

## ANÁLISE DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DO POLIETILENO DE ALTA DENSIDADE RECICLADO SUBMETIDO AO ENSAIO DE NÉVOA SALINA

ANALYSIS OF THE MECHANICAL PROPERTIES OF RECYCLED HIGH DENSITY POLYETHYLENE SUBMITTED TO SALT SPRAY TEST

Cássio Aurélio Suski <sup>1</sup>  
Pablo Rodrigo Hoffmann <sup>2</sup>

**RESUMO:** Por toda a extensão da cronologia humana, o ser humano sempre conseguiu se superar no quesito de construir e aprimorar os seus utensílios para uma melhor vivência. Todavia, gerou e continua a gerar, incessantemente, uma imensa quantidade de resíduos, que hoje ameaça a vida no nosso planeta. Este artigo teve como objetivo analisar a degradação de polímeros de alta densidade (PEAD) por meio da salinização e umidade, para estudar a influência desses parâmetros na estrutura do material e, consequentemente, nas suas propriedades mecânicas. Foram confeccionados corpos de prova de PEAD reciclados por meio da Trituração de embalagens, prensagem a quente em molde de alumínio e usinagem, formando, assim, duas chapas nas quais foi possível fazer a usinagem dos corpos de prova de ensaio de tração. Os corpos de prova CP1 ao CP4, oriundos da primeira chapa, e os corpos de prova CP5 ao CP10, oriundos da segunda chapa, foram divididos em grupo controle (não submetidos ao ensaio de névoa salina) e grupo variável (submetidos a 1000 horas de ensaio de névoa salina). Após o ensaio de névoa salina, realizaram-se os ensaios de tração em todos os corpos de prova do grupo controle e do grupo variável, a fim de analisar a influência da névoa salina nas propriedades mecânicas do polímero. Os resultados mostram a redução das propriedades mecânicas do PEAD após exposição em câmara de névoa salina, sugerindo que houve um processo de degradação por cisão da sua cadeia polimérica.

**Palavras-chave:** polímero, polietileno de alta densidade, reciclagem, propriedades mecânicas, névoa salina.

**ABSTRACT:** *Throughout history, humans have consistently demonstrated exceptional skills in developing and refining tools to enhance their experiences. However, it has produced and continues to create a great deal of waste, endangering life on Earth today. This article analyzes the polymer degradation of high-density (HDPE) through salinization and humidity to learn the influence of these parameters on the material structure and, consequently, on its mechanical properties. Recycled HDPE specimens were created by shredding, hot pressing in an aluminum mold, and machining, resulting in two plates that allowed for the machining of tensile test specimens. The specimens CP1 to CP4, from the first plate, and the specimens CP5 to CP10, from the second plate, were divided into a control group (not subjected to the salt spray test) and a variable group (submitted to 1000 hours of testing of salt mist). After the salt*

<sup>1</sup> Doutor em Ciência e Engenharia de Materiais. Instituto Federal de Santa Catarina. E-mail: cassio.suski@ifsc.edu.br

<sup>2</sup> Estudante de Engenharia Elétrica. Instituto Federal de Santa Catarina. E-mail: pablo.rh13@aluno.ifsc.edu.br

*spray test, tensile tests were conducted on all specimens from the control group and the variable group to analyze the influence of salt spray on the mechanical properties of the polymer. The results indicate a decrease in the mechanical properties of HDPE following exposure to a salt spray test, implying that a degradation process occurred due to the scission of its polymeric chain.*

**Keywords:** polymer; high density polyethylene; recycling; mechanical properties; salt spray.

## 1 INTRODUÇÃO

Por volta de 1780, período que ficou marcado pelo início da primeira Revolução Industrial, os resíduos produzidos nas residências eram basicamente constituídos de material orgânico, em geral, o que facilitava a eliminação. É importante ressaltar que o tamanho das cidades e o número populacional eram baixos e não havia necessidade de grandes aterros sanitários, contudo o nosso novo modelo social vem causando danos ambientais, pois o consumismo que surgiu com a globalização e inovações tecnológicas tem incentivado a sociedade a descartar grandes quantidades de entulho, muitas vezes não orgânicos (Silva *et al.*, 2013).

O final do século XX foi marcado pelo surgimento dos materiais poliméricos, o que contribuiu grandemente para o desenvolvimento de novas tecnologias. Assim sendo, a demanda por esse tipo de material triplicou no século XXI em relação ao século passado, pois o aumento da capacidade de produção resultou na queda do custo de fabricação, deixando o homem mais dependente do consumo de produtos poliméricos (Innocentni-Mei *et al.*, 2005; Agnelli *et al.*, 1992).

A participação dos polímeros na composição dos resíduos urbanos nos países desenvolvidos tem sido cada vez mais notória, dentre os outros termoplásticos, um dos que mais tem se destacado nesse meio é o polietileno de alta densidade (PEAD), uma vez que esse artefato é encontrado em abundância nos lixões e aterros sanitários por todo o mundo, já que a sua fabricação em massa tem correspondido ao seu uso e descarte excessivo (Costa *et al.*, 2015).

Nos últimos anos, produtos feitos de polímeros em geral têm ganhado importância no meio comercial devido as suas propriedades mecânicas, baixo custo de produção, durabilidade e o seu peso. No entanto, o mesmo possui grande resistência biodegradável e degradação lenta, o que torna o descarte excessivo desse material uma grande problemática que pode acarretar vários impactos ambientais (Babetto *et al.*, 2015). A degradação é definida como a quebra parcial ou completa de um polímero sob a influência de vários fatores ambientais, como calor, luz, água, ação mecânica e microbiana (Iñighez *et al.*, 2018).

É sabido que o maior fator de degradação dos termoplásticos é a exposição aos raios ultravioletas (UV) e que as suas propriedades são alteradas, tanto aspectos visuais quanto aspectos mecânicos, causando o amolecimento da estrutura polimérica, rachaduras superficiais, perda de transparência, erosão superficial, entre outros (Belmonte, 2020; Ghazi *et al.*, 2018). Os materiais expostos por muito tempo a essa radiação podem apresentar uma taxa de degradação notória em função do tempo devido à sensibilidade a esses comprimentos de onda que causam a quebra das cadeias poliméricas.

Diversos autores têm se referido aos efeitos da radiação solar como principal agente de degradação dos materiais expostos que os polímeros, sob exposição prolongada à intempéries, sofrem degradação polimérica pelos efeitos térmicos e pela radiação ultravioleta (UV) (Ronkay *et al.*, 2021). No entanto, são raros os estudos que tenham mencionado a degradação de PEAD por meio salino e úmido, uma vez que esse tipo de ação é classificada como lenta, já que levariam anos para que tais efeitos pudessem ser observados.

Conforme a Andrade (2011), no caso de resíduos plásticos em ambientes salinos ocorrem outros processos de degradação (biodegradação, degradação termo-oxidativa, degradação térmica e hidrólise) e são várias ordens de grandeza mais lentos do que a degradação foto-oxidativa. Com base no exposto, o presente artigo tem como objetivo analisar a degradação de polímeros de alta densidade (PEAD) por meio da salinização e umidade, a fim de estudar a influência desses parâmetros na estrutura do material e, consequentemente, nas suas propriedades mecânicas.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A população mundial apresenta crescimento contínuo, tendo alcançado 7,7 bilhões de pessoas em 2019 (United Nations, 2019). Entretanto, projeta-se que o planeta não consiga sustentar mais de 10 bilhões de habitantes caso as tendências atuais se mantenham (Kin *et al.*, 2019; Taagepera, 2014). Nesse cenário, a produção de resíduos sólidos, especialmente plásticos, torna-se um desafio crescente. Estima-se que aproximadamente 6.789 milhões de toneladas métricas de plásticos não fibrosos foram produzidas entre 1950 e 2017, com um aumento progressivo a cada ano (Geyer *et al.*, 2017; Nova-Institut, 2015).

Grande parte desses plásticos é destinada a embalagens, cujo ciclo de vida é curto, transformando-se rapidamente em resíduos. Entre 1950 e 2015, foram geradas cerca de 6.300 milhões de toneladas métricas de resíduos plásticos primários e secundários (reciclados), dos quais apenas 9% foram efetivamente reciclados, 12% incinerados e os demais 79% descartados em aterros ou no meio ambiente de forma

irregular (Geyer *et al.*, 2017). Apesar dos avanços na coleta seletiva, uma fração significativa desses resíduos ainda é inadequadamente descartada, muitas vezes por comportamentos irresponsáveis (Tuffi *et al.*, 2018). Torna-se, portanto, essencial não apenas ampliar a coleta, mas também garantir que o maior volume possível de resíduos plásticos seja encaminhado para reciclagem (Czigany, 2020).

Entre os polímeros mais amplamente utilizados encontra-se o polietileno (PE), um termoplástico versátil e de baixo custo, com aplicações diversas em embalagens, tubulações, recipientes e produtos de uso cotidiano. O polietileno apresenta diferentes formas, com destaque para o Polietileno de Alta Densidade (PEAD) e o de Baixa Densidade (PEBD), cada qual com características distintas.

O PEAD, em particular, é um material semicristalino com estrutura molecular linear e baixa ramificação, resultando em densidade elevada (entre 0,941 e 0,965 g/cm<sup>3</sup>) e excelentes propriedades mecânicas e químicas. Dentre as suas principais qualidades estão a alta resistência à tração, boa rigidez e notável resistência a agentes químicos, o que o torna apropriado para uso tanto industrial quanto doméstico (Coutinho *et al.*, 2003).

Nos últimos anos, a reciclagem do PEAD tem ganhado importância estratégica, impulsionada pela necessidade de reduzir o impacto ambiental dos resíduos plásticos. A reciclagem pode ser realizada por meio de processos mecânicos ou químicos, sendo o primeiro o mais utilizado. Embora preserve a base estrutural do polímero, a reciclagem mecânica pode ocasionar degradações parciais, afetando propriedades mecânicas e térmicas. Entre os principais fatores que comprometem a qualidade do material reciclado estão a quantidade de ciclos de processamento, a presença de impurezas e aditivos residuais.

As propriedades mecânicas do PEAD reciclado, como resistência à tração, alongamento na ruptura, módulo de elasticidade e resistência ao impacto, frequentemente se deterioram em relação ao material virgem. Essa degradação está associada à quebra das cadeias poliméricas durante o reprocessamento e à presença de contaminantes. Ainda assim, quando bem processado e aditivado, o PEAD reciclado pode apresentar desempenho satisfatório para diversas aplicações.

O ensaio de névoa salina (*salt spray test*), padronizado pela norma ASTM B117, é um método amplamente utilizado para avaliar a resistência à corrosão de materiais expostos a ambientes agressivos, especialmente salinos. Embora originalmente desenvolvido para metais, esse ensaio tem sido aplicado a polímeros empregados em ambientes externos ou marítimos. O teste consiste na exposição do material a uma névoa contínua de solução salina (normalmente 5% de NaCl) sob condições controladas de temperatura e umidade por períodos determinados.

A exposição do PEAD reciclado ao ensaio de névoa salina permite avaliar a sua estabilidade físico-química em ambientes hostis. Embora polímeros tenham baixa absorção de água e sais, a presença de fissuras, microvazios ou degradação oxidativa pode facilitar a penetração de agentes agressivos, alterando as propriedades mecânicas. Além disso, aditivos e cargas presentes no PEAD reciclado podem responder de maneira distinta ao meio salino, influenciando a sua durabilidade.

Zhong *et al.* (2020) demonstraram que a simulação de imersão em água do mar combinada com envelhecimento por lâmpadas de xenônio reduz significativamente o desempenho de materiais plásticos, comprometendo a sua integridade estrutural e provocando a formação de defeitos internos. Outros estudos também abordaram os efeitos do uso prolongado de polímeros em ambientes externos. A exposição à radiação solar, por exemplo, leva à fotooxidação e fotodegradação, causando perda de propriedades mecânicas e desbotamento da superfície (Pan *et al.*, 2013). Xiao e Li (2010) observaram que a resistência à flexão e o módulo de elasticidade do PEAD diminuem com o tempo de exposição à radiação artificial, evidenciando a degradação progressiva do material.

A presença de umidade e exposição a ambientes aquáticos, como rios e oceanos, também interfere significativamente no desempenho dos polímeros. A água do mar, com sua alta salinidade, intensifica a degradação das propriedades físicas e mecânicas dos compósitos. Estudos de Jiang *et al.* (2019) comprovaram que o PEAD submetido à água do mar simulada sofre deterioração mecânica e alteração visual, atribuídas à ação corrosiva do meio.

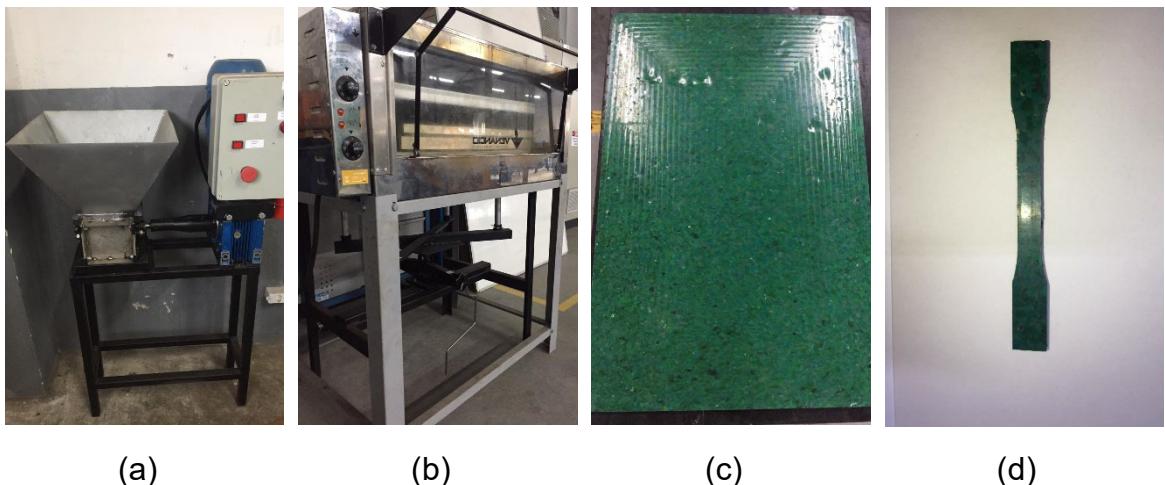
Diante disso, a análise das propriedades mecânicas do PEAD reciclado após o ensaio de névoa salina torna-se essencial para determinar a sua viabilidade em ambientes agressivos. Ensaios de tração, impacto e dureza após a exposição salina são indispensáveis para identificar alterações estruturais, prever o comportamento do material em longo prazo e garantir a sua confiabilidade em aplicações como embalagens industriais, peças automotivas, infraestrutura e produtos expostos a intempéries.

### 3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A metodologia baseou-se na análise da influência da salinidade nas propriedades mecânicas do PEAD reciclado, na qual 50% das amostras foram submetidas ao ensaio névoa salina e outros 50% sem o ensaio. Os corpos de prova foram confeccionados por meio de Trituração (Figura 1a), prensagem a quente (Figura 1b) e usinagem.

Com o produto proveniente da Trituração, foram produzidas duas chapas (Figura 1c) por meio da prensagem a quente em um molde de alumínio, na qual uma das chapas foi utilizada para a usinagem de 8 corpos de prova de ensaio de tração (Figura 1d) e com a segunda chapa foram usinados 12 corpos de prova de ensaio de tração, totalizando 20 corpos de prova.

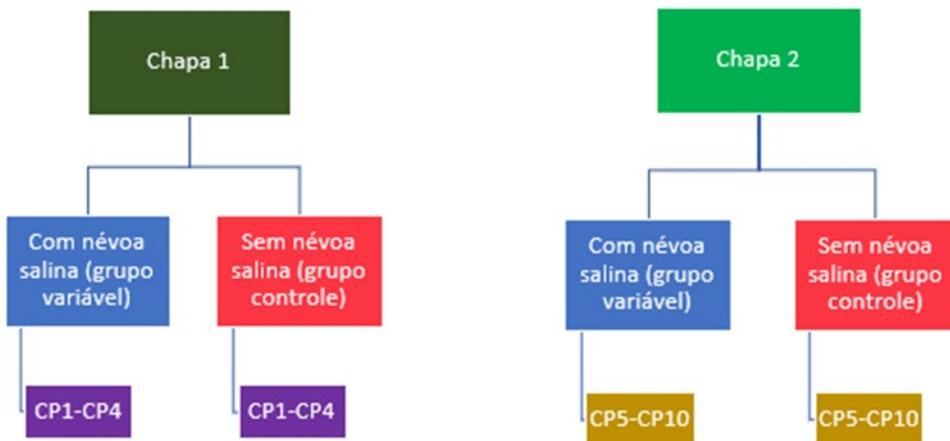
Figura 1: Triturador (a), Prensa (b), Chapa de PEAD reciclado (c) e Corpo de Prova (d).



Fonte: Autoria própria (2024).

Os corpos de prova foram separados em corpos de prova (CP1 ao CP4), oriundos da primeira chapa e em corpos de prova (CP5 ao CP10), oriundos da segunda chapa, assim como estes corpos de prova também foram divididos em grupo controle (não submetidos ao ensaio de névoa salina) e grupo variável (submetidos ao ensaio de névoa salina), conforme mostra o fluxograma da Figura 2. O ensaio de névoa salina foi realizado, no grupo variável, com 5% de NaCl, conforme a norma ABNT-NBR-8094-SS, totalizando 1.000 horas de ensaio com a temperatura da câmara sendo 35 °C, temperatura do saturador 45 °C e a pressão interna da câmara de 1 kgf/cm<sup>2</sup>.

Figura 2 – Fluxograma de tipos de corpos de prova.



Fonte: Autoria própria (2024).

Após o ensaio de névoa salina, realizou-se o ensaio de tração (figura 3) em ambos os grupos de corpos de prova. Primeiramente, foram ensaiados os corpos de prova do grupo controle e, posteriormente, o grupo variável, segundo a Norma ASTM D638, a uma velocidade de 50 mm/min.

As propriedades mecânicas analisadas foram tensão de escoamento, tensão na força máxima e módulo de elasticidade. A análise dos dados obtidos foi realizada por meio de média aritmética por grupos de corpos de prova e por chapa que originou os corpos de prova, assim como foram calculados os parâmetros estatísticos, a fim de avaliar as correlações entre os grupos.



. Fonte: Autoria própria (2024).

Os parâmetros estatísticos avaliados para analisar as correlações discrepantes ou não de cada grupo foram o desvio padrão, o coeficiente de correlação de Pearson e o coeficiente de Spearman. Para o coeficiente de correlação de Spearman, enumerou-se os valores das propriedades mecânicas dos corpos de prova CP1-CP4 e CP5-CP10 com e sem névoa salina em tanques, calculou-se o coeficiente de correlação de Pearson ( $r$ ) e estabelecido a quantidade de pares, graus de liberdade,  $p$ -valor e  $t$ -crítico de todos, com nível de significância de 0,05.

#### 4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

O ensaio de tração dos corpos de prova mostrou resultados diferentes entre as propriedades mecânicas do grupo controle e do grupo variável (quadro 1), indicando uma inexistência de correlação, especialmente pela análise da média e do desvio padrão.

Os valores médios da tensão de escoamento (MPa), da tensão na força máxima (MPa) e do módulo de elasticidade (MPa), oriundos da chapa 1 (CP1-CP4) e da chapa 2 (CP5-CP10), assim como as barras de erro atribuídas ao seu respectivo desvio padrão são observados nas Figuras 4 a 6. Pode-se observar que os desvios de cada grupo não se sobrepõem. Portanto, observa-se uma queda das propriedades mecânicas para os corpos de prova submetidos à névoa salina. A variação na tensão de escoamento, na tensão de força máxima e no módulo de elasticidade, entre o grupo controle e o grupo variável, foi de 10, 10 e 16% para os corpos de prova (CP1-CP4) e 17, 7 e 11% para os corpos de prova (CP5-CP10), respectivamente.

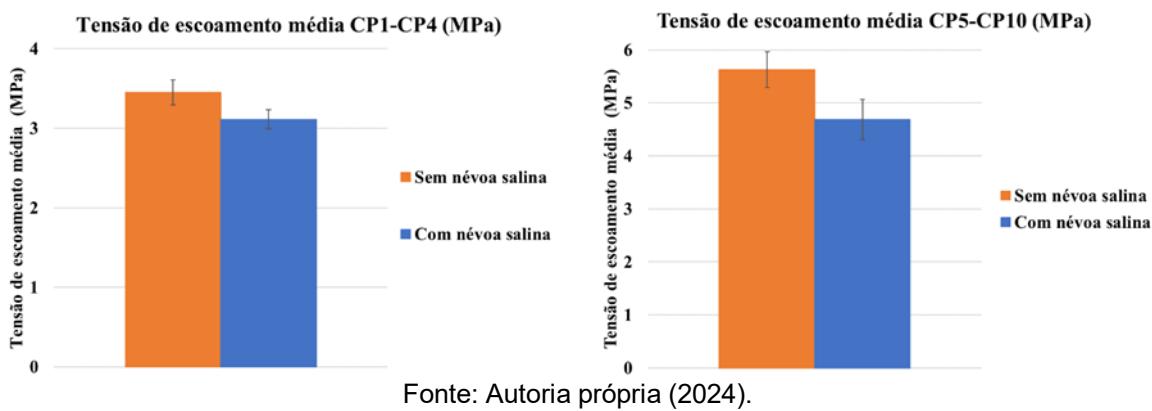
Quadro 1: Dados obtidos do ensaio de tração.

Propriedades Mecânicas	Ensaio de Tração							
	Sem Névoa Salina (Grupo controle)				Com Névoa Salina (Grupo variável)			
	CP1 ao CP4		CP5 ao CP10		CP1 ao CP4		CP5 ao CP10	
	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão
Tensão de Escoamento (MPa)	3,45	0,1567	5,63	0,3358	3,11	0,1190	4,685	0,3754
Tensão de Força Máxima (MPa)	11,15	0,5938	16,01	0,3982	10,07	0,2837	14,865	0,3412
Módulo de Elasticidade (MPa)	455,34	29,9490	597,70	39,2626	384,48	29,8000	530,5533	23,5038

Fonte: Autoria própria (2024).

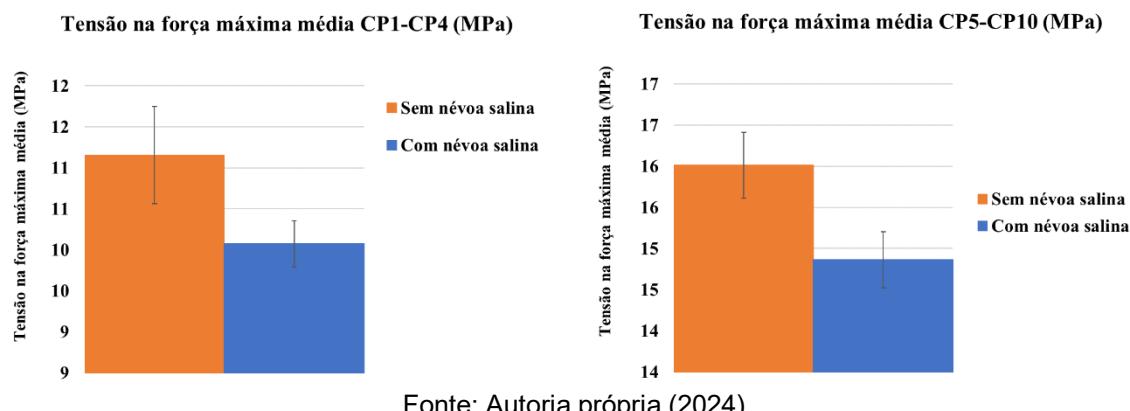
Tanto para os corpos de prova CP1-CP4 quanto para os corpos de prova CP5-CP10, com e sem névoa salina, obteve-se valores de p-valor muito maiores do que o nível de significância, indicando uma inexistência de correlação entre as amostras, descartando a possibilidade de aceitar o coeficiente de correlação de Pearson ( $r$ ), conforme os Quadros 2 e 3. Ademais, para confirmar essa inexistência de correlação, foi calculado os valores de  $t$  Crítico, para comparar com o valor de  $t$  Estatístico, sendo todos os valores de  $t$  Crítico, maiores do que o  $t$  Estatístico, havendo evidência suficiente para rejeitar a hipótese de haver uma correlação.

Figura 4 - Tensão de escoamento média (MPa) dos CP1-CP4 (a) e dos CP5-CP10 (b).



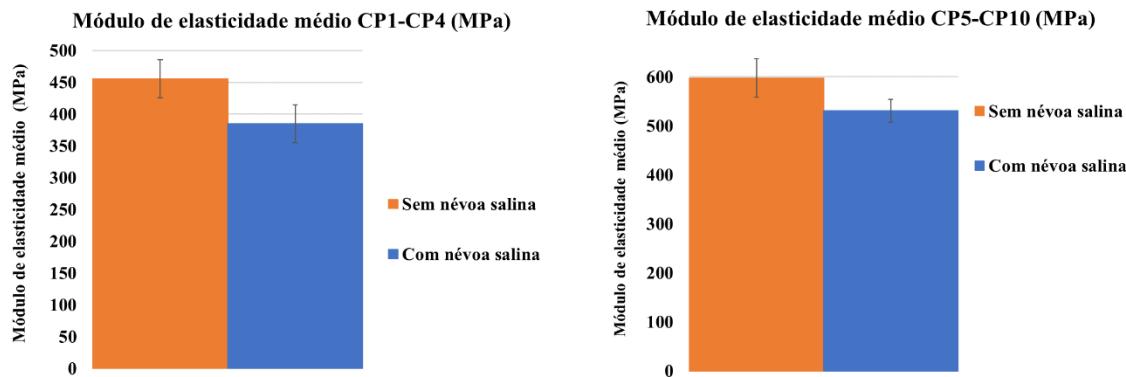
Fonte: Autoria própria (2024).

Figura 5 - Tensão na força máxima média (MPa) dos CP1-CP4 (a) e dos CP5-CP10 (b).



Fonte: Autoria própria (2024).

Figura 6 - Módulo de elasticidade médio (MPa) dos CP1-CP4 (a) e dos CP5-CP10 (b).



Fonte: Autoria própria (2024).

Quadro 2: Cálculo do Coeficiente de Correlação de Spearman (CP1-CP4).

Coeficiente de Correlação de Spearman					
Corpos de prova 1-4					
Tensão de Escoamento		Tensão da Força Máxima		Módulo de Elasticidade	
Classificação Sem Névoa	Classificação Com Névoa	Classificação Sem Névoa	Classificação Com Névoa	Classificação Sem Névoa	Classificação Com Névoa
1,00	3,00	2,00	4,00	2,00	3,00
2,00	2,00	1,00	3,00	1,00	2,00
4,00	1,00	4,00	2,00	4,00	1,00
3,00	4,00	3,00	1,00	3,00	4,00
Coeficiente r: -0,400		Coeficiente r: -0,600		Coeficiente r: -0,200	
Nº de Pares: 4		Nº de Pares: 4		Número de Pares: 4	
t Estatístico: 0,6172134		t Estatístico: 1,060660172		t Estatístico: 0,2888675135	
Graus de Liberdade: 2		Graus de Liberdade: 2		Graus de Liberdade: 2	
p-valor: 0,6		p-valor: 0,4		p-valor: 0,8	
Nível de Significância: 0,05		Nível de Significância: 0,05		Nível de Significância: 0,05	
t Crítico: 4,30265273		t Crítico: 4,30265273		t Crítico: 4,30265273	

Fonte: Autoria própria (2024).

Quadro 3: Cálculo do Coeficiente de Correlação de Spearman (CP5-CP10).

Coeficiente de Correlação de Spearman					
Corpos de prova 5-10					
Tensão de Escoamento		Tensão da Força Máxima		Módulo de Elasticidade	
Classificação Sem Névoa	Classificação Com Névoa	Classificação Sem Névoa	Classificação Com Névoa	Classificação Sem Névoa	Classificação Com Névoa
1,00	6,00	1,00	5,00	1,00	3,00
4,00	3,00	3,00	2,00	3,00	2,00
2,00	1,00	4,00	3,00	4,00	1,00
6,00	2,00	6,00	1,00	2,00	4,00
5,00	5,00	5,00	6,00	5,00	5,00
3,00	4,00	2,00	4,00	6,00	6,00
Coeficiente r: -0,314884959		Coeficiente r: -0,371428571		Coeficiente r: 0,485714286	

Nº de Pares: 6	Nº de Pares: 6	Número de Pares: 6
t Estatístico: 0,663523459	t Estatístico: 0,800094691	t Estatístico: 1,111324766
Graus de Liberdade: 4	Graus de Liberdade: 4	Graus de Liberdade: 4
p-valor: 0,543283383	p-valor: 0,468478134	p-valor: 0,328723032
Nível de Significância: 0,05	Nível de Significância: 0,05	Nível de Significância: 0,05
t Crítico: 2,776445105	t Crítico: 2,776445105	t Crítico: 2,776445105

Fonte: Autoria própria (2024).

A queda nas propriedades mecânicas do PEAD após a exposição à névoa salina por 1.000 horas sugere um processo de degradação da sua cadeia polimérica. Estudos de degradação de polímeros (Belmonte, 2020; Ghazi *et al.*, 2018; Lodi *et al.*, 2007) mostram que as cadeias poliméricas são atacadas pela exposição aos raios ultravioletas, provocando reações que alteram a estrutura molecular do polímero, causando oxidações e/ou cisão das suas cadeias, causando interferência nos seus aspectos mecânicos, acelerando a degradação desse material. Outros estudos demonstram ensaios de névoa salina realizados em aços revestidos com epóxi poliéster, dos quais resultou a formação de bolhas, perda de massa e de aderência pelo revestimento após o ensaio de névoa salina após 2246 horas, também conforme a norma ASTM B117 (Akinci, 2009).

Além disso, outros autores utilizaram o ensaio de névoa salina em aplicações poliméricas. Segundo Duarte *et al.* (2016) e Gere e Czigany (2020), a degradação causa geralmente a cisão da cadeia polimérica, o que significa que o peso molecular diminui e, como resultado, a viscosidade diminui e também afeta as propriedades mecânicas dos polímeros.

Ronkay *et al.* (2021) desenvolveram um método de intemperismo artificial que incluiu intemperismo artificial UV com ciclos secos e úmidos e ciclos de névoa salina. O processo de intemperismo completo foi realizado nas tampas de PEAD das garrafas PET. Após 2.150 horas de intemperismo, a superfície das tampas apresentou uma leve rachadura. A superfície danificada foi examinada por microscópio eletrônico de varredura (MEV) e se descobriu que a superfície estava rachada e pequenas partículas de plástico se quebraram. Os danos foram leves, a redução de massa da tampa foi de apenas 1,5 mg (0,096% da massa total), mas as partes que se romperam ficaram na faixa de 10 a 100  $\mu\text{m}$ , portanto, são consideradas microplásticos e, em resumo, a degradação diminuiu o peso molecular em função do tempo de ensaio, pode ser descrito matematicamente e resulta na redução das propriedades mecânicas das peças, o que corrobora com os resultados encontrados nesse artigo.

Iñiguez *et al.* (2018) constataram oxidação granular e escamas em superfícies de polietileno após o ensaio com água extraída do Mar Mediterrâneo e duas lâmpadas UV TUV PL-L 36W/4P (UVC 250) selecionadas para simular a luz solar natural, causando um enfraquecimento do plástico ao longo do tempo e constituindo padrões de degradação das propriedades térmicas.

Com base nos resultados obtidos nesse estudo, assim como pelos autores (Ronkay *et al.*, 2021; Iñighez *et al.*, 2018; Andrade, 2011), citados anteriormente, sugere-se que processos de degradação por biodegradação, degradação termo-oxidativa, degradação térmica e hidrólise podem ter resultado em possível microtrincamento (cisão) da sua cadeia polimérica e na redução das propriedades mecânicas de tensão de escoamento, tensão na força máxima e módulo de elasticidade do PEAD.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo teve como objetivo analisar a degradação de polímeros de alta densidade (PEAD) por meio da salinização e umidade, a fim de estudar a influência desses parâmetros na estrutura do material e, consequentemente, nas suas propriedades mecânicas.

Neste estudo, foram triturados, prensados a quente e usinados corpos de prova de polietileno de alta densidade (PEAD) para posterior ensaio de névoa salina. Os resultados encontrados nesse estudo mostram a redução das propriedades mecânicas do PEAD após exposição de 1000 horas em câmara de névoa salina, sugerindo que houve um processo de degradação por cisão da sua cadeia polimérica, o que significa que o peso molecular diminui e, como resultado, também reduz as propriedades mecânicas de tensão de escoamento, tensão na força máxima e módulo de elasticidade do polímero estudado.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio concedido pelo Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC) e pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

## REFERÊNCIAS

AGNELLI, J. A. M; CHINELATTO, M. A. Degradação de polipropileno: aspectos teóricos e recentes avanços em sua estabilização, **Polímeros: Ciência e Tecnologia**. v. 2, n. 3, p. 27-31, 1992.

AKINCI, A. The Salt Spray Corrosion of Polymer Coating on Steel. **Arabian Journal for Science and Engineering**, v. 34, p. 139-145, 2009.

ANDRADY, A. L. **Microplastics in the marine environment**. Mar. Pollut. Bull. v. 62, p. 1596–1605, 2011.

BABETTO, A. S.; AGNELLI, J. A. M.; BETTINI, S. H. P. Avaliação de sistemas pró-degradantes na degradação termooxidativa do PEAD, **Polímeros**, v. 25 p. 68–76, 2015.

BELMONTE, G. K. **Explorando a Radiação Eletromagnética Na Modificação Superficial De Polímeros: Da Degradação À Litografia Euv.** 2020, 172p. Tese (Doutorado em Ciência dos Materiais - Universidade Federal do Rio Grande do Sul Programa – UFRS, Porto Alegre.

COSTA, H. M.; RAMOS, V. D.; DEBOSSAM, P. P. S.; ANDRADE, M. C. Cinética de cristalização de resíduos de PEAD. **As&t**, v. 3 n. 2, 2015.

COUTINHO, F.M.B.; MELLO, I.L.; SANTA-MARIA, L.C. “Polietileno: Principais Tipos, Propriedades e Aplicações”, **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, 13(1), 1 (2003).

CZIGANY, T. **Disposable or single-use plastics? Neither!!!** Recyclable or reusable plastics! Express Polym.Lett., 14 (2020), 10.3144/expresspolymlett.2020.1

DUARTE, I. S.; TAVARES, A. A.; LIMA, P. S.; ANDRADE, D. L. A. C. S.; CARVALHO, L. H.; CANEDO, E. L.; SILVA, S. M. L. **Chain extension of**

**virgin and recycled poly(ethylene terephthalate): Effect of processing conditions and reprocessing**, v. 124, v.26-34, 2016.

GEYER R.; JAMBECK, J.R.; LAW, K.L. **Production, use, and fate of all plastics ever made**. Sci. Adv., 3 (2017), p. e1700782, 10.1126/sciadv.1700782

GERE, D.; CZIGANY, T. Future Trends of Plastic Bottle Recycling: Compatibilization of PET and PLA. **Polymer Testing**, v. 81, p. 106-160, 2020.

GHAZI, D.; EL-HITI, G. A.; YOUSIF, E.; AHMED, D. S.; ALOTAIBI, M. H. The Effect of Ultraviolet Irradiation on the Physicochemical Properties of Poly(Vinyl Chloride) Films Containing Organotin(IV) Complexes as Photostabilizers. **Molecules** (Basel, Switzerland), v. 23, p. 254, 2018.

IÑIGHEZ, M. E.; CONESA, J. A.; FULLANA, A. Recyclability of four types of plastics exposed to UV irradiation in a marine environment, **Waste Management**, v. 79, p. 339–345, 2018.

INNOCENTNI-MEI, L. H.; PILAR, D. S. C. **Visão geral sobre polímeros ou plásticos ambientalmente degradáveis PADs**, 2005.

JIANG, LP, HE, CX, WANG, L. e JIANG, CY (2019). “Comparison of resistance to seawater degradation of four wood-plastic composites made of vegetable fiber/high-density polyethylene”, **Acta Materiae Compositae Sinica** 2019, 36. DOI: 10.13801/j.cnki.fhclxb.20181023.001

KIN, C.S., UT, I.M., HANG, L., HOU, U.I., WENG, N.K., Ha, U.S., HIN, L.K., HENG, C.K., TIM, T.S., KUAI, C.I., SHAN, L.W., 2019. Predicting Earth's carrying capability of human population as the predator and the natural resources as the prey in the modified Lokta-Volterra equations with

time-dependent parameters. arXiv 1904.05002.

LODI, P. C.; ZORNBERG, J. G. Degradação Ultravioleta de Geomembranas Poliméricas, VI **Congresso Brasileiro de Geotecnia Ambiental e V Simpósio Brasileiro de Geossintéticos**, p. 1–6, 2007.

NOVA-INSTITUT, 2015. Bio-based building blocks and polymers in the world – capacities, production and applications: **Status quo and trends toward 2020**. Nova-Institut GmbH, Hürth.

PAN, H., NI, MY, JIAN, WC e XU, CY (2013). "Factors influencing the aging performance of wood-plastic composites", **Forestry Machinery and Woodworking Equipment** 2, 22-25.

RONKAY, F.; MOLNAR, B.; GERE, D.; CZIGANY, T. Plastic Waste from Marine Environment: Demonstration of Possible Routes for Recycling by Different Manufacturing Technologies. **Waste Management** (New York, N.Y.), v. 119, p. 101–110, 2021.

SILVA, C. O.; SANTOS, G. M.; SILVA, L. N. A degradação ambiental causada pelo descarte inadequado das embalagens plásticas: estudo de caso. **Reget**, v. 13. n. 13, p. 2683–2689, 2013.

TAAGEPERA, R. A world population growth model: Interaction with Earth's carrying capacity and technology in limited space *Technol. Forecast. Soc.*, 82 (2014), pp. 34-41, 10.1016/j.techfore.2013.07.009

TUFFI, R.; D'ABRAMO, S.; CAFIERO, L.M.; TRINCA, E.; VECCHIO CIPRIOTI, S. Thermal behavior and pyrolytic degradation kinetics of polymeric mixtures from waste packaging plastics. *Express Polym. Lett.*, 12 (2018), pp. 82-99, 10.3144/expresspolymlett.2018.7

UNITED NATIONS, 2019. World population prospects 2019: Highlights. United Nations, Department of Economic and Social

Affairs, Population Division, New York.

XIAO, W. e LI, DG (2010). "The effect of accelerated aging by xenon lamp on flexural strength and elastic modulus of composite materials", **Journal of Forestry Machinery & Woodworking Equipment** 9(9), 37-39.

ZHONG, X., ZHU, Y., LIU, S., FU, J., LIN, H., and HE, C. (2020). "Performance analysis of four plant fiber/polyvinyl chloride composites under two degradation conditions with water or seawater with xenon lamp," *BioRes.* 15(3), 4672-4688.