

**CONVERSÃO TERMOQUÍMICA DE RESÍDUOS PLÁSTICOS EM
COMBUSTÍVEIS LÍQUIDOS: AVANÇOS, CATALISADORES E
SUSTENTABILIDADE**

**THERMOCHEMICAL CONVERSION OF PLASTIC WASTE INTO LIQUID
FUELS: ADVANCES, CATALYSTS AND SUSTAINABILITY**

**CONVERSIÓN TERMOQUÍMICA DE RESIDUOS PLÁSTICOS EN
COMBUSTIBLES LÍQUIDOS: AVANCES, CATALIZADORES Y
SOSTENIBILIDAD**

 10.56238/revgeov16n5-312

Aparecida Hidenaria Medeiros do Carmo

Mestranda do Programa de Pós-graduação em Engenharia Aeroespacial

Instituição: Universidade Estadual do Maranhão (UEMA)

E-mail: hidenariamedeiros@gmail.com

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-1394-816X>

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/0060465121400030>

Márcio Luís Trovão de Araujo

Mestrando do Programa de Pós-graduação em Engenharia Aeroespacial

Instituição: Universidade Estadual do Maranhão (UEMA)

E-mail: marciotrovao236@gmail.com

Orcid: <https://orcid.org/0009-0002-9888-2066>

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/2355298728527768>

Alamgir Khan

Doutor em Ciências

Instituição: Universidade Estadual do Maranhão (UEMA)

E-mail: alamgir@cecen.uema.br

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-6906-4382>

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/8472485421485930>

RESUMO

A crescente geração de resíduos plásticos no Brasil e no mundo evidencia limitações nos sistemas tradicionais de reciclagem e reforça a necessidade de rotas tecnológicas capazes de promover a valorização desses materiais. Nesse contexto, a pirólise surge como alternativa termoquímica promissora, especialmente diante das demandas por sustentabilidade, redução de emissões e desenvolvimento de combustíveis sintéticos compatíveis com setores de alta exigência energética, como a aviação. Este estudo tem como objetivo analisar a conversão de resíduos plásticos em combustíveis líquidos por processos de decomposição térmica, com ênfase no papel dos catalisadores e nas possibilidades de integração dessa rota com a produção de combustíveis sustentáveis de aviação. Para isso, foi realizada uma pesquisa bibliográfica abrangente, contemplando estudos publicados entre 2019 e 2025, além de relatórios institucionais sobre resíduos sólidos no Brasil. Observou-se que a



pirólise catalítica apresenta maior eficiência na quebra das cadeias poliméricas, maior seletividade e melhores características físico-químicas dos combustíveis obtidos quando comparada à pirólise térmica convencional. Os resultados também evidenciam o potencial estratégico da pirólise no contexto brasileiro, dada a baixa taxa de reciclagem de plásticos e a necessidade de soluções inovadoras para a economia circular. Conclui-se que essa rota tecnológica possui elevada viabilidade técnica e relevância ambiental, configurando-se como alternativa promissora para a valorização energética de resíduos plásticos e para o avanço na produção de combustíveis sustentáveis.

Palavras-chave: Pirólise. Resíduos Plásticos. Combustíveis Líquidos. Catalisadores. Economia Circular.

ABSTRACT

The increasing generation of plastic waste in Brazil and worldwide highlights the limitations of traditional recycling systems and reinforces the need for technological routes capable of promoting the valorization of these materials. In this context, pyrolysis emerges as a promising thermochemical alternative, particularly in light of sustainability demands, emission reduction goals, and the development of synthetic fuels compatible with high-energy-demand sectors such as aviation. This study aims to analyze the conversion of plastic waste into liquid fuels through thermal decomposition processes, emphasizing the role of catalysts and the potential integration of this route with the production of sustainable aviation fuels. A comprehensive bibliographic review was conducted, encompassing studies published between 2019 and 2025, as well as institutional reports related to solid waste management in Brazil. The findings indicate that catalytic pyrolysis exhibits higher efficiency in breaking polymer chains, greater selectivity, and improved physicochemical characteristics of the resulting fuels when compared to conventional thermal pyrolysis. Results also highlight the strategic relevance of this technology in the Brazilian context, considering the country's low plastic recycling rates and the need for innovative circular economy solutions. It is concluded that pyrolysis presents high technical feasibility and environmental relevance, positioning itself as a promising alternative for the energetic valorization of plastic waste and for advancements in sustainable fuel production.

Keywords: Pyrolysis. Plastic Waste. Liquid Fuels. Catalysts. Circular Economy.

RESUMEN

El creciente volumen de residuos plásticos generado en Brasil y en el mundo evidencia las limitaciones de los sistemas tradicionales de reciclaje y refuerza la necesidad de rutas tecnológicas capaces de promover la valorización de estos materiales. En este contexto, la pirólisis se presenta como una alternativa termoquímica prometedora, especialmente ante las demandas de sostenibilidad, la reducción de emisiones y el desarrollo de combustibles sintéticos compatibles con sectores de alta exigencia energética, como la aviación. Este estudio tiene como objetivo analizar la conversión de residuos plásticos en combustibles líquidos mediante procesos de descomposición térmica, con énfasis en el papel de los catalizadores y en el potencial de integración de esta ruta con la producción de combustibles sostenibles de aviación. Para ello, se realizó una revisión bibliográfica amplia, abarcando estudios publicados entre 2019 y 2025, además de informes institucionales relacionados con la gestión de residuos sólidos en Brasil. Los resultados indican que la pirólisis catalítica presenta mayor eficiencia en la ruptura de cadenas poliméricas, mayor selectividad y mejores características físicoquímicas de los combustibles obtenidos en comparación con la pirólisis térmica convencional. Asimismo, se destaca la relevancia estratégica de esta tecnología en el contexto brasileño, considerando las bajas tasas de reciclaje de plásticos y la necesidad de soluciones innovadoras que fortalezcan la economía circular. Se concluye que esta ruta tecnológica posee alta viabilidad técnica y relevancia ambiental, constituyéndose como una alternativa prometedora para la valorización energética de residuos plásticos y para el avance en la producción de combustibles sostenibles.



Palabras clave: Pirólisis. Resíduos Plásticos. Combustibles Líquidos. Catalizadores. Economía Circular.



1 INTRODUÇÃO

A crescente geração de resíduos plásticos no Brasil e no mundo tem ampliado os desafios ambientais, sobrecarregando aterros e revelado limitações da gestão pública. De acordo com o Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2024, mais de 80 milhões foram gerados no país, sendo os plásticos uma das frações mais relevantes devido à persistência do consumo e baixo índice de reciclagem eficiente. Frente a esse quadro a reciclagem mecânica ainda é limitada pela heterogeneidade dos resíduos, altos custos e inviabilidade técnica na triagem, o que reforça a necessidade de desenvolver rotas tecnologicamente avançadas para valorização desses materiais.

Nesse cenário, a pirólise surge como tecnologia termoquímica promissora para conversão de resíduos plásticos em combustíveis líquidos. A técnica, baseada na decomposição térmica de materiais orgânicos na ausência de oxigênio, permite o rearranjo molecular e a formação de hidrocarbonetos de alto valor energético. Nas últimas duas décadas, observou-se um avanço significativo nas pesquisas sobre pirólise, impulsionado sobretudo por duas tendências globais: a busca por autonomia energética e diversificação da matriz energética e a necessidade de alinhar práticas industriais às diretrizes da economia circular. Países asiáticos e europeus já implementam plantas piloto e semi-industriais que utilizam plásticos mistos sem separação prévia como matéria-prima, demonstrando que a viabilidade econômica do processo vem crescendo rapidamente.

Além disso, tecnologias emergentes, como a pirólise combinada com plasma não térmico, têm ampliado o potencial de conversão e aprimorado a qualidade dos produtos líquidos ao intensificar a quebra molecular e reduzir a formação de compostos indesejáveis. Paralelamente, o contexto brasileiro é de baixa eficiência na reciclagem de plásticos, conforme evidenciam dados institucionais, reforçando a importância de processos termoquímicos como estratégia complementar às políticas de manejo de resíduos.

Diante desse cenário, o presente artigo tem como objetivo analisar a conversão de resíduos plásticos em combustíveis líquidos por meio da pirólise, com ênfase nos mecanismos de degradação, nos avanços catalíticos e na relevância dessa rota tecnológica para a valorização energética de resíduos e para o fortalecimento de estratégias sustentáveis de gestão de resíduos no Brasil.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

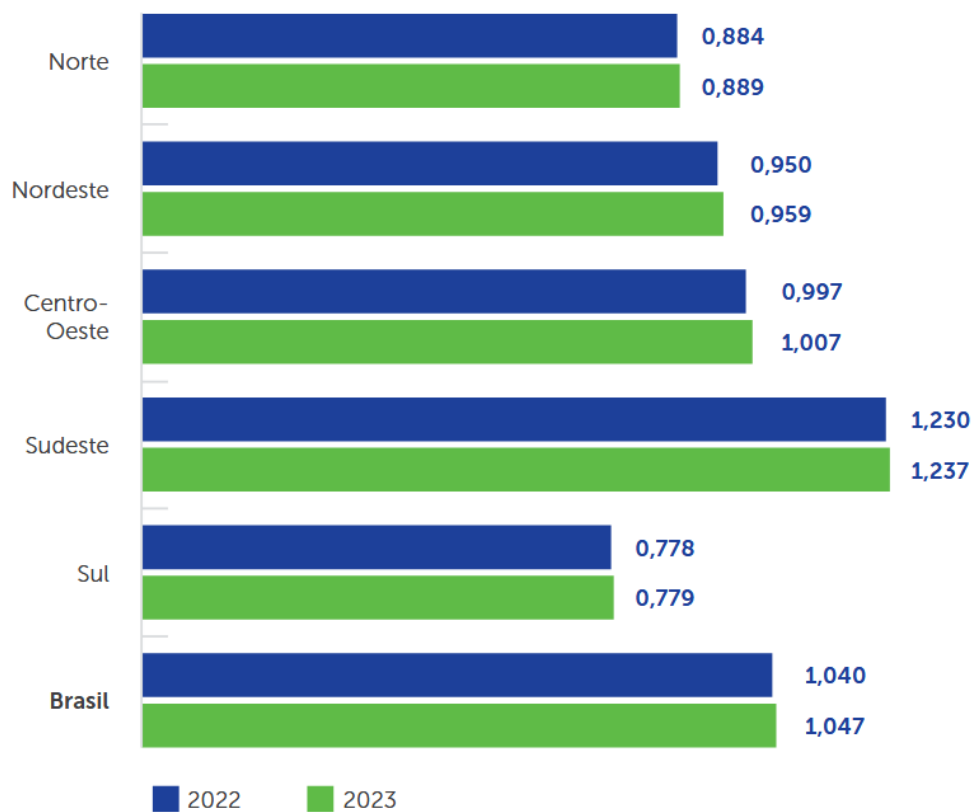
A crescente produção global de resíduos plásticos e sua baixa taxa de reciclagem configuram um dos maiores desafios ambientais da atualidade. Segundo Yaqoob et al. (2025), apenas cerca de 10% do plástico gerado anualmente é reciclado, enquanto o restante acumula-se em aterros ou no meio ambiente, ocasionando impactos expressivos nos ecossistemas e na saúde pública. Esse problema também é evidenciado no Brasil, conforme apresentado no Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2024, que aponta o aumento contínuo da geração de resíduos sólidos urbanos (RSU) e destaca que os



plásticos representam parcela significativa do fluxo de materiais descartados, com baixa taxa de reaproveitamento e impactos diretos na logística de resíduos e nas políticas de saneamento.

A figura 1, por exemplo, mostra graficamente o aumento da geração de RSU no país, evidenciando o crescimento anual e a dificuldade dos municípios em acompanhar a demanda por gestão adequada.

Figura 1. Geração de RSU per capita no Brasil – comparativo 2022 e 2023 (kg/hab/dia).



Fonte: Panorama de Resíduos Sólidos no Brasil 2024 | ABREMA.

2.1 PIRÓLISE COMO ALTERNATIVA AVANÇADA DE TRATAMENTO DE RESÍDUOS PLÁSTICOS

Dentro das tecnologias de valorização de resíduos plásticos, a pirólise destaca-se como uma alternativa termoquímica robusta, capaz de converter polímeros em hidrocarbonetos líquidos e gasosos, sem a necessidade de triagem aprofundada ou limpeza prévia dos materiais. Esse processo ocorre na ausência de oxigênio, geralmente entre 455 °C e 700 °C, quebrando as cadeias carbônicas e produzindo combustíveis líquidos de alto poder calorífico, como demonstram os resultados apresentados por Yaqoob et al. (2025).

A pirólise é especialmente vantajosa em relação à reciclagem mecânica, que exige materiais limpos, homogêneos e de composição controlada. Wan Muhammad e Mohamad (2025), em sua revisão sistemática baseada no protocolo PRISMA, ressaltam que a pirólise pode tratar plásticos misturados, coloridos, contaminados ou degradados. Segundo Abnisa (2023), a pirólise reduz significativamente a



formação de poluentes associados à incineração, constituindo um método ambientalmente mais vantajoso.

2.2 CARACTERIZAÇÃO DOS PLÁSTICOS E COMPORTAMENTO TÉRMICO

A composição dos resíduos plásticos exerce influência direta tanto sobre o rendimento quanto sobre o perfil dos produtos obtidos na pirólise. Entre os polímeros mais comuns presentes nos resíduos urbanos, destacam-se o PEBD (polietileno de baixa densidade), o PEAD (polietileno de alta densidade), o PP (polipropileno), o PS (poliestireno), o PVC (policloreto de vinila) e o PET (polietileno tereftalato). Dentre esses materiais, as poliolefinas, especialmente o polietileno e o polipropileno, são amplamente utilizadas e apresentam características estruturais que os tornam particularmente adequados aos processos de degradação térmica, favorecendo a formação de combustíveis líquidos de elevada qualidade.

Segundo Seliverstov et al. (2022), polietilenos e polipropilenos apresentam estruturas moleculares que favorecem o craqueamento térmico e catalítico, produzindo hidrocarbonetos saturados e insaturados com distribuição carbonada entre C5 e C24, adequados para formulações de gasolina, diesel e querosene. De forma semelhante, os autores ressaltam que a estrutura das poliolefinas facilita a quebra das ligações C–C durante o processo termoquímico, tornando esses materiais particularmente adequados para conversão em combustíveis líquidos de elevada qualidade.

2.3 AVANÇOS NA PIRÓLISE CATALÍTICA: CATALISADORES NATURAIS, ZEÓLITAS E METAIS

A pirólise ocorre tipicamente entre 400–600 °C, envolvendo clivagem homolítica, formação de radicais livres e rearranjos térmicos. Temperaturas moderadas (450–550 °C) favorecem a produção de combustíveis líquidos, enquanto faixas mais elevadas aumentam a fração gasosa (YAQOOB et al., 2025; VADIRAJ et al., 2025). Embora a pirólise térmica produza combustíveis líquidos, a pirólise catalítica tem se destacado devido a sua maior eficiência, seletividade e redução de subprodutos indesejáveis. Diferentes classes de catalisadores vêm sendo amplamente investigadas:

- a. Catalisadores minerais naturais: distinguem-se por serem materiais naturais de baixo custo e ampla disponibilidade, além de apresentarem acidez superficial e estrutura porosa favoráveis ao craqueamento térmico dos polímeros durante a pirólise. Essas características aumentam o rendimento dos combustíveis líquidos e reduzem a temperatura necessária para a degradação dos resíduos plásticos (ABNISA, 2023).
- b. Zeólitas HZSM-5: amplamente estudados devido à sua forte acidez de Bronsted e à estrutura porosa bem definida, apresentam elevada capacidade de direcionar o craqueamento das cadeias poliméricas para a formação de hidrocarbonetos leves e compostos aromáticos. Essa atuação



catalítica favorece a quebra seletiva de ligações C–C, promovendo produtos de maior valor energético. Estudos também apontam que catalisadores à base de zircônio sulfatado demonstram desempenho eficiente na conversão de resíduos plásticos, contribuindo para a produção de combustíveis líquidos de composição adequada para aplicações energéticas (PANDA et al., 2020).

- c. Catalisadores bimetálicos e sistemas avançados: têm se destacado como uma das frentes mais promissoras dentro das tecnologias avançadas de conversão termoquímica, devido à sinergia entre diferentes metais na superfície catalítica. Essa combinação melhora a dispersão dos sítios ativos e aumenta a estabilidade térmica, resultando em craqueamento mais eficiente e seletivo das cadeias poliméricas. De acordo com Liu An et al. (2024), sistemas baseados na integração de metais com suportes mesoporosos ou microestruturados ampliam significativamente a capacidade de controle sobre a distribuição dos produtos gerados, reduzindo a formação de resíduos pesados e contribuindo para a obtenção de frações líquidas com maior valor energético. Os autores destacam que esses catalisadores avançados têm potencial para otimizar a produção de combustíveis mais estáveis, com menor teor de impurezas e composição adequada para aplicações industriais, configurando-se como opções tecnicamente superiores no processamento de misturas plásticas complexas

2.4 PROCESSOS HÍBRIDOS: PIRÓLISE COMBINADA COM PLASMA NÃO TÉRMICO

A pirólise combinada com plasma não térmico (NTP) representa um avanço significativo nas tecnologias híbridas de conversão de resíduos plásticos. Nesse processo, a pirólise térmica é associada a um ambiente reativo formado por descargas de plasma, que geram espécies altamente energéticas capazes de intensificar a quebra das cadeias poliméricas. Essa abordagem promove uma desoxigenação mais eficiente dos vapores, aumenta a produção de gases leves como CO, CO₂ e H₂ e melhora a qualidade dos combustíveis líquidos obtidos, reduzindo a viscosidade e o teor de compostos indesejáveis. A integração entre pirólise e plasma tem se mostrado uma alternativa promissora ao combinar os benefícios da conversão térmica convencional com reações adicionais induzidas pelo plasma, ampliando a eficiência do processo e potencializando o reaproveitamento de resíduos plásticos complexos (KHATIBI; NAHIL; WILLIAMS, 2025).

2.5 ECONOMIA E POLÍTICAS AMBIENTAIS BRASILEIRAS

O problema da destinação inadequada dos resíduos plásticos no Brasil está diretamente relacionado à necessidade de tecnologias capazes de promover a valorização energética e a redução dos impactos ambientais. O Panorama 2024 evidencia que os plásticos compõem uma fração expressiva dos resíduos sólidos urbanos e permanecem como um dos materiais de menor taxa de



reciclagem efetiva no país. Apesar dos avanços na política nacional de logística reversa, especialmente a partir do acordo setorial de 2015, os índices de recuperação ainda revelam desafios estruturais.

De acordo com dados consolidados pelo Ministério do Meio Ambiente, em 2023, as embalagens recuperadas no sistema de logística reversa eram compostas por 28% de papel, 23% de plástico, 34% de vidro, 13% de metal e 2% de outros materiais, totalizando cerca de 1,6 milhão de toneladas nos últimos dois anos. Esses números demonstram que, embora haja progresso, a fração plástica ainda apresenta desempenho inferior em comparação a outros materiais, o que reforça a necessidade de ampliar estratégias complementares de tratamento, como processos termoquímicos de conversão, capazes de reaproveitar plásticos de difícil reciclagem e contribuir para a redução da pressão sobre aterros sanitários.

Figura 2. Situação do Sistema de Logística reserva de embalagens em geral no Brasil.



Fonte: Panorama de Resíduos Sólidos no Brasil 2024 | ABREMA.

Conforme apresentado na Figura 2, observa-se que o volume de embalagens recuperadas no país aumentou significativamente entre 2022 e 2023, refletindo um avanço relevante nas metas nacionais de logística reversa. Esse crescimento indica um fortalecimento dos mecanismos de recuperação, embora ainda evidencie a necessidade de ampliar estratégias complementares de valorização, especialmente para os resíduos plásticos, que continuam representando desafios expressivos no fluxo de reciclagem.

3 METODOLOGIA

A presente pesquisa caracteriza-se como um estudo de natureza qualitativa, com abordagem exploratória e analítica, desenvolvido por meio de pesquisa bibliográfica, conforme classificação proposta por Gil (2019). Segundo o autor, a pesquisa bibliográfica permite o levantamento e a análise de produções científicas já publicadas, possibilitando a sistematização do conhecimento acumulado



sobre determinado tema e a identificação de avanços, lacunas e tendências na área investigada. No contexto deste estudo, tal estratégia mostrou-se adequada para compreender os processos de conversão termoquímica de resíduos plásticos em combustíveis líquidos, os avanços tecnológicos associados à pirólise e o papel dos catalisadores nesse processo.

Do ponto de vista dos procedimentos técnicos, a pesquisa baseia-se na concepção de Lakatos e Marconi (2003), que entendem a pesquisa bibliográfica como aquela elaborada a partir de material já publicado, constituído principalmente por artigos científicos, livros, teses, dissertações, relatórios técnicos e documentos institucionais. Assim, foram selecionadas fontes nacionais e internacionais que abordam diretamente a pirólise térmica e catalítica de resíduos plásticos, com ênfase nos aspectos químicos, tecnológicos, energéticos e ambientais do processo. O recorte temporal adotado concentrou-se em estudos publicados entre 2019 e 2025, buscando assegurar a atualidade e a relevância científica da discussão.

As bases de dados consultadas incluíram periódicos científicos indexados, livros técnicos e relatórios institucionais relacionados à gestão de resíduos sólidos, com destaque para documentos que contextualizam a realidade brasileira. Os critérios de inclusão abrangeram estudos que apresentassem dados técnicos sobre parâmetros operacionais da pirólise, tipos de catalisadores utilizados, rendimento dos produtos, composição dos combustíveis obtidos e implicações ambientais do processo. Foram excluídos materiais duplicados, estudos sem relação direta com o tema ou que não apresentavam fundamentação técnico-científica consistente.

Após a etapa de levantamento, procedeu-se à leitura exploratória, analítica e interpretativa das fontes, conforme orientam Lakatos e Marconi (2003), permitindo a categorização dos conteúdos de acordo com os objetivos da pesquisa. Para o tratamento e a sistematização das informações, adotou-se a análise de conteúdo, nos moldes propostos por Bardin (2011). Essa técnica possibilitou a organização dos dados textuais em categorias temáticas, favorecendo a identificação de convergências, divergências e padrões recorrentes na literatura analisada.

A análise foi estruturada a partir de cinco eixos temáticos principais: (i) pirólise como alternativa avançada de tratamento de resíduos plásticos; (ii) caracterização dos plásticos e comportamento térmico; (iii) avanços na pirólise catalítica: catalisadores naturais, zeólitas e metais; (iv) processos híbridos: pirólise combinada com plasma não térmico; (v) economia e políticas ambientais brasileiras. Essa organização permitiu uma abordagem integrada do fenômeno estudado, articulando aspectos técnicos e contextuais.

Por fim, realizou-se uma síntese crítica dos achados, relacionando os resultados apresentados na literatura científica com os dados institucionais sobre a geração e o tratamento de resíduos plásticos no Brasil. Essa etapa possibilitou avaliar a viabilidade técnica e ambiental da pirólise como rota alternativa de valorização energética, bem como compreender seu potencial de inserção nas políticas



públicas de gestão de resíduos sólidos. Dessa forma, a metodologia adotada assegura rigor científico, coerência analítica e alinhamento com os objetivos propostos, contribuindo para uma interpretação consistente dos resultados apresentados ao longo do estudo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A análise das pesquisas mais recentes indica que a pirólise, especialmente em sua vertente catalítica, apresenta resultados expressivos na conversão de resíduos plásticos em combustíveis líquidos de elevado valor energético. Estudos experimentais realizados entre 2020 e 2025 demonstraram que a decomposição térmica de polímeros como PEBD, PEAD, PP e PS pode gerar frações líquidas majoritárias quando operada em faixas de temperatura entre 450 °C e 600 °C, condição que favorece o craqueamento das cadeias carbônicas e a formação de hidrocarbonetos de interesse industrial (YAQOOB et al., 2025). Os resultados apresentados nestas pesquisas reafirmam que a pirólise térmica é capaz de converter resíduos plásticos heterogêneos em três principais produtos: gás, líquido e sólido (carvão), sendo a fração líquida a mais desejável do ponto de vista energético.

No entanto, a literatura evidencia que o rendimento e a seletividade dos produtos são significativamente ampliados quando o processo é conduzido na presença de catalisadores. De acordo com Wan Muhammad e Mohamad (2025), a pirólise catalítica apresenta maior controle sobre a distribuição dos produtos e maior eficiência na quebra das cadeias poliméricas, reduzindo a formação de ceras e aumentando a produção de hidrocarbonetos na faixa de C5 a C24. Os autores mostram que o uso de catalisadores ácidos acelera a etapa de craqueamento secundário, contribuindo para a formação de frações mais leves e com composição mais uniforme, além de reduzir o tempo de residência necessário dentro do reator.

Os estudos de Seliverstov, Furda e Lebedeva (2022) reforçam esses resultados ao demonstrar que catalisadores minerais e argilas ativadas apresentam elevado potencial para promover a conversão de poliolefinas, com destaque para bentonita, caulim e montmorilonita. Esses catalisadores apresentam acidez superficial e estabilidade térmica adequadas ao processo, possibilitando maior degradação das cadeias poliméricas e formação de frações líquidas de maior interesse energético. Tais achados sugerem que materiais naturais podem ser alternativos economicamente vantajosas para ampliar a viabilidade tecnológica da pirólise em larga escala.

Outros estudos reforçam o papel de sistemas catalíticos mais complexos. Abnisa (2023) destaca que catalisadores minerais naturais promovem rendimentos elevados de combustíveis líquidos sem necessidade de purificação complexa dos resíduos plásticos, o que representa uma vantagem prática significativa. Esses catalisadores também demonstram seletividade para hidrocarbonetos médios e pesados, evidenciando sua adequação para formulações de combustíveis como diesel e querosene. Complementarmente, Panda et al. (2020) observaram que catalisadores baseados em zircônio sulfatado



apresentam desempenho ainda mais elevado, com alta capacidade de desoxigenação e formação de compostos líquidos com baixa presença de contaminantes, adequados para aplicações energéticas e industriais.

Os avanços tecnológicos mais recentes apontam também para processos híbridos, como a pirólise assistida por plasma não térmico (NTP). Khatibi, Nahil e Williams (2025) identificaram que a combinação entre pirólise térmica e plasma cria um ambiente de reação altamente reativo, capaz de intensificar a quebra das cadeias poliméricas e melhorar substancialmente a qualidade dos combustíveis líquidos produzidos. Esse processo reduz a viscosidade dos produtos e aumenta a produção de gases leves, que podem ser reinseridos no sistema como fonte de energia, aumentando a eficiência global do processo.

As tecnologias apresentadas na literatura ganham relevância ainda maior quando analisadas à luz da realidade brasileira. Segundo o Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2024, os plásticos representam uma parcela significativa do fluxo de resíduos, mas possuem índices reduzidos de reciclagem mecânica. O documento mostra que, embora a logística reversa tenha avançado, apenas 23% das embalagens recuperadas em 2023 eram de plástico, evidenciando a necessidade de soluções tecnológicas complementares para materiais de difícil reciclagem mecânica. Além disso, o relatório indica que a recuperação total de embalagens passou de 706 mil toneladas em 2022 para 901 mil toneladas em 2023, demonstrando crescimento, mas ainda insuficiente para atender às metas de redução de resíduos dispostos em aterros.

Nesse contexto, a pirólise surge como alternativa estratégica para integrar-se às políticas nacionais de economia circular. Ao transformar resíduos plásticos em combustíveis líquidos, gases de alto poder calorífico e insumos químicos, o processo contribui para reduzir a dependência de aterros sanitários, amplia a eficiência da logística reversa e permite o reaproveitamento de polímeros que dificilmente seriam reinseridos por rotas de reciclagem convencional. Os resultados observados nas pesquisas analisadas comprovam que a conversão termoquímica é uma rota tecnicamente viável, ambientalmente relevante e alinhada às demandas energéticas e industriais contemporâneas, sobretudo em um cenário como o brasileiro, em que a geração de resíduos cresce de maneira contínua e a capacidade de processamento ainda é limitada.

5 CONCLUSÃO

Os estudos analisados demonstram que a pirólise constitui uma rota tecnológica robusta e altamente promissora para a conversão de resíduos plásticos em combustíveis líquidos de interesse energético. A literatura recente evidencia que tanto a pirólise térmica quanto, sobretudo, a catalítica, apresentam elevada capacidade de degradação das poliolefinas presentes nos resíduos sólidos urbanos, produzindo hidrocarbonetos em faixas compatíveis com aplicações industriais. A incorporação de



catalisadores minerais, zeolíticos, metálicos e bimetálicos mostrou-se determinante para o aumento do rendimento, da seletividade e da qualidade dos combustíveis obtidos, reduzindo a formação de subprodutos indesejáveis e tornando o processo mais eficiente em termos energéticos.

Os avanços em tecnologias híbridas, como a pirólise assistida por plasma não térmico, reforçam a tendência de integração de processos capazes de potencializar a quebra das cadeias poliméricas e melhorar a qualidade dos produtos líquidos. Tais inovações ampliam significativamente o campo de aplicação da pirólise e indicam caminhos viáveis para o desenvolvimento de sistemas industriais de maior eficiência e menor impacto ambiental.

No contexto brasileiro, os dados apresentados pelo Panorama dos Resíduos Sólidos 2024 mostram que, embora os índices de logística reversa estejam em evolução, os resíduos plásticos continuam apresentando baixos níveis de recuperação em comparação a outros materiais. Esse cenário evidencia a necessidade urgente de rotas complementares à reciclagem mecânica, especialmente para plásticos que apresentam alta heterogeneidade, contaminação ou que não são economicamente viáveis para reinserção direta na cadeia produtiva. Nesse sentido, a pirólise surge como uma alternativa estratégica para ampliar a valorização dos resíduos plásticos, reduzir o envio de materiais aos aterros sanitários e contribuir para metas nacionais de descarbonização e economia circular.

Diante dos resultados apresentados, conclui-se que a pirólise, especialmente em suas vertentes catalítica e híbrida, representa uma solução tecnicamente viável, ambientalmente relevante e economicamente promissora para o reaproveitamento de resíduos plásticos. A implementação dessa tecnologia em escala industrial pode fortalecer políticas públicas de gestão de resíduos, aumentar a autonomia energética e reduzir os impactos ambientais associados ao descarte inadequado de plásticos. Dessa forma, a pirólise consolida-se como uma alternativa capaz de integrar inovação tecnológica, sustentabilidade e eficiência na gestão dos resíduos sólidos urbanos no Brasil.



REFERÊNCIAS

- ABNISA, F.** Enhanced Liquid Fuel Production from Co-Pyrolysis of Mixed Plastic Waste Using Natural Mineral Catalyst: A Comparative Study. *Energies*, v. 16, n. 3, p. 1224, 2023. DOI: [10.3390/en16031224](https://doi.org/10.3390/en16031224).
- BARDIN, L.** *Análise de conteúdo*. Ed. rev. e ampl. São Paulo: Edições 70, 2011.
- BRASIL.** Lei n.º 14.933, de 24 de agosto de 2024. Institui a Política Nacional de Mudança do Clima e dispõe sobre diretrizes para descarbonização, economia de baixo carbono e incentivos energéticos. Brasília: Presidência da República, 2024.
- ICAO.** Long-Term Global Aspirational Goal (LTAG) for international aviation of net-zero carbon emissions by 2050. Montréal: International Civil Aviation Organization, 2022.
- GIL, A. C.** *Métodos e técnicas de pesquisa social*. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2019.
- KHATIBI, M.; NAHIL, M. A.; WILLIAMS, P. T.** Non-thermal Plasma/Catalytic Pyrolysis Processing of Waste-Derived Fuel: Upgrading of Pyrolysis Volatiles. *Waste and Biomass Valorization*, 2025. DOI: [10.1007/s12649-024-02866-w](https://doi.org/10.1007/s12649-024-02866-w).
- KOU, L.; GUO, J.; WANG, J.; BAI, M.; HUO, E.** Aviation fuel products produced from catalytic pyrolysis of low-density polyethylene using a Mg–Mo/biochar bimetallic catalyst. *Sustainable Chemistry and Engineering*, v. 13, n. 12, p. 4661-4671, 2025.
- LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A.** *Fundamentos de metodologia científica*. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2003.
- MONTEIRO NETO, J. DE B., FERNANDES, R. M. T., & KHAN, A.** (2025). Effect of Metal Doping on the Thermodynamic Stability of Rub-11 Zeolite. *The Journal of Engineering and Exact Sciences*, 11(1), 23032. DOI: [10.18540/jcecvl11iss1pp23032](https://doi.org/10.18540/jcecvl11iss1pp23032).
- PANORAMA dos Resíduos Sólidos no Brasil 2024.** Associação Brasileira de Resíduos e Meio Ambiente (ABREMA). São Paulo, 2024.
- PANDA, A. K. et al.** Pyrolysis of Waste Plastics for Liquid Fuel Using Sulfated Zirconia as a Catalyst. *Waste and Biomass Valorization*, v. 11, p. 6337-6345, 2020. DOI: [10.1007/s12649-019-00841-4](https://doi.org/10.1007/s12649-019-00841-4).
- SYAMSIRO, M. et al.** Liquid and Gaseous Fuel from Waste Plastics by Sequential Pyrolysis and Catalytic Reforming Using Natural Indonesian Zeolite. *Waste Technology*, v. 2, n. 2, p. 44-51, 2014. DOI: [10.12777/wastech.2.2.44-51](https://doi.org/10.12777/wastech.2.2.44-51).
- VADIRAJ, K. T. et al.** Plastic Waste Pyrolysis into Plastic Oil: A Potential Future Fuel Resource. *Journal of Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems*, v. 13, 2025. DOI: [10.13044/j.sdewes.d13.0545](https://doi.org/10.13044/j.sdewes.d13.0545).
- WAN MUHAMMAD, W. N. A.; MOHAMAD, M. N. A.** A Systematic Review of Liquid Fuel Production from Waste Plastics through Pyrolysis Technology. *International Journal of Industrial Research and Engineering Ventures*, v. 7, p. 735-748, 2025. DOI: [10.35631/IJIREV.722041](https://doi.org/10.35631/IJIREV.722041).
- YAQOOB, H. et al.** Pyrolysis of Plastic Waste for Alternative Fuel Production: Pathways, Parameters, and Challenges. *RSC Sustainability*, v. 3, p. 208–218, 2025. DOI: [10.1039/d4su00504j](https://doi.org/10.1039/d4su00504j).



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ABC (UFABC). *Energia do Lixo: Tecnologias para Recuperação Energética dos Resíduos Sólidos Urbanos.* Santo André: EdUFABC, 2024. E-book. ISBN: 978-65-89992-49-3.

