

## SÍNTESE E PERFIL OXIDATIVO DO BIODIESEL DE GORDURA SUÍNA COM ÁLCOOL ISOAMÍLICO.

Eliomar Pivante Céleri<sup>1</sup>, Valdemar Lacerda Jr<sup>1</sup>, Audrei Giménez Barañano<sup>2</sup>.

<sup>1</sup>Universidade Federal do Espírito Santo, Núcleo de Competências em Química do Petróleo - Avenida Fernando Ferrari, 514, Goiabeiras, Vitória, Espírito Santo – CEP 29.075-710  
eliomar.pivante@gmail.com.

<sup>2</sup>Universidade Federal do Espírito Santo, Departamento de Engenharia Rural - Alto Universitário, S/N, Guararema, Alegre, Espírito Santo - CEP: 29500-000

### Resumo

A limitação do uso do biodiesel é seu preço comercial ser superior ao do diesel e sua menor estabilidade à oxidação. A seleção de matérias-primas com baixo custo e composição adequada de ácidos graxos pode auxiliar na redução do valor final do produto e melhorar sua estabilidade à oxidação. Neste trabalho, a gordura suína e a mistura de gordura suína com óleo de soja foram transesterificadas com álcool isoamílico para a obtenção de biodiesel. Foi obtida conversão superior a 90% para ambos os biodieseis. O biodiesel de gordura suína mostrou-se mais estável à oxidação devido à sua composição rica em ácidos graxos saturados, o que promoveu a menor formação de produtos de oxidação primária e secundária, monitorados por espectroscopia UV/Vis e na região do infravermelho. No entanto, a adição de óleo de soja à gordura suína foi necessária para que o biodiesel atendesse às normas comerciais.

**Palavras-chave:** Ésteres isoamílicos. Estabilidade oxidativa; Blend óleo de soja; Álcool superior.

**Área do Conhecimento:** Engenharia – Engenharia Química.

### Introdução

Quimicamente, o biodiesel é composto por uma mistura de ésteres monoalquílicos de ácidos graxos, obtida principalmente pela transesterificação alcalina de óleos vegetais ou gorduras animais com um álcool (Botella et al., 2014). As matérias-primas mais utilizadas atualmente para a produção de biodiesel são óleo de soja e metanol. No entanto, o óleo de soja, por ser de grande interesse na indústria alimentícia e agregar valor ao produto, aumenta o custo de produção do biocombustível. Isso ocorre porque o custo das matérias-primas é a principal variável no valor final do biodiesel (Haas et al., 2006). Portanto, é necessário empregar matérias-primas alternativas e econômicas na síntese para obter um biocombustível economicamente competitivo com o diesel.

O Brasil se destaca como um dos principais exportadores e produtores de carne suína no mundo. A produção de carne suína resulta também na produção de gordura suína, que pode ser utilizada na produção de biodiesel, substituindo total ou parcialmente o óleo de soja.

A dificuldade de utilizar gordura suína para a transesterificação é que o biodiesel obtido dessa matéria-prima apresenta elevada viscosidade devido à sua composição rica em ácidos graxos saturados. Cherian et al. (2021) observaram que o biodiesel obtido a partir da transesterificação de gordura suína com metanol apresentou um valor de viscosidade cinemática de 7,186 mm<sup>2</sup>/s, enquanto os limites para comercialização são de 1,9-6,0 mm<sup>2</sup>/s (Estados Unidos), 3-6 mm<sup>2</sup>/s (Brasil) e 3,5-5,0 mm<sup>2</sup>/s (União Europeia). No entanto, a composição rica em ácidos graxos saturados é benéfica para a estabilidade oxidativa do biodiesel, promovendo um aumento da vida útil do biocombustível e permitindo maior tempo de armazenamento (de Menezes et al., 2022).

O álcool isoamílico, obtido principalmente pela fermentação alcoólica e purificação do óleo fúsel, um subproduto da indústria sucroalcooleira, é uma alternativa para a síntese de biodiesel (Girardi et al., 2021). Na indústria de biodiesel, ele pode ser utilizado como aditivo natural, promovendo um aumento da viscosidade e uma diminuição da densidade do biocombustível (Girardi et al., 2021). Tebas et al. (2021) utilizaram o álcool isoamílico, obtido da purificação do óleo fúsel, como fonte alcoólica para a transesterificação do óleo de babaçu, alcançando uma conversão de até 95% em condições brandas

de reação, indicando a viabilidade deste álcool para a síntese de biodiesel e apresentando o benefício de ser obtido de um resíduo.

A utilização de álcoois superiores como propanol, butanol, isobutanol e isopropanol na transesterificação de óleos e gorduras oferece vantagens, pois melhora certas propriedades físico-químicas do biodiesel. Monroe et al. (2020) observaram que o aumento da cadeia carbônica do álcool esterificante proporciona um aumento do número de cetano e do calor de combustão do biodiesel. Ni et al. (2020) notaram uma diminuição do ponto de entupimento de filtro a frio e do ponto de solidificação. Oliveira et al. (2020) também relataram um aumento nos valores de viscosidade e poder calorífico, além da diminuição das propriedades de fluxo a frio (ponto de fluidez, ponto de turvação e temperatura de cristalização) com o aumento da cadeia carbônica do álcool.

Neste trabalho, propomos a utilização de gordura suína com álcool isoamílico para a obtenção de biodiesel por transesterificação catalisada por ácido ( $H_2SO_4$ ) e avaliamos seu perfil oxidativo.

## Metodologia

### *Síntese do biodiesel*

O biodiesel foi sintetizado em um balão de fundo redondo, em banho de glicerina a 75 °C e sob refluxo a 15 °C. O aquecimento foi promovido por uma chapa com agitação magnética. O álcool isoamílico foi adicionado ao balão na proporção molar de 10:1 em relação a gordura suína seguido da adição de 2 % do catalisador  $H_2SO_4$ , em relação a massa de óleo. O álcool com o catalisador permaneceu sob agitação por 15 minutos e então adicionou-se a gordura suína já aquecida, permanecendo sob agitação por 8 h. Para efeito de comparação, também foi sintetizado o biodiesel nas mesmas condições utilizando uma blend de óleo de soja com gordura suína na proporção de 1:1 (m/m).

Após as 8 h de reação o produto ficou estático por 12 h para decantação da glicerina e a fase rica em ésteres foi neutralizada com solução de NaOH 0,1 mol.L<sup>-1</sup> a 60 °C seguido de sucessivas lavagens com água destilada a 60 °C até o pH estar próximo de 7. Para eliminação da umidade e álcool residual o biodiesel foi rotaevaporado em evaporador rotatório por 45 min a 80 °C.

### *Caracterizações*

As caracterizações realizadas foram índice de acidez conforme norma NBR 14448, viscosidade cinemática a 40 °C e densidade a 20 °C conforme norma ASTM D 7042. Para a conversão utilizou-se a espectroscopia de ressonância magnética nuclear de prótons, utilizado o sinal dos prótons alfa-carbonílicos em  $\delta$  2.26 como sinal de referência e fez-se uma relação percentual em relação ao sinal característico dos ésteres em  $\delta$  4,01.

Os espectros de RMN <sup>1</sup>H foram adquiridos utilizando um espectrômetro Varian-Anilent de 400 MHz, operando a um campo magnético de 9,4 tesla, a 26 °C, com pulsos de radiofrequência de 90° em intervalos de 2,26 segundos, determinado pela análise do tempo de relaxamento longitudinal ( $T_1$ ), somando 64 varreduras individuais para cada espectro.

### *Avaliação do perfil oxidativo*

O biodiesel já purificado e caracterizado foi oxidado em estufa a 110 °C por 24 h. Foram retiradas amostras de hora em hora nas 12 primeiras horas e após as 24 h de oxidação que foram analisadas em espectrofotômetro (UV/Vis) da marca DRAWELL modelo EEQ-9507 utilizando cubetas de quartzo de 1 cm de caminho óptico, diclorometano como diluente na proporção de 0,10% (m/m). A varredura foi feita no intervalo de 220 – 300 nm. Também foi retirada amostras em 0 e 24 h de oxidação que foi analisada em espectrômetro (FTIR) Angilent Cary 60 com 100 scans e precisão de 2 cm<sup>-1</sup>, as medidas foram feitas com acessório ATR com cristal de diamante com varredura de 4000 a 600 cm<sup>-1</sup>

## Resultados e Discussão

Os biodieseis sintetizados apresentaram índice de acidez e massa específica a 20 °C dentro do limite para comércio (Tabela 1). No entanto, o valor de viscosidade cinemática a 40 °C para o biodiesel

de gordura suína ficou ligeiramente acima do estipulado pelas normas brasileira, americana e europeia. Isso pode ser devido à natureza da matéria-prima rica em ésteres saturados. Contudo, a adição de óleo de soja à gordura suína foi suficiente para que o biodiesel atendesse às especificações brasileira e americana.

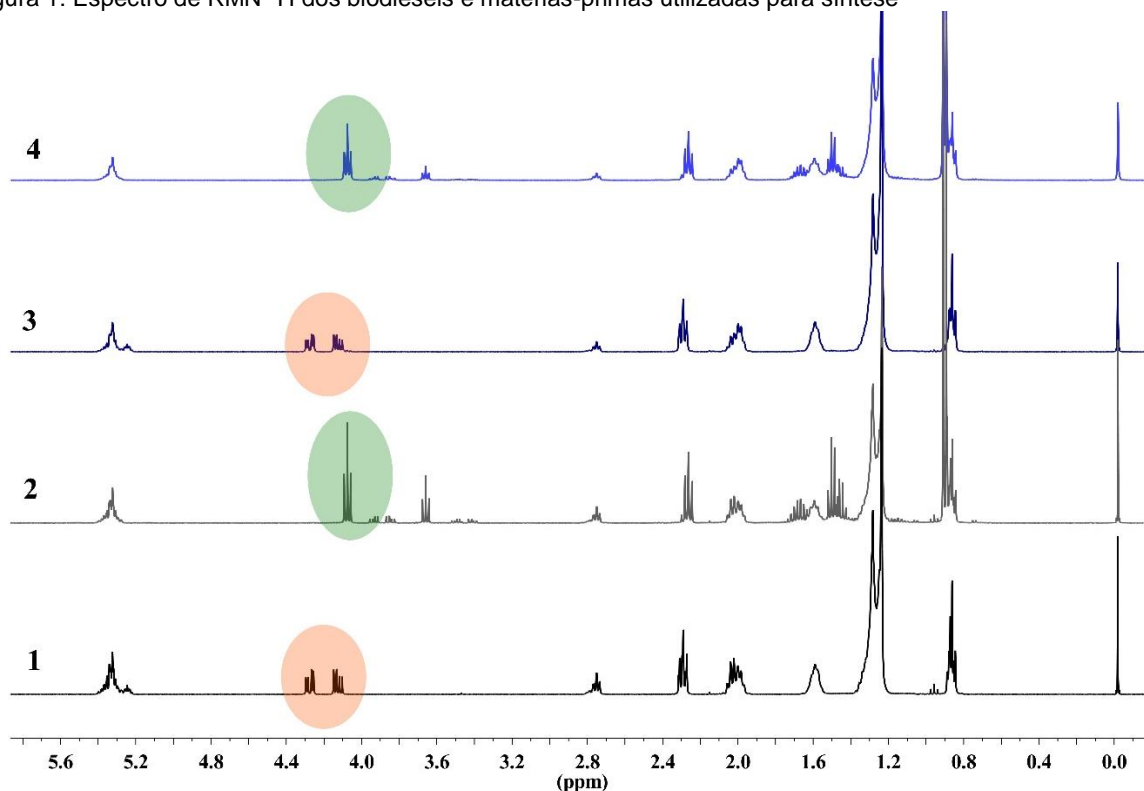
Tabela 1: Propriedades físico-químicas dos biodieseis sintetizados.

Propriedades	Biodiesel		ANP (Brasil)	Limites	
	Gordura de Porco	Blend		ASTM (EUA)	EM (Europa)
Índice de Acidez (mgKOH.g <sup>-1</sup> )	0,304 (±0,01)	0,400 (±0,02)	< 0,5	< 0,5	< 0,5
Densidade a 20 °C (g.cm <sup>-3</sup> )	0,8481 (±0,04)	0,8507 (±0,0001)	0,85-0,90	*	*
Viscosidade Cinemática a 40 °C (mm <sup>2</sup> .s <sup>-1</sup> )	6,05 (±0,02)	5,83 (±0,01)	3,0-6,0	1,9-6,0	3,5-5,0

Fonte: o autor. \*As normas Americana e Europeia utilizam a densidade a 15 °C.

Os espectros de RMN <sup>1</sup>H (Fig. 1) apresentaram sinais característicos de ácidos graxos em δ 0,86 (prótons CH<sub>3</sub> terminais); δ 1,28 (prótons alifáticos); δ 1,59 (prótons β-carbonílicos); δ 2,00 (prótons alílicos); δ 2,29 (prótons α-carbonílicos); δ 2,75 (prótons bis-alílicos); δ 4,10 – 4,30 (prótons glicéricos) e δ 5,32 (prótons olefínicos) (Doudin 2021; Tariq et al. 2011). A confirmação qualitativa da conversão dos ácidos graxos em ésteres isoamílicos se deu a partir do tripleto formado em δ 4,10, que é característico dos prótons metilênicos esterificantes ligados ao oxigênio do éster, proveniente do álcool isoamílico (Tebas et al. 2021).

Figura 1: Espectro de RMN <sup>1</sup>H dos biodieseis e matérias-primas utilizadas para síntese



Fonte: O autor. Espectro 1: Blend de gordura de porco com óleo de soja. Espectro 2: Biodiesel da blend. Espectro 3: Gordura de porco. Espectro 4: Biodiesel da gordura de porco.

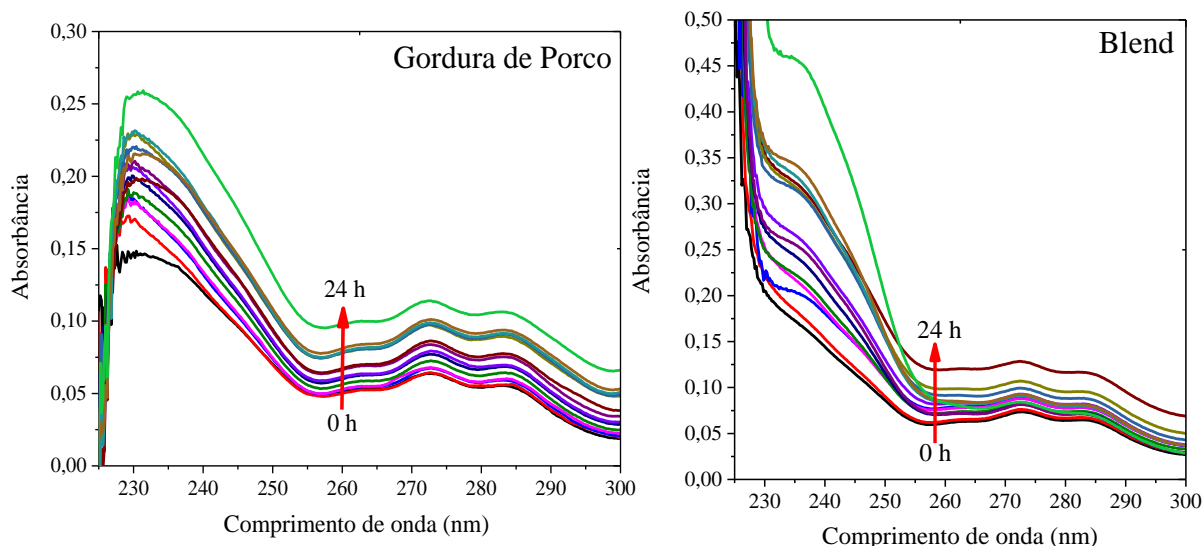
A conversão encontrada foi de 92% para o biodiesel de gordura suína e 91% para o biodiesel da blend. A elevada conversão para ambos os biodieseis indica que a composição dos ácidos graxos de cada amostra não afeta o rendimento. A conversão obtida foi bem próxima à encontrada por Tariq et al. (2011) (88,49%) e Singh, Kumar e Blümich (2019) (89,4 a 93,4%) para a obtenção de ésteres metílicos de ácidos graxos.

A composição do biodiesel de gordura suína é majoritariamente de ácidos graxos saturados. A blend de óleo de soja com gordura suína apresentou uma composição rica em ácidos graxos poli-insaturados, que, apesar de ser benéfica para a redução da viscosidade do biodiesel obtido com esta matéria-prima, é indesejável para a sua estabilidade oxidativa. A maior concentração de ácidos graxos saturados é benéfica para a estabilidade à oxidação do biodiesel (Lanjekar e Deshmukh 2016).

Cremonese et al. (2016) relataram que a adição de gordura suína ao óleo de soja promoveu a diminuição da estabilidade oxidativa do biodiesel, comparada à estabilidade oxidativa do óleo de soja puro. Contudo, Feroldi et al. (2017) relataram que a adição de gordura suína ao óleo de soja promoveu uma gradativa melhora na estabilidade oxidativa do biodiesel obtido pelas blends, onde todas as blends com gordura suína atendiam os limites da norma ASTM D6751.

É possível observar nos espectros de UV/Vis, Fig. 2, que os biodieseis apresentam bandas de absorção próximas a 235 nm, referentes às transições  $\pi \rightarrow \pi^*$  ( $C=C$ ), e 272 nm, referentes às transições  $\pi \rightarrow \pi^*$  ( $C=O$ ) (Dantas et al. 2011). A intensidade desses sinais se altera com o decorrer da oxidação devido à formação de produtos de oxidação (El Hawary et al. 2021). Durante o processo oxidativo, os ésteres de ácidos graxos poli-insaturados sofrem transferência de ligação dupla, gerando ligações duplas conjugadas. Ao reagir com o  $O_2$ , formam hidroperóxidos do tipo  $\alpha,\beta$ -insaturados, que possuem ligação dupla conjugada, formando uma estrutura estendida de ligação  $\pi$ , que altera a intensidade da banda em 235 nm (Wang, Li e Wang 2021). A formação de compostos carbonilados, produtos de oxidação secundária do biodiesel, altera a intensidade da banda em 272 nm (Avila Orozco et al. 2020; Dantas et al. 2011). Este comportamento pode ser observado para ambos os biodieseis.

Figura 2: Espectros de UV/Vis dos biodieseis



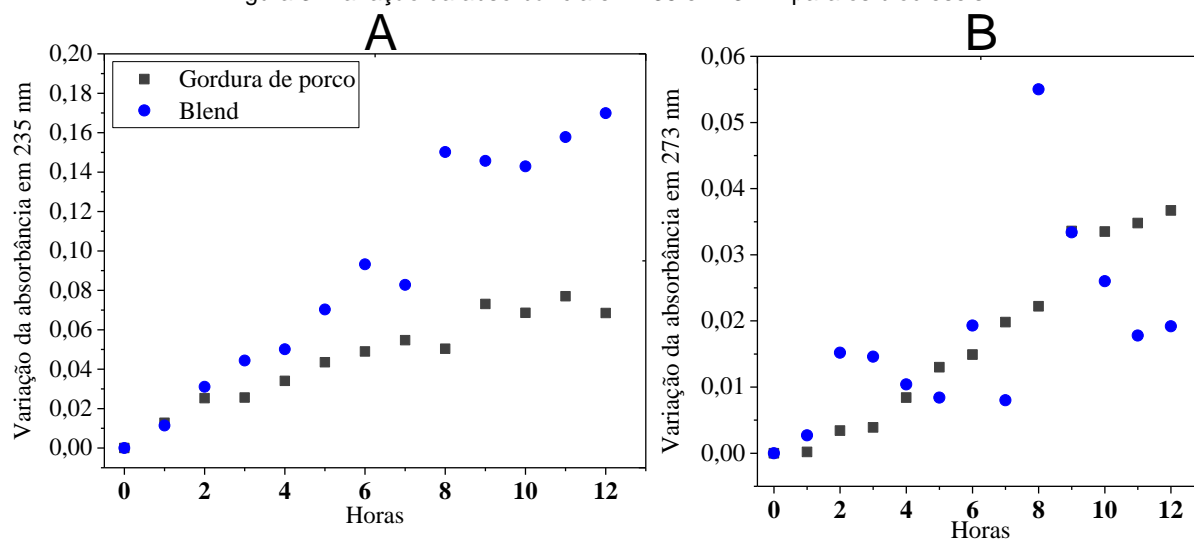
Fonte: O autor.

Para analisar a estabilidade oxidativa dos biodieseis, monitorou-se a intensidade das bandas de UV/Vis em 235 e 272 nm. Por se tratar de biodieseis com diferentes composições de ésteres isoamílicos de ácidos graxos, a intensidade dos sinais durante a oxidação foi expressa como a razão da intensidade em um dado momento do estresse oxidativo em estufa pela intensidade da banda no momento inicial da oxidação.

Observa-se que a intensidade da banda a 235 nm, Fig. 3 A, tem uma tendência crescente tanto para o biodiesel de gordura suína quanto para o da blend, indicando a formação de compostos conjugados. Para a gordura suína, a variação desta banda foi menor que a variação da banda do biodiesel da blend

a partir de 3 horas, indicando uma maior estabilidade na formação de peróxidos e compostos conjugados, o que pode ser atribuído à sua composição rica em ácidos graxos saturados.

Figura 3: Variação da absorvância em 235 e 273 nm para os biodieseis



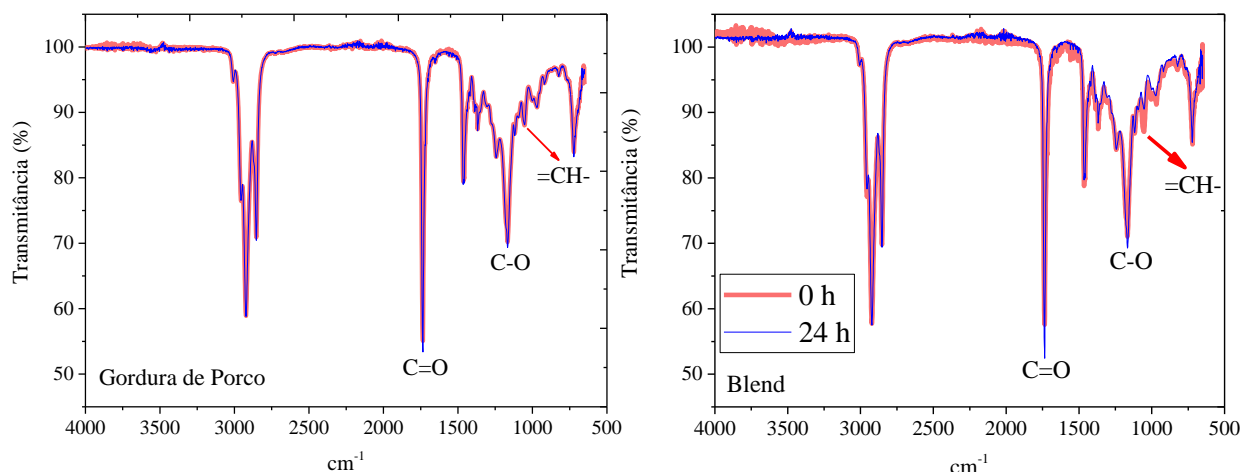
Fonte: O autor.

A variação da intensidade da banda em 273 nm, Fig. 3 B, também segue um padrão crescente para o biodiesel de gordura suína. Já o padrão de variação para o biodiesel da blend é bem distinto. Ramos et al. (2021) e Conceição et al. (2019) também encontraram oscilações nos valores de absorvância em 270 nm. Este comportamento pode estar associado aos produtos de oxidação secundária de baixo peso molecular que absorvem nesta região, como aldeídos, ácidos carboxílicos e cetonas, que, por serem voláteis, alteram a concentração do cromóforo C=O na amostra durante o processo oxidativo. Chuck et al. (2012) notaram que o ácido fórmico é o principal volátil liberado durante o período inicial do processo oxidativo, juntamente com pequenas quantidades de ácido acético e propiônico. No entanto, no decorrer da oxidação, este perfil é alterado, passando o ácido propiônico a ser o volátil mais produzido, sugerindo uma alteração na composição dos produtos durante a oxidação. A ausência de oscilações nos valores de absorvância para o biodiesel de gordura suína pode indicar a estabilidade do biodiesel, pois os compostos formados não são decompostos em produtos voláteis que alterariam a intensidade da banda.

Os espectros de FTIR, Fig. 4, apresentam bandas entre 2957 e 2852  $\text{cm}^{-1}$  devido ao alongamento simétrico de  $\nu \text{CH}_3$ ,  $\nu \text{CH}_2$  e  $\nu \text{CH}$ . Também se observa uma banda intensa devido ao alongamento  $\nu \text{C=O}$  (1749  $\text{cm}^{-1}$ ) característico de ésteres; flexão assimétrica  $\nu \text{CH}_3$  (1466  $\text{cm}^{-1}$ ); alongamento  $\nu \text{C-O}$  (1167  $\text{cm}^{-1}$ ); e flexão  $\nu \text{-C=C-}$  (1047  $\text{cm}^{-1}$ ). A ausência de bandas próximas a 3500  $\text{cm}^{-1}$  devido a  $\nu \text{OH}$  indica que o biodiesel estava isento de umidade, álcool e glicerol residual (Chatterjee et al. 2022). Pode-se observar que, após as 24 horas de oxidação, há uma diminuição da transmitância das bandas devido a  $\nu \text{C=O}$  e  $\nu \text{C-O}$ .



Figura 4: Espectros de FTIR dos biodieseis no momento inicial (0 h) e final (24 h) de oxidação



Fonte: O autor.

A diminuição da transmitância implica no aumento da absorção da radiação pelos respectivos cromóforos (Chuck et al. 2012). Cican et al. (2020) relataram que o aumento da concentração de biodiesel em uma amostra resulta no aumento da absorbância dos sinais devido a  $\nu$  C=O e  $\nu$  C-O. Portanto, a diminuição da transmitância está associada ao aumento de compostos carbonilados nas amostras, produtos de oxidação secundária. A diminuição da transmitância é maior para o biodiesel da blend, o que indica que ele é menos estável à oxidação. Neste biodiesel, também se nota o aumento da transmitância devido a  $\nu$  -C=C-, o que está associado à diminuição da presença deste grupo na composição do biodiesel, indicando instabilidade à oxidação, já que é onde se inicia o processo oxidativo.

## Conclusão

Foi possível obter ésteres isoamílicos de ácidos graxos a partir de gordura suína e da blend de gordura suína com óleo de soja (1:1 m/m) com elevada conversão, 92% e 91%, respectivamente. O biodiesel de gordura suína apresentou viscosidade cinemática ligeiramente superior às normas americana, brasileira e europeia. No entanto, a adição de óleo de soja à gordura suína foi suficiente para que os valores de viscosidade atendessem às normas americana e brasileira. Contudo, o biodiesel da blend se tornou menos estável à oxidação devido à sua composição mais rica em ácidos graxos poli-insaturados, enquanto a composição da gordura suína foi rica em ácidos graxos saturados e monoinsaturados. Uma medida para aumentar a estabilidade à oxidação do biodiesel seria a adição de antioxidantes naturais ou sintéticos

## Referências

- AVILA OROZCO, Francisco D.; SOUSA, Antonio C.; ARAUJO, Mario C.U.; DOMINI, Claudia E. A new flow UV-Vis kinetics spectrophotometric method based on a photodegradative reaction for determining the oxidative stability of biodiesel. **Fuel**, v. 262, p. 116197, fevereiro 2020. doi:10.1016/j.fuel.2019.116197.
- BOTELLA, Lucía; BIMBELA, Fernando; MARTÍN, Lorena; ARAUZO, Jesús; SÁNCHEZ, José L. Oxidation stability of biodiesel fuels and blends using the Rancimat and PetroOXY methods. Effect of 4-Allyl-2,6-Dimethoxyphenol and catechol as biodiesel additives on oxidation stability. **Frontiers in Chemistry**, v. 2, julho 2014. doi:10.3389/fchem.2014.00043.
- CHATTERJEE, Rajeshwari; MUKHERJEE, Sanat Kumar; PAUL, Biswajit; CHATTOPADHYAYA, Somnath. Evaluation of spectroscopic analysis, performance and emissions of enriched Jatropha and Madhuca methyl ester for clean environment. **Clean Technologies and Environmental Policy**, v. 24, n. 7, p. 2295–2312, 2022. doi:10.1007/s10098-022-02322-0.

CHERIAN, Elsa; YAZHINI, D.; VICTOR, Merlin; BASKAR, G. Production of biodiesel from pork fat using alumina-doped calcium oxide nanocomposite as heterogeneous catalyst. **Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects**, v. 43, n. 11, p. 1386–1395, 2021. doi:10.1080/15567036.2019.1637971.

CHUCK, Christopher J.; BANNISTER, Chris D.; JENKINS, Rhodri W.; LOWE, John P.; DAVIDSON, Matthew G. A comparison of analytical techniques and the products formed during the decomposition of biodiesel under accelerated conditions. **Fuel**, v. 96, p. 426–433, junho 2012. doi:10.1016/j.fuel.2012.01.043.

CICAN, Grigore et al. Investigating the use of recycled pork fat-based biodiesel in aviation turbo engines. **Processes**, v. 8, n. 9, p. 1196, 2020. doi:10.3390/pr8091196.

CONCEIÇÃO, José N. et al. Evaluation of molecular spectroscopy for predicting oxidative degradation of biodiesel and vegetable oil: correlation analysis between acid value and UV–Vis absorbance and fluorescence. **Fuel Processing Technology**, v. 183, p. 1–7, janeiro 2019. doi:10.1016/j.fuproc.2018.10.022.

CREMONEZ, Paulo André et al. Oxidative stability of biodiesel blends derived from different fatty materials. **Industrial Crops and Products**, v. 89, p. 135–140, outubro 2016. doi:10.1016/j.indcrop.2016.05.004.

DANTAS, M.B. et al. Evaluation of the oxidative stability of corn biodiesel. **Fuel**, v. 90, n. 2, p. 773–778, 2011. doi:10.1016/j.fuel.2010.09.014.

DE MENEZES, Larissa C. et al. Investigations on storage and oxidative stability of biodiesel from different feedstocks using the Rancimat method, infrared spectroscopy, and chemometry. **ACS Omega**, v. 7, n. 35, p. 30746–30755, 2022. doi:10.1021/acsomega.2c01348.

DE OLIVEIRA, Vanessa F. et al. Fatty acid alkyl esters obtained from babassu oil using C1–C8 alcohols and process integration into a typical biodiesel plant. **Chemical Engineering Research and Design**, v. 160, p. 224–232, agosto 2020. doi:10.1016/j.cherd.2020.05.028.

DOUDIN, Khalid I. Quantitative and qualitative analysis of biodiesel by NMR spectroscopic methods. **Fuel**, v. 284, p. 119114, janeiro 2021. doi:10.1016/j.fuel.2020.119114.

EL HAWARY, M. et al. Evolution of 307 L stainless steel corrosion on the oxidative stability of biodiesel during storage. **Journal of Bio- and Tribo-Corrosion**, v. 7, n. 4, p. 143, 2021. doi:10.1007/s40735-021-00586-5.

FEROLDI, Michael et al. Oxidative stability of biodiesel blends derived from waste frying oils. **Acta Scientiarum. Technology**, v. 39, n. 3, p. 375, 2017. doi:10.4025/actascitechnol.v39i3.29406.

GIRARDI, Julio Cezar et al. Natural compounds as antifreeze additives to improve babassu biodiesel. **Fuel**, v. 289, p. 119746, abril 2021. doi:10.1016/j.fuel.2020.119746.

HAAS, Michael J.; MCALOON, Andrew J.; YEE, Winnie C.; FOGLIA, Thomas A. A process model to estimate biodiesel production costs. **Bioresource Technology**, v. 97, n. 4, p. 671–678, 2006. doi:10.1016/j.biortech.2005.03.039.

KUMAR, Ashok et al. Cellulose binding domain assisted immobilization of lipase (GSlip–CBD) onto cellulosic nanogel: characterization and application in organic medium. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, v. 136, p. 1042–1050, dezembro 2015. doi:10.1016/j.colsurfb.2015.11.006.

LANJEKAR, R.D.; DESHMUKH, D. A review of the effect of the composition of biodiesel on NO x emission, oxidative stability and cold flow properties. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 54, p. 1401–1411, fevereiro 2016. doi:10.1016/j.rser.2015.10.034.

MONROE, Eric et al. Superior performance biodiesel from biomass-derived fusel alcohols and low grade oils: fatty acid fusel esters (FAFE). **Fuel**, v. 268, p. 117408, maio 2020. doi:10.1016/j.fuel.2020.117408.

NI, Zihao et al. Reaction kinetics analysis of branched-chain alkyl esters of palmitic acid and cold flow properties. **Renewable Energy**, v. 147, p. 719–729, março 2020. doi:10.1016/j.renene.2019.08.138.

RAMOS, T.C.P.M. et al. Eugenol and TBHQ antioxidant actions in commercial biodiesel obtained by soybean oil and animal fat. **Fuel**, v. 286, p. 119374, fevereiro 2021. doi:10.1016/j.fuel.2020.119374.

SINGH, Kawarpal; KUMAR, Sharoff Pon; BLÜMICH, Bernhard. Monitoring the mechanism and kinetics of a transesterification reaction for the biodiesel production with low field 1H NMR spectroscopy. **Fuel**, v. 243, p. 192–201, maio 2019. doi:10.1016/j.fuel.2019.01.084.

TARIQ, Muhammad et al. Identification, FT-IR, NMR (<sup>1</sup>H and <sup>13</sup>C) and GC/MS studies of fatty acid methyl esters in biodiesel from rocket seed oil. **Fuel Processing Technology**, v. 92, n. 3, p. 336–341, 2011. doi:10.1016/j.fuproc.2010.09.025.

TEBAS, Saulo de Oliveira Gentil et al. Mild conditions in the transesterification reaction of babassu oil and purified fusel oil. **Chemical Engineering Communications**, v. 208, n. 3, p. 432–440, 2021. doi:10.1080/00986445.2019.1710495.

WANG, Wenchao; LI, Fashe; WANG, Hua. Study of light wavelength on the oxidative stability of Jatropha biodiesel. **Fuel**, v. 292, p. 120230, maio 2021. doi:10.1016/j.fuel.2021.120230.

### Agradecimentos

Agradecemos à Fundação de Amparo à Pesquisa do Espírito Santo (FAPES) pelo apoio financeiro concedido por meio da bolsa de mestrado e ao Núcleo de Competências em Química do Petróleo (LabPetro/UFES) por disponibilizar as dependências onde toda a pesquisa foi desenvolvida.