

Obtenção do compósito Hbeta/SBA-15: Aplicação no craqueamento catalítico do óleo de *Moringa Oleífera Lam*

Ana B.S Girão;^{1*}, Brenda S. Sousa ¹; Daniele S. Oliveira ¹; Joanna G.G. Souza ¹; Vinícius P.S Caldeira ¹; Anne G.D. Santos¹

¹Universidade do Estado do Rio Grande do Norte, Laboratório de Catálise, Ambiente e Materiais, Departamento de Química, 59610-090, Mossoró/RN.

*Anagirao2003@gmail.com

Resumo/Abstract

RESUMO - O uso excessivo de combustíveis fósseis tem levado à busca por fontes de energia renováveis, como os biocombustíveis. O craqueamento de biomassa, especialmente com o óleo de *Moringa oleífera Lam*, é uma alternativa promissora, otimizada por catalisadores heterogêneos. Este estudo visa desenvolver um catalisador micro e mesoporoso para o craqueamento catalítico do óleo de Moringa, utilizando zeólita beta, beta hierarquizada, SBA-15 e compósito Hbeta/SBA-15, sintetizados por método hidrotérmico. As amostras foram caracterizadas por análises texturais, térmicas, morfológicas e estruturais, e o craqueamento foi realizado por termogravimetria. A zeólita beta mostrou uma fase cristalina e o SBA-15 uma estrutura mesoporosa organizada. O compósito apresentou característica de ambos os materiais, e a morfologia indicou uma estrutura híbrida no compósito Hbeta/SBA-15. O desempenho catalítico foi superior para a zeólita beta e sua versão hierarquizada, enquanto o SBA-15 teve desempenho inferior. O compósito HBS destacou-se com uma redução de 38% na temperatura máxima de craqueamento. Esses resultados demonstram o potencial dos materiais para processos termocatalíticos.

Palavras-chave: catalisadores; Biocombustível, *Moringa Oleífera Lam*; Hbeta/SBA-15.

ABSTRACT - The excessive use of fossil fuels has led to the search for renewable energy sources, such as biofuels. Biomass cracking, especially using *Moringa oleífera Lam* oil, is a promising alternative, optimized by heterogeneous catalysts. This study aims to develop a micro- and mesoporous catalyst for the catalytic cracking of Moringa oil, using beta zeolite, hierarchical beta zeolite, SBA-15, and the Hbeta/SBA-15 composite, synthesized through the hydrothermal method. The samples were characterized through textural, thermal, morphological, and structural analyses, and the cracking was performed by thermogravimetry. The beta zeolite exhibited a crystalline phase, and SBA-15 showed an organized mesoporous structure. The composite displayed characteristics of both materials, and the morphology indicated a hybrid structure in the Hbeta/SBA-15 composite. Catalytic performance was superior for the beta zeolite and its hierarchical version, while SBA-15 showed lower performance. The HBS composite stood out with a 38% reduction in the maximum cracking temperature. These results demonstrate the potential of the materials for thermocatalytic processes.

Keywords: Catalysts; Biofuel; *Moringa Oleífera Lam*; Hbeta/SBA-15.

Introdução

Nas últimas décadas, o Brasil intensificou sua urbanização e industrialização, aumentando a demanda por energia e a dependência de combustíveis fósseis, o que agravou problemas ambientais (1-2). Como alternativa, os biocombustíveis, por serem renováveis e menos poluentes, ganham destaque. A transesterificação, método comum na produção de biodiesel, enfrenta limitações quanto à qualidade das matérias-primas. Nesse contexto, o craqueamento de óleos vegetais surge como alternativa promissora, especialmente o processo termocatalítico, por oferecer maior rendimento e menos subprodutos indesejáveis (3).

O craqueamento termocatalítico destaca-se pelo desenvolvimento de catalisadores eficientes, pela seletividade para frações líquidas valiosas e pela escolha adequada de matérias-primas (3). A *Moringa oleífera Lam*. Surge como opção promissora por seu alto rendimento de óleo (~40%), adaptação ao clima semiárido e por não competir com a cadeia alimentar. A eficiência do processo depende, sobretudo, do catalisador utilizado. Zeólitas têm sido amplamente empregadas devido à sua alta acidez e atividade catalítica, mas sua estrutura microporosa pode dificultar a difusão de moléculas maiores, comprometendo o desempenho catalítico (4-6).

No craqueamento termocatalítico do óleo de *Moringa oleífera*, espera-se a conversão dos triglicerídeos em uma ampla gama de produtos, com ênfase na formação

de hidrocarbonetos líquidos nas faixas de gasolina e diesel, que são os principais alvos para aplicação como combustíveis renováveis. Devido ao seu elevado teor lipídico e à predominância de ácidos graxos de cadeia longa e insaturada, o óleo de moringa possui grande potencial para gerar frações líquidas com alto valor energético e baixo teor de oxigênio, características desejáveis na produção de biocombustíveis (21).

Para contornar essa limitação, a combinação da zeólita beta hierarquizada com o material mesoporoso SBA-15, originando o compósito Hbeta/SBA-15(HBS), tem se mostrado vantajosa (5). Essa associação permite aliar a elevada acidez e atividade catalítica da zeólita beta com a alta porosidade e acessibilidade do SBA-15, resultando em maior seletividade e melhor desempenho catalítico. Além disso, o compósito apresenta maior estabilidade e resistência à formação de coque, o que contribui para sua eficácia em reações de craqueamento. A modificação das propriedades de superfície desse compósito potencializa ainda mais a conversão e a seletividade para bio-hidrocarbonetos, reafirmando sua relevância na produção de combustíveis renováveis (5-6). Contudo, o objetivo deste trabalho é desenvolver um catalisador micro-mesoporoso para aplicação no craqueamento catalítico do óleo de *Moringa oleifera* Lam.

Experimental

Preparação dos Catalisadores.

A síntese do SBA-15 foi baseada no método de Zhao *et al.*, (1998). Utilizado uma razão molar de 1TEOS: 0,015P123: 2,750HCl: 166H₂O. O poli(etileglicol)-poli(propilenoglicol)-poli(etilenoglicol) – pluron P123 (Sigma - Aldrich) foi dissolvido em água destilada e ácido clorídrico (HCl - Vetec - 38%) sob agitação e aquecimento (35–40 °C). Após atingir a temperatura, o tetraetil - ortosilicato (TEOS – Sigma-Aldrich 98%) foi adicionado, mantendo-se as condições por 24 h para formação do gel. O gel foi transferido para autoclave e submetido à cristalização em estufa a 100 °C por 48 h. Em seguida, o material foi resfriado, filtrado a vácuo, lavado com solução de HCl 2% em etanol e seco à temperatura ambiente por 48 h. Por fim, foi calcinado a 550 °C por 6 h à 5 °C.min⁻¹.

A síntese da zeólita beta foi realizada com base no método descrito por Cambor *et al.*, (1997), com algumas modificações, sendo utilizado uma razão molar de 1,5Al₂O₃: 60SiO₂: 15,5TEAOH: 1000 H₂O. Inicialmente, o hidróxido de alumínio (Sigma - Aldrich- 9,9%), foi dissolvido em hidróxido de tetraetilamônio (TEAOH – Sigma-Aldrich) e água destilada sob agitação magnética constante, à temperatura ambiente, por 2 h. Simultaneamente, a sílica fumed (Sigma - Aldrich) também foi dissolvida em TEOH e água destilada, sob as mesmas condições. As duas soluções obtidas foram então combinadas e mantidas sob agitação contínua por 24 h, posteriormente o gel obtido foi transferido para autoclave de Teflon e submetido à cristalização a 135 °C por 168 h na estufa. O material foi então filtrado, lavado, seco a 100 °C por 12 h e calcinado a 550 °C por 6 h, à 10 °C.min⁻¹.

O tratamento alcalino foi realizado conforme a metodologia de Gu *et al.*, (2004), utilizando 1 g de zeólita

beta calcinada em 100 mL de solução de hidróxido de amônio (NH₄OH, Synth) a 1 mol L⁻¹. A mistura foi agitada por 30 min à temperatura ambiente, seguida de tratamento hidrotérmico a 80 °C por 24 h. Após o processo, o gel foi filtrado a vácuo, lavado com água destilada até pH neutro, seco a 100 °C por 12 h e calcinado a 550 °C por 6 h, com taxa de aquecimento de 10 °C.min⁻¹.

A síntese do compósito, será realizada seguindo uma razão molar de 1*10⁻³ P123: 0,48HCl:0,08n-but: 0,06TEOS: 12,68H₂O. Inicialmente o P123 foi dissolvido em solução de HCl 2 mol L⁻¹, em seguida, adicionou-se o n-butanol, e ficou em agitação por 1 h. Após isso, foram incorporadas zeólita beta hierarquizada, conforme a razão mássica TEOS/beta de 1:1. O TEOS foi então adicionado lentamente sob agitação contínua por 24 h a 45 °C. O gel obtido foi transferido para autoclave de Teflon e submetido à cristalização estática a 105 °C por 24 h. O sólido formado foi filtrado com solução de HCl a 2% em etanol, seco e calcinado a 550 °C por 6 h à 10 °C.min⁻¹.

As amostras foram codificadas como Beta: zeólita beta, Hbeta: zeólita beta hierarquizada, SBA-15: material mesoporoso e HBS: zeólita beta hierarquizada com SBA-15. Os materiais sintetizados foram caracterizados por difração de raios X usando o equipamento Bruker D2 Phaser, foram realizadas por varredura em duas faixas de 2θ: de 5 a 50° com passo de 0,02°/s e tempo de 1 s (alto ângulo), e de 0,58 a 3° com passo de 0,001241°/s e tempo de aquisição de 12 s (baixo ângulo). Análise textural por adsorção/dessorção de N₂ a 77 K, no equipamento ASAP 2020, inicialmente as amostras foram desgaseificadas sob vácuo a 300 °C durante 10 horas para remoção de impurezas. Em seguida, dosificou-se quantidades adequadas de N₂ a 77K variando a pressão relativa entre 0 e 1 para obter a isoterma de adsorção. As curvas termogravimétricas foram obtidas por meio de uma termobalança da Netzsch, modelo STA 449 Júpiter, sendo submetido a aquecimento de 30 a 900 °C, em uma taxa de aquecimento de 10 °C min⁻¹, sob atmosfera dinâmica de nitrogênio com fluxo de 60 mL Min⁻¹, em um cadinho de alumina, utilizado aproximadamente 3 mg do catalisador e microscopia eletrônica de varredura, o equipamento Shimadzu modelo MIRA3 FEG e a análise de fluorescência de raios-X (FRX), foi realizada no equipamento EDX-7000 da Shimadzu.

Craqueamento catalítico:

Para avaliar a atividade dos catalisadores obtidos foi realizado o craqueamento termocatalítico do óleo de Moringa. Equipamento de análise térmica que foi utilizado é da NETZSCH modelo STA 449 Júpiter. As análises foram realizadas utilizando 10 % do catalisador em relação à massa do óleo de Moringa, que foi de 10 mg, em cadinho de alumina, sendo submetido a aquecimento de 30 a 800 °C, em uma taxa de aquecimento de 10 °C.min⁻¹, sob atmosfera dinâmica de nitrogênio com fluxo de 60 mL min⁻¹.

Resultados e Discussão

Os difratogramas de raios X, obtidos em alto e baixo ângulo, das zeólitas beta, Hbeta, SBA-15 e seu compósito estão ilustrados nas Figuras 1 e 2, respectivamente. Nos

ângulos elevados, os difratogramas das zeólitas beta e Hbeta apresentam uma linha de base reta, característica da ausência de material amorfo, indicando alta cristalinidade para ambas as zeólitas. Além disso, o conjunto de picos observados nas duas amostras confirma a estrutura e a presença de uma única fase cristalina na zeólita beta, com ênfase nos picos predominantes em $2\theta \approx 7,6^\circ$ e $22,4^\circ$, que correspondem aos planos (101) e (311) (8), conforme a carta cristalográfica no associação Internacional de Zeólitas, analisando a intensidade das zeólitas, Figura 1, observa-se a redução na intensidade das reflexões da amostra Hbeta, em comparação à amostra beta, que pode ser devido o processo de hierarquização, associado à geração de porosidade secundária, mas o tratamento alcalino não alterou a estrutura da zeólita, mantendo as posições dos picos (11).

Figura 1. Difratogramas dos catalisadores em alto ângulo

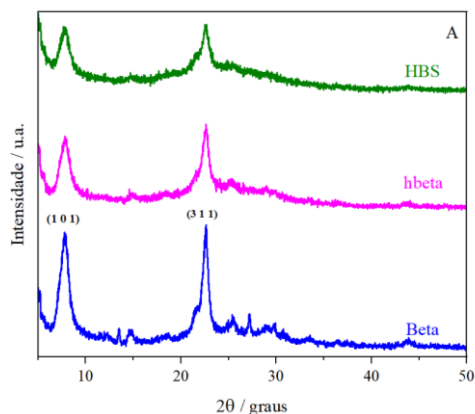
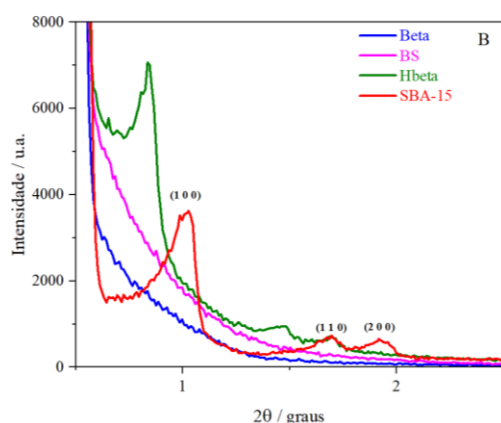


Figura 2. Difratogramas dos catalisadores em baixo ângulo



No difratogramas a baixo ângulo (Figura 2) verificou-se a formação do SBA-15, com a presença de três picos principais, cujos índices de Miller são (100), (110) e (200) respectivamente, esses picos são característicos de uma rede hexagonal bem ordenada e estrutura mesoporosa bidimensional com simetria P6mm (10-21).

Já para o compósito Hbeta e SBA-15 (HBS), três picos são observados com índices de miller (100), (110) e (200), com leve deslocamento para a esquerda, possivelmente devido à presença da zeólita beta. Isso sugere que o SBA-15 foi carregado com êxito na zeólita beta, formando uma estrutura composta do catalisador (19).

Os resultados apresentados na Tabela 1 indicam que todas as amostras apresentaram um bom rendimento, com

valores superiores a 83%, o que evidencia a eficiência do processo de síntese. Observa-se também que os valores de razão molar da zeólita ficaram próximos ao valor teórico ($R=25$), refletindo um bom controle das condições reacionais.

Destaca-se, entretanto, o compósito, que apresentou um valor de razão molar significativamente mais alto em comparação às demais amostras. Este comportamento pode estar associado à sua estrutura micro-mesoporosa, que combina as características da zeólita beta e do SBA-15 (10).

Portanto, o valor elevado da razão molar no compósito não apenas reflete sua boa performance, mas também destaca o papel fundamental de suas propriedades texturais e estruturais no comportamento catalítico do material.

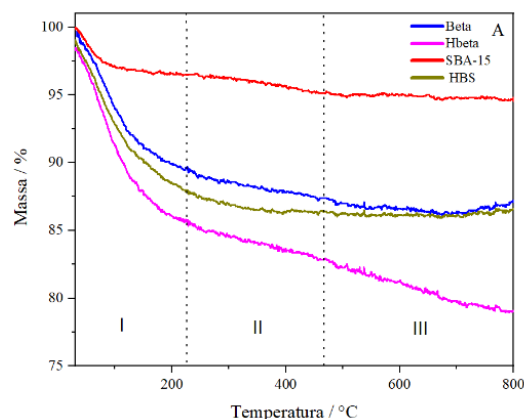
Tabela 1. Valores de razão molar Si/Al e rendimento efetivo das amostras

Amostra	R. molar Si/Al	^a R. efetivo % (m/m)
Beta	23,11	94,14
Hbeta	19,65	92,85
SBA-15	--	89,76
HBS	30,56	84,63

^a - Rendimento efetivo= (Massa final x (100 - perda calcinada %))/Massa inicial.

Os resultados das curvas termogravimétricas (TG) e da derivada (DTG) de todas as amostras podem ser observadas nas Figuras 3 e 4. As curvas DTG fornecem com mais clareza os pontos iniciais e finais dos eventos ocorridos.

Figura 3. Curvas de Tg dos catalisadores



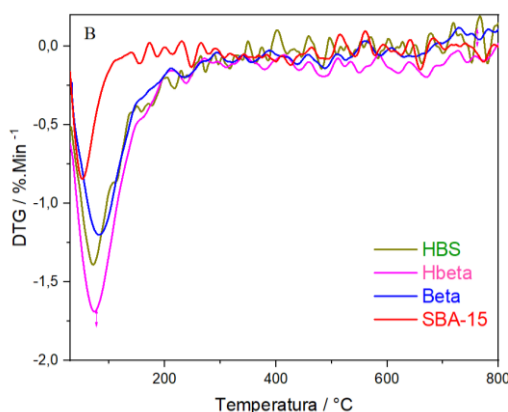
A perda de massa observada entre 30 e 200 °C (evento I) para todas as amostras corresponde à termodessorção de água da estrutura porosa, (Figura 4 e Tabela 2), indicando a remoção de água adsorvida fisicamente nas superfícies dos materiais. Já no evento II, em torno de 200 à 500 °C, corresponde a água quimissorvida das amostras, tendo um destaque para a Hbeta que apresentou uma perda adicional após 400 °C, diferente dos outros materiais, isso devido a eliminação de água quimissorvida, fortemente ligada ao material, o que requer temperaturas mais altas devido à maior energia de ligação (11 - 19).

Já no evento III, com temperaturas na faixa de 500 a 800 °C, a perda de massa pode estar relacionada a reações de desidroxilação. Esse processo envolve a remoção de

grupos hidroxila ($-OH$) ligados estruturalmente à matriz do material, resultando na formação de ligações oxigênio-metal ($M-O-M$) e na liberação de moléculas de água. A desidroxilação é característica de materiais contendo superfícies hidroxiladas, como as zeólitas e materiais mesoporosos, e geralmente indica alterações estruturais mais profundas na rede do material, podendo afetar suas propriedades texturais e de acidez (7-19).

No gráfico de TG da zeólita beta (Figura 3), a cristalização de núcleos silanizados na forma calcinada apresentam uma única perda de massa na faixa de 35 a 205 °C (Evento I), conforme está sendo mostrado na tabela 2, correspondente à remoção de água fisicamente adsorvida e coordenada (desidratação e desidroxilação). Para o SBA-15, a perda de massa abaixo de 200 °C (Evento I) se deve à dessorção de água, enquanto entre 200 e 800 °C (Evento II) ocorre a desidroxilação das redes de silicato (7 - 12).

Figura 4. Curvas de DTG dos catalisadores



A amostra HBS apresentou curvas de perda de massa indicando diferentes etapas de decomposição ou desidratação. Ele mostra três eventos de perda de massa, como pode ser visualizado na imagem e no gráfico 2 (7).

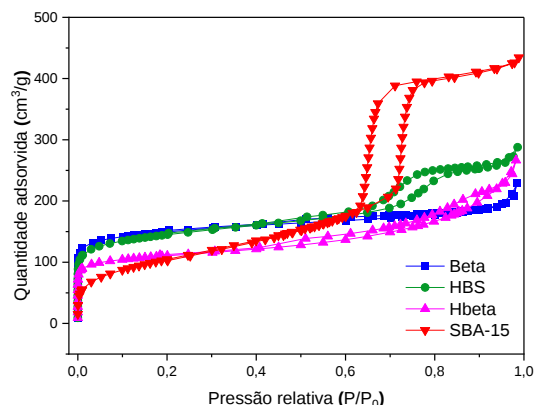
Tabela 2. Eventos térmicos dos catalisadores

Amostras	Eventos (°C)			Perda de Massa (%)		
	I	II	III	I	II	III
Beta	30 - 205	—	—	9,48	—	—
Hbeta	30 - 200	200 - 440	440 - 800	14,34	2,80	3,93
HBS	30 - 227	227 - 465	465 - 800	12,02	1,55	0,06
SBA-15	30 - 150	230 - 800	—	3,48	1,81	—

A Figura 5 demonstra as isotermas de adsorção e dessorção de N_2 a 77 K dos materiais obtidos, na qual mostra que a zeólita beta padrão apresentou uma isoterma do tipo I(a) reversível, característica de sólidos microporosos, segundo a classificação da IUPAC (20). Já o material Hbeta exibiu uma combinação das isotermas tipo I(a) e IV(a), indicando a presença de micro e mesoporos resultantes do tratamento alcalino. Mesmo após a dessilicação, a estrutura

microporosa foi preservada (19). Além disso, observou-se uma histerese do tipo H4, típica de cristais agregados de zeólitas mesoporosas com mesoporos ou espaços interparticulares (17), a Figura 5 apresenta a isoterma do SBA-15, compatível com materiais mesoporosos do tipo IV e histerese H1, que confirma a presença de mesoporos cilíndricos bem organizados (12).

Figura 5. Adsorção e absorção de N_2 a 77K dos catalisadores



A amostra HBS apresentou características de isotermas tipo I e IV, sugerindo uma estrutura micro-mesoporosa, com poros menores que 2 nm (microporos) e entre 2 a 50 nm (mesoporos). Essa combinação é vantajosa para aplicações em catálise e armazenamento, favorecendo a adsorção e a difusão de moléculas (13 - 18).

Os parâmetros texturais das amostras estão listados na Tabela 3. A Hbeta apresentou maior volume total de poros (V_{TOT}) em comparação à beta padrão, indicando que o tratamento alcalino foi eficiente na geração de porosidade secundária (19). O SBA-15 exibiu elevada área superficial externa, atribuída à sua estrutura ordenada de mesoporos, como evidenciado por imagens de microscopia eletrônica de varredura (10-19).

Tabela 3. Propriedades texturais das amostras

Amostras	S_{Bet} (m^2/g)	S_{EXT} (m^2/g)	S_{MIC} (m^2/g)	V_{MIC} (cm^3/g)	V_{TOT} (cm^3/g)
Beta	511	138	342	0,25	0,35
Hbeta	378	258	246	0,22	0,41
SBA-15	382	381	146,1	0,048	0,67
HBS	426	232	193	0,08	0,47

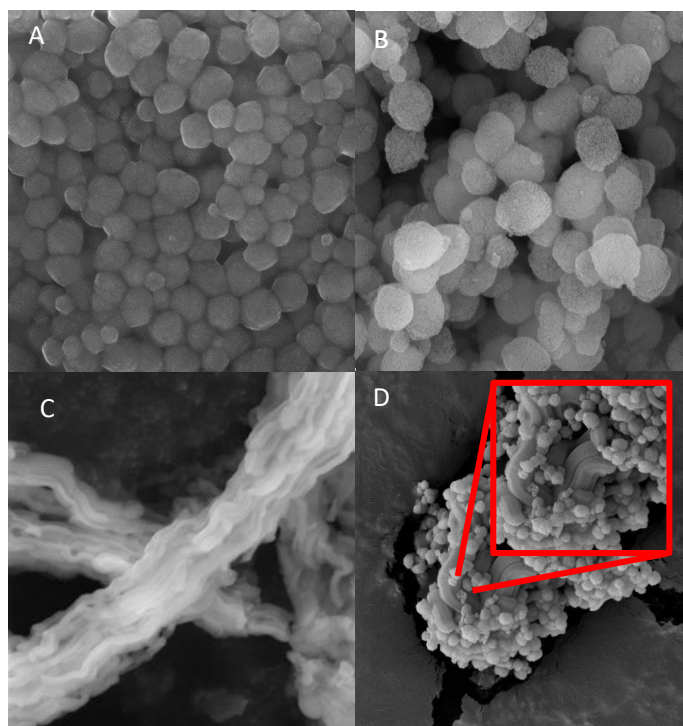
Área específica (S_{Bet}), área externa (S_{EXT}), volume total (V_{TOT}) e superiores a zeólita Beta padrão e valores de área de microporos (S_{MIC}) e volume de microporos (V_{MIC}).

A amostra HBS, por sua vez, mostrou características híbridas, essa combinação promoveu um aumento na área superficial específica, no volume de mesoporos e no volume total em relação à beta isolada, devido à incorporação do material zeolítico na matriz mesoporosa (18). A presença do SBA-15 no compósito também contribuiu para o aumento da área específica e do volume de poros em relação à zeólita beta pura (20). Esses dados destacam as diferenças entre os materiais microporosos (beta e Hbeta), mesoporosos (SBA-

15) e o híbrido como o HBS, que reúnem características de ambos os tipos de porosidade.

As micrografias eletrônica de varredura da zeólita beta e Hbeta (Figuras 6A e 6B) mostram aglomerados de partículas esféricas uniformes, com a hierarquização modificando a morfologia, evidenciada por rugosidade e ranhuras nos aglomerados cristalinos, indicativos da geração de mesoporos. A sílica mesoporosa ordenada SBA-15 (Figura 6 C) apresenta fibras de sílica micrométricas com nódulos submicrométricos, formando uma estrutura de "colares de contas entrelaçados", característica das sílicas com canais hexagonais (12).

Figura 6. Micrografia dos catalisadores, sendo A) zeólita beta; B) Hbeta; C) SBA-15; D) HBS



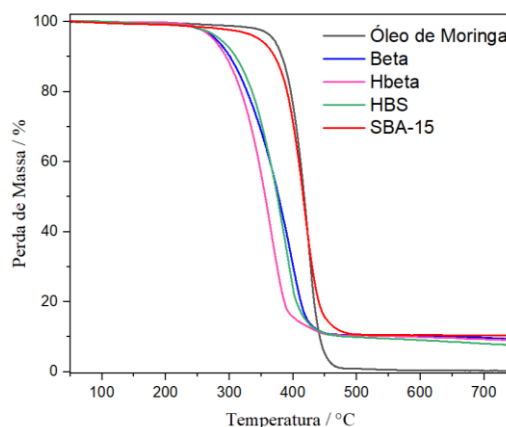
A amostra HBS (Figura 6D) exibe uma mistura de grandes partículas tipo corda, atribuídas à mesoestrutura do SBA-15, conforme é destacada na imagem e pequenos agregados esféricos, provenientes da zeólita beta, formando uma estrutura híbrida, evidenciada pela interação entre as fases no difratograma de raio x, que indica a formação de um composto com componentes intimamente conectados (9).

As curvas de TG e DTG (Figuras 7 e 8) demonstram a aplicação dos materiais na termodegradação do óleo. O óleo de moringa apresenta densidade de 0,9037 g. mL, valor típico de óleos vegetais, o que indica uma composição rica em ácidos graxos insaturados e influencia propriedades como viscosidade e fluidez. Seu índice de acidez, de 1,192 mg de KOH.g, revela baixa presença de ácidos graxos livres, indicando boa qualidade do óleo, com pouca degradação, sendo adequado para diversas aplicações, como o craqueamento catalítico.

A análise do craqueamento do óleo mostra que a sua decomposição térmica na faixa de 30 a 800 °C. Ela apresentou uma perda de massa próxima de 100%, com

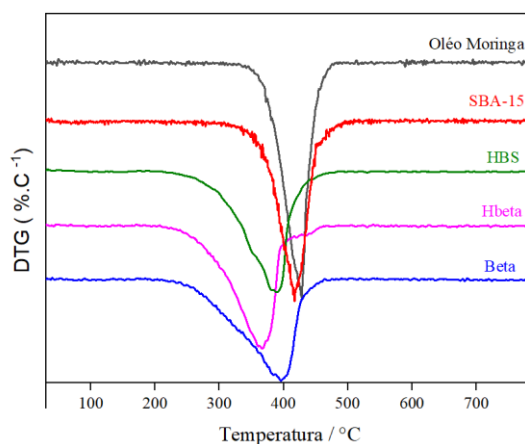
temperatura máxima de decomposição em 427,8 °C e apenas 0,25% de resíduo, conforme mostrado na Tabela 4, indicando completa volatilização e/ou decomposição dos compostos em altas temperaturas. De acordo com Santos *et al.* (2002), óleos com maior teor de ácidos graxos saturados apresentam maior estabilidade térmica.

Figura 7. Dados de TG da aplicação das amostras no craqueamento termocatalítico do óleo de moringa



Por outro lado, o composto HBS apresentou temperatura máxima de decomposição de 389,8 °C, com redução de 38 °C em relação ao óleo de moringa. Essa eficiência é atribuída à estrutura hierárquica do material, que melhora a acessibilidade aos sítios ativos e favorece a formação de compostos leves. Além disso, a baixa massa residual e a presença de múltiplos eventos térmicos próximos à temperatura máxima indicam um mecanismo de degradação distinto e eficiente (15-16).

Figura 8. Dados de DTG da aplicação das amostras no craqueamento termocatalítico do óleo de moringa



Na análise dos materiais catalíticos, a zeólita beta apresentou temperatura máxima de decomposição em 395,8 °C, evidenciando sua eficiência no craqueamento do óleo, com redução significativa nas temperaturas inicial, final e máxima de degradação em relação ao óleo puro, o que apresentou desempenho superior à zeólita hierarquizada, sugerindo maior seletividade na formação de compostos de menor massa molecular, devido à acessibilidade aos sítios ácidos e porosidade secundária (14). O SBA-15, apesar de sua alta mesoporosidade,

mostrou baixa eficiência catalítica, na qual teve uma massa residual mais elevando do que os demais catalisadores (Tabela 4), isso acontece por ele não apresentar uma quantidade significativa de sítios ácidos necessários para promover a quebra eficiente das moléculas durante o craqueamento, por conta que a estrutura é formada somente de silício e Oxigênio (12).

Tabela 4. Eventos Térmicos do craqueamento termocatalítico

Amostra	Eventos (°C)	T _{máx} (°C)	Perda de Massa (%)	Massa Residual (%)
Óleo de Moringa	350 – 477	427,8	99,75	0,25
Beta	209 – 466	395,8	88,8	11,2
Hbeta	I 208 – 416	367,2	I 86,5	10,6
	II 416 – 463		II 2,9	
HBS	I 229 – 351	389,8	I 28,9	10,8
	II 351 – 495		II 60,3	
SBA-15	300 – 516	416,9	87,07	12,93

Conclusões

O método de síntese empregado para obtenção da zeólita beta foi eficiente, apresentando propriedades texturais e morfológicas que comprovam a qualidade de sua formação. O tratamento alcalino mostrou-se eficaz na geração de uma porosidade secundária na zeólita. O material mesoporoso sintetizado, do tipo SBA-15, foi obtido com êxito, exibindo um bom grau de ordenação hexagonal. A morfologia dos materiais micro-mesoporosos foi definida por uma estratégia híbrida, que combinou as características tanto do SBA-15 quanto da zeólita beta hierarquizada. Essa abordagem resultou em um material com alta área específica e uma distribuição de poros controlada. A combinação dos materiais demonstrou uma melhoria significativa em relação ao SBA-15 puro. Os materiais sintetizados por meio das metodologias empregadas demonstraram eficácia e apresentam características promissoras para o craqueamento termocatalítico do óleo de Moringa. As análises termogravimétricas destacaram o potencial desses materiais, reforçando a viabilidade das propostas para aplicações em processos termocatalíticos. Esses resultados indicaram que os materiais desenvolvidos são adequados para otimizar a produção de biocombustíveis, oferecendo uma alternativa sustentável e eficiente no processamento do óleo de Moringa.

Agradecimentos

CAPES, CNPq, LABPMOL, LACAM, CSAMA e UERN.

Referências

1. Tiwari, R; Mishra, R; Choubey, A; Kumar, S; Atabani, A. E; Badruddin, I. A; Khan, T. Y. Fuel, v. 332, p. 125978, 2023.
2. Vilela, R. Agência Brasil. 2024; Acesso: 14 de mar. de 2025.
3. Thomas, A.; Moinuddin, K.; Tretsiakova-Mcnally, S.; Joseph, P. Polymers, v. 12, n. 8, p. 1830, 2020.
4. Oliveira, D.S. Dissertação de Mestrado, Universidade do Estado do Rio Grande do norte, Mossoró, 2017.
5. Wei, H., Wang, Z., and Li, H. Green Chemistry 24(5), 1930-1950, 2022.
6. Aumond, T.; Esteves, M. Microporous and Mesoporous Materials, v. 331, 2022.
7. Kulawong, S.; Kidkhunthod, P.; Chanlek, N.; Wittayakun, J.; Osakoo, N.; Materials Chemistry and Physics, V. 329, 2025.
8. Gu, H.; Yang, G.; Wang, L.; Jiang, H. Molecular Catalysis, V. 570, 2025.
9. Liu, P.; Qiu, Z.; Shi, H.; Song, Y.; Zhao, D.; Wang P.; Wang T.; Bao X. Microporous and Mesoporous Materials, v. 356, 2023.
10. Arias, A.N.; Jerez, A.L.P.; Tesio, A.Y.; Serrano, M.R.; Bonini N.A.; Parentis M.L. Microporous and Mesoporous Materials, v. 382, 2025.
11. Yu, W.; Lan, H.; Wu, Z.; Pan, D.; Wu Y. Microporous and Mesoporous Materials, V. 382, 2025.
12. Ye Q.; Chen; Yanglin; Ye; Yifei; Xu; Ping; Sun. Jianmin. 2022.
13. Yao Y.; Wang J.; Deng Y.; Wang J. React Kinet Mech Catal, 2012.
14. Jiang, H.; Gu, H.; Wang, L.; Yang, G.; Molecular Catalysis, V. 557, 2024.
15. Sousa, R.P.; Moraes, N.I.; Marques M.J.L.; Ferreira, C.C.; Bernar, L.P.; Pereira, L.M.; De Castro. D.A.R.; Borges, L.E.P.; Machado, N.T. Brazilian Journal of Development, Curitiba, v.8, 2022.
16. Zhang, H.; Ju, S.; Jin, X.; Yuan, Y.; Wu, Y; Nadda, A. K.; Xia, C. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 169, p. 112915, 2022.
17. Walkowiak A.; Wolski L.; Ziolek M., Molecules. 2020 Dec 8;25(24):5781.
18. Zahra G.; Mohammad P.; Nastaran P.; Catalytic study, 2021.
19. Jiang H.; Gu, H.; Wang L.; Yang G. Molecular Catalysis, V. 557, 2024.
20. Derbe, T.; Temesgen, S.; Bitew, M. A. Advances in Materials Science and Engineering. Hindawi Limited, 2021.
21. D. Zhao; Q. Huo, J. Feng; J. Kim; Y. Han; G.D. Stucky, J. Am. Chem. Soc. 1998, 120, 6024–6036.
22. Barhoi, D., et al. (2020). Journal Of The American College Of Nutrition, 40, 70-85.