

CRAQUEAMENTO TÉRMICO DO ÓLEO DE CRAMBE (*Crambe abyssinica*) PARA PRODUÇÃO DE BIOCOMBUSTÍVEL

Elisiane Rocha Lufan Prado¹, Rafael Cardoso Rial¹

¹Instituto Federal de Mato Grosso do Sul – Nova Andradina – MS

elisiane.prado@estudante.ifms.edu.br, rafael.rial@ifms.edu.br

Resumo

Os biocombustíveis derivados de óleos vegetais desempenham um papel importante na busca por alternativas sustentáveis aos combustíveis não renováveis. Os bio-óleos são obtidos por meio do craqueamento térmico de óleos vegetais, com o objetivo de quebrar os triacilgliceróis em hidrocarbonetos e ácidos graxos livres. Este estudo focou no crambe, uma oleaginosa adaptável a diferentes climas, com rápido ciclo de produção e alto rendimento de óleo (30-40% das sementes). O ácido erúico é o principal componente do óleo de crambe, mas sua produção não entra em competição com alimentos humanos. O objetivo foi obter o óleo de crambe e realizar o craqueamento térmico a 400°C, 600°C e 800°C, para avaliar a qualidade dos bio-óleos como potenciais biocombustíveis, sem competir com a alimentação humana.

Palavras-chave: fontes alternativas; biocombustível; craqueamento; pirólise.

Introdução

Uma das alternativas para produção de biocombustíveis é utilizar-se de óleos vegetais que não são utilizados para consumo humano. No Brasil, existe grande diversidade de matérias-primas para a extração de óleos vegetais, que incluem diversas espécies oleaginosas, as quais ainda necessitam de muitas pesquisas. Este potencial, se explorado, pode proporcionar fontes de óleos vegetais que não competem com as de alimentação. O óleo vegetal de crambe, oleaginosa produzida no Mato Grosso do Sul, não é utilizada para o consumo humano devido a toxicidade do ácido erúico [1] [2] [3]. Nesse contexto, esta proposta justifica-se pela necessidade de aproveitamento de oleaginosas não convencionais e não utilizadas para o consumo humano para obtenção bio-óleo que é aplicável como combustível renovável, o que repercute em benefícios ambientais e de qualidade, em comparação com os combustíveis fósseis.

Metodologia

As sementes de crambe foram trituradas, pesadas e secas a 60°C por 10 horas, seguido da extração do óleo com hexano utilizando um extrator Soxhlet. O óleo foi posteriormente degomado e seco com sulfato de magnésio. Em seguida, a reação de transesterificação alcalina foi realizada para produzir biodiesel metílico (BMCSO) e etílico (BECSO) a

partir do óleo de crambe, com as proporções específicas de óleo para álcool metílico e etílico.

Para a obtenção do bio-óleo, o craqueamento térmico foi conduzido a 400°C, 600°C e 800°C, sem catalisador, e as amostras foram denominadas CCS400, CCS600 e CCS800. Algumas dessas amostras foram esterificadas para formar bio-óleos esterificados CCS400-e, CCS600-e e CCS800-e.

A análise da composição química foi realizada por cromatografia gasosa, seguindo os métodos da American Oil Chemists' Society (AOCS). O óleo de crambe foi derivatizado, enquanto os bio-óleos e bio-óleos esterificados não necessitaram de esterificação. A identificação foi baseada em espectros de massas do banco de dados NIST05s e NIST05, com quantificação por normalização de área.

Por fim, foram avaliadas as propriedades físico-químicas do óleo, biodiesel e bio-óleo do crambe, incluindo índice de acidez, índice de iodo, massa específica e teor de água, a fim de verificar sua qualidade.

Resultados e Discussão

Propriedades Físico-Químicas e Composição Química do óleo de Crambe

Os resultados das propriedades físico-químicas do óleo de crambe (CSOil) estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Propriedades físico-químicas do óleo de crambe (CSOil)

Propriedade	Unidade	Límite	CSOil
Massa Específica a 20 °C	Kg/m ³	900-950	917.5
Índice de iodo	gI ₂ /100g óleo	130	97
Índice de acidez	mg KOH/g óleo	0.5	0.2
Teor de água	ppm	500	645

As propriedades massa específica, índice de iodo e índice de acidez apresentaram valores dentro dos limites estipulados pela AOCS. A utilização de matérias primas com alta massa específica pode prejudicar a queima completa do biocombustível produzido em motores a compressão, resultando em resíduos. Portanto, é inviável utilizar esses óleos diretamente como combustíveis sem um processo adequado de conversão [4]. O CSOil possui um valor dentro do recomendado (917.5 Kg/m³).

O índice de iodo para o CSOil ficou dentro do valor estipulado pela AOCS (97 g I₂/100g óleo) e essa propriedade é uma medida da sua insaturação dos ácidos

graxos de um óleo vegetal, ou seja, da quantidade de ligações duplas presentes em sua estrutura química e indica a capacidade do óleo de oxidar. Quanto maior o índice de iodo, maior é a insaturação do óleo e maior é a sua capacidade de reagir com o oxigênio do ar. Esse parâmetro é importante na produção de biocombustíveis, pois óleos com maior índice de iodo são mais propensos a formar depósitos de resíduos no motor, enquanto óleos com menor índice de iodo são mais estáveis e menos propensos a oxidar [5].

O índice de acidez de um óleo vegetal é uma medida da quantidade de ácidos graxos livres presentes no óleo. O CSOil apresentou um índice de acidez de 0.2 mg KOH/g, indicando uma concentração baixa de ácidos graxos livres. O índice de acidez é um parâmetro importante na produção de biocombustíveis, pois óleos com alto índice de acidez podem formar depósitos de resíduos no motor e causar danos à sua operação [5].

A propriedade de umidade foi a única acima do padrão exigido (645 ppm). A presença de água no óleo pode acelerar esse processo de deterioração e pode afetar a qualidade e a estabilidade do biodiesel produzido. A água pode causar a formação de emulsões, que dificultam a separação do biodiesel e da glicerina na etapa de purificação, além de favorecer a oxidação do biodiesel durante o armazenamento. Dessa forma, foi necessário que o CSOil passasse por uma peneira molecular para retirar moléculas de água do óleo antes de submetê-lo ao processo de craqueamento e produção de biodiesel.

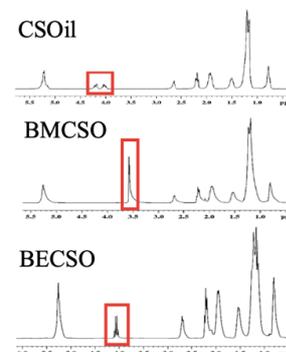
A cromatografia gasosa confirmou a maior porcentagem de ácido erúico (38.3%) seguido de ácido oleico (20.5%). Apesar de serem também os dois ácidos graxos em maior quantidade do estudo realizado feito por L alas, S., et al., 2012 [7], o CSOil apresentou quantidades menores de ácido erúico e ácido oleico quando comparados a esse estudo. Isso evidencia que a quantidade e composição de ácidos graxos em um óleo vegetal pode ser influenciada pelo tipo de cultivo, condições climáticas, manejo agrícola, estágio de maturação da planta e outras variáveis.

Devido ao seu alto teor de ácido erúico, o óleo de crambe não é utilizado na indústria alimentícia devido à sua toxicidade [8]. No entanto, óleos vegetais com grandes quantidades de ácido erúico são amplamente utilizados em outras indústrias, como a de produção de lubrificantes, filmes plásticos, cosméticos, inibidores de corrosão, borracha sintética e biocombustíveis [9]. Além disso, a degradação térmica do ácido erúico pode produzir compostos úteis em indústrias químicas e farmacêuticas, como cetonas, ésteres, éteres, ácidos graxos de cadeia mais curta e hidrocarbonetos de alta massa molecular [10] [11], o que fortalece ainda mais o uso desse tipo de óleo em diversas aplicações, dentre elas, para a produção de bio-óleo.

Composição química dos biocombustíveis de crambe

Os espectros de NMR ¹H do óleo de crambe (CSOil), biodiesel metílico de crambe (BMSCO) e biodiesel etílico de crambe (BECSo) estão apresentados na Figura 1:

Figura 1 – Espectro de RMN ¹H do óleo de crambe (CSOil), biodiesel metílico (BMSCO) e biodiesel etílico (BECSo) obtidos do crambe



A Ressonância Magnética Nuclear de Hidrogênio (NMR ¹H) é amplamente empregada para confirmar a reação de formação de biodiesel [12-15]. No espectro RMN ¹H do CSOil, é possível identificar um múltiplo entre $\delta = 4,0$ ppm - 4,1 ppm que corresponde aos glicídeos, um singlete em $\delta = 2,6$ ppm que indica o hidrogênio do grupo metileno adjacente à carbonila, e os sinais na região entre $\delta = 2,0$ e 1,0 ppm que se referem aos grupos hidrogênios metilênicos da cadeia. Já nos espectros dos biodieseis, observa-se que a reação de transesterificação foi completa, uma vez que os sinais referentes aos glicídeos na região de $\delta = 4,0$ ppm do CSOil desapareceram por completo. No BECSo, o surgimento de um quarteto no espectro entre $\delta = 4,00$ - 4,03 ppm referente aos hidrogênios metílicos da etoxila indicam a ocorrência da reação de transesterificação e no espectro BMSCO, o aparecimento de um singlete em $\delta = 3,6$ ppm dos hidrogênios metílicos (-O-CH₃) também confirma a ocorrência da reação de transesterificação.

As reações de craqueamento térmico nas diferentes temperaturas apresentaram um comportamento semelhante no decorrer do processo. Nos experimentos para produzir os bio-óleos CCS400, CCS600 e CCS800 as temperaturas iniciais ficaram em torno de 100°C. A partir dos 5% de volume recuperado as temperaturas sofreram grande acréscimos. O óleo de crambe apresentou uma resistência no início do craqueamento provavelmente devido a sua composição de ácidos graxos possui grande porcentagem de ácido erúico que contém 22 carbonos em sua cadeia principal.

O bio-óleo CCS400 apresentou maior diversidade de compostos, e CCS600 apresentou a maior quantidade de hidrocarbonetos (24.9%) quando comparado com CCS400 e CCS600. Esses resultados indicam que na temperatura de 600°C há maior ocorrência de degradações por reações secundárias. Isso fica evidenciado pela menor quantidade de

compostos oxigenados e maior quantidade de hidrocarbonetos. Esse comportamento é geralmente proveniente de maiores temperaturas, onde é fornecido uma energia suficiente para degradação das moléculas. Quando observado os produtos do CCS800 isso não ocorre pois há maior quantidade de ácidos graxos do que hidrocarbonetos. A possível explicação vem da destilação dos produtos derivados de reações primárias antes da degradação secundária ocorrer.

A temperatura é um fator crucial que afeta a produção e a qualidade do bio-óleo durante o processo de pirólise da biomassa [16] e aumento da temperatura de craqueamento pode influenciar a composição química do bio-óleo produzido, alterando a proporção de seus componentes. Em geral, o craqueamento em temperaturas mais elevadas tende a produzir bio-óleo com maior proporção de hidrocarbonetos, enquanto temperaturas mais baixas favorecem a formação de compostos oxigenados, como álcoois, ácidos orgânicos e ésteres e o aumento da temperatura de craqueamento também pode afetar a qualidade do bio-óleo, em termos de estabilidade, viscosidade e teor de oxigênio [17]. A baixas temperaturas, abaixo de 400°C, ocorre uma termólise leve, produzindo bio-óleos com baixo teor de água e o aumento da temperatura leva a um aumento na produção de bio-óleo, acompanhado por um aumento no teor de compostos aromáticos e hidrocarbonetos [18] e temperaturas mais elevadas, acima de 600°C, resultam na produção de bio-óleos com maior teor de carbono e menor teor de oxigênio, mas com uma proporção significativamente menor de compostos líquidos [19].

Nas reações de craqueamento, o aumento da temperatura favoreceu a quebra das cadeias longas dos ácidos graxos e o surgimento de ácidos graxos de cadeia carbônica menor e o bio-óleo CCS400 apresentou a maior concentração de ácidos graxos com cadeias carbônicas de 7 a 13 carbonos. Na menor temperatura os ácidos graxos maiores com cadeia carbônica entre 16 e 22 carbonos estão presentes em uma porcentagem menor do que nos bio-óleos CCS600 e CCS800 e os ácidos graxos C18:0, C18:2n6c e o C20:1 e C22:1n9 sofreram maior degradação, principalmente em 400°C. As quantidades de ácido erúico reduziram drasticamente após o craqueamento térmico.

Esse comportamento provavelmente ocorre devida a grande diferença de temperatura entre as reações, onde a temperatura é tão elevada, num mesmo espaço de tempo, que uma pequena fração dos compostos destilam sem que sejam degradadas completamente. Uma observação importante consiste na taxa de aquecimento que é constante do início ao fim da destilação reativa. Em CCS800 a proporção de ácidos graxos de cadeias longas possui uma diferença substancialmente maior em comparação com os outros dois e menor de ácidos graxos leves em relação a CCS400. O único ácido graxo que está em porcentagens

equivalentes em todos os bio-óleos é o C10:0, com pequena variação entre nas quantidades. Um estudo realizou a decomposição térmica do óleo de soja e canola, e ácidos graxos de cadeia menor também foram conseguidos [20, 21].

Propriedades físico-químicas dos biocombustíveis de crambe

O índice de acidez é uma das principais características que devem ser avaliadas em um biocombustível. Ele indica a quantidade de ácidos graxos livres presentes no biocombustível, que podem causar corrosão e danos ao motor, além de afetar a estabilidade e a qualidade do combustível. Os valores de acidez e teor de água obtidos das análises dos bio-óleos CCS400, CCS600 e CCS800 aumentaram significativamente em comparação ao CSOil. Esse aumento é atribuído a quebra das moléculas de triacilglicerídeos em ácidos graxos livres e água. Além disso, é possível verificar um aumento da acidez com a temperatura. Quanto mais energia é empregada numa reação de craqueamento maior a probabilidade de degradação, o que gera ácidos graxos livres, principais contribuintes para o aumento de acidez [22]. Resultados semelhantes também foram encontrados em estudos de craqueamento térmico de outras matérias-primas como óleo de soja [23], gordura animal [24] e óleo usado [25].

A massa específica é uma importante propriedade física que deve ser avaliada em um biocombustível pois ela indica densidade do combustível, ou seja, a quantidade de massa por unidade de volume, e pode afetar a performance e a eficiência do motor. Por isso, a determinação da massa específica é fundamental para garantir a qualidade e a segurança do biocombustível. A massa específica de todos os biocombustíveis obtidos a partir do CSOil apresentaram valores dentro do limite estipulados e próximos aos valores dos biodieséis. A redução no valor dessa propriedade dos bio-óleos obtidos em relação ao CSOil é justificada pela quebra das moléculas triacilglicéridicas em moléculas menores.

O índice de iodo indica a quantidade de insaturações presentes nos ácidos graxos do biocombustível, o que pode afetar a estabilidade e a qualidade. Os resultados de índice de iodo para os biocombustíveis obtidos não mostraram nenhuma tendência diferenciada entre os bio-óleos, bio-óleos esterificados e biodieséis, sendo o biocombustível CCS600-e o que apresentou o valor mais próximo ao CSOil. Entretanto, todos os biocombustíveis de crambe apresentaram valores dentro do limite estipulado. A partir do momento em que os ácidos graxos insaturados são degradados também há formação de compostos oleofínicos através de reações de degradação secundárias, principalmente a descarbonilação, e isso pode explicar a pouca variação nos valores de índice de iodo que são diretamente ligados as insaturações

Os bio-óleos de crambe CCS400, CCS600 e CCS800 foram esterificados para diminuir o teor de acidez e de água, obtendo assim o CCS400-e, CCS600-e e CCS800, respectivamente. Essa esterificação foi realizada para melhorar as propriedades físico-químicas dos bio-óleos e reduzir a quantidade de ácidos orgânicos utilizando a catálise ácida. A esterificação proporcionou uma diminuição significativa na acidez, principalmente em CCS800-e, era o que tinha maior porcentagem e ácidos graxos livres antes da esterificação e, portanto, sofreu maior influência do processo de aprimoramento. O teor de água também diminuiu após a esterificação. Os resultados demonstraram uma redução muito significativa em relação aos bio-óleos antes da esterificação mas mesmo com a grande redução, o índice de acidez dos bio-óleos não ficaram dentro dos limites estipulados pelos órgãos reguladores.

Considerações Finais

As propriedades físico-químicas aqui avaliadas neste trabalho mostraram que os bio-óleos e biodieseis obtidos estão dentro dos valores estipulados pelos órgãos reguladores do setor, mostrando a possibilidade de utilização e comercialização. Os bio-óleos apresentaram índice de acidez e o teor de água fora dos valores estipulados, mas as esterificações desses bio-óleos deixaram estes com valores dentro dos recomendados. Assim, tanto os bio-óleos quanto os biodieseis evidenciaram que óleo de crambe é uma importante matéria prima não alimentícia para produção de biocombustíveis.

Agradecimentos

Agradecemos ao IFMS/CNPq pela apoio financeiro e a bolsa concedida a estudante. Agradecemos ao LABCOM – INQUI – UFMS pela parceria no desenvolvimento deste trabalho em conjunto.

Referências

- [1] - Cavalheiro, L. F., Rial, R. C., de Freitas, O. N., Domingues Nazário, C. E., & Viana, L. H. (2021). Thermal cracking of fodder radish (*Raphanus sativus* L.) oil to use as biofuel. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 157, 105223. doi:10.1016/j.jaap.2021.105223
- [2] - Maia, E. L., & Rodriguez-Amaya, D. B. (1993). Avaliação de um método simples e eco-nômico para a metilação de ácidos graxos com lipídios de diversas espécies de peixes. *Revista Do Instituto Adolfo Lutz*, 53(1-2), 27–35. <https://doi.org/10.53393/rial.1993.v53.35982>
- [3] - Hartman, L., & Lago, R. C. (1973). Rapid preparation of fatty acid methyl esters from lipids. *Laboratory practice*, 22(6).
- [4] - Altın, R., Çetinkaya, S., & Yücesu, H. S. (2001). The potential of using vegetable oil fuels as fuel for diesel engines. *Energy Conversion and Management*, 42(5), 529–538. doi:10.1016/s0196-8904(00)00080-7
- [5] - Sharma, Y. C., Singh, B., & Upadhyay, S. N. (2008). Advancements in development and characterization of biodiesel: A review. *Fuel*, 87(12), 2355–2373. doi:10.1016/j.fuel.2008.01.014
- [6] - Demirbas, A. (2009). Progress and recent trends in biodiesel fuels. *Energy Conversion and Management*, 50(1), 14–34. doi:10.1016/j.enconman.2008.09
- [7] - Lalas, S., Gortzi, O., Athanasiadis, V., Dourtoglou, E., & Dourtoglou, V. (2012). Full Characterisation of Crambe abyssinica Hochst. Seed Oil. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 89(12), 2253–2258. doi:10.1007/s11746-012-2122-y
- [8] - Galanty, A., Grudzińska, M., Paździora, W., & Paško, P. (2023). Erucic Acid – Both Sides of the Story: A Concise Review on Its Beneficial and Toxic Properties. *Molecules*, 28(4), 1924. doi:10.3390/molecules28041924
- [9] - Lazzeri, L., Leoni, O., Conte, L. S., & Palmieri, S. (1994). Some technological characteristics and potential uses of Crambe abyssinica products. *Industrial Crops and Products*, 3(1-2), 103–112. doi:10.1016/0926-6690(94)90083-3
- [10] - Leonard, E. C. (1992). High-erucic vegetable oils. *Industrial Crops and Products*, 1(2-4), 119–123. doi:10.1016/0926-6690(92)90009-k
- [11] - Bassegio, D., Zanotto, M. D., Santos, R. F., Werncke, I., Dias, P. P., & Olivo, M. (2016). Oilseed crop crambe as a source of renewable energy in Brazil. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 66, 311–321. doi:10.1016/j.rser.2016.08.010
- [12] - Gelbard, G., Brès, O., Vargas, R. M., Vielfaure, F., & Schuchardt, U. F. (1995). ¹H nuclear magnetic resonance determination of the yield of the transesterification of rapeseed oil with methanol. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 72(10), 1239–1241. doi:10.1007/bf02540998
- [13] - Costa Neto, P. R., Balparda Caro, M. S., Mazzuco, L. M., & Nascimento, M. da G. (2004). Quantification of soybean oil ethanolysis with ¹H NMR. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 81(12), 1111–1114. doi:10.1007/s11746-004-1026-0
- [14] - Satyarthi, J. K., Srinivas, D., & Ratnasamy, P. (2009). Estimation of Free Fatty Acid Content in Oils, Fats, and Biodiesel by ¹H NMR Spectroscopy. *Energy & Fuels*, 23(4), 2273–2277. doi:10.1021/ef801011v
- [15] - Kouame, S.-D. B., Perez, J., Eser, S., & Benesi, A. (2012). ¹H-NMR Monitoring of the transesterification process of Jatropha oil. *Fuel Processing Technology*, 97, 60–64. doi:10.1016/j.fuproc.2012.01.006

- [16] - Bridgwater, A. V. (2012). Review of fast pyrolysis of biomass and product upgrading. *Biomass and Bioenergy*, 38, 68–94. doi:10.1016/j.biombioe.2011.01
- [17] - Guedes, R. E., Luna, A. S., & Torres, A. R. (2018). Operating parameters for bio-oil production in biomass pyrolysis: A review. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 129, 134–149. doi:10.1016/j.jaap.2017.11.019
- [18] - Akhtar, J., & Saidina Amin, N. (2012). A review on operating parameters for optimum liquid oil yield in biomass pyrolysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(7), 5101–5109. doi:10.1016/j.rser.2012.05.033
- [19] - Mohan, D., Pittman, C. U., & Steele, P. H. (2006). Pyrolysis of Wood/Biomass for Bio-oil: A Critical Review. *Energy & Fuels*, 20(3), 848–889. doi:10.1021/ef0502397
- [20] - Beims, R. F., Botton, V., Ender, L., Scharf, D. R., Simionatto, E. L., Meier, H. F., & Wiggers, V. R. (2018). Effect of degree of triglyceride unsaturation on aromatics content in bio-oil. *Fuel*, 217, 175–184. doi:10.1016/j.fuel.2017.12.109
- [21] - Kubátová, A., Luo, Y., Šťábová, J., Sadrameli, S. M., Aulich, T., Kozliak, E., & Sea-mes, W. (2011). New path in the thermal cracking of triacylglycerols (canola and soybean oil). *Fuel*, 90(8), 2598–2608. doi:10.1016/j.fuel.2011.04.022
- [22] - Oliveira, I. P., Souza, A. F., Lescano, C. H., Caires, A. R. L., & Muzzi, R. M. (2015). Thermal Oxidation Analysis of Forage Turnip (*Raphanus sativus* L. var. *oleiferus* Metzg.) Oil. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 92(3), 403–408. doi:10.1007/s11746-015-2606-7
- [23] - Xu, J., Jiang, J., Sun, Y., & Chen, J. (2010). Production of hydrocarbon fuels from pyrolysis of soybean oils using a basic catalyst. *Bioresource Technology*, 101(24), 9803–9806. doi:10.1016/j.biortech.2010.06
- [24] - Ben Hassen-Trabelsi, A., Kraiem, T., Naoui, S., & Belayouni, H. (2014). Pyrolysis of waste animal fats in a fixed-bed reactor: Production and characterization of bio-oil and bio-char. *Waste Management*, 34(1), 210–218. doi:10.1016/j.wasman.2013.09.019
- [25] - Chen, G., Zhang, X., Ma, W., Yan, B., & Li, Y. (2014). Co-pyrolysis of Corn-cob and Waste Cooking-oil in a Fixed Bed Reactor with HY Upgrading Process. *Energy Procedia*, 61, 2363–2366. doi:10.1016/j.egypro.2014.12.005
- [26] - Wazilewski, W. T., Bariccatti, R. A., Martins, G. I., Secco, D., Souza, S. N. M. de, Rosa, H. A., & Chaves, L. I. (2013). Study of the methyl crambe (*Crambe abyssinica* Hochst) and soybean biodiesel oxidative stability. *Industrial Crops and Products*, 43, 207–212. doi:10.1016/j.indcrop.2012.07.046
- [27] - Onorevoli, B., Machado, M. E., Dariva, C., Franceschi, E., Krause, L. C., Jacques, R. A., & Caramão, E. B. (2014). A one-dimensional and comprehensive two-dimensional gas chro-matography study of the oil and the bio-oil of the residual cakes from the seeds of *Crambe abyssinica*. *Industrial Crops and Products*, 52, 8–16. doi:10.1016/j.indcrop.2013.09.034
- [28] - Rosa, H. A., Wazilewski, W. T., Secco, D., Chaves, L. I., Veloso, G., de Souza, S. N. M., ... Santos, R. F. (2014). Biodiesel produced from crambe oil in Brazil—A study of per-formance and emissions in a diesel cycle engine generator. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 38, 651–655. doi:10.1016/j.rser.2014.07.013
- [29] - Silva, R. V. S., Pereira, V. B., Stelzer, K. T., Almeida, T. A., Romeiro, G. A., & Azeve-do, D. A. (2019). Comprehensive study of the liquid products from slow pyrolysis of crambe seeds: Bio-oil and organic compounds of the aqueous phase. *Biomass and Bioenergy*, 123, 78–88. doi:10.1016/j.biombioe.2019.02
- [30] - Gomes Souza, M. C., Firmino de Oliveira, M., Vieira, A. T., Marcio de Faria, A., & Fer-reira Batista, A. C. (2020). Methylc and ethylic biodiesel production from crambe oil (*Crambe abyssinica*): New aspects for yield and oxidative stability. *Renewable Energy*. doi:10.1016/j.renene.2020.08.073