DESENVOLVIMENTO DE UM MODELO MATEMÁTICO PARA A PREVISÃO DO PONTO DE TURVAÇÃO DE BIODIESEIS

Isabela Aparecida dos Santos[1*], Sarah Arvelos Altino[1]

[1]Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Química, Uberlândia, Brasil [*](isabela.aps05@gmail.com)

O presente trabalho visa realizar o desenvolvimento de um modelo matemático para representar o ponto de turvação de biodieseis provenientes de matérias-primas comumente empregadas no Brasil para sua produção. Foi desenvolvido um modelo empírico, baseado no tamanho da cadeia carbônica dos ésteres puros que compõem majoritariamente o biodiesel. O modelo apresentou boa predição de dados experimentais, tendo desempenho igual ou superior a outros modelos de ampla aceitação pela comunidade científica.

Palavras-chave: biodiesel; ponto de névoa; saturação; ésteres

INTRODUÇÃO

O biodiesel é um combustível biodegradável, natural, renovável e pouco poluente, produzido a partir de óleos vegetais extraídos de diversas matérias-primas e pode ser usado em motores diesel. Ele é formado por ésteres de ácidos graxos, ésteres alquila de ácidos carboxílicos de cadeia longa e hidrocarbonetos de origem vegetal. Além de ter como vantagem a sustentabilidade ambiental e potencial para substituir de maneira total ou parcial os combustíveis fósseis. Esse combustível é produzido através do processo de transesterificação de óleos vegetais e gorduras animais com álcool e catalisador alcalino. A transesterificação para obtenção de óleos ocorre através da mistura de óleo vegetal ou gordura animal com um álcool simples na presença de catalisadores. Como resultado, originam-se o biodiesel e a glicerina (SINGH et al., 2020).

É interessante pensar-se em novas formas de energia, como o biodiesel, devido a necessidade de atender a crescente demanda de energia mundial que tem sido cada vez mais um grande desafio. Além do preço do petróleo e das questões ambientais associadas à queima de combustíveis fósseis. O uso em larga escala da energia proveniente da biomassa é apontado como uma grande opção que poderia contribuir para o desenvolvimento sustentável nas áreas ambiental, social e econômica (CRUZ et al. 2009).

As misturas de ésteres de ácidos graxos produzidas através da transesterificação podem ser obtidas a partir de diversas fontes graxas vegetais ou animais. Logo, estas misturas podem ter diferentes propriedades físico-químicas. Somente misturas que atendam certos padrões adotados pela legislação brasileira (ANP, 2019) podem efetivamente ser consideras biodieseis.

As características estruturais que influenciam as propriedades físicas e de combustível de uma molécula de éster graxo são: comprimento da cadeia, grau de saturação e ramificação da cadeia (MEJÍA; SALGADO; ORREGO, 2013). Para isto, diversos trabalhos já se debruçaram sobre o estudo de diversas propriedades físico-químicas dos biodieseis visando-se correlacionar a sua estrutura molecular com as propriedades físico-químicas (ANAND; SHARMA; MEHTA, 2011; ARVELOS et al., 2014; OLIVEIRA; MOURA; CARDOSO, 2012; SANTANDER et al., 2012; SURESH; JAWAHAR; RICHARD, 2018).

Dentre as propriedades de interesse dos biodieseis, destaca-se o ponto de turvação, que é a menor temperatura em que se observa a formação de uma turvação no biodiesel. Isso ocorre devido á formação de cristais de certas substâncias que estão presentes nesse combustível e tendem a separar-se dele, quando este é submetido a baixas temperaturas. Os cristais formados entopem filtros e linhas de combustível causando maiores dificuldades de partida do motor e a perdas de potência do equipamento devido à obstrução das tubulações e filtros do sistema de combustível (IMAHARA et al., 2006). É importante ter-se conhecimento a cerca dessa característica dos biodieseis, por ser um dos parâmetros que fornecem resultados esclarecedores quanto à qualidade do biodiesel. O ponto de turvação é frequentemente considerado a medida de fluxo a frio mais importante e difícil de melhorar (DANIAN et al., 2011; BALEN et al., 2015).

Nas últimas décadas, o biodiesel tem sido fabricado a partir de diferentes fontes de ácidos graxos. As propriedades químicas e físicas do biodiesel, incluindo o comportamento do fluxo a frio, dependem diretamente do perfil e das características dos ácidos graxos. Logo, é importante que existam modelos que

consigam prever como as características da matéria-prima irão influenciar nas características físicas do combustível, uma vez que a mistura de ésteres proveniente da transesterificação necessita seguir as especificações da Agência Nacional de Petróleo (ANP) para seu uso em motores (ANP, 2019)

No que tange ao ponto de turvação, diversas trabalhos experimentais já mostraram que o perfil graxo pode levar o biodiesel a ter características não desejáveis. Biodieseis derivados de matérias-primas com ácidos graxos saturados, como óleo de palma e óleo de coco, geralmente exibem propriedades fracas de fluxo a frio. Ácidos graxos saturados, como miristato de alquila (C14:0), palmitato de alquila (C16:0) e estearato de alquila (C18:0) são propensos à solidificação, mesmo à temperatura ambiente. Essa tendência é atribuída por suas estruturas moleculares uniformes e retas (DWIVEDI; SHARMA, 2013). O alto grau de saturação leva a um alto ponto de fusão e temperatura de cristalização. Por comparação, ésteres de ácidos graxos insaturados, como palmitoleato de alquila (C16:1), oleato de alquila (C18:1), linoleato de alquila (C18:2) e linolenato de alquila (C18:2), possuem estruturas flexíveis irregulares que são mais difíceis de se enovelarem, ou seja, ficam disposição solta que impede que seja as substâncias sejam solidificadas facilmente a baixa temperatura (SIA et al., 2020).

Na atualidade, diferentes modelos já foram apresentados na literatura para a previsão do ponto de turvação. Estes modelos são de natureza empírica, semi-empírica ou baseados em métodos de contribuição de grupos. Contudo, ainda faltam modelos que consigam representar o ponto de turvação de biodieseis compostos por triglicerídeos de cadeia média ou com alto nível de compostos saturados (PEREIRA; MEIRELLES; MAXIMO, 2020).

No artigo Imahara et. (2006), apresenta-se um modelo (Eq. 1) que prevê a temperatura de fusão (T_f) de uma mistura tendo como informação a fração molar da mesma e a temperatura de fusão dos componentes puros, tendo como premissa um modelo de solução ideal (MSI), ou seja, considera que as substâncias ao serem misturadas, não se modificam ao terem a presença das outras consigo.

$$PN = Tf = \left[\frac{1}{MP} - \frac{R_g ln(x_i)}{\Delta H_{fus}}\right] - 1 \qquad (1)$$

onde *MP* (K) e ΔH_{fus} (J / mol) são propriedades de fusão das espécies FAME puras, x_i é a fração molar da FAME e R_g é a constante do gás ideal. A temperatura de transição das espécies FAME '*i*' na mistura é T_f (no caso, o ponto de névoa – *PN*).

Dunn et. (2018) apresentaram uma modelagem baseada na fração de C16:0 presente na mistura de biodieseis. Trata-se de um modelo empírico em que o ponto de névoa é função unicamente da fração de C16:0. Os resultados da análise de regressão de 28 dados experimentais de misturas produziram a seguinte equação do modelo MODEC:

$$\left(\frac{1}{PN}\right) = (-1.02 \times 10^{-4}) ln(y_{C16}) - 3.44 \times 10^{-3} \qquad (2)$$

onde *PN* está em K e $R^2 = 0{,}887$.

Durante a avaliação dos dados consultados na literatura, observou-se que assim como o C16:0 utilizado como base para o modelo MODEC era abundante nos óleos consultados, os ácidos graxos do tipo C18:0, C18:1, C18:2 e C18:3 também eram abundantes.

Em virtude do que foi apresentado, o objeto do presente trabalho foi desenvolver um novo modelo para a previsão do ponto de turvação, o qual terá natureza empírica, e se baseará na estrutura molecular dos ésteres que os compõem (número de carbonos na cadeia do ácido graxo).

MATERIAL E MÉTODOS

Previamente ao ajuste dos modelos, os dados de regressão foram visualizados graficamente e o nível de correlação entre os dados foi calculado, de modo a identificar se o aumento ou a diminuição de alguma variável influenciava na outra.

Foi proposto o estudo de um modelo empírico estruturalmente similar ao MODEC o qual pode ser escrito da seguinte maneira:

$$PN = \{1/[A\ ln(y) + B]\} - 273.15 \qquad (3)$$

Neste modelo, A e B são parâmetros ajustáveis, *PN* é predito em °C e y representa a fração molar do éster de base. No caso do MODEC foi utilizado o C16:0. Neste trabalho, foram utilizados os ésteres C18:0, C18:1, C18:2, C18:3. Devido aos resultados obtidos, também foi avaliada a proposição de um modelo em que *y* representa a fração de ésteres saturados.

Os parâmetros do modelo foram obtidos via minimização dos resíduos quadrados (MMRQ) utilizando o algoritmo dos Gradiente Reduzidos Generalizados implementado no *software* Excel.
No MMRQ, a função objetivo (FO) é dada da seguinte maneira:

$$FO = \sum_{i=1}^{Np} (PN_P - PN_E)_i^2 \quad (4)$$

na qual *Np* é o número de pontos avaliados. *PN* indica o ponto de névoa e os subscritos *P* e *E* indicam dados preditos e experimentais, respectivamente.

Para avaliação dos modelos propostos, foi empregado o somatório dos módulos dos desvios absolutos (SDA), o qual pode ser escrito como na Equação (5):

$$SDA = \sum_{i=1}^{Np} |PN_P - PN_E|_i \quad (5)$$

A precisão dos modelos também foi avaliada em termos do coeficiente de determinação (R^2).

Os dados utilizados para obtenção dos parâmetros foram consultados no trabalho de Dunn et. (2018) e referem-se a misturas de biodieseis de palma, soja, graxa amarela e canola, totalizando 30 dados experimentais. Eles foram selecionados por estarem caracterizados quanto a sua composição em termos de ácidos graxos. O conjunto de dados para a validação da modelagem foi consultado em Alviso et al. (2020). Sendo este novo conjunto de dados composto por 12 pontos e são referentes aos óleos de semente de algodão, pequi, milho, amendoim, caroço de avelã, moringa, bagaço de azeitona, papoula, colza, farelo de arroz, sésamo e noz.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os níveis de correlação entre as variáveis de estudo (frações de ésteres metílicos) e o ponto de névoa foram calculados e os mesmos são apresentados na Figura 1. Notou-se que o aumento da fração dos ésteres saturados C14:0 e C16:0 favoreceram positivamente o ponto de névoa, assim como o aumento da fração do éster C18:3 favoreceu negativamente. Notou-se que para C14:0, C16:0 e C18:3 houve forte correlação, este parâmetro próximo de 1. A Figura 1 apresenta o gráfico de dispersão para visualização de atributos par a par, considerando a concentração de ésteres metílicos saturados C14:0, C16:0 e C18:3 e o ponto de névoa (PN).

Na sequência, procedeu-se o ajuste do modelo proposto tendo por base as frações de C16:0, C14:0 e C18:3. Inclui-se os ésteres C18, C18:1 e C18:2 por estes ocorrerem em grandes quantidades nos biodieseis estudados.

Os parâmetros no ajuste estão dispostos na Tabela 1, a qual também apresenta a soma dos desvios absolutos (SDA) de cada um dos modelos baseados nas frações dos ésteres C18:0, C18:1, C18:2, C18:3. Com esses parâmetros foi possível observar que o MSI apresenta resultados satisfatórios, tendo em vista que seus parâmetros não são ajustados a partir de dados experimentais de ponto de turvação de mistura (vide equação 1). Assim, o mesmo se mostra uma boa alternativa para uma estimativa inicial de *PN*.

Todavia, a modelagem com parâmetros ajustados a partir de dados experimentais possibilita uma oportunidade de aprimoramento de previsão de dados de *PN* como pode-se observar para a modelagem em termos dos ésteres de 18 carbonos e em termos de 16 carbonos (MODEC). A modelagem proposta com 18 carbonos foi superior à modelagem com 16 carbonos, independente da ocorrência de saturação ou não na cadeia. Prova-se isto os valores de DAS sempre menores. Na Figura 3 é possível observar a comparação do que se foi obtido dos modelos MSI, MODEC e modelagem com C18:2.

Pela Tabela 1 foi possível observar que o C18:3 apresentou melhores resultados (menores SDAs) dentre os ésteres modelados. Contudo, a análise de diversos bancos de dados experimentais mostrou que a adoção da fração de um único éster como base para a modelagem pode ser inviável. Isto porque nem sempre um éster comporá o biodiesel analisado. No caso, por exemplo, do C18:3, o mesmo não faz parte da composição de diversos biodieseis produzidos a partir de óleos não comestíveis, como apontado nos dados experimentais reportados por Alviso et al. (2020).

A modelagem analisada mostra que a adoção das frações de ésteres de 18 carbonos como base para a obtenção do modelo empírico rende um modelo mais preciso que o MODEC. Isto mostra que a premissa de que unicamente a fração de éster saturado rege o comportamento do ponto de névoa de biodieseis é falha.

.

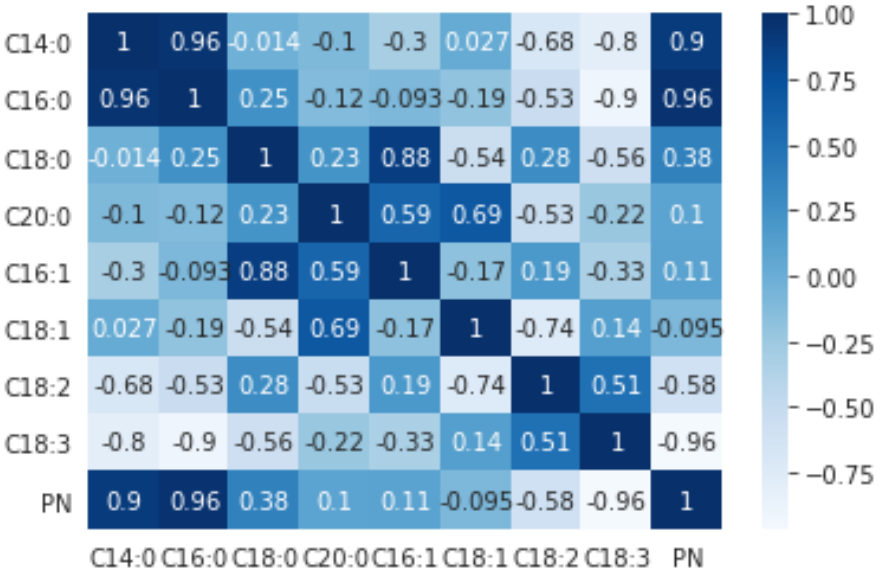


Figura 1. Nível de correlação entre as frações de ésteres (C14, C16, C18, C20, C16:1, C18:1, C18:2, C18:3, C20:1 e o ponto de névoa em ºC).

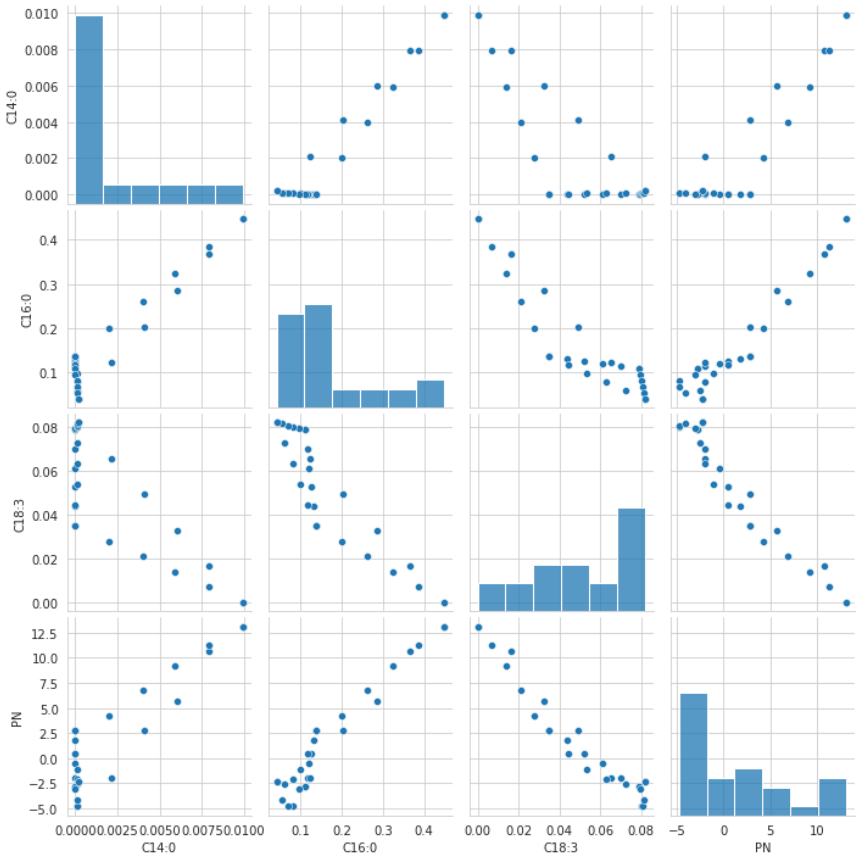


Figura 2. Gráfico de dispersão entre a fração molar de ésteres metílicos saturados (C14:0, C16:0, C18:3) e o ponto de névoa (PN) em °C, dados experimentais obtidos por Dunn et al. (2018).

Tabela 1. Soma dos desvios absolutos (SDA) dos valores preditos de ponto de névoa para misturas binárias de ésteres metílicos de óleo de canola (CAME); óleo de palma (PME); SME (óleo de soja); graxa amarela (YGME) tendo por base o modelo proposto e os modelos MODEC e MSI.

Misturas	C18:0	C18:1	C18:2	C18:3	MSI	MODEC
CAME+PME	1,25	0,77	0,85	0,02	7,02	2,45
SME+YGME	0,17	0,23	0,20	0,03	6,47	1,31
CAME+YGME	0,93	0,57	0,81	0,02	4,81	1,62
CAME+SME	0,93	0,85	0,94	0,06	5,06	2,37
PME+YGME	0,37	0,27	0,81	0,64	6,98	1,06
A	-8,07E-05	-2,83E-06	9,01E-05	9,01E-05	-	-1,04E-04
B	3,38E-03	3,64E-03	3,76E-03	3,93E-03	-	3,44E-03

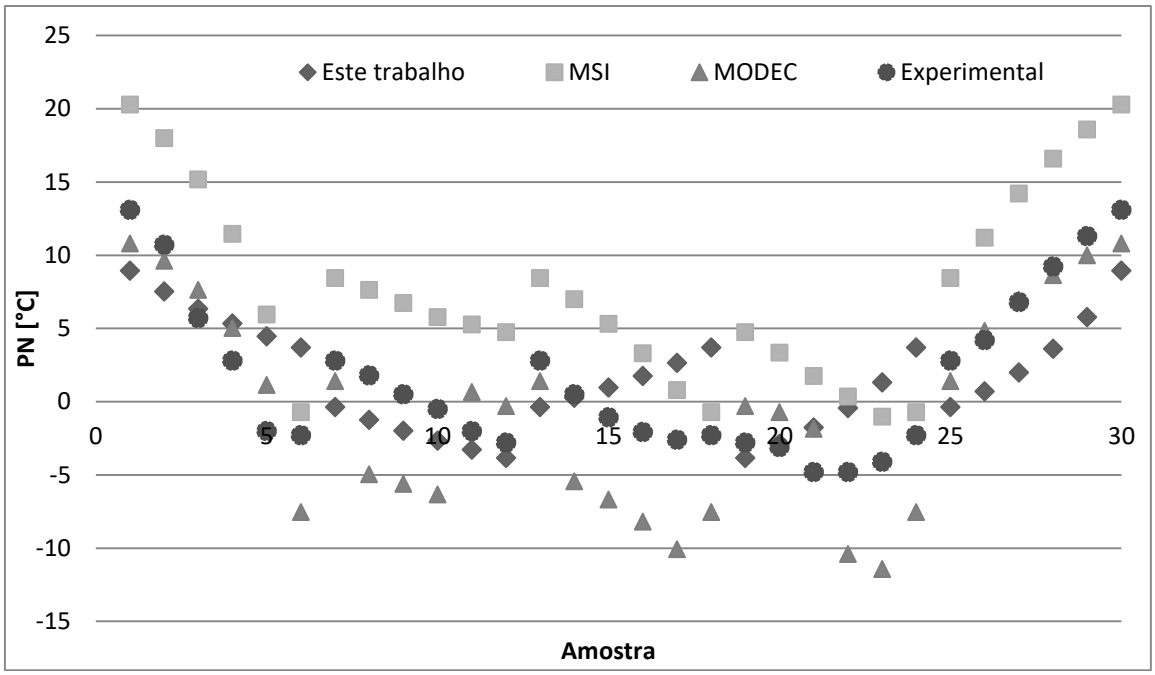


Figura 3. Gráfico de comparação da previsão dos pontos de névoa (PN) dos dados experimentais reportados por Dunn et. al (2020).

Como os modelos baseados na fração de um único éster pode não ser tão efetivo, uma vez que nem todas as matérias-primas possuem um tipo específico de éster (por exemplo, C16:0 ou C18:2), foi elaborado um novo modelo baseado nas ocorrências de saturações das cadeias carbônicas dos ésteres.

Partiu-se da seguinte premissa: Moléculas que apresentam saturações têm ponto de fusão mais elevado que moléculas de mesmo tamanho de cadeia carbônica insaturadas. Nesse modelo, admite-se a formulação conforme a Equação (3), contudo y representa a fração de ésteres saturados.

Nesta nova abordagem, A= -1,14E-04 e B= 3,45E-05. O novo modelo teve médias dos desvios absolutos inferiores para o conjunto de regressão.

Com o conjunto de dados de Alviso et al. (2020), contabilizando 12 amostras, foi realizada a validação dos modelos, para se ter uma melhor conclusão quanto a diferença de eficácia do modelo que utiliza o éster C18:2 e o MODEC. Como o C18:3 não é encontrado em todos os biodieseis modelados, procedeu-se uma comparação da modelagem utilizando-se a fração de C18:2, C16:0 (MODEC) e ésteres saturados. A Tabela 2 apresenta parâmetros estatísticos básicos para comparação entre os dados de ponto de névoa reportados por Dun et al. (2020) e Alviso et al. (2020). Nota-se que os conjunto de dados apresenta diferenças no intervalo entre os valores avaliados, o que é importante haver entre um conjunto de ajuste e um conjunto de validação.

Tabela 2. Comparativo entre os dados de ponto de névoa reportados na literatura consultada.

Item	Dados de Dunn et al. (2020)	Dados de Alviso *et al.* (2020)
Nº de dados	30	12
Média [ºC]	1,62	1,63
Desvio Padrão [ºC]	5,40	8,13
Valor Mínimo [ºC]	-4,80	-8,00
Valor Máximo [ºC]	13,10	18,00

A Tabela 3 apresenta um comparativo entre os dados experimentais de validação, o modelo MODEC e a modelagem utilizando como base a fração de ésteres metílicos C18:2 e saturados. Os novos ésteres advêm de matérias-primas diferentes das avaliadas para o conjunto de ajuste. Além disso, alguns biodieseis contêm ésteres diferentes dos característicos do conjunto de ajuste os quais estão adotados de cadeiras carbônicas de até 18 átomos. No novo grupo, apresentam-se: C20:0, C20:1, C22:0, C22:1 e C24:0.

A modelagem utilizando-se a fração de saturados também mostrou-se mais adequada à previsão dos pontos de névoa que o MODEC, tendo como vantagem o fato de não depender da ocorrência de C18:2 na mistura. Todos os modelos apresentaram grandes desvios no ajuste do ponto de névoa dos biodieseis feitos a partir de moringa e óleo de amendoim. Estes biodieseis são ricos em C18:1, contendo frações molares de 60,21 e 72,2%, respectivamente. Algumas das melhores previsões ocorreram para o biodiesel proveniente de óleo de farelo de arroz e de milho, os quais contém fração de C16:0 moderada (19,1 e 26,23%), fração de saturados menor que saturados (22% e 27%), mas frações diferentes de C18:2 (36,1 e 59,13%). O que mostra que a modelagem monoparamétrica tem suas limitações.

Tabela 3. Resultados da previsão do ponto de névoa utilizando-se os modelos MODEC e os baseados na fração de ésteres saturados e de C18:2.

Origem do biodiesel	Dados experimentais [°C]	Ponto de Névoa Predito [°C]			Desvio absoluto [°C]		
		Fração De saturados	MODEC	C18:2	Fração De saturados	MODEC	C18:2
Semente de Algodão	1,70	5,16	6,45	-4,03	3,46	4,75	5,73
Milho	-3,00	1,99	0,29	-0,30	4,99	3,29	2,70
Amendoim	8,00	3,57	-0,75	1,04	4,43	8,75	6,96
Caroço de avelã	-7,65	-3,56	-4,92	2,80	4,09	2,73	10,45
Moringa	18,00	1,25	-4,25	25,51	16,75	22,25	7,51
Bagaço de azeitona	2,00	-1,54	0,49	8,20	3,54	1,51	6,20
Amendoim	12,60	-2,14	-2,04	2,81	14,74	14,64	9,79
Papoula	-8,00	-0,12	-0,18	-4,58	7,88	7,82	3,42
Colza	-3,50	-9,14	-9,03	2,58	5,64	5,53	6,08
Farelo de arroz	5,00	3,19	3,95	-0,77	1,81	1,05	5,77
Sésamo	0,50	-3,80	-4,13	-5,43	4,30	4,63	5,93
Noz	-6,10	-2,61	-3,49	-3,94	3,49	2,61	2,16
				Média	6,23	6,63	6,06

CONCLUSÃO

A baixa temperatura ocorre a formação de cristais de certas substâncias que estão presentes no biodiesel. Os cristais formados entopem filtros e linhas de combustível causando maiores dificuldades de partida do motor e a perdas de potência do equipamento devido à obstrução das tubulações e filtros do sistema de combustível.

Por isso é importante ter-se conhecimento a cerca dessa característica dos biodieseis, por ser um dos parâmetros que fornecem resultados esclarecedores quanto à qualidade dele e para avaliar a aplicabilidade do combustível em regiões de clima frio. O ponto de névoa é frequentemente considerado a medida de fluxo a frio mais importante e difícil de melhorar.

E portanto, a modelagem considerando a saturação das matérias primas pode ser considerada de grande utilidade na pesquisa e desenvolvimento de biocombustíveis, sendo que a partir dos gráficos obtidos e dados apresentados, observa-se um bom desempenho na previsão do ponto de névoa dos biodieseis. Com a aplicação, foi possível identificar os pontos de névoa dos dados, apresentando uma boa correlação com as análises realizadas e demonstrando coerência com a realidade.

REFERÊNCIAS

ANAND, K.; SHARMA, R. P.; MEHTA, P. S. A comprehensive approach for estimating thermo-physical properties of biodiesel fuels. Applied Thermal Engineering, v. 31, n. 2–3, p. 235–242, 2011. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2010.09.003. Acesso em: 29 mar. 2021.

ANP, A. N. DE P. Resolução ANP n° 798/2019. Disponível em: http://www.in.gov.br/web/dou/-/resolucao-n-798-de-1-de-agosto-de-2019-208544998. Acesso em: 29 mar. 2021.

ARVELOS, S. et al. Evaluation of different contribution methods over the performance of Peng-Robinson and CPA equation of state in the correlation of VLE of triglycerides, fatty esters and glycerol+CO<inf>2</inf> and alcohol. **Fluid Phase Equilibria**, v. 362, 2014.

DUNN, R. O. Correlating the Cloud Point of Biodiesel to the Concentration and Melting Properties of the Component Fatty Acid Methyl Esters. **Energy and Fuels**, v. 32, n. 1, p. 455–464, 2018.

DWIVEDI, G.; SHARMA, M. P. Cold flow behaviour of biodiesel-A review. **International Journal of Renewable Energy Research**, v. 3, n. 4, p. 827–836, 2013.

IMAHARA, H.; MINAMI, E.; SAKA, S. Thermodynamic study on cloud point of biodiesel with its fatty acid composition. **Fuel**, v. 85, n. 12–13, p. 1666–1670, 2006.

LEGGIERI, P. A.; SENRA, M.; SOH, L. Cloud point and crystallization in fatty acid ethyl ester biodiesel mixtures with and without additives. Fuel, v. 222, n. September 2017, p. 243–249, 2018. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.fuel.2018.02.100. Acesso em: 29 mar. 2021.

LOPES, J. C. A. et al. Prediction of cloud points of biodiesel. **Energy and Fuels**, v. 22, n. 2, p. 747–752, 2008.

MALLAH, T. A.; SAHITO, A. R. Optimization of castor and neem biodiesel blends and development of empirical models to predicts its characteristics. **Fuel**, v. 262, n. October 2019, 2020.

MEJÍA, J. D.; SALGADO, N.; ORREGO, C. E. Effect of blends of Diesel and Palm-Castor biodiesels on viscosity, cloud point and flash point. Industrial Crops and Products, v. 43, n. 1, p. 791–797, 2013. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.08.026. Acesso em: 29 mar. 2021.

OLIVEIRA, A. C.; MOURA, L. F.; CARDOSO, D. Method of contribution of groups to estimate thermodynamic properties of components of biodiesel formation in liquid phase. Fluid Phase Equilibria, v. 317, p. 59–64, 2012. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1016/j.fluid.2011.09.026. Acesso em: 29 mar. 2021.

PEREIRA, E.; MEIRELLES, A. J. A.; MAXIMO, G. J. Predictive models for physical properties of fats, oils, and biodiesel fuels. Fluid Phase Equilibria, v. 508, p. 112440, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.fluid.2019.112440. Acesso em: 29 mar. 2021.

RAZAVI, R. et al. An insight into the estimation of fatty acid methyl ester based biodiesel properties using a LSSVM model. Fuel, v. 243, n. January, p. 133–141, 2019. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.01.077. Acesso em: 29 mar. 2021.

SANTANDER, C. M. G. et al. Measurements of normal boiling points of fatty acid ethyl esters and triacylglycerols by thermogravimetric analysis. **Fuel**, v. 92, n. 1, p. 158–161, 2012.

SIA, C. B. et al. Evaluation on biodiesel cold flow properties, oxidative stability and enhancement strategies: A review. Biocatalysis and Agricultural

Biotechnology, v. 24, p. 101514, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.bcab.2020.101514. Acesso em: 29 mar. 2021.

SURESH, M.; JAWAHAR, C. P.; RICHARD, A. A review on biodiesel production, combustion, performance, and emission characteristics of non-edible oils in variable compression ratio diesel engine using biodiesel and its blends. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 92, n. April 2017, p. 38–49, 2018. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.04.048. Acesso em: 29 mar. 2021.