

DESENVOLVIMENTO DE NOVOS CATALISADORES MESOPOROSOS DO TIPO MCM-41 PARA REMOÇÃO DE CONTAMINANTES NA INDÚSTRIA DO PETRÓLEO

Brunielle Santos de Jesus¹, Sulene Alves de Araujo²

RESUMO

A aplicação de nanocatalisadores mesoporosos, como o AIMCM-41, constitui estratégia eficiente e sustentável para a degradação do Polietileno de Alta Densidade (PEAD), polímero resistente à decomposição. O AIMCM-41, devido à elevada área superficial, porosidade ordenada e sítios ácidos, favorece o craqueamento seletivo das longas cadeias poliméricas, convertendo resíduos plásticos em combustíveis de maior valor agregado. Sua síntese envolve métodos hidrotérmicos, troca iônica e calcinação a 550 °C, garantindo estabilidade estrutural. O PEAD misturado ao catalisador (50% m/m) foi submetido à pirólise entre 30 e 800 °C em atmosfera inerte. As análises por GC/MS mostraram que o PEAD puro gera hidrocarbonetos C7–C30, enquanto o AIMCM-41 direciona a formação de frações leves: GLP (C2–C3), gasolina (C6–C9) e diesel (C11–C17). A caracterização confirmou estrutura mesoporosa, alta área superficial e estabilidade térmica. Os resultados demonstram o potencial do AIMCM-41 na valorização de resíduos plásticos, alinhando eficiência tecnológica e sustentabilidade.

PALAVRAS-CHAVE: Catálise; Contaminantes; MCM-41; Petróleo

DEVELOPMENT OF NEW MCM-41 TYPE MESOPOROUS CATALYSTS FOR CONTAMINANT REMOVAL IN THE OIL INDUSTRY

ABSTRACT

The application of mesoporous nanocatalysts, such as AIMCM-41, represents an efficient and sustainable strategy for the degradation of High-Density Polyethylene (HDPE), a polymer highly resistant to decomposition. AIMCM-41 exhibits high surface area, ordered porosity, and acidic sites, promoting the selective cracking of long polymer chains and converting plastic waste into higher-value products. The synthesis of AIMCM-41 is carried out through hydrothermal methods using silica, sodium silicate, pseudoboehmite, and CTMABr, followed by ion exchange with ammonium chloride, vacuum filtration, washing with 2% hydrochloric acid in ethanol, drying at room temperature, and calcination at 550 °C, ensuring the removal of the structural agent and the stability of the material. HDPE powder is homogenized with 50 wt% of the catalyst and subjected to thermal degradation under an inert atmosphere, between 30 and 800 °C, with controlled heating rates. Pyrolysis studies by GC/MS indicate that pure HDPE produces hydrocarbons in the C7–C30 range, while the AIMCM-41/HDPE mixture concentrates the formation of light fractions: C2–C3 (GLP), C6–C9 (gasoline), and C11–C17 (diesel). The degradation mechanism involves cracking of polymer chains within the mesopores and

acidic sites of AIMCM-41, generating free radicals and olefins. Radical recombination reactions predominate, favoring the production of light fuels. Structural and textural characterization of AIMCM-41 is performed by X-ray diffraction, infrared spectroscopy, nitrogen adsorption using the BET method, and thermogravimetric analysis, confirming mesoporous organization, high surface area, and thermal stability. The results demonstrate that mesoporous catalysts such as AIMCM-41 constitute an effective technological alternative for converting plastic waste into fuels, promoting sustainability, material utilization efficiency, and reduction of environmental impacts associated with plastic accumulation

KEYWORDS: Catalysis; Contaminants; MCM-41; Petroleum

INTRODUÇÃO

O acúmulo crescente de resíduos plásticos, especialmente o PEAD, representa desafio ambiental devido à sua elevada resistência à degradação. A conversão catalítica desses materiais em combustíveis constitui alternativa sustentável de valorização. Catalisadores mesoporosos como o AIMCM-41, desenvolvidos a partir de sílica e alumínio, apresentam estrutura altamente ordenada e sítios ácidos, favorecendo o craqueamento seletivo de polímeros. Além de benefícios ambientais, a aplicação desses catalisadores permite explorar novas abordagens no ensino e na pesquisa em Química, incentivando soluções tecnológicas sustentáveis. Este trabalho investiga a degradação do PEAD sobre AIMCM-41, avaliando sua eficiência catalítica por análises termogravimétricas e pirólise acoplada à cromatografia gasosa.

MATERIAIS E MÉTODOS

A síntese do AIMCM-41 foi realizada a partir de sílica, silicato de sódio, pseudoboemita e CTMABr, formando um gel ($4 \text{ SiO}_2:0,04 \text{ Al}_2\text{O}_3:1,0 \text{ Na}_2\text{O}:1,0 \text{ CTMABr}:200 \text{ H}_2\text{O}$), submetido a tratamento hidrotérmico ($100 \text{ }^\circ\text{C}/72 \text{ h}$), seguido de lavagem, secagem e calcinação a $550 \text{ }^\circ\text{C}$. A forma ácida foi obtida por troca iônica com solução de NH_4Cl $0,1 \text{ mol L}^{-1}$.

O PEAD em pó foi misturado ao catalisador (50% m/m) e degradado termicamente entre 30 e $800 \text{ }^\circ\text{C}$ sob N_2 (60 mL/min), em diferentes taxas de aquecimento. Ensaios de pirólise a $600 \text{ }^\circ\text{C}$ em Ar permitiram identificar os produtos por GC/MS. A caracterização do AIMCM-41 por DRX, FTIR, BET e

TG confirmou estrutura mesoporosa ordenada, alta área superficial e sítios ácidos ativos, essenciais para a degradação catalítica do PEAD.

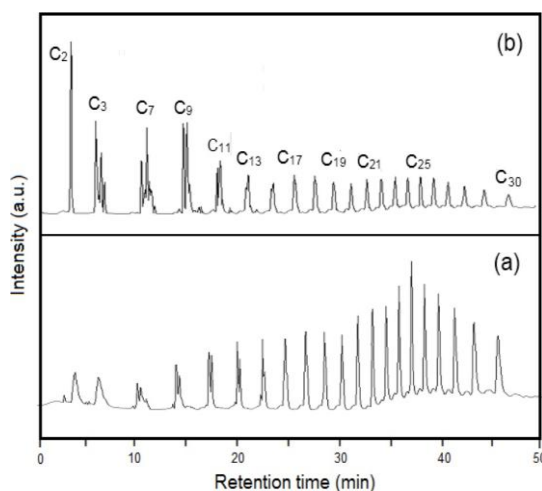
RESULTADOS E DISCUSSÃO

A degradação térmica do Polietileno de Alta Densidade (PEAD) ocorre por dois mecanismos principais: combustão polimérica, que gera CO_2 e água na presença de oxigênio, e craqueamento térmico, responsável pela formação de hidrocarbonetos C_2 a C_{30} na ausência de oxigênio. Sob atmosfera inerte, como argônio, a combustão é inibida, favorecendo o craqueamento térmico. Ensaios de pirólise analisados por GC/MS demonstram diferenças significativas entre PEAD puro e PEAD catalisado com AIMCM-41.

O PEAD puro gera principalmente hidrocarbonetos de cadeia longa, C_{11} - C_{30} , indicando craqueamento limitado. Em contraste, a mistura AIMCM-41/PEAD produz predominantemente hidrocarbonetos leves, C_3 - C_{13} , evidenciando a ação seletiva do catalisador. A pirólise do PEAD sem catalisador gera hidrocarbonetos C_7 - C_{30} , enquanto com AIMCM-41 a distribuição concentra-se em C_2 - C_3 (GLP), C_6 - C_9 (gasolina) e C_{11} - C_{17} (diesel). Isso ocorre porque o AIMCM-41 promove o craqueamento das longas cadeias poliméricas nos mesoporos e sítios ácidos, aumentando a quebra de cadeias e favorecendo a formação de radicais livres e olefinas.

As reações de terminação por combinação de radicais resultam em maior produção de combustíveis leves, demonstrando que a presença do catalisador não apenas aumenta a eficiência da degradação, mas também direciona seletivamente a produção de frações úteis, alinhando-se a estratégias sustentáveis de aproveitamento de resíduos plásticos (ARAÚJO, 2006).

Figura 1 – Cromatogramas dos produtos de reação da pirólise do PEAD: (a) sem catalisador; (b) misturado com AIMCM-41.1.



CONCLUSÕES

A pirólise do PEAD com AIMCM-41 gera hidrocarbonetos leves, como GLP, gasolina e diesel. Esse desempenho decorre da estrutura mesoporosa e dos sítios ácidos do catalisador, que reduzem a energia de ativação para 163 kJ/mol, aumentando a eficiência do processo. Estudos confirmam que o AIMCM-41 acelera a degradação, direciona a formação de frações valiosas e diminui a produção de resíduos e coque.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ARAÚJO, M. H. Síntese e aplicações de materiais mesoporosos do tipo MCM-41. Química Nova, v. 29, n. 1, p. 173-181, 2006.
Disponível em:
<https://www.scielo.br/ij/qn/a/qtYv9F5dJZkBdJ5CxkWDFMk/?format=pdf&lang=pt>
2. BECK, J. S. et al. A new family of mesoporous molecular sieves prepared with liquid crystal templates. Journal of the American Chemical Society, v. 114, p. 10834-10843, 1992. **Disponível em:**
<https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/ja00053a020>
3. CORMA, A. From microporous to mesoporous molecular sieve materials and their use in catalysis. Chemical Reviews, v. 97, p. 2373-2419, 1997.
Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/cr960406n>
4. COSTA, R. A. et al. Pirólise catalítica de plásticos para produção de combustíveis. Revista de Engenharia Química, v. 15, n. 2, p. 201-214, 2021.
Disponível em:
<https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/download/71423/50171/175665>
5. FERREIRA, A. L.; LIMA, R. M. Sustentabilidade e reaproveitamento de resíduos plásticos. Revista Ciências Ambientais, v. 12, n. 3, p. 89-101, 2018.
Disponível em: <https://pantheon.ufrj.br/bitstream/11422/12468/1/FLVVGomez.pdf>
6. FLANIGEN, E. M. et al. Silicalite: a new hydrophobic crystalline silica molecular sieve. Nature, v. 271, p. 512-516, 1991.
Disponível em: <https://www.nature.com/articles/271512a0>
7. INAGAKI, S.; FUKUSHIMA, Y.; KURODA, K. Synthesis of highly ordered mesoporous materials. Journal of the Chemical Society, Chemical Communications, v. 18, p. 680-682, 1993.
Disponível em:
<https://scispace.com/pdf/sintese-e-caracterizacao-de-materiais-do-tipo-mcm-41-1ccz43wdyw.pdf>

AGRADECIMENTOS



fapesb

