

ESTUDO DA DEGRADAÇÃO DE ESPONJAS DE COZINHA DE POLIURETANO EM DIFERENTES AMBIENTES NATURAIS

Andreiky Diniz de Albuquerque¹, Ruth Marlene Campomanes Santana²

¹Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil
(andreikydealbuquerque@gmail.com)

²Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil

Resumo: O estudo avaliou a degradação de esponjas de poliuretano (PU) após exposição a solo, lagoa e rio por até três meses. As análises indicaram alterações visuais, químicas e morfológicas nas amostras, com destaque para o aumento do índice de amarelamento, especialmente na lagoa, devido à baixa renovação de água e maior acúmulo de materiais orgânicos e para o consumo das ligações uretânicas.

Palavras-chave: Degradação; Poliuretano; Espuma; Esponja; Hidrólise.

INTRODUÇÃO

A humanidade gerou 353 milhões de toneladas de resíduos plásticos em 2019, das quais 22% tiveram um descarte inadequado, com potencial de poluir meios naturais (OECD, 2022). Nesse contexto, a presente pesquisa busca estudar a degradação de esponjas de cozinha de poliuretano (PU), o sexto polímero mais empregado industrialmente a nível global (Corapi et al, 2023).

A forma comercial predominante do PU é como espuma flexível (36%) (Pillich et al, 2024), com aplicações que englobam setores como automotivo, moveleiro e doméstico (Akindoyo et al, 2016; Szycher, 2013). Tendo isso em mente, esponjas de cozinha de PU foram selecionadas como objeto de estudo por representarem um produto de PU de uso massivo, comercialmente disponível e internacionalmente difundido (Shashoua et al, 2022).

Estima-se que, no Brasil, sejam fabricadas cerca de 360 milhões de esponjas multiuso anualmente (SESC-SP, 2025). O PU, principal componente da parte macia das esponjas de cozinha e objeto de estudo desse trabalho, é um polímero resultante da reação de diisocianatos ou poliisocianatos com dióis ou polióis (Das e Mahanwar, 2024).

Contudo, Szycher (2013) alerta que o termo poliuretano é mais conveniente do que preciso. Pois os poliuretanos não são necessariamente polímeros contendo apenas grupos de uretano, mas sim incluem polímeros que contêm uma pluralidade de grupos de uretano na estrutura molecular, independentemente da composição química do resto da cadeia. Desse modo, um poliuretano típico pode conter, além das ligações de uretano, hidrocarbonetos alifáticos e

aromáticos, ésteres, éteres, amidas, ureia e grupos isocianurato (Szycher, 2013).

Contudo, Apesar do amplo uso, o descarte de esponjas de PU é um problema crescente devido à difícil reciclagem, tanto por fatores químicos quanto sociais. A reciclagem é economicamente inviável pela estrutura do polímero e pela necessidade de descontaminação, além da escassez de pontos de coleta e da recomendação de troca frequente, que intensificam a geração contínua desse resíduo (Keber, Borges e Bortuluci, 2024). Mesmo com restrições em alguns países, a destinação mais comum globalmente ainda é o aterro sanitário (Yang et al., 2012; Corapi et al., 2023).

Em vista à problemática explicitada, este trabalho tem por objeto avaliar a degradação de esponjas de PU após exposição a diferentes ambientes, considerando alterações químicas e morfológicas.

MATERIAL E MÉTODOS

Como material para a presente pesquisa, foram utilizadas esponjas de cozinha (Figura 1) produzidas pela empresa Bettanin e adquiridas em comércio local. Consta como composição em embalagem: espuma de poliuretano, fibra sintética e abrasivo.

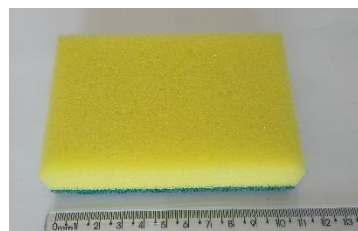


Figura 1. Esponja antes do experimento

As esponjas de cozinha foram expostas por períodos de um, dois e três meses em três meios distintos (rio (fluxo de água contínuo), lagoa (água parada) e solo (contato com matéria orgânica e microrganismos de solo natural)), havendo a retirada de uma amostra ao fim de cada período citado, totalizando, assim, nove amostras submetidas à degradação.

O período de exposição das amostras foi de 30 de setembro de 2024 a 31 de dezembro de 2024. Findado o período, cada amostra foi enxaguada em água corrente, a fim de se retirar o excesso de terra e lama absorvido pela esponja, posteriormente exposta ao ar em local abrigado e, quando finda a secagem, armazenada em local seco sem exposição ao sol.

Posteriormente, foram realizadas análise visual e ensaios de análise colorimétrica (equipamento Spectro Guide Sphere Gloss n.6834, da marca BYK-Gardner, ensaiando-se em triplicata cada uma das amostras), espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier (FTIR) (utilizando-se PerkinElmer IR SUBTECH SPECTRUM ASCII PEDS 4.00) e ensaio de deformação permanente à compressão, seguindo norma ISO1856 método A (ISO, 2018), com exceção do dimensionamento das amostras, em que foram utilizados cinco retângulos de cada combinação “ambiente - tempo de exposição” (além da amostra controle) de aproximadamente 3,5 mm de dimensões laterais.

Devido ao fato de a presente pesquisa focar na degradação do PU, a parte áspera (verde) das esponjas foi retirada para a realização dos experimentos pós-degradação.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

De início, analisou-se os aspectos visuais das amostras degradadas, visto que, estes estão entre os primeiros sinais de degradação do PU (Pellizzi, 2025).

A Figura 2 é uma fotografia, visando a comparação entre as amostras expostas ao solo e a amostra referência.

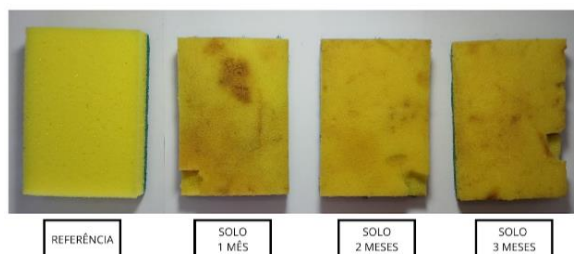


Figura 2. Comparação visual entre as amostras expostas ao solo

Por meio dessa, torna-se evidente a ocorrência de processos degradativos, em vista à diferença de coloração entre as amostras, além disso, nota-se

marcante presença de partículas de terra nas amostras, mesmo após enxágue.

É válido citar que as amostras expostas ao solo, em especial a que permaneceu por três meses, demonstraram certa interação com o ambiente, na medida em que havia a presença de pequenas raízes entre seus espaços vazios (Figura 3), as quais foram levadas na lavagem com água corrente.



Figura 3. Amostra exposta 3 meses ao solo logo após sua retirada

A Figura 4 apresenta uma fotografia para comparação entre as amostras expostas à lagoa e a amostra referência.

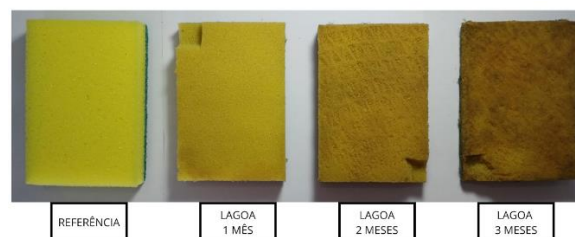


Figura 4. Comparação visual entre as amostras expostas à lagoa

A figura 4 evidencia claramente a ocorrência de processos degradativos nas amostras, visíveis por suas expressivas mudanças de aspecto e de coloração.

Indo além, as amostras submersas na lagoa, em especial a que lá permaneceu por três meses, ficaram recobertas por lama, tendo inclusive a presença de organismos, conforme explicita Figura 5.



Figura 5. Fotografia da superfície da amostra exposta à lagoa por 3 meses (com a rede nos cantos e a esponja ao centro)

A Figura 6 apresenta as amostras expostas ao rio e a amostra referência.

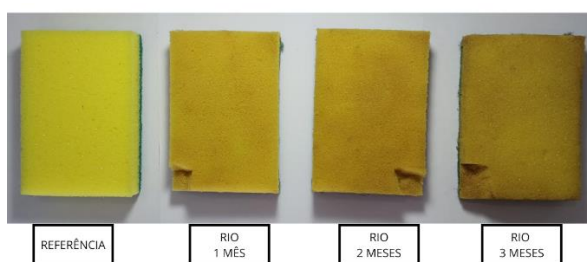


Figura 6. Comparação visual entre as amostras expostas ao rio

Tal qual para os demais ambientes, a degradação se torna perceptível por meio das mudanças no aspecto e na coloração das amostras expostas ao rio.

De forma semelhante às esponjas submersas na lagoa, as amostras submersas no rio também ficaram cobertas por lama, porém em menor grau, conforme Figura 7, o que indica que o fluxo contínuo de água gera certa troca de partículas nas esponjas expostas ao rio.



Figura 7. Superfície da amostra exposta ao rio por 3 meses logo após retirada

Visando ter dados quantitativos acerca da mudança no aspecto visual, realizou-se ensaio colorimétrico nas amostras.

A Figura 8 ilustra os parâmetros medidos nas amostras expostas ao solo, bem como a amostra referência.

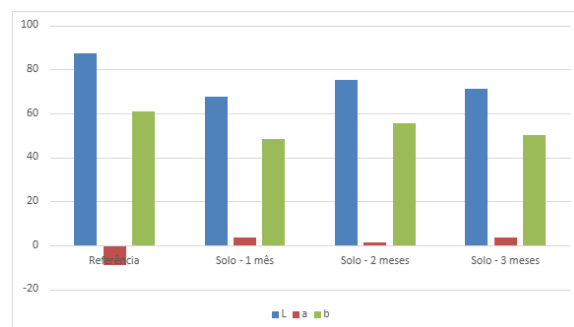


Figura 8. Parâmetros colorimétricos das amostras expostas ao solo

No solo, os valores de a (indicador de tonalidade vermelha-verde) aumentaram significativamente no primeiro mês em relação à amostra de referência, indicando uma tendência de reações de degradação que podem alterar a coloração do PU, tendendo-a a tons mais avermelhados. O parâmetro b (indicador de tonalidade amarela-azul), por sua vez, diminuiu, indicando assim perda do tom amarelado. Ademais, os valores de L (luminosidade) também diminuíram, sugerindo um escurecimento do material, possivelmente causado pela ação combinada de deposição de partículas do solo e reações degradativas.

As medições obtidas com a análise de colorimetria para as amostras expostas ao rio são apresentadas na Figura 9.

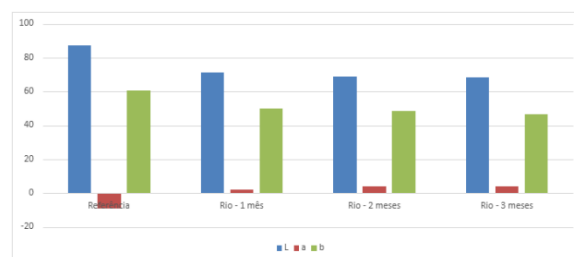


Figura 9. Parâmetros colorimétricos das amostras expostas ao rio

As amostras submersas no rio apresentaram alterações perceptíveis em relação à referência, com os valores de a aumentando no primeiro e no segundo meses, antes de estabilizarem no terceiro mês. Esse aumento reflete a perda do tom esverdeado original, indicando oxidação moderada. Comparando os três meses, o parâmetro a apresentou variações relativamente suaves, fato que sugere que o fluxo

contínuo de água pode ter reduzido o acúmulo de substâncias oxidantes na superfície.

O parâmetro b teve uma expressiva queda no primeiro mês, diminuindo, posteriormente, de forma mais branda ao longo dos três meses, mostrando uma atenuação do tom amarelado. Ao passo que, o parâmetro L reduziu significativamente indicando escurecimento do material. Estes resultados podem ser atribuídos tanto às reações de degradação quanto à lixiviação de compostos solúveis pelo fluxo contínuo.

Os resultados obtidos para as amostras que tiveram a lagoa como meio de degradação constam na Figura 10.

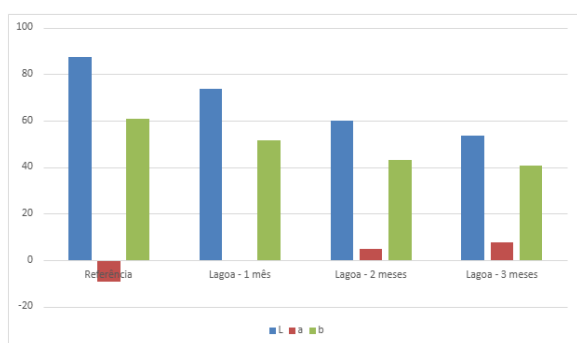


Figura 10. Parâmetros colorimétricos das amostras expostas à lagoa

As amostras da lagoa mostraram alterações bastante consideráveis quando comparadas à referência. O valor de a aumentou gradualmente ao longo dos meses, sugerindo que a estagnação da água favoreceu reações mais intensas do que quando o fluxo de água era constante.

Inversamente, o parâmetro b apresentou quedas acentuadas ao longo dos meses, indicando uma perda significativa do tom amarelado. Essa redução pode estar relacionada à degradação fotoquímica. De forma semelhante, o parâmetro L caiu drasticamente, de 87,500 (referência) para apenas 53,780 no terceiro mês, demonstrando um escurecimento mais pronunciado em comparação aos outros ambientes. Estima-se que a baixa renovação de água e a maior deposição de materiais orgânicos sejam os principais fatores que intensificaram essas mudanças.

Com os valores obtidos com a colorimetria, foi calculado o índice de amarelamento (YI) das amostras, o qual é considerado um forte indicativo da degradação do material (Bernardes e Santana, 2013). O cálculo seguiu a Equação 1, também utilizada por Pagacz *et al* (2013):

$$YI = \frac{0,72a \times 1,79b}{L} \times 100 \quad (1)$$

Os resultados estão expressos graficamente na Figura 11:

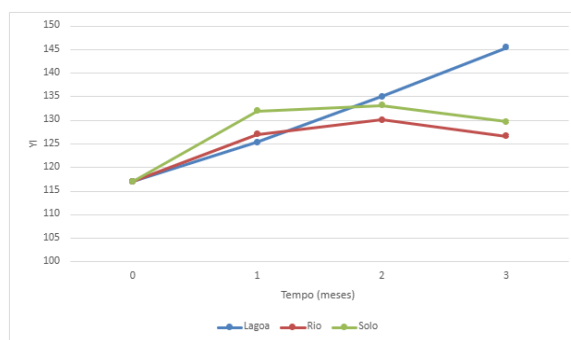


Figura 11. Gráfico acerca do YI das amostras

Os valores do YI mostram alterações significativas nas amostras expostas aos diferentes ambientes em comparação à referência. No solo, o YI aumentou fortemente no primeiro mês, com aumento brando no segundo mês, indicando a presença de compostos cromóforos, devido à degradação e interações com substâncias orgânicas do solo. No terceiro mês, o YI apresentou uma leve redução, possivelmente causada por fatores como lixiviação de produtos de degradação (em vista ao mês chuvoso de dezembro, quando comparado ao mês anterior).

Nas amostras expostas ao rio, o aumento no YI foi mais moderado, atingindo um máximo no segundo mês, antes de uma leve redução no terceiro mês. Tais fatos podem indicar um equilíbrio entre os processos de degradação e a remoção de produtos pelo fluxo contínuo de água.

Na lagoa, o YI mostrou o aumento mais expressivo entre os ambientes, alcançando seu pico no fim do experimento. O ambiente estagnado favoreceu o acúmulo de produtos de degradação e compostos cromóforos, gerando o aumento no índice de amarelamento das amostras. Este resultado é consistente com o maior escurecimento observado nos parâmetros colorimétricos das amostras da lagoa, bem como na análise visual.

Isso exposto, ao comparar-se os ambientes, o solo e o rio apresentaram resultados mais moderados, enquanto a lagoa mostrou um comportamento marcadamente intensificado e crescente.

A espectroscopia na região do infravermelho por transformada de Fourier (FTIR) destaca-se como uma técnica de suma importância na análise orgânica qualitativa (Lopes e Fascio, 2004), sendo, portanto, um método chave para o estudo dos compostos presentes em amostras degradadas.

As figuras 12, 13 e 14 apresentam os espectros das amostras expostas ao solo, ao rio e à lagoa, respectivamente, bem como da esponja não exposta, denominada de “branco”.

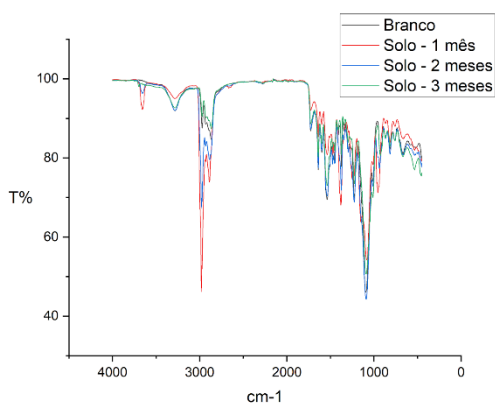


Figura 12. Espectro das amostras expostas ao solo

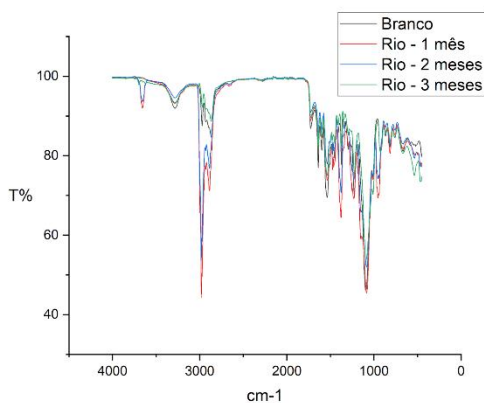


Figura 13. Espectro das amostras expostas ao rio

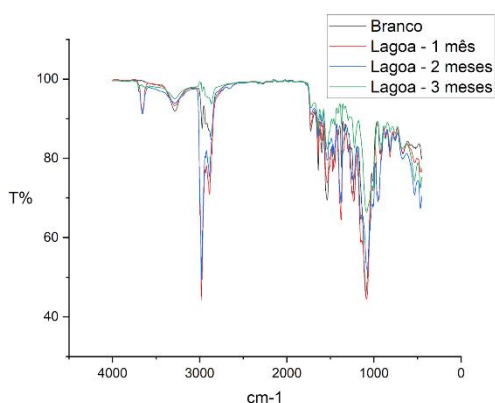


Figura 14. Espectro das amostras expostas à lagoa

Percebe-se também a presença de um pico a aproximadamente 3300 cm^{-1} , o qual pode ser atribuído às ligações N-H (ureias e uretanos). A ausência de variações significativas indica que a degradação não afetou substancialmente tais grupos durante o período analisado.

Por outro lado, nota-se um substancial crescimento de dois picos entre 3000 cm^{-1} e 2800 cm^{-1} no primeiro mês, com posterior diminuição ao longo do

experimento. Esses picos provavelmente correspondem ao estiramento de ligações C-H alifáticas. O aumento inicial pode estar relacionado à exposição de cadeias alifáticas internas devido à degradação da estrutura superficial ou de algum produto ou resíduo de fábrica superficial da esponja. A diminuição gradual sugere degradação dessas cadeias ao longo do tempo.

Além disso, é evidente a presença de diversos picos entre 1800 cm^{-1} e 500 cm^{-1} , os quais não apresentaram nenhuma tendência apreciável e devem pertencer a grupamentos como C=O, N-H e C-H. Vale destacar o marcante pico por volta dos 1100 cm^{-1} , característico de ligações éter alifáticas (C-O-C), o qual não apresentou variações significativas. Tais indícios indicam que essas ligações não foram severamente degradadas, ou que produtos de degradação com grupos semelhantes podem ter contribuído para manter a intensidade.

Por fim, há a figura 15, na qual se sobrepõem os espectros das amostras de três meses expostas aos ambientes.

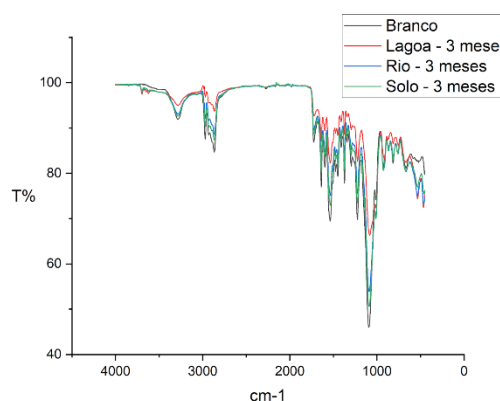


Figura 15. Espectro das amostras que permaneceram por 3 meses nos ambientes

Com isso, evidencia-se que, em geral, as amostras degradadas por 3 meses em qualquer ambiente apresentaram intensidades menores que as da amostra de referência. O aumento observado inicialmente, seguido dessa redução geral da intensidade dos picos pode ser entendida como um indicativo de que houve degradação considerável nas amostras expostas por três meses, independentemente do ambiente.

CONCLUSÃO

Por meio do experimento realizado, indica-se que as esponjas de PU sofrem degradação significativa quando expostas ao solo, rio e lagoa por períodos de até três meses.

O escurecimento e o amarelamento progressivos das amostras indicaram processos oxidativos e de



degradação superficial mais acentuada ao longo do tempo. Sendo as esponjas de PU expostas à lagoa, aquelas que apresentaram maior índice de amarelamento ao final do estudo.

As análises espectroscópicas indicaram para processos de hidrólise, com alterações significativas nas cadeias alifáticas (C-H) e diminuição das bandas relacionadas às ligações uretânicas. Apesar de as amostras de referência e degradadas apresentarem padrões espectrais semelhantes, as intensidades reduzidas dos picos após três meses apontam para degradação.

Destaca-se ainda que, entre os ambientes estudados, a lagoa sobressai como o meio mais degradante para as esponjas de PU, pelos índices de amarelamento mais elevados e crescente, mudanças químicas mais acentuadas, perda de massa expressiva e, principalmente, pelo próprio aspecto visual e morfológico presente nas amostras expostas a esse ambiente. A ausência de fluxo de água, combinada com o ambiente orgânico da lagoa, pode ter intensificado os processos de degradação, especialmente a hidrólise. Esses fatores criam condições propícias para reações químicas que fragilizam a estrutura do PU, tornando-o mais suscetível a alterações.

Isso exposto, conclui-se que os diferentes ambientes impactam de maneira distinta a degradação das esponjas de PU, com resultados que destacam a relevância de iniciativas que aliem gestão adequada de resíduos e pesquisa para formulações menos persistentes no meio ambiente.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Laboratório de Materiais Poliméricos (LAPOL) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) por ceder seus equipamentos e espaço e aos seus técnicos e bolsistas pelo auxílio na realização dos ensaios.

REFERÊNCIAS

- Akindoyo, et al. Polyurethane types, synthesis and applications a review. *RSC Advances*, 6, 114453-114482, 2016.
- Bernardes, Giordano Pierozan; Santana, Ruth Marlene Campomanes. Avaliação da fotodegradação por envelhecimento acelerado de poliestireno cristal. In: Congresso Brasileiro de Polímeros, 12. 2013, Florianópolis. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/266960/000902328.pdf?sequence=1>. Acesso em: 13 jan. de 2025.
- Corapi, et al. Evaluation of the Ecotoxicity of New Polyurethane Composites on Target Organisms for Aquatic and Atmospheric Environments.

Environmental Toxicology and Chemistry, 42, 421–436, 2023.

- Das, Abhijit; Mahanwar, Prakash. A brief discussion on advances in polyurethane applications. *Advanced Industrial and Engineering Polymer Research*, 3, 93-101, 2020.
- International Organization for Standardization (ISO). ISO 1856 – Flexible cellular polymeric materials — Determination of compression set. Geneva, Switzerland: [s.n.]. . Acesso em: 3 fev. 2025.
- Keber et al. Esponjas de lavar louça. Disponível em: <https://semil.sp.gov.br/educacaoambiental/prateleira-ambiental/esponjas-delavar-louca/>. Acesso em: 11 jan. 2025.
- Lopes, Wilson Araújo; Fascio, Miguel. Esquema para interpretação de espectros de substâncias orgânicas na região do infravermelho. *Quim. Nova*. 27, 670-673, 2004.
- OECD. Global Plastics Outlook: Economic Drivers, Environmental Impacts and Policy Options. Paris: OECD, 2022.
- Pagacz, Joanna; et al. Thermal aging and accelerated weathering of PVC/MMT nanocomposites: Structural and morphological studies. *Journal of Applied Polymer Science*. 2015.
- Pellizzi, Eleonora; et al. Degradation of polyurethane ester foam artifacts: Chemical properties, mechanical properties and comparison between accelerated and natural degradation. *Polymer Degradation and Stability*, 107, 255-261, 2025.
- Pillich, Martin; et al. What to do with polyurethane waste? The environmental potential of chemically recycling polyurethane rigid foam. *Green Chemistry*, 26, 10893–10906, 2024
- Shashoua, Yvonne; et al. Real time degradation studies on polyurethane household sponges in Danish weather and marine environments. *Marine Pollution Bulletin*, 184, 2022.
- Sesc São Paulo. Esponjas são recicláveis?. 2019. Disponível em: <https://www.sescsp.org.br/editorial/esponjas-sao-reciclaveis/>. Acesso em: 12 jan. 2025.
- Szycher, Michael. *Szycher's Handbook Of Polyurethanes*. CRC Press, New York, 2013.