
UM ESTUDO DE MATÉRIAS-PRIMAS PARA FABRICAÇÃO DE BIODIESEL

Thiago Oliveira (UNIFEI)¹

Eduardo Penna Gouvêa (CEUCLAR/FAFE)²

Andréa Mayumi Odagima (UNIP)³

Dorlivete Moreira Shitsuka (UNICSUL/FMU)⁴

Ricardo Shitsuka (UNIFEI/UNICSUL)⁵

Resumo

A busca por energias limpas e renováveis tem aumentado no Brasil, nos últimos anos. A produção de biocombustíveis, como o etanol e o biodiesel, tem se destacado como fontes alternativas para a substituição total ou parcial do diesel mineral. Este trabalho tem como intuito analisar o uso de matérias-primas na produção de biodiesel, avaliando os custos de óleos vegetais e residuais, bem como a eficiência e os tipos de álcoois usados. Para tanto, realizou-se uma pesquisa de fonte indireta, na qual se compara as matérias-primas utilizadas no processo de fabricação do biodiesel, analisando sua eficiência e viabilidade econômica. Dentre os óleos usados para a fabricação de biodiesel, se destaca o óleo de soja, devido à sua produção em larga escala no Brasil. Outros, que têm se mostrado competitivos, são os óleos residuais que não necessitam de área para sua plantação. Na fabricação do biodiesel, o álcool entra como matéria-prima. Na análise entre etanol e metanol, os resultados mostram que o uso de ambos os tipos de álcoois, etanol e metanol, são viáveis, e que o uso de óleos residuais foi mais sustentável.

Palavras-chave: Biodiesel. Etanol. Metanol. Óleo residual. Sustentabilidade.

¹ Engenheiro ambiental pela Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI). Membro do Grupo de Pesquisas em Metodologia do Ensino e Aprendizagem em Ciências (MEAC) da UNIFEI.

² Pós-graduado em Gestão de Educação a Distância (EaD) e em Tecnologia da Informação pelo Centro Universitário Claretiano de Batatais (CEUCLAR). Especialista em Planejamento, Implementação e Gestão EaD pela Universidade Federal Fluminense (UFF). Graduado em Computação (CEUCLAR). Docente na Faculdade Fernão Dia (FAFE).

³ Pós-graduada em Educação a Distância e graduada em Direito pela Universidade Paulista (UNIP).

⁴ Mestre em Ensino de Ciências e Matemática pela Universidade Cruzeiro do Sul (UNICSUL). Pós-graduada em Redes de Computadores pela Universidade Federal de Lavras (UFLA). Licenciada em Computação pelo CEUCLAR. Docente nas Faculdades Metropolitanas Unidas (FMU).

⁵ Doutor em Ensino de Ciências e Matemática pela Universidade Cruzeiro do Sul (UNICSUL). Mestre em Engenharia de Materiais e Metalúrgica pela Universidade de São Paulo (USP). Licenciado em Computação pelo Centro Universitário Claretiano (CEUCLAR). Docente na Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI).

Abstract

The search for clean and renewable energies has increased in Brazil in recent years. The production of biofuels such as ethanol and biodiesel has been highlighted as alternative sources for total or partial replacement of mineral diesel. This work aims to analyse through studies of the use of raw materials in the production of biodiesel, evaluating the costs of vegetable and residual oils, as well as the efficiency and types of alcohols used. An indirect source research was carried out comparing the raw materials used in the biodiesel manufacturing process, analysing its efficiency and economic viability. Among the oils used for the production of biodiesel, soybean oil stands out due to its large-scale production in Brazil, and others that have been competitive are the residual oils that do not need an area for their planting. In the production of biodiesel, alcohol enters as raw material. In the analysis between ethanol and methanol, the results show that the use of both types of alcohols, ethanol and methanol, are viable, and that the use of residual oils was more sustainable.

Keywords: Biodiesel. Ethanol. Methanol. Residual oil. Sustainability.

Introdução

Algumas previsões (LUCON, 2007; MERLIN, 2009; SOUZA, 2010) apontam para o esgotamento das reservas de energias fósseis nos próximos 50 anos, o que resulta num incentivo à busca por novas fontes alternativas de combustíveis: energia solar, eólica e os biocombustíveis. O cenário acena para a possibilidade de haver drásticas mudanças em relação à produção e utilização de biodiesel no Brasil, e devido ao seu alto potencial, é esperado que o país seja um dos maiores produtores e consumidores de biocombustíveis do mundo, visto que possui uma excelência na fabricação e utilização de etanol, além do aumento das unidades de produção de biodiesel e o incentivo governamental existente.

No Brasil, o óleo de soja, que é mais abundante, é a matéria-prima mais usada na produção de biodiesel, porém os incentivos governamentais têm apoiado o emprego de outras matérias-primas como: mamona, palma, girassol, pinhão, milho, dendê etc., cada qual cultivada de acordo com a aptidão agrícola e o clima de cada região do país (SUAREZ et al., 2009; SOUZA, 2010; FERRI, 2016; RAMOS et al., 2017).

Por questões de custo, o uso do diesel proveniente do petróleo ainda é mais econômico em relação ao óleo vegetal; mas, há a possibilidade da produção de biodiesel a partir de gorduras animais e também de óleos residuais já utilizados em cozinha. Outra

matéria-prima que entra nos processos de fabricação do biodiesel é o álcool e dele surge o problema “Qual tipo de álcool apresenta melhores resultados na fabricação do biodiesel no Brasil?”. Este trabalho tem como objetivo analisar o uso de matérias-primas na produção de biodiesel, avaliando os custos de óleos vegetais e residuais e álcoois. Quanto ao método, esta pesquisa utiliza a documentação indireta (ou de fonte indireta), nas suas modalidades de pesquisa bibliográfica e documental

Este estudo contribui para os interessados na fabricação e utilização do biodiesel apresentando a análise das melhores rotas, matérias-primas e condições processuais conhecidas atualmente, de modo a ser útil para a sociedade, trabalhando o desenvolvimento sustentável e buscando informações no sentido de se alcançar a sustentabilidade tão desejada para a sociedade brasileira e mundial.

1 Aspectos do biodiesel

Os primeiros indícios de utilização de óleos vegetais como matéria-prima para produção de combustíveis, segundo Silva e Freitas (2008), data de 1900, quando Rudolph Diesel pressupôs que, devido aos óleos vegetais possuírem alto índice de cetano e um poder calorífico elevado, a queima desse material poderia ser usada num motor de ciclo diesel. Em 1898, Ford apresenta um motor na Feira Mundial de Paris, na França. O combustível era o óleo de amendoim, um tipo de biocombustível obtido pelo processo de transesterificação. Na oportunidade, Rudolph Diesel afirmou que por mais que os óleos vegetais parecessem insignificantes para época em questão, esse produto iria definitivamente se destacar no futuro.

As colocações de Rudolph Diesel ficaram adormecidas durante anos, uma vez que o óleo mineral obtido a partir do petróleo era mais barato e acessível aos consumidores. Durante o período da segunda guerra mundial, o diesel oriundo de óleos vegetais assumiu uma posição estratégica, se tornando um combustível de emergência. Segundo Algauer Júnior (2011), ao final da segunda guerra em 1945, a produção e distribuição do petróleo no cenário mundial se estabilizou, tornando-se abundante e com preço acessível ao mercado, se assumindo, assim, como a principal fonte de energia e, conseqüentemente, suprimindo as pesquisas para o uso do biodiesel, temporariamente.

Após cerca de 30 anos, devido a motivos políticos e econômicos, as pesquisas envolvendo biodiesel foram retomadas. Isso se deve ao fato das crises do petróleo no ano de 1973, causadas por guerras e disputas no Oriente Médio e, posteriormente, em 1979, com a paralização da produção de petróleo no Irã, mostrarem ao mundo que a oferta de petróleo está estritamente ligada ao cenário político mundial e a relação entre os membros da Organização dos Países Exportadores de Petróleo (OPEP). Essa crise impulsionou novamente a busca por fontes renováveis de energia. No Brasil, Passanesi, Nohara e Acevedo (2010) afirmam que o governo brasileiro propôs a fabricação de combustíveis a partir de fontes renováveis de energia, o “Programa Nacional do Álcool” (PROÁLCOOL), que tinha como intuito a adição de 5% de etanol à gasolina. Atualmente, essa mistura chega à faixa dos 25%.

O programa PROÁLCOOL foi implementado pelo Decreto nº 76.596, de 14 de novembro de 1975 (BRASIL, 1975) e estabelece que a produção do álcool oriundo da cana-de-açúcar, da mandioca ou de qualquer outro insumo será incentivada por meio da expansão da oferta de matérias-primas, com especial ênfase no aumento da produção agrícola, da modernização e ampliação das destilarias existentes e da instalação de novas unidades produtoras, anexas a usinas, e de unidades armazenadoras. A política pública brasileira, fez com que o país deixasse de importar grandes quantidades de gasolina e favoreceu a economia doméstica com a produção de um combustível renovável, limpo, sustentável e o emprego de mão de obra local.

Sustentabilidade é um conceito multidisciplinar e envolve a condição de durabilidade, estabilidade, equidade e satisfação das partes envolvidas como considera Mikhailova (2004). Ela pode ser associada a várias dimensões. Coutinho e Shitsuka (2011) consideram que há a sustentabilidade política, econômica, social, legal, ambiental, dentre outras, e ainda comparam a sustentabilidade com o processo para alcançá-la, que é o desenvolvimento sustentável. Para que se alcance a condição da sustentabilidade é preciso se ter o desenvolvimento sustentável que, como processo, vai direcionar os esforços no sentido de se alcançar o objetivo de sustentabilidade.

O PROÁLCOOL tornou-se o mais importante programa de biomassa do mundo e, por meio dele, o Brasil se consagrou como sendo uma referência mundial no uso de etanol como biocombustível. Juntamente ao programa do PROÁLCOOL surgiu

também a iniciativa do PRO-ÓLEO (Plano de Produção de Óleos Vegetais para Fins Energéticos) que, em comparação ao programa do etanol, era muito mais ambicioso, tendo como meta substituir o diesel oriundo do petróleo em até 30% (MOREIRA; GOLDEMBERG, 1999).

Com a baixa no preço do petróleo em meados da década de 1980, o programa foi deixado de lado. Muitas vezes, os projetos embora sejam bons, úteis e voltados para a sociedade, nem sempre são implementados devido às condições econômicas e sociais que afetem nossos dias atuais. Dessa forma, muitos projetos bons podem ser engavetados ou passados para o arquivo morto das organizações. Depois de ter sido deixada de lado em 1980, o tema do biodiesel voltou à cena no começo dos anos 2000. Em 2003, a Presidência da República decretou um estudo sobre a viabilidade de utilização de biodiesel como uma fonte alternativa de energia e deu embasamento para a criação do Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB) cujos objetivos são garantir suporte para a produção de biodiesel e desenvolvimento de regiões carentes.

Em 13 de janeiro de 2005 foi publicada a Lei nº 11.097 que dispõe sobre o biodiesel na matriz energética brasileira (BRASIL, 2005). A fabricação e comercialização do biodiesel ainda é custosa devido ao preço dos óleos vegetais. Novos métodos para obtenção do biodiesel são necessários para minimizar tais custos. Nesse contexto, é que o reuso dos óleos residuais de cozinha representa custo menor, desnecessidade de plantio e menos impacto ambiental.

2 Uso do biodiesel

A utilização de qualquer matéria-prima, combustível ou material em engenharia passa pelo estudo de suas características: é importante saber sobre a sustentabilidade, se há poluição, se pode afetar a saúde das pessoas, se há viabilidade técnica e econômica e legal para que possa ser utilizado após passar pelo crivo dos órgãos legais, técnicos, dos governos e da sociedade.

A produção do combustível biodiesel, representa a diminuição da dependência de combustíveis derivados de petróleo. Uma produção em escala industrial, colocaria

um fim nas importações de diesel. Outros efeitos indiretos da produção de biodiesel remetem a um aumento na economia regional, de serviços e de bens e, principalmente, na parte de produção agrícola. Na questão ambiental, a produção desse biocombustível é ainda mais vantajosa, pois diminui, consideravelmente, a emissão de gases tóxicos ao meio ambiente, como o monóxido de carbono, aliviando assim a emissão de gases de efeito estufa.

Pela Lei nº 11.097 de 13 de janeiro de 2005 (BRASIL, 2005), o biodiesel deve atender a alguns padrões de qualidade. Estes são definidos pelas normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), e também a algumas normas internacionais como *American Society for Testing and Materials (ASTM)*, *International Organization for Standardization (ISO)* e *Comité Européen de Normalisation (CEN)*, sendo as mesmas regulamentadas pela Agência Nacional de Petróleo (ANP), em 2008. É de extrema importância que o biodiesel brasileiro atenda adequadamente as especificações de qualidade, para que preserve a integridade dos veículos.

2.1 Tipos de matérias-primas utilizáveis na fabricação do biodiesel

A produção de biodiesel ao redor do mundo é feita a partir de diversos tipos de oleaginosas; destacam-se como fontes: colza, soja, girassol, pinhão manso, amendoim, algodão, dendê, milho e outros grãos que podem ser cultivados conforme o clima e com a aptidão agrícola de cada país. O Brasil, que é extenso, possui a diversidade de climas e a aptidão agrícola que favorece a produção das oleaginosas de todo tipo. Realizaram-se experiências com várias oleaginosas nos estados brasileiros, como consideram Souza (2010) e Ferri (2016) e se destacaram a soja, o dendê, a mamona, o girassol em termos de custos e produtividade.

Já na Europa, a cultura que se destaca é a colza, por falta de alternativas, além da produção de biodiesel por meio de óleos residuais e gorduras de origem animal (sebo). Cada cultura se desenvolve melhor dependendo do tipo de solo, do clima, da geografia do local, entre outros aspectos e é importante que cada oleaginosa tenha o cultivo nas melhores condições. A Figura 1, a seguir, apresenta locais de melhor aproveitamento.

Figura 1 – Cultivo de oleaginosas no Brasil



Fonte: Franco e Souza (2010, s/p)

A Figura 1 mostra que há uma diversificada produção de grãos no Brasil. Este fato aponta também para a possibilidade da obtenção de óleo, a partir dos grãos renováveis o que é uma vantagem para o país. Segundo o Ministério de Minas e Energia (MME) (BRASIL, 2017), no portal Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel, o biocombustível renovável permite a economia de divisas com a importação de petróleo e óleo diesel e também diminui a poluição ambiental, gera empregos em áreas geográficas menos atraentes para outras atividades econômicas e, dessa forma, facilita a inclusão social.

Torna-se interessante o desenvolvimento de tecnologias, bem como o investimento nas instalações e logística para esse aproveitamento e a formação de mão de obra que possua habilidades e competências no trabalho, com essa geração de combustíveis e as demais partes de seus processos, até chegar o produto combustível ao cliente de qualquer região do país e até no exterior. Nas regiões do Norte e Nordeste brasileiros há a produção possível de matérias-primas nos dendezais (óleo de palmeiras nativas e plantio de dendê) e também nos babaçuais (aproveitamento integral do coco), além da geração de renda por meio de outras lavouras, como é o caso daquelas do amendoim, girassol etc.

No Semiárido Nordestino se destaca a produção em lavouras familiares de oleaginosas, principalmente a mamona. Já no Centro-Sul e Centro-Oeste se destaca a grande produção da soja, devido à vasta área disponível para o plantio. Nas demais

regiões do país, há o destaque na produção de biodiesel, através da reciclagem de óleos residuais de cozinha e de resíduos industriais, além das matérias graxas extraídas de esgotos industriais. Os estados do Norte e Centro-Oeste têm recebido muitos imigrantes, principalmente do Sul do Brasil, onde predominam o cultivo da soja e têm expandido suas lavouras para essas regiões alegando que há terras boas, sol e condições de plantio e colheita o ano inteiro. Conforme o Quadro 1, a seguir, apresenta a área demandada para produzir 1.000 toneladas de óleo de cada cultura.

Quadro 1 – Características de culturas oleaginosas quanto ao teor de óleo, demanda de área para produção de 1.000 t de óleo, número de meses de colheita e rendimento de óleo por hectare

Espécie	Teor de óleo (%)	Demanda de área média cultivada (ha) para produzir 1000 t de óleo	Meses de Colheita/ano	Rendimento (t óleo/ha)
Dendê/Palma	22,0	200	12	3,0 a 6,0
Coco	55,0 a 60,0	550	12	1,3 a 1,9
Babaçu	66,0	8.900	12	0,1 a 0,3
Girassol	38,0 a 48,0	1.090	3	0,5 a 1,9
Colza/Canola	40,0 a 48,0	1.430	3	0,5 a 0,9
Mamona	45,0 a 50,0	1.400	3	0,5 a 0,9
Amendoim	40,0 a 43,0	1.420	3	0,6 a 0,8
Soja	18,0	2.850	3	0,2 a 0,4
Algodão	15,0	6.250	3	0,1 a 0,2

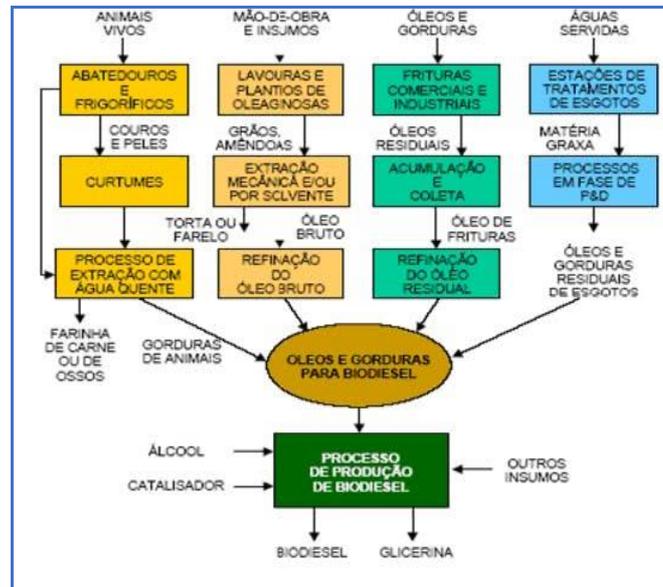
Fonte: Sluszz e Machado (2006)

O quadro anterior mostra algumas características das culturas oleaginosas com alto teor de óleo. Verifica-se que o babaçu é a cultura que tem a maior teor de óleo e tem 12 meses possíveis de colheita ao passo que soja, algodão, girassol, amendoim e mamona apresentam somente três meses para colheita. Este fato se torna um diferencial favorável para a cultura e aproveitamento do babaçu como matéria-prima. A comparação torna-se importante quando se pretende verificar quais culturas podem ser melhor aproveitadas ou que podem fornecer melhores resultados para uso na produção de biodiesel. Um estudo bem-realizado pode fornecer subsídios para um trabalho

posterior bem-sucedido.

A seguir esquematiza-se a produção do biodiesel a partir de diversas matérias-primas disponíveis, como é mostrado na Figura 2.

Figura 2 – Cadeia produtiva do biodiesel



Fonte: Revista EA, 2017

Verifica-se que há várias possibilidades de caminhos para a fabricação de biodiesel. A partir das matérias-primas originais, é preciso se chegar aos óleos e gorduras e, a seguir acrescentar álcool, catalizadores e insumos para se chegar ao biodiesel e glicerina.

2.2 Óleos vegetais

Óleos vegetais podem ser utilizados em diversas aplicações como lubrificantes, óleo de cozinha, cosméticos, farmacêuticos, entre outros; em sua maioria, são formados por triglicerídicos e podem ser transformados em biodiesel. No grupo de óleos vegetais podem ser citados os óleos de amendoim, de dendê, do algodão, do girassol, da mamona, da colza, entre outros. Outras matérias-primas para fabricação de biodiesel podem incluir as gorduras animais, como se aborda a seguir.

2.3 Gorduras animais

Da mesma forma que os óleos vegetais, as gorduras animais também podem ser transformados em biodiesel, devido ao fato de suas estruturas químicas serem semelhantes e, portanto, as duas possuem moléculas triglicéridicas de ácidos graxos. A produção de biodiesel, a partir de gorduras animais, é atrativa, pois há grande quantidade de resíduos gordurosos gerados a baixo custo de produção e há a disponibilidade imediata de matéria-prima em áreas industriais.

Segundo a Agência Embrapa de Informação Tecnológica (EMBRAPA, 2017), são produzidos em média, no ano, 2,5 milhões de toneladas de gordura provenientes do abate industrial de aves, bovinos e suínos. Desses resíduos, podem ser aproveitados o sebo bovino, a banha de porco e o óleo de peixes e aves, sendo que, convertendo um quilo de rejeito de origem animal, é possível produzir aproximadamente 650 mililitros de biocombustíveis. Em comparação com o biodiesel vegetal, a gordura animal apresenta vantagens como o maior número de cetano, maior estabilidade de oxidação e menor teor de iodo. A análise, por outro lado, mostra que, em contrapartida, a gordura animal apresenta uma maior quantidade de enxofre e no processo de fabricação há a formação de sabões ao invés de biocombustíveis, diminuindo a eficiência do processo.

2.4 Óleos residuais ou servidos

Outro produto constituinte do grupo de matérias-primas para produção de biodiesel são os óleos residuais de fritura. Estes podem ser adquiridos em grandes quantidades em locais como lanchonetes e cozinhas industriais; indústrias que processam frituras de alimentícios; esgotos industriais e águas residuais de processos de fritura. Por não possuir uma lei específica para o descarte adequado de óleos residuais, pode-se considerar o Decreto Federal nº 6.514, de 22 de julho de 2008 (BRASIL, 2008), que prevê infrações e sanções administrativas ao meio ambiente e estabelece o processo administrativo federal para apuração destas infrações, e dá outras providências. Por meio desse Decreto, os danos causados ao ambiente podem gerar multas que podem variar de R\$ 50,00 (cinquenta reais) a R\$ 50.000.000,00 (cinquenta milhões de reais) e esses valores

são consideráveis, fazendo com que as organizações e pessoas repensem se vale a pena causar danos ao meio ambiente.

Segundo Menezes, Fidalgo e Silva (2010), o descarte inadequado de óleo residual é um problema que vem se arrastando ao longo dos anos, e sabe-se que um litro de óleo descartado irregularmente polui até cerca de um milhão de litros de água, o que aumenta em quase 45% o custo do tratamento desse efluente. Esse descarte inadequado pode ser atribuído à falta de informação da população local. Além disso, a decomposição do óleo gera a liberação do gás metano, um dos principais causadores do efeito estufa, e como esse gás é incolor e inodoro, ao se misturar com o ar atmosférico pode gerar uma mistura com alto teor explosivo. O despejo inadequado também provoca a diminuição do oxigênio presente nos cursos d'água, por possuírem substâncias consumidoras de oxigênio, e por impedirem a transferência do mesmo da atmosfera para a água.

O aumento da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), causa alterações no ecossistema aquático. Devido a isso e outros fatores, o descarte ambientalmente correto de óleos residuais é de extrema importância. O Quadro 2, a seguir, representa a disponibilidade, os tipos e a qualidade dos resíduos para a produção do biodiesel.

Quadro 2 – Os principais tipos de resíduos gordurosos e sua disponibilidade/qualidade para o uso como combustível

Óleo e Gordura residual	Custo	Qualidade	Volume	Preparo
De fritura comercial	(0)	+	++	+
De fritura residencial	(0)	++	-	++
De fritura industrial	-	+	++	+
De matadouros e frigoríficos	(0)	-	++	-
Do tratamento de esgoto	+	--	+	--

(++) muito favorável . (+) favorável. (0) satisfatório. (-) desfavorável. (--) muito desfavorável

Fonte: Almeida et al. (2000)

No Quadro 2, se apresentam os principais tipos de resíduos gordurosos que podem ser empregados na fabricação de biodiesel e uma comparação relativa, entre eles, em relação a custos, volume, qualidade e dificuldade no preparo. Para mensurar a

enorme quantidade de óleo residual que é produzida diariamente, vamos tomar como base estabelecimentos comerciais com frigideiras descontínuas e contínuas, respectivamente. No primeiro caso, pode-se considerar que os estabelecimentos chegam a produzir de 15 a 350 litros diários e, no segundo caso, como são indústrias de produção de empanados, salgadinhos e congêneres, o processo de fritura é contínuo e a capacidade das fritadeiras pode ultrapassar 1000 litros (BARBOSA; PASQUALETO, 2007).

Levando-se em conta que após a utilização do óleo, ele torna-se um resíduo indesejado e que acabaria por ser transportado até aterros sanitários ou, no pior dos casos, ter um descarte inadequado, a possibilidade de reciclagem desse resíduo é extremamente atrativa, pois além de preservar o meio ambiente, ainda possibilitaria uma nova fonte renovável de energia. A utilização desta matéria-prima também se torna interessante, uma vez que há um sentido de sustentabilidade, como consideram Mikhailova (2004) e também Coutinho e Shitsuka (2011) que pode levar a uma situação duradoura de baixo custo, que agregue valor e ajude a sociedade que precisa, de alguma forma, descartar o óleo servido que poderia poluir o meio ambiente.

Segundo o Ministério de Minas e Energia (BRASIL, 2016; 2017), considerando o agronegócio vinculado ao biodiesel, que abrange a produção de matérias-primas e insumos agrícolas, assistência técnica, financiamentos, armazenagem, processamento, transporte, distribuição, todos esses fatores juntos exerceriam efeitos multiplicadores sobre a renda, emprego e base de arrecadação tributária e alavancariam o processo de desenvolvimento regional, sem falar no potencial de exportação desses combustíveis. Torna-se importante, para o engenheiro, técnico ou responsável pelos estudos de viabilidade, levar em consideração os diversos fatores que influenciam a fabricação do biodiesel, de modo semelhante a um tabuleiro de jogo de xadrez, no qual as vantagens e estratégias vão sendo posicionadas e é preciso encontrar os melhores modos de se alcançar o sucesso.

3 Processos básicos para a fabricação de biodiesel

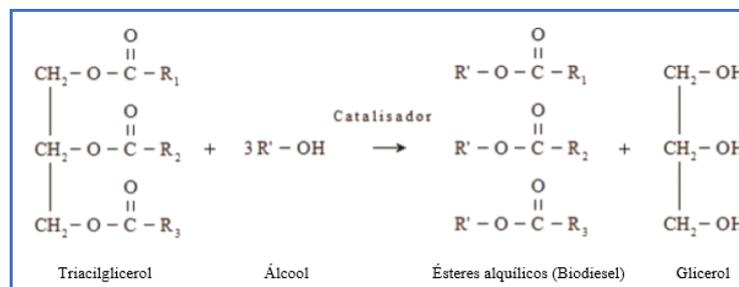
Para se verificar qual a melhor forma de se produzir o biodiesel, as melhores

matérias-primas para o caso brasileiro e os insumos necessários à fabricação de modo mais racional, lucrativo e que respeite o meio ambiente, torna-se necessário o estudo comparativo dos processos existentes. Como já foi definido anteriormente, biodiesel é um biocombustível mono-álquil éster de ácidos graxos de cadeia longa, proveniente de fontes renováveis como óleos vegetais, gordura animal ou óleos residuais, cuja utilização está associada à substituição de combustíveis fósseis em motores de ignição por compressão.

A fabricação de biodiesel tem sido feita tradicionalmente por meio de quatro processos básicos, que são: diluição, transesterificação, microemulsificação e pirólise. Esses processos são interessantes; porém, o processo mais empregado atualmente na produção de biodiesel é a técnica denominada de transesterificação. Este processo consiste em produzir em um reator, no qual se realiza a reação química de óleos vegetais ou gorduras animais, com o álcool, metanol ou etanol, na presença de catalizadores que reagem, produzindo ésteres metílicos ou etílicos, dependendo do álcool utilizado, além da glicerina que tem diversos usos no mercado.

A transesterificação trata-se de um processo reversível e necessita de excesso de álcool para deslocar o equilíbrio para a direita. Neste ponto, entra o álcool como sendo mais uma matéria-prima importante para viabilização desse processo. O processo pode ser descrito como sendo aquele que busca a redução da viscosidade dos triacilgliceróis, que consiste na separação de seus ácidos graxos do glicerol, na presença de álcool. A Figura 3, a seguir, ilustra o processo de transesterificação, com base em fórmulas químicas representadas visualmente.

Figura 3 – Reação de Transesterificação



Fonte: Ferri (2016)

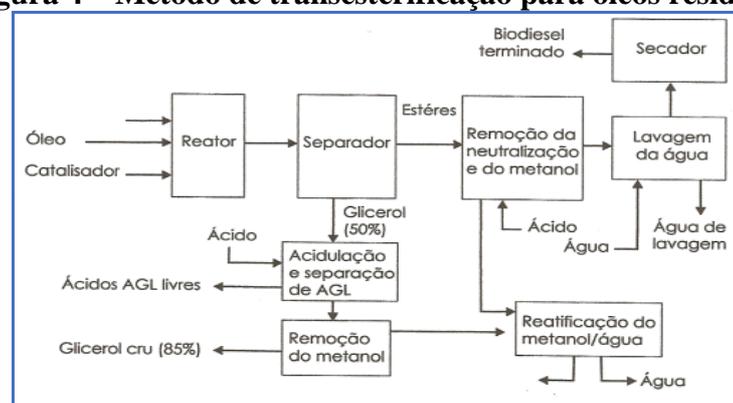
Trata-se de um processo conhecido e as reações químicas apresentadas mostram como a partir da mistura das gorduras com álcool na presença de catalizador,

faz-se a produção de biodiesel, que é o denominado éster alquílico e há a produção de glicerol. No processo de obtenção do biodiesel deve-se levar em conta também a possível ocorrência de saponificação, que é a formação de sabão por meio da reação dos excessos de ácidos graxos livres com boa parte do catalisador, aumentando o consumo de hidróxidos e formando o sabão, prejudicando assim a separação entre os ésteres e o glicerol durante a decantação. Ora, o objetivo da instalação é produzir biocombustível e não sabão e assim sendo, torna-se interessante que o engenheiro, técnico ou responsável estudar, conhecer e controlar as condições processuais para o sucesso nas operações.

Tratando-se dos álcoois utilizados durante o processo de transesterificação, o que apresenta uma maior predominância ao redor do mundo é o metanol, pois geralmente o seu custo é baixo nos países onde a produção de biodiesel é bem desenvolvida. Entretanto, no caso do Brasil, a produção de etanol é feita em larga escala, o que o torna mais vantajoso devido à maior disponibilidade do composto e, conseqüentemente, apresenta menor custo na produção. A produção de biodiesel pode ocorrer na presença de catalisadores, ácidos, básicos ou enzimáticos, sendo que o mais vantajoso, levando em conta o rendimento e a velocidade de reação, é a catálise alcalina.

Nos processos de transesterificação utilizando óleos residuais é necessário seguir as seguintes etapas: filtração, remoção de impurezas, adição de álcool e catalisadores, separação de biodiesel e glicerina produzidos, adição de terra filtrante e clarificante ao biodiesel e remoção de impurezas por meio de filtragem. As etapas do processo são necessárias e a cada uma há um acréscimo de valor ao produto. Para se ter uma melhor visão do processo realizado, a Figura 4 ilustra de forma esquemática o método de transesterificação para óleos residuais.

Figura 4 – Método de transesterificação para óleos residuais



Fonte: Menezes, Fidalgo e Silva (2010, p. 281)

Observa-se pela figura que há vários equipamentos pelos quais o óleo que entra no processo tem que passar. Por meio do processo de transesterificação, há a conversão e produção de biodiesel.

4 Comparação dos dois reagentes

A comparação das matérias-primas: metanol *versus* etanol no processo de produção do biodiesel é objeto deste trabalho uma vez que ela pode determinar a sustentabilidade do processo. Embora pareça um aspecto simples, levando-se em conta a fabricação do biodiesel, a escolha apropriada do álcool a ser utilizado como reagente faz uma extrema diferença, pois cada um traz vantagens e desvantagens em relação à eficiência da produção do biocombustível. Partindo-se do início, podemos afirmar que ambos são álcoois com a capacidade de produção de biodiesel, através do método da transesterificação, que consiste na reação de óleos (vegetais, animais ou residuais), álcool (etanol ou metanol) e catalisadores. Porém suas semelhanças básicas terminam nesse contexto. Alguns autores como é o caso de Cataluña e Camarim (2006), Paiva (2010) e Lobo et al. (2014) trabalham o emprego do etanol na fabricação de biodiesel. Outros, como é o caso de Souza (2006), Suarez (2008), Araújo e Klein (2012) e Brondani et al. (2012) consideram o emprego do álcool metanol na produção de biodiesel.

O metanol é um composto derivado de fontes minerais, no caso o gás metano, e sua principal vantagem em relação ao etanol é a cadeia curta que possibilita a reação mais fácil e eficiente, além da retirada da glicerina do produto final ser mais fácil. O etanol é um composto que possui uma cadeia mais longa e, devido a isso, a transesterificação etílica se torna mais complexa do que a metílica. Porém, do ponto de vista ambiental, o etanol é derivado de matérias-primas vegetais, exercendo um efeito menos prejudicial ao meio ambiente, o que o torna um atrativo. Alguns estudos como é o caso de Suarez (2008), Oliveira, Thomaz e Maria (2008) realizam a comparação sobre a utilização do metanol e do etanol. Levando em conta que as condições econômicas e tecnológicas eram bem diferentes, o destaque se fez sobre a utilização do metanol na produção do biodiesel, devido a alguns fatores, como a tecnologia importada ser voltada

para esse composto; o preço do metanol era páreo com o etanol; seu processo de fabricação era mais eficiente e barato.

O etanol também é um álcool que apresenta vantagens: as mais evidentes são a questão ambiental sobre o etanol, que é produzido a partir de óleos vegetais e residuais e, portanto, um combustível 100% renovável, utilizando-se do marketing verde; e a outra, é a ampla produção de etanol realizada no Brasil, tendo assim, matéria-prima em abundância para a fabricação do biodiesel. A utilização do metanol seria mais vantajosa, pois para o etanol competir com o metanol ele deveria ser em média cerca de 25% mais barato do que seu concorrente na produção, o que não era o caso na época em que os estudos foram realizados (2008).

Contudo, atualmente, quase dez anos depois, o cenário tecnológico e econômico mudou severamente. As tecnologias empregadas na fabricação de biocombustíveis evoluíram a passos largos, bem como os custos de produção também se alteraram. Fazendo-se uma breve comparação, considerando a diminuição de custos: um litro de metanol custa, em média, R\$12,00 (doze reais) conforme dados do website Mercado Livre (2017), ao passo que um de etanol custa R\$ 2,71 em Belo Horizonte (PREÇO, 2017) ou arredonda-se para R\$ 3,00 para efeitos de cálculo, uma vez que há regiões nas quais esse combustível é mais caro como é o caso da Cidade de Itabira, na qual pode-se considerar o preço em torno de R\$ 3,08 no início de 2017 (DEFATO, 2017). Considerando-se o emprego da mesma quantidade de álcool na produção do biodiesel, o uso do etanol se apresenta cerca de 25% do valor do metanol (tratando-se apenas do custo do álcool na produção). Apesar da diferença de valor do litro, considera-se que, em termos de custo, essa diferença no processo não se mostrou muito significativa.

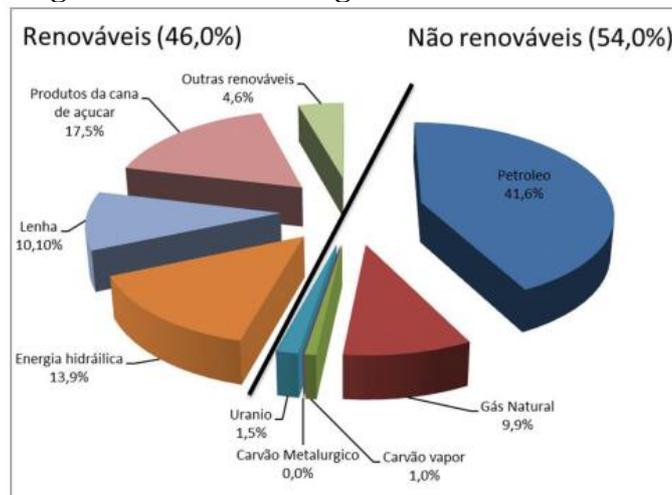
Vale ressaltar que o tipo de álcool utilizado contribui numa porcentagem pequena se comparado com o custo total de produção dos biocombustíveis, sendo que o maior custo de produção é atribuído à matéria-prima base (que é das oleaginosas ou do óleo já servido) utilizada no processo, bem como qual o tipo de tecnologia vai ser aplicada. O emprego do metanol apresenta um consumo cerca de 50% menor em relação ao etanol anidro e, além disso, possui um consumo energético menor no processo de fabricação do biodiesel. Já o etanol, no Brasil, possui a vantagem do preço

menor, cerca de 30% em relação ao metanol. Observa-se, então, que é necessário que em cada caso se faça um balanço entre as vantagens e desvantagens, para se alcançar um consenso final.

5 Matriz energética brasileira e a contribuição do biodiesel

Pode-se dizer que a matriz energética brasileira é considerada uma das mais renováveis do mundo industrializado, se não for a mais. Segundo Lacerda et al. (2014), não havendo muita alteração, no Brasil, a porcentagem que as fontes renováveis apresentam na matriz energética é cerca de 46% do total, provenientes de fontes como as energias eólicas e solar, as biomassas e etanol e as usinas hidrelétricas, que são responsáveis por 75% do abastecimento de energia elétrica nacional. Em comparação, as energias renováveis no cenário mundial representam apenas 13% do total em países industrializados e 6% nos países em desenvolvimento. A Figura 5 representa a matriz energética brasileira mais recente, no ano de 2014.

Figura 5 – Matriz energética brasileira em 2014



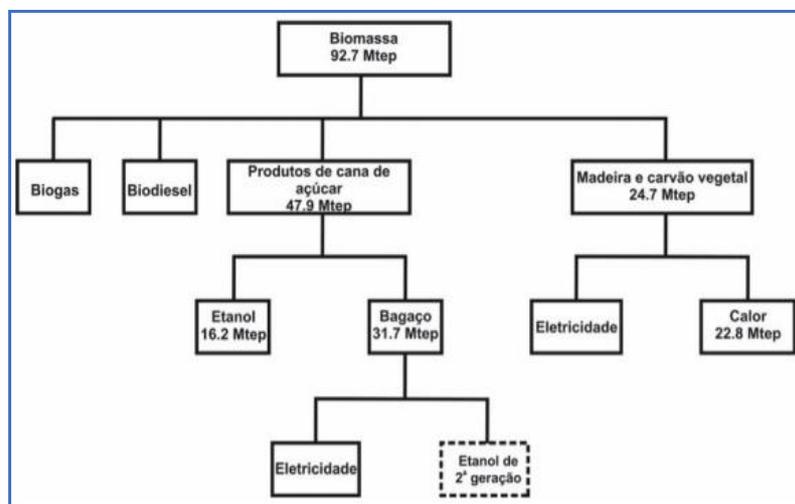
Fonte: Lacerda et al. (2014)

Verifica-se pela Figura 5 que o petróleo ainda é responsável por uma fatia de mais que 40% da matriz energética e é não renovável. O segundo colocado, na matriz, vem do emprego da cana de açúcar que é biomassa e representa mais de 17% e é o maior entre os renováveis. Como consideram Tomasquim, Guerreiro e Gorini (2007), a partir de 1970, a matriz energética brasileira inseriu os biocombustíveis na sua

composição, devido às crises do petróleo e a busca pela menor dependência do mesmo, sendo a produção de etanol, o maior destaque dessa época. Nos anos 2000, motivados ainda mais pela redução na dependência de derivados de petróleo, os biocombustíveis se destacaram no cunho ambiental, visto seu papel para redução das emissões globais de gases do efeito estufa.

Em 2004, foi estipulado pelo Programa Nacional de Produção de Uso de Biodiesel, a regulamentação e produção de biodiesel brasileiro, e assim no ano de 2010, era obrigatória a adição de 5% de biodiesel no diesel tradicional, consolidando sua participação na matriz energética. Já em novembro daquele ano foi estipulada uma mistura de 7% e, na data de 23 de março de 2017, foi implementada a mistura de 8% (B8) de biodiesel ao diesel mineral, e a projeção esperada é de que até março de 2019 a mistura chegue a 10% (B10). Esse aumento na mistura diminui a importação de diesel, o que contribui no balanço econômico brasileiro (BRASIL, 2016). A biomassa, dentro da matriz, ainda toma diferentes rotas dentro do cenário energético como mostra o esquema na Figura 6, seguinte.

Figura 6 – Rotas da biomassa na produção de energia



Fonte: Goldemberg (2017, p. 20)

As rotas apresentadas na Figura 6 mostram as possibilidades de uso da biomassa, que também representam opções para se obter custos diferenciados, bem como aproveitamento da matéria-prima. Normalmente, é necessário seguir uma ou várias rotas na produção e geração de energia a partir da biomassa.

6 Resultados e discussão

No ano de 2015, o Brasil atingiu uma produção de 30 bilhões de litros de etanol, crescendo 6% em relação ao ano de 2014 (PORTAL BRASIL, 2016). Esse crescimento mostra a grande capacidade que o país possui na produção de etanol, álcool esse que pode ser utilizado na produção do biodiesel no processo de transesterificação. Como já foi mencionado anteriormente no trabalho, o álcool mais comumente utilizado nos processos de transesterificação é o metanol, devido a suas características tornarem o processo mais prático. Porém, o custo do metanol em relação ao etanol é consideravelmente maior, o que incrementa a discussão sobre qual seria mais viável e vantajoso. O Quadro 3, a seguir, apresenta os respectivos custos do litro de metanol e etanol atualmente.

Quadro 3 – Preços de mercado de um litro de metanol e etanol

Álcool (L)	Preço (R\$)
Metanol	12,00
Etanol	2,70

Fonte: elaborado pelos autores deste artigo

Na análise feita na revisão bibliográfica, foi constatado que para o etanol ser um reagente competitivo, precisaria ser, no mínimo, 20% mais barato o custo de sua utilização e, portanto, os dados mostram que seu custo é 40% menor, se enquadrando como um produto competitivo na produção de biodiesel, levando em conta esse parâmetro. Em se tratando de eficiência na produção do biodiesel, foram analisados alguns trabalhos realizados como parâmetros de comparação. Utilizando um processo por rota metálica, os autores Ferri (2016), Dib (2010) e Brandão et al. (2007) chegaram a diferentes porcentagens de rendimento; porém, todas dentro dos parâmetros exigidos.

Ferri (2016), por meio de análises laboratoriais, chegou a uma eficiência média de 91,5% na produção de biodiesel, utilizando óleo residual reagindo com metóxido de sódio. Utilizando-se dos mesmos métodos e matérias, Dib (2010) conseguiu uma porcentagem de 92% de eficiência na produção de biodiesel, utilizando tanto óleo residual, quanto óleo degomado de soja. Já Brandão et al (2007), fez ensaios utilizando uma mistura de metanol e etanol, reagindo com hidróxido de potássio e, por meio da

variação na porcentagem da mistura, obteve resultados satisfatórios. Por exemplo, para misturas com reação de 30 minutos, todas as amostras com exceção das amostras com 30% de etanol, se mostraram com alto índice de rendimento; amostras com mais de 50% de etanol não se mostraram muito satisfatórias. Porém, com um tempo de reação de 60 minutos, as misturas com 50% de etanol produziram resultados com alta eficiência. Isso pode ser explicado pelo etanol exigir um tempo maior para atingir o equilíbrio e convergir os triglicerídeos em ésteres. Segundo dados agência nacional de petróleo, no ano de 2015 o Brasil produziu 3.937.269 m³ de biodiesel (B100). O Quadro 4 mostra a evolução na produção de biodiesel do ano de 2006 ao ano de 2015.

Quadro 4 – Produção de biodiesel* (B100), segundo grandes regiões e unidades da federação (2006-2015)

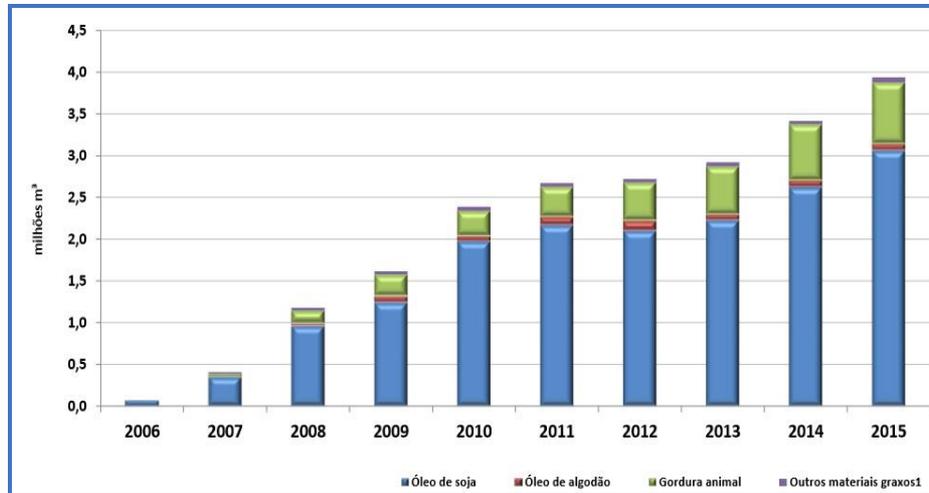
Grandes regiões e unidades da Federação	Produção de biodiesel (B100) - (m ³)										15/14 %
	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	
Brasil	69.002	404.329	1.167.128	1.608.448	2.386.399	2.672.760	2.717.483	2.917.488	3.419.838	3.937.269	15,13
Região Norte	2.421	26.589	15.987	41.821	95.106	103.446	78.654	62.239	84.581	66.225	-21,70
Rorônia	.	99	228	4.779	6.190	2.264	8.406	13.553	10.977	4.140	-62,28
Pará	2.421	3.717	2.625	3.494	2.345	.	.	.	.	.	..
Tocantins	.	22.773	13.135	33.547	86.570	101.182	70.247	48.687	73.604	62.085	-15,85
Região Nordeste	34.798	172.200	125.910	163.905	176.994	176.417	293.573	278.379	233.176	314.717	34,97
Maranhão	.	23.509	36.172	31.195	18.705	.	.	.	.	.	..
Piauí	28.604	30.474	4.548	3.616	.	.	.	.	.	.	..
Ceará	1.956	47.276	19.208	49.154	66.337	44.524	62.369	84.191	72.984	87.434	19,80
Pio Grande do Norte	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1.799	..
Bahia	4.238	70.942	65.982	79.941	91.952	131.893	231.204	194.188	160.192	225.484	40,76
Região Sudeste	21.562	37.023	185.594	284.774	420.328	379.410	255.733	261.373	270.891	295.436	9,06
Minas Gerais	311	138	.	40.271	72.693	76.619	80.100	88.020	83.283	92.258	10,78
Rio de Janeiro	.	.	.	8.201	20.177	7.716	17.046	8.891	17.262	18.704	8,35
São Paulo	21.251	36.885	185.594	236.302	327.458	295.076	158.587	164.462	170.345	184.473	8,29
Região Sul	100	42.708	313.350	477.871	675.668	976.928	926.611	1.132.405	1.358.949	1.512.484	11,30
Paraná	100	12	7.294	23.681	69.670	114.819	120.111	210.716	319.222	363.689	13,93
Santa Catarina	.	.	.	.	.	.	.	38.358	68.452	34.489	-49,62
Rio Grande do Sul	.	42.696	306.056	454.189	605.998	862.110	806.500	883.331	971.275	1.114.307	14,73
Região Centro-Oeste	10.121	125.808	526.287	640.077	1.018.303	1.036.559	1.162.913	1.183.092	1.472.242	1.748.407	18,76
Mato Grosso do Sul	.	.	.	4.367	7.828	31.023	84.054	188.897	217.297	207.484	-4,52
Mato Grosso	13	15.170	284.923	367.009	568.181	499.950	477.713	418.480	611.108	845.671	38,38
Goiás	10.108	110.638	241.364	268.702	442.293	505.586	601.146	575.715	643.837	695.252	7,99

Fonte: ANP/SPD (2016), cf. Resolução ANP nº 17/2014
*Biodiesel (B100), especificado conforme Resolução nº 14/2012

Por meio do quadro, verifica-se que o Brasil apresenta crescimento anual na produção de biodiesel no período entre 2006 a 2015 e, por meio da matemática, pode-se considerar que esse crescimento tende a continuar nos próximos anos. Os dados

apresentados são complementados pelo gráfico da Figura 7, apresentado a seguir.

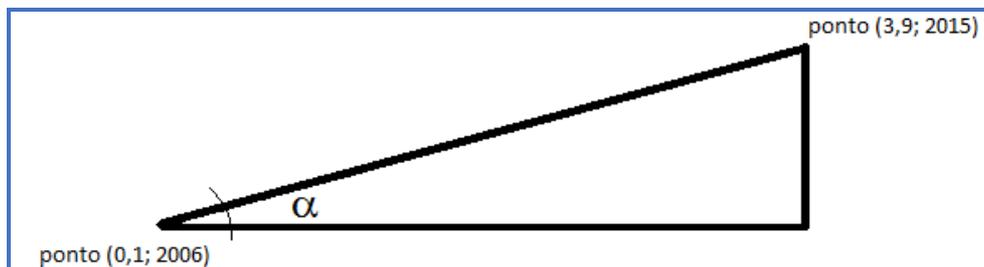
Figura 7 – Matérias-primas usadas na produção do B100 (2006-2015)



Fonte: ANP/SPD (2016)

Fazendo-se uma análise simplificada, a partir do gráfico apresentado na Figura 7, podemos considerar um triângulo, como ilustra a Figura 8.

Figura 8 – Triângulo simplificado para realização de análise de extrapolação de emprego de matérias-primas na produção de biodiesel no Brasil



Fonte: Figura elaborada pelos autores deste artigo

Por meio dos dados da Figura 8 e a partir da equação geral da reta: $y = A.x + B$, onde:

X é a variável correspondente ao eixo das abcissas, que equivale ao ano.

Y é a variável dependente correspondente ao eixo das ordenadas que corresponde aos milhões de m³ de matéria prima empregados na fabricação de biodiesel no Brasil.

α é a letra grega alfa, corresponde ao ângulo entre as arestas do triângulo da figura.

A e B são constantes, sendo que o valor de B é obtido por meio do gráfico e corresponde a: $B = 0,1$.

Já o valor de A corresponde à tangente do ângulo alfa e pode ser obtida por meio de:

A = Tangente $\square = (3,9 - 0,1) / (2015 - 2006) = 3,8 / 9 = 0,4222...$ que pode ser aproximado para o valor 0,4 considerando-se somente uma casa decimal.

Logo, a equação da reta é: $Y = 0,4.X + 0,1$

Por meio da equação, entrando-se com o ano $X = 2017$, pode-se considerar que teremos uma possibilidade, conforme o raciocínio efetuado, de se alcançar, no final do corrente ano, o consumo de milhões de m^3 de matérias-primas para produção de biodiesel no Brasil, da ordem de:

$$Y = 0,4.2017 + 0,1 = 806,9 \text{ milhões de } m^3 \text{ de matéria prima.}$$

A importância deste tipo de previsão com base matemática, mesmo que simplificada, está baseada na necessidade de dimensionamento das linhas de produção, dos processos, instalações e equipamentos, bem como do cálculo subsequente relacionado a tonéis, silos, tanques e instalações de armazenagem, dos equipamentos e logística envolvidos na movimentação e transporte de uma quantidade tão grande de matérias primas e, por conseguinte, de produto acabado que é o biodiesel.

Como a engenharia, lida com todas as etapas processuais e a previsão dos equipamentos, instalações, pessoal, tempo e custos necessários para se viabilizar a produção prevista, verifica-se então, que há a possibilidade de inserção de mão de obra de engenharia nos diversos processos e que se constitui numa área de atuação promissora para a engenharia de todas as modalidades e, em particular, da engenharia ambiental, nos seus vieses de sustentabilidade e de busca tecnologias e soluções para as energias renováveis, uma vez que este setor está em crescimento, mesmo em épocas consideradas de “crise” e de economia difícil, como ocorreu no ano de 2015, em nosso país.

Outro viés do estudo em questão refere-se aos custos de produção do biodiesel. Para os cálculos-base foram utilizadas áreas de plantio agrícola, com capacidade de geração de 40 mil toneladas de biodiesel/ano, segundo definido por Barros (2006). Para os estudos, o trabalho utilizou cálculos dos custos de produção do biodiesel na indústria, na condição PVU – Posto Veículo Usina. O óleo proveniente do caroço do algodão seria o de custo mais vantajoso numa plantação com capacidade de 100 mil toneladas/ano, tendo um valor de R\$ 0,66 por litro. O caroço de algodão, se encaixa numa categoria de

subprodutos, juntamente com óleos residuais de dendê, entre outros. Por conta disso, há a necessidade da produção em grande escala desses subprodutos num programa de âmbito nacional.

Segundo estudo de Barros (op. cit.), para plantas com capacidade de produção de 40 mil toneladas/ano, a mais vantajosa seria o biodiesel proveniente do óleo de soja, com um custo médio de R\$ 0,833 o litro, seguida pelo óleo de girassol a R\$ 1,034 o litro. Nas análises e comparações feitas entre as matérias-primas produzidas, o custo de biodiesel produzido através de óleos residuais não foi constatado, sendo que, na verdade, ele seria o mais vantajoso economicamente.

Ferri (2016) estipulou um valor de produção de US\$ 0,16/L, ou seja, R\$/L 0,51 considerando-se o dólar a R\$ 3,19. O quadro 5, a seguir, faz uma comparação entre a oleaginosa mais vantajosa e o óleo residual.

Quadro 5 – Comparação das matérias-primas em relação a custo e área demandada

Matéria-prima	Custo do biodiesel (PVU) – R\$/L	Área demandada (ha)
Óleo de soja	0,883	311,85
Óleo residual	0,51	-

Fonte: Barros (2006), Ferri (2016)

Como pode ser visto no Quadro 5, o biodiesel resultante de óleos residuais tem um menor custo de produção em comparação ao óleo de soja, sem falar no fato de não ocupar uma área física para sua produção. Além disso, há o quesito ambiental que o biodiesel de óleo residual carrega consigo: a sua utilização na produção de biocombustível seria um modo adequado de destinação final para esse tipo de resíduo, o que seria de grande contribuição na preservação dos cursos d'água. Outro ponto importante a ser considerado, está na porcentagem de biodiesel que é adicionado ao diesel mineral nas misturas (BXX). Por exemplo, até meses atrás a mistura B7 (7% de biodiesel na mistura), reduzia a dependência brasileira de importação de óleo diesel em 1,2 bilhões de litros e, conseqüentemente, representa uma economia aos cofres públicos de aproximadamente U\$ 1 bilhão.

Com a implementação do B8 no mês de março, a dependência de importação de diesel apontaria para uma redução de 1,37 bilhões de litros. Portanto, esse aumento

na mistura de 7% para 8% resulta numa produção de 1,37 bi de litros de biodiesel. Analisando os custos de produção mostrados acima, pode-se realizar uma comparação econômica em relação à utilização da soja e do óleo residual. Considerando-se que um litro de biodiesel, produzido com óleo residual, custa R\$ 0,51 centavos e com óleo de soja custa R\$ 0,833 centavos, então uma produção de 1,37 bilhões de litros (B8) custaria os valores apresentados no quadro abaixo.

Quadro 6 – Comparação nos custos de produção utilizando soja e óleo residual

Matéria-prima	Custo (R\$)
Óleo de soja	1.209.710,00
Óleo residual	698.000.000

Fonte: Quadro elaborado pelos autores deste artigo

O Quadro 6 mostra mais um benefício da utilização de óleos residuais na produção do biodiesel, associada às vantagens da sustentabilidade da fonte de energia renovável, da geração de empregos no setor e da geração de riquezas que podem ajudar o país.

Considerações finais

O biodiesel é um combustível renovável e sustentável, que pode gerar muitos empregos e é adequado para um país, como é o caso do Brasil, que possui grandes áreas de terra cultivável, irrigável e, praticamente, sol o ano inteiro. Neste estudo, realizou-se uma análise comparativa dos tipos de álcool utilizáveis na fabricação de biodiesel, procurando verificar aquele que apresenta melhores condições técnicas e financeiras nas condições do nosso país. Pode-se afirmar que a escolha do tipo de álcool utilizado nas reações, e da matéria-prima utilizada nos processos de fabricação do biodiesel, podem alterar a eficiência e qualidade do processo, podendo ser tanto positivos, quanto negativos.

Tratando-se do tipo de álcool utilizado, o metanol ainda se destaca como a principal escolha devido às suas características serem mais favoráveis ao processo. Porém, a análise realizada aponta que o etanol também se faz competitivo no processo de produção do biodiesel, pois mesmo que seu processo exija mais tempo e energia, a vasta produção deste tipo de álcool no Brasil se torna um atrativo a ampliar sua

utilização, devido ao menor custo e maior disponibilidade. Para tanto, o ideal é a busca por novos métodos como, por exemplo, a utilização de torres de desidratação do álcool hidratado, juntamente no processo, ou mesmo a mistura entre o etanol e o metanol, que se provou eficiente. Além disso, incentivos governamentais para o uso do etanol como matéria-prima são de extrema importância também.

Com relação aos processos de transesterificação, foi possível constatar uma alta eficiência, que supera os 90%, na maioria dos testes pesquisados, tanto para os óleos vegetais, quanto para o óleo residual. Devido a essa eficiência no processo, o biodiesel se torna competitivo economicamente, sendo que comparando os diferentes tipos de óleos utilizados, o que mais se destaca é óleo residual. Além de ser financeiramente mais viável, não ocupa espaço físico para sua produção (área de plantação), e é considerado um produto ambientalmente correto, por ser reciclado e evitar a emissão de gases estufa, além de ser um descarte ambientalmente adequado, evitando a poluição de corpos hídricos.

Dentre os diferentes tipos de oleaginosas utilizadas no processo de biodiesel, a mais vantajosa é a soja, que analisando todos os custos envolvidos, possui o menor custo de produção. Porém, é importante destacar que os subprodutos dessas oleaginosas também se apresentam economicamente competitivos, sendo que, com incentivos do governo e estudos mais aprofundados, poderiam ser criados programas de incentivo aos seus usos, em âmbito nacional.

É possível afirmar que, mesmo com as vantagens da produção do biodiesel, esse produto ainda não faz frente ao diesel mineral, se comparado do ponto de vista econômico. Sugere-se que as políticas públicas para os próximos anos, tragam mais incentivos financeiros e tecnológicos, por parte do governo brasileiro, para as empresas e organizações que atuam nesta área, expandindo sua participação na matriz energética brasileira, e assim aumentando a porcentagem de biodiesel misturado ao diesel mineral, diminuindo a dependência de importação, de modo crescente, e gerando preciosos empregos para a mão de obra nacional.

Referências

ALGAUER JÚNIOR, Gilson G. **Reflexo da política externa dos governos Lula e**

25

FHC nas notícias do *The New York Times*, *El País* e *Clarín*. Especialização em Relações Internacionais, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

ALMEIDA, J. A. N. [et al.] **Projeto biocombustível:** processamento de óleos e gorduras vegetais in natura e residuais em combustível tipo diesel. Universidade Estadual de Santa Cruz, UESC, Ilhéus, Bahia, 2000.

ANP/SPD. Agência nacional de petróleo, gás natural e biocombustíveis. **Anuário estatístico 2016.** Disponível em: <http://www.anp.gov.br/wwwanp/publicacoes/anuario-estatistico/2441-anuario-estatistico-2016>>. Acesso em: 07 jun. 2017.

ARAÚJO, Ernando S.; KLEIN, Karina V. Produção de biodiesel através da utilização de rejeitos de metanol gerados por laboratórios de controle de qualidade em indústrias do polo farmacêutico da cidade de Anápolis. In: **II Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental**, Goiânia/GO, 19-22 nov. 2012.

BARBOSA, Grazielly Norões; PASQUALETTO, Antônio. **Aproveitamento do óleo residual de fritura na produção de biodiesel.** Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade Católica de Góias, 2007.

BARROS, Geraldo S. C. [et al]. Custos de produção de biodiesel no Brasil. **Revista de Política Agrícola**, v. 15, nº 3, p. 36-50, 2006. Disponível em: <<https://seer.sede.embrapa.br/index.php/RPA/article/view/508/459f>>. Acesso em: 07 jun. 2017.

BRANDÃO, K. S. R. [et al]. Aplicação do Planejamento Fatorial e Metodologia de Superfície de Resposta na Otimização da Produção do Biodiesel Metílico de Mamona. **Embrapa Algodão** (6), São Luiz, Maranhão, 2007.

BRASIL. **Decreto nº 6.514** de 22 de julho de 2008. Dispõe sobre as infrações e sanções administrativas ao meio ambiente, estabelece o processo administrativo federal para apuração destas infrações, e dá outras providências. Brasília: Casa civil, 2008.

_____. **Decreto nº 76.593**, de 14 de novembro de 1975. Institui o Programa Nacional do Alcool e dá outras Providências. Disponível em: <<http://www2.camara.leg.br/legin/fed/decret/1970-1979/decreto-76593-14-novembro-1975-425253-publicacaooriginal-1-pe.html>>. Acesso em: 06 jun. 2017.

_____. **Lei nº 11.097** de 13 de janeiro de 2005. Dispõe sobre a introdução do biodiesel na matriz energética brasileira; altera as Leis nos 9.478, de 6 de agosto de 1997, 9.847, de 26 de outubro de 1999 e 10.636, de 30 de dezembro de 2002 e dá outras

providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2005/lei/111097.htm>. Acesso em: 06 jun. 2017.

_____. Ministério de Minas e Energia. **CNPE define regras para as misturas de biodiesel B7 e B8.** Publicado em 15 abr. 2016. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/web/guest/pagina-inicial/outras-noticias/-/asset_publisher/32hLrOzMKwWb/content/cnpe-define-regras-para-as-misturas-de-biodiesel-b7-e-b8>. Acesso em: 06 jun. 2017.

_____. Ministério de Minas e Energia. **O novo combustível do Brasil.** Sobre o biodiesel. Portal do Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel. Publicado em 2017. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/programas/biodiesel>>. Acesso em: 07 jun. 2017.

BRONDANI, M. [et al.]. Balanço de massa do processo de produção de biodiesel visando a recuperação do metanol residual. In: **Simpósio Estadual de Agroenergia – IV Reunião Técnica de Agroenergia do RS.** Porto Alegre-RS, 2012.

CATALUÑA, Renato; CAMARIM, Antonella N. Produção de biodiesel a partir de etanol e óleo de soja utilizando pentano como co-solvente. In: **XVIII Salão de Iniciação Científica.** Porto Alegre: UFRGS, 2006.

COUTINHO, E.; SHITSUKA, R. Avaliação das noções de Sustentabilidade em três Cursos de Engenharia. **Enciclopédia Biosfera**, v. 13, p. 1084-1091, 2011.

DEFATO. Abastecer com álcool está mais caro em Itabira. **DeFatoOnline**, 10 de janeiro de 2017. Disponível em: <<http://www.defatoonline.com.br/noticias/ultimas/10-01-2017/abastecer-com-alcool-esta-bem-mais-carro-em-itabira>>. Acesso em: 07 jun. 2017.

DIB, Fernando H. **Produção de biodiesel a partir de óleo residual reciclado e realização de testes comparativos com outros tipos de biodiesel e proporções de mistura em um moto-gerador.** Dissertação (mestrado), Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, 2010. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/88869>>. Acesso em: 07 jun. 2017.

EMBRAPA. Agência Embrapa de Informação Tecnológica. **Gordura animal.** Disponível em: <<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/agroenergia/arvore/CONT000fj1om7kf02wyiv802hvm3jholyyoom.html>>. Acesso em: 02 maio 2017.

FERRI, Jéssica P. A. **Estudo de caso: análise de viabilidade econômica de produção de biodiesel em Itabira-MG**. Monografia. Bacharelado em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Itajubá – Campus Itabira, 2016.

FRANCO, Lucina; SOUZA, Ernesto. Nova moeda no campo: Brasil amplia produção de etanol e biodiesel beneficiando agricultores de todo o país. Publicado no website do **Globo Rural**, edição 299, 2010. Disponível em: <<http://revistagloborural.globo.com/Revista/Common/0,,ERT168364-18282,00.html>>. Acesso em: 07 jun. 2017.

GOLDEMBERG, José. Atualidade e perspectivas no uso de biomassa para geração de energia. **Rev. Virtual Quim.** 9 (1), 15-28, 2017.

LACERDA, C. V. [et al.]. Reaproveitamento do glicerol residual do processo de produção de biodiesel utilizando catalisador à base de HPA suportado em ácido nióxico para a obtenção de aditivos. **Rev. Virtual Quim.** 6 (5), 1332-1352, 2014. Disponível em: <<http://rvq.sbq.org.br/imagebank/pdf/v6n5a14.pdf>>. Acesso em: 07 jun. 2017.

LOBO, B. B. [et al.]. Otimização da produção de biodiesel a partir de etanol e óleo residual de frituras empregando catálise mista. **Blucher Proceedings**, v. 1, nº 1, dezembro, 2014. Disponível: <<http://www.proceedings.blucher.com.br/article-details/otimizao-da-producao-de-biodiesel-a-partir-de-etanol-e-leo-residual-de-frituras-empregando-catalise-mista-11120>>. Acesso em: 28 jun. 2017.

LUCON, Oswaldo. O futuro da energia. **Interfacehs** – Revista de Gestão Integrada em Saúde do Trabalho e Meio Ambiente, v. 1, nº 3, Artigo 3, abril, 2007. <www.interfacehs.sp.senac.br>. Acesso em: 07 jun. 2017.

MENEZES, C. G. P.; FIDALGO, J. L. G.; SILVA, T. D. Produção de biodiesel a partir de óleos residuais de fritura. **Bolsista de Valor: Revista de divulgação do Projeto Universidade Petrobras e Instituto Federal Fluminense**, v. 1, p. 279-283, 2010.

MERCADO LIVRE. **Metanol**. Disponível em: <<https://www.mercadolivre.com.br/>>. Acesso em: 7 jun. 2017.

MERLIN, Renan O. **A importância do etanol brasileiro no cenário mundial**. Monografia. Curso de Comércio Exterior do Centro de Ciências Sociais Aplicadas da Universidade do Vale do Itajaí, 2009.

MIKHAILOVA, Irina. Sustentabilidade: evolução dos conceitos teóricos e os problemas da mensuração prática. **Revista Economia e Desenvolvimento**, nº 16, 2004.

MOREIRA, J. R., GOLDEMBERG, J. “The alcohol program”, **Energy Policy**, v. 27, nº 4, pp. 229-245, 1999.

OLIVEIRA, E. V. A.; THOMAZ, D.; MARIA, L. C. S. Comparação das rotas metálica e etílica para obtenção de biodiesel através da transesterificação do óleo de soja via catálise básica. In: **48º Congresso Brasileiro de Química**. Rio de Janeiro-RJ, 29/09 a 03/10/2008.

PAIVA, Eduardo J. M. **Estudo da produção de biodiesel a partir de óleo de babaçu e etanol utilizando a transesterificação alcalina tradicional com agitação mecânica e assistida por ultrassons**. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de Lorena da Universidade de São Paulo, 2010.

PASSANEZI, Paula M. S.; NOHARA, Jouliana J.; ACEVEDO, Cláudia R. **A política brasileira para o etanol: uma análise do aparato histórico-institucional**. In: VII Convibra - VII Brazilian Virtual Conference - Administração. 19 a 21 de novembro de 2010. Disponível em: <http://www.convibra.com.br/upload/paper/adm/adm_1132.pdf>. Acesso em: 07 jun. 2017.

PORTAL BRASIL. **Etanol atingiu produção recorde de 30 bilhões de litros em 2015**. Publicado em 11 de maio de 2016. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/economia-e-emprego/2016/05/etanol-atingiu-producao-recorde-de-30-bilhoes-de-litros-em-2015>>. Acesso em: 07 jun. 2017.

PREÇO. **Preço dos combustíveis**. Preço do litro de álcool etanol em junho de 2017. Website Preço dos Combustíveis. Disponível em: <<http://www.precodoscombustiveis.com.br/postos/cidade/2308/mg/belo-horizonte>>. Acesso em: 07 jun. 2017.

RAMOS, L. P. [Et al]. Biodiesel: Matérias-Primas, Tecnologias de Produção e Propriedades Combustíveis. **Rev. Virtual Quim.**, v. 9, nº 1, p. 317-369, 2017. Disponível em: <<http://rvq.s bq.org.br/imagebank/pdf/v9n1a20.pdf>>. Acesso em: 07 jun. 2017.

REVISTA EA. **Educação ambiental em ação**. Disponível em: <http://www.revistaea.org/img/coleta36_files/image002.jpg>. Acesso em: 02 maio 2017.

SILVA, Paulo Regis Ferreira da; FREITAS, Thaís Fernanda Stella de. Biodiesel: o ônus e o bônus de produzir combustível. **Cienc. Rural**, Santa Maria, v. 38, nº 3, p. 843-851, jun., 2008.

SLUSZZ, Thaisy; MACHADO, João A. D. Características das potenciais culturas matérias-primas do biodiesel e sua adoção pela agroindústria familiar. In: **XLIV Congresso da Sober**: questões agrárias, educação no campo e desenvolvimento. Porto Alegre-RS, 2006.

SOUZA, Alexandre M. **Sustentabilidade e viabilidade econômica de um projeto de microdestilaria de álcool combustível em um grupo de agricultores do assentamento gleba XV de novembro**. Tese (Doutorado). Departamento de Engenharia de Alimentos da Faculdade de Engenharia de Alimentos da Universidade Estadual de Campinas – Unicamp, Campinas-SP, 2010.

SOUZA, Carlos A. Sistemas catalíticos na produção de biodiesel por meio de óleo residual. In: **Encontro de energia no meio rural**, 6. Campinas, 2006. Disponível em: <http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC0000000022006000200040&lng=en&nrm=abn>. Acesso em: 07 jun. 2017.

SUAREZ, Paulo A. Z. [et al]. Biocombustíveis a partir de óleos e gorduras: desafios tecnológicos para viabilizá-los. **Quím. Nova**, São Paulo, v. 32, nº 3, p. 768-775, 2009. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422009000300020&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 07 jun. 2017.

SUAREZ, Paulo A. Z. Metanol ou etanol: algumas considerações. Publicado no website **Biodieselbr** em 20 fevereiro de 2008. Disponível em: <<https://www.biodieselbr.com/noticias/colunistas/suarez/metanol-ou-etanol-consideracoes-20-02-08.htm>>. Acesso em: 06 jun. 2017.

TOLMASQUIM, Maurício T.; GUERREIRO, Amilcar; GORINI, Ricardo. Matriz energética brasileira: uma prospectiva. **Novos estudos Cebrap**, nº 79, p. 47-69, nov. 2007.

Recebido em 30/06/2017
Aceito em 10/07/2017