

PRODUÇÃO DE BIODIESEL VIA INTERESTERIFICAÇÃO: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA DE UM MÉTODO PROMISSOR NO MERCADO DE BIOCOMBUSTÍVEIS

Jose Leandro Pereira do Nascimento¹
Agabio Torquato Gurgel Filho²
Virna Emanuelle Brasil Dantas Feitosa³
Semuel Ebenézer Dantas Costa⁴
Marcionila de Oliveira Ferreira⁵

INTRODUÇÃO

O uso de combustíveis fósseis, como o petróleo tem aumentado consideravelmente nas últimas décadas. No entanto, estudos de prospecção realizados no final do século XX revelaram que as principais reservas de petróleo do planeta deverão se esgotar em cerca de 100 anos. Além do eventual esgotamento das reservas de petróleo e os seus reflexos na economia, também é preciso considerar os aspectos ambientais. Segundo a Organização das Nações Unidas (ONU), o uso de combustíveis fósseis é a principal causa do aumento da concentração de gases do efeito estufa na atmosfera. Um estudo publicado pela ONU revelou que a temperatura média da terra aumentará entre 1,8 e 4 °C até o ano de 2100 e isto deverá acelerar o derretimento das geleiras, elevar o nível do mar e provocar intensos furacões. O balanço hídrico do planeta também deverá ser alterado e o índice pluviométrico de algumas regiões mudará de forma significativa. (RAMOS *et al.*, 2011)

Atualmente, o índice de degradação ao meio ambiente provocado pela queima de combustíveis fósseis vem aumentando nas últimas décadas de forma exacerbada, trazendo impactos não só ambientais, geopolíticos, mas também em vários níveis da sociedade (GOLDEMBERG e LUCON, 2007).

Medidas foram tomadas para diminuir o efeito provocado pela queima acentuada dos combustíveis não renováveis, o Protocolo de Quioto foi uma delas, onde os países integrantes

¹ Graduando do Curso de Tecnologia em Processos Químicos do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte – IFRN, jose.leandro.2026@gmail.com;

² Formado no Curso Técnico em Biocombustíveis no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte – IFRN, agabiofilho1@hotmail.com;

³ Formada no Curso Técnico em Biocombustíveis no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte – IFRN, virna_brasil@hotmail.com;

⁴ Mestre em Engenharia Química pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN, semuel.ebenezer@ifrn.edu.br;

⁵ Professor orientador: Doutora em Engenharia Química pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN, nilaof@gmail.com.

da Organização das Nações Unidas (ONU) se comprometeram a diminuir a emissão dos gases que estavam prejudicando o planeta terra aos poucos. Nesta perspectiva, estão inseridos os Biocombustíveis: a alternativa que tornou viável a combustão da matéria orgânica, mais estritamente a insumos agrícolas como, milho, cana-de-açúcar, soja, canola, entre outros (VIOLA, 2003). Atualmente, os principais biocombustíveis produzidos são a biomassa, bioetanol e o biodiesel.

O biodiesel é um tipo de biocombustível que apresenta vantagens sobre o diesel de petróleo, pois não é tóxico e é proveniente de fontes renováveis, além da melhor qualidade das emissões durante o processo de combustão. Embora o biodiesel forneça uma quantidade de energia cerca de 10% menor que o diesel de petróleo, seu desempenho no motor é praticamente o mesmo no que diz respeito à potência e ao torque. (LÔBO; FERREIRA; CRUZ, 2009)

A inserção do biodiesel na matriz energética brasileira possibilita além de auxílios de âmbito ambiental, a criação de empregos no que se diz à sua cadeia de produção, uma vez que agrega valor às matérias-primas, gera empregos e reduz as importações de óleo cru e óleo diesel refinado, entre outros impactos positivos. (LIMA et al., 2015)

Tendo em vista os variados aspectos supracitados, se faz necessário uma pesquisa por novas formas de produzir o biodiesel, viabilizando técnicas que difundam a produção desse combustível a nível nacional e mundial. O objetivo deste trabalho, então, é realizar uma revisão bibliográfica sobre o processo de interesterificação para síntese de biodiesel, abordando os principais aspectos e características desse processo, bem como analisar os resultados obtidos no meio acadêmico.

METODOLOGIA

Esta pesquisa se caracteriza como uma revisão bibliográfica de caráter analítico sobre o processo de interesterificação para síntese de biodiesel. A pesquisa sobre a coleta de dados foi realizada de 17 de dezembro de 2018 a 22 de junho 2019, utilizando-se como ferramenta de pesquisa artigos científicos. Definindo como critério de inclusão os artigos datados entre 1998 a 2019, os quais davam relevância ao novo método de produção de biodiesel, a interesterificação.

Foram utilizadas referências que abordavam problemas ambientais e o desenvolvimento de novos métodos sustentáveis de produção de um combustível renovável. Considerando o exposto, essa revisão da literatura justifica-se pela necessidade de maior conhecimento pela

comunidade acadêmica a respeito do tema abordado. Após a seleção dos artigos conforme os critérios de inclusão, foram seguidos os seguintes passos: leitura exploratória; leitura seletiva e escolha do material que se adequava aos objetivos e tema desta pesquisa; leitura analítica e análise dos textos, finalizando com a realização do artigo escrito. Dessa forma, com base nas informações encontradas na literatura, foram discutidos os obstáculos que prejudicam o desenvolvimento e expansão de métodos renováveis, como a interesterificação.

DESENVOLVIMENTO

1.1 HISTÓRICO DO PETRÓLEO

O petróleo foi descoberto no século XIX, daí em diante tornou-se um material de grande importância, quem o descobria e obtinha as fontes de petróleo tornava-se rico rapidamente, posteriormente o petróleo começou a ser chamado de ouro negro. Apesar de sua abundância inicial, durante a II Guerra Mundial houve escassez de combustíveis fósseis, aumentando o estímulo à busca de outros combustíveis (biocombustíveis). Porém, no final da guerra, a grande quantidade de petróleo importado, especialmente do Oriente Médio, com preços muito acessíveis, desestimulou o desenvolvimento e a utilização de combustíveis alternativos (GAMA, 2008).

Contudo, somente na década de 1970 foi descoberto que ele era um recurso natural não renovável (JUNIOR, s.d). A partir desse ano os investimentos em desenvolvimento de tecnologias alternativas de energia voltaram a aumentar, um dos motivos (além de não ser renovável), foram os desequilíbrios entre oferta e demandas mundiais. Em razão dessas crises, o mercado sentiu a necessidade de diminuir a dependência do petróleo, aumentando as pesquisas em outras fontes de energia, que poderiam substituí-lo (ENCARNAÇÃO, 2008)

1.2 SURGIMENTO DOS BIOCOMBUSTÍVEIS

Durante a década de 80 os cientistas passaram a alertar aos Governos sobre o fenômeno do aquecimento global, mostrando indícios cada vez mais convincentes de que a temperatura da terra, de fato, estava subindo a uma taxa maior do que a esperada pelos registros históricos, em decorrência a ações da humanidade. A principal causa desse fenômeno seria a queima de combustíveis fósseis, além dos níveis de dióxido de carbono na atmosfera (CERQUEIRA; RÉGIS, 2007).

O biodiesel é um biocombustível oriundo de muitas matérias primas diferentes como: óleos vegetais, óleos usados em frituras, gorduras animais, dentre outros. As oleaginosas responsáveis para a extração do óleo vegetal carecem de fatores geográficos, climáticos e econômicos. As principais oleaginosas são: soja, dendê, girassol, babaçu, amendoim, mamona, pinhão-manso e a carnaúba (KNOTHE et al, 2006)

Com isso, constata-se que a produção dos biocombustíveis, entre eles podendo-se destacar o álcool, etanol, biodiesel e biogás, são baseadas em tecnologias de primeira geração e que podem causar um menor dano a natureza, bem como a humanidade, por efeito de serem obtidos a partir de fontes de energias renováveis, mais baratas e mais abundantes (CARVALHO; BERTOLINI; BARCELLOS, 2015)

1.3 BIODIESEL NO BRASIL

Desde a década de 20, o Brasil vem investindo em pesquisas sobre a utilização de óleos vegetais como combustível, pesquisas estas que foram intensificadas e ganharam grande notoriedade após os choques do petróleo em 1973 e 1979. No Brasil, foi implementado o Programa Nacional de Óleos Vegetais para Produção de Energia (Pro-Óleo) e seus subprogramas, sendo descontinuado em meados da década de 1980. (RAMOS et al., 2011).

O biodiesel no Brasil foi adotado a partir de 2004, objetivando diminuir a dependência nacional para com o diesel, produto que vem sofrendo sucessivas altas de preço nos últimos anos (PENA, Rodolfo Alves, s.d. Em janeiro de 2008, entrou em vigor a mistura legalmente obrigatória de 2% (B2), em todo o território nacional. Com o perceptível amadurecimento do mercado brasileiro, esse percentual foi ampliado pelo Conselho Nacional de Política Energética (CNPE) sucessivamente até atingir 5% (B5) em janeiro de 2010, antecipando em três anos a meta estabelecida pela Lei nº 11.097, de 13 de janeiro de 2005. (ESTEVES; PEREIRA, 2015). Entre julho e outubro de 2014 o teor de mistura de biodiesel ao óleo diesel foi de 6% e entre novembro de 2014 e fevereiro de 2017 foi de 7%. A partir de março de 2017 a mistura passou a ser de 8%, em volume.

Na maioria das usinas o biodiesel é fabricado a partir do óleo de soja por via metílica. Para a obtenção do biodiesel é necessário, principalmente, três reagentes: óleo ou gordura, catalisador e um álcool (metanol ou etanol, usualmente), utilizando como método convencional a transesterificação. (TEBAS et al., 2017)

O subproduto da produção do biodiesel é o glicerol, composto orgânico pertencente à função álcool. Este se encontra em todos os óleos e gorduras provenientes de matéria-prima

vegetal ou animal em sua forma combinada, ou seja, ligado a ácidos graxos tais como o ácido esteárico, oleico, palmítico e láurico para formar a molécula de triacilglicerol. (LEHNINGER; NELSON; COX, 2008).

1.4 ÓLEOS VEGETAIS

O Brasil é um país que, por sua extensa área geográfica e clima tropical e subtropical, favorece uma ampla diversidade de matérias-primas para a produção de biodiesel. Destacam-se, dentre elas, as oleaginosas, como algodão, amendoim, dendê, girassol, mamona, pinhão manso e soja. São também consideradas matérias-primas para biocombustíveis as gorduras animais e óleos já utilizados em frituras de alimentos. (CHING; RODRIGUES, 2009)

Tradicionalmente, matérias-primas para biodiesel são classificadas em três grandes grupos: óleos comestíveis e não comestíveis, gorduras e materiais residuais ou de descarte. (RAMOS *et al.*, 2017)

1.5 SUBSTITUIÇÃO DO DIESEL POR BODIESEL

A substituição do diesel por biodiesel explica-se principalmente por motivos ambientais. O significativo aumento da concentração de CO₂ na atmosfera agrava o efeito estufa, intensificando as consequências tanto para a humanidade quanto para o meio em que esta habita. (OLIVEIRA; SUAREZ; SANTOS, 2007)

1.6 MÉTODOS DE OBTENÇÃO DO BODIESEL

Segundo Prasada (2014), os métodos mais utilizados para a produção do biodiesel são vários e dentre eles pode-se destacar a hidroesterificação, a esterificação e a transesterificação.

1.1.1 Hidroesterificação

O processo de hidroesterificação possibilita o uso de qualquer matéria-prima graxa, seja ela gordura animal, óleo vegetal, óleo de frituras usadas ou até mesmo borras ácidas, além de óleos vegetais refinados. A hidroesterificação envolve uma etapa de hidrólise e posteriormente de uma etapa de esterificação. A hidrólise constitui-se numa reação química entre a gordura ou o óleo com a água, originando glicerina e ácidos graxos. Após a realização da hidrólise, a glicerina é eliminada e os ácidos graxos gerados passam por um processo de esterificação com

um álcool que “neutraliza” a acidez presente nele. Na reação também é obtida, como subproduto, a água, que retorna para o processo de hidrólise. (ENCARNAÇÃO, 2008)

Diferentemente da transesterificação que gera sabões (que afetam o rendimento do produto final e dificulta a separação do biodiesel da glicerina), a hidroesterificação possui um diferencial principalmente no co-produto gerado que é a glicerina, esta que por sua vez possui um teor de purificação mais elevado do que a encontrada na transesterificação. (ENCARNAÇÃO, 2008)

1.1.2 Esterificação

O processo de obtenção do biodiesel por meio da esterificação baseia-se na reação de um ácido graxo com um mono-álcool (metanol ou etanol) para formar ésteres. As reações de esterificação são catalisadas por ácidos (SOLOMONS; FRYHLE, 2002). A produção de biodiesel a partir do processo de esterificação apresenta como principais vantagens a possibilidade de produção desse combustível a partir de resíduos de baixo valor agregado, e a formação apenas de água como subproduto (ARANDA E ANTUNES, 2004).

Os ésteres produzidos através da reação, possuem diversas aplicações industriais, como na produção de aromatizantes, plásticos, perfumes, produtos farmacêuticos e plastificantes (RAMESH; PRAKASH; BHAT, 2010).

1.1.3 Transesterificação

Na reação de transesterificação, o triglicerídeo reage com três moléculas de álcool na presença de um catalisador para obtenção de ésteres (no caso, o biodiesel), produzindo a glicerina como co-produto. Este processo é o mais utilizado atualmente, necessitando de matérias primas com baixa acidez e umidade, para assim, evitar reações indesejadas como por exemplo a saponificação, processo onde é produzido o sabão, que gera emulsificação e promove perdas no rendimento da reação (USEDA, 2015; MA; HANNA, 1999; MARCHETTI; MIGUEL; ERRAZU, 2007; MEHER; SAGAR; NAIK, 2006). A reação de transesterificação é reversível, portanto, o álcool geralmente é utilizado em excesso para deslocar o equilíbrio no sentido dos produtos. (MA; HANNA, 1999).

1.7 INTERESTERIFICAÇÃO

A necessidade de ter um processo que aproveitasse todo o potencial de oleaginosa para retirar o óleo, e obter um biodiesel de qualidade, causou o desenvolvimento de um processo chamado de interesterificação. A mesma consiste na reação de um triglicerídeo com três moléculas de acetato, gerando como produto três moléculas de ésteres (biodiesel) e uma molécula de triacetina. Esta reação tem como produtos intermediários o Monoacetildiglicerídeo e o diacetilmonoglicerídeo. A triacetina é usada principalmente como plastificante, como aditivo no tabaco, em indústrias farmacêuticas e de cosméticos (MADDIKERI, 2013).

A reação de interesterificação é reversível, requer a aplicação de proporções elevadas de acetato de metila para que haja o deslocamento do equilíbrio no sentido da formação dos monoésteres e triacetina, podendo ser facilmente recuperada por destilação, em consequência da sua maior volatilidade (XU, Y.; DU, W.; LIU, D, 2005)

A interesterificação tem sido estudada quase sempre na presença de enzimas (DU *et al.*, 2004) ou sob condições supercríticas (SAKA; ISAYAMA, 2009). Métodos supercríticos e enzimáticos têm suas vantagens e desvantagens. As principais desvantagens do método supercrítico incluem: pressões elevadas e altas temperaturas, o que resulta em um maior aquecimento e elevação dos custos (CAMPANELLI *et al.*, 2010). Já a rota enzimática da interesterificação proporciona um custo de produção mais elevado (MEHER *et al.*, 2006), bem como dificuldade na fabricação em maior escala, devido à necessidade de um controle cuidadoso dos parâmetros reacionais e lentidão da reação (CERVERÓ *et al.*, 2008)

Comparado a transesterificação, a interesterificação de óleos e gorduras com acetato de metila em meio heterogêneo oferece uma alternativa promissora, uma vez que o aumento significativo do glicerol formado no processo de alcoólise é associado, muitas vezes, a desvantagens econômicas e ambientais (RIBEIRO *et al.*, 2007).

Entretanto, há algumas desvantagens neste processo. A caracterização do processo de interesterificação em uma amostra de óleo de mamona de mostra que, no índice de acidez o óleo interesterificado apresenta maior quantidade de ácidos graxos livres, o que pode levar ao “envenenamento” do catalisador ou reações indesejáveis de saponificação dos TAGs da composição (ROCHA, 2015).

1.8 EFEITOS QUE INFLUENCIAM NO PROCESSO DE INTERESTERIFICAÇÃO

1.8.1 Catalisador

A reação de interesterificação pode ser catalisada por enzimáticos, heterogêneos e homogêneos.

Os homogêneos oferecem vantagens econômicas, pois apresentam valores mais baixos e necessitam de pouco tempo para reagir e são utilizados em baixas concentrações. (MEDEIROS, 2016). Entretanto, estão associados a problemas que podem aumentar os custos operacionais como etapas de separação e geração de efluentes, já que neste método os reagentes, produtos e catalisador estão na fase líquida (RIBEIRO, 2017).

Já o uso de catalisadores heterogêneos resulta em processos de separação mais simples e baratos, na redução de geração de efluentes e na redução de custos de energia e capital, além disso, os catalisadores não precisam ser continuamente carregados ao processo e podem ser facilmente reutilizados. Porém, este tipo de catalisador tem a desvantagem de requerer altas pressões, temperaturas e altas razões de solvente para o óleo. Eles podem ser básicos, ácidos e enzimáticos (RIBEIRO, 2017).

A interesterificação enzimática tem a vantagem de permitir grande controle sobre a distribuição posicional dos ácidos graxos no produto final, devido à seletividade e regioespecificidade de lipases (enzimas utilizadas) (GIOIELLI, 1998).

Os catalisadores mais usados são os alquilatos metálicos (metóxido ou etóxido de sódio), seguidos dos metais sódio, liga sódio-potássio e dos hidróxidos de sódio ou potássio em combinação com glicerol (GIOIELLI, 1998).

1.8.2 Temperatura

A temperatura costuma estar próxima à temperatura de ebulição do álcool ou acetato, que varia de 35° a 55°C. (MEDEIROS, 2016).

Na reação de interesterificação, o aumento da temperatura acarreta no aumento de conversão, que vai de encontro com a teoria cinética (Arrhenius) e da termodinâmica. Isso ocorre devido ao fato da reação de esterificação ser endotérmica, ou seja, quanto maior for a temperatura, maior será o rendimento. (VIEIRA, 2011)

1.8.3 Acetato

Nesse processo, o acetato de metila configura-se como o acetato mais frequentemente utilizado, pois a molécula deste acetato é menor em relação aos outros, o que resulta em maiores rendimentos. Há ainda outros acetatos em uso, mais com rendimento menor: acetato de etila, acetato de propila e acetato de isopropila. Na literatura, a melhor proporção de óleo/acetato de metila é entre 1:12 e 1:48 (MEDEIROS, 2016).

1.9 CONTROLE DE QUALIDADE DA REAÇÃO DE INTERESTERIFICAÇÃO

De acordo com Gioielli (1998), para comprovar a ocorrência da reação e determinar a sua qualidade, podem ser usados, basicamente, as seguintes técnicas de controle de qualidade:

- Alteração na cor: A mudança visual que ocorre é o desenvolvimento de coloração marrom que se intensifica com o progresso da reação. Normalmente a reação é processada por período de tempo fixo (0,5 - 1 h) após o aparecimento da cor escura.
- Ponto de fusão: É uma das mais rápidas e simples técnicas, controla pela mudança do ponto de fusão antes da reação e depois da reação. Entretanto, em alguns casos, as mudanças são tão pequenas que podem estar na faixa do erro experimental.
- Conteúdo da gordura sólida: O conteúdo de gordura sólida exprime a relação sólido-líquido da gordura a diversas temperaturas. As mudanças nos triacilgliceróis dos tipos tri-saturados e disaturados-mono-insaturados provocadas pela interesterificação são refletidas nas curvas de sólidos antes e após a reação.
- Análise da composição em acilgliceróis: são utilizadas as técnicas de cromatografia em camada delgada, cromatografia em fase gasosa e hidrólise por lipase pancreática para comprovar as alterações que ocorrem na composição em acilgliceróis das gorduras rearranjadas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com Medeiros (2016), na qual ele compara em seu estudo a produção de biodiesel de óleo de algodão via interesterificação com acetato de metila utilizando a ultrassom e agitação mecânica, ele analisa que, a conversão da reação de interesterificação utilizando ultrassom (98%) é mais elevada que a produção de ésteres metílicos pela técnica de agitação magnética (84%), pois a utilização de ultrassom resultou em aumento na conversão de 13%.

(83) 3322.3222

contato@conapesc.com.br

www.conapesc.com.br

Simões (2016) ao estudar os catalisadores sólidos, constata que o composto tipo hidrotalcita Ca 40%-Mg-Al apresenta melhores resultados na reação global, onde a condição mais adequada para a reação encontra-se na temperatura de 325°C, razão molar 40:1 e 5% m/m catalisador/óleo, onde atinge-se um rendimento global de 68,55% em 1.33h. Ele afirma também que o mesmo catalisador, sem tratamento algum, pode ser utilizado por pelo menos 3 ciclos de reação sem perda expressiva de atividade catalítica.

O estudo de catalisadores heterogêneos também se faz de muita importância para avaliar esse novo processo de obtenção de biodiesel. Ribeiro (2017) realiza um estudo em que promove e avalia a reação de interesterificação do óleo de macaúba com acetato de metila sobre diferentes catalisadores heterogêneos. A autora utiliza os seguintes catalisadores: γ -alumina, zeólita HY, fosfato de nióbio e ácido nióbico. O catalisador γ -alumina apresentou resultados superiores quando as condições de reação foram de 250° C, 5% de massa de catalisador e razão molar de acetato de metila para óleo de 30:1 e, em 1 hora de reação, foram obtidos 54,07 de teor (m/m) de ésteres metílicos e de triacetina. Nestas condições, o catalisador foi recuperado e reutilizado sem tratamento pelo menos 5 ciclos sem perda significativa de atividade catalítica (como citado anteriormente).

Na utilização de catalisadores ácidos heterogêneos, as melhores condições reacionais que podem ser utilizados são: 10% de catalisador, 100° de temperatura, razão molar de 1:5 (exceto para o catalisador do tipo HZSM-5). Assim pode-se obter as seguintes conversões aproximadas para os seguintes catalisadores: 67% (La_2O_3), 96% ($\text{SO}_4^{2-}/\text{La}_2\text{O}_3$), 80% (HZSM-5) e 100% ($\text{SO}_4^{2-}/\text{La}_2\text{O}_3/\text{HZSM-5}$).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Estudar novas formas de produzir o biodiesel se torna promissor no atual cenário de nossa matriz energética mundial, além de difundir esse biocombustível, a inserção de novas técnicas ajuda em solucionar problemas ocorridos em sua produção convencional.

A reação de interesterificação surge então como uma técnica proeminente, na qual um éster triglicérido de óleo vegetal reage com um acetato. Relativamente nova, esse método está em expansão no mercado, na qual é alvo de pesquisas e testes em laboratórios.

A pesquisa realizada neste trabalho mostra que esse processo tem um número muito reduzido de trabalhos acadêmicos em comparação com os outros processos convencionais, o

que pode servir de incentivo para futuros trabalhos nesta área. Porém, na literatura utilizada neste trabalho, pode-se inferir algumas questões na síntese de ésteres via interesterificação.

Na utilização de catalisador, surge uma gama de possibilidades entre os homogêneos, heterogêneos e enzimáticos que podem ser comparados a fim de se obter melhores conversões. Já na temperatura de reação, constata-se que quanto maior essas condições, maior é o rendimento do biodiesel, que nas pesquisas gira em torno de 300 °C aproximadamente.

Finaliza-se então, explanando o quanto essa técnica carece de expansão no meio científico e acadêmico e o quanto ela pode apresentar resultados positivos e elevados em comparação com a transesterificação convencional, por exemplo. A produção de biodiesel via interesterificação permite a produção de um biocombustível limpo, renovável, produzido de forma ágil, sendo uma alternativa propícia para o atual mercado energético.

REFERÊNCIAS

CASAS, Abraham; RAMOS, Maria Jesús; PÉREZ, Ángel. Kinetics of chemical interesterification of sunflower oil with methyl acetate for biodiesel and triacetin production. **Chemical engineering journal**, v. 171, n. 3, p. 1324-1332, 2011.

_____. Methanol-enhanced chemical interesterification of sunflower oil with methyl acetate. **Fuel**, v. 106, p. 869-872, 2013.

_____. New trends in biodiesel production: Chemical interesterification of sunflower oil with methyl acetate. **Biomass and bioenergy**, v. 35, n. 5, p. 1702-1709, 2011.

CHING, Wang H.; RODRIGUES, C. W. Cartilha do Sebrae sobre biodiesel. 2009.

FONSECA, M. G. *et al.* Produtos de sementes de oleaginosas – Fonte de energia renovável. **Anais do 52º Congresso Brasileiro de Química**. Recife, 2012.

GARCIA, João Carlos; MATTOSO, Marcos Joaquim; DUARTE, J. de O. Importância do milho em Minas Gerais. **Embrapa Milho e Sorgo-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2006.

GIOIELLI, Luiz Antonio. Interesterificação de óleos e gorduras. **Rev. Eng. Alim**, v. 4, n. 21, 1998.

KUSUMANINGTYAS, Ratna Dewi; PRISTIYANI, Riris; DEWAJANI, Heny. A New Route of Biodiesel Production through Chemical Interesterification of Jatropha Oil using Ethyl Acetate. **International Journal of ChemTech Research**, v. 9, n. 06, p. 627-634, 2016.

LIMA, A. L. et al. Parâmetros da reação de Transesterificação etílica com óleo de Milho para produção de biodiesel. **Eclética Química**, v. 35, n. 4, p. 101-106, 2010.

LIMA, Leomar Paulo et al. OPACIDADE DA FUMAÇA DE UM TRATOR AGRÍCOLA FUNCIONANDO COM TRÊS FONTES DE BIODIESEL COMO COMBUSTÍVEL. **Ciência & Tecnologia**: Fatec-JB, v. 7, n. 1, 2015.

LÔBO, Ivon Pinheiro; FERREIRA, Sérgio Luis Costa; CRUZ, Rosenira Serpa da. Biodiesel: parâmetros de qualidade e métodos analíticos. 2009.

MEDEIROS, Aldo Miro de. **Interesterificação do óleo de algodão com acetato de metila por ultrassom**. 2016. Dissertação de Mestrado. Natal, Brasil.

MENDES, André Pompeo do Amaral; COSTA, Ricardo Cunha da. Mercado brasileiro de biodiesel e perspectivas futuras. 2010.

RAMOS, Luiz P. *et al.* Biodiesel: Matérias-Primas, Tecnologias de Produção e Propriedades Combustíveis. **Rev. Virtual Quim**, v. 9, n. 1, p. 317-369, 2017.

_____. Tecnologias de produção de biodiesel. **Revista Virtual de Química**, v. 3, n. 5, p. 385-405, 2011.

RIBEIRO, Jéssica dos Santos. **Avaliação da interesterificação catalítica de óleo de macaúba com acetato de metila**. 2017. Dissertação de Mestrado. Santa Maria, Brasil.

ROCHA, Paulo Felisberto da. **Produção de biodiesel a partir de misturas de óleos e óleos interesterificados**. 2015. Tese de Doutorado. Maceió, Brasil.

SIMÕES, Santhiago Scherer. **PRODUÇÃO CATALÍTICA DE BIODIESEL DE SOJA SEM GLICEROL**. 2016. Dissertação de Mestrado. Santa Maria, Brasil.

SUSTERE, Z.; MURNIEKS, R.; KAMPARS, V. Chemical interesterification of rapeseed oil with methyl, ethyl, propyl and isopropyl acetates and fuel properties of obtained mixtures. **Fuel Processing Technology**, v. 149, p. 320-325, 2016.

VIEIRA, SARA SILVEIRA. **Produção de biodiesel via esterificação de ácidos graxos livres utilizando catalisadores heterogêneos ácidos**. 2011. Dissertação de Mestrado. Lavras, Brasil.

VIZZACCARO, Cauê. A batalha do biodiesel. Disponível em: <<http://www.bsbios.com/noticias/batalha-do-biodiesel/#.XEUVUztJKjIU>>. Acesso em 15 jan. 2019.