



Líquidos Iônicos e Microplásticos: uma revisão sistemática para os desafios ambientais

Ionic Liquids and Microplastics: a systematic review for environmental challenges

Luan Barichello Corso¹, Irede Angela Lucini Dalmolin², Maiquiel Schmidt de Oliveira³,
Tania Maria Cassol⁴

RESUMO

A utilização de revisões bibliográficas em pesquisas abarca, não apenas a identificação de trabalhos de alto impacto ou a construção de estudos do tipo *review*, mas também a investigação da escassez de estudos em uma área. Neste contexto, este estudo teve como objetivo encontrar publicações envolvendo o uso de líquidos iônicos em microplásticos no meio ambiente. Para alcançar esse propósito, foi conduzida uma revisão da literatura empregando a metodologia *Methodi Ordinatio*, a qual utiliza o índice *InOrdinatio* para classificar os artigos com base em três critérios: número de citações, fator de impacto e ano de publicação. Após a busca em quatro bases de dados distintas (Scopus, Web of Science, ScienceDirect e SciFinder), foram identificados inicialmente 42 artigos. No entanto, após a aplicação de critérios de filtragem, o portfólio final foi composto por apenas três artigos. Esta análise possibilitou a elaboração de comentários gerais sobre as publicações encontradas e destacou uma lacuna substancial na pesquisa científica relacionando a utilização de líquidos iônicos para a remoção de microplásticos do meio ambiente.

PALAVRAS-CHAVE: meio ambiente; poluição de águas; revisão de literatura.

ABSTRACT

The use of bibliographic reviews in research encompasses not only the identification of high-impact works or the construction of review-type studies, but also the investigation of the scarcity of studies in an area. In this context, this study aimed to find publications involving the use of ionic liquids in microplastics in the environment. To achieve this purpose, a literature review was conducted using the *Methodi Ordinatio* methodology, which uses an index *InOrdinatio* to classify articles based on three criteria: number of citations, impact factor and year of publication. After searching four different databases (Scopus, Web of Science, ScienceDirect and SciFinder), 42 articles were initially identified. However, after applying filtering criteria, the final portfolio consisted of only three articles. This analysis allowed the elaboration of general comments on the publications found and highlighted a substantial gap in scientific research relating the use of ionic liquids to the removal of microplastics from the environment.

KEYWORDS: environment; water pollution; literature review.

INTRODUÇÃO

Os Líquidos iônicos (LIs) representam uma ampla categoria de sais orgânicos ou combinações de sais que não solidificam em condições de temperatura ambiente

¹ Voluntário do Programa Institucional Voluntário de Iniciação Científica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Francisco Beltrão, Paraná, Brasil. E-mail: luancorso@alunos.utfpr.edu.br. ID Lattes: 6996741460869799.

² Docente no Departamento Acadêmico de Engenharias – DAENG. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Francisco Beltrão, Paraná, Brasil. E-mail: irededalmolin@utfpr.edu.br. ID Lattes: 0667595639623212.

³ Docente no Departamento Acadêmico Física, Estatística e Matemática – DAFEM. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Francisco Beltrão, Paraná, Brasil. E-mail: msoliveira@utfpr.edu.br. ID Lattes: 8427167169125926.

⁴ Docente no Departamento de Química e Ciências Biológicas – DAQBI. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Francisco Beltrão, Paraná, Brasil. E-mail: tcassol@utfpr.edu.br. ID Lattes: 0332752529817022



(Chatzimitakos *et al.*, 2016). Comparados a solventes convencionais, os LIs apresentam uma viscosidade relativamente elevada. Além disso, possuem uma taxa de vaporização insignificante, mantendo-se geralmente no estado líquido.

Devido à relação entre a estrutura do cátion e ânion, os LIs possuem um baixo ponto de fusão. A excelente estabilidade eletroquímica e alta condutividade iônica possibilitam sua ampla utilização em aplicações, como baterias, supercapacitores, células de combustível, células solares e extração eletroquímica (Foong; Wirzal; Bustam, 2020).

Em virtude de sua acessibilidade financeira, resistência, leveza e flexibilidade, os plásticos desempenham um papel fundamental em todos os aspectos da nossa vida diária. No entanto, anualmente, mais de 350 milhões de toneladas métricas de plástico se tornam resíduos, dos quais aproximadamente 80 milhões de toneladas métricas são inadequadamente gerenciadas em todo o mundo (Credit Suisse, 2023).

Atualmente, os microplásticos são classificados como partículas de plástico com tamanhos que variam de 0,1 μm a 5 mm (Wang; Zhao; Xing, 2021). Eles já foram detectados em órgãos como o coração (Yang *et al.*, 2023), a placenta (Ragusa *et al.*, 2021) e o sangue humano (Kuhlman, 2022). Além da preocupação com a acumulação dessas partículas, pesquisas também buscam estabelecer uma possível relação entre a ingestão desses materiais e seu potencial carcinogênico (Gruber *et al.*, 2023).

Alguns métodos de extração de microplásticos conhecidos são: separação por densidade ou flotação, filtração, triagem ou peneiramento, procedimentos de digestão (Rafiq; Xu, 2023) e o uso de LIs em partículas magnetizadas (Misra *et al.*, 2020).

Nesse contexto, o propósito deste estudo é conduzir uma análise dos artigos que abordam a interação entre LIs e microplásticos, a partir de pesquisas realizadas em quatro bases de dados (Scopus, Web of Science, ScienceDirect e SciFinder). Buscou-se identificar trabalhos que explorem o uso desses compostos orgânicos com microplásticos do meio ambiente. Para alcançar esse fim, foi conduzida uma revisão sistemática da literatura utilizando a metodologia *Methodi Ordinatio* (Pagani *et al.*, 2015, 2018).

METODOLOGIA

Para conduzir a revisão bibliográfica, adotou-se o método *Methodi Ordinatio*, desenvolvido por Pagani *et al.* em 2015 e aprimorado por Pagani *et al.* em 2018. Esse método envolve um processo composto por nove etapas, conforme descrito abaixo.

Etapas 01 – Definição do objetivo da pesquisa: A ideia central é realizar um mapeamento de estudos que investiguem o emprego de LIs como agentes para a extração de microplásticos, com o objetivo de compilar um portfólio de artigos que descrevam esse procedimento.

Etapas 02 e 03 – Levantamento inicial em base de dados e determinação das palavras-chave: Com o propósito de experimentar diversas combinações de palavras-chave a serem empregadas na pesquisa, explorou-se investigações nas bases de dados Scopus, Web of Science, ScienceDirect e SciFinder. Efetuou-se as combinações de acordo com a combinação das palavras “microplastics” AND “ionic liquids” nos resumos, títulos e palavras-chave dos artigos, por meio do uso do operador booleano “AND”.

Etapas 04 – Procura nas bases de dados: Após a determinação das combinações, as buscas são conduzidas nas bases de dados. A quantidade de artigos encontrados foram: 7 (Web of Science), 17 (Scopus), 5 (ScienceDirect) e 13 (SciFinder).



No total, encontrou-se 42 trabalhos, as filtragens que eram possíveis ser realizadas no site determinaram a busca apenas por artigos, eliminando capítulos de livros, trabalhos em congressos e conferências, por exemplo.

Etapa 05 – Procedimentos de filtragem: Os artigos encontrados foram baixados das bases de dados, no dia 28 de agosto de 2023, no formato BibTeX e importados para o Mendeley, onde houve os processos de triagem. Dos 42 trabalhos, 17 eram duplicados, 1 não possuía dados, 20 estavam fora do tema e 1 foi eliminado pelo tipo. O Portfólio Final (PF) ficou composto por três artigos.

Etapa 06 - Identificação do Fator de Impacto (FI), número de citações (Ci) e ano de publicação (AnoPubl): O *Methodi Ordinatio* se fundamenta em um índice que considera o Fator de Impacto (FI) dos artigos, quantidade de citações (Ci) e o ano de publicação (AnoPubl), conforme demonstrado na Eq. (1). O valor α é compreendido entre 1 e 10, definido pelos autores conforme com a importância do estudo, neste trabalho, utilizou-se 5.

$$InOrdinatio = (FI/1000) + \alpha * [10 - (AnoEstudo - AnoPubl)] + (\sum Ci) \quad (1)$$

Como FI foi utilizado o SJR (*SCImago Journal Rank*) do ano de 2022. A quantidade de citações foi obtida através do Google Scholar, conforme efetuado por Pagani *et al.* (2015).

Etapa 07 – InOrdinatio: O *ranking* dos artigos é obtido a partir do índice *InOrdinatio*, descrito pela Eq. (1). Obtendo, dessa forma, a Tabela 1.

Tabela 1 – Dados dos artigos e aplicação do índice *InOrdinatio*

Ordem	Autoria	Título	Ano	Periódico	SJR	Ci	Índice
1	Misra A,Zambrzycki C,Kloker G,Kotyrba A,Anjass MH,Franco Castillo I,Mitchell SG,Güttel R,Streb C	Water Purification and Microplastics Removal Using Magnetic Polyoxometalate-Supported Ionic Liquid Phases (magPOM-SILPs)	2020	Angewandte Chemie - International Edition	5,573	127	162,0056
2	Liu S,Wang J	Exploring the potential of cellulose benzoate adsorbents modified with carbon nanotubes and magnetic carbon nanotubes for microplastic removal from water	2023	Chemical Engineering Journal	2,803	1	51,0028
3	Sarkar A,Pandey S	Ionic liquids and deep eutectic solvents in wastewater treatment: recent endeavours	2023	International Journal of Environmental Science and Technology	0,6	0	50,0006

Fonte: autoria própria (2023).

Etapas 08 e 09 – Baixar todos os artigos do portfólio e realizar uma leitura e revisão sistemática dos artigos: Todos os artigos do PF foram baixados. A leitura e discussão dos trabalhos acima são apresentados na próxima seção.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Devido ao baixo número de trabalhos que compõe o portfólio final, foi realizada uma descrição desses artigos, citando as aplicações, métodos utilizados, entre outros aspectos. Apesar de somente 3 artigos encontrados, optou-se por seguir os passos do método e realizar a construção do ranking dos artigos.



- *Water Purification and Microplastics Removal Using Magnetic Polyoxometalate-Supported Ionic Liquid Phases (magPOM-SILPs):*

O processo de remoção de microplásticos utilizando magPOM-SILPs envolve o uso de um compósito formado por partículas magnéticas microporosas com um núcleo de óxido de ferro superparamagnético envolto por sílica porosa. Esse compósito é formado pela adsorção de um líquido iônico polioxometalato (POM-IL) na superfície das partículas magnéticas. Para remover os microplásticos da água, o compósito magPOM-SILP é introduzido na água contaminada com microplásticos (Misra *et al.*, 2020).

As partículas compostas se ligam aos microplásticos, facilitado pela camada viscosa de POM-IL na superfície das partículas magnéticas, tornando os microplásticos suscetíveis à remoção magnética. Um ímã permanente é então utilizado para separar as partículas compostas juntamente com os microplásticos aderidos da água, permitindo a remoção eficiente e seletiva dos poluentes microplásticos da água (Misra *et al.*, 2020).

De maneira geral, o compósito magPOM-SILP oferece uma abordagem para tratar grandes volumes de água que não são facilmente passíveis de métodos de filtração convencionais, apresentando uma solução potencial para a remoção de microplásticos. Além disso, o material também foi eficiente na remoção alguns metais e bactérias *Escherichia coli* e *Bacillus subtilis* (Misra *et al.*, 2020).

- *Exploring the potential of cellulose benzoate adsorbents modified with carbon nanotubes and magnetic carbon nanotubes for microplastic removal from water:*

O estudo analisa o uso de adsorventes feitos de benzoato de celulose modificados com nanotubos de carbono (CNTs) e nanotubos magnéticos de carbono (MCNTs) para remover microplásticos da água. Na síntese, a celulose é dissolvida em um líquido iônico usando cloreto de benzila como reagente. O líquido iônico atua como um solvente eficaz para a celulose, permitindo a formação de benzoato de celulose, um polímero modificado com grupos de benzoato (Liu; Wang, 2023).

Os nanotubos de carbono são adicionados à suspensão de benzoato de celulose no líquido iônico, o que facilita a dispersão e cria um composto de benzoato de celulose-nanotubo de carbono com propriedades de adsorção. Os resultados da pesquisa mostram que esses adsorventes modificados com CNTs ou MCNTs têm uma alta eficácia na remoção de microplásticos da água (Liu; Wang, 2023).

- *Ionic liquids and deep eutectic solvents in wastewater treatment: recent endeavours:*

Seguindo a linha de raciocínio, o trabalho investiga a utilização de líquidos iônicos (LIs) e solventes eutécticos profundos (DESS) no tratamento de águas residuais, enfatizando sua eficácia na eliminação de diversos contaminantes, como metais tóxicos, resíduos orgânicos, pesticidas e microplásticos presentes (Sarkar; Pandey, 2023).

LIs e DESS desempenham um papel fundamental na remoção de microplásticos por meio de diferentes mecanismos, incluindo adsorção, extração e separação. No processo de adsorção, esses solventes demonstram uma forte afinidade pelos microplásticos, permitindo que os solventes adsorvam eficazmente os microplásticos e os removam da água (Sarkar; Pandey, 2023).

Além disso, LIs e DESS são aplicados em sistemas aquosos de duas fases (ATPSs) para a separação seletiva de microplásticos. Nesse contexto, os LIs hidrofílicos atuam como uma das fases líquidas, enquanto um promotor de separação de fases é empregado para separar as duas fases aquosas. A manipulação das condições permite a partição seletiva dos microplásticos em uma das fases, possibilitando sua separação eficaz da água.



O trabalho também fornece informações sobre os tipos de LIs e DESs utilizados em pesquisas de outras autorias, os materiais removidos e os resultados obtidos (Sarkar; Pandey, 2023).

CONCLUSÃO

A revisão bibliográfica revelou uma notável escassez de estudos abordando a remoção de microplásticos utilizando LIs como agentes de tratamento. Esta lacuna significativa na pesquisa científica ressalta a relevância crítica de investigações futuras nessa área específica. A remoção eficaz de microplásticos é um desafio ambiental premente, dado o impacto adverso desses poluentes nos ecossistemas aquáticos e na saúde humana. A utilização potencial de LIs como soluções de tratamento apresenta uma abordagem promissora e inovadora para lidar com esse problema global, haja vista de suas características únicas. Portanto, a investigação aprofundada nesse campo se torna essencial para suprir essa lacuna de conhecimento e contribuir para a gestão ambiental sustentável de microplásticos em nosso planeta.

Agradecimentos

À Universidade Tecnológica Federal do Paraná pela oportunidade de fazer parte do Programa Institucional Voluntário de Iniciação Científica e ao grupo de trabalho.

Conflito de interesse

Não há conflito de interesse.

REFERÊNCIAS

CHATZIMITAKOS, T. et al. Magnetic ionic liquid in stirring-assisted drop-breakup microextraction: Proof-of-concept extraction of phenolic endocrine disrupters and acidic pharmaceuticals. **Analytica Chimica Acta**, v. 910, p. 53–59, 2016. Disponível em: www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0003267016300642. Acesso em: 16 set. 2023.

FOONG, C. Y.; WIRZAL, M. D. H.; BUSTAM, M. A. A review on nanofibers membrane with amino-based ionic liquid for heavy metal removal. **Journal of Molecular Liquids**, v. 297, 2020. Disponível em: www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167732219339388. Acesso em: 16 set. 2023.

GRUBER, E. S. *et al.* To Waste or Not to Waste: Questioning Potential Health Risks of Micro- and Nanoplastics with a Focus on Their Ingestion and Potential Carcinogenicity. **Exposure and Health**, v. 15, n. 1, p. 33–51, 2023. Disponível em: link.springer.com/article/10.1007/s12403-022-00470-8. Acesso em: 16 set. 2023.

KUHLMAN, R. L. Letter to the editor, discovery and quantification of plastic particle pollution in human blood. **Environment International**, v. 167, n. March, 2022. Disponível em: pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35932534/. Acesso em: 16 set. 2023.



LIU, S.; WANG, J. Exploring the potential of cellulose benzoate adsorbents modified with carbon nanotubes and magnetic carbon nanotubes for microplastic removal from water. **Chemical Engineering Journal**, v. 469, p. 143910, 2023. Disponível em: www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1385894723026414. Acesso em: 28 ago. 2023.

MISRA, A. *et al.* Water Purification and Microplastics Removal Using Magnetic Polyoxometalate-Supported Ionic Liquid Phases (magPOM-SILPs). **Angewandte Chemie - International Edition**, v. 59, n. 4, p. 1601–1605, 2020. Disponível em: onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/anie.201912111. Acesso em: 28 ago. 2023.

PAGANI, R. N.; KOVALESKI, J. L.; RESENDE, L. M. TICs na composição da Methodi Ordinatio: construção de portfólio bibliográfico sobre Modelos de Transferência de Tecnologia. **Ciência da Informação**, [S.l.], v. 47, n. 1, 2018. Disponível em: brapci.inf.br/index.php/res/v/18841. Acesso em: 16 set. 2023.

PAGANI, R.; KOVALESKI, J.; RESENDE, L. Methodi Ordinatio: a proposed methodology to select and rank relevant scientific papers encompassing the impact factor, number of citation, and year of publication. **Scientometrics**, v. 105, p. 2109-2135, 2015. Disponível em: link.springer.com/article/10.1007/s11192-015-1744-x. Acesso em: 16 set. 2023.

PLASTIC pollution – a new way of measuring hope on the path to net zero. **Credit Suisse**. 01 de jun. de 2023. Disponível em: www.credit-suisse.com/about-us-news/en/articles/news-and-expertise/plastic-pollution-pathways-to-net-zero-202306.html. Acesso em: 16 set. 2023.

RAFIQ, A.; XU, J. L. Microplastics in waste management systems: A review of analytical methods, challenges and prospects. **Waste Management**, v. 171, n. July, p. 54–70, 2023. Disponível em: www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X23005251?via%3Dihub. Acesso em: 16 set. 2023.

RAGUSA, A. *et al.* Plasticenta: First evidence of microplastics in human placenta. **Environment International**, v. 146, p. 106274, 2021. Disponível em: www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412020322297. Acesso em: 16 set. 2023.

SARKAR, A.; PANDEY, S. Ionic liquids and deep eutectic solvents in wastewater treatment: recent endeavours. **International Journal of Environmental Science and Technology**, 2023. Disponível em: link.springer.com/article/10.1007/s13762-023-04865-1. Acesso em: 28 ago. 2023.

WANG, C.; ZHAO, J.; XING, B. Environmental source, fate, and toxicity of microplastics. **Journal of Hazardous Materials**, v. 407, n. May 2020, p. 124357, 2021. Disponível em: www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304389420323475. Acesso em: 16 set. 2023.

YANG, Y. *et al.* Detection of Various Microplastics in Patients Undergoing Cardiac Surgery. **Environmental Science & Technology**, p. 10911-10918, 2023. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acs.est.2c07179>. Acesso em: 16 set. 2023.