

SÍNTESE DE RESINA EPÓXI A PARTIR DE ÓLEO DE FRITURA REFORÇADA COM RESÍDUOS SUSTENTÁVEIS: UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Gabriel de Freitas Lopes^{1,2,3}, Alexander Souza da Silva Junior², Carolina Rosa Santos^{2,4}, Bruno Magela de Melo Siqueira^{2,4}

¹ Instituto de Química de São Carlos – Universidade de São Paulo, São Carlos, Brasil
(gabrielfreitaslopes@usp.br)

² Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo, Vila Velha, Brasil

³ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo, Vitória, Brasil

⁴ Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, Brasil

Resumo: As resinas epóxi são polímeros termofixos notáveis desde sua descoberta em 1940, destacando-se pela sua versatilidade de processamento em várias aplicações, incluindo fabricação de resinas e tintas. No Brasil, um grande produtor de soja, o óleo residual surge como uma alternativa sustentável na produção de resinas poliméricas. Essas resinas são valorizadas por suas propriedades como excelente aderência e proteção anticorrosiva, atribuídas à alta reatividade do anel oxirano formado durante a epoxidação dos óleos. O propósito deste trabalho é avaliar, por meio de uma revisão bibliográfica, as viabilidades da reciclagem do óleo residual para a produção de resina epóxi e o seu reforço com resíduos diversos para síntese de compósitos. Um estudo foi conduzido utilizando dissertações e teses disponíveis no Google Acadêmico. Na fase inicial, os trabalhos foram selecionados com base na relevância de seus títulos e resumos para o tema proposto. Posteriormente, foram avaliados os textos completos, analisando seu conteúdo, metodologia, técnicas utilizadas e discussões pertinentes ao assunto, excluindo estudos com metodologias pouco claras. Os estudos revisados destacaram os ganhos em resistência mecânica proporcionados pela incorporação de matriz cerâmica em materiais poliméricos. Houve um aumento recente na adoção de práticas de reciclagem de resíduos, refletindo um campo de pesquisa promissor para o futuro. Este trabalho sublinha a importância da reciclagem de óleo residual para criar compósitos melhorados com outros resíduos, resultando em produtos finais de maior qualidade. A revisão bibliográfica explorou métodos eficazes de sintetizar resina epóxi a partir desse óleo, incentivando a pesquisa de novos materiais sustentáveis para reforçar essa abordagem reciclável.

Palavras-chave: Óleo Vegetal Residual; Poliepóxido; Polímeros; Compósitos.

INTRODUÇÃO

Ao considerar polímeros e resinas, é importante distinguir entre os dois. Em termos químicos, são elementos distintos: os polímeros são macromoléculas, enquanto as resinas possuem uma estrutura molecular composta (Posada e Montes-Florez, 2022).

Os polímeros podem ser categorizados em dois grupos distintos: naturais e sintéticos. O primeiro se configura como macromoléculas formadas durante o crescimento de organismos vivos, por meio de reações

catalisadas por enzimas e processos de crescimento de cadeia a partir de monômeros. Enquanto isso, o segundo grupo é amplamente empregado em diversas aplicações industriais devido às suas propriedades, que podem ser controladas durante a síntese (Rueda, 2021).

Os materiais poliméricos são classificados com base em seu processo de fabricação, comportamento térmico e propriedades mecânicas. As resinas são divididas em dois grupos distintos com base em suas características térmicas, como fusão e solidificação. São conhecidas como resinas termoplásticas e resinas



termofixas, categorizadas e diferenciadas de acordo com a natureza, características e as propriedades químicas e mecânicas da matriz polimérica (Lotfi *et al.*, 2019).

Dentre as resinas termofixas, as resinas epóxi ou epoxídicas, segundo Cavalvanti (2022), são resinas de alto desempenho que possuem pelo menos dois grupos epóxi terminais, compostos por um átomo de oxigênio ligado a dois átomos de carbono. Antes do processo de cura, essas resinas apresentam-se como líquidos orgânicos e viscosos de baixa massa molecular.

A literatura define o compósito como um material composto por dois ou mais materiais com características e propriedades distintas. No entanto, quando observado macroscopicamente, o compósito é homogêneo, podendo conter fibras longas ou curtas (Celestino, 2022).

A utilização de compósitos reforçados com fibras naturais reflete as preocupações ambientais, como a poluição decorrente de resíduos não biodegradáveis ou não passíveis de incineração. Além disso, é importante destacar que essas fibras são provenientes de fontes renováveis, são abundantes, de baixo custo e apresentam um conjunto significativo de propriedades mecânicas que contribuem nas propriedades dos novos materiais (Tinô *et al.*, 2022).

Revestimentos à base de resina epóxi são amplamente utilizados por apresentarem boa aderência e proteção anticorrosiva. Os óleos epoxidados, devido a sua alta reatividade do anel oxirano, atuam como matéria-prima para uma variedade de polímeros como poliésteres, poliuretanos e resinas epoxídicas (Piper *et al.*, 2021).

Macedo *et al.* (2000) definem a reação de epoxidação como sendo a formação de um éter cíclico de três membros a partir da reação de perácidos com olefinas, sendo esse anel chamado de anel oxirânico ou epóxido. O entendimento dessa reação é importante para realizar a síntese de óleo de fritura em resina epóxi, levando em consideração a mudança da estrutura do resíduo para formação do produto desejado.

Considerando este resíduo, o Brasil possui grande destaque na produção de sementes oleaginosas como a soja, que em sua maioria é utilizada para a fabricação de óleo para fritura de alimentos. O uso crescente deste óleo traz grande preocupação ao meio ambiente, pois sua reutilização fica dificultada conforme o reaquecimento durante o processo de fritura (Nascimento *et al.*, 2022).

O despejo inadequado desses óleos já usados produz grandes estragos à natureza. Caso descartado na pia, acarreta no entupimento das tubulações nas redes de esgoto, aumentando em até 45% o custo de tratamento (Biodiesel, 2012). Já o seu descarte em aterros, por ser

um resíduo de difícil decomposição, pode impermear o solo, contendo a penetração de água, afetando os lençóis freáticos (Oliveira, 2004).

Pesquisas apontam que um litro de óleo residual de fritura (ORF) lançado em um corpo hídrico, contamina cerca de vinte mil litros de água. Apesar de não haver uma norma de descarte ideal do ORF, existe a possibilidade de sua reciclagem para a produção de resinas para tintas (Ramirez, 2014).

Os óleos vegetais apresentam baixo custo de produção e processamento, e constituem uma alternativa financeiramente atrativa e sustentável na produção de materiais poliméricos e resinas que poderiam substituir parcialmente e, em certo grau, totalmente, os tradicionais polímeros à base de petróleo (Sharma e Kundu, 2006; Hernández, 2015).

Esse artigo tem como objetivo realizar um levantamento bibliográfico referente ao tema proposto para dessa forma debater as diferentes formas de produção de resinas epóxi a partir do óleo de fritura, de acordo com trabalhos já existentes na literatura.

MATERIAL E MÉTODOS

Neste estudo adotou-se a estratégia metodológica de revisão narrativa da literatura (Menezes *et al.*, 2019) sobre o tema proposto.

Dessa forma, foi-se aprofundando o conhecimento sobre o tema por meio de artigos, dissertações e teses, utilizando, como base de dados o Google Acadêmico. As estratégias de busca foram montadas com base nos descritores: “óleo residual de fritura”, “produção de tintas”, “reciclagem de óleo residual”, “reação de epoxidação”, “resina epóxi”. Os trabalhos selecionados datam de 2001 a 2022.

Na primeira fase, procedeu-se seleção dos trabalhos, onde verifico-se a pertinência dos títulos e resumos em relação ao tema proposto. No segundo estágio, foi localizado e avaliado os textos completos, analisando seu conteúdo, incluindo metodologia, técnicas empregadas e discussão pertinente ao tema.

Foram selecionados vinte trabalhos que abordassem a utilização do óleo residual na produção de tinta epóxi, considerando as publicações de anos atuais e mais antigo para demonstrar o avanço nas pesquisas referente ao tema.

Foram excluídos estudos cujas metodologias eram pouco claras ou que tratavam de temas muito específicos e não relevantes para o escopo do estudo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 resume as principais características dos estudos encontrados, como, identificação do autor,

ano de publicação, título do material, categoria (dissertações ou teses) e sua origem.

Quadro 1. Principais estudos incluídos na revisão.

Referências Bibliográficas

Ana Paula Oliveira Costa. (2001).
Estudo do comportamento cinético e mecânico-dinâmico de resina epóxi a base de óleo de soja epoxidado. Dissertação de Mestrado. UFRGS

Diana Carolina Parada Quinayá. (2017).
Fabricação e caracterização de materiais compósitos resina epóxi/fibras de bucha (Luffa cylindrica). Tese de Doutorado. PUC - Rio

Edna Rocio Triana Tarazona. (2017).
Aproveitamento da fibra de borra de café como material de reforço em compósitos com matriz de resina epóxi preparada a partir de óleo de cozinha usado. Dissertação de Mestrado. UFMG

Washington Moreira Cavalcanti. (2022).
Produção e caracterização de painéis compósitos constituídos de resíduos lignocelulósicos e misturas de resinas epóxi sintética e de óleo vegetal residual epoxidado. Tese de Doutorado. UFMG

Fonte: Elaboração própria (2024).

Após uma leitura completa, apenas quatro estudos foram considerados para uma análise detalhada.

As comparações entre os métodos utilizados para a obtenção da resina epóxi com os propósitos específicos das pesquisas abordadas neste trabalho serão apresentadas a seguir.

De acordo com a metodologia adotada por Cavalcanti (2022) e Tarazona (2017), ambos formularam a resina a partir do óleo residual via peracido formada *in situ*, adotando a metodologia de Lage *et al.* (2015).

A Figura 1 ilustra a aparelhagem experimental proposta por Tarazona (2017) em sua dissertação.



Figura 1. Sistema de reação de epoxidação.
Fonte: Tarazona (2017).

Já a Figura 2 ilustra a aparelhagem experimental atribuída por Cavalcanti (2017).

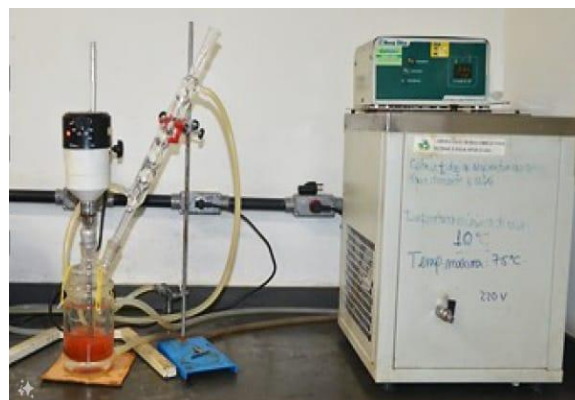


Figura 2. Sistema de reação de epoxidação.
Fonte: Cavalcanti (2017).

Resumidamente, os componentes, incluindo o óleo de soja residual, o ácido acético glacial e a resina de troca iônica (catalisador), são combinadas em um reator encamisado.

A reação de epoxidação é realizada a 70 °C, com a adição gradual de peróxido de hidrogênio. Após 5 horas, o produto deve ser filtrado, lavado com água destilada aquecida a 50 °C, extraí-se com éter etílico e, finalmente, é seco em estufa a 50 °C por 12 horas.

Tanto na tese de Quinayá (2017) como na dissertação de Costa (2001), utilizou-se de óleo de soja epoxidado comercial para a produção de resina epóxi como mencionado em seus objetivos.

Pode-se notar que o óleo de soja epoxidado pode ser obtido por métodos analíticos ou comercialmente.

Destaca-se que sua produção a partir da epoxidação de um resíduo orgânico, como o óleo residual, promove uma abordagem sustentável, reciclando material prejudiciais ao meio ambiente.

Além disso, a utilização do óleo epoxidado comercial pode ser considerada para formulações em conjunto com o óleo residual epoxidado, permitindo avaliar a eficácia dessa combinação. Também serve como um parâmetro de qualidade para as resinas epóxi obtidas por meio da reação mencionada.

Dos trabalhos apresentados, três mencionam o uso da resina epóxi como matriz para incorporação de material reforçador na produção de um compósito.

Cavalcanti (2022) empregou resíduo lignocelulósico (Figura 2) como reforço em misturas de resinas epóxi sintéticas com óleo residual epoxidado, resultando em amostras com boa processabilidade e consistência (Figura 3). Esse resultado valida o processo de fabricação por molde e termocompressão.



Figura 2. Resíduos de casca de café.
Fonte: Cavalcanti (2022).



Figura 3. Placa de compósito.
Fonte: Cavalcanti (2017)

Os compósitos híbridos desenvolvidos apresentaram um comportamento mecânico promissor, indicando possíveis aplicações na engenharia estrutural, na construção civil e no setor de transportes. Os resultados desta pesquisa contribuem para o avanço de materiais compósitos sustentáveis. A utilização de resíduos de casca de café e óleo de soja residual, combinados com a matriz epóxi industrial, não apenas reduz o impacto ambiental, mas também resulta em um novo produto com benefícios sociais.

Quinayá (2017) procedeu à adição de fibras de bucha (Figura 4) em forma de manta em resina epóxi comercial. As propriedades mecânicas e térmicas dos compósitos contendo 30% de fibras de bucha mercerizada, analisadas por DMA e teste de flexão, indicaram um potencial significativo para sua utilização como substituto mais sustentável das resinas contendo bisfenol.



Figura 4. Fibras de bucha.
Fonte: Quinayá (2017).

Já no trabalho de Tarazona (2017) a fibra de borra de café foi empregada como material de reforço em compósitos com matriz de resina epóxi derivada de óleo residual, demonstrando a viabilidade de produzir compósitos a partir do aproveitamento de resíduos agroindustriais.

Os materiais utilizados pelo autor podem ser visualizados na Figura 5.



Figura 5. A) Matriz Epóxi B) Anidrido Maleico C) Borra de Café.

Fonte: Tarazona (2017)

A metodologia utilizada na preparação dos compósitos foi simples e adequada, resultando em compósitos com boa interação entre matriz e fibra. Isso os torna substitutos das matérias-primas petroquímicas, reduzindo os impactos ambientais associados ao seu uso excessivo.

Costa (2001) investigou o comportamento cinético e mecânico-dinâmico de resinas epóxi à base de óleo de soja epoxidado (OSE), produzidas a partir da reação do OSE com diferentes anidridos (ftálico, succínico, maleico, hexahidroftálico e dodecenilsuccínico), utilizando uma amina terciária como iniciador.

As resinas demonstraram um comportamento típico de polímeros termofixos, semelhante às resinas epóxi comerciais, destacando seu potencial como novos materiais obtidos a partir de fontes renováveis.

A variação das proporções molares indicou que a reação do anidrido é completa na presença de excesso de grupos epóxi, mas não é completa em uma relação molar de 1.

Além disso, a utilização de óleo de soja com diferentes graus de epoxidação resultou em resinas com diferentes temperaturas de transição vítrea, sendo que uma maior epoxidação levou a uma Tg mais elevada.

CONCLUSÃO

Este trabalho ressalta a importância da reciclagem de óleo residual na produção de materiais que podem ser combinados com outros resíduos ou compostos para a fabricação de compósitos, resultando em produtos finais com melhores propriedades.

Os resultados da revisão bibliográfica foram satisfatórios permitindo a avaliação de diversas formas de sintetizar resina epóxi a partir do óleo residual.



Isso estimula não apenas a reciclagem, mas também a investigação de novos materiais utilizando outros compostos sustentáveis como reforço, como resíduos da construção civil, da indústria siderúrgica e de mineração, entre outros.

A partir dos trabalhos selecionados, fica evidente o ganho de qualidade em termos de resistência mecânica que a matriz cerâmica pode conferir ao material polimérico, tornando-o apto para diversas aplicações industriais.

Nos últimos anos, tem havido um aumento na adoção de medidas de reciclagem de resíduos. As referências estudadas fornecem uma base sólida para futuras pesquisas, visando melhorar tanto a teoria quanto a prática e desenvolver novas ideias nesse campo.

REFERÊNCIAS

Biodiesel. Reciclagem de óleo de cozinha. (2012). Disponível em: <https://www.biodieselbr.com>. Acesso em: 13 abril de 2023.

Cavalcanti, W. M. (2022). *Produção e caracterização de painéis compósitos constituídos de resíduos lignocelulósicos e misturas de resinas epóxi sintética e de óleo vegetal residual epoxidado*. 2022. 172 f: Tese de doutorado em Engenharia Mecânica. UFMG, Belo Horizonte.

Celestino, B. (2022). *Avaliação de Cascas de Avelã na Produção de Compósitos Poliméricos à Base de Polipropileno*. **International Journal of Science and Society**. v. 4, n. 3, p. 179-184. <https://doi.org/10.54783/ijssoc.v4i3.511>

Costa, A. P. O. (2001). *Estudo do comportamento cinético e mecânico-dinâmico de resina epóxi a base de óleo de soja epoxidado*. 2001. 107 f: Dissertação de mestrado em Química. UFRGS, Porto Alegre.

Lage, F. C. (2015). *Produção e Caracterização Química, Térmica e Mecânica de Resinas Epóxi a Base de óleos Vegetais Para Aplicação em Soldagem a Arco Com Eletrodos Revestidos*. 2015. 120 f: Dissertação de mestrado em Engenharia Mecânica. UFMG, 2015.

Lotfi, A.; Li, H.; Dao, D.V.; Prusty, G. (2019). *Natural fiber-reinforced composites: A review on material, manufacturing, and machinability*. **J. Compos.** v. 34, n. 2, p. 238-284. <https://doi.org/10.1177/0892705719844546>

Macedo, A. D. M., Farias, H. H., Ramos, J. D. F., Pereira, A. M. S., Rocha, E. C. S., Oliveira, I. L., Santos, J. C. S. (2021). *Otimização do Processo de*

Síntese de Biolubrificantes por Epoxidação de Óleo Residual Oriundo de Restaurante Universitário. v. 7, n. 12, p. 119743 - 119761. <https://doi.org/10.34117/bjdv7n12-641>

Menezes, A. H., Duarte, F. R., Carvalho, L. O., Souza, T. E. S. (2019). *Metodologia científica teoria e aplicação na educação a distância*. (Edson Macalini). Livro Digital. Universidade Federal do Vale do São Francisco.

Nascimento, V. V. F., Pereira, G. F. X., Melo, C. C. V., Freire, A. I., Souza, F. B. M., Martins, A. D. (2022). *Logistic analysis in grain production in Brazil*. **Research, Society and Development**. v. 11, n. 7, p. e47911730597. <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i7.30597>

Oliveira, L. B. (2004). *Potencial de aproveitamento energético de lixo e de biodiesel de insumos residuais no Brasil*. 2004. 247 f: Tese de doutorado em Ciências em Planejamento Energético, UFRJ, Rio de Janeiro.

Rueda, J. C. (2021). *Polimeros termoconmutables*. **Revista de la Sociedad Química del Perú**. v. 87, n. 2. <https://doi.org/10.37761/rsqp.v87i2.346>

Sharma, V.; Kundu, P. P. (2006). *Addition polymers from natural oils - A review*. **Prog. Polym. Sci.** v. 31, p.983-1008. <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2006.09.003>

Tarazona, E. R. T. *Aproveitamento da fibra de borra de café como material de reforço em compósitos com matriz de resina epóxi preparada a partir de óleo de cozinha usado*. 2017. 121 f: Dissertação de mestrado em Engenharia Mecânica. UFMG, Belo Horizonte, 2017.

Tinô, S. R. L., Batista, A. C. de M. C., Fontes, R. S., Aquino, E. M. F. (2022). *Compósitos poliméricos à base de tecidos bidirecionais naturais e sintéticos*. **Latin American Journal of Development**. v. 4, n. 3, p. 1270–1282. <https://doi.org/10.46814/lajdv4n3-047>

Piper, H., Azevedo, J. B., Barbosa, J. D. V., Cardoso, P. S. M. (2021). *Avaliação da resina epóxi aplicada em revestimento para tubulações Aço-Carbono expostos em água produzida na produção de petróleo*. **Revista Processos Químicos**, v. 15, n. 29. <https://doi.org/10.19142/rpq.v0i0.587>

Posada, J. C.; Montes-Florez, E. (2022). *Revisión: materiales poliméricos biodegradables y su*



aplicación en diferentes sectores industriales.

Informador Técnico, v. 86, n. 1, p. 94-110.

<https://doi.org/10.23850/22565035.3417>

Quinayá, D. C. P. *Fabricação e caracterização de materiais compósitos resina epóxi/fibras de bucha (Luffa cylindrica)*. 2017. 266 f: Tese de doutorado em Engenharia de Materiais e de Processos Químicos e Metalúrgicos. PUC – Rio, Rio de Janeiro, 2017.

Ramirez, I. H. A. *Reaproveitamento de óleo residual de cozinha como alternativa no Ensino em Química*. 2014. 35 f: Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Química. Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2014.