

Processo de craqueamento termocatalítico para obtenção de bio-óleo e suas frações a partir do óleo residual de fritura

Process of cracking thermocatalytic for bio-oil obtaining and your fractions starting from the residual oil of fry

Mateus Soares de Oliveira¹, Liliam Gleicy de Souza Oliveira²

¹*Centro Universitário Luterano de Manaus, Bairro Japiim II, Manaus, AM, Brasil.*

²*Centro Universitário Luterano de Manaus, Bairro Japiim II. Manaus, Amazonas, Brasil.*

mateus_ss_oo@hotmail.com

Submetido em 10/07/2019; Versão revisada em 23/09/2019; Aceito em 25/09/2019

Resumo

O objetivo deste trabalho consistiu em produzir bio-óleo e suas frações a partir de óleo residual de fritura. Para tanto, efetuou-se o processo de craqueamento termocatalítico do óleo residual de fritura com carbonato de sódio. O bio-óleo produzido foi submetido ao processo de destilação fracionada nas temperaturas de obtenção das frações de gasolina, querosene e diesel. Os resultados para o bio-óleo mostraram que o rendimento foi satisfatório em todos os processos, e que houve redução da densidade e da viscosidade em relação ao óleo residual de fritura. Através do processo de destilação fracionada obteve-se biocombustíveis nas faixas de 40 – 175 °C (gasolina), 175 – 234 °C (querosene), 235 – 305 °C (diesel leve) e diesel pesado na faixa de destilação de 305 – 400 °C.

Palavras chaves: biocombustíveis; destilação fracionada; craqueamento

Abstract

The objective of this work consisted of producing bio-oil and your fractions starting from residual oil of fry. For so much, occurred the process of cracking termocatalytic of the residual oil of fry with carbonate of sodium. The produced bio-oil was submitted to the process of fractional distillation in the temperatures of obtaining of the fractions of gasoline, kerosene oil and diesel. The results for the bio-oil show that the revenue was satisfactory in all the processes, and that there was reduction of the density and of the viscosity in relation to the residual oil of fry. Through the process of fractional distillation it was obtained biocombustible in the strips of 40 - 175 °C (gasoline), 175 - 234 °C (kerosene oil), 235 - 305 °C (light diesel) and heavy diesel in the strip of distillation of 305 - 400 °C.

Keywords: biocombustible; fractional distillation; cracking

INTRODUÇÃO

O produto derivado de petróleo mais consumido no Brasil é o óleo diesel. Isso ocorre porque Brasil tem sua estrutura de transporte de cargas baseado quase que exclusivamente no setor rodoviário. Como consequência, o petróleo que poderia ser usado na indústria química acaba sendo queimado em motores a diesel (VICHI e MANSOR, 2009). Nesse contexto os biocombustíveis de óleos vegetais para motores a diesel podem minimizar esse “desvio” do petróleo. Somando-se a esse “desvio” do petróleo tem-se também o descarte inadequado do óleo de fritura, que até chegar as estações de tratamento causam entupimento das caixas de gordura residenciais, entupimento da rede de esgoto por incrustação das partículas de óleo e, quando esse óleo é lançado diretamente nos corpos hídricos ocorre uma redução da porcentagem de oxigênio dissolvido em água trazendo desequilíbrio a todo ambiente aquático (ZUCATTO *et al.*, 2013).

Entre os processos de obtenção de biocombustíveis a reação de craqueamento termocatalítico é uma tecnologia que vem ganhando destaque em vários trabalhos acadêmicos. O processo de craqueamento ocorre em duas etapas, sendo a primeira caracterizada pela formação de ácidos carboxílicos a partir da quebra das ligações C-O entre a parte glicéridica e o resto da cadeia. Na segunda etapa ocorre a degradação dos ácidos produzidos durante a primeira etapa (SANTOS *et al.*, 2014).

O produto produzido pelo craqueamento termocatalítico é o bio-óleo e pode ser destilado obtendo-se gasolina, querosene, diesel leve e diesel pesado. O bio-óleo não é biodiesel e por não existir normas específicas para sua produção esse produto não é comercializado como combustível (SANTOS, 2013).

Gazzoni e Felici (2006) apresentam algumas razões que favorecem o uso do craqueamento para produção de bio-óleo, entre as quais está a não produção de glicerol como subproduto, a não utilização

de álcool no processo, o menor custo de investimento fixo inicial e a relativa facilidade de operação.

O objetivo deste trabalho consistiu, em produzir bio-óleo e suas frações a partir de óleo residual de fritura. Para isso realizou-se a coleta e a preparação física da matéria prima e o processo de craqueamento para obter-se o produto líquido orgânico (PLO). Após a obtenção do produto líquido orgânico realizou-se a destilação do mesmo para separar-se as frações de gasolina, querosene, diesel leve e diesel pesado, que compõem a mistura.

MATERIAL E MÉTODOS

Obtenção e preparação física do óleo residual de fritura

Por conter muitas impurezas, o óleo residual foi purificado em uma série de filtragens. O filtro foi construído de acordo com a metodologia descrita por (RODRIGUES *et al.*, 2014). A primeira filtragem consistiu em passar o óleo residual por uma peneira de malha fina. Na segunda filtragem, adicionou-se a peneira de malha fina uma camada de palha de aço, e na terceira filtragem revestiu-se a peneira com uma camada de papel filtro e outra de algodão para reter resíduos mais finos. Após estas etapas utilizou-se um filtro comercial de café para a quarta filtragem. O processo de purificação e armazenamento do óleo residual é demonstrado nas (Figuras 1 e 2).

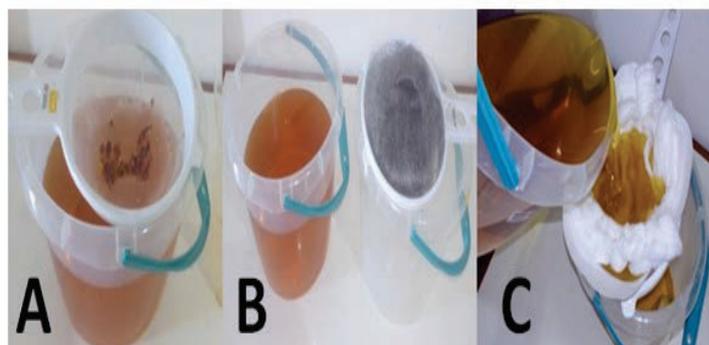


Figura 1: A) Filtração simples em peneira de malha fina; B) Filtração em palha de aço; C) Filtração em papel filtro e algodão



Figura 2: A) Filtração em filtro comercial de café; B) Óleo purificado

Preparação do catalisador

O catalisador utilizado foi o carbonato de sódio (Na_2CO_3). Para melhor desempenho foi realizada a desidratação do mesmo em uma Mufla durante 2 horas a temperatura de 300 °C seguindo a metodologia de (SANTOS, 2013).

Craqueamento em escala de bancada

Experimento 1 – sem catalisador

Aqueceu-se 300 g de óleo residual em um béquer até a temperatura de 70 °C, para a retirada da umidade presente. Em seguida foram adicionados ao balão de fundo redondo tritubulado de 1 L o óleo residual desumidificado e iniciou-se o aquecimento na manta aquecedora (QUIMIS, Modelo Q321A25), a uma taxa de aquecimento de 5,76 °C/min até a temperatura de 400 °C. O processo foi finalizado quando todo o óleo residual foi craqueado e encerrou-se o gotejamento do PLO. O produto líquido orgânico (bio-óleo) foi armazenado em garrafas pet.

Experimento 2 – com 3 % m/m de catalisador

Repetiu-se as etapas do experimento 1, adicionando-se 9 g (3% m/m) de carbonato de sódio ao óleo residual desumidificado e aqueceu-se a mistura a uma taxa de 5,76 °C/min até a temperatura de 400 °C. Finalizou-se o processo quando encerrou-se o gotejamento de PLO. O produto obtido foi armazenado em garrafa pet.

Experimento 3 - com 8 % m/m de catalisador

No experimento 3 repetiu-se todos os procedimentos do experimento 2, modificando-se apenas a massa do catalisador para 24 g (8% m/m), sendo a taxa de aquecimento de 5,76 °C/min. O

produto obtido foi armazenado em garrafa pet. O aparato experimental para o processo de craqueamento pode ser visto na (Figura 3).

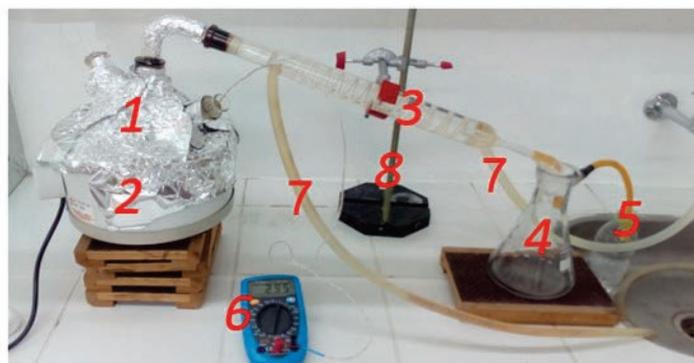


Figura 3: 1) Balão de fundo redondo tritubulado; 2) Manta aquecedora; 3) Condensador; 4) kitasato; 5) Exaustão dos gases; 6) Termômetro; 7) Mangueiras de entrada e saída de água; 8) suporte

Destilação fracionada em escala de bancada

O produto líquido orgânico obtido em cada experimento foi submetido ao processo de destilação fracionada. Para tanto, foi utilizado um sistema de destilação fracionada em escala de bancada composta por uma manta de aquecimento (QUIMIS, Modelo Q321A25), um balão de fundo redondo tritubulado de 1 L, uma coluna de fracionamento do tipo “Vigreux” de três estágios, um condensador, um funil de separação de 500 mL, um multímetro com função de termômetro (MINIPA, ET-1940) acoplado no balão de destilação e duas juntas conectoras.

Com a montagem do sistema, foi então realizada a destilação do bio-óleo. Para isso ligou-se a manta aquecedora com o cuidado de regular a potência para que a ebulição não fosse abrupta. A destilação prosseguiu até que cessasse o gotejamento do destilado. Cada fração foi recolhida e armazenada em garrafas pet. As faixas de temperatura da destilação fracionada foram: gasolina (40 °C – 175 °C), querosene (175 °C – 235 °C), diesel leve (235 °C – 305 °C), diesel pesado (305 °C – 400 °C). As etapas para a obtenção do bio-óleo e suas frações foi baseado na metodologia adaptada de Santos (2013) e Prado (2009), e estão descritas no fluxograma apresentado na (Figura 4).



Figura 4: Fluxograma do processo de craqueamento e destilação fracionada

Figura 4: Fluxograma do processo de craqueamento e destilação fracionada

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Rendimento dos produtos do craqueamento térmico e termocatalítico do óleo residual de fritura

Existem vários fatores que podem influenciar no rendimento dos produtos na reação de craqueamento, neste trabalho analisaremos a influência da temperatura, da taxa de aquecimento e da quantidade mássica do catalisador Carbonato de Sódio. O rendimento do processo de craqueamento do óleo residual de fritura está descrito na (Tabela 1).

Tabela 1

Rendimento da reação de craqueamento térmico e termocatalítico do óleo residual de fritura

Experimento	Taxa [°C/min] ¹	T ₀ [°C] ²	M _{cat} m/m [%] ³	η _{Re} [%] ⁴	η _{Gas} [%] ⁵	η _{PLO} [%] ⁶
1 (teste)	5,76	367,66	0	13,51	16,44	70,12
2	5,76	350,33	3	9,66	12,22	78,11
3	5,76	314,00	8	19,33	10,89	69,77

¹ Taxa de aquecimento; ² Temperatura inicial de craqueamento; ³ Percentual da massa do catalisador em relação a massa de óleo residual; ⁴ Rendimento residual do óleo de fritura; ⁵ Rendimento do gás; ⁶ Rendimento do produto líquido orgânico

Nos processos de craqueamento térmico (experimento 1 – teste) e termocatalítico (experimento 2 e 3) obteve-se majoritariamente a fração líquida. O rendimento do PLO foi maior para o craqueamento termocatalítico com 3 % m/m de catalisador evidenciando que o carbonato de sódio influencia significativamente o rendimento do processo. Esses resultados estão de acordo com os rendimentos obtidos por Santos (2013), onde foi obtido um percentual de rendimento de bio-óleo de 55,41 % para o processo com 10 % m/m de catalisador e 67,32 % para o processo realizado com 5 % m/m de catalisador

carbonato de sódio, confirmando que no craqueamento termocatalítico o aumento percentual do catalisador tende a um rendimento do PLO significativamente menor.

Conforme Ferreira (2014), o menor rendimento de PLO do processo de craqueamento termocatalítico com 8 % m/m de catalisador, pode ser relacionado ao fato de que as reações catalíticas geralmente tendem a uma produção adicional de água e de carvão, diminuindo desta maneira o rendimento do produto líquido orgânico. Sendo assim, o rendimento do resíduo é maior quando a porcentagem de catalisador aumenta. Isso pode ser visto na maior formação de resíduo na reação com 8 % m/m de catalisador, que foi de 19,33 %.

Nota-se também que não houve diferença significativa entre os processos de craqueamento térmico 70,12 % e o craqueamento termocatalítico com 8 % de catalisador (69,77 %). Desta maneira, tem-se que nesse percentual de catalisador 8 % m/m, o rendimento do processo é muito semelhante ao sem catalisador, tornando o processo mais vantajoso sem a adição do carbonato de sódio no tocante ao fator rendimento, pois o gasto econômico com catalisador seria evitado.

Constata-se ainda, que o rendimento gasoso obtido para os percentuais de catalisador (0 %, 3 % e 8 % m/m) foram respectivamente 16,44 %, 12,22 % e 10,89 %. De acordo com Santos (2013), o alto índice de formação de gases no processo de craqueamento indica a presença de hidrocarbonetos leves. Esses hidrocarbonetos podem ser reutilizados para o aquecimento do reator, reduzindo desta maneira os custos do processo.

A menor temperatura de início do processo de craqueamento (314,0 °C) foi alcançada para a relação de maior massa de catalisador (8 % m/m). Essa menor temperatura de craqueamento segundo Santos (2013), é devido a diminuição da energia de ativação da reação resultante da maior massa do catalisador carbonato de sódio presente da reação.

Quanto a taxa de aquecimento, Araújo (2012

afirma que uma menor taxa de aquecimento favorece um maior rendimento dos produtos líquidos. Isso pode ser visto nos rendimentos obtidos neste trabalho que ficaram na faixa de (69,88 % a 78,11 %) contra (55,41 % a 67,32 %) do rendimento obtido por Santos (2013). A taxa de aquecimento utilizada por Santos (2013) foi de 10 °C/mim e neste trabalho a taxa de aquecimento foi de 5,76 °C/mim.

Segundo Araújo (2012) com aquecimento lento, ocorrem reações secundárias que aumentam a formação de gases, enquanto taxas de aquecimento elevadas diminuem o rendimento do produto líquido. Isto se dá, porque o tempo de resfriamento para condensação é reduzido, ocasionando perda de produto que pode ser observada dentro da mangueira de saída de gás, após a coleta dos produtos.

Rendimento do processo de destilação fracionada

O bio-óleo contém vários produtos que ao serem destilados foram separados em suas frações. Neste trabalho obteve-se os produtos fracionários nas seguintes temperaturas de destilação:

- Gasolina (40 °C – 175 °C)
- Querosene (175 °C – 235 °C)
- Diesel leve (235 °C – 305 °C)
- Pesado (305 °C – 400 °C).

Os rendimentos dos produtos obtidos no processo de destilação fracionada estão descritos na (Tabela 2).

Tabela 2

Rendimento volumétrico dos produtos obtidos no processo de destilação fracionada

Fração de catalizador [%]	Experimento	η_r [%]	η_r [%]	η_r [%]	η_r [%]
		Gasolina	Querosene	Diesel Leve	Diesel Pesado
0	1	8,13	5,52	21,79	54,06
3	2	9,44	7,87	22,03	—

O rendimento volumétrico da fração de destilação da gasolina a partir do bio-óleo proveniente da reação sem catalisador foi de 8,13 % e para a gasolina oriunda do bio-óleo craqueado com 3 % m/m de catalisador o rendimento foi de 9,44 %. A diferença é irrisória, e esse

resultado mostra que nesse processo a pequena quantidade de catalizador 3 % m/m não foi suficiente para gerar grandes diferenças no rendimento. De acordo com Lopes *et al.*, (2017) esse baixo rendimento pode ser consequência da não condensação de grande parte dos gases formados.

Outro fator que pode ter influenciado o resultado do rendimento da destilação da gasolina diz respeito a composição da matéria prima. Óleos e gorduras com elevada quantidade de ácidos graxos insaturados e com cadeias carbônicas relativamente pequenas favorecem a obtenção da fração de gasolina com elevado teor de aromáticos. Já aqueles com elevado teor de ácidos graxos saturados e com cadeias carbônicas grandes favorecem a obtenção da fração do diesel com menor quantidade de aromáticos (LHAMAS *et al.*, 2013).

O óleo residual contém elevado teor de gordura saturada, por isso o rendimento de gasolina seria menor. Aliado a isso, tem-se também o processo de fritura, que afeta diretamente esse teor de saturação aumentando-o significativamente. Quanto maior o tempo de fritura maior será o teor de gorduras saturadas. Isso pode ter contribuído para o menor rendimento da fração da gasolina no processo de destilação (SANIBAL e FILHO, 2002).

A fração destilada na temperatura de obtenção de querosene foi de 5,52 % para o bio-óleo proveniente da reação de craqueamento térmico. Nota-se que houve um pequeno aumento na fração de querosene de 5,52 % para 7,87 % com relação ao bio-óleo obtido da reação de craqueamento com 3 % m/m de catalisador carbonato de sódio. No entanto, o rendimento dessa fração ainda muito foi pequeno em relação ao diesel, e muito próximo a fração da gasolina, o que de acordo com Lhamas *et al.*, (2013), se justifica pelo grande teor de gorduras saturadas, já exposto anteriormente.

Para o processo de destilação fracionada do bio-óleo sem catalisador e com 3 % m/m de catalisador obteve-se um rendimento volumétrico de diesel leve de 21,79 % e 22,03 % respectivamente.

Esse resultado evidencia que a baixa concentração de catalisador em relação a massa do óleo residual não foi relevante para alterar o rendimento do processo.

O significativo salto percentual no rendimento da fração de diesel leve e pesado, confirma que o óleo residual de fritura contém grande teor de gorduras saturadas (SANIBAL e FILHO, 2002), o que favorece o maior rendimento destas frações (LHAMAS *et al.*, 2013).

Densidade e viscosidade para o processo de craqueamento do PLO

A densidade e a viscosidade estão entre os principais fatores que impedem os óleos vegetais de serem utilizados diretamente em motores (KNOTHE *et al.*, 2011). Na Tabela 3 vê-se que a densidade e a viscosidade do óleo de fritura residual são inadequadas para fins automotivos. Justifica-se assim o processo de craqueamento termocatalítico para redução desses parâmetros com o intuito de adequá-los as normas especificadas pela Agência nacional de Petróleo, Biodiesel e Gás Natural ANP n° 65.

Os resultados das análises de densidade e viscosidade estão descritos na (Tabela 3) e são comparados com o padrão de qualidade do diesel de petróleo de acordo com a norma da Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) resolução n° 65 (ANP, 2011).

De acordo com os resultados obtidos nota-se que a viscosidade e a densidade dos produtos líquidos orgânicos diminuíram drasticamente em relação a amostra de óleo residual de fritura. Esse resultado demonstra que o processo de craqueamento foi eficiente em quebrar as moléculas grandes do óleo residual de fritura em moléculas menores, conferindo ao produto uma menor densidade e viscosidade.

O PLO craqueado sem a adição de catalisador (teste) teve o melhor resultado operacional, tendo sua densidade conformada com dos parâmetros de qualidade estabelecidos.

Na análise da densidade do PLO com 3 % m/m e 8% m/m de catalisador, os valores estão abaixo do padrão estipulado pela norma padrão da ANP n° 65. Segundo Mota (2013), essa discrepância dos resultados em relação ao padrão estabelecido pela ANP, possivelmente se deve a alguns fatores, tais como a composição química da matéria-prima utilizada, temperatura do processo, sistema de aquecimento, tipo de catalisador, percentual de catalisador, pressão, tipo de reator, tamanho do reator, tempo de resistência e vapor e a erros operacionais.

De acordo com Rodrigues (2007), um dos fatores que interferem diminuindo a densidade do PLO é a energia fornecida ao processo. Quanto mais energia o óleo residual receber no reator, maior será a possibilidade das reações secundárias ocorrerem, o que significa que o PLO terá menos compostos oxigenados, diminuindo desta maneira o peso molecular das moléculas presentes na mistura do PLO e conseqüentemente diminui-se a densidade.

Em seu estudo Rodrigues (2007), utilizou um reator de aproximadamente 500 L e o aquecimento foi realizado com gás de cozinha comercial a uma temperatura máxima de processo de 390 °C. A densidade obtida foi de 0,909 g/mL, valor acima do padrão estabelecido (0,820 – 0,880 g/mL). Tem-se com isso que o tamanho do reator também pode interferir nos resultados nos produtos. Ainda segundo Rodrigues (2007) a temperatura de craqueamento final influencia os resultados do parâmetro

Tabela 3

Características físico-químicas dos produtos líquidos orgânicos obtidos no processo de craqueamento.

Características	Óleo residual de fritura	PLO Teste	PLO 3 % de Na ₂ CO ₃	PLO 8 % de Na ₂ CO ₃	Diesel de petróleo (ANP N°65)
Densidade a 20 °C (g/mL)	0,9082	0,841	0,774	0,790	0,820-0,880
Viscosidade cinemática mm ² /s	8,62	2,43	2,16	1,97	2,0 a 5,0
Temperatura inicial de craqueamento [°C]	-----	367,66	350,33	314,00	-----

densidade. Neste trabalho a temperatura máxima de processo nas reações de craqueamento foi de 400 °C, o que possivelmente foi suficiente para a obtenção de frações de moléculas leves no produto final, e como consequência uma densidade abaixo do padrão da ANP n° 65.

Segundo a Confederação Nacional do Transporte (2012), os motores são projetados para operar em uma determinada faixa de densidade e valores de densidade acima da faixa de regulagem podem levar à produção de uma mistura rica de ar/combustível, o que aumenta a emissão de poluentes como hidrocarbonetos, monóxido de carbono e material particulado. Valores baixos de densidade podem favorecer a formação de uma mistura pobre, o que provoca perda de potência do motor e aumento no consumo de combustível. Com isso, o PLO obtido pelo processo de craqueamento forneceria menor quantidade de energia ao motor, prejudicando o seu funcionamento.

Quanto a viscosidade cinemática, os resultados da Tabela 3 mostram que os produtos líquidos craqueados estão conforme as normas da (ANP) n° 65, tendo a exceção do PLO com 8 % m/m de catalisador, alcançado um valor um pouco abaixo do valor mínimo permitido. Nesse ponto, o processo de obtenção do PLO foi eficiente em produzir um biocombustível semelhante ao diesel de petróleo no que tange a viscosidade.

Observando-se os resultados expostos na tabela 3, verifica-se que a temperatura inicial de craqueamento do PLO (teste) foi de 367,66 °C e sua viscosidade foi de 2,43 mm²/s e para o PLO com 3 % m/m e 8 % m/m de catalisador essas temperaturas foram de 350,33 °C e 314,00 °C respectivamente, e os resultados do índice de viscosidade também decresceram, sendo para o PLO com 3 % m/m de catalisador de 2,16 mm²/s e para o PLO com 8 % m/m de catalisador esse valor foi 1,97 mm²/s. Esses resultados fornecem subsídios para inferir que a temperatura de início do processo de craqueamento tem influência nos resultados finais da viscosidade

cinemática do PLO. Concomitante a isso, de acordo com Vélez (2017), fatores operacionais e tipo de matéria-prima também contribuem para a alteração das características físico-químicos do PLO.

Densidade do processo de destilação fracionada do PLO

Na (tabela 4) pode-se visualizar os resultados das análises da densidade dos destilados do PLO.

Tabela 4
Densidade do destilado nas frações de diesel leve e diesel pesado

Fração	Densidade a 20 °C (g/mL)	Diesel de petróleo (ANP N °65)
Diesel Leve Sem catalisador 235 °C - 305 °C	0,7559	0,820-0,880
Diesel Pesado Sem catalisador 305 °C - 400 °C	0,8204	0,820-0,880
Diesel Leve 3 % de catalisador 235 °C - 305 °C	0,7757	0,820-0,880
Diesel Pesado 3 % de catalisador 305 °C - 400 °C	0,7807	0,820-0,880

Para o diesel leve sem a presença de catalisador o valor da densidade ficou abaixo do padrão estabelecido. De acordo com Santos (2013), isso possivelmente ocorreu devido a mostra de PLO (teste) descrita na tabela 3, já ter uma baixa densidade (0,841 g/mL) e com a destilação fracionada, somente as moléculas menores receberam energia suficiente para destilar, produzindo assim uma mistura com um maior número de moléculas de menor peso molecular.

A fração de diesel pesado sem catalisador oriunda do PLO, atendeu ao padrão estabelecido. De acordo com Santos (2013), isso possivelmente ocorreu porque as moléculas do diesel pesado estão contidas na faixa de (C₁₈-C₂₅), justificando-se dessa forma a maior densidade da amostra.

A fração de diesel leve e diesel pesado do PLO proveniente do craqueamento com 3 % m/m de catalisador apresentou uma diferença de resultado irrisória e os valores da densidade destes produtos ficaram abaixo dos exigidos pela ANP.

Conforme Vélez (2017), esses resultados possivelmente sofreram interferência de fatores operacionais e da matéria-prima.

CONCLUSÃO

O processo de craqueamento termocatalítico é eficiente e proveitoso para a reciclagem de óleo residual de fritura, contribuindo para dar um destino ecologicamente sustentável a esse resíduo e ao mesmo tempo agregar valor com a produção de um biocombustível.

O rendimento obtido foi satisfatório, demonstrando que a realização em escala laboratorial do craqueamento termocatalítico é viável, mesmo sem o uso de catalisador.

O uso do catalisador carbonato de sódio altera significativamente para mais, o rendimento do produto líquido orgânico, fornecendo uma maior produtividade desse biocombustível, e este trabalho obteve rendimentos semelhantes aos descritos na literatura, justificando assim sua eficiência nesse aspecto.

As frações de diesel leve e diesel pesado estão em maiores quantidades nos produtos obtidos do processo de destilação fracionada, quando comparados com as frações de gasolina e querosene. Esses resultados mostraram que o processo de craqueamento com e sem catalisador a temperatura máxima de 400 °C favoreceu a formação de compostos com cadeias acima de 13 carbonos, tornando-se desta maneira a produção nas faixas de destilação da gasolina e querosene inviáveis devido aos baixos rendimentos.

A alta viscosidade e densidade são uns dos principais fatores que inibem a utilização do óleo vegetal diretamente em motores a diesel. Nesse quesito este trabalho obteve sucesso em melhorar essas propriedades, diminuindo significativamente tanto o valor da viscosidade quanto o da densidade. No entanto, alguns valores ficaram abaixo dos padrões estabelecidos pela norma de ANP nº 65, exigindo dessa forma que haja um maior rigor no controle dos

parâmetros operacionais. Os fatores taxa de aquecimento, temperatura de craqueamento, porcentagem do catalisador utilizado nas reações e qualidade da matéria prima se mostraram os principais componentes de alteração da precisão deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

Ao Centro Universitário Luterano de Manaus - CEULM/ULBRA pela estrutura e laboratórios concedidos e a Eternal Indústria Comércio Serviços e Tratamento de Resíduos da Amazônia LTDA, empresa do distrito industrial de Manaus por ter feito as análises físico-químicas do bio-óleo e suas frações.

REFERÊNCIAS

ANP - Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e biocombustíveis. Resolução nº 65, de 06 de novembro de 2011. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF. Disponível em: <www.anp.gov.br/wwwanp/?dw=63899>. Acesso em: 15 set. 2019.

ARAÚJO, A. M. M. **Conversão térmica e termocatalítica à baixa temperatura do óleo de girassol para obtenção de bioóleo**. 2012. 86 f. Dissertação (Mestrado - Ciência Engenharia de Petróleo) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2012.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE – CNT. **Procedimentos para a preservação da qualidade do óleo diesel b**. Disponível em: <<http://cms.cnt.org.br/Imagens%20CNT/Site%202015/Pesquisas%20PDF/Procedimentos%20para%20a%20preserva%C3%A7%C3%A3o%20da%20qualidade%20do%20%C3%B3leo%20diesel%20B.pdf>>. Acesso em: 10 ago. 2019.

FERREIRA, N. L. **Pirólise de biomassa lignocelulósica utilizando diferentes catalisadores para produção de bio-óleo** 2014. 115 f. Dissertação (Mestrado em Química – Físico-Química) da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo

Horizonte, 2014.

GAZZONI, D. L.; FELICI, P. H. N. **Craqueamento**: um processo para atender pequenos consumidores. Biodieselbr. Ano, 2011. Disponível em: <<https://www.biodieselbr.com/noticias/colunistas/gazzoni/craqueamento-processo-pequenos-consumidores.htm>>. Acesso em: 08 set. 2019.

KNOTHE, G.; et al. **MANUAL DO BIODIESEL**. 1ª Ed. São Paulo: Blucher, 2011.

LHAMAS, D. E. L. et al. **Estudo do Processo de Craqueamento Termocatalítico do Óleo de Palma (Elaeis guineensis) Neutralizado em Escala Semi-Piloto e Escala Laboratorial**. Associação Brasileira De Química – ABQ. Disponível em: <<http://www.abq.org.br/biocom/2011/trabalhos/64-9691.htm>>. Acesso em: 05 ago. 2019.

LOPES, M. J. A. et al. Obtenção da bio-gasolina provindo do craqueamento térmico catalítico do óleo de fritura residual utilizado com catalisador o carbonato de sódio (Na_2CO_3) a 98%. In: congresso brasileiro de química, 57, 2017, Gramado - RS. **Anais...** Gramado. Congresso Brasileiro de Química - CBQ, 2017.

MOTA, S. A. P. **Craqueamento termocatalítico de óleos vegetais em diferentes escalas de produção**. 2013. 307 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Recursos Naturais), Universidade Federal do Pará, Belém, 2013.

PRADO, M. R. C. **Produção de biocombustíveis por craqueamento de óleos química**. 2009. 137 f. Dissertação (Mestrado em química) Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2009.

RODRIGUES, J. P. **Avaliação da produção de combustíveis em processo de craqueamento térmico de óleo de soja em regime contínuo**. 2007.

50 f. Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade de Brasília, Brasília, 2007.

RODRIGUES, M. C. et al. Avaliação dos óleos de fritura utilizando processos distintos de filtragem como potencial para produção de biodiesel. In: congresso brasileiro de química, 54, 2014, Natal. **Anais...** Congresso brasileiro de química, 2014.

SANIBAL, E. A. A.; FILHO, J. M. Alterações físicas, químicas e nutricionais de óleos submetidos ao processo de fritura. **Food Ingred. South Am.**, v. 18, p. 64-71, 2002.

SANTOS, M. C. et al. Biocombustível produzido via craqueamento termocatalítico em escala de bancada. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Química, 20, 2014, Florianópolis. **Anais**. Florianópolis: XX COBEQ, 2014. p. 7554-7561.

SANTOS, W. G. **Craqueamento termocatalítico do óleo de fritura residual**. 2013. 107 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Instituto de Tecnologia da Universidade Federal do Pará, Belém, 2013.

VÉLEZ, D. C. P. **BIO-ÓLEO DE PIRÓLISE RÁPIDA COMO PRECURSOR DE FIBRA DE CARBONO**. 2017. 79 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciências dos Materiais) Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2017.

VICHI, F. M.; MANSOR, M. T. C. Energia, meio ambiente e economia: o Brasil no contexto mundial. **Quím. Nova**, São Paulo, v. 32, n. 3, p. 757-767, 2009.

ZUCATTO, L. C. et al. Cadeia reversa do óleo de cozinha: coordenação, estrutura e aspectos relacionais. **Revista de Administração de Empresas**. São Paulo, v. 53, n. 5, p. 442-453, Oct. 2013