

CONVERSÃO DO ÓLEO DE COCO EM COMBUSTÍVEIS VERDES UTILIZANDO UM CATALISADOR DE CARBETOS DE NÍQUEL E MOLIBDÊNIO SUPOSTADOS EM γ -ALUMINA

CONVERSION OF COCONUT OIL INTO GREEN FUELS USING A NICKEL-MOLYBDENUM CARBIDE CATALYST SUPPORTED ON γ -ALUMINA

CONVERSIÓN DE ACEITE DE COCO EN COMBUSTIBLES ECOLÓGICOS MEDIANTE UN CATALIZADOR DE CARBURO DE NÍQUEL-MOLIBDENO SOPORTADO SOBRE γ -ALÚMINA



10.56238/IXSevenInternationalMultidisciplinaryCongress-034

Henrique Adolfo Vargas

Bacharel em Engenharia Química

Instituição: Universidade Estadual de Maringá

E-mail: pg407160@uem.br

Orcid: <https://orcid.org/0009-0001-6793-9560>

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/6718292093616174>

Eduarda Aouada Biágio

Mestra em Engenharia Química

Instituição: Universidade Estadual de Maringá

E-mail: pg56334@uem.br

Orcid: <https://orcid.org/0009-0006-3599-9987>

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/0270586827267286>

Mara Heloisa Neves Olsen Scaliante

Doutora em Engenharia Química

Instituição: Universidade Estadual de Maringá

E-mail: mhnoscaliante2@uem.br

Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-9090-9274>

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/1552509852504841>

Luiz Mario de Matos Jorge

Doutor em Engenharia Química

Instituição: Universidade Estadual de Maringá

E-mail: lmmjorge@uem.br

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-1869-1957>

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/4636207655078294>

RESUMO

A redução gradual das reservas de combustíveis fósseis, aliada à crescente demanda por fontes de energia renováveis, tem direcionado a atenção global para os óleos vegetais como matérias-primas

destinadas à produção de insumos energéticos alternativos e sustentáveis, principalmente na produção dos chamados combustíveis verdes. Por meio de reações de hidrotreatamento, tais como hidrodesoxigenação (HDO), descarboxilação (DCO₂) e descarbonilação (DCO), esses óleos podem ser convertidos em hidrocarbonetos com diferentes comprimentos de cadeia carbônica. A partir desse cenário, o óleo de Coco foi submetido a ensaios reacionais conduzidos a 360°C, 380 °C e 400 °C na presença de um catalisador de carbetos de níquel e molibdênio suportados em γ -alumina (NiMo₂C/ γ -Al₂O₃). O material sintetizado foi caracterizado pelos métodos analíticos de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), Microscopia Eletrônica de Transmissão (MET), na qual foi possível determinar características pertinentes à superfície do catalisador, à identidade de seus componentes e à sua composição. Os hidrocarbonetos obtidos a partir dos ensaios reacionais se enquadram majoritariamente na faixa dos empregados tradicionalmente no querosene de aviação (C9-C16) e no diesel (C10-C20).

Palavras-chave: HVO (Hydrotreated Vegetable Oil). SAF (Sustainable Aviation Fuels). Catalisador Carbetado. Hidrotreatamento. Craqueamento.

ABSTRACT

The gradual depletion of fossil fuel reserves, coupled with the growing demand for renewable energy sources, has directed global attention to vegetable oils as raw materials for the production of alternative and sustainable energy inputs, mainly in the production of so-called green fuels. Through hydrotreatment reactions, such as hydrodeoxygenation (HDO), decarboxylation (DCO₂), and decarbonylation (DCO), these oils can be converted into hydrocarbons with different carbon chain lengths. Based on this scenario, coconut oil was subjected to reaction tests conducted at 360°C, 380°C, and 400°C in the presence of a catalyst of nickel and molybdenum carbides supported on γ -alumina (NiMo₂C/ γ -Al₂O₃). The synthesized material was characterized by analytical methods such as Scanning Electron Microscopy (SEM) and Transmission Electron Microscopy (TEM), which allowed the determination of characteristics pertinent to the catalyst surface, the identity of its components, and its composition. The hydrocarbons obtained from the reaction tests fall mainly within the range of those traditionally used in aviation kerosene (C9-C16) and diesel (C10-C20).

Keywords: HVO (Hydrotreated Vegetable Oil). SAF (Sustainable Aviation Fuels). Carbide Catalyst. Hydrotreatment. Cracking.

RESUMEN

El agotamiento gradual de las reservas de combustibles fósiles, junto con la creciente demanda de fuentes de energía renovables, ha centrado la atención mundial en los aceites vegetales como materias primas para la producción de insumos energéticos alternativos y sostenibles, principalmente en la producción de los denominados combustibles verdes. Mediante reacciones de hidrotreatamiento, como la hidrodesoxigenación (HDO), la descarboxilación (DCO₂) y la descarbonilación (DCO), estos aceites pueden convertirse en hidrocarburos con diferentes longitudes de cadena de carbono. En este contexto, se sometió aceite de coco a pruebas de reacción realizadas a 360 °C, 380 °C y 400 °C en presencia de un catalizador de carburos de níquel y molibdeno soportados sobre γ -alúmina (NiMo₂C/ γ -Al₂O₃). El material sintetizado se caracterizó mediante métodos analíticos como la microscopía electrónica de barrido (SEM) y la microscopía electrónica de transmisión (TEM), que permitieron determinar las características pertinentes a la superficie del catalizador, la identidad de sus componentes y su composición. Los hidrocarburos obtenidos en las pruebas de reacción se encuentran principalmente dentro del rango de los utilizados tradicionalmente en el queroseno de aviación (C9-C16) y el diésel (C10-C20).



Palabras clave: HVO (Aceite Vegetal Hidrotratado). SAF (Combustibles de Aviación Sostenibles). Catalizador de Carburo. Hidrotratamiento. Craqueo.

1 INTRODUÇÃO

O consumo energético global, impulsionado pelo acelerado avanço tecnológico da sociedade, permanece fortemente dependente de recursos fósseis não renováveis, os quais constituem a principal matéria-prima para a produção de diversos insumos químicos e combustíveis utilizados na matriz energética contemporânea (Chen *et al.*, 2022). O crescimento contínuo da demanda por essas reservas, associado à disponibilidade limitada, pode resultar no esgotamento dos recursos não renováveis existentes até aproximadamente o ano de 2050 (Jrai *et al.*, 2024).

A liberação de gases de efeito estufa, resultante da queima desses combustíveis, contribui para o aquecimento global. Simultaneamente, o aumento da população global eleva a demanda por energia, que pode dobrar até 2030, agravando ainda mais essas emissões. Ademais, o IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change* – Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas) indica que o aquecimento global provavelmente se tornará muito mais grave nas próximas décadas (Lucantonio *et al.*, 2023).

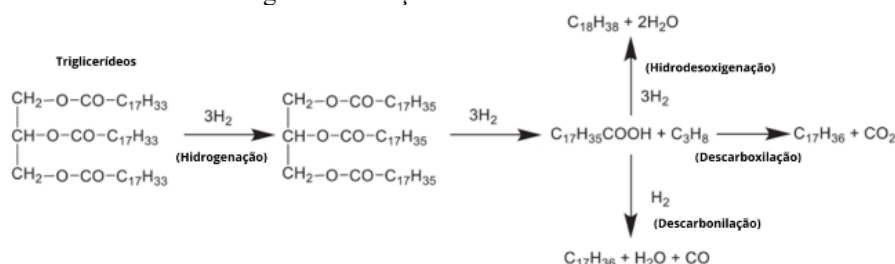
A incorporação de fontes renováveis na matriz energética tem sido favorecida por alternativas sustentáveis, como o etanol derivado de matérias-primas como cana-de-açúcar, milho e outras culturas, em substituição da gasolina, além do uso de biodiesel misturado ao diesel fóssil. Contudo, essas alternativas ainda possuem restrições técnicas, principalmente devido às diferenças estruturais em relação aos combustíveis fósseis tradicionais que elas substituem. Os obstáculos são mais claros no caso do biodiesel. Os ésteres de ácidos graxos contêm oxigênio em sua estrutura, o que os torna mais propensos à oxidação e degradação com o passar do tempo. Como resultado, podem se formar gomas, gerando entupimento de filtros e a estabilidade durante o armazenamento pode ser reduzida (Adzahar *et al.*, 2025).

O processo HEFA (Hydroprocessed Esters and Fatty Acids – Ésteres e Ácidos Graxos Hidroprocessados) permite a fabricação de combustíveis verdes chamados HVO (Hydrotreated Vegetable Oil – Óleo Vegetal Hidrotratado), que possuem alta similaridade estrutural com os hidrocarbonetos encontrados nos combustíveis fósseis. Esse procedimento se fundamenta na transformação dos triglicerídeos provenientes de gorduras vegetais e animais (Slezáčková *et al.*, 2023), transformando essas substâncias em combustíveis comerciais por meio do processo de hidrotreatamento. As principais rotas reacionais envolvidas são a hidrodesoxigenação (HDO), a descarboxilação (DCO_2) e a descarbonilação (DCO).

Na reação de hidrodesoxigenação (HDO), a cadeia carbônica do ácido graxo é preservada, de modo que um ácido carboxílico com “N” átomos de carbono origina um hidrocarboneto com o mesmo número de carbonos. Em contraste, nas reações de descarbonilação (DCO) e descarboxilação (DCO_2), ocorre a remoção de um átomo de carbono da cadeia, juntamente com um átomo de oxigênio,

resultando na formação de um hidrocarboneto com “N-1” átomos de carbono a partir do ácido graxo original.

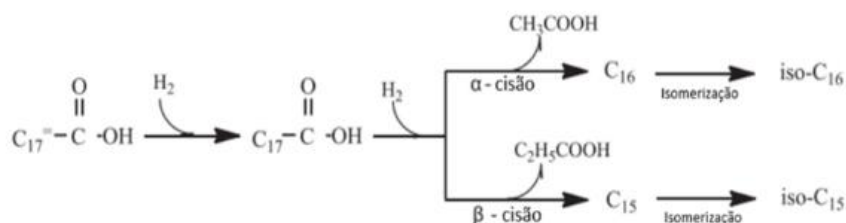
Figura 1 – Reações do hidrotratamento.



Fonte: Adaptado de Chia *et al.* (2022)

Além das reações principais de hidrotratamento, ocorrem também reações paralelas, como as cisões α/β e os processos de craqueamento térmico e catalítico. Essas transformações levam à formação de hidrocarbonetos com cadeias carbônicas menores em relação ao ácido graxo de origem (Hossain *et al.*, 2018).

Figura 2 – Cisões α/β .



Fonte: Adaptado de Yang *et al.* (2013)

A natureza dessas reações está intimamente ligada ao tipo de catalisador utilizado e às condições de operação do sistema. No hidrotratamento, diversos fatores afetam significativamente o desempenho do processo e a distribuição dos produtos formados, como a fase ativa do catalisador, o suporte utilizado, a temperatura de reação, o tempo de residência, a razão molar entre hidrogênio e ácido graxo e a pressão parcial de hidrogênio (Chia *et al.*, 2022).

Os carbetos metálicos vêm sendo usados com frequência na conversão de biomassa, graças à sua alta atividade catalítica na quebra das ligações C-C e C-O, semelhante à registrada em catalisadores baseados em metais nobres. A carbetação, que é o processo de síntese de carbetos de metais de transição, exige fontes apropriadas de carbono precursor. Essas fontes podem ser sólidas, como carvão ativado e nanotubos de carbono, ou gasosas, como CH_4 e C_2H_6 . Os compostos Mo_2C e W_2C se sobressaem entre as várias fases carbetadas devido ao seu uso frequente em reações de desoxigenação (Zhou *et al.*, 2023).

2 OBJETIVO

Tendo em vista a problemática apresentada, o presente trabalho objetiva o desenvolvimento de um catalisador de carbetos de níquel e molibdênio, impregnados em uma matriz de γ -alumina, como alternativa aos catalisadores confeccionados com metais nobres e sulfetados tradicionalmente empregados na indústria. Com o desenvolvimento do catalisador, esse será aplicado nas reações do hidrotratamento do óleo de coco, com o intuito de avaliar a formação dos perfis de distribuição de seus produtos.

3 METODOLOGIA

A metodologia de produção do catalisador inovador carbetado empregado nesta pesquisa está em patenteamento, não podendo ser apresentada em detalhes nesse trabalho. No entanto, para a etapa de formação da fase carbetada, utilizou-se um módulo equipado com um forno com controle de temperatura, no qual uma corrente gasosa composta por 20% de metano e 80% de hidrogênio escoou sobre o leito de um reator diferencial, com uma vazão de 125 ml/min sobre uma massa de 0,8 g de material preparado previamente. A produção deste catalisador foi desenvolvida tomando outros trabalhos da literatura como base. (WANG *et al.*, 2006; ARAUJO, 2016).

O forno foi operado em três etapas: inicialmente, a temperatura foi elevada de 25 °C até 250 °C a uma taxa de aquecimento de 10 °C/min. Em seguida, ocorreu um segundo aquecimento de 250 °C até atingir 730 °C, com taxa de 2 °C/min. Por fim, a temperatura foi mantida em 730 °C por um período de 30 minutos.

Após o término da etapa de carbetação, o leito foi deixado para resfriar naturalmente até atingir a temperatura ambiente. O catalisador carbetado foi então retirado do módulo e imediatamente armazenado em hexano para impedir seu contato com o oxigênio atmosférico. Uma vez que os carbetos de metais formados sofrem processos de oxidação intensos ao entrar em contato com a atmosfera.

Os ensaios reacionais propostos para a realização desta pesquisa foram executados em um reator batelada, produzido pela Parr Instrument Company. O reator conta com sistema de agitação e sensores de pressão e temperatura. Os ensaios foram realizados com o óleo vegetal de coco, de grau alimentício, nas temperaturas de 360 °C, 380 °C e 400°C. Foi realizado um ensaio com o catalisador carbetado e outro em branco para cada temperatura reacional.

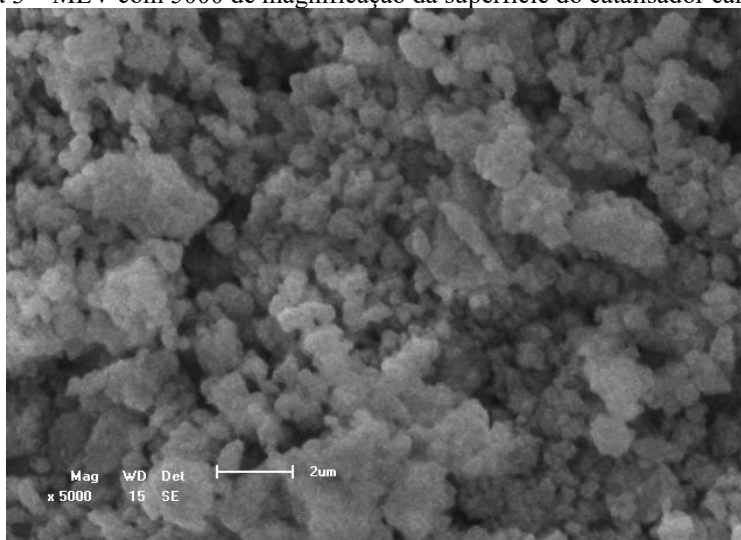
Adicionaram-se 50 g de óleo vegetal ao reator, juntamente com 1 g de catalisador (nos ensaios com o material catalítico) e aproximadamente 5,1 MPa de H₂. O ensaio reacional possui extensão de 60 minutos, sendo esse período considerado a partir do momento em que o reator atinge a temperatura definida para o ensaio. Ao alcançar a condição, realiza-se a adição do hidrogênio. Na duração do procedimento, são coletadas amostras líquidas do meio reacional de 1 ml em eppendorfs a cada intervalo de 15 minutos desde o início do período reacional.

Posteriormente, essas amostras são submetidas a um processo de metilação, adaptado de Pimenta et al. (2021) e Hartman e Lago (1973), em que os ácidos graxos remanescentes nas amostras coletadas são transformados em metil-ésteres, mantendo os hidrocarbonetos inalterados. Esta etapa da metodologia é realizada para submeter as amostras coletadas à análise em cromatografia gasosa. Dessa forma, a esterificação dos ácidos graxos se faz necessária para que esses não se acumulem na coluna cromatográfica, uma vez que são pouco voláteis.

4 DESENVOLVIMENTO

As micrografias do catalisador carbetado fornecem uma descrição das características da superfície do catalisador em um nível microscópico. A Figura 3, que foi gerada utilizando a técnica avançada de Micrografia Eletrônica de Varredura (MEV), ilustra uma estrutura metálica notavelmente granular e altamente porosa, que se observa distribuída uniformemente por toda a extensão da superfície do material. Além disso, observou-se que o catalisador sol-gel, que foi formulado na forma de um aerogel, foi sintetizado com sucesso. Essa combinação de porosidade e textura granular aumenta significativamente a capacidade de difusão de cadeias longas de ácidos graxos e triglicerídeos, criando sítios ideais e favoráveis que facilitam as reações de hidrotreamento pertinentes à conversão de óleos vegetais. Esses atributos estruturais são críticos, pois não apenas melhoram a atividade catalítica, mas também contribuem para a eficácia geral do processo catalítico.

Figura 3 – MEV com 5000 de magnificação da superfície do catalisador carbetado.

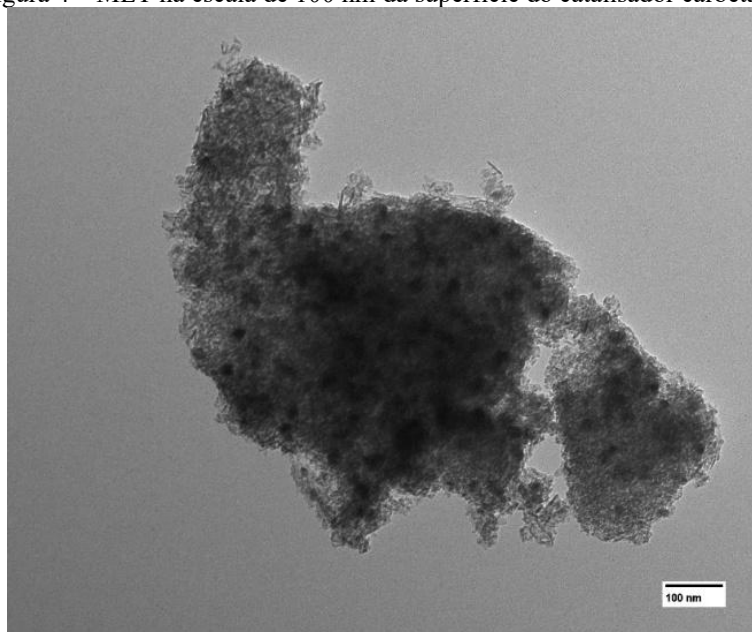


Fonte: O Autor (2026).

A Micrografia Eletrônica de Transmissão (MET), conforme ilustrada na figura 4, revela uma dispersão satisfatória dos componentes metálicos que foram incorporados ao suporte de γ -alumina, utilizado para a confecção do catalisador, mostrando assim a eficácia da técnica de síntese empregada. Além disso, a observação de uma distribuição consistente e uniforme dos metais níquel (Ni) e

molibdênio (Mo) em todo o catalisador sugere a homogeneidade e uniformidade desses elementos críticos, o que é essencial para o desempenho do material em toda sua superfície.

Figura 4 – MET na escala de 100 nm da superfície do catalisador carbetado.



Fonte: O Autor (2026).

Os percentuais dos hidrocarbonetos obtidos ao término de cada ensaio reacional, nas temperaturas avaliadas, tanto na presença quanto na ausência do catalisador sintetizado, encontram-se apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Montante (%) de hidrocarbonetos ao final dos ensaios reacionais com o óleo de coco.

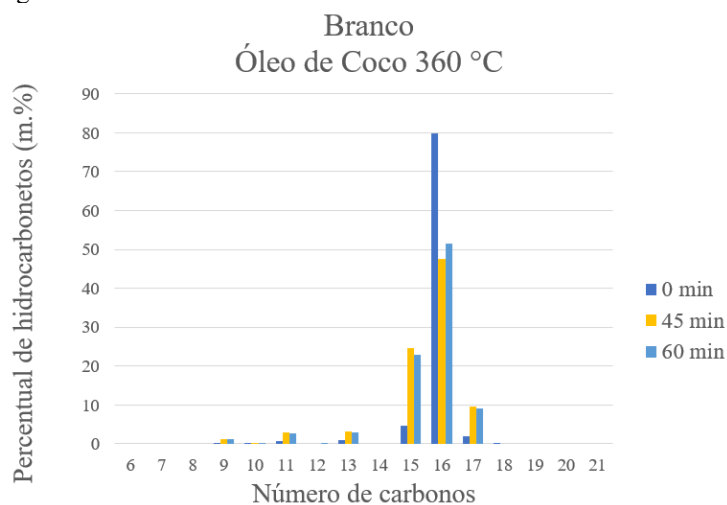
T reação	360 °C	380 °C	400 °C
Branco	90,44	86,084	66,858
Carbetado	81,088	78,863	74,602

Fonte: O Autor (2026).

Com base na análise da Tabela 1, torna-se evidente que os testes realizados nas temperaturas de 360 °C e 380 °C, na presença do catalisador, produziram taxas de conversão menores em relação aos testes em branco em que nenhum agente catalítico foi aplicado. Esse fenômeno pode ser atribuído à ocorrência de reações de craqueamento e cisão α/β durante os ensaios experimentais envolvendo o catalisador carbetado, que sugerem a geração de produtos mais leves e voláteis que escapam do reator durante a coleta de amostras líquidas. O surgimento desses produtos gasosos então, não são observados nas análises de cromatografia gasosa. Conseqüentemente, isso se reflete como uma redução na quantidade total de hidrocarbonetos presentes no meio de reação à medida que o procedimento experimental avança. No entanto, é importante observar que esse fato não implica, por si só, uma diminuição na produção total de hidrocarbonetos quando o catalisador é introduzido no ambiente de reação.

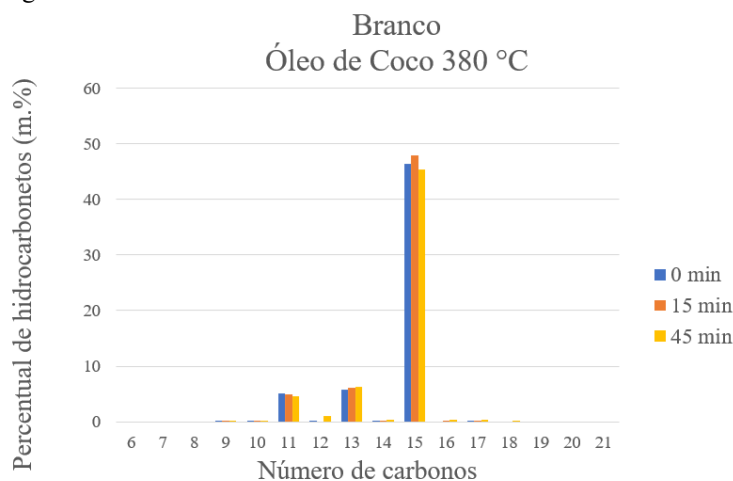
As figuras 5 a 10 demonstram os perfis e quantias percentuais dos hidrocarbonetos formados ao longo da duração dos ensaios reacionais.

Figura 5 – Produtos formados durante o ensaio em branco a 360 °C.



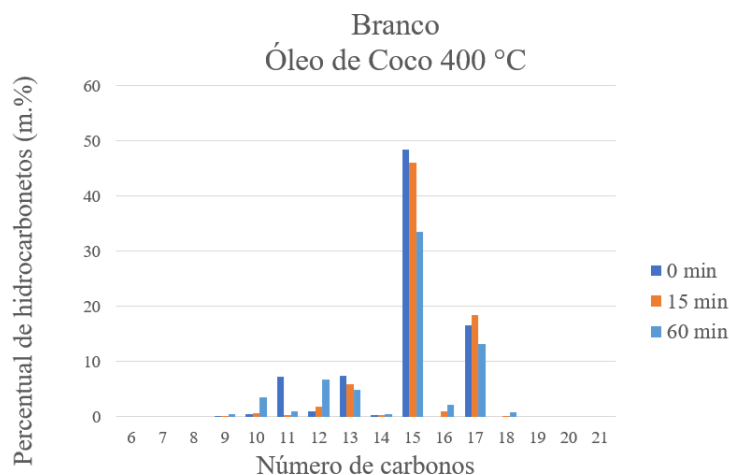
Fonte: O Autor (2026).

Figura 6 – Produtos formados durante o ensaio em branco a 380 °C.



Fonte: O Autor (2026).

Figura 7 – Produtos formados durante o ensaio em branco a 400 °C.



Fonte: O Autor (2026).

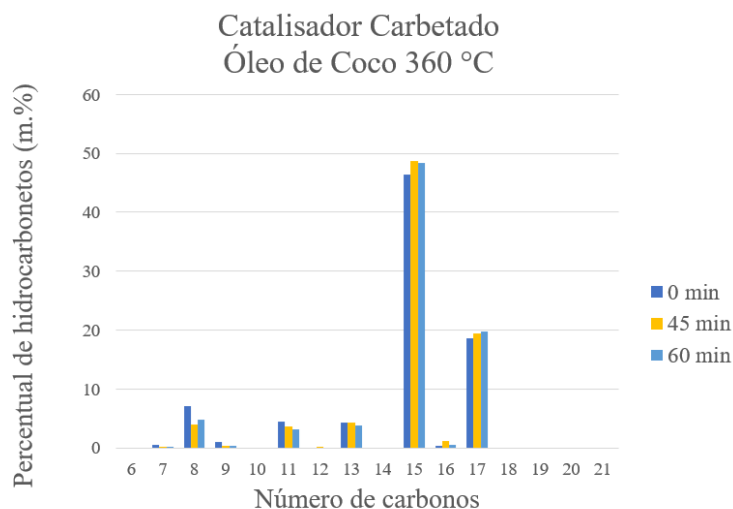
Para os ensaios em branco realizados com o óleo de coco, isto é, quando não havia catalisador no meio reacional, o aumento da temperatura provoca uma dispersão dos hidrocarbonetos formados. Assim, sendo observados vários tipos de produtos com diferentes comprimentos de cadeias carbônicas.

A composição do óleo de coco em relação a seus ácidos graxos se dá pela distribuição de frações de 44,9% de ácido palmítico, 32,3% de oleico e 13,3% de esteárico. (Lee et al., 1998). O primeiro ácido graxo mencionado possui 16 carbonos em sua cadeia carbônica, enquanto os outros dois possuem 18. Com isso, se espera que os produtos advindos das reações do hidrotreatamento possuam predominantemente de 15 a 18 carbonos.

Nos experimentos realizados a 360 °C e 380 °C, observa-se a predominância de hidrocarbonetos com 15 e 16 átomos de carbono. A presença majoritária desses compostos sugere elevada conversão do ácido palmítico por meio das reações de hidrotreatamento nessas condições. Considerando a quantidade de carbonos que o ácido graxo possui em sua cadeia, a formação de produtos com 16 carbonos está associada às reações de HDO, enquanto os compostos com 15 carbonos são provenientes das rotas de DCO e DCO₂. Nessas temperaturas, verifica-se ainda uma baixa formação de hidrocarbonetos com 17 e 18 carbonos, o que indica que os ácidos graxos oleico e esteárico não passam por reações significativas nessas condições.

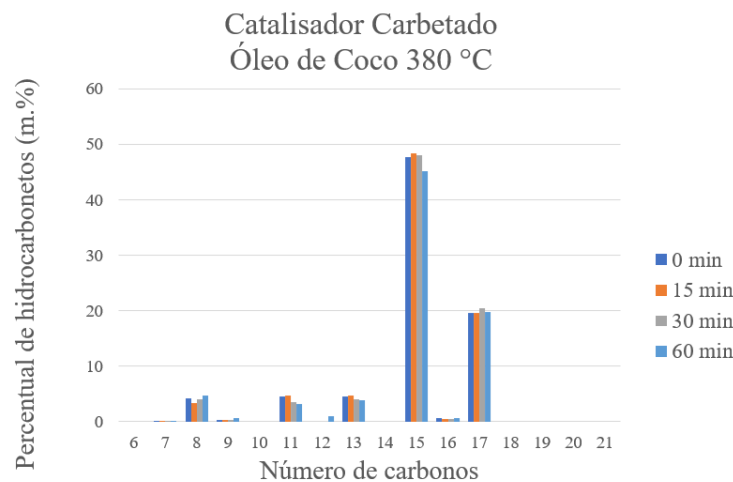
No ensaio conduzido a 400 °C, foi registrada uma formação expressiva de hidrocarbonetos com 15 e 17 carbonos, indicando fortemente que, na ausência de catalisador, os ácidos graxos presentes no óleo de coco tendem a se converter preferencialmente por meio de reações de descarboxilação e descarboxilação.

Figura 8 – Produtos formados durante o ensaio com o catalisador carbetado a 360 °C.



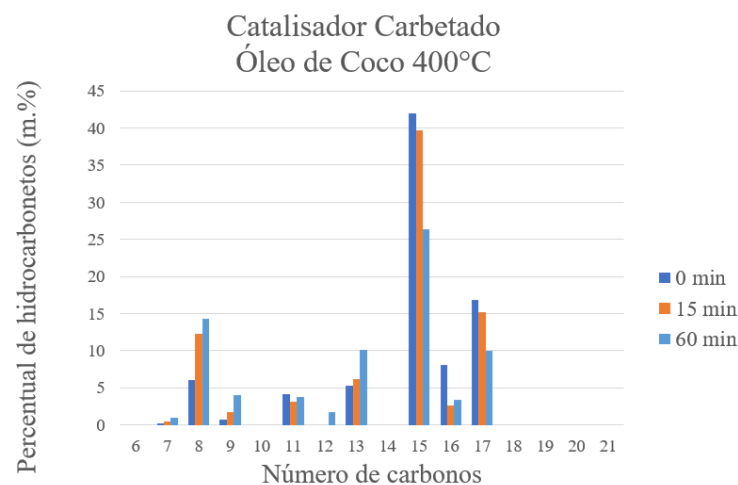
Fonte: O Autor (2026).

Figura 9 – Produtos formados durante o ensaio com o catalisador carbetado a 380 °C.



Fonte: O Autor (2026).

Figura 10 – Produtos formados durante o ensaio com o catalisador carbetado a 400 °C.



Fonte: O Autor (2026).



Nos ensaios conduzidos nas três temperaturas com o catalisador carbetado, a formação majoritária de produtos com 15 e 17 carbonos permanece da mesma forma em que já foi observada nos ensaios realizados em branco. No entanto, para os ensaios realizados a 360 °C e 400 °C, comportamento decrescente do teor dos produtos advindos das reações de DCO e DCO₂ não foi mais observado, se mantendo estável durante o toda a extensão do ensaio reacional.

Apenas no ensaio realizado a 400 °C, que a degradação dos produtos formados volta a ser observada. O que pode ser atribuído à maior incidência das reações de craqueamento por conta da temperatura em que o ensaio foi conduzido, característica por favorecer a ocorrência desse conjunto de reações.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base na realização e análise das caracterizações por MET e MEV, verificou-se que o catalisador carbetado sintetizado apresentou impregnação bem-sucedida dos metais níquel e molibdênio na matriz de γ -alumina obtida via sol-gel. Do ponto de vista morfológico, o material apresenta uma superfície altamente porosa e de caráter granular, com distribuição homogênea das fases metálicas ao longo de sua extensão.

A perda de compostos voláteis, majoritariamente provenientes de reações de cisão α/β e de craqueamento, observada durante os procedimentos de coleta das amostras líquidas, momento que esses produtos deixavam o reator, evidencia uma limitação metodológica. Nesse sentido, a implementação de estratégias para retenção, análise e identificação da fração gasosa da reação poderia fornecer informações adicionais relevantes para a elucidação dos mecanismos reacionais envolvidos, em especial os de craqueamento que ocorrem no meio reacional.

De maneira geral, o perfil dos hidrocarbonetos obtidos nos ensaios conduzidos com o catalisador carbetado desenvolvido nesta pesquisa mostram-se compatíveis com as faixas de distribuição típicas dos combustíveis fósseis querosene de aviação (C9–C16) e diesel (C10–C20).

AGRADECIMENTOS

Registro aqui minha gratidão ao Programa Institucional de Bolsas de Iniciação em Desenvolvimento Tecnológico e Inovação (PIBITI), que fundamentou o início desta pesquisa. Agradeço também ao Departamento de Engenharia Química da Universidade Estadual de Maringá (DEQ/UEM) pelo suporte estrutural que possibilitou o desenvolvimento deste trabalho. Por fim, expresso meu reconhecimento ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro concedido durante o período de iniciação científica.



REFERÊNCIAS

ADZAHAR, N. A.; ABDULKAREEM-ALSULTAN, G.; LEE, H. V.; TAUFIQ-YAP, Y. H. Advances in supported monometallic and bimetallic catalysts towards green aviation fuels: a review. *Energy Advances*, v. 7, 2025.

ARAÚJO, C. P. B. C. P. de Souza; MAIA, L. M. D.; SOUTO, M. V. M. S.; BARBOSA, C. M. On the synthesis of molybdenum carbide with cobalt addition via gas-solid reactions in a CH₄/H₂ atmosphere. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, v. 33, p. 577–588, 2016.

CHEN, J.; WANG, D.; LUO, F.; et al. Selective production of alkanes and fatty alcohol via hydrodeoxygenation of palmitic acid over red mud-supported nickel catalysts. *Fuel*, v. 314, 2022.

CHIA, S. R.; NOMANBHAY, S.; ONG, M. Y.; et al. Renewable diesel as fossil fuel substitution in Malaysia: A review. *Fuel*, 2022.

HARTMAN, L.; LAGO, R. C. Rapid preparation of fatty acid methyl esters from lipids. *Laboratory Practice*, v. 22, p. 475–476, 1973.

HOSSAIN, M. Z.; CHOWDHURY, M. B. I.; JHAWAR, A. K.; XU, W. Z.; CHARPENTIER, P. A. Continuous low pressure decarboxylation of fatty acids to fuel-range hydrocarbons with in situ hydrogen production. *Fuel*, v. 212, p. 470–478, 2018.

JRAI, A. A.; AL-MUHTASEB, A. H.; JAMIL, F.; MYINT, M. T. Z. Green hydrocarbons fuel production from agricultural waste biomass in the presence of a novel heterogeneous catalyst. *Biomass Conversion and Biorefinery*, v. 14, p. 16545–16558, 2024.

LEE, D.-S.; NOH, B.-S.; BAE, S.-Y.; KIM, K. Characterization of fatty acids composition in vegetable oils by gas chromatography and chemometrics. *Analytica Chimica Acta*, v. 358, p. 163–175, 1998.

LUCANTONIO, S.; DI GIULIANO, A.; ROSSI, L.; GALLUCCI, K. Green Diesel Production via Deoxygenation Process: A Review. *Energies*, 2023.

PIMENTA, J. L. C. W.; CAMARGO, M. O.; DUARTE, R. B.; SANTOS, O. A. A.; MATOS, L. M. M. A novel kinetic model applied to heterogeneous fatty acid deoxygenation. *Chemical Engineering Science*, v. 230, p. 116192, 2021.

SLEZÁČKOVÁ, M.; PELLER, A.; MIKULEC, J.; et al. Catalytic hydroprocessing of camelina oil/AGO mixtures over NiMoP/γ-Al₂O₃ catalysts. *Catalysis Today*, v. 423, 2023.

WANG, X. H.; HAO, H. L.; ZHANG, M. H.; LI, W.; TAO, K. Y. Synthesis and characterization of molybdenum carbides using propane as carbon source. *Journal of Solid State Chemistry*, v. 179, p. 538–543, 2006.

YANG, Y.; WANG, Q.; ZHANG, X.; WANG, L.; LI, G. Hydrotreating of C18 fatty acids to hydrocarbons on sulphided NiW/SiO₂-Al₂O₃. *Fuel Processing Technology*, v. 116, p. 165–174, 2013.

ZHOU, Y.; REMÓN, J.; JIANG, Z.; MATHARU, A. S.; HU, C. Tuning the selectivity of natural oils and fatty acids/esters deoxygenation to biofuels and fatty alcohols: A review. *Green Energy and Environment*, 2023.