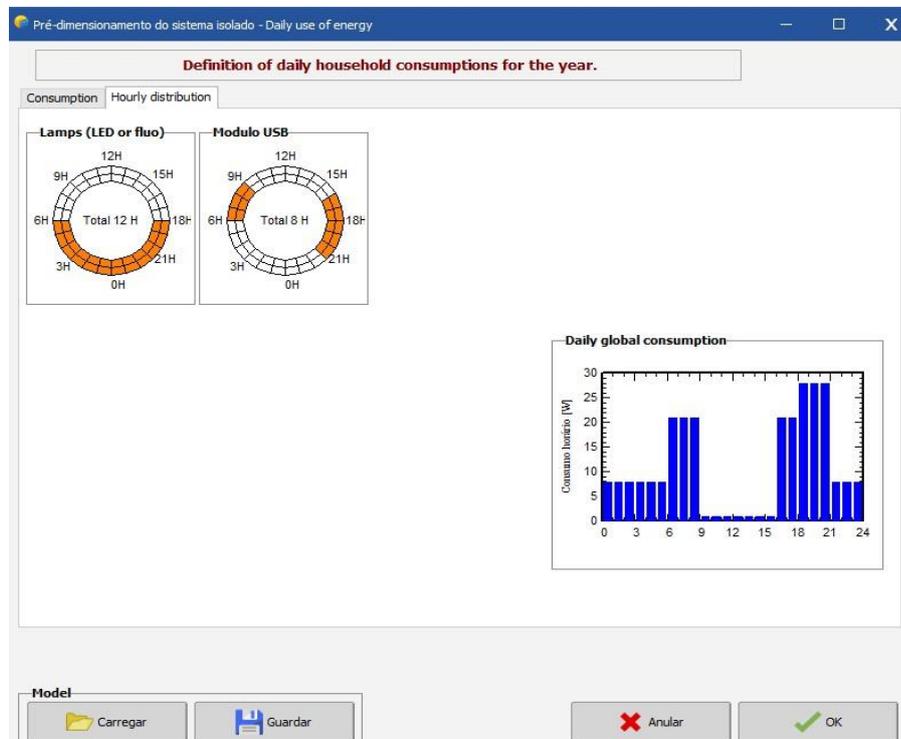


Figura 7. Especificação do horário de funcionamento de cada equipamento (PVsyst, 2020).

Estudo De Implantação De Sistema Fotovoltaico Em Estações De Manutenção De Bicicletas No Município De Guabiruba/Sc

➤ Sistema: na última etapa, são fornecidas ao sistema o fator de inclinação que os módulos devem ser instalados (27° conforme mencionado anteriormente no item 3.3.2), bem como o desvio em relação ao azimute considerando que, nesse caso, o alinhamento não se encontra posicionado ao norte, e sim a nordeste, acarretando um fator de perdas maior que o recomendado.

Após todas as informações inseridas no sistema, solicita-se os resultados, aos quais podem ser observados na Fig. 8.



Figura 8. Resultados do pré-dimensionamento obtidos através do software PVsyst (PVsyst, 2020).

Observando-se os resultados acima, para o sistema de baterias em 12V, a potência dos módulos fotovoltaicos calculada resultou em 153 W corroborando, dessa forma, o cálculo apresentado no item 4.1.2, visto que se considerou um fator de aproveitamento menor do que o calculado pelo software tendo, dessa forma, uma margem de segurança superior.

Em relação ao dimensionamento da capacidade de baterias, verifica-se que o aplicativo sugere uma bateria com capacidade de 24 Ah, sendo inferior a bateria dimensionada pelo projeto. Esse fato se justificativa tendo em vista que, o aplicativo

Estudo De Implantação De Sistema Fotovoltaico Em Estações De Manutenção De Bicicletas No Município De Guabiruba/Sc

PVsyst, considera uma parcela da energia, fornecida aos equipamentos, diretamente dos painéis, reduzindo a corrente necessária acumulada na bateria.

4.3 Ilustração 3D do Sistema

Para a elaboração da representação do projeto em três dimensões, utilizou-se as ferramentas do aplicativo *SketchUp 2017* para o desenvolvimento das ilustrações apresentadas nas figuras 9, 10 e 11.



Figura 9. Perspectiva em 3D da proposta de projeto (lateral direita) (OS AUTORES).

Estudo De Implantação De Sistema Fotovoltaico Em Estações De Manutenção De Bicicletas No Município De Guabiruba/Sc



Figura 10. Perspectiva em 3D da proposta de projeto (lateral esquerda) (OS AUTORES).

Estudo De Implantação De Sistema Fotovoltaico Em Estações De Manutenção De Bicicletas No Município De Guabiruba/Sc



Figura 11. Perspectiva em 3D da proposta de projeto (fundos) (OS AUTORES).

4.4 Estimativa de Custo para a Implantação do Sistema

Através da especificação dos produtos adotados para compor o sistema fotovoltaico, realizou-se a cotação de valores de venda no mercado (ano base 2020), conforme valores repassados pelos respectivos fornecedores listados na Tab. 5. O valor médio estimado resultou em R\$6.438,00, sem inclusão dos valores de instalação de cada equipamento.

Tabela 5. Estimativa de custos para implantação do sistema fotovoltaico (OS AUTORES).

ESTIMATIVA DE CUSTOS- SFT ISOLADO- GUABIRUBA					
ITEM	FORNECEDOR	DESCRIÇÃO	VALOR UNITÁRIO (R\$)	QTD.	VALOR TOTAL (R\$)
1	PW ELETRÔNICOS	Módulo fotovoltaico Canadian solar (CS6U330P)	775,00	1	775,00
2	ENERGY SHOP	Bateria estacionária Freedom 50Ah-DF700	389,00	1	389,00

Estudo De Implantação De Sistema Fotovoltaico Em Estações De Manutenção De Bicicletas No Município De Guabiruba/Sc

3	ALFA LED	Luminária Led Star-7 modelo A- 6,8W	305,00	1	305,00
4	NEOSOLAR	Controlador de carga	789,00	1	789,00
5	TIBURON NÁUTICA	Módulo USB	120,00	2	240,00
6	METAL BRUSQUE	Estrutura metálica (sem instalação)	4.000,00	1	4.000,00
VALOR TOTAL ESTIMADO					6.498,00

5. CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos, constata-se a viabilidade da implantação do sistema fotovoltaico *off grid*, com armazenamento de baterias, junto as estações de manutenção de bicicletas existentes na cidade de Guabiruba/SC. Essa afirmativa baseia-se em alguns fatores importantes avaliados, sendo eles: índices de irradiação solar suficientes, posicionamento e orientação do módulo admissível, e área livre disponível para implantação do sistema. Outro item importante a ressaltar, é a disponibilidade dos equipamentos sugeridos no mercado, adequados para atender a demanda energética solicitada em questão, visto conter características de desempenho satisfatório.

Através da revisão bibliográfica, verificou-se que a aplicação de soluções fotovoltaicas vem crescendo constantemente, com o objetivo de reduzir o consumo de energia proveniente de combustíveis fósseis, contribuindo com o crescimento dos índices de geração de energia renovável. Nesse intuito, com a criação de diversos programas objetivados a incentivar projetos relacionados a sustentabilidade, destaca-se a recente parceria firmada entre o município de Guabiruba/SC e a cidade Karlsdorf-Neuthard (Alemanha). Devido a essa parceria, a elaboração de medidas e ações voltadas para o projeto “50 parcerias pelo clima”, e alinhadas a ODS, a implantação do presente projeto também pode ser avaliada como uma medida a incrementar esse conjunto de ações.

Por fim, o projeto apresenta outros aspectos positivos dentre eles, a contribuição de geração de energia sustentável na cidade, o incentivo do uso de bicicletas como modal de transporte (contribuindo com a redução de gases poluentes

Estudo De Implantação De Sistema Fotovoltaico Em Estações De Manutenção De Bicicletas No Município De Guabiruba/Sc

no meio urbano), além de servir como ponto de apoio para o ciclo turistas que trafegam pela região.

6. REFERÊNCIAS

ABRADIBI. **Estações da bicicleta são ponto de apoio ao cicloturismo em Guabiruba/SC.** São Paulo, 2020. Disponível em: <http://www.abradibi.com.br/noticias/mobilidade/estacoesda-bicicleta-sao-ponto-de-apoio-ao-cicloturismo-em-guabirubasc>. Acesso em: 13 out. 2020.

ALECRIM, Emerson. **O que é USB?** (velocidades, conectores e versões). São Paulo, 2009. Disponível em: <https://www.infowester.com/usb.php>. Acesso em: 01 nov. 2020

BORTOLOTO, Valter A. et al. **Geração de energia solar on grid e off grid.** In: Jornada Científica e Tecnológica (FATEC), 6, 2017, Botucatu. **Anais [...]** São Paulo. Disponível em: <http://www.jornacitec.fatecbt.edu.br/index.php/VIJTC/VIJTC/paper/viewFile/1069/1234>. Acesso em: 07 out. 2020.

CLIMATEMPO. **Climatologia e histórico de previsão do tempo em Guabiruba,SC.** Disponível em: <https://www.climatempo.com.br/climatologia/4605/guabiruba-sc>. Acesso em: 30 nov. 2020.

ENERGÊS. **Como calcular a performance ratio.** 27 jul. 2020. Disponível em: <https://energes.com.br/energia-solar/performance-ratio/>. Acesso em: 04 out. 2020.

EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Anuário estatístico de energia elétrica ano base 2019.** 2020. Disponível em https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dadosabertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-160/topico-168/Anu%C3%A1rio_2019_WEB_alterado.pdf. Acesso em 07 out. 2020.

FONTES, Ruy. **Carport solar:** conheça os benefícios do estacionamento solar + preço. 30 out. 2020. Disponível em: <https://blog.bluesol.com.br/carport-solar-tudo-sobre/>. Acesso em: 07 out. 2020.

FONTES, Ruy. **O guia mais absurdamente completo da energia solar fotovoltaica:** entenda tudo. 30 abr. 2019. Disponível em: <https://blog.bluesol.com.br/energia-solarfotovoltaica-guia-supremo/>. Acesso em: 07 out. 2020.

GÓMEZ *et al.* Da. A irradiância solar: conceitos básicos. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 40, n. 03, mar. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/1806-9126-rbef-20170342>. Disponível em:

Estudo De Implantação De Sistema Fotovoltaico Em Estações De Manutenção De Bicicletas No Município De Guabiruba/Sc

https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S180611172018000300412&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 04 out. 2020.

GUIMARÃES, Gabriel. **Baterias para o sistema fotovoltaico**: entenda. Disponível em: <https://www.solarvoltenergia.com.br/blog/baterias-para-o-sistema-fotovoltaico-entenda/>. Acesso em: 01 nov. 2020.

JORNAL DA CIDADE.NET. Como funcionam as tomadas USB? **Jornal da Cidade.Net**. Aracaju, 19 jun. 2020. Disponível em: <http://www.jornaldacidade.net/morarbem/2020/06/318138/como-funcionam-as-tomadas-usb.html>. Acesso em: 01 nov. 2020.

MERCADO LIVRE. **Carregador UBS náutico duplo Arieltek iluminação marinizado**. 2020. Disponível em: https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1331862273-carregadorusb-nautico-duplo-arieltek-iluminaco-marinizado-_JM?matt_tool=86155663&message=true. Acesso em: 07 out. 2020.

NEOSOLAR. **Energia solar fotovoltaica off grid**. Disponível em: https://www.neosolar.com.br/images/saiba-mais/energia_solar_fotovoltaica-off-grid.jpg. Acesso em: 04 out. 2020.

NOVICKI, Jackson Merise; MARTINEZ, Rodrigo. **LEDs para iluminação pública**. 2008. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008. Disponível em: <http://www.eletrica.ufpr.br/p/arquivostccs/41.pdf>. Acesso em: 01 nov. 2020.

OLIVEIRA, Edwin Gabriel Carvalho; VILLA, Alvaro Antonio Ochoa; COSTA, José Angelo Peixoto da. Conceitos básicos de sistemas solares fotovoltaicos. **Revista Cientec**, Pernambuco, vol. 9 n. 3, p. 105-118, dez 2017. Disponível em: <http://revistas.ifpe.edu.br/index.php/cientec/article/view/278>. Acesso em 06 out. 2020.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS DO BRASIL. **Investimento em energias renováveis supera o de combustíveis fósseis em 2018 no mundo**. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/investimento-em-energias-renovaveis-supera-o-de-combustiveisfosseis-em-2018-no-mundo/>. Acesso em: 04 out. 2020.

PINHO, João Tavares; GALDINO, Marco Antônio (org.). **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Disponível em: <https://www.portal-energia.com/downloads/livromanual-de-engenharia-sistemas-fotovoltaicos-2014.pdf>. Acesso em: 04 out. 2020.

RENEWABLES 2020 global status report. Paris: REN 21 secretariat. 2020. Disponível em: https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/gsr_2020_full_report_en.pdf. Acesso em 07 out. 2020.

Estudo De Implantação De Sistema Fotovoltaico Em Estações De Manutenção De Bicicletas No Município De Guabiruba/Sc

SEBRAE RESPOSTAS. **Energia solar: qual a diferença entre sistemas on grid e Off grid?** 30 maio 2020. Disponível em: <https://respostas.sebrae.com.br/energia-solar-qual-adiferenca-entre-sistemas-on-grid-e-off-grid/>. Acesso em: 04 out. 2020.

SILVA, Marcelo S. da. **Energia elétrica no Brasil: dados e geração.** Alameda, 07 maio 2020. Disponível em: https://www.suapesquisa.com/o_que_e/energia_eletrica.htm. Acesso em: 07 out. 2020.

SILVEIRA, Mariana Oliveira da. **Mobilidade sustentável: a bicicleta como um meio de transporte integrado.** 2010. Dissertação de Mestrado (Mestre em Engenharia de Transportes) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: http://objdig.ufrj.br/60/teses/coppe_m/MarianaOliveiraDaSilveira.pdf. Acesso em: 04 out. 2020.

SOLARPRIME. **Entenda o que são células fotovoltaicas e suas funções.** 28 maio 2020. Disponível em: < <https://blog.solarprime.com.br/o-que-sao-celulas-fotovoltaicas/>. Acesso em: 07 out. 2020.