



BIODIESEL: CONTEXTO, CARACTERÍSTICAS, VANTAGENS E PRODUÇÃO

BIODIESEL: CONTEXT, CHARACTERISTICS, ADVANTAGES AND PRODUCTION

¹Bruna Sanmartin Vargas, ²Leandro Ademar Lissner, ³Sérgio Meth

Resumo: O biodiesel é um substituto do diesel derivado do petróleo e produzido a partir de fontes renováveis. Sua produção está em alta pelo fato de gerar menor impacto ambiental. Nessa revisão são apresentados tópicos como o panorama mundial e nacional dos biocombustíveis, o contexto histórico e do biodiesel, bem como suas características, vantagens, métodos de produção, matérias-primas, catalisadores utilizados e características físico-químicas analisadas pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis.

Palavras-chaves: biodiesel, produção, características.

Abstract: *The biodiesel is a substitute of diesel derived from petro oil and produced by renewable sources. In this review are presented topics such as the global and national panorama of biofuels, the historic context of biodiesel, its characteristics, advantages, production methods, raw materials, catalysts, and physical chemical characteristics analyzed by ANP.*

Keywords: *biodiesel, production, characteristics*

INTRODUÇÃO

Atualmente, os padrões de produção e consumo de energia são baseados em fontes fósseis, o que acarreta em emissões de poluentes, gases de efeito estufa e, ainda, compromete o suprimento de longo prazo do planeta. A preocupação com a escassez do petróleo e as mudanças climáticas ocasionadas pela queima de

¹Discente do Curso de Engenharia Química – (UNIPAMPA)

² Prof Mestre do Curso de Engenharia Química – (UNIPAMPA)

³ Prof Doutor do Curso de Engenharia Química– (UNIPAMPA)

combustíveis fósseis motiva a busca pela autossuficiência em geração de energia aliada a fontes energéticas alternativas (PACHECO, 2006).

Nesse contexto, iniciativas para potencializar o uso de energias renováveis estão em alta, e a produção de biocombustível é uma delas. Visando reduzir tanto a dependência do país em derivados do petróleo, quanto a emissão de poluentes, o governo brasileiro realizou estudos sobre a viabilidade de produção de biodiesel e desenvolveu o Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel, fortalecendo a matriz energética renovável do país (RODRIGUES; ACCARINI, 2007).

O biodiesel é capaz de gerar menor impacto ambiental, devido a sua combustão mais limpa. É adquirido a partir de óleos vegetais e obtido, prioritariamente, por reações de transesterificação (PARENTE, 2003). Para viabilizar o custo do processamento do biodiesel frente ao do diesel derivado do petróleo, o estudo de diferentes formas de obtenção é de interesse no aspecto de minimizar os gastos na produção.

PANORAMA MUNDIAL E NACIONAL DOS BIOCOMBUSTÍVEIS

A bioenergia desempenha um importante papel nos três principais setores de uso de energia: calor, eletricidade e transporte. A produção mundial de biocombustíveis, em 2015, foi dominada pelos Estados Unidos e Brasil, somando 72%, seguido pela Alemanha, Argentina e Indonésia. Cerca de 67% dos biocombustíveis gerados foram de etanol, enquanto 33% foram de biodiesel (REN21, 2016).

A produção mundial de biodiesel, por exemplo, chegou a 30,1 bilhões de litros em 2015, enquanto que a produção brasileira alcançou 3,9 bilhões de litros, um crescimento de 15% em relação a 2014, o que resultou na segunda colocação no ranking mundial de produtores de biodiesel. Já nos EUA, o aumento em relação a 2014 foi de apenas 2%, e ainda assim, ficaram no topo da produção mundial. Países

como Alemanha, Argentina, França, Holanda, Indonésia e Tailândia também se encontram entre os maiores produtores mundiais (REN21, 2016, 2017).

O aumento da produção de bicompostíveis justifica-se através das políticas públicas adotadas por esses países. Por exemplo, conforme relatório da *European Commission* (2011), existem 19 países da União Europeia (UE) que possuem metas de misturas obrigatórias, sendo que 14 destes têm isenções tributárias. Além disso, Espanha, Portugal e Letônia decretaram o uso obrigatório desde 2008 (REN21, 2016).

No Brasil, conforme o Ministério de Desenvolvimento Agrário (2016), foi lançado o Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (PNPB), em 2004, que determinou a definição do modelo tributário, o mecanismo denominado Selo Combustível Social, a organização de agricultores familiares, a criação de linhas de financiamento, o estímulo à formação do mercado nacional para o biodiesel por meio dos leilões de compra, etc.

Em janeiro de 2008, entrou em vigor a mistura legalmente obrigatória de 2% de biodiesel ao diesel, em todo o território nacional, percentual que foi ampliado pelo Conselho Nacional de Política Energética (CNPE) sucessivamente até atingir 5% em janeiro de 2010, antecipando em três anos a meta estabelecida pela Lei nº 11.097, de 13 de janeiro de 2005 (TAPANES *et al.*, 2013).

Atualmente, a quantidade obrigatória de biodiesel ao óleo diesel é de 7% em volume por volume (v/v), porém a Lei Nº 13.263, de 23 de março de 2016, prevê uma mistura obrigatória de 10% até 2019 (BRASIL, 2016).

Conforme dados do boletim mensal do biodiesel de fevereiro de 2017 da Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustível (ANP) (2017), a indústria nacional tem capacidade para produzir 20.930,81 m³/dia, ou seja, 7,6 bilhões de litros por ano. Isso significa que o Brasil poderia aumentar, imediatamente, a mistura de biodiesel ao diesel convencional para, pelo menos, 12%, segundo a Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais (2016).

De acordo com Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais (ABIOVE) (2016), a região Centro-Oeste respondeu por 44% de todo o biocombustível fabricado, seguido das regiões Sul (39%) e Sudeste (7%). A participação do diesel importado no total de diesel vendido no Brasil caiu de 19%, em 2014, para 12%, em 2015.

BIODIESEL

CARACTERÍSTICAS E VANTAGENS

O biodiesel é definido, quimicamente, como um éster de ácido graxo de cadeia longa, derivado de fontes de lipídios renováveis. Pelas semelhanças físico e termodinâmicas, o biodiesel e o diesel de petróleo possuem características de completa equivalência. Os valores de desempenho e consumo são praticamente equivalentes, e não exigem qualquer modificação ou adaptação dos motores (ENCARNAÇÃO, 2008).

As vantagens da utilização de biodiesel são inúmeras. Demirbas (2008), afirmou que o biodiesel é não-tóxico e degrada cerca de quatro vezes mais rápido do que petrodiesel, sendo altamente degradável tanto no solo, quanto na água. Ademais, o seu teor de oxigênio melhora o processo de biodegradação. Patil e Deng (2009) reportam que o biodiesel não contribui para um aumento líquido no nível de dióxido de carbono na atmosfera, e conduz a minimizar a intensidade do efeito estufa. Atadashi *et al.* (2010) expressam que o biocombustível reduz as emissões líquidas de dióxido de carbono em 78% em um ciclo de vida base. Além disso, o biodiesel é melhor do que o combustível diesel em termos de teor de enxofre, ponto de inflamação, conteúdo de aromáticos, viscosidade e densidade.

O biodiesel fornece uma melhoria significativa quanto a lubrificidade sobre o combustível diesel de petróleo. Resultados da lubrificidade do biodiesel e do petróleo utilizando métodos de ensaio industriais indicam que há uma acentuada melhoria na capacidade de lubrificação quando o biodiesel é adicionado ao combustível diesel

convencional. Até mesmo níveis de biodiesel abaixo de 1% podem fornecer um aumento de 30% na capacidade de lubrificação (DEMIRBAS, 2009).

Segundo o mesmo autor, o teor de oxigênio no biodiesel melhora e facilita o processo de combustão e diminui o seu potencial de oxidação. Isso ocorre devido a um aumento na homogeneidade de oxigênio com o combustível durante a combustão. Assim, a eficiência de combustão do biodiesel é maior do que a do combustível convencional.

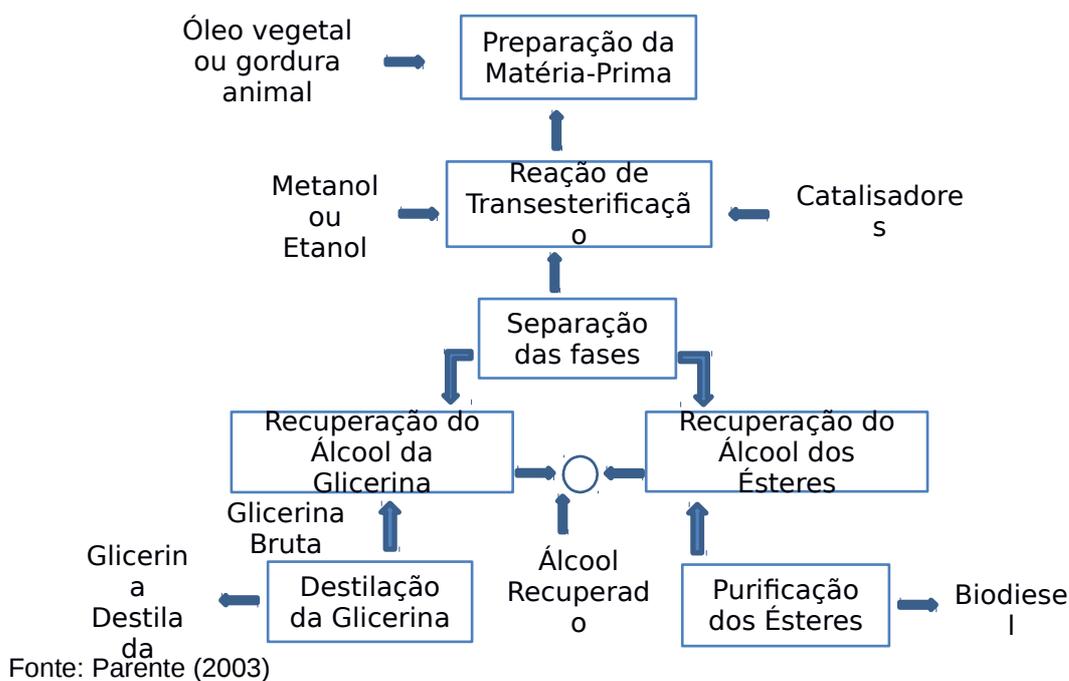
O caráter renovável do biodiesel é consequente do uso de matérias-primas oriundas de fontes renováveis, isto é, derivadas da agricultura, sendo o oposto dos derivados de petróleo. Na sua produção, essa característica não é aplicável quando se utiliza metanol para a reação de transesterificação. Desta maneira, a opção do Brasil por utilizar o etanol como agente transesterificante, derivado da biomassa, torna o biocombustível verdadeiramente renovável (RAMOS *et al.*, 2003).

Existem diversas técnicas de obtenção de biodiesel a partir de oleaginosas, tais como craqueamento térmico, micro emulsão e transesterificação. No entanto, a mais usada é a reação de transesterificação de óleos vegetais e gorduras animais com metanol ou etanol (QUESSADA, 2010).

REAÇÃO DE TRANSESTERIFICAÇÃO

A transesterificação, também denominada de alcoólise, é a reação entre um álcool de cadeia curta, como o metanol ou etanol e um triglicerídeo, formando éster e glicerol (PARENTE, 2003). Esse processo envolve as seguintes etapas: preparação de matéria-prima, reação, separação de fases, recuperação do álcool e purificação dos ésteres (ENCARNAÇÃO, 2008), conforme mostra a Figura 1.

Figura 1 - Etapas do processo de transesterificação



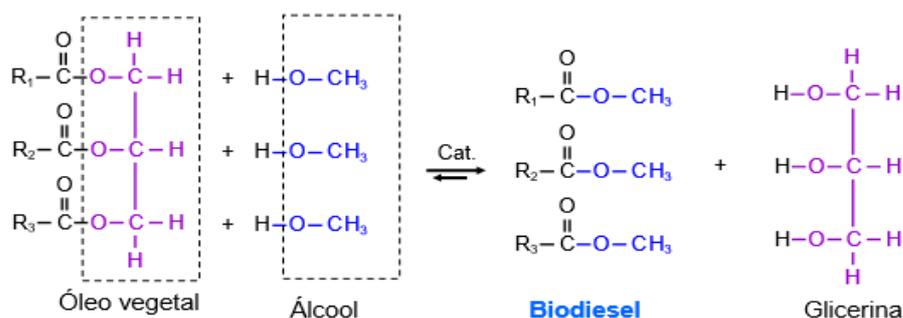
A fase inicial de preparação da matéria-prima é essencial, pois ela vai proporcionar condições efetivas para maior taxa de conversão da reação, além de evitar a formação de produtos saponificados. Conforme Albuquerque, G. (2006), é fundamental que a umidade e a acidez da matéria-prima utilizada sejam mínimas. Isso porque a presença de água provoca hidrólise do triglicerídeo, levando à formação de ácidos graxos livres, que por sua vez saponificam com o catalisador, gerando mais água (CANAKCI; GERPEN, 2001). Para evitar esse problema, realiza-se um processo de neutralização, ou seja, uma lavagem com solução alcalina de NaOH ou KOH, seguido de uma operação de secagem ou desumidificação. Se a

reação for catalisada por uma base é necessário que o valor de ácidos graxos livres seja inferior a 1% (VIEIRA, 2011).

Segundo Tapanes *et al.* (2013), na reação de transesterificação o triglicerídeo reage com um álcool simples, metanol ou etanol, formando ésteres metílicos ou etílicos, os quais constituem o biodiesel, e o glicerol. Como triglicerídeos, podem ser usados óleos de diversas oleaginosas. O processo global é uma sequência de três reações consecutivas e reversíveis, em que diglicerídeos e monoglicerídeos são formados como intermediários.

Conforme Schuchardt *et al.* (1998), a relação estequiométrica exige 1 mol de triglicerídeo e 3 mols de um álcool. Porém, um excesso de álcool é utilizado para deslocar o equilíbrio e aumentar os rendimentos dos ésteres de alquila, além de permitir a separação de fases a partir do glicerol formado. Em consoante com Sengo (2008), geralmente, deve-se usar a relação molar álcool/óleo de 6:1, isto é, o dobro da relação estequiométrica, para se obter uma máxima conversão. Normalmente, é empregado um catalisador a fim de aumentar o rendimento da reação (ALBUQUERQUE, M., 2008), a qual é descrita pela Figura 2.

Figura 2 - Reação de transesterificação de óleo vegetal



Fonte: Albuquerque, M. (2008)

O parâmetro mais crítico para a obtenção do biodiesel é a relação de tempo e temperatura na qual a reação se dará por completa. Outras dificuldades encontradas são a contaminação por água, ácidos graxos e impurezas no final da produção, tais como glicerina, metanol e sabão (GERPEN, 2005).

De acordo com Rezende (2009), a alcoólise com metanol é mais viável se comparado com o etanol, especialmente com o etanol hidratado, pois o teor de água retarda a reação. Ao usar o etanol anidro, este problema é minimizado, porém a dificuldade de separação da glicerina ainda persiste. Entretanto, no Brasil, a rota etílica é uma vantagem, devido a sua obtenção a partir da biomassa e a sua menor toxicidade.

Após a reação, a fase mais pesada composta pela glicerina é separada da fase mais leve composta pelo biodiesel através de decantação ou centrifugação. Nesta etapa, ambas as fases estão contaminadas com excesso de água, catalisador e álcool. Este é recuperado por destilação e desidratação, sendo reutilizado no processo (ALVES, 2012).

O biodiesel produzido é lavado com o intuito de retirar os contaminantes retidos, como o catalisador, o glicerol e o álcool. A glicerina também pode ser purificada, com o intuito de adquirir valor de mercado (KUCEK, 2004).

CATALISADORES

Catalisadores são espécies químicas que diminuem a energia de ativação da reação, o que contribui para acelerar esse processo e, logo, adquirir maior rendimento, em menor tempo. Podem ser classificados quanto à sua natureza físico-química como homogêneos ou heterogêneos (VIEIRA, 2011).

Catálise Homogênea Básica

A catálise homogênea básica é utilizada largamente na indústria por apresentar uma cinética de reação mais rápida, em condições moderadas de pressão e temperatura, sendo mais eficiente e promovendo altos rendimentos, além de gerar menores problemas associados à corrosão dos equipamentos (VASCONCELOS *et al.*, 2011).

Entretanto, para que esse processo seja tecnicamente viável, o óleo deve conter teor de ácidos graxos livres menor que 1% para evitar o consumo do catalisador alcalino e, assim, reduzir o rendimento do processo de alcoólise.

(VIEIRA, 2011). Outro problema, conforme Quessada (2010), é que em óleos com alta umidade, há reação de saponificação que consome o catalisador, reduz sua eficiência, aumenta a viscosidade, favorece a formação de géis e dificulta a separação do glicerol.

De acordo com Alves (2012), os catalisadores alcalinos mais efetivos são: hidróxido de sódio e hidróxido de potássio, pois promovem rendimentos satisfatórios e apresentam menor custo, sendo assim mais populares.

Catálise Homogênea Ácida

Na catálise homogênea ácida, a quantidade de ácidos graxos livres no meio não é relevante, sendo assim, uma vantagem que proporciona o uso de matérias-primas de menor valor agregado (HUANG *et al.*, 2010).

No entanto, a reação requer condições mais energéticas, como temperaturas acima de 100°C, e razões molares elevadas. Ademais, sua cinética também é desfavorecida. Uma reação de transesterificação usando um catalisador alcalino homogêneo ocorre 4.000 (quatro mil) vezes mais rápido do que uma reação com catalisador ácido (ATADASHI *et al.*, 2010).

Em alguns casos, os ácidos graxos livres podem também ser um obstáculo para a reação de transesterificação ácida, devido a alguns fatores, como por exemplo a formação de sabões, os quais diminuem o rendimento da reação. Em outros casos, os ácidos graxos podem reagir com o álcool, formando ésteres e produzindo moléculas de água. Essas moléculas de água irão hidrolisar novamente os ésteres e produzir ácidos graxos. Logo, uma possibilidade alternativa é a realização de dois tipos de esterificação: a primeira é uma catálise ácida para converter os ácidos graxos em ésteres metílicos de ácidos graxos, e a segunda é uma catálise básica para completar a reação. (CANAKCI; GERPEN, 2001).

Os catalisadores ácidos mais comuns incluem os ácidos de Brønsted-Lowry, como os ácidos sulfúrico, clorídrico, sulfônicos orgânicos e também ácidos de Lewis (CAMARGOS, 2005).

Catálise Heterogênea

A catálise heterogênea apresenta-se como uma opção com alto potencial de melhorar os métodos de síntese, uma vez que oferece vantagens técnicas e ambientais em relação à catálise homogênea. Segundo Ramos *et al.* (2011), ela facilita a purificação dos monoésteres alquílicos, permite a reciclagem do catalisador sólido ao longo de sua vida útil e minimiza a geração de efluentes. Além disso, a recuperação e purificação da glicerina produzida na alcoólise são consideravelmente simplificadas.

Desta maneira, o uso de catalisadores heterogêneos pode eliminar alguns dos custos de processos adicionais associados a catalisadores homogêneos (corrosão, neutralização, decomposição do catalisador, etc.). Porém, catalisadores heterogêneos ainda requerem condições extremas em relação ao rendimento e ao tempo de reação, quando comparados aos homogêneos (GHESTI, 2012).

Entre os catalisadores heterogêneos citados pela literatura estão as zeólitas, óxidos e sais inorgânicos, compostos de coordenação e líquidos iônicos, resinas trocadoras de íons, ácidos e bases orgânicos e materiais lamelares (CORDEIRO *et al.*, 2011).

MATÉRIA-PRIMA

As matérias-primas para a produção de biodiesel, como mencionado anteriormente, são os óleos e gorduras de origem vegetal, animal ou, ainda, residual. Quimicamente, o óleo vegetal e gordura animal consistem em moléculas de triglicerídeos, tendo três ácidos graxos de cadeia longa que estão ligados através de uma ligação éster a uma única molécula de glicerol. Estes ácidos graxos diferem pelo comprimento das suas cadeias de carbono e pelo número, orientação e posição de ligações duplas nas cadeias. (KILLNER, 2011).

Além de ser uma fonte alternativa de combustível renovável, os óleos vegetais têm sido pesquisados há muitos anos, devido ao seu alto índice de cetano e poder calorífico elevado (ALVES, 2012). Por apresentar clima tropical e subtropical, o Brasil

é favorecido com um leque de matérias-primas para extração de óleo vegetal. Segundo a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) (2015), existem, no Brasil, cerca de 90 milhões de hectares de áreas para a expansão agrícola, sem considerar mais de 200 milhões de hectares de pastagens com algum grau de degradação que, após recuperadas, podem ser usadas na produção de alimentos e bioenergia. A escolha depende da economicidade de cada alternativa que pode variar segundo as distintas peculiaridades regionais brasileiras.

Entre as fontes de óleos vegetais destacam-se o babaçu, gergelim, polpa e caroço de palma (dendê), amendoim, girassol, colza, algodão, oliva, soja, entre outras (CAMARGOS, 2005).

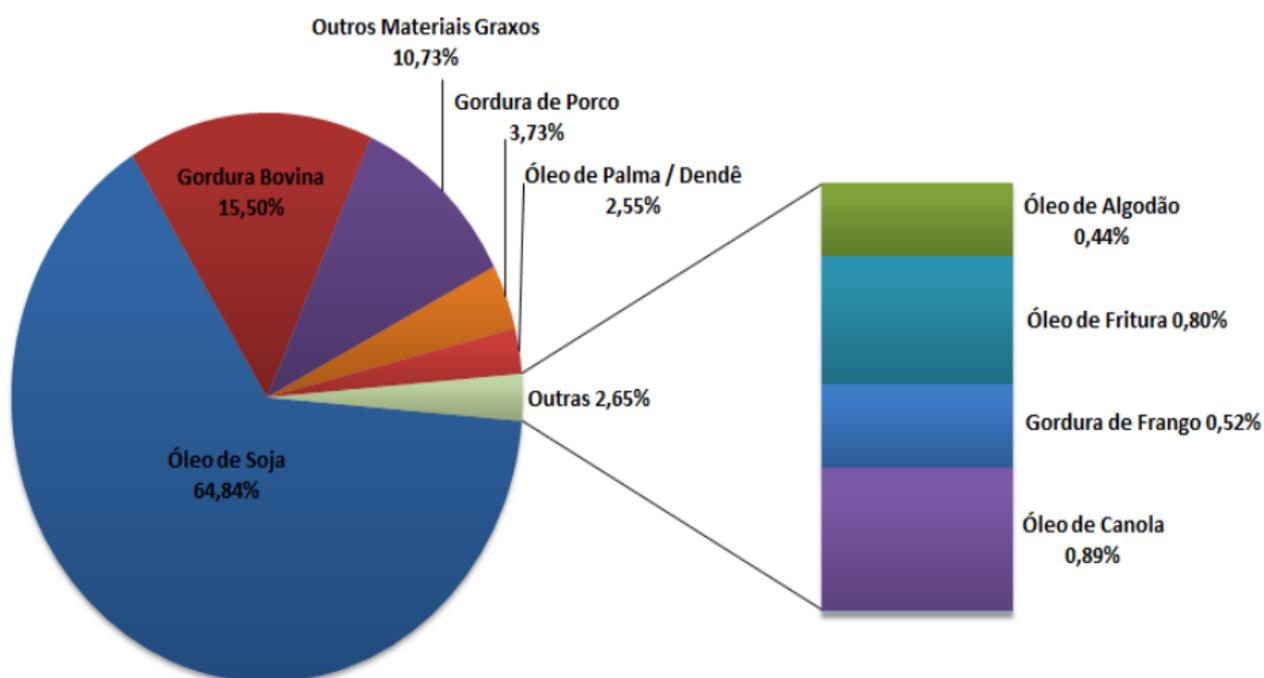
Devido às semelhanças com os óleos vegetais fixos, as gorduras animais também podem ser transformadas em biodiesel. Estas gorduras podem ser obtidas em curtumes, frigoríficos e abatedouros de animais de médio e grande porte (TAPANES *et al.*, 2013). Ademais, a gordura animal ou sebo é uma excelente matéria prima, já que seu aproveitamento é praticamente total, e o Brasil possui o segundo maior rebanho bovino, em números de cabeças (177,7 milhões) e a primeira colocação em rebanho comercial no mundo (MENEGUETTI, 2012).

Os óleos de frituras representam um grande potencial de oferta. De acordo com Quessada (2010), um levantamento primário da oferta de óleos residuais de frituras, suscetíveis de serem coletados, revela um potencial de oferta no Brasil superior a 30 mil toneladas por ano. Entretanto, a produção de biodiesel a partir de óleo residual de frituras é ainda bastante incipiente, e sua reutilização é feita principalmente para produção de glicerina e sabões (SANTOS; SILVA, 2016).

Segundo a Abiove (2016), os óleos vegetais destacam-se na produção de biodiesel, sendo que o óleo de soja respondeu, em 2015, por 77% de todo o biodiesel fabricado em território nacional, seguido das gorduras animais (19%). De acordo com a associação, foram destinadas, em 2015, cerca de 2,7 milhões de toneladas de óleo de soja para a produção de biodiesel.

Até janeiro de 2017, o perfil nacional de matérias-primas utilizadas para a produção de biodiesel, de acordo com os dados do boletim mensal de fevereiro desse ano da ANP, permaneceu praticamente o mesmo, sendo composto prioritariamente por óleo de soja, com aproximadamente 65%, seguido de 15% de gordura bovina. Outras matérias-primas foram citadas em pequenas porcentagens, como gordura de porco, óleo de dendê, óleo de algodão, óleo de fritura, gordura de frango e óleo de canola, como indica a Figura 3.

Figura 3 - Perfil nacional das matérias-primas utilizadas para produção de biodiesel até janeiro de 2017



Fonte: ANP, 2017.

Características Físico-Químicas

O controle de qualidade do biodiesel é muito importante para a comercialização e aceitação do mercado, pois os contaminantes podem conduzir a problemas operacionais, econômicos e ambientais (BERWANGER *et al.*, 2015). O principal foco

da qualidade do biocombustível está na coerência das suas características físico-químicas com as especificações padrões exigidas para comercialização.

Santos (2015) afirma que o biodiesel deve atender às especificações contidas no Regulamento Técnico ANP nº 3/2014, as quais correspondem aos seguintes parâmetros: aspecto, densidade a 20°C, viscosidade cinemática a 40°C, teor de água, contaminação total, ponto de fulgor, teor de éster, cinzas sulfatadas, enxofre total, sódio e potássio, cálcio e magnésio, fósforo, corrosividade ao cobre, número de cetano, ponto de névoa, índice de acidez, glicerol livre e total, monoglicerol, diglicerol e triaglicerol máximo, metanol e/ou etanol máx., índice de iodo e estabilidade oxidativa. A determinação destas características deverá ser feita mediante o emprego das normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), das normas internacionais da American Society for Testing and Materials (ASTM), da International Organization for Standardization (ISO) e do Comité Européen de Normalisation (CEN).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Geração de energia a partir de fontes renováveis tem aumentado nos últimos anos devido a diminuição de reservas de petróleo e a crescente conscientização ambiental. Assim, diversos países, incluindo o Brasil, têm adotado políticas públicas para estimular o uso de fontes de energia alternativas, como por exemplo, a produção de biodiesel.

O biodiesel tem atraído muita atenção recentemente devido a suas características não-tóxicas e pela sua biodegradabilidade. Além disso, pode ser considerado equivalente ao diesel convencional por meio das suas propriedades fluido e termodinâmicas, pelos valores de consumo e desempenho e ainda, por não exigir modificação ou adaptação dos motores.

O principal método utilizado para a produção de biodiesel é a reação de transesterificação por catálise homogênea básica. No Brasil, é utilizado a rota etílica devido a grande disponibilidade desse álcool no país, fazendo com que o biodiesel seja inteiramente renovável. Além disso, a principal matéria-prima é o óleo de soja.

Para a comercialização, é realizado um controle de qualidade pela ANP, o qual leva em consideração diversas características físico-químicas que devem estar de acordo com as especificações padrões exigidas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais – ABIOVE. **Informativo digital sobre temas da cadeia produtiva de soja**. Nº 139/2016, fevereiro.

Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – ANP. **Boletim mensal do biodiesel – Fevereiro de 2017**.

ALBUQUERQUE, G. A. de. **Obtenção e caracterização físico-química do biodiesel de canola**. Dissertação (Mestrado) UFPB/CCEN. João Pessoa, 2006.

ALBUQUERQUE, M. C. G. **Síntese, caracterização e aplicação de catalisadores heterogêneos para produção de biocombustíveis**. Tese (Doutorado). Universidade Federal do Ceará, Pós-Graduação em Química, 2008.

ALVES, B. F. **Monitoramento do processo de produção de biodiesel empregando a espectroscopia no infravermelho próximo**. Trabalho de conclusão de curso. Departamento de Engenharia Química. Universidade Federal De Pernambuco. Recife, 2012.

ATADASHI, I.M., AROUA, M.K., ABDUL AZIZ, A. High quality biodiesel and its diesel engine application: A review, **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. v. 14, p. 1999–2008, 2010.

BERWANGER, C. C. *et al.* Controle de qualidade do biodiesel B100 oriundo do processamento de óleo degomado de soja - Nota técnica. **Ciência e Natura**, Santa Maria, v. 37 n. 4, p. 740-746, 2015.

BRASIL. Lei n. 13.263, de 23 de março de 2016. Regula percentuais de adição de biodiesel ao óleo diesel comercializado no território nacional. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 23 mar. 2016.

CAMARGOS, R. R. S. **Avaliação da viabilidade de se produzir biodiesel através da transesterificação de óleo de Grãos de café defeituosos**. 2005. 105 p. Dissertação (Mestre) - Curso de Engenharia Química., Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2005.

CANAKCI, M.; GERPEN, Van J. Biodiesel production from oils and fats with high free fatty acids. **American Society of Agricultural Engineers**. v. 44, n. 6, p. 1429-1436, 2001.

CORDEIRO, Claudiney Soares *et al.* Catalisadores heterogêneos para a produção de monoésteres graxos (biodiesel). **Quim. Nova**, v. 34, n. 3, p. 477-486, 2011.

DEMIRBAS, A. **Biodiesel: a realistic fuel alternative for diesel engines**. London: Springer, 2008.

DEMIRBAS, A. Progress and recent trends in biodiesel fuels. **Energy Conversion and Management**. v. 50, p. 14–34, 2009.

EMBRAPA. **Matérias-primas oleaginosas para a produção de bioquerosene – oportunidades e desafios**. 2015.

ENCARNAÇÃO, A. P. G. **Geração de biodiesel pelos processos de transesterificação e hidroesterificação, uma avaliação econômica**. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) - Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, Escola de Química - EQ, 2008.

GERPEN, Van J.; **Fuel Processing Technology**. v. 86, p. 1097, 2005.

GHESTI, G. F. Produção de biodiesel via transesterificação etílica com zeólitas básicas. **Química. Nova**, v. 35, n. 1, p. 119-123, 2012.

HUANG, G. *et al.* Biodiesel production by microalgal biotechnology. **Applied Energy** v. 87, p. 38–46, 2010.

KILLNER, M. H. M.; ROHWEDDER, J. J. R.; PASQUINI, C. A PLS regression model using NIR spectroscopy for on-line monitoring of the biodiesel production reaction. **Fuel**, v. 90, p. 3268–3273, 2011.

KUCEK, K.T. **Otimização da Transesterificação Etílica do Óleo de Soja em Meio Alcalino**. Dissertação (Mestrado). Curso de Pós-Graduação em Química, Setor de Ciências Exatas, Universidade Federal do Paraná. 2004.

MENEGUETTI, N. F. S. P.; ZAN, R. A.; MENEGUETTI, D. U. de O. Potencial do sebo bovino rondoniense como matéria prima para produção de biodiesel em Ariquemes – RO. **Rev. Elet. em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**. v. 8, n. 8, p. 1889-1899, 2012.

Ministério de Desenvolvimento Agrário. **Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel**.

PACHECO, F. Energias Renováveis: breves conceitos. Conjuntura e Planejamento, Salvador: SEI, n. 149, p. 4-11, out. 2006.

PARENTE, E. J. de S. **Biodiesel: Uma Aventura Tecnológica num País Engraçado**. 2003.

PATIL, P. D.; DENG, S. Optimization of biodiesel production from edible and non-edible vegetable oils. **Fuel**. v. 88, p. 1302–1306. 2009.

QUESSADA, T. P. *et al.* Obtenção de biodiesel a partir de óleo de soja e milho utilizando catalisadores básicos e catalisador ácido. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.6, n.11; 2010.

RAMOS, L. P. *et al.* Biodiesel. Um projeto de sustentabilidade econômica e sócio-ambiental para o Brasil. **Revista Biotecnologia, Ciência & Desenvolvimento**. Ed. Nº 31. Jul/dez, 2003.

RAMOS, L. P. *et al.* Tecnologias de Produção de Biodiesel. **Revista Virtual Química**. v. 3, n. 5, p. 385-405, 2011.

REN21. 2016. **Renewables 2016 Global Status Report**. Paris: REN21 Secretariat. ISBN 978-3-9818107-0-7.

REN21.2017. **Renewables Global Status Report: Great debates towards 100% renewable energy**. Paris: REN21 Secretariat. ISBN 978-9818107-4-5

REZENDE, J. R. de. **Desacidificação de Óleo de Macaúba por Extração Líquido-Líquido para Produção de Biodiesel**. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós Graduação em Engenharia de Alimentos. Universidade Estadual do Sudeste da Bahia. 2009.

RODRIGUES, R. A.; ACCARINI, J. H. **Biocombustíveis no Brasil: realidades e perspectivas**. Brasil Ministério das Relações Exteriores, 2007.

SANTOS, B.D. dos. **Desenvolvimento de metodologia analítica para determinação de cloretos em biodiesel por titulação potenciométrica**. Trabalho de conclusão de curso em Química Industrial, UFRGS. Porto Alegre, 2015.

SANTOS, M. X.; SILVA, J. G. F. da. Aproveitamento do óleo residual de fritura na produção de biodiesel. **Rev. Eletrônica do Mestrado em Educação Ambiental**. E-ISSN 1517-1256, v. 33, n.1, p. 299-306, 2016.

SCHUCHARDT, U.; SERCHELI, R., VARGAS, R. M. Transesterification of vegetables oils: a review. **Journal Brazilian Chemists Society**, 9, p. 199-210, 1998.

SENGO, I. de C. **Produção de biodiesel a partir de óleo de sementes de cardo**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Alimentar). Lisboa, 2008.

TAPANES, N. de La C. O. *et al.* Biodiesel no brasil: matérias primas e tecnologias de produção. **Acta Scientiae & Technicae**. v. 1, n. 1, jun. 2013.

VASCONCELOS, F. V. *et al.* Using near-infrared overtone regions to determine biodiesel content and adulteration of diesel/biodiesel blends with vegetable oils. **Analytica Chimica Acta**, (in press), 2011.

VIEIRA, S. S. **Produção de biodiesel via esterificação de ácidos graxos livres utilizando catalisadores heterogêneos ácidos**. Dissertação (mestrado). Universidade Federal de Lavras, 2011.