

INFLUÊNCIA DA DEGRADAÇÃO AO INTEMPERISMO NATURAL DE COMPÓSITOS DE POLIETILENO PÓS USO E MDP IMERSO EM ÁGUA APÓS ENCHENTE NO RS.

Adriana Moura¹, Matheus Jaskulski², Ruth M. C. Santana^{1,2}

^{1,2,3} Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, Brasil
(silva.moura@ufrgs.br)

Resumo: A crise climática ocorrida no Estado do Rio Grande do Sul em 2024 gerou resíduos em quantidades expressivas. Dentre esses, estão o MDP e polímeros a partir de embalagens de materiais de limpeza e descartáveis. O objetivo foi avaliar o uso de aditivos fotoestabilizantes no compósito PEAD/MDP (70/30). Os resultados mostram a eficácia do uso de fotoestabilizantes frente à degradação, bem como a influência do tempo de imersão do MDP em relação à variação da coloração dos compósitos desenvolvidos.

Palavras-chave: Madeira plástica; compósitos poliméricos; economia circular; reciclagem.

INTRODUÇÃO

Diante do agravamento das emergências climáticas ocorridas no Estado do Rio Grande do Sul no ano de 2024, a quantidade de resíduos acumulados e posteriormente descartados foi de aproximadamente 50 milhões de toneladas (Madu Brito e Maurício Paz | G1”, [S.d.]). Dentre esses resíduos grande parte foi de MDP e MDF (Medium Density Particleboard - Painéis de Partículas de Média Densidade), esses materiais constituem a maioria dos móveis de ambientes internos das casas que foram alagadas, os quais precisaram ser descartados. Conforme a Figura 1. O material é bastante sensível à umidade, tornando-se inutilizável quando absorve água. (Weber; Iwakiri, 2015)



Figura 1. Móveis descartados. Fonte: (“Rio Grande do Sul tem novo alerta de chuvas e pode ter ventos de até 100 km/h | CNN Brasil”, [S.d.]).

Outro tipo de resíduo gerado em grandes proporções, foram as embalagens de materiais de limpeza e descartáveis usados posteriormente para limpeza em

geral, gerando grandes quantidades de materiais poliméricos (os plásticos). O crescimento exponencial da produção e do consumo de polímeros no mundo tem tornado esse material um dos resíduos mais descartados. Em muitos países, é alarmante a quantidade de polímeros descartados, tanto em sua forma íntegra como em processo de degradação em partículas menores os denominados “microplásticos” (Socas-Hernández et al., 2025).

Em se tratando de MDFs e MDPs, o compósito de madeira-resinas de alto preenchimento é um tipo de compósito com grandes benefícios ambientais e econômicos. Além disso são constituídos de teores significativos de biomassa, o que minimiza o uso de plásticos. No entanto, possuem defeitos de propriedades mecânicas pobres, alta absorção de água, baixa resistência ao ciclo seco-úmido, o que limita muito o seu uso a longo prazo em um ambiente de alta umidade. Com isso, o material usado para fabricação de mobiliários em geral foi um dos mais descartados pela população quando entrou em contato com a água. Tornando-se resíduo aparentemente não reutilizável.

Com o intuito de reaproveitar e reduzir parte desse impacto gerado pelos móveis descartados, por esse evento climático e com intenção de gerar um material que possa ser usado no futuro, como um substituto mais durável da madeira frente à novas inundações este estudo propõe desenvolver um compósito de polietileno de alta densidade pós uso (PEAD), oriundos de resíduos de embalagens de produtos de limpeza e utilizar como reforço o MDP após secagem e processamento.

O objetivo foi estudar a influência do uso de aditivos fotoestabilizantes na madeira plástica desenvolvida

PEAD/MDP, quanto a degradação ao intemperismo natural em propriedades reológicas e colorimétricas.

MATERIAL E MÉTODOS

➤ Materiais

Foram utilizados PEAD pós consumo de cor transparente, oriundos de embalagens e MDP.

Para simular o evento extremo da inundação de 2024, as amostras de MDP foram submetidas à submersão total em água por três períodos distintos: 7, 15 e 30 dias. Após cada período de imersão, as amostras de MDP foram secas em estufa a 60°C, até atingir massa constante para posterior processamento.

➤ Processamento

As amostras foram trituradas em moinho de facas até a granulometria > 0,750 mm. O MDP (reforço) foi processado com o PEAD pós consumo previamente triturados em *flakes*.

Os compósitos foram preparados em bateladas de 40g em câmara de mistura interna (*HAAKE Rheomix OS, Thermo Scientific*). As condições de mistura usadas foram: temperatura de 200 °C, velocidade dos rotores de 60 rpm e tempo de processamento de 7 minutos.

A metodologia foi constituída do desenvolvimento de dois materiais simultaneamente: Compósitos de (PEAD pós uso + MDP pós uso) e (PEAD pós uso + MDF pós uso + aditivo oxibiodegradável). Os aditivos utilizados foram os e aditivos: antioxidante fenólico primário (Irganox 1010), antioxidante secundário (Irgafos 168) e fotoestabilizante (Tinuvin 292). As proporções são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Proporções da composição mássica das amostras

Compósito PEAD/MDP	PEAD (%) m/m	MDP (%) m/m	Aditivo (%)
70/30 (CA)	70	30	-
70/30 (SA)	68,95	29,55	1,5

Obs.: Os corpos de prova correspondem ao tempo 0 (sem tempo de degradação) e 3 (com 3 meses de exposição ao intemperismo natural).

Os corpos de prova foram injetados em Mini Injetora da marca *Thermo Scientific*, modelo *Haake MiniJet II*. Foram utilizados de 3g a 4g de amostra, pré-aquecidos por 1 min, com as seguintes condições: temperatura do cilindro de 200 °C, temperatura do molde de 40 °C, pressão de injeção de 500 bar por 12 segundos e pressão de descarga de 380 bar por 10 segundos.

➤ Condições climáticas

As condições climáticas foram monitoradas através do site INMET. Foram coletadas informações de 1º de novembro de 2025 até 31 de janeiro de 2026. Foram coletados dados de temperaturas máximas, índice de UV, precipitação e rajadas de vento.

➤ Ensaio de degradação ao intemperismo natural

Para testar a degradação em ambiente natural, as amostras foram expostas ao intemperismo natural no campus da UFRGS, na cidade de Porto Alegre-RS, entre os meses de novembro a fevereiro. As amostras foram fixadas com abraçadeiras de nylon em uma tela e colocadas em uma estrutura com angulação de 45° em relação ao solo. O ensaio compreendeu dois períodos de análise: tempo 0 (T0), referente ao material recém-processado, e tempo 3 meses (T3) com exposição à radiação ultravioleta, umidade e variações de temperatura.

➤ Ensaio de Colorimetria

A avaliação das propriedades ópticas e de brilho superficial foram analisadas em um espectrofotômetro portátil da marca BYK-Gardner, modelo *spectro-guide sphere gloss*. O equipamento opera com geometria de esfera (d/8), as leituras foram realizadas sob o iluminante padrão D65 e observador padrão de 10°. Foram determinadas as coordenadas cromáticas no sistema CIELab (L, a, b) e o parâmetro de brilho (G) com geometria de medição a 60°. A quantificação do branqueamento superficial das amostras foi realizada através do cálculo do Índice de Branqueamento (WI), que mensura a proximidade da cor da amostra em relação ao branco ideal (L* = 100; a* = 0; b* = 0). O cálculo foi obtido através dos dados via espectrofotometria conforme a Equação 1:

$$WI=100-\sqrt{((100-L^*)^2+a^{*2}+b^{*2})} \quad (1)$$

➤ Ensaio de Índice de fluidez

Os compósitos foram submetidos a análise do índice de fluidez (IF) em um plastômetro de extrusão da marca CEAST, modelo Modular Line, programados na temperatura de 230 °C, com 120 segundos de pré-aquecimento, peso de 2,16 kg e tempo de corte de 10 segundos para os compósitos com e sem aditivos, conforme estabelecido na norma ASTM D1238.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Avaliação das condições climáticas

As amostras foram submetidas às condições climáticas de intemperismo, durante os meses de novembro de 2025 até final de janeiro de 2026.

A Figura 2 mostra as temperaturas ocorridas durante os três meses considerados neste estudo. Observa-se uma tendência de elevação das temperaturas médias e máximas à medida que os meses avançam, o que é consistente para o verão Porto Alegrense. Entretanto, os dias mais quentes ocorrem entre o final de dezembro e meados de janeiro, com várias máximas ultrapassando a marca dos 35°C. Há uma variação significativa entre as temperaturas mínimas (barras azuis) e as máximas (barras laranjas), sugerindo dias com sol forte e madrugadas mais frescas (“INMET: Tempo”, [S.d.])

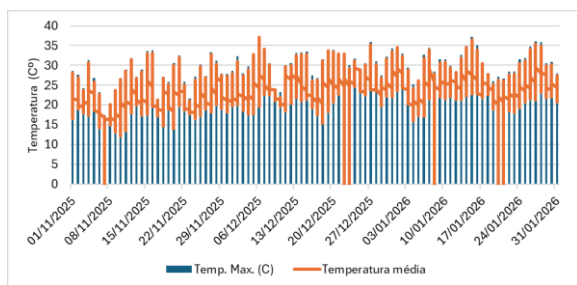


Figura 2. Condições de temperatura entre os meses de novembro (2025) a janeiro (2026)

A Figura 3 apresenta a precipitação nos meses em que os corpos de prova ficaram em intemperismo natural. Bem como, o percentual de umidade, muito presente nessa época do ano no verão da cidade de Porto Alegre.

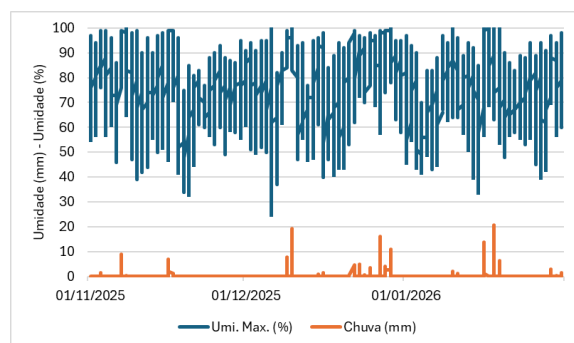


Figura 3. Percentual de umidade máxima e precipitação.

Outro dado importante é o índice de ultravioleta (UV), Figura 4, o qual contém índices de radiação ultravioleta extremo, o que também influencia de maneira direta a degradação dos corpos de prova.

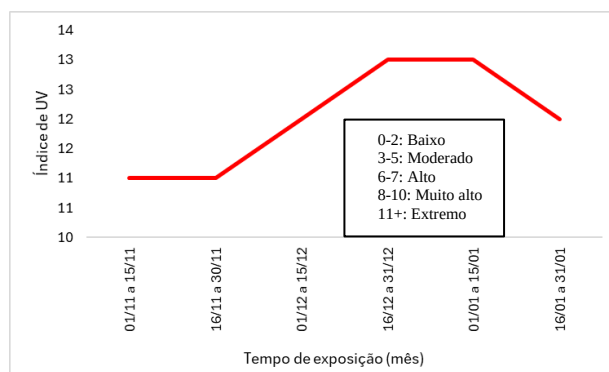


Figura 4. Índice de radiação UV entre os meses de novembro (2025) a janeiro (2026).

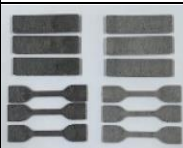
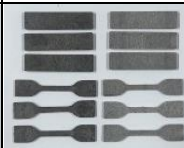
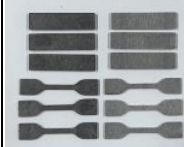
Propriedades colorimétricas dos compósitos

Para avaliar a degradação em ambiente real, as amostras foram expostas ao intemperismo natural no campus da UFRGS, na cidade de Porto Alegre-RS, Figura 5, entre os meses de novembro-2025 e fevereiro-2026, sendo novembro (T0), para o material processado e fevereiro (T3) o tempo de exposição de três meses, conforme a Figura 2. As amostras ficaram em exposição direta à radiação, umidade, precipitação e variações térmicas.



Figura 5. Amostras expostas a intemperismo natural.

Tabela 2. Imagens dos compósitos no tempo inicial e três meses em exposição ao intemperismo.

PEAD/MDP (T0)		PEAD/MDP (T3)	
Sem aditivo (SA)		Com aditivo (CA)	
7 dias	15 dias	30 dias	
			
			

Conforme a Tabela 2, é possível visualizar a diferença das amostras que estiveram exposta por 3 meses (T3), as quais sofreram branqueamento visível. Também foi possível observar o craqueamento dessas, indicando degradação por *stress cracking*, as altas temperaturas, muitas vezes observada em 35°C, conforme Figura 2, a qual podem ter contribuído com a formação de trincas no material, proporcionando assim a entrada de umidade a água durante a precipitação ocorrida durante os meses de exposição. Embora essa precipitação tenha sido bastante reduzida, conforme Figura 3, são meses de elevado grau de umidade contribuindo, provavelmente, para degradação hidrolítica, pela composição vegetal do reforço do MDP, o qual contribui para esse tipo de degradação. Outra possível causa de degradação (branqueamento) é a radiação solar, o qual o índice de incidência ultravioleta (UV) contribui para o desbotamento e até cisão de cadeias poliméricas, promovendo o *stress cracking* das amostras, pois a cisão de cadeias deixa uma oportunidade para entrada de umidade provocando a degradação eletrolítica (Kieffer; Santana, 2025). Houve essa possibilidade, pois conforme os dados da Figura 4, a qual a radiação na maioria dos dias de exposição das amostras bateu a marca de 11 ou mais índice de UV (Lu et al., 2018) e (Gomes et al., 2017).

Avaliação óptica

A partir da avaliação em espectrofotômetro foi possível avaliar as propriedades ópticas, além do brilho superficial. A Tabela 3, mostra a variação dos parâmetros obtidos.

Tabela 3. Parâmetros da avaliação colorimétrica pelo sistema CieLab.

Amostras			L*	a*	b*	G*
T0	S A	7d	42,32	1,32	3,2	27,3
		15d	48,77	1,94	5,56	21,1
		30d	46,89	1,47	3,22	19,6
	C A	7d	44,59	1,25	3,36	27,3
		15d	44,39	1,88	3,76	21,3
		30d	45,24	1,25	3,54	14,4
T3	S A	7d	45,48	1,48	4,83	21,8
		15d	46,94	1,63	3,57	26,1
		30d	46,89	1,47	3,22	19,6
	C A	7d	47,44	1,69	5,82	19,10
		15d	44,39	1,88	3,76	21,30
		30d	45,24	1,25	3,54	14,40

Obs.: Compósito – PEAD/MDP

MDP – 7d, 15d, e 30d de imersão em água

AS - Compósito sem aditivo

CA - Compósitos com aditivo

T0 - tempo zero

T3 - tempo 3 meses de exposição ao intemperismo natural

Os parâmetros de avaliação colorimétrica foram avaliados separadamente, conforme apresentam as Figuras 5, 6, 7, 8 e 9.

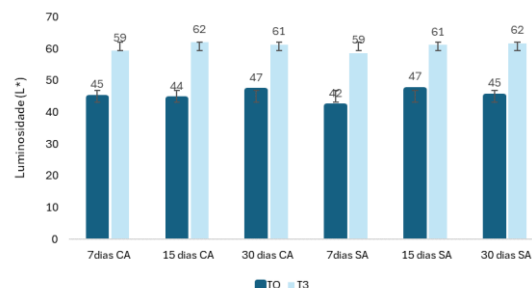


Figura 5. Luminosidade (L*), (“The CIELAB System – the Method to Specify Colors of Coatings”, [S.d.]).

O parâmetro é um indicador da degradação da lignina, pela clivagem dos compostos C-O, presente na madeira do MDP, reforço do compósito, relativo aos compostos orgânicos da madeira que geralmente proporcionam a cor. A radiação UV promove a quebra dessas estruturas cromóforas, resultando na exposição de fibras de celulose clareadas e no branqueamento da superfície, do material após 3 meses de exposição ao intemperismo natural (Bonini et al., 1998). Não houve uma variação significativa na luminosidade entre os intervalos de 7, 15 e 30 dias de imersão do MDP, no tempo (T0). Quanto às amostras expostas, ao intemperismo natural, por três meses (T3) indica que o tempo de exposição, nestas condições, levou ao branqueamento das amostras, alterando a claridade superficial do material, conforme mostra a Tabela 2. No entanto, não foi possível avaliar o uso ou não de aditivo, pois as amostras se mantiveram semelhantes, para esse parâmetro (Doriat et al., 2025).

A Figura 6 apresenta a variação do avermelhamento (a*) das amostras no tempo T0 e tempo T3 de exposição ao intemperismo natural.

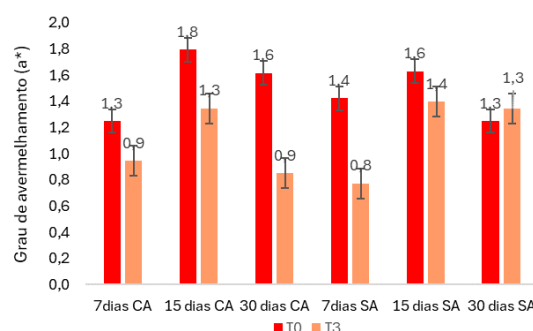


Figura 6. Avermelhamento das amostras.

Este parâmetro indica que todas as amostras do T0 (sem exposição) possuem uma coloração com grau mais vermelho. No entanto, as amostras que ficaram em exposição às condições climáticas apresentadas ficaram levemente avermelhadas ou

amareladas/acastanhadas, conforme o sistema CieLAB, o que é esperado para os processos de degradação térmica ou foto-oxidação em polímeros.

A Figura 7 apresenta o grau de amarelamento para as amostras no tempo T0 e tempo T3 de exposição. Os valores positivos, mas menores indicam que as amostras tiveram amarelo reduzido, ou seja, um desbotamento da cor ao longo da exposição, para todos os compósitos. Contribuindo assim para a confirmação da degradação de maneira geral. No entanto, é possível verificar que as amostras de 15 dias se mantiveram tanto para CA e SA, se mantiveram constantes, provavelmente a presença cor representa graxas e gorduras que não foram solubilizadas do MDP (Csizmadia et al., 2013).

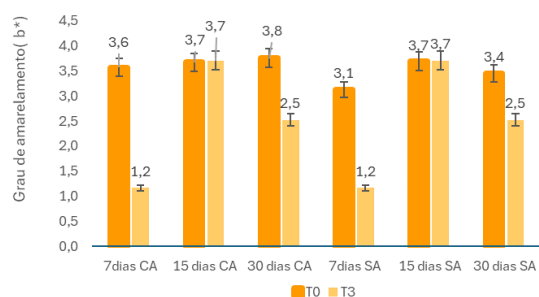


Figura 7. Amarelamento das amostras

A Figura 8 apresenta a variação de brilho das amostras antes da exposição ao intemperismo natural.

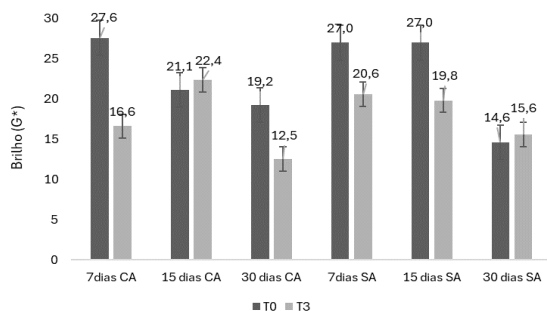


Figura 8. Brilho das amostras

A avaliação do brilho das amostras apresentou perda do brilho, de maneira geral, para todas as amostras, exceto a amostra de 15 dias com aditivo fotoestabilizante, a qual não perdeu brilho. Provavelmente, essas amostras mantiveram algum componente, além do aditivo que protegeu a sua superfície. O que novamente pode ter ocorrido por causa da composição química da madeira que durante os 15 de imersão na água não perdeu componentes como graxas e gorduras, o que contribui para manter a integridade da amostra (Csizmadia et al., 2013; Kieffer; Santana, 2025).

A Figura 9, mostra o índice de branqueamento das amostras em intemperismo.

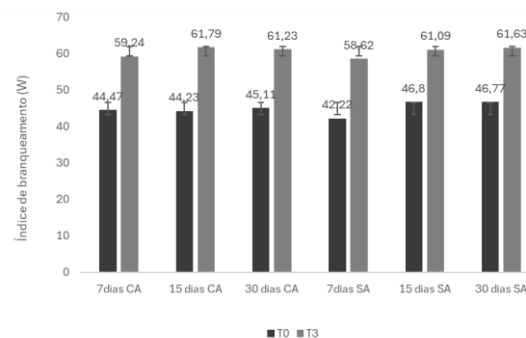


Figura 9. Índice de branqueamento dos compósitos

O índice de branqueamento, mostrado na Figura 9, foi possível observar tanto na análise gráfica quanto nas imagens da Tabela 2, o branqueamento de todas as amostras, ou seja, o aditivo não impediu o branqueamento. Enquanto o T0 mantém valores na faixa de 42 a 47 W, o T3 atinge valores muito mais altos, situando-se entre 58 a 62 W. O fator determinante para o índice de branqueamento desse parâmetro é a composição do material. Embora as amostras em T3 apresentem uma resposta visual significativamente maior, essa característica se mantém persistente e estável independentemente do tempo de exposição (até 30 dias) ou da condição de teste aplicada. Provavelmente, a imersão das amostras agiu como tratamento do reforço (MDP), retirando parte da lignina de baixa massa molar e outros extrativos que propiciaram o branqueamento do compósito (Kabir et al., 2012).

Avaliação reológica do índice de fluidez

O índice de fluidez das amostras foi testado no tempo zero T0 e T3, após a exposição ao intemperismo natural. A Figura 10 representa o ensaio realizado.

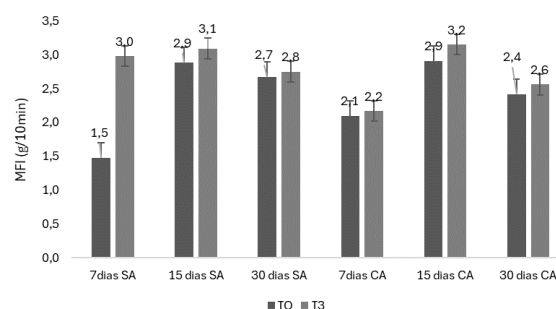


Figura 10. Índice de fluidez das amostras

De uma maneira geral todos os grupos, especialmente na amostra 7 dias SA, o valor de T3 é significativamente superior ao de T0. Indicando uma mudança drástica na integridade do material. O aumento do índice de fluidez observado entre T0 e T3 indica que o material está se tornando mais fluido, o que

pode ser um sinal de degradação. Quando as moléculas do polímero se quebram em cadeias menores, elas deslizam umas sobre as outras com mais facilidade, elevando o valor do MFI. Isso sugere que o processo ou o tempo de exposição causou uma degradação das cadeias poliméricas, ou seja, uma cisão das cadeias poliméricas, o que reduz a viscosidade e aumenta a fluidez. Resultado esperado para amostra sem aditivos (Dostál et al., 2008).

O grau de inchamento do extrudado também foi analisado, conforme Figura 11 e 12.

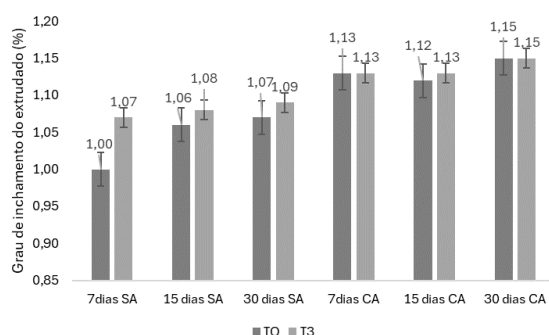


Figura 11. Grau de inchamento do extrudado das amostras avaliadas.

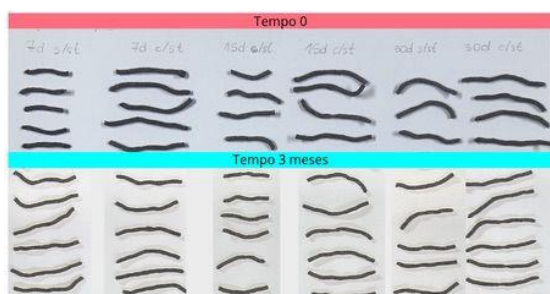


Figura 12. Imagem das amostras avaliadas após ensaio de MFI.

As amostras com aditivo (CA) apresentam, de forma consistente, um grau de inchamento superior às amostras SA em todos os períodos analisados. Os valores para as amostras CA ficaram entre 1,12 e 1,15, enquanto o grupo SA varia entre 1,00 e 1,09. Observa-se que as amostras com aditivo (CA) mostraram maior estabilidade entre os tempos (7 a 30 dias), com variações mínimas, sugerindo constância para essas amostras. O uso do aditivo fotoestabilizante no compósito pode causar um incremento na recuperação elástica do material fundido, indicando assim maior grau inchamento nas amostras com aditivo (Kumar; Sarkar; Saha, 2025).

CONCLUSÃO

Este estudo permitiu avaliar os efeitos das simulações realizadas com o MDP, simulação essa baseada no tempo de imersão de móveis de MDP, ocorrido na

ocasião da enchente de 2024 em Porto Alegre. O desenvolvimento de madeira plástica com esse material (MDP) permitiu verificar a resistência deste frente à exposição ao intemperismo natural e, consequentemente, a degradação do compósito PEAD/MDP. Ficou evidente que o tempo de imersão prévia das fibras vegetais, o MDP, por períodos de 7 dias, 15 dias e 30 dias, pode atuar como um fator crítico de pré-degradação, pois possivelmente houve lixiviação de extrativos da sua composição. Entretanto, os dados meteorológicos coletados entre os meses de novembro de 2025 a janeiro de 2026 na cidade de Porto Alegre indicaram as médias de incidência mais alta do ano em radiação UV, fator esse que contribui significativamente para degradação da matriz PEAD. Além disso, a umidade relativa, temperatura e a precipitação contribuem para a lixiviação de extrativos, resultando em branqueamento, perda de brilho e mudança de coloração na superfície exposta das amostras. Somando-se a isso, o Índice de fluidez das amostras corrobora com os outros resultados mostrando a importância de uso de aditivos fotoestabilizantes.

Portanto, é possível afirmar que a reutilização de MDP, o qual passou por ambiente úmido por até 15 dias e uso de PEAD pós consumo, é uma possibilidade de reaproveitamento desse material o qual foi totalmente descartado em 2024, desde que, aditivado com fotoestabilizantes para garantir a estética e durabilidade da madeira plástica.

AGRADECIMENTOS

À FAPERGS, pelo financiamento do projeto em execução e a UFRGS pelo local de execução do estudo. Ao LAPOL e ao NS pelo uso dos equipamentos e análises.

REFERÊNCIAS

- BONINI, Carlo *et al.* Singlet oxygen degradation of lignin in the pulp. **Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry**, v. 118, n. 2, p. 107–110, 30 out. 1998.
- CSIZMADIA, R. *et al.* PLA/wood biocomposites: Improving composite strength by chemical treatment of the fibers. **Composites Part A: Applied Science and Manufacturing**, v. 53, p. 46–53, 1 out. 2013.
- DORIAT, Aurélien *et al.* Effect of high-temperature high-speed airflow on the thermo-oxidative aging of epoxy polymer and composite: An experimental study. **Polymer Testing**, v. 153, p. 109019, 1 dez. 2025.



DOSTÁL, Jiří *et al.* Influence of the repeated extrusion on the degradation of polyethylene. Structural changes in low density polyethylene. **European Polymer Journal**, v. 44, n. 8, p. 2652–2658, 1 ago. 2008.

GOMES, Jailton Weber *et al.* Absorção de água e propriedades mecânicas de compósitos poliméricos utilizando resíduos de MDF. **Polímeros**, v. 27, p. 48–55, 2017.

INMET :: **Tempo.** Disponível em: <<https://tempo.inmet.gov.br/TabelaEstacoes/A001>>. Acesso em: 15 mar. 2026.

KABIR, M. M. *et al.* Chemical treatments on plant-based natural fibre reinforced polymer composites: An overview. **Composites Part B: Engineering**, v. 43, n. 7, p. 2883–2892, 1 out. 2012.

KIEFFER, Vanessa Z.; SANTANA, Ruth M. C. Influence of additives use from natural sources on the mechanical performance of post-consumer HDPE composites reinforced with natural fibers. **Materials Research**, v. 28, p. e20240610, 2025.

KUMAR, Sumit; SARKAR, Chandrani; SAHA, Sampa. From micro to macro: The importance of dimensionality in stabilizing phase change materials based polymer composites. **Composites Part B: Engineering**, v. 307, p. 112914, 15 nov. 2025.

LU, T. *et al.* UV degradation model for polymers and polymer matrix composites. **Polymer Degradation and Stability**, v. 154, p. 203–210, 1 ago. 2018.

Rio Grande do Sul tem novo alerta de chuvas e pode ter ventos de até 100 km/h | CNN Brasil. Disponível em: <<https://www.cnnbrasil.com.br/nacional/rio-grande-do-sul-tem-novo-alerta-de-chuvas-e-pode-ter-ventos-de-ate-100-km-h/>>. Acesso em: 25 fev. 2026.

SOCAS-HERNÁNDEZ, Cristina *et al.* Presence of microplastics in soils. **Advances in Chemical Pollution, Environmental Management and Protection**, v. 13, p. 107–145, 1 jan. 2025.

The CIELAB System – the Method to Specify Colors of Coatings. Disponível em: <<https://www.ulprospector.com/knowledge/16423/pc-the-cielab-system-the-method-to-specify-colors-of-coatings/>>. Acesso em: 19 mar. 2026.

WEBER, Cristiane; IWAKIRI, Setsuo. Utilização de resíduos de compensados, MDF e MDP para produção de painéis aglomerados. **Ciência Florestal**, v. 25, n. 2, p. 405–413, 16 jun. 2015.