

Curso de Tecnologia em Biocombustíveis

NABO FORRAGEIRO PARA PRODUÇÃO DE BIODIESEL

ANA PAULA DOS REIS LOPES

Orientador: Claudenir Facincani Franco

**Trabalho apresentado a Faculdade de Tecnologia
de Jaboticabal - Fatec, para obtenção do título de
Tecnólogo em Biocombustíveis.**

**Jaboticabal – SP
2º Semestre/2012**

Lopes, Ana Paula dos Reis

L864n Nabo forrageiro para produção de biodiesel / Ana Paula dos Reis Lopes.—
Jaboticabal : Fatec, 2012.
51f.

Orientador: Claudenir Facincani Franco

Trabalho (graduação) – Apresentado ao Curso de Tecnologia em
Biocombustíveis, Faculdade de Tecnologia de Jaboticabal, 2012.

1. Biocombustíveis. 2. *Raphanus sativus* L. 3 Biomassa. I. Franco,
C. F. II. Título.

CDU 662.756.3

Curso de Tecnologia em Biocombustíveis

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: NABO FORRAGEIRO PARA PRODUÇÃO DE BIODIESEL.

AUTOR: ANA PAULA DOS REIS LOPES

ORIENTADOR(A): PROF. MSc. CLAUDENIR FACINCANI FRANCO

Trabalho de Graduação aprovado pela Banca Examinadora como parte das exigências para conclusão do Curso Superior de Tecnologia em Biocombustíveis, apresentado à FATEC-JB para a obtenção do título de Tecnólogo.

CLAUDENIR FACINCANI FRANCO

JÚLIO CESAR DE SOUZA

FLÁVIA RISSE DE MATTOS BARRETTO

Data da apresentação: 21 de dezembro de 2012.

Presidente da Comissão Examinadora

Abrace a vida com paixão, perca a classe e vença com ousadia, porque o mundo pertence a quem se atreve e a vida é muito para ser insignificante.
Charlie Chaplin

Dedico esse trabalho aos meus pais Joaquim Carlos Lopes (*in memoriam*) e Neusa Mello dos Reis Lopes, por cada ensinamento, cada carinho e por me possibilitarem a realização deste sonho. A minha irmã Natalie e a minha prima Marcela por serem minhas companheiras sempre.

Agradecimentos

Agradeço primeiramente a Deus pelo privilégio da vida. Por sempre me guiar, me acompanhar, me proteger em todos os momentos de minha vida.

Ao prof. Claudenir, meu orientador, pela oportunidade, incentivo e pela confiança em mim depositada.

Ao meu pai Joaquim Carlos (*in memoriam*) que hoje vivo a dor da separação, mas que na sua simplicidade sempre esteve ao meu lado incentivando-me a estudar e, a ele, toda a minha gratidão.

A minha vó Amélia que, mesmo longe, sempre esteve ao meu lado, me dando força, apoio e carinho.

A minha mãe, que além de mãe é uma grande amiga. Que esteve presente ao meu lado todos esses anos, sempre me apoiando e incentivando com seu infinito amor e carinho.

A minha irmã Natalie e minha prima Marcela que sempre me deram forças nas horas mais difíceis e pela amizade incondicional que temos.

Às minhas amigas de casa, pela amizade e pelas conversas até tarde. Às minhas amigas, Letícia, Graziéli, Soraia por estarem ao meu lado no momento mais difícil da minha vida e a Priscila e Camila (Mijona), por fazerem desses anos os melhores.

Aos meus amigos de Araraquara Leonardo, Marciel, Douglas, Conceição e Jheniffer que são amigos desde crianças e que me acompanharam nessa nova jornada.

E à vida que é bela.

RESUMO

O uso de combustíveis fósseis gerou preocupação com o meio ambiente por não serem de origem renovável e por emitir elevadas concentrações de gases poluentes na atmosfera. Tal preocupação levou à busca de novas fontes alternativas, como os combustíveis alternativos os quais são renováveis e não poluem. Um desses combustíveis é o biodiesel, originado a partir de os óleos vegetais, gordura ou óleo animal, além de óleos de frituras residuais. O Brasil apresenta condições climáticas e territoriais favoráveis para o cultivo de plantas oleaginosas para obtenção de óleo e para a produção de biodiesel, a soja é a principal planta utilizada para a produção de biodiesel, porém outras plantas podem ser utilizadas como o girassol, amendoim além de novas plantas que estão sendo estudadas como é o caso do nabo forrageiro. O nabo é uma planta muito utilizada para plantio direto e os estudos encontram-se bastante avançado. Entretanto, o estudo da utilização do nabo forrageiro para a produção de biodiesel ainda está em andamento. Assim, este trabalho teve como objetivo estudar, na literatura, a produção de biodiesel por meio do nabo, uma vez que a planta possui um teor de óleo que varia entre 40 a 54% o que leva a crer no potencial dessa oleaginosa. No entanto são necessários mais estudos sobre o óleo e o biodiesel produzidos a partir do nabo já que na literatura há poucos estudos que demonstrem qual o mais adequado processo.

PALAVRAS-CHAVE: Biocombustíveis. Biomassa. *Raphanus sativus* L.

ABSTRACT

The use of fossil fuels has caused concern for the environment because they are not from renewable sources and deliver high concentrations of greenhouse gases in the atmosphere. This concern led to the search for new energy sources, such as alternative fuels which are renewable and do not pollute. One such fuel is biodiesel, originated from vegetable oils, animal oil or fat, and waste frying oils. Brazil has favorable climatic conditions and land for cultivation of oilseed plants to obtain oil and biodiesel production, is the main soybean plant used for biodiesel production, but other plants may be used such as sunflower, peanut addition new plants that are being studied as is the case of wild radish. The radish is a plant widely used for tillage and studies are well advanced. However, the study of the use of turnip for the production of biodiesel is ongoing. This work aimed to study the literature, the production of biodiesel through turnip, once the plant has an oil content ranging from 40-54%, which suggests the potential of this oilseed. However more studies are needed on the oil and biodiesel produced from rape since there are few studies in the literature that documents showing that the most appropriate process.

KEY-WORDS: Biofuels. *Raphanus sativus* L. Biomass.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 01 – Projeção ao longo dos anos para o consumo e quantidade de remanescente	14
FIGURA 02 – Demanda de combustíveis do petróleo	16
FIGURA 03 – Matriz energética mundial.....	18
FIGURA 04 – Matriz energética brasileira	18
FIGURA 05 – Diagrama esquemático mostrando o ciclo de vida de produtos obtidos através de fontes renováveis.....	23
FIGURA 6 - Fluxograma.....	28
FIGURA 7 - Flores do nabo forrageiro	38
FIGURA 8– Siliqua.....	39

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Vantagens e desvantagens do biodiesel em relação ao diesel.....	22
TABELA 2 – Produção de biodiesel no mundo	25
TABELA 3 -Principais estados brasileiros produtores de biodiesel - 2006 a 2008.....	26
TABELA 4 – Dados sobre as moléculas de AG mais comuns.....	34
TABELA 5 – Composição de alguns óleos vegetais em % de AG na formação de TG	35
TABELA 6 – Propriedades físico-químicas de alguns óleos vegetais	37
TABELA 7 – Composição dos óleos vegetais da soja, girassol e nabo forrageiro	40
TABELA 8 – Características do nabo forrageiro	41
TABELA 9 – Características dos óleos de soja, girassol e nabo forrageiro.....	41

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 OBJETIVO	15
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
3.1 Diesel.....	16
3.2 Biodiesel.....	17
3.2.1 Antecedentes: na crise do petróleo.....	17
3.2.2 Conceito.....	18
3.2.3 Definição do biodiesel.....	19
3.2.4 Característica do biodiesel.....	20
3.2.5 Classificação do biodiesel.....	21
3.2.6 Panorama mundial e brasileiro do biodiesel	23
3.2.7 Produção do biodiesel	27
3.2.7.1 Pirólise	27
3.2.7.2 Micro emulsão	27
3.2.7.3 Transesterificação	27
3.2.8 Parâmetros de qualidades do biodiesel	31
3.3 Matéria-Prima	32
3.3.1 Óleo vegetal	32
3.3.2 Composição do óleo vegetal	33
3.4 Nabo forrageiro.....	37
3.4.1 Óleo do nabo forrageiro e biodiesel.....	39
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS	43
5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	44

1 INTRODUÇÃO

Rudolf Diesel construiu o primeiro motor a diesel, em Augsburg, Alemanha, o qual recebeu o seu nome em homenagem. O motor foi apresentado ao público oficialmente na Exposição Mundial de Paris, sendo que eram de injeção indireta e podiam ser alimentados por petróleo filtrado, óleos vegetais ou de peixes (KNOTHE, 2006).

Na década de 50, surgiu o óleo diesel proveniente do petróleo a partir do advento dos motores de injeção direta e sem pré-câmara. Durante esse período, os óleos vegetais como combustíveis foram deixados de lado.

Em 1973, a crise energética elevou a aproximadamente 300% o preço do barril do petróleo, causando mudança na consciência mundial a respeito da produção e consumo de energia não renovável, como o combustível fóssil. Assim o homem passou a valorizar as energias provenientes da biomassa. A população mundial passou a buscar novas fontes de energias renováveis e tecnologias de conversão.

Os principais tipos de energias renováveis são: solar, biogás, biomassa, eólica e usinas hidroelétricas (LEIRAS, 2006).

No Brasil, durante a crise, foram criados, pelo governo federal, o PROÁLCOOL e o PRODIESEL. O PROÁLCOOL foi bem sucedido, substituindo a gasolina por etanol, proporcionando ao Brasil a oportunidade de produzir, com inovação um combustível alternativo e limpo. Entretanto, o PRODIESEL, não teve o mesmo sucesso do PROÁLCOOL por falta de interesse das autoridades energéticas.

Os biocombustíveis constituem um considerável nicho de desenvolvimento socioeconômico para o país, uma vez que, além de fornecerem um novo estímulo às cadeias produtivas de oleaginosas e da cana-de-açúcar, com a subsequente geração de milhões de empregos diretos e indiretos, proporciona a redução gradual dos níveis de importação de petrodiesel, favorecendo a balança comercial (DOMINGOS, 2005).

O Brasil é um dos países com maior potencial para a produção de combustíveis a partir de biomassa e explora menos de um terço de sua área agricultável, o que constitui a maior fronteira para expansão agrícola do mundo, cerca de 150 milhões de hectares. Desta forma, o país tem a possibilidade de incorporar novas áreas à agricultura para a geração de energia sem competir com a agricultura para alimentação e com impactos ambientais limitados (TRZECIAK, *et al*, 2008).

Assim, em 2002, foi criado o Programa Brasileiro de Biocombustíveis, para incentivar a utilização do biodiesel, gerando emprego e renda, inclusão social, redução das emissões poluentes e diminuição de dependência do petróleo importado.

O biodiesel é um combustível renovável, biodegradável e ecologicamente correto, de origem animal ou vegetal. É constituído por uma mistura de ésteres etílicos ou metílicos de ácidos graxos, obtidos de uma reação química denominada transesterificação, na qual quaisquer triglicerídeos reagem com álcool de cadeia curta (etanol ou metanol) na presença de um catalisador (hidróxido de sódio ou potássio). Pode ser utilizado como combustível puro ou misturado com o óleo diesel em motores a diesel, o Ecodiesel. As matérias-primas utilizadas para a produção de biodiesel podem ter as seguintes origens: óleos vegetais, gorduras de animais, óleos e gorduras residuais.

Como subproduto do biodiesel tem-se a glicerina, de elevado valor agregado e com aplicações diversa na indústria química e co-produtos agrícolas como a torta e farelo, que podem agregar valor e constituir-se em outras fontes de renda importantes para os produtores agrícolas e industriais (NOGUEIRA).

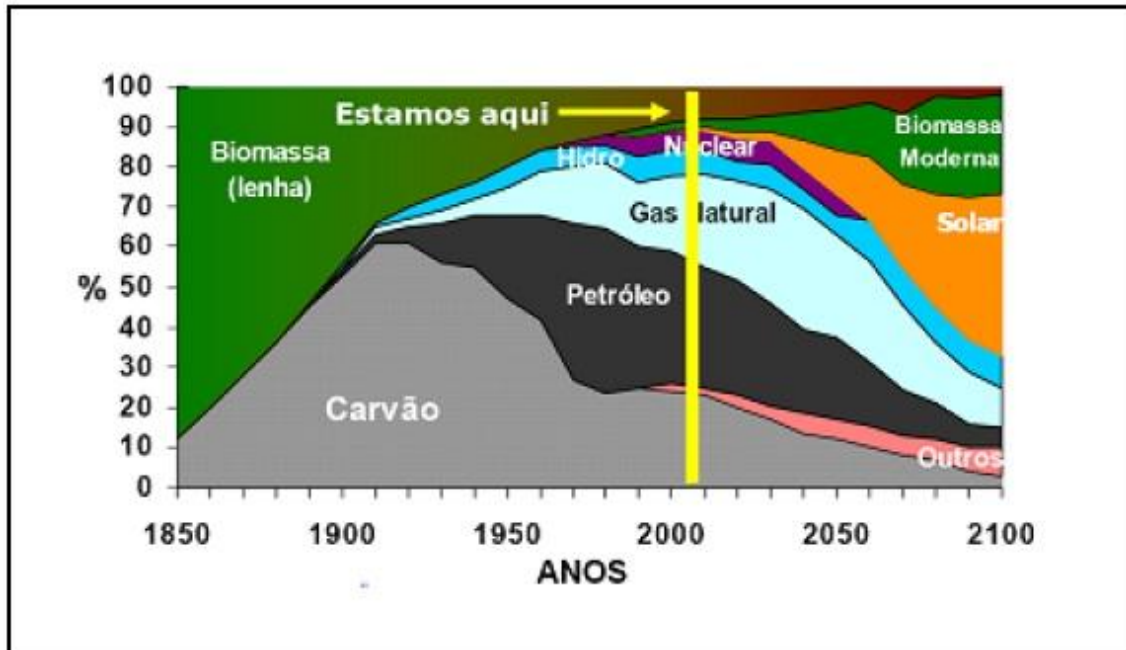
O biodiesel, em comparação ao óleo diesel, reduz as emissões de CO₂, reduzindo o efeito estufa, não contém enxofre e sua adição ao óleo diesel reduz o teor de enxofre, eleva o número de cetano e aumenta a lubricidade.

Quanto ao problema ambiental derivado do uso das fontes majoritárias (petróleo), a importância da necessidade dessas novas fontes envolve também as mudanças climáticas atuais, influenciando em grande parte pelo uso de matérias-primas fósseis, juntamente com o desenvolvimento sustentável (RIBEIRO, 2010).

Tal preocupação vem sendo discutida oficialmente há muitos anos em diversos eventos internacionais, destacando-se a Convenção Marco sobre Mudança Climática – Rio ECO-92, Tratado de Kyoto em 1997 e a Convenção de Copenhague – COP15 no ano de 2009, entre outros eventos, todos visando mudanças drásticas, sobretudo na economia dos países desenvolvidos que mais poluem, e o desenvolvimento de processos renováveis e com menor caráter poluidor (RIBEIRO, 2010).

Na figura 1 está apresentada uma projeção ao longo dos anos para o consumo e quantidade de remanescente de combustível.

FIGURA 1: Projeção ao longo dos anos para o consumo e quantidade de remanescente



Fonte: Embrapa (2005).

No Brasil existe significativa variedade de matérias-primas vegetais para a produção de biodiesel. Alguns exemplos são: mamona, algodão, dendê, soja, girassol, amendoim, nabo forrageiro, dentre outras. Cada região brasileira tem sua particularidade quanto à matéria-prima usada na fabricação de biodiesel e assim sendo motivada de acordo com a cultura para a produção de biodiesel.

Sempre que se refere de nabo forrageiro, o agricultor o associa com uma planta fornecedora de massa foliar para a adubação verde, indicada para rotação de culturas, como cobertura do solo durante o inverno e, eventualmente, para compor, como rolão ou silagem, a alimentação animal. Essa visão, porém, está se transformando com a difusão da planta para a produção de óleo para fins energético, o biodiesel (BIODIESELBR, 2005).

2 OBJETIVO

Este trabalho tem como objetivo revisar na literatura o uso de nabo forrageiro (*Raphanus sativus*) para produção de biodiesel.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

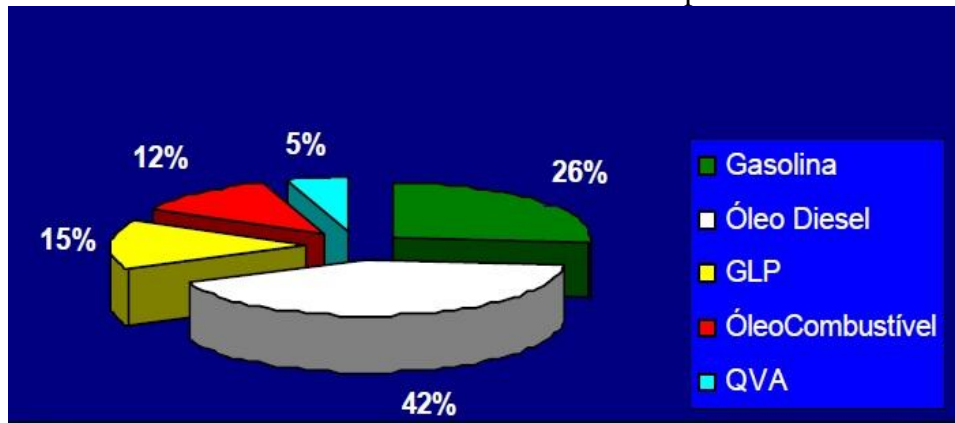
3.1 Diesel

Rudolf Diesel inventou o motor a diesel que veio a receber seu nome em sua homenagem. Ele iniciou o desenvolvimento da máquina diesel através de um ponto de vista termodinâmico. O objetivo residia no desenvolvimento de uma máquina mais eficiente, pois as máquinas a vapor daquela época convertiam apenas 6-10% do poder calorífico do combustível em trabalho (KNOTHE *et al*, 2006).

Desde a descoberta do petróleo, no século XVIII, o petróleo vem sendo considerado como a principal matéria-prima energética e industrial do planeta. Sua utilização abrange uma ampla rede de produtos derivados, desde combustíveis de aviões até polímeros utilizados para produzir embalagens. Por possuir diversa área de utilização, o petróleo gera a movimentação intensa no trabalho mundial devido ao fato de ser um produto bastante lucrativo, cobiçado por vários países e principalmente responsável pelo desenvolvimento das nações (CARVALHO; RIBEIRO, 2012).

A figura 2 mostra a demanda de combustíveis derivados de petróleo

FIGURA 2: Demanda de combustíveis derivados de petróleo



Fonte: LADETEL, 2003

O petróleo é formado a partir da decomposição da matéria orgânica ao longo do tempo, sendo encontrado nos poros de determinadas camadas sedimentadas conhecidas “rochas reservatório”. Trata-se, portanto, de um energético não renovável, o que aumenta a importância da descoberta de novos campos produtores.

O petróleo cru não tem aplicação direta, sua utilização exige o processo de refino, no qual é colocado em ebulição para fracionamento de seus componentes e consequente obtenção de derivados. Os derivados mais conhecidos são: gás liquefeito, gasolina, nafta, óleo

diesel, querosene de aviação e de iluminação, óleo de combustível, asfalto, lubrificantes, combustível marítimo, solventes, parafinas e coque de petróleo.

O óleo diesel é usado em motores Diesel, constituído de uma mistura de hidrocarbonetos, obtida com a destilação na faixa de temperatura entre 250°C e 370°C. Esses hidrocarbonetos incluem parafinas, naftênicos, olefinas e aromáticos, com o número de carbonos nas cadeias variando de 12 a 18 (VALLE, 2012).

Atualmente o diesel é utilizado no abastecimento de caminhões pesados, de locomotivas, dos ônibus urbanos, de geradores de eletricidade, dos equipamentos agrícolas, dos equipamentos de mineração do subsolo, etc (VALLE, 2012).

3.2 Biodiesel

“O uso de óleos vegetais como combustível pode parecer insignificante hoje, mas tais óleos podem se transformar ao longo do tempo, tão importante quanto o petróleo e o carvão hoje” (DIESEL, 1912).

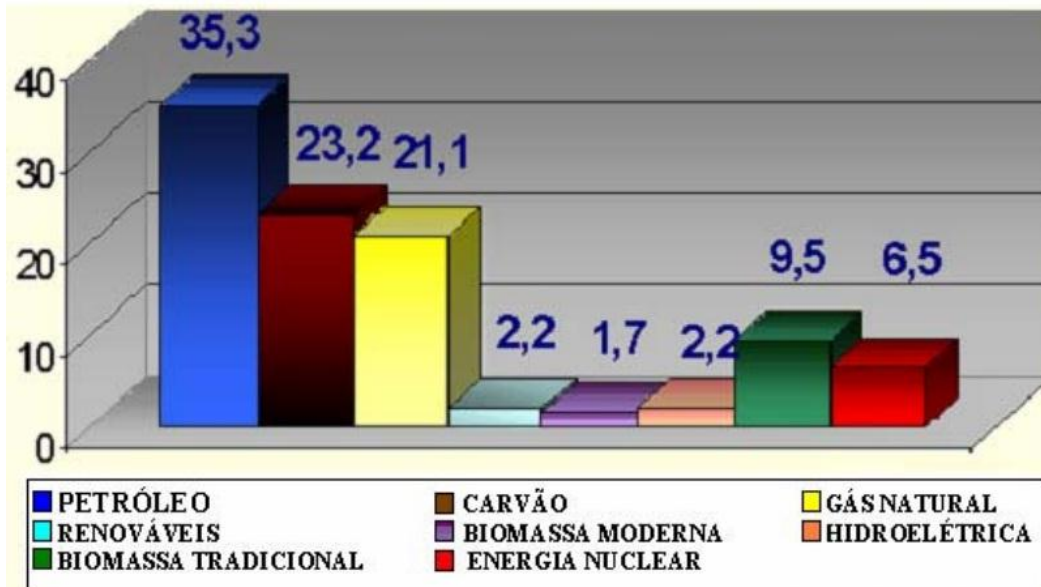
3.2.1 Antecedentes: a crise do petróleo

A maior parte de toda a energia consumida no mundo provém do petróleo uma fonte limitada, finita e não renovável (SANTOS *et al*, 2008). As crises do petróleo incentivaram o desenvolvimento de processos de transformação de óleos e gorduras em derivados com propriedades físico-químicas mais próximas às do combustível fósseis, visando à substituição total ou parcial deste. De fato, o desabastecimento de petróleo no mercado mundial durante a Segunda Guerra Mundial fez com que pesquisadores de diversos países procurassem por alternativas, surgindo na Bélgica, a ideia de transesterificar óleos vegetais com etanol para produzir um biocombustível. A patente belga 422.877, concedida em 31 de agosto de 1937 ao pesquisador G Chavanne representa o primeiro relato do que é conhecido atualmente biodiesel (KNOTHE *et al*, 2006).

Com o fim da Segunda Guerra Mundial e a normalização do mercado mundial do petróleo, o biodiesel foi temporariamente abandonado. A partir da década de 1970, com as sucessivas crises no mercado internacional do petróleo, o biodiesel retorna a cena como principal alternativa ao diesel.

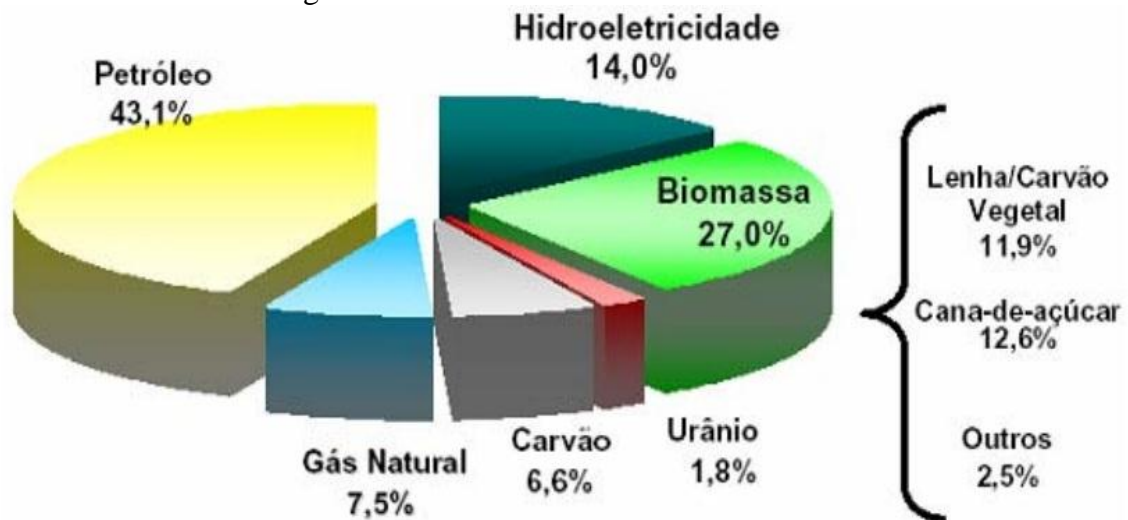
As Figuras 3 e 4 ilustram a matriz energética mundial e brasileira, respectivamente.

FIGURA 3: Matriz energética mundial (%)



Fonte: Embrapa (2005).

FIGURA 4: Matriz energética brasileira



Fonte: Embrapa (2005).

3.2.2 Conceito

A elevada demanda de energia no mundo industrializado e no setor doméstico, bem como os problemas de poluição causados devido ao vasto uso de combustíveis fósseis, tem resultado em crescente necessidade de desenvolver fontes de energias renováveis sem limites de duração e de menor impacto ambiental que os meios tradicionais, estimulando, assim,

recentes interesses na busca de fontes alternativas para combustíveis à base de petróleo. Uma das alternativas possíveis é o biodiesel (EMBRAPA, 2008).

O biodiesel é um combustível de queima limpa derivado de fontes renováveis como os vegetais. Tal qual o diesel derivado do petróleo, o biodiesel opera em motores de ignição-combustão. Pode ser usado sozinho ou misturado a outros combustíveis, aumenta a vida útil dos motores por ser mais lubrificante, é biodegradável e não tóxico (KNOTHE *et al*, 2006) . O Brasil possui importante oportunidade tecnológica e estratégica na utilização de biomassa para a produção de biodiesel (LEIRAS, 2006).

O biodiesel nacional só vem crescendo por causa da sua obrigatoriedade legal, uma vez que o seu preço sempre foi superior ao do diesel mineral, tornando-o, pouco competitivo. Espera que não haja um retrocesso em relação a sua obrigatoriedade por dois motivos principais: o ambiental e o impacto no preço do diesel (misturado) a ser comercializado, caso o percentual da mistura seja pequena. Dessa forma o consumidor não perceberá um acréscimo significativo no custo (MENDES; COSTA, 2009).

3.2.3 Definição do biodiesel

A definição dada pela Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), através da Resolução 042, de 24 de novembro de 2004, estabelece, em seu Artigo 2º:

I – Biodiesel – B100: combustível composto de alqui-ésteres de ácidos graxos de cadeia longa, derivados de óleos vegetais ou de gorduras animais, conforme a especificação contida no Regulamento Técnico nº 4/2004, parte integrante desta Resolução;

II – Mistura óleo diesel/biodiesel - B2: combustível comercial, composto de 98% em volume de óleo diesel, conforme a especificação da ANP, e 2% em volume de biodiesel, que deverá atender à especificação prevista pela Portaria ANP nº 310, de 27 de dezembro de 2001, e suas alterações;

III – Mistura autorizada óleos diesel/biodiesel: combustível composto de biodiesel e óleo diesel, em proporção definida quando da autorização concedida para testes e uso experimental, conforme previsto pela portaria ANP nº 240, de 25 de agosto de 2003;

IV – Batelada: quantidade segregada de produto que possa ser caracterizada por um “Certificado de Qualidade”.

3.2.4 Característica do biodiesel

Knothe *et al.* (2006) descrevem as principais características do biodiesel:

- O biodiesel é mais seguro do que o diesel de petróleo. O ponto de combustão do biodiesel na sua forma pura é mais de 300 F contra 125 F do diesel comum. Equipamentos a biodiesel são, portanto mais seguros;
- A exaustão do biodiesel é menos ofensiva. Seu uso resulta numa notável redução dos odores, o que é um benefício real em espaços confinados. Seu cheiro se assemelha um pouco com o cheiro de batata frita. Não foram notificados casos de irritação aos olhos. Como o biodiesel é oxigenado, ele apresenta uma combustão mais completa;
- Biodiesel não requer armazenamento especial. Na sua forma natural pode ser armazenado em qualquer lugar onde o petróleo é armazenado, e pelo fato de ter maior ponto de fusão é ainda mais seguro o seu transporte;
- Funciona em motores convencionais e aumenta a vida útil dos motores por ser mais lubrificantes.

3.2.5 Classificação do biodiesel

Segundo CARVALHO, RIBEIRO (2012) as misturas de biodiesel são denominadas como “BXX”: XX refere-se à quantidade de biodiesel na mistura com o diesel, classificado da seguinte maneira:

B+ (a porcentagem de biodiesel na mistura)

Ex.:

B2 = 2% de biodiesel misturado com 98% de diesel

B5 = 5% de biodiesel misturado com 95% de diesel

B10 = 10% de biodiesel misturado com 90% de diesel

B20 = 20% de biodiesel misturado com 80% de diesel

B100 = 100% de biodiesel em sua forma pura.

O biodiesel foi introduzido na matriz energética brasileira, no ano de 2005, pela Lei 11.097 de 13 de janeiro de 2005, por meio da adição do biodiesel ao diesel. Entre os anos de 2005 e 2007, a mistura de 2% (B2) no diesel comercializado foi autorizada de forma não compulsória. A partir de janeiro de 2008, a obrigatoriedade começou com a mistura de 2%,

tendo de passar a 5% até 2013. Porém, no segundo semestre de 2008 o governo elevou a mistura para 3% (B3) e, no segundo semestre de 2009 para 4% (B4). Embora a mistura de 5% (B5) estivesse prevista para 2013, durante o ano de 2009, o prazo foi revisado e antecipado para janeiro de 2010 (MENDES; COSTA, 2009). Isto foi possível devido a Resolução nº 6/2009 do Conselho Nacional de Política Energetica (CNPE).

O biodiesel pode substituir total ou parcialmente o óleo diesel de petróleo em motores ciclodiesel automotivos (de caminhões, tratores, camionetas, automóveis, etc) ou estacionários (geradores de eletricidade, calor, etc).

Estudos divulgados pela *National Biodiesel Board* encarregado da implementação do biodiesel nos Estados Unidos, afirma que o Brasil tem condições de liderar a produção mundial de biodiesel, promovendo a substituição, de pelo menos, 60% do óleo diesel consumido no mundo (SOUZA, 2009) Nenhum outro lugar é tão apropriado para plantar oleaginosas (MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO, 2006). Por ser um país tropical (ÁVILA, 2009), ter uma grande extensão de terras agricultáveis, abundância em água doce (VALLE, 2012) e apresentar alternativas diversas para a forte estruturação de agroindústria para a produção e uso do biodiesel (ÁVILA, 2009). A produção proporcionaria a geração descentralizada de energia e apoio à agricultura familiar (RAMOS *et al.* 2008).

O biodiesel é uma alternativa interessante no intuito de reduzir as emissões causadas pelo uso de combustíveis fósseis. Se comparado ao óleo diesel, reduz em 78% as emissões de gás carbônico, considerando a reabsorção pelas plantas (DAMBISKI, 2007), reduz em 68% a fumaça preta, em 100% a emissão de enxofre e em 36% os hidrocarbonetos não queimados (NASCIMENTO; DALLAN, 2007).

A combustão de cada litro de biodiesel libera cerca de 1,1 a 1,2 vezes a quantidade de CO₂ liberada na atmosfera por um litro de diesel convencional. Todavia, diferentemente do combustível fóssil, o CO₂ liberado na queima do biodiesel é reciclado por absorção durante o crescimento das plantas (fotossíntese). Assim, a produção do biodiesel está inserida em um processo cíclico que auxilia na minimização do efeito estufa, pois, a um certo equilíbrio entra a massa de carbono fixada e aquela liberada ou dispersa na atmosfera. Para cada quilograma de diesel não usado, um equivalente a 3,11 kg de CO₂, mais um adicional de 15 a 20% referente à energia de produção deixara de ser produzido (DOMINGOS, 2005). A Figura 1 representa o esquema do ciclo de vida dos produtos provenientes de fontes renováveis (DAMBISKI, 2007).

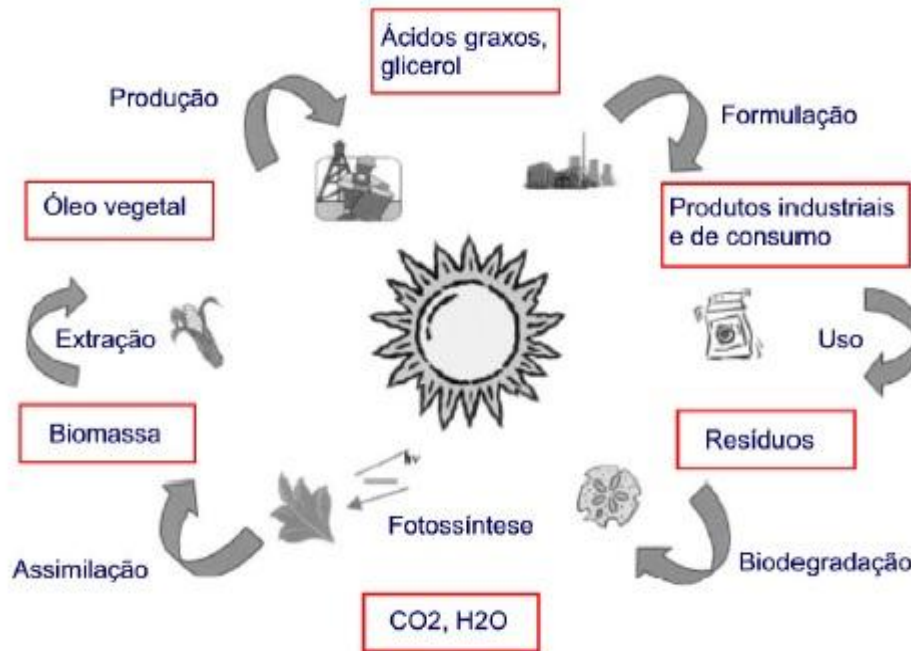
A Tabela 1 apresenta as vantagens e desvantagens do biodiesel em relação ao diesel.

TABELA 1 – Vantagens e desvantagens do biodiesel em relação ao diesel

Ambientais	<ul style="list-style-type: none"> - livre de enxofre e aromáticos; - caráter renovável e biodegradável; - reduz as emissões de material particulado, monóxido de carbono, óxidos sulfúricos, hidrocarbonetos policíclicos e aromáticos, porém, apresenta maiores emissões de gases nitrogenados quando comparado com o óleo diesel;
Técnicas	<ul style="list-style-type: none"> - possibilita o aproveitamento de óleos já utilizados em frituras. - tem alto número de cetanos, o que torna melhor a combustão; - apresenta boa lubricidade; - possui ponto de fulgor mais elevado quando comparado ao óleo diesel, portanto é mais seguro; - mistura-se prontamente com o óleo diesel em qualquer proporção e a mistura permanece estável.
Econômicas	<ul style="list-style-type: none"> - reduz a dependência do óleo diesel importado; - possibilita o fortalecimento do agronegócio; - induz um desenvolvimento regional sustentado; - gera créditos de carbono via Projetos de MDL.
Sociais	<ul style="list-style-type: none"> - gera empregos diretos e indiretos em áreas rurais; - contribui para a fixação do homem no campo.

Fonte: DAMBISKI(2007)

FIGURA 5: Diagrama esquemático mostrando o ciclo de vida de produtos obtidos através de fontes renováveis.



Fonte: DAMBISKI (2207).

3.2.6 Panorama mundial e brasileiro do biodiesel

Em diversos países, a produção de biodiesel é uma realidade. Na Alemanha, por exemplo, existe uma frota significativa de veículos leves, coletivos e de carga, que utilizam biodiesel derivado de plantações específicas para fins energéticos e distribuído por mais de 1000 postos de abastecimento. Como matéria-prima, utiliza-se a canola. Sendo o maior produtor e consumidor europeu, a produção alemã, em 2007, foi de 2,89 milhões de toneladas. A França é o segundo maior produtor europeu com 872 mil toneladas e a Itália é o terceiro maior produtor, com produção de 363 mil toneladas. Outros países também têm desenvolvido programas nacionais de biodiesel e, como consequência, o consumo europeu de biodiesel aumentou em 200.000 toneladas entre os anos de 1998 e 2000. Já nos Estados Unidos, leis aprovadas nos estados de Minnesota e na Carolina do Norte determinaram que, a partir de 1º/1/2002, todo o diesel consumido deveria ter a incorporação de, pelo menos, 2% de biodiesel em base volumétrica (RAMOS *et al.* 2008).

A Argentina não tem grande destaque no mercado do biodiesel, apesar de ser o maior exportador mundial de farelo de oleaginosas e o terceiro maior exportador de grãos e de óleos comestíveis, especialmente a soja e o girassol, além de ser um dos maiores produtores de grãos. Porém, existem poucas unidades, de pequena escala e caseiras funcionando para a produção de biodiesel.

Na África do Sul as oleaginosas utilizadas são a soja e o pinhão-manso. Depois de realizado estudo sobre as viabilidades do uso de plantas sem afetar a produção de alimentos, foi concluído que o biodiesel poderá substituir 20% do diesel importado pelo país.

A Austrália tem produção iniciante. A maior parte da produção é originária de óleos de frituras e gorduras animais. Entretanto, várias oleaginosas são cultivadas, como a colza, girassol e a soja. Em 2000, foi fundada a Associação de Biodiesel da Austrália com o objetivo de produzir biodiesel em larga escala.

Na China, os óleos de colza, amendoim e de frituras são as matérias-primas utilizadas para a produção de biodiesel. Com o crescimento acelerado da quantidade de automóveis a questão do biodiesel tem se tornado cada vez mais urgente e necessária.

No Japão, o mercado do biodiesel é muito pequeno, há registro da produção de biodiesel a partir de óleo de frituras em Quioto, para ser utilizado na mistura B20.

Na Malásia, Filipinas, Coreia do Sul e Tailândia existem pesquisas com os óleos disponíveis nessas áreas, mas incipiente.

No Canadá, as oleaginosas utilizadas são a colza e o girassol, além dos óleos de frituras e gordura animal. A primeira grande empresa de produção de biodiesel começou a funcionar em 2001, em Montreal. Muitos ônibus urbanos já utilizam o biodiesel.

A Tabela 2, apresentada a seguir, apresenta a produção de biodiesel no mundo, e a Tabela 3 apresenta a produção de biodiesel nos Estados brasileiros.

TABELA 2: Produção de biodiesel no mundo

País	Produção (em milhões de toneladas)						
	2002	2003	2004	2005 ⁽¹⁾	2006 ⁽²⁾	2007 ⁽²⁾	2008 ⁽²⁾
Áustria	25	32	57	N.D	N.D	N.D	N.D
República Tcheca	N.D	N.D	60	N.D	N.D	N.D	N.D
Dinamarca	10	41	70	N.D	N.D	N.D	N.D
França	366	357	348	N.D	N.D	N.D	N.D
Alemanha	450	715	1.035	N.D	N.D	N.D	N.D
Itália	210	273	320	N.D	N.D	N.D	N.D
Eslováquia	N.D	N.D	15	N.D	N.D	N.D	N.D
Espanha	0	6	13	N.D	N.D	N.D	N.D
Suécia	1	1	1	N.D	N.D	N.D	N.D
Inglaterra	3	9	9	N.D	N.D	N.D	N.D
Europa total	1.073	1.544	1.935	2.200	3.000	4.000	5.200
Canadá	1	3	3	43	76	83	100
México	---	---	---	---	---	---	---
Estados Unidos	50	67	83	250	336	499	741
Brasil	Neg.	Neg.	6	176	238	300	700
China	Neg.	20	45	64	150	337	450
Índia	Neg.	Neg.	Neg.	Neg.	8	50	300
Malásia	---	---	---	---	135	135	180
Filipinas	---	---	29	29	58	58	100
Tailândia	Neg.	Neg.	Neg.	79	100	100	150
Austrália	27	27	29	36	187	268	350
Japão	2	2	3	3	3	7	10
Outros	---	---	---	---	---	---	---
Total mundial	1.153	1.663	2.133	2.880	4.250	5.800	8.000

Fonte: LEIRAS, 2006.

TABELA 3: Principais estados brasileiro produtores de biodiesel – 2006 a 2008.

<i>Estados</i>	<i>Produção (m³)</i>		
	<i>2006</i>	<i>2007</i>	<i>2008</i>
Goiás	11.222	110.638	135.124
Rio Grande do Sul	-	42.696	133.153
Mato Grosso	13	12.162	132.687
São Paulo	21.251	36.885	70.145
Bahia	4.238	71.774	33.702
Maranhão	-	23.509	22.549
Ceará	1.956	47.276	13.024
Tocantins	-	22.773	10.644
Piauí	26.604	30.474	4.334
Pará	2.421	3.717	1.412
Paraná	100	12	805
Outros	2.315	238	91
Brasil	70.120	402.154	557.670

Fonte: Souza (2008).

Atualmente, o Brasil possui 61 usinas autorizadas a produzir biodiesel e com capacidade de produção de 3 bilhões de litros (SOUZA, 2008).

Estima-se que a produção brasileira de biodiesel, em 2035, seja de aproximadamente 2 bilhões de litros e que a área de cultivo de plantas oleaginosas seja de 20 milhões de hectares.

As alternativas para a obtenção de óleos vegetais como matéria-prima para produção de biodiesel são diversas e dependem das espécies cultivadas em cada região (EMBRAPA, 2008). No Brasil produção de biodiesel é altamente dependente da soja, pois é cultivada em escala suficiente para a produção comercial de biodiesel, uma vez que cerca de 90% da atual produção brasileira de óleos vegetais provém dessa leguminosa e a utilização de outras plantas oleaginosas esbarra na falta de informações sobre estas culturas e que somente serão definitivamente dominadas através de muito incentivo a pesquisas. Entre essas culturas destacam-se: Pinhão-Manso. Tungue e as Palmáceas, plantas perenes que tem elevada produtividade de óleo por unidade de área, e outras como: girassol, canola, amendoim, mamona, nabo forrageiro, etc (SOUZA, 2008).

Um setor que está interessado na produção de biodiesel é o setor sucroalcooleiro, aventando a possibilidade da produção contínua de biodiesel integrada com usinas de açúcar e álcool. O potencial para a produção de oleaginosas integrada à produção de cana-de-açúcar está na área de renovação do canavial. A cana possui um ciclo de produção médio de 5 anos, sendo que a renovação do canavial se dá sistematicamente em 20% da área de corte anual, que só no estado de São Paulo significa 650.000 ha/ano.

3.2.7 Produção de biodiesel

Tendo em vista os problemas apresentados pelo uso direto dos óleos vegetais, sendo o mais importante, dentre eles, a viscosidade, foram desenvolvidos, com o passar dos anos, diversos métodos para a redução da viscosidade dos óleos vegetais, tais como, diluição, micro emulsão, pirólise e transesterificação. Esses quatro métodos foram aplicados para resolver os problemas encontrados em relação à alta viscosidade do combustível, no entanto, tornou-se mais comum o uso de transesterificação, devido a sua eficiência, menor custo e aplicabilidade (MIRANDA, 2011).

3.2.7.1 Pirólise

É um processo muito antigo que consiste em aquecer o material a uma temperatura entre 300 e 500°C em um meio com pequena concentração de oxigênio. Nesse processo os materiais mais voláteis são retirados e é gerado o gás combustível. A pirólise também pode ser utilizada para aproveitamento de resíduos vegetais, que devem estar compactados, e depois do processo aumentam seu teor de carbono e seu potencial (RAMOS *et al* 2008).

3.2.7.2 Micro emulsão

A formulação de combustíveis diesel híbridos pela solubilização de misturas de óleo/álcool vegetal através da adição de componentes anfífilos foi inicialmente referenciada como micro emulsão. A micro emulsão é uma dispersão equilibrada de microestruturas fluidas ópticamente isotrópicas com um diâmetro médio menor do que $\frac{1}{4}$ do comprimento de onda da luz visível, que se forma espontaneamente sob a adição de componentes anfífilos à mistura de líquidos que, de uma forma, seriam quase imiscíveis (KNOTHE *et al.*, 2007).

3.2.7.3 Transesterificação

A reação de transesterificação é a etapa de conversão, propriamente dita, do óleo ou gordura, em ésteres metílicos ou etílicos de ácidos graxos que constitui o biodiesel.

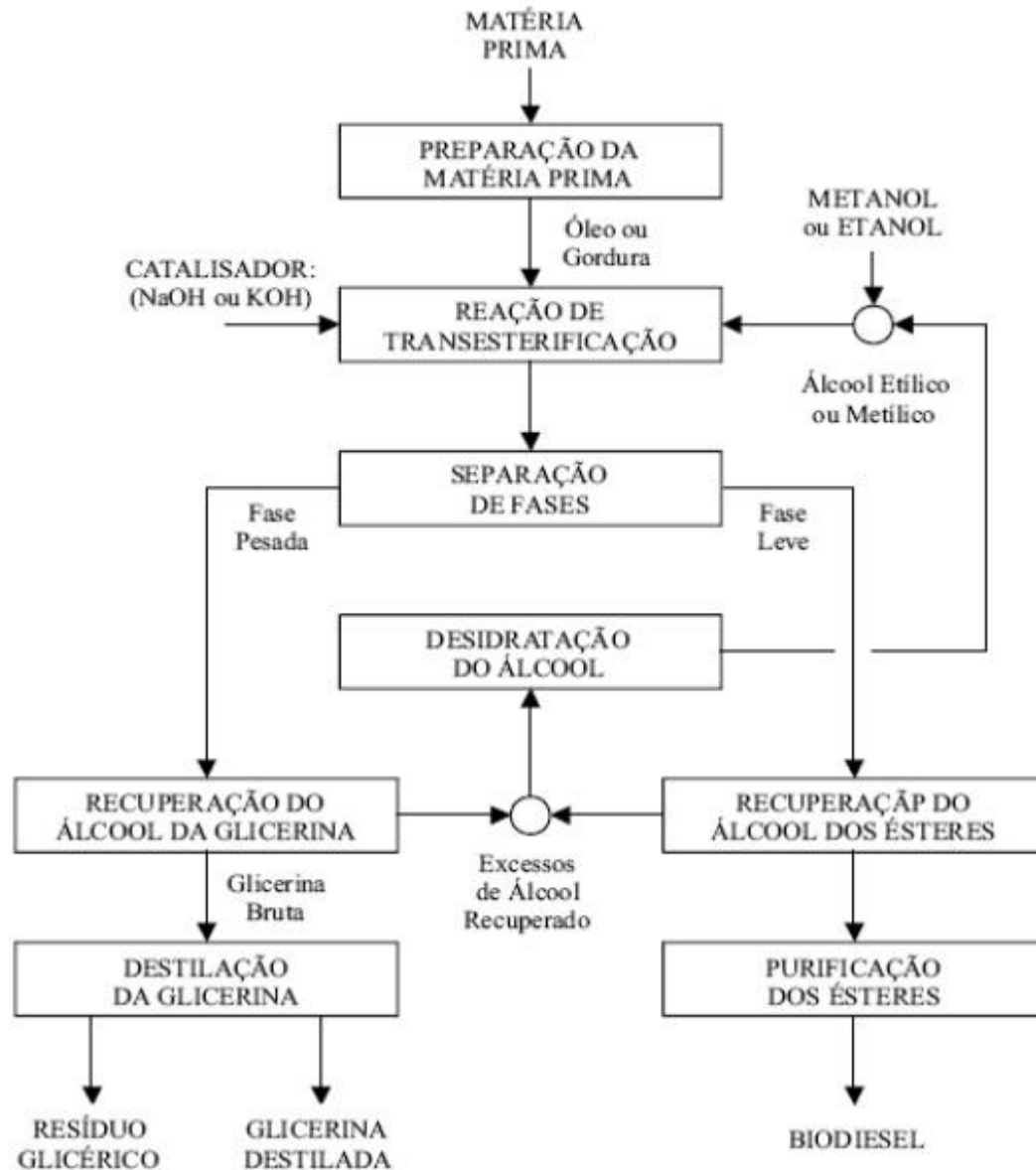
A reação pode ser representada pela equação a seguir:

Óleo ou gordura + Metanol => Ésteres Metílicos + Glicerol

Óleo ou gordura + Etanol => Ésteres Etílicos + Glicerol

Na figura 6 está ilustrado o fluxograma da reação de transesterificação.

FIGURA 6: FLUXOGRAMA



Fonte: Delatorre *et al* (2011).

Preparação da matéria-prima: é necessário que a matéria-prima tenha o mínimo de umidade e acidez, o que é possível submetendo-a um processo de neutralização, através de uma lavagem com solução alcalina de hidróxido de sódio ou potássio seguido de uma operação de secagem ou desumidificação.

A extração do óleo pode ser pelo processo de extração mecânica, extração por solvente ou extração mista (mecânica/solvente). A escolha do processo dependerá da capacidade produtiva e do teor de óleo (TEIXEIRA; TAOUIL, 2010).

Transesterificação: o processo de transesterificação é também denominado de alcoólise, é uma reação química entre triglicerídeos e álcool, na presença de um catalisador que acelera a reação resultando na substituição do grupo éster do glicerol pelo grupo funcional (OH) do álcool, obtém-se, como subproduto a glicerina que deve ser purificada antes da venda para aumenta a eficiência econômica do processo.

Pode seguir diferentes rotas tecnológicas, usando um álcool de cadeia curta, normalmente metanol ou etanol, na presença de diferentes tipos de catalisadores como, por exemplo, bases inorgânicas (hidróxido de sódio e potássio), ácidos minerais (ácido sulfúrico), resinas de trocas iônicas (resinas catiônicas fortemente ácidas), argilominerais ativados, hidróxidos duplos lamelares, superácidos, superbases e enzimas lipolíticas.

Não há dúvidas de que algumas dessas rotas tecnológicas, particularmente aquelas que empregam catalisadores heterogêneos, apresentam vantagens interessantes como a obtenção de uma fase rica em biodiesel mais pura, que não exija grandes investimentos de capital para atingir um bom padrão de mercado. A catálise homogênea em meio alcalino ainda prevalece como a opção mais imediata e economicamente viável (MACHADO, 2010).

O álcool mais utilizado no processo de transesterificação é o metanol, pelo seu custo ser mais acessível, mas no Brasil, o etanol possui um valor ainda mais baixo viabilizando a sua aplicação. O consumo de metanol é de aproximadamente de 105 g de álcool para cada quilo de óleo transesterificado, que resulta em 1,09L de biodiesel. O etanol apresenta rendimento maior, mas o consumo também é maior, utiliza-se 150g de álcool por quilo de óleo, produzindo assim 1,17L de biodiesel (GARCIA, 2007).

O metanol tem como vantagens o menor custo, a separação imediata da glicerina e menor tempo e temperatura de reação e como desvantagens ele é tóxico e o país é um importador do produto. O etanol tem a vantagem por ser de origem renovável, a produção nacional é ampla e consolidada, não é tóxico e tem vantagens socioeconômicas no meio rural e como desvantagens a utilização é mais úmida, por isso precisa ser desidratado e os problemas com o volume utilizado na formação e separação da glicerina.

Os catalisadores homogêneos e heterogêneos têm suas vantagens e desvantagens. Na catálise homogênea as vantagens são: a boa conversão de produtos e a fácil manipulação, porém tem maior número de etapas de produção, maior quantidade de resíduos de neutralizador do catalisador, purificação do produto e separação da glicerina. Na catálise heterogênea as vantagens são: menos etapas, são reutilizáveis e com menos resíduos e corrosão, as desvantagens são: maior tempo e temperatura de reação e as plantas industriais mais sofisticadas.

Separação de fases: o produto da reação de transesterificação gera uma massa reacional final, que é constituída por duas fases, que podem separadas por decantação ou centrifugação. A fase mais pesada é composta por glicerina e a fase mais densa é constituída por uma mistura de ésteres etílicos ou metílicos. Esta etapa de separação é importante na produção de biodiesel, pois o processo de refino dos produtos decorrentes da sua produção pode ser tecnicamente difícil e pode elevar os custos de produção.

A pureza do biodiesel precisa ser alta, pois de acordo com a especificação da União Europeia, o teor de ácidos graxos livres, álcool, glicerina e água devem ser os mínimos de modo que a pureza do biodiesel seja maior que 96,5%.

Na reação de transesterificação a mistura é composta por ésteres, monoglicerídeos, glicerol, álcool e catalisador, em várias concentrações. O principal objetivo da separação é remover os ésteres dessa mistura, a baixo custo, e assegurar um produto de alta pureza. O glicerol na sua forma pura é visto como um produto secundário da reação, mas para manter a competitividade do custo de produção, a remoção e a revenda é essencial (DELATORRE *et al.*, 2011).

Recuperação do álcool da glicerina: a fase pesada, que contem água e álcool, é submetida a um processo de evaporação, eliminando-se da glicerina bruta esses constituintes voláteis, cujos vapores são liquefeitos num condensador apropriado (DELATORRE *et al.*, 2011).

Recuperação do álcool dos ésteres: da mesma forma, mas separadamente, o álcool residual é recuperado da fase mais leve, liberando para as etapas seguintes, os ésteres metílicos ou etílicos (LEIRAS, 2006).

Desidratação do álcool: os excessos residuais de álcool, após os processos de recuperação, contem quantidades significativas de água, necessitando de uma separação. A desidratação do álcool é normalmente feita por destilação (LEIRAS, 2006).

Destilação da glicerina: o glicerol é o principal subproduto gerado na produção de biodiesel, sendo que aproximadamente 10% do volume total produzido correspondem a glicerol. Devido a isso, torna-se necessário a busca de alternativas para o uso do glicerol bruto gerado nesta produção, com o intuito de evitar futuros problemas derivado do acúmulo de glicerol e para tornar a produção de biodiesel mais competitiva. A purificação da glicerina pode ser feita por destilação a vácuo, gerando um produto límpido e transparente. O produto de calda da destilação, ajustável na faixa de 10 a 5% do peso da glicerina bruta, pode ser denominado de glicerina residual e ainda encontra possíveis aplicações (DELATORRES *et al.*, 2011).

Purificação do biodiesel: caso a reação de transesterificação seja incompleta ou caso a purificação seja insuficiente, o biodiesel produzido pode ficar contaminado com glicerol, triglicerídeos e álcool. A presença de contaminantes pode ser prejudicial para os motores e para o meio ambiente. Os ésteres deverão ser lavados por centrifugação e, posteriormente, desumidificados, resultando finalmente no biodiesel, o qual devesse ter suas características enquadradas nas especificações das normas técnicas estabelecidas para o biodiesel como combustível para o uso em motores do ciclo diesel (DELATORRES *et al.*, 2011).

3.2.8 Parâmetros de qualidade do biodiesel

A qualidade do biodiesel é na maioria dos casos influenciada por diversos fatores, como o processo empregado na produção, o uso de materiais adicionais, composição dos ácidos graxos da matéria-prima utilizada e a qualidade dessa matéria-prima. A qualidade deve atender a padrões apropriados, como as normas de padronização do biodiesel, como a ASTM D6751 dos Estados Unidos, a norma europeia EN14214, a norma australiana de biodiesel aprovada em 2000 e a norma da Agência Nacional de Petróleo ANP255, divulgada em setembro de 2003. Estas especificações devem ser atendidas inclusive no caso do uso de biodiesel em misturas com diesel de petróleo. O biodiesel tendo as especificações atendidas pode ser utilizado na maioria dos motores, sem qualquer modificação no motor em questão (FRANCISCO, 2010).

Tais características e/ou propriedades, determinantes dos padrões de identidade e qualidade do biodiesel, incluem ponto de fulgor, teor de água e sedimentos, viscosidade, cinzas, teor de enxofre, corrosividade ao cobre, número de cetano, ponto de névoa, resíduo de carbono, número de acidez, curva de destilação (ou a temperatura necessária para a recuperação de 90% do destilado), estabilidade à oxidação, teor de glicerina livre e total, cor e aspecto. Dentre esses parâmetros, alguns têm merecido críticas da comunidade científica por não apresentarem aplicação direta ao biodiesel, como o índice de corrosividade ao cobre e a curva de destilação. Por essa razão, a especificação definida pela portaria é ainda provisional e poderá ser modificada em função de novas argumentações e dados experimentais gerados pela comunidade científica (MACHADO, 2010).

Na Tabela 7 são apresentadas as propriedades, características e os limites estabelecidos pela ANP, bem como os métodos de análise segundo as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), American Society for Testing and Materials (ASTM) e International Organization for Standardization (ISO) (MACHADO, 2010).

3.3 Matéria-prima

As principais matérias-primas utilizadas para a produção de biodiesel são os óleos vegetais, gorduras animais e óleos e gorduras residuais provenientes de frituras (DAMBISKI, 2007). As matérias-primas e os processos para a produção de biodiesel dependem da região considerada. As diversidades sócias, econômicas e ambientais geram distintas motivações regionais para a sua produção e consumo.

3.3.1 Óleos vegetais

O Brasil é um país bastante rico em oleaginosas, com enorme potencial em relação ao aproveitamento energético de culturas anuais e perenes e resíduos da agroindústria, bem como relativo aproveitamento energético do óleo residual da alimentação (ADÃO, *et al* 2011).

As oleaginosas são plantas que contêm alto teor de óleo tanto a partir de suas sementes (soja, canola, girassol), como a partir de seus frutos (palma, babaçu, coco), podendo ser utilizados para a produção de óleo vegetal. Outra característica importante de algumas dessas plantas é o fato de que após a extração do óleo, os subprodutos podem ser utilizados para diferentes aplicações.

Os óleos vegetais representam uma alternativa real ao óleo diesel para uso em motores de combustão interna, automotivos e estacionário. Sendo um recurso renovável de origem agrícola ou florestal, a implementação do uso energético de óleos vegetais implica em vantagens nos aspectos ambientais, sociais e econômicos, podendo ser considerado como um importante fator de viabilização do desenvolvimento sustentável especialmente em comunidades rurais. Além disso, os biocombustíveis gerados contribuem para a redução dos níveis de poluição, principalmente nos grandes centros urbanos (DELATORRE, 2011), pois o teor de enxofre dos óleos vegetais é próximo a zero e, portanto, os danos causados pelo enxofre quase não existe. Além disso, as emissões líquidas de CO₂ decorrentes da combustão de biocombustíveis são inferiores às emissões da combustão de produtos fósseis, devido a captura do gás da atmosfera, durante o período de crescimento das plantas oleaginosas (VALLE, 2012).

A viabilidade de cada oleaginosa para a produção de biodiesel dependerá da sua competitividade técnica, econômica e socioambiental, além de aspectos como o teor de óleo, produtividade por unidade de área plantada, adequação a diferentes sistemas produtivos, sazonalidade (relacionada ao ciclo de vida da planta) e distribuição territorial de acordo com as condições edafoclimáticas (MELO, 2010).

3.3.2 Composição dos óleos vegetais

Os óleos vegetais são constituídos principalmente de triacilgliceróis (TG) (>95%) e em pequenas quantidades de mono e diacilgliceróis (REDA; CARNEIRO, 2007), peróxidos, ácidos graxos livres, fosfatídeos, carotenoides, terpenos e tocoferóis (BUENO, 2007). Os ácidos graxos (AG) comumente encontrados nos óleos vegetais são o palmítico, o esteárico, o oleico, o linoleico e linolênico (VALLE, 2012), apresentando cadeias alifáticas saturadas e insaturadas em proporções variadas (MELO, 2010).

Os TG são ésteres formados por três AG e glicerol. Eles contêm quantidades apreciáveis de oxigênio em sua estrutura, apresentam cadeias com número de carbono variável e número variável de ligações duplas entre carbonos (VALLE, 2012).

As Tabelas 4, 5 e 6 apresentam, respectivamente, as estruturas que compõem as moléculas de AG mais comuns e a composição de alguns óleos vegetais em % dos AG na formação de TG.

TABELA 4: Dados sobre as moléculas de AG mais comuns.

AG	Nome sistemático	n° de ligações duplas	Fórmula molecular	Massa molar (g/mol)	TG (g/mol)	
Butírico	Ácido butanóico	4:0	C ₄ H ₈ O ₂	88,1	302,4	
Capróico	Ácido hexanóico	6:0	C ₆ H ₁₂ O ₂	116,2	386,5	
Caprílico	Ácido octanóico	8:0	C ₈ H ₁₆ O ₂	144,21	470,68	
Cáprico	Ácido decanóico	10:0	C ₁₀ H ₂₀ O ₂	172,26	554,84	
Láurico	Ácido dodecanóico	12:0	C ₁₂ H ₂₄ O ₂	200,32	639,00	
Mirístico	Ácido tetradecanóico	14:0	C ₁₄ H ₂₈ O ₂	228,37	723,16	
Palmítico	Ácido hexadecanóico	16:0	C ₁₆ H ₃₂ O ₂	256,42	807,32	
Palmitoléico	Ácido 9(Z)-hexadecenóico	16:1	C ₁₆ H ₃₀ O ₂	254,41	801,27	
Estearico	Ácido octadecanóico	18:0	C ₁₈ H ₃₆ O ₂	284,48	891,48	
Oléico	Ácido 9(Z)-octadecenóico	18:1	C ₁₈ H ₃₄ O ₂	282,46	885,43	
Ricínoléico	ácido 9(Z),12(hidróxi)-octadecenóico	18:1	C ₁₈ H ₃₄ O ₃	298,46	933,43	
Linoléico	Ácido 9(Z),12(Z)-octadecadienóico	18:2	C ₁₈ H ₃₂ O ₂	280,45	879,38	
Linolênico	Ácido 9(Z),12(Z),15(Z)-octadecatrienóico	18:3	C ₁₈ H ₃₀ O ₂	278,43	873,34	
Araquídico	Ácido eicosanóico	20:0	C ₂₀ H ₄₀ O ₂	312,53	975,64	
Gadoléico	Ácido 11(Z)-eicosenóico	20:1	C ₂₀ H ₃₈ O ₂	310,51	969,59	
	Ácido 11(Z),14(Z)-eicosadienóico	20:2	C ₂₀ H ₃₆ O ₂	308,50	963,54	
Behênico	Ácido dosocanóico	22:0	C ₂₂ H ₄₄ O ₂	340,58	1059,80	
Erúcico	Ácido 13(Z)-docosenóico	22:1	C ₂₂ H ₄₂ O ₂	338,57	1053,75	
	Ácido 13(Z),16(Z)-docosadienóico	22:2	C ₂₂ H ₄₀ O ₂	336,55	1047,70	
Lignocérico	Ácido tetracosanóico	24:0	C ₂₄ H ₄₈ O ₂	368,64	1143,96	
Nervônico	Ácido 15(Z)-tetracosenóico	24:1	C ₂₄ H ₄₆ O ₂	366,62	1137,91	

Fonte: Valle (2009).

TABELA 5: Composição de alguns óleos vegetais em % dos AG na formação de TG. Continua.

AG	Algodão		Amendoim		Arroz		Babaçu Amêndoa		Canola		Cártamo		Coco		Dendê Amêndoa		Gergelim	
6:0													0,4 - 0,6					
8:0							2,6 - 7,3	6,8					5 - 10	2,7				
10:0							1,2 - 7,6	6,3					4,5 - 8	7				
12:0	<0,1		<0,4				40 - 55	41					43 - 51	46,9			<0,1	
14:0	0,4 - 2,0		<0,6		0,4 - 1,0		11 - 27	16,2	<0,2				16 - 21	14,1			<0,5	
16:0	17 - 31	28,7	6 - 16	11,4	12 - 18		5,2 - 11	9,4	2,5 - 6,5	3,9	7,3	7,5 - 10	8,8	7 - 12	13,1			
16:1	0,5 - 2,0		<0,1		0,2 - 0,4				<0,6								<0,5	
18:0	1 - 4	0,9	1,3 - 6,5	2,4	1 - 3		1,8 - 7,4	3,4	0,8 - 3,0	2,1	1,9	2 - 4	1,3	3,5 - 6	3,9			
18:1	13 - 44	13,0	35 - 72	48,3	40 - 50		9 - 20	14,2	53 - 70	63,4	13,6	5 - 10	18,5	35 - 50	52,8			
18:2	33 - 59	57,4	13 - 45	32	29 - 42		1,4 - 6,6	2,5	15 - 30	20,4	77,2	1 - 2,5	0,7	35 - 50	30,2			
18:3	0,1 - 2,1		<0,3	0,9	<1				5 - 13	9,5							<1,0	
20:0	<0,7		1 - 3	1,0					0,1 - 1,2	0,4							<1,0	
20:1	<0,5		0,5 - 2,1		<1				0,1 - 4,3	0,2							<0,5	
20:2																		
22:0	<0,5		1 - 5	2,0					<0,6			<0,5					<0,5	
22:1	<0,5		<0,3						<2,0									
22:2																		
24:0	<0,5		0,5 - 3,0	1,0					<0,2									
24:1									<0,2									

Fonte: Valle (2009).

AG	Grassol	Linhaça	Macaúba		Mamona	Milho	Nabo forrageiro ^b			Oliva	Palma	Pinhão-Manso	Soja		
			Polpa	Amêndoa											
6:0															
8:0				6,2											
10:0				5,3											
12:0	<0,4			43,6			<0,3				<0,4		<0,1		
14:0	<0,5			8,5			<0,1			0,05	0,5 - 2		<0,5		
16:0	3 - 10	6,4	5,1	18,7	5,3	1,1	9 - 14	11,8	8,3	5,7	7,0	7,5 - 20	35 - 47	14,3-15,5	7 - 14
16:1	<1,0	0,1	0,3	4,0			<0,5				0,3 - 3,5	<0,6	0-1,3		<0,5
18:0	1 - 10	2,9	2,5	2,8	2,4	3,1	0,5 - 4	2,0	2,7	2,2	3,6	0,5 - 5	3,5 - 6,5	5,1-5,4	1,4 - 5,5
18:1	14 - 35	17,7	18,9	53,4	25,5	4,9	24 - 42	24,8	35,4	34,5	27,9	55 - 83	36 - 47	41,1-44,2	19 - 30
18:1 ^a						89,6									
18:2	55 - 75	72,9	18,1	17,7	3,3	1,3	34 - 62	61,3	19,1	17,8	7,6	3,5 - 21	6,5 - 15	34,9-38,1	44 - 62
18:3	<0,3		55,1	1,5			<2		13,2	12,5	4,6	0,9	<0,5	0-0,2	4 - 11
20:0	<1,5						<1		0,8	1,0	2,2	0,6	<1		<1
20:1	<0,5						<0,5		7,9	10,0	11,2	0,4			<1
20:2															
22:0	<1,0						<0,5					0,2			<0,5
22:1	<0,5								11,9	16,4	33,3				
22:2															
24:0	<0,5						<0,5				0,6	0,2			
24:1	<0,5										2,0				

Fonte: Valle (2009).

As propriedades físico-químicas das matérias graxas são determinadas pela natureza dos ácidos graxos que as constituem (EMBRAPA, 2008). As cadeias saturadas e insaturadas nos óleos determinam as diferenças entre as propriedades químicas e físicas destes, como por exemplo: ponto de fusão, peso específico, viscosidade, solubilidade, reatividade química, estabilidade térmica, oxidativa, etc (MELO, 2010).

TABELA 6: Propriedades físico-químicas de alguns óleos vegetais

Óleos vegetais	Viscosidade cinemática		Número de cetano	Poder calorífico superior (MJ/kg)	Ponto de névoa (°C)	Ponto de entupimento do filtro a frio (°C)	Ponto de fulgor (°C)	Densidade		Resíduo de carbono (% m/m)	Cinzas (% m/m)	Enxofre (% m/m)
	37,8 °C	40 °C						Temp. não informada	25 °C			
	(mm ² /s)							(kg/L)				
Algodão	33,5		41,8	39,5	1,7	-15,0	234	0,9148		0,24	0,010	0,01
Amendoin	39,6		41,8	39,8	12,8	-6,7	271	0,9026		0,24	0,005	0,01
Babaçu	36,5		38,0 ^a	37,5	20,0 ^a		150 ^a		0,9153		0,03	
Cártamo	31,3		41,3	39,5	18,3	-6,7	260	0,9144		0,25	0,006	0,01
Canola	37,0		37,6	39,7	-3,9	-31,7	246	0,9115		0,30	0,054	0,01
Dendê	(amêndoa)			36,8					0,9184			
	(polpa)	43		39,6					0,9118		0,01	
Gergelim	35,5		40,2	39,3	-3,9	-9,4	260	0,9133		0,25	< 0,010	0,01
Girassol	33,9		33,9	39,6	7,2	-15,0	274	0,9161		0,27	< 0,010	0,01
Linhaça	27,2		34,6	39,3	1,7	-15,0	241	0,9236		0,22	< 0,010	0,01
Macaúba	(amêndoa)	35,2		35,7					0,9176		< 0,01	
	(polpa)	46,4		39,2					0,9256		0,01	
Mamona	285,0 ^b		42,3	37,4					0,9578	0,21	0,01	0,01
Milho	34,9		37,6	39,5	-1,1	-40,0	277	0,9095		0,24	0,010	0,01
Nabo forrageiro ^c		41				20		0,9117 ^d		0,48		
Palma	39,6		42,0		31,0		267	0,9180				
Pequi	(amêndoa)	40,0		39,3					0,8840 ^e		< 0,01	
	(polpa)	47,0		39,1					0,9102		< 0,01	
Pinhão-Manso	31,5			39,1					0,9069		< 0,1	
Soja	32,6		37,9	39,6	-3,9	-12,2	254	0,9138		0,27	< 0,010	0,01

Fonte: Valle (2009).

3.4 Nabo forrageiro

No Brasil, a principal matéria-prima para a produção de óleo é a soja. Nesse sentido, há uma busca por novas oleaginosas que produzam óleos não comestíveis, para a produção de biodiesel dentro das normas internacionais de qualidades. Culturas pouco conhecidas no Brasil como o crambe (*Crambe abyssinica*) e o pinhão manso (*Jatropha curcas*), ou

conhecidas, mas não trabalhadas para a produção de óleo como o nabo forrageiro, despontam como alternativas para a produção de biodiesel (SOUZA *et al*, 2009).

A utilização de determinadas espécies vegetais para a cobertura do solo e/ou adubação verde é prática recomendada pela pesquisa e em uso pelos agricultores há vários anos. Para adoção do Sistema Plantio Direto, o uso de plantas para a formação de coberturas morta é essencial, visto que o sucesso do sistema está baseado na permanente disponibilidade de massa vegetal sobre a superfície do solo. A palha protege o solo do impacto das gotas de chuvas evitando a degradação de sua estrutura e a erosão, reduz a temperatura máxima e a amplitude diária da temperatura do solo, além de reduzir significativamente as perdas de água por evaporação. Nas regiões Centro-Oeste, Sudeste e Sul, vêm aumentando consideravelmente o cultivo de nabo forrageiro.

O nabo forrageiro (*Raphanus sativus*) é uma planta originária da Ásia Oriental e Europa (NERY *et al*, 2009) pertence à família Cruciferae da ordem Caprales. É uma planta anual de inverno, alógama, herbácea, ereta, muito ramificada podendo atingir de 100 a 180 cm de altura. Caracteriza-se pelo crescimento inicial extremamente rápido e, aos 60 dias após a emergência, promove a cobertura de 70% do solo (CRUSCIOL, 2005).

A Figura 11 mostra as flores do nabo forrageiro

FIGURA 7: Flores do nabo forrageiro



Fonte: Rural sementes.

O fruto é uma siliqua indeiscente, de 3 a 5 cm de comprimento, contendo de 2 a 10 sementes, com massa de 1000 grãos variando de 6 a 14 g, com media de 11 g.

É uma espécie altamente rústica, que se desenvolve bem em solos relativamente pobres e resiste a geadas tardias, tem demonstrado elevada capacidade de reciclagem de nutrientes, principalmente nitrogênio e fósforo (RIZZARDI; SILVA, 2006). Entretanto não possui a capacidade de fixar N_2 atmosférico, mas tem alta capacidade de extrair N das mais profundas camadas do solo (LIMA *et al*, 2007), pois seu sistema radicular é pivotante, atingindo mais de 2 metros de profundidade (VALLE, 2012).

A Siliqua e mostrada na Figura 12

FIGURA 8: Siliqua



Fonte: Rural sementes.

3.4.1 Óleo do nabo forrageiro e biodiesel

Apesar de apresentar produtividade de apenas 1200 kg de sementes por hectare, por tratar-se de uma oleaginosa de baixo valor agregado e tendo em vista o aproveitamento de culturas regionais para a produção de biodiesel, o óleo de nabo forrageiro já integra o quadro

nacional de matérias-primas que devem ser utilizadas para a produção de biodiesel. Embora o teor de óleo extraído nas sementes contenha cerca de 40 a 54% de óleo o que é inferior as demais culturas, tal óleo ganha pontos por ser uma alternativa aos óleos considerados *commodities* da indústria alimentícia e a torta do nabo (resíduo do processo de extração por prensagem), apresenta um elevado valor de mercado, pois, além de ser isento de solvente, apresenta elevado teor de proteína e gorduras (aproximadamente 8% de óleo residual) (DOMINGOS, 2005). A tabela 7 apresenta a composição dos óleos vegetais da soja, girassol e nabo forrageiro.

TABELA 7: Composição dos óleos vegetais da soja, girassol e nabo forrageiro.

Acido Graxo (%)	Óleo de Soja	Óleo de girassol	Óleo de nabo forrageiro
Mirístico (C14:0)	-	0,1	6,0
Palmítico (C16:0)	10,8	6,2	7,9
Esteárico (C18:0)	3,2	4,1	3,1
Vacênico (C18:1 cis9)	-	-	1,4
Oléico (C18:1)	23,7	23,5	29,1
Linoleico (C18:2)	55,3	63,0	16,3
Linolênico (C18:3)	7,0	0,5	12,7
Araquídico (C20:0)	-	-	8,2
Behênico (C22:0)	-	-	14,1
Erúcico (C22:1)	-	-	1,2

Fonte: DAMBISKI (2007).

Observa-se que o óleo do nabo apresenta quantidade bem menor de ácidos graxos insaturados. O ácido graxo predominante na composição do óleo do nabo forrageiro é o oleico, que contém somente uma ligação dupla em sua cadeia carbônica, enquanto ácido graxo predominante na composição do óleo de soja e girassol é o linoleico, que contém duas ligações duplas em sua cadeia carbônica. Logo, em comparação com o óleo de soja e girassol, o óleo do nabo é vantajoso no que diz respeito estabilidade química, pois o elevado número de insaturações pode provocar inconvenientes no motor devido a oxidações, degradações e polimerizações do combustível, ocasionando menor número de cetano ou formação de resíduos sólidos, se inadequadamente armazenado e transportado.

A Tabela 8 mostra características do nabo forrageiro

TABELA 8: Características do nabo forrageiro

Extração de óleo	35% (média por semente)
Ciclo de produção	Curto, o que facilita associação com a soja
Clima de cultivo indicado	Frio e úmido
Altura	Média (menor que 1m), o que facilita a mecanização
Viscosidade	Baixa, o que melhora o desempenho do motor
Rendimento de biodiesel	284L/ha
Desvantagem	Baixa produtividade (volume colhido por hectare)

Fonte: DAMBISKI (2007).

O valor do índice de iodo, que representa a quantidade de insaturações das cadeias carbônicas dos triglicerídeos, é mais baixo para o óleo de nabo forrageiro em comparação com outros óleos. Outra vantagem apresentada é o ponto de fulgor mais alto em comparação com os óleos de soja e girassol, o que indica que este óleo se torna inflamável sob uma temperatura mais elevada e, portanto, é mais seguro no transporte, armazenamento e manuseio (DAMBISKI, 2007).

A Tabela 9 apresenta a comparação físico-químicas dos óleos da soja, girassol e nabo forrageiro.

Tabela 9: Característica dos óleos de soja, girassol e nabo forrageiro.

Parâmetros	Óleo de soja	Óleo de Girassol	Óleo de nabo forrageiro
Ponto de fulgor (°C)	254,0	274,0	288,0
Viscosidade cinemática a 40°C (mm ² /s)	32,6	37,1	38,1
Massa específica a 20°C (kg.m ⁻³)	919,0	918,0	918,0
Enxofre total (% massa)	ND*	ND*	ND*
Índice de iodo	129,2	130,0	104,0
Estabilidade à oxidação (h)	5,5	4,5	5,2
Poder calorífico superior (MJ.kg ⁻¹)	39,5	39,4	39,9
Ponto de névoa (°C)	-3,9	7,2	0
Ponto de fluidez (°C)	-12,2	-15,0	-15,0

Fonte: DAMBISKI (2007).

No trabalho de Dambiski (2007) o óleo de nabo forrageiro foi fornecido pelo Centro Brasileiro de Referência em Biocombustíveis – CERBIO do Instituto de Tecnologia do Paraná – TECPAR, o álcool utilizado basicamente o metanol e o catalisador heterogêneo empregado nas reações de transesterificação foi a zeólita A.

O biodiesel de óleo de nabo apresentou melhor composição química em relação aos óleos de soja e girassol, que são os óleos vegetais mais utilizados para a produção de biodiesel, no Brasil, e composição química semelhante ao óleo de canola, que é o óleo mais utilizado na Europa para produção de biodiesel.

O processo de transesterificação em metanol supercrítico, apesar de ter apresentado dificuldades em virtude das elevadas condições de temperatura e pressão e ineficiente separação de fase, apresentou resultados satisfatórios. Foi possível alcançar taxas de conversão em biodiesel de até 86,3% na ausência de catalisado, em 75 min, sob 430°C e 15MPa. A aplicação da zeólita influenciou negativamente o curso da reação, pois a conversão máxima foi de apenas 50,4% nas mesmas condições.

Segundo Domingos o biodiesel produzido do nabo foi desenvolvido em transesterificação em meio alcalino. No estudo, pode-se concluir que combinação adequada entre a razão molar etanol óleo e a concentração de NaOH é de extrema importância para obter rendimentos elevados.

A produção foi feita pelos métodos EE-F e EE-O, sendo os dois processos simples, entretanto o método EE-O foi o mais adequado.

Valle, 2009 em estudos para produzir biodiesel por esterificação ácida seguido de transesterificação alcalina, notou que algumas características do biodiesel não estavam conforme as especificações, indicando a necessidade de melhorar no processamento do óleo do nabo forrageiro. Para isso, um trabalho de otimização de transesterificação dos óleos é necessário após a etapa de neutralização dos ácidos graxos, reação de esterificação ácida, deve ser desenvolvido para que o óleo de nabo, com acidez elevada, possa ser viável para produção de biodiesel.

O biodiesel produzido a partir do óleo de nabo forrageiro feito por via catalítica (óxido de sódio), nos estudos de Valle, com etanol e metanol fornece comparação que os resultados obtidos aconteceram na diferença do tempo de reação, que foi menor com o uso do metanol, pois como se sabe o metanol é mais reativo. Porém, o emprego de etanol não apresentou dificuldade para a obtenção de resultados satisfatória.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como pode-se concluir com esse trabalho de revisão, o nabo forrageiro é uma excelente cultura para plantio direto e para melhorar a renda dos agricultores estão sendo estudadas as possíveis formas de transformar o óleo das sementes do nabo em biodiesel.

Para que isso aconteça, ainda são necessários mais estudos sobre as possíveis formas de obtenção do biodiesel do óleo de nabo forrageiro e adequar algumas técnicas existentes. Pois, o nabo poderá ser importante fonte de biodiesel, uma vez que não competira com os *commodities* alimentícios.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADÃO, D.C., *et al.* **Esterificação ácida seguido de transesterificação alcalina do óleo de nabo forrageiro (*Rapahnus sativus* L).** Centro de Energias Renováveis- CERBIO, 2011.

ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Atlas de Energia Elétrica no Brasil, parte III Fontes Não Renováveis.** Disponível em:
<http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/atlas_par3_cap7.pdf> Acesso em 21 nov. 2012.

ÁVILA, R.N.A. **Características físico- química e estabilidade à oxidação do biodiesel de nabo forrageiro**, 2009. 111 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade católica de Minas Gerais, 2009.

BELTRÃO, N.E.M., OLIVEIRA, M.I.P. **Oleaginosas e seus óleos: vantagens e desvantagens para produção de biodeisel**, EMPRABA, 2008.

BIODIESELBR. **Nova opção para o nabo forrageiro**. 2005. Disponível em
<<http://www.biodieselbr.com/noticias/biodiesel/nova-opcao-para-nabo-forrageiro-05.htm>>
Acesso em 11 out. 2012.

BRASIL. **Petróleo e derivados**. 2010. Disponível em
<<http://www.brasil.gov.br/sobre/economia/energia/petroleo-gas-natural-e-derivados/petroleo-e-derivados>> Acesso em 11 out. 2012.

BRASÍLIA (cidade). Ministério da Educação. Biodiesel. **Manual do Biodiesel**. Brasília, p.32, 2006.

BUENO, L. S.R. **Estudos da Influência da composição dos óleos vegetais sobre algumas propriedades do biodiesel**, 2007. 103 f. Dissertação (Mestrado) – Centro de Ciências exatas e Tecnológicas – Pontífca Universidade Católica do Paraná, 2007.

CARVALHO, H. M.; RIBEIRO, A. B. Biodiesel: Vantagens e Desvantagens numa comparação com o Diesel Convencional. **Revista de divulgação do Projeto Universidade Petrobras e IF Fluminense**. v 1, n 1, p 49-53, 2012.

CRUSCIOL, C.A., *et al.* Persistência de palhada e liberação de nutrientes do nabo forrageiro no plantio direto, **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.40, n.2, p.161-168, 2005.

DAMBISKI, L. **Síntese de biodiesel do óleo de nabo forrageiro empregando metanol supercitríco**. 2007. 94 f. Dissertação (Mestrado)- Engenharia de Materiais, do Departamento de Pesquisa e Pós-Graduação, do Campos de Curitiba, da UTFPR, 2007.

DELATORRE, A. B. *et al.* Produção de biodiesel: considerações sobre as diferentes matérias-primas e rotas tecnológicas de processos, **Revista Científica Perspectivas online**, v.1, n.1, p.21-47, 2011.

DOMINGOS, A.R. **Otimização do etanolise de óleo de *Raphanus sativus* L e avaliação de suas estabilidades à oxidação.** 2005. 129 f. Dissertação (Mestrado) – Área de química orgânica – Setor de Ciências Exatas – Universidade Federal do Paraná, 2005.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Matérias – primas para produção de biodiesel: priorizando alternativa.** São Paulo, 2005. 35p.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA . **Oleaginosas e seus óleos: vantagens e desvantagens para produção de biodiesel.** Disponível em: <<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/276836/1/DOC201.pdf>>. Acesso em: 15 set 2012.

FRANCISCO, E.C. **Biofixação de dióxido de carbono por microalgas acumuladoras de materias graxas,** 2010. 90 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Química – Universidade Estadual de Campinas, 2010.

FREITAS, C.; PENTEADO, M. **Biodiesel Energia do Futuro,** 2º edição, São Paulo, ed Letra.

GARCIA, J.R. **O programa nacional de produção e uso de biodiesel brasileiro e a agricultura familiar na região nordeste,** 2007. 218 f. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Economia – Universidade Estadual de Campina, 2007.

LADETEL – LABORATÓRIO DE DESENVOLVIMENTO DE TECNOLOGIAS LIMPAS. Disponível em: <http://www.camara.gov.br/internet/comissao/index/perm/capr/CAPR_BIOUSP.pdf>. Acesso em: 23 outubro 2012.

LEIRAS, ADRIANA. **A cadeia produtiva do biodiesel: uma avaliação econômica para o caso do Brasil.** 2006. 156 f. Dissertação (Mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Industrial, 2006.

LIMA, J.D. *et al.* **Comportamento do nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L) e da nabieira (*Raphanus raphanistrum* L) como adubo verde,** Universidade Federal de Goiás, 2007.

MACHADO, A.B. **Caracterização de sistemas envolvidos nos processo de purificação de biodiesel,** 2010. 180 f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Engenharia Química – Universidade Estadual de Campinas, 2010.

MELO, M.A.M.F. **Avaliação das propriedades de óleos vegetais visando a produção de biodiesel,** 2010. 118 f. Dissertação (Mestrado) – Centro de Ciências Exatas e da Natureza – Universidade Federal do Paraná, 2010.

MENDES, A.P.A.; COSTA, R.C. **Mercado brasileiro de biodiesel e perspectivas futuras.** BNDES Setorial, n31 p 253-280,n 2009.

MIRANDA, J.C.C. **Criação do banco de dados, simulação e análise energética do processo de produção do biodiesel de soja, mamona e pinhão-manso,** Dissertação (Mestrado), 2011 – Faculdade de Engenharia Química – UNICAMP, 2011.

MUSEL VIRTUAL DO TRANSPORTE URBANO. **O “motor social” de Rudolf Diesel.** Disponível em <www.museudantu.org.br/galeria/diesel2.pdf> Acesso em 24 nov. 2012.

NASCIMENTO, J.E., DALLAN, J.C.F. **O consumo e a produção de biodiesel e a necessidade de ações mistificadoras de efeito estufa**, 2007. Disponível em: <<http://www.macjen.com.br/arquivos/Congresso%202007.pdf>>. Acesso em: 23 set 2012.

RAMOS, C.N. Nascimento, L. S. Silva, M. N. **Biodiesel obtido através de resíduos: energia limpa que vem dos restos**, 2008. Disponível em <<http://www.essentiaeditora.iff.edu.br/index.php/BolsistaDeValor/article/view/1808/986>>. Acesso em: 22 novembro 2012.

REDA, S. Y. CARNEIRO, P.I.B. Óleos e gorduras: aplicações e implicações. **Analytica**, Paraná, v.1, n° 27, março 2007.

RIBEIRO, T.C. **Síntese de Insumos Químicos a partir de Biodiesel Produzido pela Transesterificação de Gordura Animal**. 2010. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Química – FEQ, Universidade Estadual de Campinas, 2010.

RIZZARDI, M.A, SILVA, L.F. **Influência das coberturas vegetais antecessoras de aveia-preta e nabo forrageiro na época de controle de plantas daninhas em milho**, Planta daninha, v.24, n.4, p. 669 – 675, 2006.

RURAL SEMENTES. **Nabo forrageiro rotação de cultura e biocombustível**. <[http://www.ruralsementes.com.br/produtos/Nabo%20Forrageiro%20\[Modo%20de%20Compatibilidade\].pdf](http://www.ruralsementes.com.br/produtos/Nabo%20Forrageiro%20[Modo%20de%20Compatibilidade].pdf)>. Acesso em 22 de outubro de 2012.

SANTOS, A.P.B.; PINTO, A.C. **Biodiesel uma alternativa de combustíveis limpo**. Química Nova Escola, v31, n1, 2009.

SOUZA, R. Análise da conjuntura agropecuária, safra 2008/09. 2008. Disponível em: <http://www.agricultura.pr.gov.br/arquivos/File/deral/Prognosticos/biodiesel_0809.pdf>. Acesso em: 21 out 2012.

TEIXEIRA, M.C. , TAOUIL, D.S.G. Biodiesel: uma energia alternativa e verde, **Vértices**, Campo Goytacazes, v.12, n.3, p.17-40, 2010.

TRZECIAK, M.B *et al.* Utilização de sementes de espécies oleaginosas para a produção de biodiesel, **Informativo ABRATES**, v.18, n., 2, 3, p.30-38, 2008.

VALLE, P.W.P.A. **Produção de biodiesel via transesterificação do óleo de nabo forrageiro**. 2009. 206 f. Tese (Doutorado)- Departamento de Química do Instituto de Ciências Exatas da Universidade Federal de Minas Gerais, 2009.