

PIRÓLISE TERMOCATALÍTICA DE ÓLEO DE GIRASSOL SOBRE CATALISADOR MESOPOROSO AL-MCM-41

Rafaela Oliveira Pinheiro Borges¹; Alyxandra Carla de Medeiros Batista²; Amanda Duarte Gondim³; Antonio Souza de Araujo⁴; Aruzza Mabel de Moraes Araújo⁵

¹ Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Instituto de química – rafa_borges18@hotmail.com

² Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Instituto de química – alyxandramedeiros@gmail.com

³ Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Instituto de química – amandagondim.ufrn@gmail.com

⁴ Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Instituto de química – araujo.ufrn@gmail.com

⁵ Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Instituto de química – aruzzamabel@gmail.com

RESUMO

A busca por novas fontes energéticas ecologicamente corretas, devido à preocupação com o meio ambiente, tem impulsionado pesquisas com essa finalidade. Diante disso, a presente pesquisa teve como objetivo a síntese e caracterização do catalisador mesoporoso Al-MCM-41, assim como, a pirólise térmica e termocatalítica do óleo de girassol com finalidade de obter bio óleo. O material Al-MCM-41 foi sintetizado por meio do processo de hidrotreamento de 48h e 72h e caracterizado por Difração de Raios-X (DRX), Termogravimetria (TG/DTG), Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), Espectroscopia de Energia Dispersiva (EDS) e Espectroscopia na região do Infravermelho por transformada de Fourier (FTIR). A avaliação dos produtos da pirólise térmica e termocatalítica do óleo de girassol foram realizadas em um pirolisador acoplado a um GC/MS. A pirólise térmica apresentou uma maior porcentagem de hidrocarbonetos na faixa acima de 16 carbonos, faixa esta inviável para a utilização como combustível. A pirólise termocatalítica mostrou uma maior seletividade à fração correspondente ao combustível diesel, devido ao sistema de poros do catalisador Al-MCM-41. Ao comparar as amostras calcinadas, observou-se que aquela contendo o material Al-MCM-41 72h mostrou uma menor porcentagem de compostos acima de 16 carbonos e uma maior seletividade à fração do diesel, por apresentar em sua estrutura uma maior quantidade de sítios ácidos de Brønsted.

Palavras-chaves: Al-MCM-41. Pirólise térmica. Pirólise termocatalítica. Óleo de girassol.

1. INTRODUÇÃO

A rápida elevação da demanda energética, devido ao crescimento populacional, associada à diminuição de reservas de combustíveis fósseis, juntamente com as mudanças climáticas são alguns argumentos que evidenciam a necessidade de se trocarem os hábitos de consumo das

populações altamente dependentes do petróleo. Com isso, pesquisas têm sido realizadas com o intuito de produzir e aperfeiçoar novas fontes energéticas, dando-se preferência a aquelas que também sejam ecologicamente corretas, como a conversão de biomassa, a energia eólica e a energia solar.

Em escala global, a biomassa representa a quarta fonte de energia mais

utilizada [DEMIRBAS, 2001] e a partir dela podem ser produzidos combustíveis sólidos, líquidos e gasosos. O craqueamento de óleos vegetais proporciona a obtenção biocombustíveis semelhantes aos combustíveis líquidos de origem mineral e foi inicialmente utilizado com este fim em meados do século XX, em decorrência da crise do petróleo e da segunda Guerra Mundial [LIMA, SOARES, RIBEIRO et al., 2004; RIBEIRO, 2006; QUIRINO, 2006; LI, SHEN, KABALU et al., 2009a].

Recentemente, as pesquisas estão direcionadas ao craqueamento termocatalítico, concentrando-se basicamente em três frentes: no desenvolvimento de catalisadores com atividade desoxigenante, além de seletivos para as frações líquidas, especialmente as frações semelhantes à gasolina e ao diesel mineral; na avaliação da potencialidade de diferentes óleos vegetais para este fim; e na determinação de condições ótimas para a obtenção das citadas frações líquidas.

Estudos recentes apontam que, materiais microporosos utilizados como catalisadores possuem uma maior seletividade à fração semelhante à gasolina, enquanto que materiais mesoporosos apresentam uma seletividade maior para a fração do diesel [KUBICKA e KALUZA, 2010].

Os materiais MCM-41 são conhecidos por sua estrutura mesoporosa altamente ordenada, que lhes confere elevada área

superficial específica [SALMAS, STATHOPOULOS, POMONIS et al., 2001]. Essa propriedade, aliada à alta estabilidade hidrotérmica, torna esses sólidos suportes e catalisadores potenciais para várias aplicações [DAS, TSAI e CHENG, 1997]. É comum a incorporação de alumínio à estrutura da MCM-41 com o objetivo de favorecer a acidez de Brønsted [REDDY e SONG, 1996; MOKAYA e JONES, 1997].

O óleo de girassol, biomassa escolhida para esta pesquisa, é a quarta maior produção de oleaginosa no mundo e possui sementes que podem gerar de 35-50% de óleo e render 800 litros de óleo por hectare. Apresenta um grande potencial para obtenção de uma fração biocombustível, com cadeias carbônicas semelhante ao diesel de petróleo, por meio de processos como craqueamento e transesterificação.

Portanto, este trabalho tem como objetivo a síntese do Al-MCM-41 e sua aplicação na pirólise do óleo de girassol para obtenção de bio óleo que possa substituir a gasolina ou diesel.

2. METODOLOGIA

2.1 Síntese do material Al-MCM-41

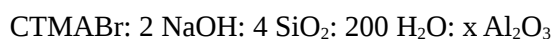
Para a síntese do catalisador Al-MCM-41, foram utilizados os seguintes reagentes:

- Sílica gel (SiO_2), como fonte de silício;
- Alumina (Al_2O_3), como fonte de alumínio;



- Brometo de cetiltrimetilamônio (CTMABr), como agente direcionador;
- Hidróxido de sódio (NaOH), como fonte de sódio;
- Água destilada (H₂O), como solvente;
- Solução 30 % de ácido acético (CH₃COOH), para correção de pH.

Foi necessária a utilização dos reagentes citados anteriormente, adicionados em proporções estequiométricas e ordens pré-definidas, com o intuito de se obter um gel com composição molecular definida estequiometricamente a partir da equação a baixo:



No qual, o valor de “x” foi ajustado para que a razão molar Si/Al fosse igual a 50. Visando a síntese de 200 g do gel, foi calculado estequiometricamente as massas dos reagentes, em que se obteve as seguintes massas: 17,13 g CTMABr; 11,30 g SiO₂; 3,76 g NaOH; 168,24 mL H₂O; 0,13 g de Al₂O₃.

O procedimento geral de síntese consistiu em preparar duas soluções. A solução 1 foi preparada com a adição da ½ de quantidade de água destilada e juntamente com essa quantidade de água foi adicionado o agente mineralizante (NaOH), a fonte de silício (sílica gel) e a fonte de alumínio (alumina). Esse processo foi realizado em béquer de 250 mL e a solução agitada à 60-

70°C por 2 h. Enquanto a solução 1 estava sendo agitada, a solução 2 era preparada partindo da massa de CTMABr e a outra ½ da quantidade de água destilada e colocada sob agitação na temperatura ambiente por 30 min até ficar cristalina. Logo após, a solução 2 foi adicionada sobre a solução 1 e a mistura permaneceu em agitação por mais 30 min em temperatura ambiente [TEIXEIRA, 2015].

Posteriormente, a solução total foi dividida em duas frações, onde cada fração foi posta em autoclave de teflon e acondicionadas em uma placa de aquecimento apropriada previamente aquecida à 100°C por 48 h uma fração e 72 h a outra fração. Foram feitas correções de pH diariamente na faixa de 9-10 com uma solução de ácido acético a 30 %.

2.1.1 Lavagem, secagem, calcinação

Após a síntese hidrotérmica, foram realizadas a filtração e a lavagem (com 200 mL de água destilada) do material obtido, para remoção de possíveis íons residuais de bromo e sódio. Em seguida, o material foi colocado para secar em uma estufa a 100 °C durante 4 horas.

Para a remoção do direcionador (CTMA⁺) dos poros da peneira molecular foi necessária a técnica de calcinação. Conforme o procedimento, aqueceu-se a amostra até 450 °C e o material permaneceu por 1 hora sob nitrogênio no mesmo fluxo de 100 mL.min⁻¹.

Logo após, o gás foi trocado para ar sintético, permanecendo a amostra por mais 1 hora a 450 °C com fluxo de 100 mL.min⁻¹, obtendo-se então, o Al-MCM-41 livre de direcionador orgânico [ARAÚJO, SCOFIELD, PASTURA et al., 2006]. Os materiais obtidos foram denominados Al-MCM-41 48h e Al-MCM-41 72h.

2.2 Caracterização do Al-MCM-41

Os materiais Al-MCM-41 48h e Al-MCM-41 72h foram caracterizados por Difração de raios-X (**Bruker**, modelo D2 Phaser), Análise térmica (**Mettler Toledo**, modelo 851), Espectroscopia de absorção na região do infravermelho (**Shimadzu**, modelo Inffinity-1), Microscopia eletrônica de varredura (**Hitachi**, modelo TM-3000) e Espectroscopia de energia dispersiva (**Oxford**, modelo SWIFTED 3000).

2.3 Pirólise térmica e termocatalítica de óleo de girassol

A pirólise térmica e termocatalítica do óleo de girassol foi efetuada em um pirolisador SHIMADZU, modelo PY-2020iS *Control da Frontier* LAB, acoplado a um GC/MS modelo QP 2010.

As amostras foram acondicionadas em um cadinho de aço inoxidável (Eco-cup SF) com volume de 50 µL. As análises foram realizadas sob atmosfera de gás hélio com

vazão de 3,0 mL.min⁻¹, temperatura do pirolisador a 450 °C, razão de split de 200:1 e temperatura da interface pirolisador-GC de 250 °C (temperatura do injetor). Os produtos da pirólise foram separados em uma coluna cromatográfica capilar UA5-30M-0,25F (5% difenil, 95% dimetilpolisiloxano) com 30 m de comprimento, diâmetro de 0,25 mm e espessura da fase estacionária de 0,25 µm. A pressão da coluna foi mantida em 116,7 kPa, com fluxo de 2,20 mL/min e velocidade linear de 53,2 cm/s. O forno cromatográfico foi programado da seguinte forma: temperatura de 30 °C por 5 min, seguida de aquecimento até 320 °C com razão de aquecimento de 10 °C.min⁻¹. O tempo de programação do forno foi de 54 min. A temperatura de interface GC/MS foi mantida em 250 °C. A faixa de detecção no espectrômetro de massa foi mantida entre 20 a 600 m.z⁻¹; o intervalo de varredura foi de 0,50 s, e a velocidade de varredura de 1250 uma.s⁻¹ [ARAÚJO, 2015].

Os compostos presentes no óleo de girassol foram identificados através do banco de dados da biblioteca NIST (*National Institute of Standards of Technology*) do software acoplado ao sistema de análise GC/MS.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Caracterização do catalisador

3.1.1 Difração de raios-X

Os difratogramas de raios-X das amostras Al-MCM-41 48h e Al-MCM-41 72h são mostradas nas Figuras 1 e 2, respectivamente.

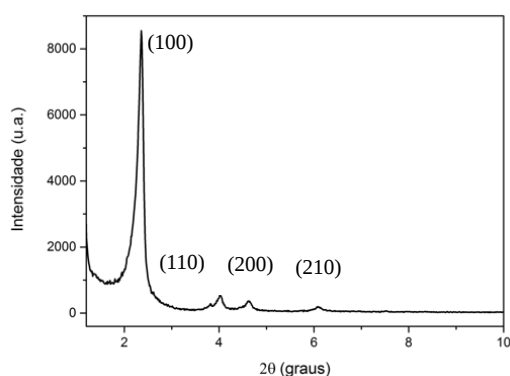


Figura 1 – Difratograma de raios-X do material Al-MCM-41 48h

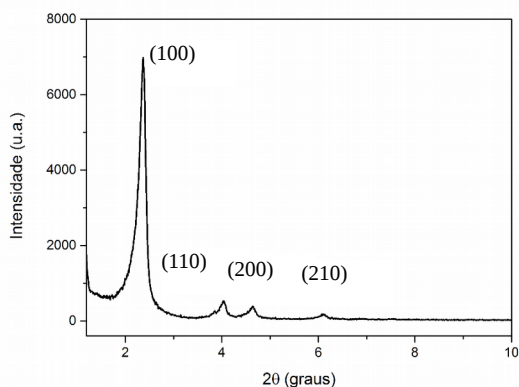


Figura 2 – Difratograma de raios-X do material Al-MCM-41 72h

Como visto nos difratogramas de raios-X mostrados, houve a formação da estrutura hexagonal unidimensional bem estruturada proposta por Beck, Vartuli, Roth et. al., [1991] em ambas as amostras, pois se observou a existência de 4 picos característicos dos

materiais da família MCM-41, que são referentes aos planos com índices de (100), (110), (200) e (210).

Dados da literatura [DAS, TSAI e CHENG, 1999] afirmam que, pode-se melhorar consideravelmente a estabilidade térmica e hidrotérmica do MCM-41 com o uso de cátions de tetraalquilamônio no gel de síntese. Nesse projeto, foi utilizado o CTMABr como direcionador.

Comparando-se o difratograma de raios-X da amostra de material Al-MCM-41 48h com o difratograma de raios-X da amostra Al-MCM-41 72h, percebe-se que houve uma melhor organização da estrutura formada para a amostra Al-MCM-41 48h, pois esta apresentou os picos característicos com maior intensidade.

3.1.2 Análise térmica

Na Figura 3, são ilustradas as curvas termogravimétricas (DT/DTG) do material Al-MCM-41 72h não calcinado.

A primeira etapa diz respeito a dessorção de água fisicamente adsorvida, a segunda etapa remete-se a decomposição do material orgânico que estão adsorvidos nos poros do catalisador e a terceira etapa é correspondente à condensação dos grupos silanóis.



II CONEPETRO

II CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA DE
PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS
IV WORKSHOP DE ENGENHARIA DE PETRÓLEO

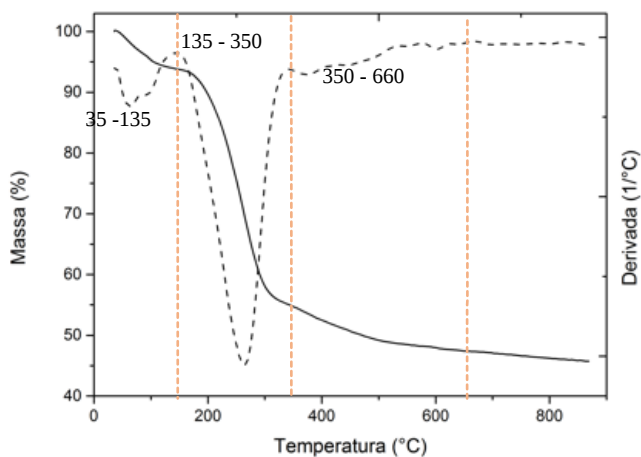


Figura 3 – Curvas de TG/DTG da amostra Al-MCM-41
72h – Não calcinada

Ao analisar os resultados mostrados, verificou-se que a primeira perda de massa relativa, referente à primeira faixa de temperatura da amostra não calcinada, está provavelmente relacionada a umidade em que a amostra foi exposta anteriormente às análises de TG/DTG. Pois, essa água fisicamente adsorvida é devida a presença de sílica na composição do material sintetizado, tendo em vista que este composto é enormemente suscetível à umidade.

A segunda perda de massa relativa, referente à segunda faixa de temperatura, está relacionada com a retirada dos íons direcionadores (CTMA^+), que estão localizados nas paredes externas da sílica ou que estão fracamente ligados à superfície da estrutura MCM-41.

A variação que ocorre na terceira perda de massa, referente a terceira faixa de temperatura, pode ser atribuída à impregnação

do alumínio na estrutura MCM-41, que pode provavelmente intervir na condensação dos grupos silanóis (Si-O-Si) e (Al-O-Si), tendo em vista que as ligações entre silício, alumínio e oxigênio ocorrem com interações distintas.

Na Figura 4, são ilustradas as curvas termogravimétricas da amostra Al-MCM-41 72h calcinadas.

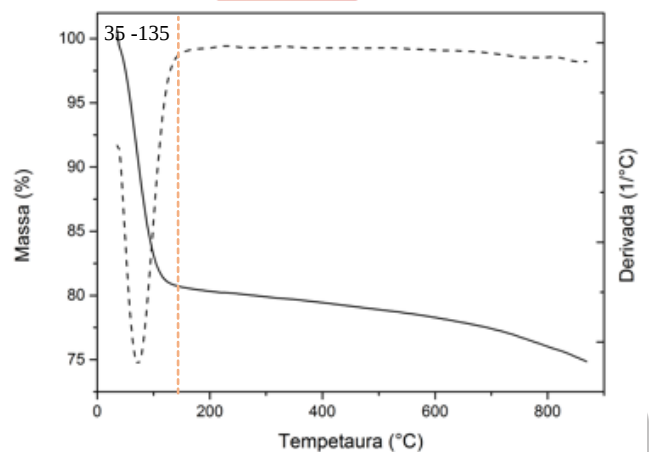


Figura 4 – Curvas de TG/DTG da amostra Al-MCM-41
72h – Calcinada

Conforme as curvas de TG/DTG mostradas na Figura 4, a amostra calcinada apresentou apenas uma etapa de perda de massa, referente à água absorvida pelo material mesoporoso antes da análise termogravimétrica, tendo em vista a presença de sílica em sua estrutura. Como pôde-se observar, o material mesoporoso calcinado não apresentou direcionador orgânico em sua composição [SOUZA, SILVA, AQUINO et al., 2005; AQUINO, 2001].

www.conepetro.com.br

(83) 3322.3222

contato@conepetro.com.br

3.1.3 Espectroscopia de absorção na região do infravermelho

Na Figura 5, são mostrados os espectros de absorção na região do infravermelho obtidos para a amostra Al-MCM-41 72h, numa faixa de comprimento de onda entre 4000 e 400 cm^{-1} .

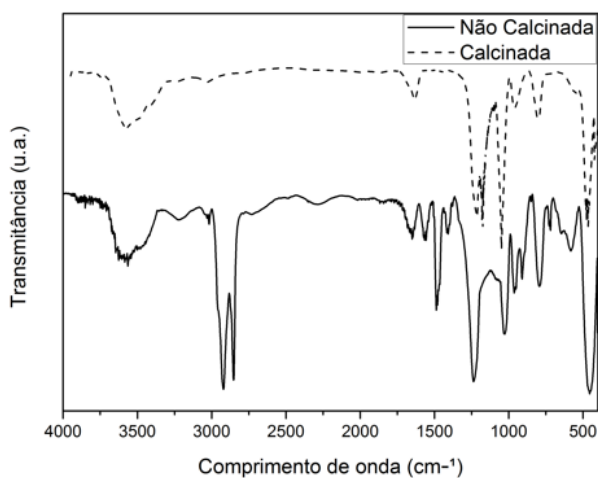


Figura 5 - Espectros de infravermelho da amostra Al-MCM-41 72h Não calcinada e Calcinada

No espectro da amostra calcinada, a ausência da banda referente ao grupo funcional contido na estrutura do direcionador (CTMA^+), anteriormente presente no espectro da amostra não calcinada, evidencia que o material foi removido dos poros do catalisador mesoporoso.

O espectro da amostra Al-MCM-41 72h calcinada não evidenciou bandas de adsorção na região entre 2800 – 3000 cm^{-1} , contidas no espectro da amostra não calcinada, que são atribuídos aos estiramentos entre C-H dos

CH_2 e dos CH_3 relacionadas às moléculas do surfactante (CTMA^+), podendo-se dizer que o direcionador, após a calcinação, foi removido dos poros. Os dados da Tabela 1 indicam as frequências vibracionais e suas respectivas atribuições.

Tabela 1: Dados relativos às frequências vibracionais observadas e suas respectivas atribuições

Número de onda (cm^{-1})	Atribuições
3690 – 3200	Grupos hidroxilas internos e externos na estrutura mesoporosa
2800 – 3000	Estiramentos entre o C-H dos grupos CH_2 e CH_3 do CTMA^+
1750 – 1550	Água adsorvida na superfície do material
1534 – 1470	Deformações do íon CTMA^+
1460 – 1445	Deformação assimétrica da ligação $\text{CH}_3 - \text{N}^+$
1256 – 1000	Estiramento Si-O assimétrico
850 – 760	Estiramentos simétricos das ligações T-O (T = Si, Al)
515 – 410	Estiramento assimétricos da ligação T-O (T = Si, Al)

3.1.4 Microscopia eletrônica de varredura

Na Figura 6 está ilustrada a micrografia da amostra Al-MCM-41 48h.

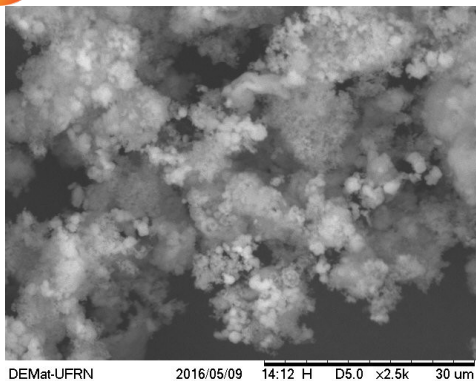


Figura 6 – Micrografia do catalisador Al-MCM-41 48h

Analisando a micrografia, notou-se que a mesma é formada pela aglomeração de partículas geralmente arredondadas, indicando tratar-se de um material amorfo.

3.1.5 Espectroscopia de energia dispersiva

A espectroscopia de energia dispersiva nos forneceu os seguintes dados, conforme mostrados na Tabela 2.

Tabela 2 – Composição elementar para os materiais Al-MCM-41 48h e 72h calcinadas

Elemento	Massa % (Al-MCM-41 48h)	Massa % (Al-MCM-41 72h)
Oxigênio	59.2	58.3
Silício	34.9	33.7
Alumínio	4.5	5.3
Sódio	1.4	2.7
Total	100	100

Esses dados mostraram a composição química semi-quantitativa das amostras mesoporosas, com uma boa porcentagem em massa de alumínio, indicando que houve,

possivelmente, a incorporação do elemento na estrutura do material mesoporoso MCM-41. É importante ressaltar que, a presença de alumínio na estrutura da MCM-41 favorece a acidez de Brønsted, melhorando a atividade catalítica do material. A técnica de EDS também revelou que a calcinação foi efetiva, pois os elementos referentes ao surfactante não estão presentes nas amostras.

3.2 Pirólise térmica e termocatalítica do óleo de girassol

Na Figura 7, são ilustrados os pirogramas dos produtos obtidos nas pirólises térmica e termocatalítica do óleo de girassol sobre os catalisadores Al-MCM-41 48h e Al-MCM-41 72h.

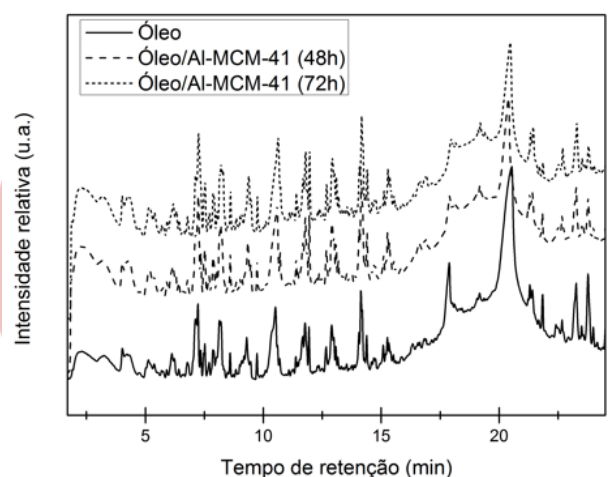


Figura 7 – Pirogramas dos produtos obtidos na pirólise térmica e termocatalítica do óleo de girassol

A partir dos pirogramas obtidos nas pirólises térmica e termocatalítica, pôde-se

observar que, houve uma maior intensidade dos picos referentes aos produtos obtidos em maiores tempos de retenção (maior massa molar) no pirograma oriundo da pirólise térmica, comparada aos picos obtidos nesses mesmos tempos de retenção nos pirogramas provenientes da pirólise termocatalítica. Com isso, é de se esperar que tenha ocorrido uma maior formação de produtos em faixas mais pesadas na pirólise térmica, o que não é o objetivo deste trabalho, tendo em vista que a finalidade desta pesquisa é a formação de hidrocarbonetos na faixa do diesel e gasolina.

A Tabela 3 ilustra a porcentagem de hidrocarbonetos e oxigenados presentes nos produtos obtidos.

Tabela 3 – Porcentagens dos produtos obtidos nas pirólises térmica e termocatalítica

Amostras	Hidrocarbonetos (%)	Oxigenados (%)
Óleo	31,1	68,9
Óleo/Al-MCM-41 48h	51,5	48,5
Óleo/Al-MCM-41 72h	53,6	46,4

Como pôde-se visualizar na Tabela 3, a atividade do catalisador foi comprovada, pois houve uma diminuição considerável na porcentagem dos produtos oxigenados obtidos na pirólise termocatalítica comparada à pirólise térmica, em que esta apresentou um teor de 68,89% de oxigenados em sua composição.

A pirólise catalisada pela Al-MCM-41 72h apresentou uma resposta um pouco melhor à redução de oxigenados ao equiparar-se com a pirólise catalisada pela Al-MCM-41, o que pode ser explicado pela maior presença de sítios ácidos de Brønsted nela encontrados. Na Tabela 4 estão representadas as porcentagens das frações de hidrocarbonetos encontrados nos produtos obtidos.

Tabela 4 - Porcentagens das frações de hidrocarbonetos encontrados nos produtos obtidos

Amostras	Frações (%)			
	C ₂ -C ₄	C ₅ -C ₁₀	C ₁₁ -C ₁₆	> C ₁₆
Óleo	0	0	39,8	60,2
Óleo/Al-MCM-41 48h	0	31,3	46,5	22,2
Óleo/Al-MCM-41 72h	0	30,0	60,0	10,0

em que: C₂-C₄: Faixa de gás combustível; C₅-C₁₀: Faixa da gasolina; C₁₁-C₁₆: Faixa do diesel; > C₁₆: Faixa acima de 16 carbonos.

Como de se esperar, a pirólise térmica comparada à pirólise termocatalítica, conteve uma presença superior de cadeias mais pesadas, possuindo uma maior porcentagem de hidrocarbonetos na faixa acima de 16 carbonos, faixa esta que não é viável para sua utilização como combustível. Nas amostras que continham catalisador, observou-se a presença satisfatória de hidrocarbonetos na faixa da gasolina e principalmente, na faixa do diesel, os quais correspondem às frações

de maior valor agregado para a indústria petroquímica.

Estudos recentes mostram que há uma maior seletividade à fração semelhante ao diesel quando se emprega materiais mesoporosos como catalisadores, já quando se utiliza materiais microporosos a seletividade é maior para a faixa da gasolina [KUBICKA e KALUZA, 2010]. Isso explica o fato dos catalisadores empregados neste trabalho serem mais seletivos à fração de hidrocarbonetos na faixa do diesel. Com isso, é possível afirmar que o diâmetro de poro do catalisador empregado na pirólise termocatalítica tem uma alta influência na formação dos produtos da mesma.

Ao comparar os produtos obtidos da pirólise termocatalítica, observa-se uma menor formação de compostos na faixa acima de 16 carbonos e uma maior seletividade à fração do diesel por parte da amostra contendo o material mesoporoso Al-MCM-41 72h, o que pode ser explicado por sua maior porcentagem em massa de alumínio (conforme dados obtidos pela Espectroscopia de Energia Dispersiva), o que permite uma maior quantidade de sítios ácidos em sua estrutura, que atua melhorando sua atividade catalítica.

Como o intuito desta pesquisa era a obtenção de biocombustíveis com características semelhantes aos combustíveis

oriundos do petróleo, observou-se que as amostras termocatalíticas Al-MCM-41 48h e Al-MCM-41 72h apresentaram resultados mais próximos à faixa do diesel, indicando que o diâmetro de poro e os sítios ácidos encontrados nesses catalisadores foram eficientes para o craqueamento do óleo.

4. CONCLUSÕES

Levando-se em consideração o método hidrotérmico, foram sintetizados os catalisadores mesoporosos Al-MCM-41 48h e Al-MCM-41 72h, com razão silício/alumínio igual a 50, com posterior caracterização dos materiais para a análise de suas propriedades. A difração de raios-X indicou os planos cristalográficos de (100), (110), (200) e (210) característicos desse tipo de material, indicando a formação da estrutura hexagonal unidimensional, a espectroscopia de absorção no infravermelho e análise térmica indicaram a remoção do direcionador após a calcinação e a espectroscopia de energia dispersiva indicou a presença do alumínio na estrutura mesoporosa.

A pirólise térmica, comparada à pirólise termocatalítica, não apresentou a formação de hidrocarbonetos na faixa da gasolina, contendo uma maior porcentagem de hidrocarbonetos de cadeias pesadas. Na pirólise termocatalítica, o material

mesoporoso Al-MCM-41 mostrou ser mais eficiente para a obtenção de hidrocarbonetos na fração (C₁₁-C₁₆), correspondente à faixa do diesel, principalmente para a amostra contendo o catalisador Al-MCM-41 72h, a qual se observou uma maior incorporação de alumínio na estrutura, o que favoreceu a formação dos sítios ácidos de Brönsted.

Portanto, a utilização do catalisador mesoporoso Al-MCM-41 neste trabalho, mostrou-se satisfatório para a obtenção de hidrocarbonetos na faixa do combustível diesel na pirólise termocatalítica do óleo de girassol.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AQUINO, J. M. F. B.; SOUZA, C. D. R.; ARAÚJO, A. S. **Synthesis and characterization of sulfate-supported MCM-41 material.** International Journal of Inorganic Materials, v. 3, p. 467-470, 2001.

ARAÚJO, A. M. M. **Conversão térmica e termocatalítica do óleo de girassol utilizando materiais micro e mesoporosos para obtenção de biocombustíveis.** 2015. 104f. Tese (Doutorado em Engenharia do Petróleo) -. Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia do Petróleo, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN, Brasil, 2015.

ARAÚJO, L. R. R. de; SCOFIELD, C. F.; PASTURA, N. M. R.; GONZALEZ, W. de A. **H₃PO₄/Al₂O₃ catalysts: characterization and catalytic evaluation of oleic acid conversion to biofuels and biolubricant.** Materials research, vol.9, n.2, p.181-184, 2006.

BECK, J. S.; VARTULI, J. C.; ROTH, W. J.; LEONOWICZ, M. E.; KRESGE, C. T.; SCHMITT, K. D.; CHU, C. T. W.; OLSON, D. H.; SHEPPARD, E. W.; MCCULLEN, S. B.; HIGGINS, Y. B.; SCHELENKER, I. L., **A new family of mesoporous molecular-sieves prepared with liquid-crystal templates.** Journal American Chemistry Society, v. 114, p.10843, 1992.

DAS, D.; TSAI, C. CHENG, S. **Improvement of hydrothermal stability of MCM-41 mesoporous molecular sieve.** Chemical Communications, p. 473-474, 1999.

DEMIRBAS, A. **Biomass Resource Facilities and Biomass Conversion Processing for Fuels and Chemicals.** Energy Conversion Management, Vol.42, p.1357-1378, 2001.

KUBICKA, D.; KALUZA, L.
Deoxygenation of vegetable oils over sulfided Ni, Mo and NiMo catalysts.

Applied Catalysis A: General, v. 372, p. 199-208, 2010.

LI, H.; SHEN, B.; KABALU, J. C.; NCHARE, M. **Enhancing the production of biofuels from cottonseed oil by fixed-fluidized bed catalytic cracking.** Renewable Energy, v. 34, p. 1033-1039, 2009b.

LIMA, D. G.; SOARES, C. D.; RIBEIRO, E. B.; CARVALHO, D. A.; CARDOSO, E. C. V.; RASSI, F. C.; MUNDIM, K. C.; SUAREZ, P. A. Z. **Diesel-like fuel obtained by pyrolysis of vegetable oils.** Journal of Analytical Applied Pyrolysis, n.71, p. 987-996, 2004.

MOKAYA, R.; JONES, W. **Physicochemical characterisation and catalytic activity of primary amine templated aluminosilicate mesoporous catalysts.** Journals Catalysis, v.172, p.211, 1997.

QUIRINO, R. L., **Estudo do efeito da presença de alumina dopada com TiO₂ e ZrO₂ no craqueamento do óleo de soja.** 2006. 67f. Dissertação (Mestrado em Química) – Pós-Graduação em Química, Universidade de Brasília, Brasília.

RIBEIRO, E. B. **Estudo da desoxigenação do produto de craqueamento catalítico de óleo de mamona (*Ricinus communis*) na presença de diversos catalisadores.** 2006. 58f. Dissertação (Mestrado em Química). Instituto de Química, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2006.

REDDY, K. M.; SONG, C. **Synthesis of Mesoporous Molecular Sieves: Influence of Aluminum Source on Al Incorporation in MCM-41.** Catalysis letter, v.36, p.103-109, 1996.

SALMAS, C. E.; STATHOPOULOS, V. N.; POMONIS, P. J.; RAIALA, H.; ROSENHOLM, J. B.; ANDROUTSOPOULOS, G. P. **An investigation of the physical structure of MCM-41 novel mesoporous materials using a corrugated pore structure model.** Appl. Catal. A, v. 216, p. 23-39, 2001.

SOUZA, M. J. B.; SILVA, A. O. S.; AQUINO, J. M. F. B.; JUNIOR, V. J. F.; ARAUJO, A. S. **Kinetic study of template removal of MCM-41 nanostructured material.** Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, v. 75, p. 693-698, 2005.

TEIXEIRA, A. T. **Síntese e caracterização de materiais nanoporosos utilizados como**



II CONEPETRO

II CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA DE
PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS
IV WORKSHOP DE ENGENHARIA DE PETRÓLEO

**adsorventes para remoção de
contaminantes na indústria do petróleo.**

2015. 73f. Monografia (Curso de bacharelado
em química), Universidade Estadual do
Sudoeste da Bahia, Jequié, BA, Brasil, 2015.



[www.conepetro.com](http://www.conepetro.com.br)
.br

(83) 3322.3222
contato@conepetro.com.br