

ANÁLISE MORFOLÓGICA DE SUPERFÍCIES DE FILMES POLIMÉRICOS COM NANOPARTÍCULAS IMPREGNADAS PARA APLICAÇÃO AMBIENTAL

Bruno Bertato Amaral¹, Lucimara Lopes da Silva², Kelly Roberta Francisco³, Rubiane Ganascim Marques⁴, Cynthia Aiko Wada⁵

RESUMO: Diante da crescente escassez hídrica e contaminação das águas por poluentes orgânicos e inorgânicos, a busca por tecnologias de tratamento de efluentes mais eficientes se intensifica. A incorporação de nanopartículas de dióxido de titânio (TiO_2) e argila em látex permite avaliar o efeito sinérgico dos processos de fotocatálise heterogênea e adsorção, além de facilitar o reciclo destas nanopartículas em tratamentos de efluentes, resultando em redução de custo destes processos. O TiO_2 promove a fotocatálise heterogênea, devido a sua eficiência em catalisar reações de oxidação com o uso de luz ultravioleta. Já a argila possui uma estrutura lamelar com alta capacidade de troca catiônica, bem como, uma superfície específica elevada que a torna ideal para adsorção. O látex, por sua vez melhora a flexibilidade, além de poder contribuir adsorvendo moléculas orgânicas que interagem com seus grupos funcionais. O presente trabalho objetivou avaliar a morfologia de filmes compostos por argila, látex e TiO_2 usados para remoção e/ou degradação de poluentes orgânicos. Os filmes foram produzidos por *casting*, otimizando a obtenção de materiais flexíveis, homogêneos e com alta capacidade fotocatalítica e de adsorção. As análises morfológicas foram realizadas por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e os resultados mostraram que alguns filmes possuem composição química similar na superfície e na face em contato com o molde enquanto outros apresentaram diferenças significativas em ambos os lados. Esta heterogeneidade química pode ser interessante em algumas aplicações, onde o TiO_2 , prevalece em um dos lados do filme, garantindo maior eficiência no processo de fotocatálise, por exemplo. Acredita-se que o uso das nanopartículas, combinado com a otimização das condições de produção dos filmes, apresente um grande potencial para o desenvolvimento de tecnologias de tratamento de água mais sustentáveis e economicamente viáveis, visando assim contribuir significativamente com a preservação ambiental e melhoria da qualidade hídrica global.

Palavras-chave: dióxido de titânio; adsorção; poluentes industriais.

1 INTRODUÇÃO

¹ Discente voluntário do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica e Desenvolvimento Tecnológico. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, Paraná, Brasil. E-mail: brunoamaral@alunos.utfpr.edu.br. ID Lattes: 7084265509304498.

² Docente no Departamento de Engenharia Química. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, Paraná, Brasil. E-mail: lucimarasilva@utfpr.edu.br. ID Lattes: 4525151236562359.

³ Docente no Departamento de Química. Universidade Federal de São Carlos, Araras, São Paulo, Brasil. E-mail: kffrancisco@ufscar.br. ID Lattes: 0422652925722673.

⁴ Docente no Departamento de Engenharia Química. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Apucarana, Paraná, Brasil. E-mail: rubianemarques@utfpr.edu.br. ID Lattes: 7972515324968310.

⁵ Discente voluntária do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica e Desenvolvimento Tecnológico. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, Paraná, Brasil. E-mail: cynthiawada@alunos.utfpr.edu.br. ID Lattes: 3488819955953065.

A escassez hídrica e a contaminação das águas são desafios significativos para a sustentabilidade ambiental e a saúde pública. Devido ao aumento da industrialização e o crescimento populacional, a poluição dos corpos hídricos por efluentes industriais, agrícolas e domésticos é cada vez mais preocupante. Tais efluentes possuem poluentes orgânicos e inorgânicos, geralmente resistentes aos métodos convencionais de tratamento, e demandam de abordagens inovadoras e eficientes para garantir a potabilidade da água e a preservação dos ecossistemas aquáticos (RIBEIRO *et al.*, 2020).

Dentre tais abordagens, a fotocatálise heterogênea e a adsorção surgem como soluções promissoras. Nesse contexto, alguns óxidos metálicos são amplamente utilizados como photocatalisadores (RIBEIRO *et al.*, 2020), enquanto nanoargilas favorecem a adsorção de moléculas poluentes (DA SILVA & GALEMBECK, 2015). Além disso, a combinação destes sistemas pode potencialmente aumentar a eficácia do tratamento (GUILLAME *et al.*, 2018). Por fim, impregnar tais partículas em um polímero, como o látex pode conferir flexibilidade e reciclagem aos materiais compósitos.

O objetivo deste trabalho é avaliar a morfologia de filmes compostos por argila, látex e TiO₂, utilizados para a remoção e/ou degradação de poluentes. As análises morfológicas, revelaram diferenças significativas entre ambos os lados dos filmes, o que pode ser explorado em aplicações específicas. Acredita-se que a combinação de nanopartículas com otimização das condições de produção ofereça um potencial relevante para o desenvolvimento de tecnologias sustentáveis de tratamento de água, contribuindo para a preservação ambiental e a melhoria da qualidade hídrica global.

2 METODOLOGIA

Foram obtidos 5 filmes poliméricos, de acordo com o planejamento experimental e método de *casting* descritos nas subseções subsequentes.

2.1 Planejamento fatorial

As concentrações utilizadas foram encontradas utilizando Planejamento Fatorial 2² (CUNICO *et al.*, 2008), onde os fatores (variáveis) foram as concentrações de argila e de TiO₂ variando em 2 níveis, além do ponto central (valor médio), como demonstrado na Tabela 1. Neste estudo a concentração de látex se deu pela diferença mássica no filme, não sendo considerado como variável analisada.

Tabela 1 – Concentrações de TiO₂ e Argila obtidas por Planejamento Fatorial 2². ^a O filme 5 foi produzido em triplicata.

Filmes	TiO2(%)	Argila(%)	Látex Aprescyl 9497 (%)
1	0	0	100
2	10	0	90
3	0	6	94
4	10	6	84
5 ^a	5	3	92

2.2 Casting

Os filmes poliméricos foram obtidos por *casting* de dispersões aquosas relativas aos filmes 1 a 5 determinadas previamente pelo planejamento fatorial. Tais dispersões foram depositadas em moldes plásticos planos que foram posteriormente colocados em estufas de secagem e esterilização (Nova Instruments/ modelo Est) a 60 °C, por cerca de 24 horas, de forma a obter filmes com espessura em torno de 1 mm.

2.3. MEV

Os filmes obtidos tiveram suas morfologias analisadas por MEV (Tescan Vega 4). As amostras foram previamente metalizadas com ouro e submetidas às análises nos modos de elétrons retroespalhados (BSE, do inglês, *backscattered electrons*) e secundários (SEI, do inglês, *secondary electron imaging*), além de análise elementar por raios-X, pelo modo EDS (Espectroscopia por energia dispersiva).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Dentre os filmes poliméricos obtidos (Figura 1), os filmes 1A e 3A apresentaram formação de bolhas, sendo o filme 3A o mais quebradiço. Este resultado não era esperado, visto que a argila tem como uma de suas características aumentar a flexibilidade de filmes (DA SILVA & GALEMBECK, 2015).



Figura 1:Foto dos filmes, da esquerda para a direita de cima para baixo: 1A, 2A, 3A, 4A, 5A Frente e Verso e 5C Frente e Verso. Fonte: UTFPR, 2024.

Na micrografia do filme 1A (Figura 2), constituído apenas por látex, observa-se uma superfície lisa e quimicamente homogênea como confirma a análise elementar

(EDS), que destaca o Carbono (C) como elemento químico prevalecente bem distribuído por todo o filme. Este resultado era esperado visto que polímeros, como o látex, possuem cadeia principal carbônica. Para todos os filmes analisados, não observamos diferença significativa das informações obtidas pelas imagens no modo SEI (que prioriza a topografia da amostra) e BEI (que prioriza diferenças de composição química), sendo essencial o uso do modo EDS para analisar heterogeneidade química nos filmes.

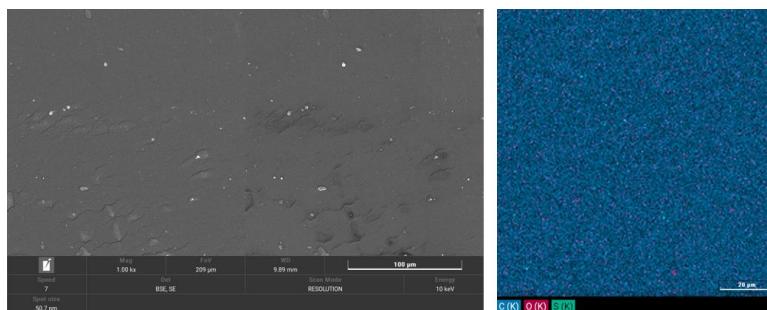


Figura 2: MEV do filme 1A (esquerda), a1kx, e análise elementar (direita). Fonte: UTFPR, 2024.

A micrografia do filme 2A (Figura 3) apresenta uma superfície mais rugosa em comparação ao filme 1A. Neste filme, com látex e titânio, observa-se que o Titânio é bem distribuído no filme mas que também forma aglomerados.

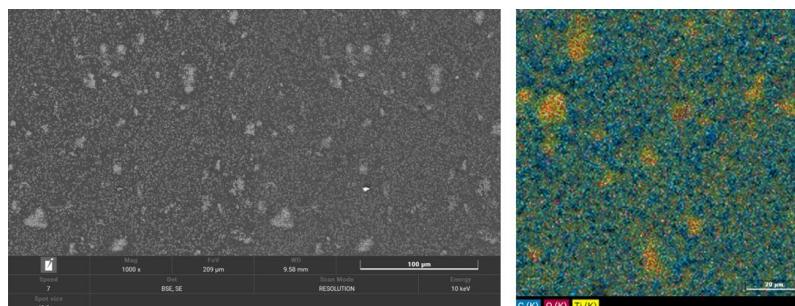


Figura 3: MEV do filme 2A (esquerda), a1kx, e análise elementar (direita). Fonte: UTFPR, 2024.

O filme 3A apresenta a superfície lisa, e a análise EDS do mesmo (Figura 4) mostra a presença de Si, Na e Al, elementos presentes na argila, distribuídos pelo látex de forma homogênea, sendo este um indício de esfoliação da argila pelo polímero.

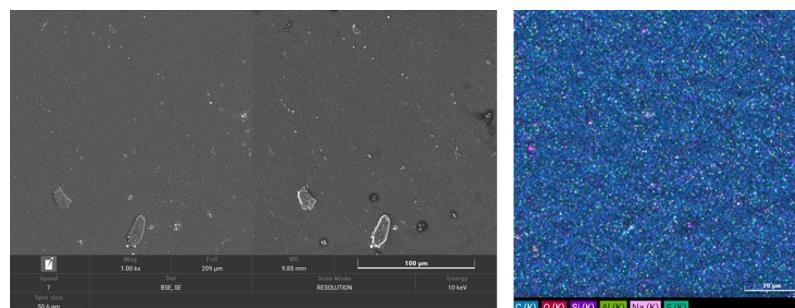


Figura 4: MEV do filme 3A (esquerda), a1kx, e análise elementar (direita). Fonte: UTFPR, 2024.

A micrografia do filme 4A (Figura 5) mostra uma superfície menos rugosa em comparação ao filme contendo apenas titânio (filme 2A), e pela análise elementar percebe-se uma distribuição mais uniforme do titânio pela superfície do filme 4A em relação ao filme 2A. Este resultado evidencia que a argila pode contribuir no processo de dispersão do titânio no polímero. De fato, a troca iônica entre o titânio e a argila é reportada na literatura, sendo esta interação relativamente forte (NUNES & AIROLDI, 2001).

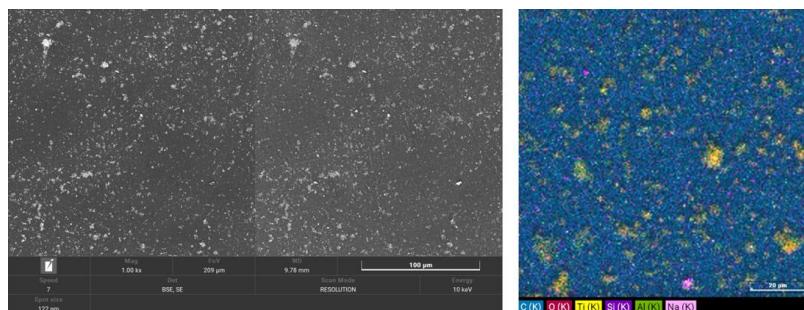


Figura 5: MEV do filme 4A (esquerda), a1kx, e análise elementar (direita). Fonte: UTFPR, 2024.

As micrografias do filme 5A (Figura 6) mostram que a superfície exposta ao ar possui a superfície mais lisa em relação à superfície em contato com o molde (verso). Além disso, é possível observar a olho nú a heterogeneidade química do filme, pois houve deposição de titânio no verso do filme, na forma de grandes aglomerados, como mostra a análise elementar. O mesmo foi observado para outra replicata do filme 5 (dados não mostrados), demonstrando a reproduzibilidade do ponto central.

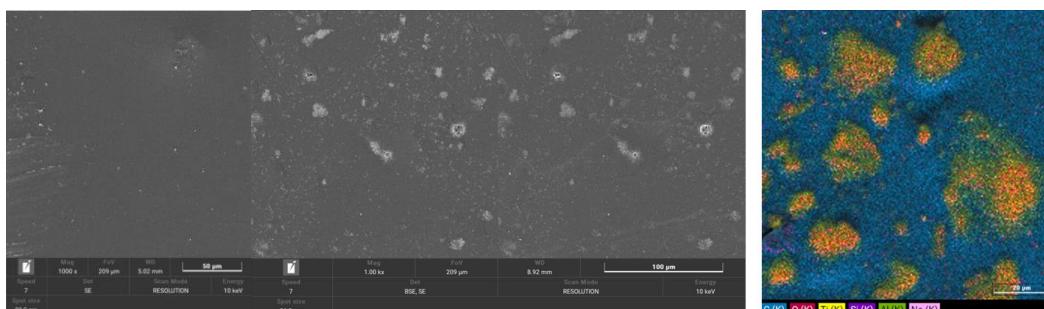


Figura 6: Da esquerda para a direita Foto filme 5A MEV 1kx Frente, Foto filme 5A MEV 1kx Verso e Análise elementar modo EDS Verso. Fonte: UTFPR, 2024.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Superadas as dificuldades iniciais acerca da produção dos filmes poliméricos, foi possível a obtenção de filmes com espessura regular por toda a sua extensão. Após as análises de MEV, fora possível verificar a reprodutibilidade do Ponto Central, os próximos passos do projeto seria os testes a serem realizados quanto a eficiência de adsorção e fotocatálise, assim como testes em aplicações específicas para os filmes que apresentaram a questão da heterogeneidade entre as faces (filme 5 e 5C). E ainda, a comparação destes filmes sintetizados por *casting* com os filmes que serão produzidos pelo método de *freeze-casting*.

AGRADECIMENTOS

Os autores desejam expressar profundos agradecimentos à Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Campus Londrina, pelo apoio institucional essencial concedido a este projeto. Além disso, gostaríamos de reconhecer o Laboratório Multiusuário do Câmpus Londrina da UTFPR pelas análises realizadas, que foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- CUNICO, M. W. M.; CUNICO, M. M.; MIGUEL, O. G.; ZAWADZKI, S. F.; PERALTA-ZAMORA, P.; VOLPATO, N. Planejamento fatorial: uma ferramenta estatística valiosa para a definição de parâmetros experimentais empregados na pesquisa científica. Visão Acadêmica, Curitiba, v. 9, n. 1, p. 23-32, jan./jun. 2008.
- DA SILVA, L. L.; GALEMBECK, F. Morphology of latex and nanocomposite adsorbents prepared by freeze-casting. Journal of Materials Chemistry A, v. 3, n. 14, p. 7263–7272, 14 abr. 2015.
- GUILLAME, Pohan Lemeyonouin Aliou; CHELARU, Andreea-Maria; VISA, Maria; LASSINÉ, Ouattara. “Titanium Oxide-Clay” as Adsorbent and Photocatalysts for Wastewater Treatment. Journal of Membrane Science & Technology, v. 8, n. 1, p. 176, 2018.
- NUNES, Liliane M.; AIROLDI, Claudio. Hidrogenofosfato de titânio lamelar: síntese, troca iônica e intercalação. Química Nova, v. 24, n. 6, p. 799-807, 2001.
- RIBEIRO, Valquíria Aparecida dos Santos; FERRARI, Ana Maria; TAVARES, Célia Regina Granhen. Fotocatálise aplicada ao tratamento de efluentes de lavanderia de jeans: comparação entre TiO₂ e ZnO na eficiência de remoção de cor. Brazilian Journals of Business, Curitiba, v. 2, n. 3, p. 2788-2798, jul./set. 2020.