

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, conseqüentemente 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	m³/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_{ac} - 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.

$$T_{rs} = \frac{\Delta C}{E_{Co R\$mensal}}$$

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 supervisor denominado *Smart System Edge* e laboratório de testes que inclui a bancada 4.0.

3.1 Descrição do sistema supervisor 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 supervisor 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 supervisor 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 supervisor 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 supervisor da bancada 4.0, com informações específicas 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.

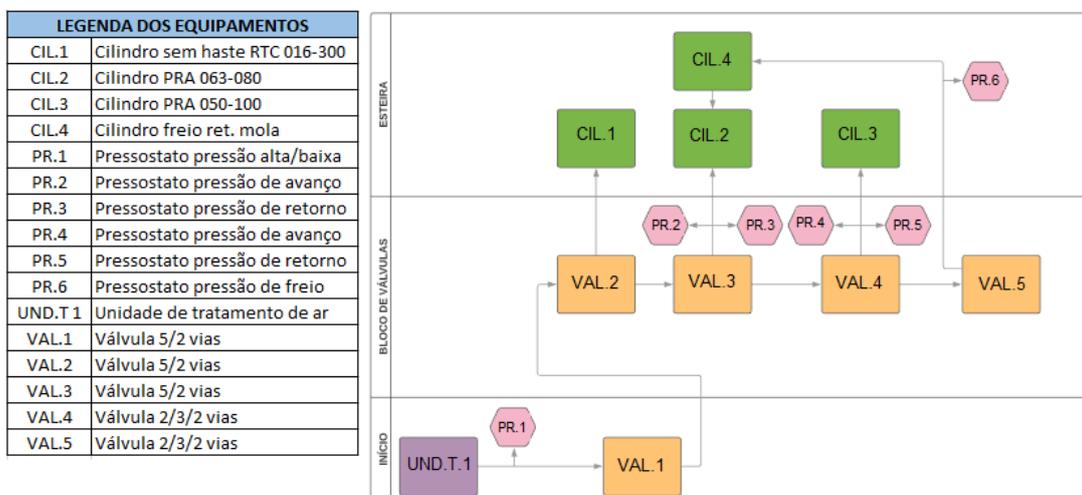


Figura 2. Fluxograma do circuito de funcionamento da bancada 4.0 (OS AUTORES).

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.

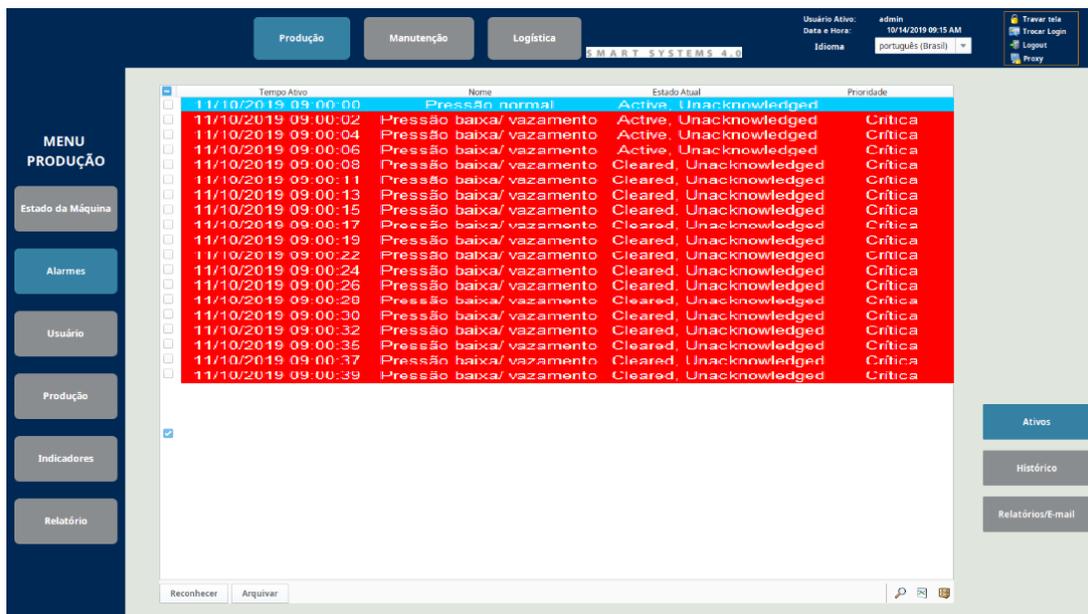


Figura 3. Tela inicial da leitura dos dados do CLP (AVENTICS, 2019).

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: <[http://www.sebrae.com.br/setor/ agroenergia/o-setor/innovacao-e-tecnologica-1/eficiencia – energetica/](http://www.sebrae.com.br/setor/agroenergia/o-setor/innovacao-e-tecnologica-1/eficiencia-energetica/)>. Acesso em: 04 abril 2019.

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.

8 ANEXOS

8.1 Anexo A

Figura 6 e 7, fluxostato instalado na bancada 4.0.



Figura 6. Frontal fluxostato Aventics (OS AUTORES).

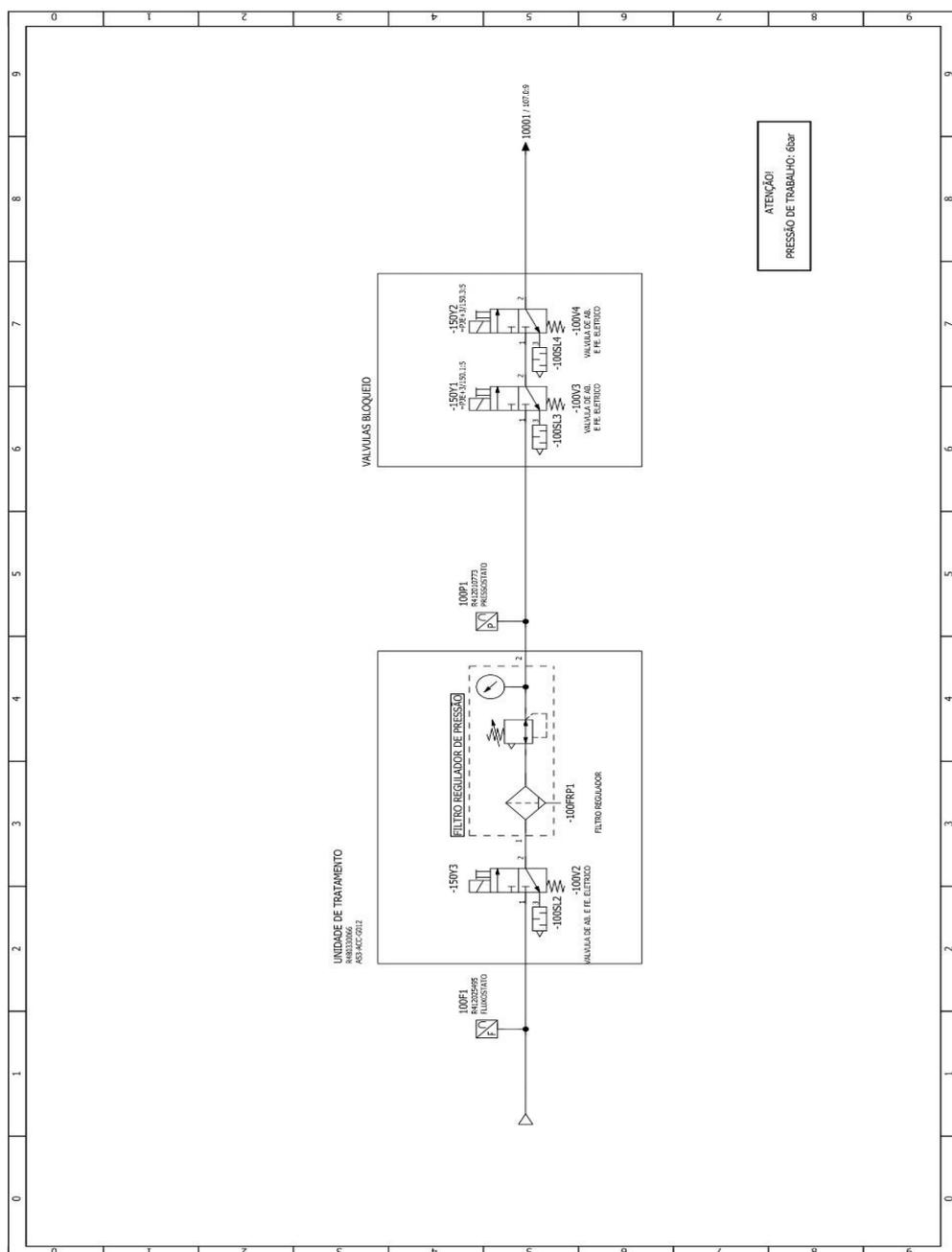


Figura 7. Lateral fluxostato Lateral Aventics (OS AUTORES)

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).



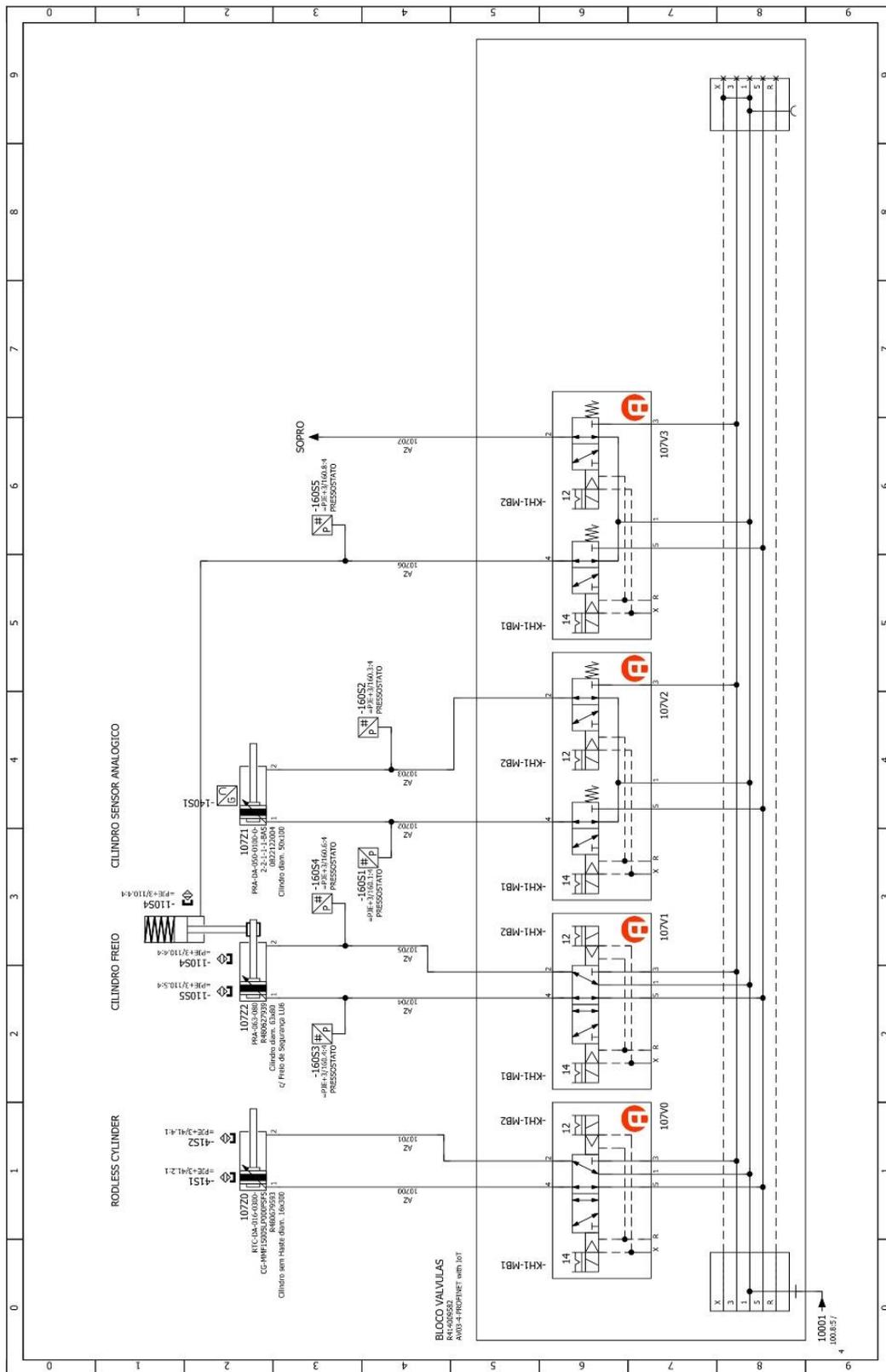


Figura 9. Diagrama pneumático da bancada continuação parte II (AVENTICS, 2019).