

Desenvolvimento e Caracterização das Nanoemulsões de Combustíveis de Óleo de Babaçu (*Attalea speciosa*)

The Development and Characterization of Babassu Oil Fuels Nanoemulsions (*Attalea speciosa*)

Hilton Costa Louzeiro,^a Angela Maria C. M. Santos,^b Paulo Roberto B. Gomes,^c Maria Alves Fontenele,^d Victor E. Mouchrek Filho,^e Rômicy Dermondes Souza,^{f,*} Mikele Candida S. de Sant'Anna,^g Cassio da Silva Dias,^g Adeilton Pereira Maciel,^h Fernando Carvalho Silva^h

^aUniversidade Federal do Maranhão, Coordenação da Licenciatura em Ciência Naturais, CEP 65200-000, Pinheiro – MA, Brasil.

^bInstituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão, CEP 65300-000 Santa Inês – MA, Brasil.

^cInstituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará, Diretoria de Ensino, Pesquisa e Extensão, CEP Paragominas – PA, Brasil.

^dUniversidade Federal do Maranhão, Coordenação de Engenharia de Alimentos, CEP 65915-240, Imperatriz – MA, Brasil.

^eUniversidade Federal do Maranhão, Departamento de Tecnologia Química, CEP 65080 – 805, São Luís – MA, Brasil.

^fUniversidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência e de Alimentos, CEP 45700-000 Itapetinga – BA, Brasil.

^gInstituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão, CEP 65930-000 Açailândia – MA, Brasil.

^hUniversidade Federal do Maranhão, Departamento de Química, CEP 65080 – 805, São Luís – MA, Brasil.

*E-mail: dermondesromicy@gmail.com

Recebido em: 5 de Outubro de 2021

Aceito em: 31 de Março de 2022

Publicado online: 2 de Maio de 2022

Biodiesel, although a promising substitute for conventional diesel, it has some disadvantages such as high NOx emission, low oxidative stability and delay in ignition, generation of waste during its production. The production nanoemulsions process may be an alternative to overcome the limitations of biodiesel, since the production process requires a less complex plant, and the system has more environmental advantages. In this context, we developed fuel nanoemulsions of babassu oil, a species of palm tree commonly found in the north and northeast regions of Brazil. First, we aim to determine the average particle size and observe the nanometric scale (1-100), characterizing the formation of a nanoemulsion system. In the other characterizations, we determine the physicochemical properties and measure the gaseous emissions of carbon dioxide (CO) and nitrogen oxides (NOx). In this way, we observed that nanoemulsifying babassu oil optimizes combustion, characterized by the reduction of CO production. In addition, there was also a reduction in NOx production when water was added to the nanoemulsion. Although the physicochemical properties are inferior to that of diesel, it is still feasible to use babassu oil nanoemulsion as an alternative biofuel for immediate use.

Keywords: Babassu; nanoemulsion; biodiesel

1. Introdução

O diesel, embora uma fonte de energia importante, é frequentemente associado a problemas ambientais como um poluidor do ar,¹ solo² e água do mar.³ Além disso, estima-se que a principal matéria-prima do diesel, o petróleo, esgote suas fontes nas próximas décadas.⁴ Uma alternativa ao diesel produzido de fonte fósseis é o diesel produzido de óleos vegetais, ou biodiesel, produzido principalmente pela reação de transesterificação dos ácidos graxos do óleo vegetal.⁵ Vários trabalhos abordam a produção de biodiesel de várias fontes vegetais, como óleo de mamona,⁶ óleo de milho,⁷ óleos de microalgas⁸ e, também, óleo de babaçu.⁹

O babaçu é uma planta encontrada principalmente nas regiões norte e nordeste do Brasil, sendo utilizado principalmente para produção de óleo de palma.¹⁰ Os principais ácidos graxos presentes no óleo de babaçu são ácidos láurico, ácido mirístico e ácido oleico,¹¹ composição esta já utilizada para produção de biodiesel.^{9,12,13}

O biodiesel, embora tenha forte apelo ambiental e necessário para suprir a futura demanda de energia com o fim das fontes fósseis, apresenta algumas desvantagens tais como pobre fluxo de frio, alta emissão de NO_x, baixa estabilidade oxidativa e atraso na ignição.¹⁴⁻¹⁶ É dito que microemulsões combustíveis podem superar estas limitações, visto que melhoram o processo de combustão e reduzem a energia de ativação,¹⁷ além de possuir energia similar ao diesel convencional e a lubrificidade superior.¹⁸ Koc e Abdullah¹⁹ também relatam uma redução considerável de produção de NOx pelo biodiesel microemulsionado em comparação ao não emulsionado.

Portanto, o objetivo deste trabalho foi investigar o desempenho de diferentes sistemas microemulsionados de óleo de babaçu e suas blends com o diesel por meio de suas propriedades de emissões gasosas e físico-químicas.

2. Experimental

Neste trabalho foi desenvolvida uma pesquisa científica básica, baseado em Louzeiro *et al.*,²⁰ que visa produzir um combustível cuja produção não ocorre por meios reacionais, sendo

possível misturar os componentes em proporção específica e em condições ambientes, podendo ser aplicado na geração de energia em localidades remotas, onde os componentes da mistura são acessíveis e há uma menor disponibilidade a outros combustíveis.

2.1. Constituintes das microemulsões

Para realizar o experimento, utilizamos álcool isobutílico, álcool isoamílico obtido da empresa QUIMEX (Uberaba, BR). A aguardente de cana-de-açúcar foi obtida de um mercado local de São Luís (BR) (empresa de bebidas Muller), óleo diesel e álcool etílico hidratado combustível foram obtidos da PETROBRÁS (São Luís, BR), óleo de fúsel da CLEALCO (Penápolis, BR) e óleo de babaçu refinado da OLEAMA (São Luís, BR).

2.2. Construção do diagrama de fases

Para seleção das concentrações ótimas de tensoativo, fase aquosa e fase oleosa para compor os sistemas microemulsionados utilizamos o diagrama de fase pseudoternário que foi aplicado em três sistemas de microemulsões.^{21,22} O primeiro, denominado NAIB, foi formado por óleo babaçu refinado (OBR), aguardente comercial e álcool isobutílico, o segundo (NAIA) foi formado por OBR, aguardente comercial e álcool isoamílico e o terceiro (NEF) foi composto por OBR, etanol hidratado e óleo fúsel.

As massas e volumes dos componentes utilizados para obtenção de cada sistema microemulsionado foram transformadas em frações mássicas da fase oleosa (X_o), fase aquosa (X_A) e fase do tensoativo (X_T) calculadas, respectivamente, pela equação 1, 2 e 3.

$$X_o = \frac{M_o}{(M_o + M_A + M_T)} \quad (1)$$

$$X_A = \frac{M_A}{(M_o + M_A + M_T)} \quad (2)$$

$$X_T = \frac{M_T}{(M_o + M_A + M_T)} \quad (3)$$

onde M_o é a massa da fase oleosa, M_A a massa da fase aquosa e M_T a massa do tensoativo. Com base nestes valores construímos um gráfico que representa o diagrama de fase pseudoternário, sendo observadas duas regiões distintas, uma homogênea e outra heterogênea. Os sistemas a serem testados como combustível foram definidos a partir da região homogênea.

2.3. Preparação das blendas microemulsões/diesel

Após a determinação das proporções ótimas para as microemulsões a partir da região homogênea do diagrama de fase pseudoternário, preparamos blendas nas concentrações

de 10, 20 e 30% (m/m) de nanoemulsão no óleo diesel. Após a preparação das blendas, determinamos suas propriedades de emissão e físico-químicas.

2.4. Caracterizações físico-químicas da mistura nanoemulsão/biodiesel

Testamos as propriedades físico-químicas das microemulsões e misturas para verificar se as propriedades eram próximas a do óleo diesel. Para isso, determinamos a massa específica (ASMT D 4052), viscosidade cinemática (ASTM D 445),²³ ponto de fulgor (ASTM D 93),²⁴ índice de acidez (ASTM D 664)²⁵ e turbidez. Também determinamos o diâmetro médio das partículas da nanoemulsão pela técnica de espalhamento de luz laser em 632,8 nm em ângulo de medida de 90°.

2.5. Determinação das emissões gasosas

Para a determinação das emissões gasosas utilizamos uma célula de medição de gases confeccionada no núcleo de medição de gases confeccionada no núcleo de combustíveis, catálise e ambiental da Universidade Federal do Maranhão, ilustrada na Figura 1. A célula, construída em PVC em forma cilíndrica (6.7 cm x 4.4 cm), foi acoplado um sensor do analisador de gases e conectado à saída de exaustão do IQT (Ignition Quality Tester). O analisador foi programado para realizar as medidas em intervalo de 30 segundos. Os gases determinados foram monóxido de carbono (CO) e óxidos de nitrogênio total (NOx).

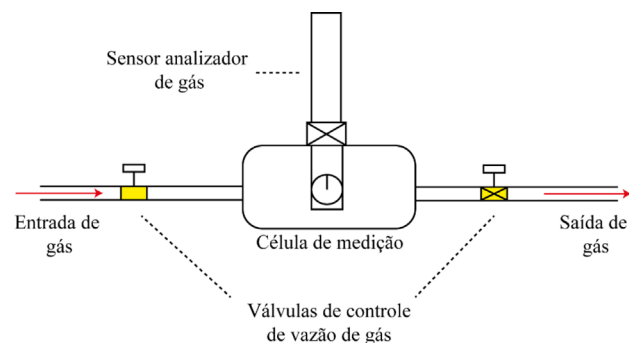


Figura 1. Representação da célula de medição das emissões gasosas. Fonte: Própria Autoria, 2020

3. Resultados

3.1. Determinação da concentração ótima de óleo de babaçu refinado

Com base nas regiões homogêneas dos diagramas de fases pseudoternário presentes na figura 2, selecionamos algumas concentrações de OBR tendo como critério a maior concentração possível para a formação das microemulsões. As concentrações de OBR selecionadas a partir do diagrama OBR, etanol hidratado e óleo fúsel (Figura 2a) foram de

49% e 47%, para o diagrama OBR, aguardente e álcool isoamílico (Figura 2b) foram de 51%, 47% e 45% e para o diagrama OBR, aguardente e álcool isobutílico (Figura 2c) foram de 72%, 62%, 56% e 54%.

Utilizado estas concentrações selecionadas, medimos a viscosidade cinemática de cada sistema microemulsionado (Tabela 1) buscando selecionar os sistemas a serem utilizados nas análises posteriores. Para a nanoemulsão OBR, aguardente e álcool isobutílico usamos como critério

de seleção a maior proximidade à viscosidade do diesel ($3.8 \text{ nm}^2/\text{s}$). Para isso, o sistema selecionado apresenta concentrações de 54% de OBR, 3% de aguardente e 43% álcool isobutílico (NAIb). Os outros dois sistemas foram selecionados tendo como critérios a maior concentração de OBR possível. Para a nanoemulsão de OBR, aguardente e álcool isoamílico as concentrações selecionadas foram 51% de OBR, 1% de aguardente e 48% de álcool isoamílico (NAIa) e para a nanoemulsão OBR, etanol hidratado e óleo

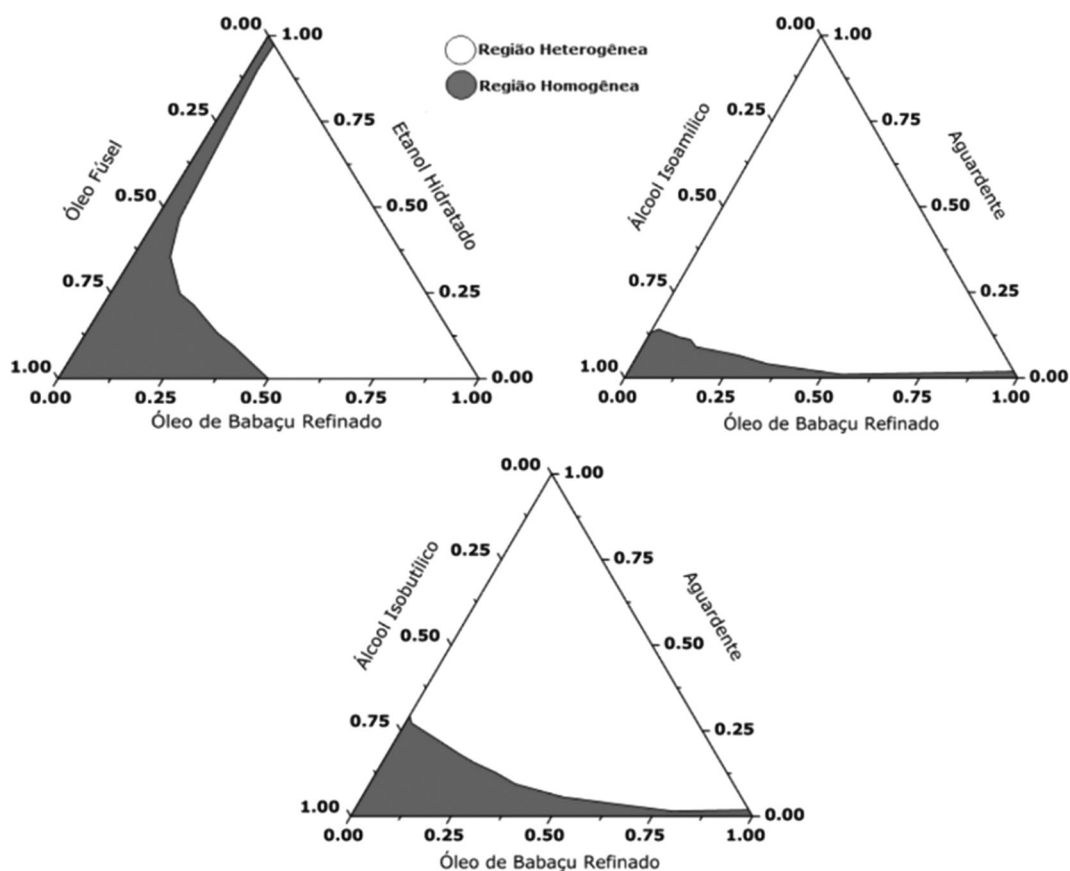


Figura 2. Diagrama de fase pseudoternário para o sistema formado por óleo de babaçu refinado, álcool isobutílico, aguardente. Fonte: Própria Autoria, 2020

Tabela 1. Viscosidade cinemática das composições das microemulsões

Microemulsões	1X_o % (m/m)	2X_A % (m/m)	3X_T % (m/m)	Viscosidade cinemática a 40 °C (mm^2/s)
	72	2	26	10.4
OBR, aguardente e álcool isobutílico	62	2	36	9.7
	56	4	40	8.6
	54	3	43	8.1
OBR, aguardente e álcool isoamílico	51	1	48	7.6
	47	1	52	7.0
	45	2	53	6.8
OBR, etanol hidratado e óleo fúsel	49	5	46	6.9
	47	6	47	6.6

1X_o : Fração mássica da fase oleosa; 2X_A : Fração mássica da fase aquosa; 3X_o : Fração mássica do tensoativo. Fonte: Própria Autoria, 2020.

fúsel as concentrações foi de 49% de OBR, 5% de etanol hidratado e 49% de óleo fúsel (NEF).

3.2. Tamanho médio das gotas das emulsões

Por meio da análise por espalhamento de luz, determinamos os tamanhos médios das gotas das emulsões de OBR, cujos valores para o NAIb, NAIa e NEF são 3.8 nm, 1.55 nm e 26 nm, respectivamente. Estes valores estão dentro do diâmetro médio de partícula característico de nanoemulsões (1-100 nm),²⁶ logo, as emulsões de OBR podem ser classificadas como nanoemulsões.

3.3. Características físico-químicas das blendas nanoemulsão/diesel

Na Tabela 2 estão presentes os valores de viscosidade, massa específica, ponto de fulgor e turbidez dos sistemas de microemulsões NAIb, NAIa e NEF misturados com o diesel. Observa-se que quanto menor a concentração de nanoemulsão de OBR na blenda com o diesel, menor será a viscosidade e a massa específica. O ponto de fulgor aparentou não ser dependente da concentração de diesel

Tabela 2. Propriedades físico-químicas da mistura nanoemulsão/diesel dos sistemas NAIb, NAIa e NEF

	Viscosidade (mm ² /s)		
	NAIb	NAIa	NEF
¹ N100	8.1	7.6	6.9
² N30	4.6	4.5	4.6
³ N20	4.1	4.2	4.1
⁴ N10	4.0	3.9	3.9
	Massa específica (kg/m ³)		
	NAIb	NAIa	NEF
N100	868.0	865.4	866.0
N30	849.2	845.2	848.3
N20	847.0	847.3	843.1
N10	844.2	843.4	845.3
	Ponto de fulgor (°C)		
	NAIb	NAIa	NEF
N100	32	48	33
N30	30	43	34
N20	30	42	33
N10	31	45	36
	Turbidez (NTU)		
	NAIb	NAIa	NEF
N100	1.26	0.63	4.54
N30	57.7	3.66	5.10
N20	867	3.23	4.51
N10	719	3.18	3.79

¹100% de nanoemulsão; ²30% de nanoemulsão e 70% de diesel; ³20% de nanoemulsão e 80% de diesel; ⁴10% de nanoemulsão e 90% de diesel. Fonte: Própria Autoria, 2020.

para os sistemas, sendo os maiores valores apresentados pelo sistema NAIa. Já com relação a turbidez, a combinação com diesel não elevou muito os valores, com exceção das misturas M10 e M20 do NAIb, que apresentaram turbidez elevada em comparação aos demais. Os valores de turbidez das blendas demonstram homogeneidade entre a nanoemulsão de OBR e o diesel.

Medimos também o índice de acidez para as microemulsões puras (M100) dos sistemas NAIb, NAIa e NEF, sendo os valores respectivos 0.04 mg KOH/g, 0.14 mg KOH/g e 0.22 mg KOH/g.

3.4. Emissão de CO

A Figura 3 apresenta as emissões de CO pelos sistemas de nanoemulsão e suas misturas com o diesel. Observa-se que a adição da nanoemulsão combustível diminui a emissão de CO em comparação com o diesel puro (M0), sendo esta diminuição proporcional a concentração de nanoemulsão.

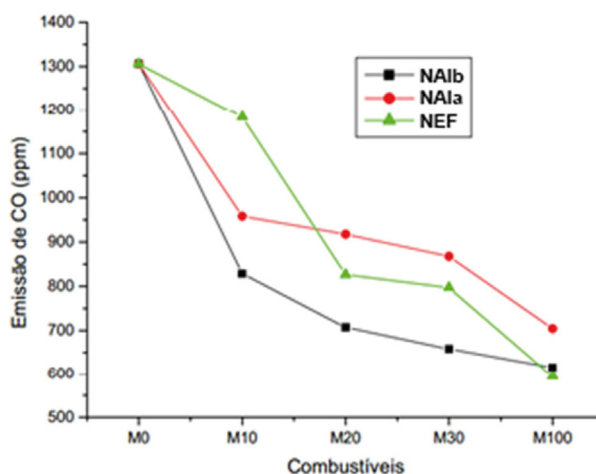


Figura 3. Variação da emissão de CO das blendas nanoemulsão/diesel. Fonte: Própria Autoria, 2020.

3.5. Emissão de NOx

A Figura 4 apresenta as emissões de NOx pelos sistemas de nanoemulsão e suas misturas com o diesel. Observa-se que a emissão de NOx do diesel aumentou com a adição das microemulsões NAIa e NEF, em contraste, houve diminuição com a adição de NAIb, sendo esta diluição mais evidente nos sistemas M10 e M20.

4. Discussão

De acordo com nossos resultados, demonstramos viabilidade da substituição parcial do diesel por microemulsões de OBR. A adição das microemulsões de OBR gerou uma combustão mais completa do diesel, como demonstrado pela redução da emissão de CO com o aumento do teor de OBR, resultado este condizente com os

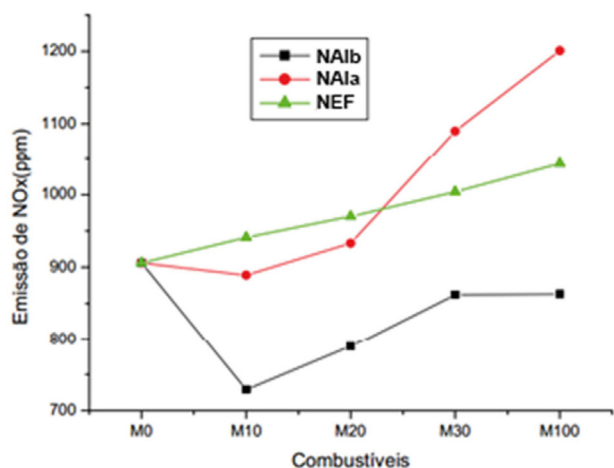


Figura 4. Variação da emissão de NOx das blendas nanoemulsão/diesel.
Fonte: Própria Autoria, 2020.

trabalhos que abordaram blendas biodiesel/diesel.^{27,28} Esta otimização da eficiência da combustão ocorreu devido a presença de átomos de oxigênio nas moléculas de biodiesel e tensoativo.²⁹ Em adição, o OBR microemulsionado apresentou menor emissão de CO que o óleo de babaçu não emulsionado. Varuvel, Subramanian e Prakhar Khatri³⁰ encontraram uma emissão de CO de 3200 ppm ao estudar as emissões da queima do óleo babaçu, enquanto que a maior emissão de CO de nossa nanoemulsão pura foi de aproximadamente 700 ppm pertencente ao sistema NAIa, demonstrando que o processo de nanoemulsão auxiliou na otimização da combustão.

Em complementação, observamos uma maior emissão de NOx nos sistemas NAIa e NEF quanto aumentado a concentração de OBR, sendo isto também atribuído à presença de átomos de oxigênio naturalmente presente no biodiesel.³¹ Este achado é condizente com os resultados na literatura para blendas biodiesel/diesel.^{29,32} Todavia, em contraste às demais amostras, NAIb reduziu a produção de NOx, o que potencialmente está associado a presença de moléculas de água. Koc e Abdullah¹⁹ observaram que a presença de água em nanoemulsões de água/diesel/biodiesel reduziu significativamente a emissão de NOx. Em nossa pesquisa, utilizamos no NAIb 3% de aguardente que é composto por aproximadamente 70-52% de água.³³ Portanto, sugerimos que a presença de uma maior concentração de água em NAIb em comparação às demais amostras resultou em diminuição da emissão de NOx. Este resultado para o NAIb é favorável considerando o NOx nocivo à saúde humana.³⁴

Já com relação às propriedades físico-químicas, as blendas com OBR apresentaram propriedades inferiores ao diesel. Observamos que à medida que a concentração de microemulsões de OBR aumenta, a viscosidade também aumenta, sendo isto um problema visto que viscosidades elevadas tentem a causar pressão excessivas de injeção no aquecimento do motor,³⁵ ou seja, mais energia é necessária para o bombeamento do combustível. A densidade

das blendas também aumenta proporcionalmente à concentração de nanoemulsão de OBR, o que também é um problema uma vez que pode gerar atraso no tempo de injeção.³⁶ Todavia, as blendas apresentaram viscosidade dentro do intervalo aceitável da norma ASTM D4052 de 1.9-6.0 mm²/s e a densidade apresentou valores ligeiramente inferiores à densidade mínima aceitável pela norma ASTM D4052, de 850-900 kg/m³. O índice de acidez para os sistemas microemulsionados estava abaixo do limite máximo estabelecido de 0.5 mg KOH/g. Baixos níveis de acidez é recomendável para evitar a corrosão do motor.³⁷ O ponto de fulgor das blendas foi inferior ao do diesel comercial (84 °C),³⁸ sendo isto atribuído à presença de compostos oxigenados de baixo ponto de ebulição nas microemulsões. As blendas, com exceção do sistema NAIa, também apresentaram ponto de fulgor inferior ao estabelecido pela norma ASTM D 93, de mínimo de 38 °C. O ponto de fulgor é uma propriedade importante para a operacionalidade, armazenamento, manuseio e transporte do combustível, e é dada como a temperatura que o vapor sobre combustível inflama na presença de uma fonte de ignição.³⁹ Todavia, embora apresente baixo ponto de fulgor, as blendas ainda são viáveis para produção e uso imediato, visto dispensabilidade de armazenamento e transporte à longas distâncias.

5. Conclusão

A adição de nanoemulsão de óleo de babaçu refinado melhora a queima do diesel, proporcionando uma combustão mais completa visto a menor produção de CO. Embora haja um aumento de produção NOx, é possível minimizar sua produção com a adição de quantidades maiores de aguardente. Com relação às propriedades físico-químicas as blendas são inferiores ao diesel puro, todavia, com valores dentro ou muito próximos ao estabelecido pela regulamentação, o que torna viável seu emprego como combustível, que, embora apresente baixo ponto de fulgor, ainda é viável para uso imediato.

Referências Bibliográficas

1. Ntziachristos, L.; Papadimitriou, G.; Ligterink, N.; Hausberger, S.; Implications of diesel emissions control failures to emission factors and road transport NOx evolution. *Atmospheric Environment* **2016**, *141*, 542. [Crossref]
2. Wang, S. Y.; Kuo, Y. C.; Hong, A.; Chang, Y. .; Kao, C. M.; Bioremediation of diesel and lubricant oil-contaminated soils using enhanced landfarming system. *Chemosphere* **2016**, *164*, 558. [Crossref]
3. Vlaev, L.; Petkov, P.; Dimitrov, A.; Genieva, S.; Cleanup of water polluted with crude oil or diesel fuel using rice husks ash. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers* **2011**, *42*, 957. [Crossref]

4. Lenferna, G. A.; Can we equitably manage the end of the fossil fuel era? *Energy Research and Social Science* **2018**, *35*, 217. [[Crossref](#)]
5. Tabatabaei, M.; Aghbashlo, M.; Dehghani, M.; Panahi, H. K. S.; Mollahosseini, A.; Hosseini, M.; Soufiyan, M. M.; Reactor technologies for biodiesel production and processing: A review. *Progress in Energy and Combustion Science* **2019**, *74*, 239. [[Crossref](#)]
6. Keera, S. T.; El Sabagh, S. M.; Taman, A. R.; Castor oil biodiesel production and optimization. *Egyptian Journal of Petroleum* **2018**, *27*, 979. [[Crossref](#)]
7. Veljković, V. B.; Biberdžić, M. O.; Banković-Ilić, I. B.; Djalović, I. G.; Tasić, M. B.; Nježić, Z. B.; Stamenković, O. S.; Biodiesel production from corn oil: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **2018**, *91*, 531. [[Crossref](#)]
8. Chen, J.; Li, J.; Dong, W.; Zhang, X.; Tyagi, R. D.; Drogui, P.; Surampalli, R. Y.; The potential of microalgae in biodiesel production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **2018**, *90*, 336. [[Crossref](#)]
9. Figueredo, I. D. M.; Rios, M. A. D. S.; Cavalcante, C. L.; Luna, F. M. T.; Effects of Amine and Phenolic Based Antioxidants on the Stability of Babassu Biodiesel Using Rancimat and Differential Scanning Calorimetry Techniques. *Industrial and Engineering Chemistry Research* **2020**, *59*, 18. [[Crossref](#)]
10. Teixeira, M. A.; Babassu-A new approach for an ancient Brazilian biomass. *Biomass and Bioenergy* **2008**, *32*, 857. [[Crossref](#)]
11. Jackson, F. L.; Longenecker, H. E.; The fatty acids and glycerides of babassu oil. *Oil & Soap* **1944**, *21*, 73. [[Crossref](#)]
12. Santos, N. A.; Tavares, M. L. A.; Rosenhaim, R.; Silva, F. C.; Fernandes, V. J.; Santos, I. M. G.; Souza, A. G.; Thermogravimetric and calorimetric evaluation of babassu biodiesel obtained by the methanol route. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry* **2007**, *87*, 649. [[Crossref](#)]
13. Lima, J. R. D. O.; Da Silva, R. B.; Da Silva, C. C. M.; Dos Santos, L. S. S.; Dos Santos, J. R.; Moura, E. M.; De Moura, C. V. R.; Biodiesel de babaçu (*Orbignya sp.*) obtido por via etanólica. *Química Nova* **2007**, *30*, 600. [[Crossref](#)]
14. Dunn, R. O.; Effects of minor constituents on cold flow properties and performance of biodiesel. *Progress in Energy and Combustion Science* **2009**, *35*, 481. [[Crossref](#)]
15. Abu-Elyazeed, O. S. M.; On the ignition delay of two types of Castor oil bio-diesel using shock tube experiments. *Fuel* **2015**, *144*, 157. [[Crossref](#)]
16. Lanjekar, R. D.; Deshmukh, D.; A review of the effect of the composition of biodiesel on NOx emission, oxidative stability and cold flow properties. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **2016**, *54*, 1401. [[Crossref](#)]
17. Leng, L.; Han, P.; Yuan, X.; Li, J.; Zhou, W.; Biodiesel microemulsion upgrading and thermogravimetric study of bio-oil produced by liquefaction of different sludges. *Energy* **2018**, *153*, 1061. [[Crossref](#)]
18. Fernando, S.; Hanna, M.; Development of a novel biofuel blend using ethanol-biodiesel-diesel microemulsions: EB-diesel. *Energy and Fuels* **2004**, *18*, 1695. [[Crossref](#)]
19. Koc, A. B.; Abdullah, M.; Performance and NOx emissions of a diesel engine fueled with biodiesel-diesel-water nanoemulsions. *Fuel Processing Technology* **2013**, *109*, 70. [[Crossref](#)]
20. Louzeiro, H. C.; Microemulsões combustíveis a partir do óleo de babaçu para substituir o diesel em motores estacionários, 2012. [[Crossref](#)]
21. Gomes, P. R. B.; Marques Mendonça, K. K.; Dias, C. da S.; Mouchrek Filho, V. E.; Louzeiro, H. C.; Carvalho Filho, F.; Maciel, A. P.; Fontenele, M. A.; Microemulsiones combustibles a base de aceite de babaçu (*Orbignya martiniana*). *Revista ION* **2020**, *33*, 71. [[Crossref](#)]
22. Dias, C. da S.; Louzeiro, H. C.; Silva, F. C.; Maciel, A. P.; Obtenção e uso de microemulsões combustíveis de óleo de babaçu (*Orbignya phalerata*) em motor do ciclo diesel. **2014**, *11*. [[Crossref](#)]
23. ASTM D-445-06 (2006): Standard Test Method for Kinematic Viscosity of Transparent and Opaque Liquids (and Calculation of Dynamic Viscosity) 2006. [[Crossref](#)]
24. ASTM D93-20: Standard Test Methods for Flash Point by Pensky-Martens Closed Cup Tester 2020. [[Crossref](#)]
25. ASTM D-664-06 (2006): Standard Test Method for Acid Number of Petroleum Products by Potentiometric Titration 2006. [[Crossref](#)]
26. Chin, A. B.; Yaacob, I. I.; Synthesis and characterization of magnetic iron oxide nanoparticles via w/o microemulsion and Massart's procedure. *Journal of Materials Processing Technology* **2007**, *191*, 235. [[Crossref](#)]
27. Gharehghani, A.; Mirsalim, M.; Hosseini, R.; Effects of waste fish oil biodiesel on diesel engine combustion characteristics and emission. *Renewable Energy* **2017**, *101*, 930. [[Crossref](#)]
28. Asokan, M. A.; Senthur prabu, S.; Kamesh, S.; Khan, W.; Performance, combustion and emission characteristics of diesel engine fuelled with papaya and watermelon seed oil bio-diesel/diesel blends. *Energy* **2018**, *145*, 238. [[Crossref](#)]
29. Özener, O.; Yüksek, L.; Ergenç, A. T.; Özkan, M.; Effects of soybean biodiesel on a DI diesel engine performance, emission and combustion characteristics. *Fuel* **2014**, *115*, 875. [[Crossref](#)]
30. Varuvel, E. G.; Subramanian, T.; Khatri, P.; Effect of diglyme addition on performance and emission characteristics of hybrid minor vegetable oil blends (rubber seed and babassu oil) in a tractor engine – an experimental study. *Biofuels* **2020**, *11*, 829. [[Crossref](#)]
31. Nabi, M. N.; Rahman, M. M.; Akhter, M. S.; Biodiesel from cotton seed oil and its effect on engine performance and exhaust emissions. *Applied Thermal Engineering* **2009**, *29*, 2265. [[Crossref](#)]
32. Leevijit, T.; Prateepchaikul, G.; Maliwan, K.; Mompiboon, P.; Eiadtrong, S.; Comparative properties and utilization of unpreheated degummed/esterified mixed crude palm oil-diesel blends in an agricultural engine. *Renewable Energy* **2017**, *101*, 82. [[Crossref](#)]
33. Silva, A. P. de; Silvello, G. C.; Bortoletto, A. M.; Alcarde, A. R.; Composição química de aguardente de cana obtida por diferentes métodos de destilação. *Brazilian Journal of Food Technology* **2020**, *23*, 1. [[Crossref](#)]
34. Kampa, M.; Castanas, E.; Human health effects of air pollution. *Environmental Pollution* **2008**, *151*, 362. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]

35. Tat, M. E.; Van Gerpen, J. H.; The kinematic viscosity of biodiesel and its blends with diesel fuel. *JAACS* **1999**, *76*, 1511. [[Crossref](#)]
36. Bayındır, H.; Işık, M. Z.; Argunhan, Z.; Yücel, H. L.; Aydın, H.; Combustion, performance and emissions of a diesel power generator fueled with biodiesel-kerosene and biodiesel-kerosene-diesel blends. *Energy* **2017**, *123*, 241. [[Crossref](#)]
37. Chandran, D.; Khalid, M.; Raviadaran, R.; Lau, H. L. N.; Liang Yung, C.; Kanesan, D.; Salim, M.; Sustainability of water in diesel emulsion fuel: An assessment of its corrosion behaviour towards copper. *Journal of Cleaner Production* **2019**, *220*, 1005. [[Crossref](#)]
38. Figueiredo, M. K. K.; Romeiro, G. A.; d'Avila, L. A.; Damasceno, R. N.; Franco, A. P.; The isolation of pyrolysis oil from castor seeds via a Low Temperature Conversion (LTC) process and its use in a pyrolysis oil-diesel blend. *Fuel* **2009**, *88*, 2193. [[Crossref](#)]
39. Hollebone, B.; *Measurement of Oil Physical Properties*, Elsevier: Amsterdam, 2011. [[Crossref](#)]