

# **D O S S I Ê T É C N I C O**

**Tratamento de efluentes de biodiesel em reatores  
anaeróbios**

**Edésio Rodrigues Alvarenga Júnior**

**Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais  
CETEC**

**julho  
2011**

## Sumário

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>3</b>
<b>2 BIODIESEL</b> .....	<b>4</b>
2.1 Características gerais do biodiesel .....	4
2.2 Matérias-primas para a produção do biodiesel .....	5
2.3 Vantagens e desvantagens do uso do biodiesel .....	5
<b>3 CARACTERÍSTICAS DAS MATÉRIAS-PRIMAS</b> .....	<b>6</b>
3.1 Girassol .....	6
3.2 Amendoim .....	7
3.3 Algodão .....	8
3.4 Dendê .....	8
3.5 Babaçu .....	9
3.6 Mamona.....	9
3.7 Soja .....	10
<b>4 A OBTENÇÃO DO BIODIESEL</b> .....	<b>11</b>
4.1 Processo de transesterificação.....	12
4.2 Processo de hidroesterificação.....	13
4.3 Rotas tecnológicas .....	14
4.4 Outros processos de obtenção do biodiesel .....	15
<b>5 TRATAMENTO DE EFLUENTES DO BIODIESEL</b> .....	<b>16</b>
5.1 Glicerina .....	16
5.2 Tratamento anaeróbio de efluentes .....	17
5.3 Reator anaeróbio operado em batelada seqüencial (ASBR) .....	17
5.4 Vantagens do reator anaeróbio operado em batelada seqüencial (ASBR) .....	18
5.5 Desvantagens do reator anaeróbio operado em batelada seqüencial (ASBR) .....	18
5.6 Aplicação do reator anaeróbio operado em batelada seqüencial (ASBR) .....	18
5.7 Tratamento com reator anaeróbio operado em batelada seqüencial (ASBR) .....	17

<b>CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>19</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>20</b>
<b>ANEXO 1 – ESQUEMA DO REATOR ANAERÓBIO.....</b>	<b>23</b>
<b>ANEXOS 2 – FOTOGRAFIA DO APARATO EXPERIMENTAL .....</b>	<b>24</b>

## Título

Tratamento de efluentes de biodiesel em reatores anaeróbicos

## Assunto

Tratamento de disposição de resíduos não perigosos

## Resumo

Considerado um combustível renovável, o biodiesel é produzido a partir de reação química entre um óleo vegetal ou gordura animal, e o álcool, por meio de um catalisador. Um dos problemas desta produção consiste no tratamento de seus efluentes. Neste dossiê serão apresentadas as técnicas aplicadas no tratamento dos efluentes a partir da utilização de reatores anaeróbios em batelada seqüencial contendo biomassa granulada (ASBR), a utilização deste de tipo de reator para a remoção de matéria orgânica, de compostos oxigenados e compostos sulfurados, e como é possível, com esta técnica, a obtenção de um melhor controle da qualidade do efluente e maior eficiência na remoção de compostos orgânicos. Serão apresentados também neste dossiê, os processos de obtenção do biodiesel.

## Palavras chave

Aproveitamento de resíduo; biocombustível; biodiesel; efluente; matéria-prima; reator anaeróbio UASB; reciclagem; tratamento de efluente

## Conteúdo

### 1 INTRODUÇÃO

Conforme Bernardes, Langone e Merçon (2007) com o crescente aumento da preocupação em relação ao uso de combustíveis menos poluentes e de menor impacto na emissão de carbono, a produção de biodiesel vem ganhando destaque mundial na sua produção. A redução das reservas de petróleo e diesel é um dos responsáveis pelo interesse por esse combustível alternativo, que pode ser obtido a partir de uma matriz renovável. O emprego de óleos vegetais ou misturas dos mesmos ainda é tido como impraticável e insuficiente para a injeção direta ou indireta em motores a diesel devido à alta viscosidade, à presença de ácidos e goma, formada na oxidação, e à polimerização do óleo diesel durante sua estocagem e combustão.

A vantagem do biodiesel é que ele substitui parcial ou totalmente o uso do óleo diesel de petróleo em motores ciclo diesel automóveis ou estacionários. A forma de uso pode ser tanto puro quanto misturado ao diesel em diversas proporções. A mistura de 2% do biodiesel ao diesel do petróleo é chamada de B2 e assim sucessivamente, até o uso do biodiesel na forma pura, o B100.

Outras vantagens do biodiesel são: as suas “características como sua não toxicidade, biodegradabilidade e por ser obtido de fontes renováveis, principalmente quando também é utilizado um álcool, como o etanol, que é obtido pela fermentação da cana-de-açúcar” (BERNARDES; LANGONE; MERÇON, 2007).



Figura 1 – Biodiesel produzido com óleo de algodão  
Fonte: (NASCIMENTO, 2007)

Segundo a Lei n. 11.097, de 13 de janeiro de 2005, biodiesel é um biocombustível derivado de biomassa renovável para uso em motores a combustão interna com ignição por compressão ou, conforme regulamento, para geração de outro tipo de energia, que possa substituir parcial ou totalmente combustíveis de origem fóssil (BRASIL, 2005 *apud* BIODIESEL, [20--]).

## 2 BIODIESEL

O biodiesel é considerado um combustível biodegradável por ser derivado de fontes renováveis, existem vários processos de obtenção deste produto, tais como: o craqueamento, a esterificação ou pela transesterificação. A produção do biodiesel ocorre através de gorduras animais ou de óleos vegetais, este último é de grande uso no Brasil, onde existem várias espécies de vegetais (dendê, girassol, amendoim, babaçu, pinhão manso e soja) dentre outras.

### 2.1 Características gerais do biodiesel

Quanto às características o biodiesel é muito discutido sob o ponto de vista conceitual. Conforme Koga et al. (2006) existem divergências conceituais para o biodiesel, onde alguns o conceituam de forma genérica, definindo o produto como um combustível produzido a partir de fontes renováveis. Há ainda os que definem como a especificação da porcentagem de cada elemento na obtenção do combustível originário exclusivamente de fontes renováveis, como sendo mistura de 90% de óleo vegetal e 10% de álcool.

O Programa Brasileiro de Biocombustíveis define o biodiesel como “combustível obtido a partir de misturas, em diferentes proporções de diesel e éster de óleos vegetais” (LIMA, 2005 *apud* KOGA et al., 2006).

Baseado na química orgânica, Meirelles (2003) adota a seguinte definição técnica para o biodiesel: “um éster alquílico de ácidos graxos, obtidos da reação de transesterificação de qualquer triglicerídeo (óleos e gorduras vegetais ou animais) com álcool de cadeia curta (metanol ou etanol)”.

Segundo Meirelles (2003) a reação química ocorrida (óleo vegetal com um álcool) na presença de um catalisador, este que pode ser ácido clorídrico ou um hidróxido de sódio é chamada de transesterificação resultando em um éster e a glicerina. No Brasil, o etanol é o mais utilizado no processo, por apresentar vantagens de não ser tóxico, ser biodegradável e ser produzido a partir de fontes renováveis.

## 2.2 Matérias-primas para a produção de biodiesel

Conforme Koga et al. (2006) existe uma grande variedade de matérias-primas e também de processos de obtenção do biodiesel, isto conforme as espécies cultivadas e de acordo com as características de cada região do Brasil. Devido a estas diversidades naturais espalhadas por todo o país, o resultado são as motivações econômicas, sociais e ambientais (segundo os aspectos ambientais).

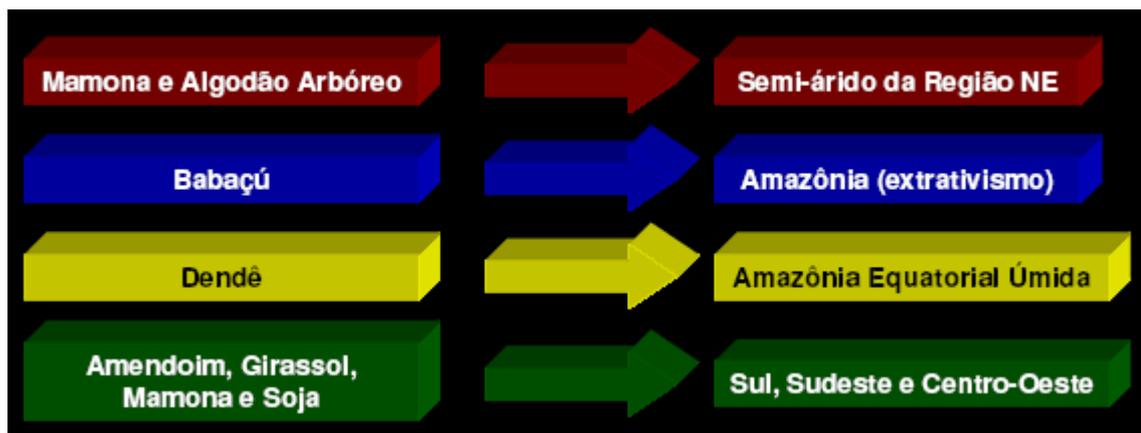


Figura 2 – Matérias-primas regionais no Brasil  
Fonte: (CÂMARA, 2006)

Entres as matérias-primas utilizadas para a produção do óleo vegetal (biodiesel) pode-se citar:

O girassol, amendoim, algodão, dendê, coco, babaçu, mamona e principalmente a soja. Mesmo com baixo rendimento para produção de óleo, a soja é uma matéria-prima importante, pois seu principal subproduto é o farelo para alimentação animal e tem o óleo vegetal como subproduto de importância secundária, responsável por aproximadamente 90% da nossa produção de óleo e é a única para a produção imediata de biodiesel em larga escala, pois o país é o segundo maior produtor mundial de soja (COOTA, 2004 *apud* KOGA et al., 2006).

## 2.3 Vantagens e desvantagens do uso do biodiesel

Além de ser um combustível renovável, o biodiesel apresenta outras vantagens nos campos econômico, social, ambiental e técnico.

- Vantagem ambiental: comparado ao óleo diesel, tem uma reduzida emissão de gases poluentes, tais como redução de emissão de 20% de enxofre, 9,8% de anidrido carbônico, 14,2% de hidrocarbonetos não queimados, 26,8% de material particulado e 4,6% de óxido de nitrogênio.
- Vantagem econômica: a redução das emissões de gases poluente possibilita a venda de Créditos de Carbono, enquadrando nos acordos estabelecidos no protocolo de Quioto e nas diretrizes dos Mecanismos de Desenvolvimento Limpo – MDL. Além disso, a utilização do biodiesel possibilita a redução das importações de petróleo e diesel refinado.

- Vantagem social: a produção de biodiesel a partir de óleos vegetais propicia a criação de novos postos de trabalho, principalmente no setor primário, aumentando a oferta de espécies oleaginosas, importante insumo para a indústria de alimentos e ração animal, funcionando também como fonte de nitrogênio para o solo.
- Vantagem técnica: a grande vantagem técnica é a ausência da necessidade de serem feitas adaptações nos motores de ciclo-diesel para a utilização do biodiesel, seja puro ou em misturas com o óleo diesel. Outra vantagem técnica relaciona-se à segurança, pois o transporte e a armazenagem são facilitados por conta do baixo risco de explosão do biodiesel (MEIRELLES, 2003 *apud* KOGAN et al., 2006).

Porém, apesar vantagens do uso do biodiesel, pode-se citar algumas desvantagens também:

“Desvantagem técnica: o fato da viscosidade do biodiesel ser em geral maior que a do diesel mineral, apresentando variabilidade em função da matéria-prima empregada, o que pode causar problemas na injeção do combustível” (KOGAN et al., 2006).

“Desvantagem econômica: Os custos de produção do biodiesel ainda são maiores em relação ao óleo diesel, porém ainda são necessários mais testes considerando diferentes matérias-primas e as especificidades regionais” (KOGAN et al., 2006).

### 3 CARACTERÍSTICAS DAS MATÉRIAS-PRIMAS

Dentre as diversas fontes de biomassa disponíveis os óleos vegetais conforme Ramos et al. (2003) *apud* Cruz Júnior et al. (2007) são os mais citados e com maior importância nos programas de energia renovável, uma vez que:

Proporcionam uma geração descentralizada de energia e um apoio a agricultura familiar, criando melhores condições de vida (infra-estrutura) em regiões carentes, valorizando potencialidades regionais e oferecendo alternativas a problemas econômicos e socioambientais e difícil solução (RAMOS et al., 2003 *apud* CRUZ JÚNIOR et al., 2007).

Tabela 1 – Diversidade matérias-primas para a produção de biodiesel

Espécie	Produtividade (t/ha)	Porcentagem de óleo	Rendimento (t óleo/ha)
Algodão	0,86 a 1,4	15	0,1 a 0,2
Amendoim	1,5 a 2	40 a 43	0,6 a 0,8
Dendê	15 a 25	20	3 a 6
Girassol	1,5 a 2	28 a 48	0,5 a 0,9
Mamona	0,5 a 1,5	43 a 45	0,5 a 0,9
Pinhão manso	2 a 12	50 a 52	1 a 6
Soja	2 a 3	17	0,2 a 0,4

Fonte: (ENCARNAÇÃO, 2008, p. 17)

#### 3.1 Girassol

Conforme Cruz Júnior et al. (2007) um dos óleos utilizados para a produção de biodiesel é o da semente de girassol, que é cultivado em todos os continentes do planeta, representando cerca de 18 hectares.



Figura 3 – Sementes de girassol  
Fonte: (ALIMENTAÇÃO SAUDÁVEL, 2008)

Destaca-se como a quarta oleaginosa em produção de grãos e a quinta em área cultivada no mundo. A semente de girassol possui cerca de 24% de proteínas e 47% de matéria graxa em sua composição. A porcentagem dos ácidos linoléico e oléico é de, aproximadamente, 90% do total de ácidos graxos presentes no óleo de girassol (OLIVEIRA; VIEIRA, 2004 *apud* CRUZ JÚNIOR et al., 2007).

### 3.2 Amendoim

Segundo Santos, Gondim e Freire (2006) o amendoim é um produto cultivado em todo o Brasil, e uma das vantagens de seu plantio é a rentabilidade de bons lucros ao produtor. A produção aumentou expressivamente nos últimos anos, alcançando a 300 mil t em 2005. O uso de cultivares de porte rasteiro e mecanização das operações de plantio e colheita são tecnologias que podem surtir uma maior produtividade.



Figura 4 – Amendoim  
Fonte: (CÂMARA, 2006)

O óleo bruto de amendoim possui coloração amarelo-claro e seu odor e sabor são agradáveis. Comparado com outros óleos vegetais, principalmente ao óleo de algodão, o de amendoim é relativamente livre de fosfatídeos e de outros constituintes não oleosos. A extração do óleo pode ser feita por prensagem mecânica, dando origem à torta gorda, ou por solvente, originando a torta magra. Podem ser usados, ainda, os dois métodos associados. Os métodos de determinação do teor de óleo mais conhecidos são os gravimétricos. [...] O aparelho de Ressonância Magnética Nuclear, ou simplesmente RMN, é um dos melhores, pois não destrói a semente nem usa produto químico na obtenção do teor de óleo. [...] Após o processo de refino, que envolve basicamente as etapas de neutralização, clarificação e desodorização, esses índices são alterados em virtude das reações físico-químicas que ocorrem. A composição de ácidos graxos em grãos de amendoim variam entre cultivares, sendo a relação entre os ácidos oléico e linoléico (O/L) determinante da vida-de-prateleira do amendoim ou de produtos que contenham amendoim em sua composição (SANTOS; GONDIM; FREIRE, 2006).

O teor de óleo do amendoim está na faixa de 45% a 50% (CÂMARA, 2006).

### 3.3 Algodão

Os principais produtores de algodão no mundo são a China, os Estados Unidos, a Índia, o Paquistão e o Brasil.



Figura 5 – Algodão  
Fonte: (CÂMARA, 2006)

A semente de algodão tem grande importância, pois além de ser favorável como produtor de óleo, ainda tem como co-produto linter, que é bastante usado na fabricação de fio em tecelagem, o que elevaria mais ainda o interesse do produtor do campo em cultivá-lo. [...] A semente de algodão contém de 14 a 25% em média de óleo o qual 1-2% é de ácido graxo mirístico, 18-25% de palmítico, 1-25% de esteárico, 1-2 de palmitoléico, 17-38% de oléico e 45-55% de linoléico (DANTAS, 2006).

Conforme Câmara (2006) quando a fibra do algodão é retirada para a indústria têxtil, sobra o caroço, contendo de 18% a 20% de óleo em sua composição.

### 3.4 Dendê

Conforme Souza (2000). O dendezeiro (*Elaeis guineensis* Jaquim) é uma palmeira originária da costa oriental da África (Golfo da Guiné), sendo encontrada em povoações subespontâneas desde o Senegal até Angola. O óleo desta palmeira, conhecido como o azeite de dendê, é o óleo mais produzido e consumido no mundo, representado 27% de 140 milhões de toneladas de óleos e gorduras produzidas em 2005 e 27% do consumo mundial de 138,4 milhões de toneladas de óleos e gorduras em 2005.



Figura 6 – Dendê  
Fonte: (CRESTANA, 2005)

O azeite de dendê contém proporções iguais de ácidos graxos saturados (palmítico 44% e esteárico 5%) e não saturados (oléico 40% e linoléico 10%). É uma fonte natural de vitamina E, tocoferóis e tecotrienóis, que atuam como antioxidantes. É rico também em betacaroteno, fonte importante de vitamina A. É o óleo mais apropriado para fabricação de margarina pela sua consistência e por não rancificar, excelente como óleo de cozinha e frituras, sendo também utilizado na produção de manteiga vegetal (shortening), apropriada para fabricação de pães, bolos, tortas, biscoitos finos, cremes etc. O maior uso não comestível do óleo de dendê é como matéria prima na fabricação de sabões, sabonetes, sabão em pó, detergentes e amaciantes de roupas biodegradáveis, podendo ainda ser utilizado como combustível em motores diesel (SOUZA, 2000).

### 3.5 Babaçu

Segundo Santos (2008, p. 12) o babaçu é uma espécie de côco variando de 8 a 15cm de comprimento, composto basicamente por fibras, lenha e óleo.

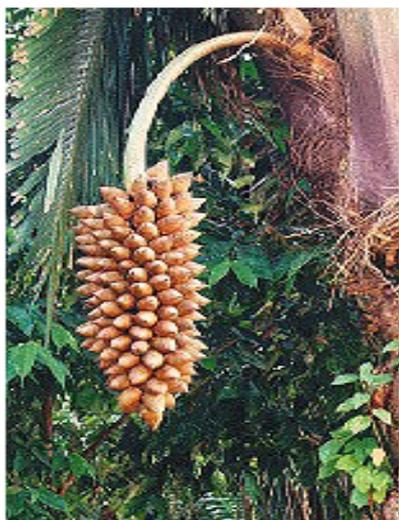


Figura 7 – Babaçu  
Fonte: (CRESTANA, 2005)

As amêndoas correspondem de 6 a 8 % do peso do coco integral e estão envoltas por um tegumento castanho, e são separadas umas das outras por paredes divisórias. Pesam, em média, de 3 a 4 g, e contêm entre 60 a 68 % de óleo, podendo alcançar 72 % em condições mais favoráveis de crescimento da palmeira. As amêndoas secas ao ar contêm aproximadamente 4 % de umidade, sem que este teor interfira na qualidade do óleo, e têm sido o componente do fruto mais intensivamente utilizado (SOLER; MUTO; VITALI, 2007 *apud* SANTOS, 2008, p. 12).

### 3.6 Mamona

A mamona (*Ricinus communis* L.) possui um óleo com diversas utilizações industriais, desde próteses ósseas até lubrificantes de motores. A atual legislação que institui a adição de biodiesel ao diesel criou grande expectativa na produção de mamona, visto ser um dos óleos indicados para a produção deste, gerando uma demanda por cultivares com adaptação em regiões onde o cultivo da mamona não é tradicional.



Figura 8 – Mamona  
Fonte: (CÂMARA, 2006)

O teor de óleo das sementes de mamona pode variar de 35 a 55%, mas a maior parte das cultivares plantadas comercialmente no Brasil possuem teor de óleo variando entre 45% e 50%. Cerca de 90% do óleo é composto por triglicerídeo, principalmente da ricinoleína, que é o componente do ácido ricinoléico, cuja fórmula molecular é  $(C_{17}H_{32}OHCOOH)$ . O ácido ricinoléico tem ligação insaturada e pertence ao grupo dos hidroxiácidos e se caracteriza por seu alto peso molecular (298) e baixo ponto de fusão ( $5^{\circ}C$ ). O grupo hidroxila presente na ricinoleína confere, ao óleo de mamona, a propriedade exclusiva de solubilidade em álcool (FREIRE, 2006).

### 3.7 Soja

Conforme Crestana (2005) o óleo de soja é o mais utilizado para a produção de biodiesel.

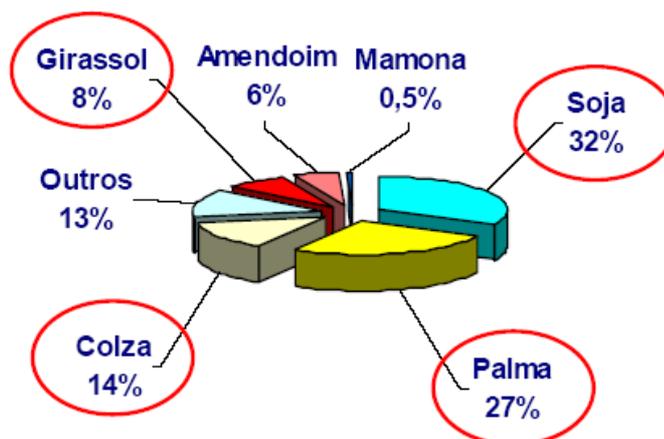


Figura 9 – Produção mundial de óleo vegetal  
Fonte: (CRESTANA, 2005)

O óleo de soja surgiu como um subproduto do processamento do farelo de soja, e tornou-se um dos líderes mundiais no mercado de óleos, sendo ímpar em suas propriedades e indicado para um vasto número de aplicações.



Figura 10 – Plantação de soja  
Fonte: (CÂMARA, 2006)

As características do óleo de soja são:

- Apresenta baixa perda quando refinado;
- Apresenta pigmentos termosensíveis que se degradam durante a desodorização, atingindo a cor vermelho muito menor que 1 na escala *Lovibond*;
- Seus cristais podem ser facilmente filtrados quando parcialmente hidrogenado ou fracionado;
- Possui alto índice de iodo que permite a sua hidrogenação, posteriormente aplicado a uma ampla variedade de produtos (ANDERSEN, 1962 apud OLIVEIRA, 2001, p. 13).

#### 4 A OBTENÇÃO DO BODIESEL

Dentre os processos de obtenção do biodiesel o mais utilizado atualmente é a transesterificação, que é uma reação química entre as gorduras animais ou óleos vegetais com álcool comum (etanol) ou metanol, estimulada por um catalisador, da qual também se extrai a glicerina, produto bastante aplicado nas indústrias químicas.

O processo industrial de obtenção de biodiesel utiliza frequentemente catalisadores alcalinos para a transesterificação do óleo ou gordura com o metanol, produzindo ésteres metílicos de ácidos graxos e glicerol. A produção de biodiesel também pode ser realizada empregando enzimas como catalisadores, que atuam em condições operacionais mais brandas. Na rota enzimática, o subproduto glicerol pode ser facilmente removido sem demandar qualquer processo complexo de separação. Além disso, ácidos graxos livres contidos em óleos gastos, que podem ser utilizados como matéria-prima, também são completamente convertidos a alquil ésteres.

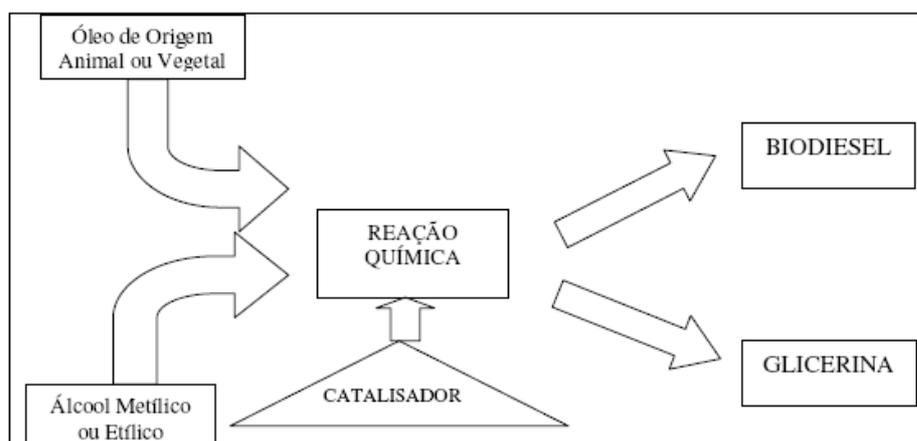


Figura 11 – Processo de obtenção do biodiesel  
Fonte: (KOGA et al., 2006)

Além do método de transesterificação para se obter o biodiesel, o outros processos são o craqueamento e a esterificação.

Mais recentemente vem sendo estudado também o processo de hidroesterificação, o qual permite a utilização de qualquer matéria prima (óleos e gorduras vegetais e animais e óleos e graxas residuais) independente da acidez e da umidade. Há ainda outros processos para produção de biodiesel tais como craqueamento térmico, transesterificação enzimática, transesterificação supercrítica, e esterificação de borras ácidas (ENCARNAÇÃO, 2008, p. 21).

#### 4.1 Processo de transesterificação

Conforme Encarnação (2008, p. 22) este processo de obtenção do biodiesel envolve quatro etapas, descritas a seguir:

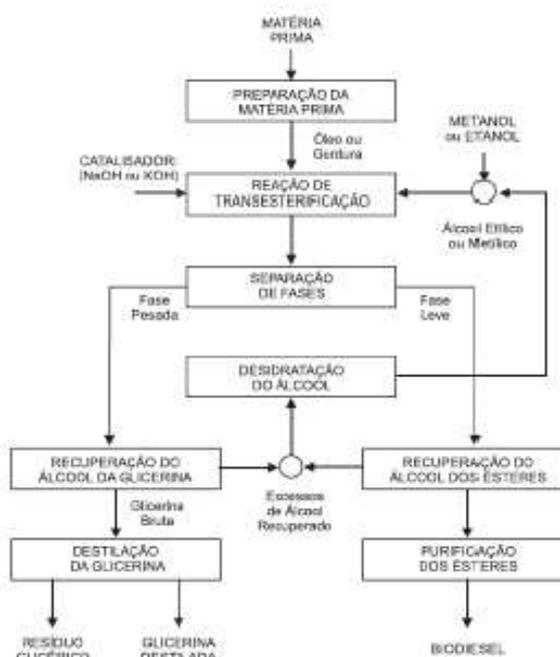


Figura 12 – Etapas do processo de transesterificação  
Fonte: (ENCARNAÇÃO, 2008, P. 22)

Preparação da matéria-prima: para obter um resultado satisfatório, os óleos devem ser processados com baixo teor de ácidos graxos livres e umidade de forma evitar a formação de produtos saponificados que diminuem eficiência de conversão. Para adequar a matéria prima a parâmetros de umidade e acidez aceitáveis para o processo, há uma etapa de preparação anterior à reação. Nessa etapa, a matéria prima é neutralizada através de uma lavagem com uma solução alcalina de hidróxido de sódio ou de potássio, seguida de uma operação de secagem ou desumidificação. Nessa etapa, geram-se resíduos de difícil tratamento, conhecidos como “*soapstocks*”. Quimicamente são sabões, gerados na reação entre os ácidos graxos com os hidróxidos de metais alcalinos, numa emulsão com um pouco de triglicerídeos (ENCARNAÇÃO, 2008, p. 23).

Reação da transesterificação: na reação de transesterificação o triglicerídeo reage com um álcool simples (metanol ou etanol), formando ésteres (metílico ou etílico), que constituem o biodiesel, e glicerol. O álcool é adicionado em excesso a fim de permitir a formação de uma fase separada de glicerol e deslocar o equilíbrio para um máximo rendimento de biodiesel, devido ao caráter reversível da reação. A reação pode ser catalisada por bases (NaOH, KOH, carbonatos ou alcóxidos), ácidos (HCl, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> e HSO<sub>3</sub>-R) ou enzimas (lipases). Ela ocorre de maneira mais rápida na presença de um catalisador alcalino que na presença da mesma quantidade de catalisador ácido, observando-se maior rendimento e seletividade, além de apresentar menores problemas relacionados à corrosão dos equipamentos. Os catalisadores mais eficientes para esse propósito são KOH e NaOH. A catálise básica homogênea é a mais empregada comercialmente (ENCARNAÇÃO, 2008, p. 23).

Separação das fases: o produto da reação possui duas fases na qual a mais pesada é composta pela glicerina e a fase mais leve é o biodiesel. Ambos estão contaminados com excessos de álcool, água e catalisador. A glicerina e o biodiesel são separados por decantação e/ou por centrifugação (ENCARNAÇÃO, 2008, p. 24).

Recuperação e desidratação do álcool: o álcool é recuperado dos produtos formados, biodiesel e glicerina, e é reutilizado no processo. Depois de recuperado o álcool ainda contém quantidades significativas de água, necessitando ser desidratado por destilação. Quando trata-se de etanol essa separação é dificultada devido à formação de azeótropo com a água (ENCARNAÇÃO, 2008, p. 24).

“Purificação dos ésteres: o biodiesel produzido deve ser lavado e, posteriormente, desumidificado visando retirar contaminantes como catalisador, glicerol e álcool que possam ainda estar retidos no produto” (ENCARNAÇÃO, 2008, p. 25).

Purificação de glicerina: a glicerina bruta ainda apresenta água, álcool e impurezas inerentes à matéria prima, podendo ser purificada para obter um valor de mercado mais favorável. Caso a reação tenha sido de caráter básico é possível recuperar a glicerina adicionando ácido. O ácido neutraliza o sabão transformando-o em ácido graxo. As duas fases obtidas, uma mais densa composta da glicerina com sais (oriundos da neutralização do catalisador) e outra mais leve que é a oleína (ácido graxo recuperado), são separadas em um decantador ou centrífuga. Após essa etapa a glicerina obtém um grau de pureza de 84%, vulgarmente chamada de glicerina loira, ainda com pouco valor comercial. Quando a purificação da glicerina é feita por destilação à vácuo, resulta em um produto límpido e transparente, gerando uma glicerina de grau farmacêutico de concentração superior a 99%. Porém poucas plantas de biodiesel no mundo contemplam essa etapa (ENCARNAÇÃO, 2008, p. 25).

#### 4.2 Processo de hidroesterificação

Este processo é novidade para a obtenção do biodiesel e segundo Encarnação (2008, p. 25) é conhecido no Brasil e tem sido defendido nos trabalhos de mestrado e doutorado. A vantagem deste processo é a permissão do uso de diversos tipos de matérias-primas (graxa, gordura animal, gordura vegetal, óleo de fritura usado, borras ácidas de refino de óleos vegetais), independente do nível de acidez que possuem.

“A hidroesterificação é um processo que envolve uma etapa de hidrólise seguida de uma etapa de esterificação” (ENCARNAÇÃO, 2008, p. 26).

A figura 13 representa o processo de hidroesterificação para a obtenção do biodiesel.



Figura 13 – Processo de hidroesterificação  
Fonte: (ENCARNAÇÃO, 2008, p. 26)

A hidrólise consiste numa reação química entre a gordura ou o óleo com a água, gerando-se glicerina e ácidos graxos. Independente da acidez e da umidade da matéria-prima, o produto final da hidrólise possui acidez superior a 99%. Portanto, ao invés de diminuir a acidez através de um refino, a hidrólise aumenta proposadamente a acidez da matéria-prima. Além disso, obtém-se uma glicerina muito mais pura que a glicerina advinda da transesterificação. Matérias-primas de grau alimentício geram gliceras de grau alimentício a partir da hidroesterificação. Isso jamais ocorre na transesterificação, onde um significativo teor de sais, álcoois e outras impurezas encontram-se presente na glicerina. Atualmente, as três plantas de hidrólise (SGS, em Ponta Grossa-PR; Irgovel – Indústria Rio Grandense de Óleos Vegetais, em Pelotas-RS; e ICSG – Indústria Campineira de Sabão e Glicerina, em Campinas - SP), em operação no Brasil, atingem conversões superiores a 99%. Após a hidrólise a glicerina é removida e os ácidos graxos gerados são então esterificados com um álcool que “neutraliza” a acidez presente. O biodiesel é gerado com elevada pureza, sem necessidade de etapas de lavagem que geram efluentes e elevado consumo de compostos químicos. Na reação também se obtém, como subproduto, a água, que retorna para o processo de hidrólise (ENCARNAÇÃO, 2008, p. 26).

#### 4.3 Rotas tecnológicas

Neste processo a obtenção do biodiesel ocorre através da reação da matéria graxa e um álcool. E o que define a rota é justamente o tipo de álcool escolhido.

Os álcoois mais comumente utilizados são o metanol e o etanol denominando, respectivamente, os processos de rota metílica e etílica. Os ésteres etílicos, por possuir um carbono a mais na molécula possuem maior número de cetano que os ésteres metílicos, otimizando a combustão nos motores diesel. No entanto, o metanol é o álcool mais utilizado devido a seu baixo custo e por reagir mais rapidamente com o óleo vegetal do que os outros álcoois. A literatura é praticamente unânime em dizer que a rota etílica é mais lenta que a metílica. Na verdade, os estudos cinéticos publicados não levam em conta a diferença no teor de água entre o metanol e o etanol (ENCARNAÇÃO, 2008, p. 28).

No Brasil o etanol é considerado anidro a partir de 99,3% (7000 ppm de água), enquanto que o metanol é anidro tipicamente com 99,99% (100 ppm de água), e em algumas plantas atinge-se 50 ppm de água. Essa diferença é importante para a velocidade da reação, uma vez que a umidade é um forte promotor da saponificação. Além disso, outra dificuldade apresentada pelo etanol está na sua recuperação uma vez que o mesmo forma azeótropo com a água, dificultando sua purificação (ENCARNAÇÃO, 2008, p. 29).

#### 4.4 Outros processos de obtenção do biodiesel

Além destes métodos de obtenção do biodiesel apresentados, existem outros tipos de processos possíveis para essa produção. São eles:

**Transesterificação no meio supercrítico:** a transesterificação também pode ser realizada em condições supercríticas, sendo conduzida em níveis de pressão e temperatura além da pressão crítica e da temperatura crítica do agente de alcoólise (metanol ou etanol). As vantagens deste processo são a obtenção de elevados rendimentos sem a utilização de catalisador, tempo reduzido de reação e a maior simplicidade na purificação. Tal processo ainda encontra-se em fase de estudo (ENCARNAÇÃO, 2008, p. 29).

**Esterificação:** a esterificação consiste na obtenção de ésteres a partir da reação entre um ácido graxo e um álcool (metanol ou etanol), com formação de água como subproduto. Difere da transesterificação, pois a matéria prima utilizada são ácidos graxos ao invés de triglicerídeos, o que a torna mais vantajosa devido à possibilidade do uso de matérias primas de baixo valor agregado (tais como resíduos e borras ácidas) e a não formação de glicerol. Difere do processo de hidroesterificação por não necessitar da etapa de hidrólise, já que a matéria prima já é ácido graxo. É caso do processo Agropalma/UFRJ, já citado no item 2.6.4 capítulo 2.5, que produz biodiesel a um custo competitivo, pois esterifica ácido graxo de palma para a obtenção do produto. A grande desvantagem de tal processo é a pouca disponibilidade destes resíduos ácidos para produção em larga escala (ENCARNAÇÃO, 2008, p. 30).

**Craqueamento térmico:** o processo de craqueamento térmico ou pirólise consiste na quebra das moléculas do óleo ou da gordura através do aquecimento a altas temperaturas envolvendo decomposição térmica e quebra das ligações químicas gerando moléculas menores. Embora o produto final possua propriedades muito semelhantes às do diesel de petróleo, o processo de craqueamento ainda possui custo elevado. Além disso, geram-se moléculas oxigenadas de elevada acidez exigindo novas reações para especificar o produto (ENCARNAÇÃO, 2008, p. 30).

**Transesterificação enzimática:** constitui uma alternativa que não gera rejeito aquoso alcalino, possui menor produção de contaminantes, maior seletividade e reaproveitamento, causando menor impacto ambiental. No entanto, a enzima possui alto custo, se comparada com o catalisador químico, sendo a principal desvantagem do processo enzimático (ENCARNAÇÃO, 2008, p. 31).

**H-Bio:** lançado pela Petrobrás, em junho de 2006, H-Bio é um processo de produção de óleo diesel (hidrocarbonetos) a partir da hidrogenação de uma mistura entre correntes de petróleo e óleo vegetal. O produto é exatamente igual a qualquer outro diesel, com a vantagem de ter menor teor de enxofre. O processo para obtenção de H-Bio, o HDT (Hidrotratamento), consiste fundamentalmente em uma reação catalítica entre hidrogênio, óleo vegetal e frações de diesel. Em altas pressões e temperaturas, o hidrogênio retira o enxofre, o nitrogênio e o oxigênio da corrente de diesel e transforma os aromáticos em naftênicos (moléculas cíclicas não-aromáticas). Os átomos de oxigênio presentes nos óleos vegetais também são retirados. (ENCARNAÇÃO, 2008, p. 31).

Porém, era esse oxigênio da estrutura do óleo vegetal que tornava possível uma combustão mais completa e conseqüentemente mais limpa. A falta de oxigênio também diminui a lubrificidade do combustível. Assim, em termos ambientais, apesar da utilização de fontes renováveis (óleo vegetal), o H-BIO não reduz as emissões de monóxido de carbono (CO) nem material particulado (ENCARNAÇÃO, 2008, p. 31).

## 5 TRATAMENTO DE EFLUENTES DO BIODIESEL

Conforme Larsen (2009, p. 6) durante o processo (transesterificação) de produção do biodiesel, existe uma reação catalisada cujo resultado são os triacilgliceróis (as moléculas principais dos óleos e gorduras) são separadas em ácidos graxos e glicerina.

Porém a glicerina produzida durante a obtenção do biodiesel vem misturada à água, aos ácidos graxos e aos sabões. Sendo assim, é necessário um tratamento para este efluente do biodiesel (LARSEN, 2009, p. 8).

### 5.1 Glicerina

A glicerina é um subproduto gerado no processo de produção do biodiesel, em uma proporção de 100 kg de glicerina para 1 m<sup>3</sup> de biodiesel.

A característica da glicerina em estado puro é um líquido viscoso, incolor, inodoro e higroscópico. Pela União Internacional de Química Pura e Aplicada – IUPAC, o nome da glicerina é propano 1,2,3 – triol (LARSEN, 2009, p. 7).

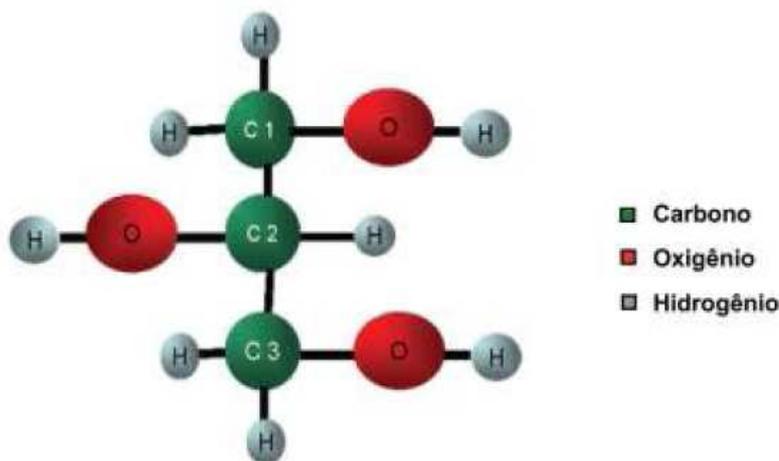


Figura 14 – Representação de uma molécula de glicerina  
Fonte: (LARSEN, 2009, p. 7)

A utilização de glicerina é muito grande e aplicada em diversos setores industriais (indústria farmacêutica, alimentícia, lubrificantes de máquinas processadoras de alimentos, fabricação de tintas e resinas, fabricação de dinamites, fabricação de plásticos, etc.).

Entretanto, esta mesma glicerina (misturada na água, aos ácidos graxos e aos sabões) é a fase mais pesada do processo de obtenção do biodiesel (glicerina bruta) impregnada dos excessos utilizados de álcool, de água, de impurezas, de inerentes à matéria-prima. Com 88% de concentração do resultado da obtenção do biodiesel, é também conhecida como glicerina loura (LARSEN, 2009, p.8).

A importância do aproveitamento da glicerina bruta é para que ela não se torne um problema ambiental e econômico na cadeia de produção do biodiesel.

Existem várias alternativas para a utilização da glicerina, uma delas é a compostagem da glicerina bruta junto a outros resíduos orgânicos, de preferência sólidos, para a produção de adubo orgânico com teor de potássio elevado, devido a recuperação de hidróxido de potássio (KOH), usado como catalisador na transesterificação (LARSEN, 2009, p. 8).

## 5.2 Tratamento anaeróbio de efluentes

Conforme Cotrim (2009, p. 16) a digestão anaeróbia é considerada um ecossistema, por conter diversos grupos de microrganismos, e, que na falta de oxigênio, interagem entre si na conversão da matéria orgânica complexa (carboidratos, proteínas e lipídeos) e em produtos mais simples (metano, gás carbônico, água, gás sulfídrico, amônia e novas células).

“Os microrganismos envolvidos neste processo são altamente especializados e cada grupo atua em reações específicas, podendo-se distinguir quatro etapas distintas na conversão global de matéria orgânica: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese” (COTRIM, 2009, p. 16).

Há também a fase sulfetogênese no processo de digestão anaeróbia, dependendo da composição química do despejo a ser tratado, que precisam ter compostos de enxofre (COTRIM, 2009, p. 17).

Um fator importante que ocorre no processo de digestão anaeróbia é o fenômeno da granulação, que acontece através da aderência de microrganismos uns aos outros e às partículas orgânicas e/ou inorgânicas para formar grânulos firmes e densos. A importância desta massa granular é que ela permite ao reator tratar grandes cargas orgânicas volumétricas com estabilidade e eficiência, se comparado aos sistemas sem o fenômeno da granulação. Outras vantagens que a massa granular oferece são a capacidade operar em alta velocidade sedimentar e alta velocidade específica, permitindo atingir maiores velocidades de estabilização da matéria orgânica (COTRIM, 2009, p. 18).

## 5.3. Reator anaeróbio operado em batelada seqüencial (ASBR)

Segundo Cotrim (2009, p. 20) os reatores anaeróbios operados em batelada seqüencial (ASBR) passam por um processo de quatro etapas.

- Alimentação: pode ter o tempo de enchimento variável, compreendendo a operação em batelada (quando o tempo de enchimento é desprezível em relação ao tempo total de ciclo) e a operação batelada alimentada (quando o tempo de enchimento é significativo em relação ao tempo total de ciclo) (COTRIM, 2009, p. 20).
- Tratamento propriamente dito: por meio das biotransformações dos constituintes do esgoto por microrganismos; esta etapa se desenvolve melhor quando há uma mistura no meio do líquido, seja por agitação mecânica ou por recirculação da fase gasosa ou líquida (COTRIM, 2009, p. 20)
- Sedimentação: quando a biomassa se encontra na forma granulada, pois quando a biomassa está na forma imobilizada em suporte inerte, já não se faz mais necessária esta etapa (COTRIM, 2009, p. 20).
- Descarga: com retirada do líquido tratado e clarificado (COTRIM, 2009, p. 20).

“Quando a biomassa presente no reator está na forma granulada, este reator é denominado reator anaeróbio operado em batelada seqüencial – ASBR (*Anaerobic Sequencing Batch Reactor*)” (COTRIM, 2009, p. 20).

“quando a biomassa presente no reator está imobilizada em algum suporte inerte, este reator é denominado reator anaeróbio operado em batelada com biomassa imobilizada – AnSBBR (*Anaerobic Sequencing Batch Biofilm Reactor*)” (COTRIM, 2009, p. 20).

#### 5.4 Vantagens do reator anaeróbio operado em batelada seqüencial (ASBR)

São diversas as vantagens do uso do reator anaeróbio operado em batelada seqüencial para tratamento de águas residuárias, como melhor controle da qualidade do efluente, alta eficiência de remoção da matéria orgânica e operação simples e estável do sistema.

#### 5.5 Desvantagens do reator anaeróbio operado em batelada seqüencial (ASBR)

Conforme Cotrim (2009, p. 20) apesar das vantagens do uso do reator anaeróbio existem também as desvantagens, como ocorrência de zonas mortas, alto tempo de sedimentação, arraste de sólidos e inibição devido à sobrecarga orgânica são alguns dos problemas que afetam o desempenho de tratamento dos efluentes.

#### 5.6 Aplicação do reator anaeróbio operado em batelada seqüencial (ASBR)

A aplicação de sistemas de tratamento de efluentes em reatores anaeróbios operados em batelada seqüencial segundo Cotrim (2009, p. 21) é particularmente apropriada para alguns casos:

Indústrias que lançam efluentes de forma intermitente ou atividades que produzem efluentes apenas em algumas épocas do ano; indústrias que trabalham com padrões de emissão muito restritivos ou com compostos de difícil degradação, nos quais a qualidade do efluente pode ser controlada através do seu lançamento no ambiente apenas quando os padrões forem atingidos ou quando os eventuais compostos tóxicos presentes tenham sido satisfatoriamente degradados; sistema que visam o reuso de águas residuárias ou de substâncias nelas presente, pois o controle sobre a reutilização das águas pode ser maior e melhor do que em sistemas contínuos; em trabalhos fundamentais que visem a elucidação de alguns fenômenos de degradação anaeróbia, devido à facilidade de instrumentação e controle (COTRIM, 2009, p. 21).

#### 5.7 Tratamento com reator anaeróbio operado em batelada seqüencial (ASBR)

Vem crescendo cada vez mais a produção de biodiesel no mundo, e devido a essa demanda pelo biocombustível surge o problema, que são os resíduos e sub-produtos do processo de produção do biodiesel, e o pior é que estes não tem um destino certo. Segundo Cotrim (2009, p. 25) o sub-produto mais abrangente é a glicerina.

São apresentados aqui estudos sobre tratamento do efluente glicerina com o uso ASBR.

Estudo sobre a fermentação anaeróbia do glicerol e do aproveitamento deste processo metabólico para converter a grande quantidade de glicerol: atenção especial foi dada a produtos cuja síntese a partir do glicerol seria mais vantajosa que sua produção a partir de açúcares comuns. O objetivo foi propor uma refinaria de biocombustíveis, convertendo os co-produtos para gerar produtos com maior produto agregado (COTRIM, 2009, p. 25).

Estudo da biodegradação de efluentes sintéticos contendo glicerol em reator com biomassa imobilizada em condições anaeróbias mesofílicas e termofílicas, além de verificar a produção de metano do sistema: o melhor desempenho em condições termofílicas (55,8 °C), na qual a remoção de carbono orgânico dissolvido foi de 86,7% a uma alimentação de 1 g/L.d (COTRIM, 2009, p. 25).

Estudo do tratamento biológico do efluente de plantas de produção do biodiesel com transesterificação alcalinamente catalisada: o efluente do biodiesel com alto pH, muito óleo extraído do hexano e baixas concentrações de nitrogênio, inibe o crescimento de microrganismos. Para aplicar o tratamento usando uma levedura que degrada óleo, *Rhodotorula mucilaginosa*, o pH foi ajustado para 6,8 e adicionados nutrientes ao efluente, tais como fonte de nitrogênio, extrato de levedura, potássio monobásico (KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>) e heptaidrato do sulfato de magnésio (MgSO<sub>4</sub> 7H<sub>2</sub>O). A concentração inicial ótima de extrato de levedura foi 1 g/L e a razão ótima C/N foi de 17 e 68, usando uréia como fonte de nitrogênio. Um inibidor de crescimento estava presente no efluente, o qual foi detectado medindo a quantidade de sólidos na fase aquosa depois da extração do hexano. Os microrganismos não conseguiam crescer com quantidade de sólidos acima 2,14 g/L no efluente e, para evitar a inibição do crescimento, o efluente a ser tratado foi diluído com o mesmo volume de água, sendo observada a degradação do óleo, cujo tratamento foi simples, sendo necessário apenas o controle de temperatura (COTRIM, 2009, p. 25).

Estudo da conversão de glicerol bruto da produção de biodiesel em hidrogênio por foto-fermentação de bactérias fotossintéticas (*Rhodospseudomonas palustris*) mostrando 6 moles H<sub>2</sub>/mol glicerol (70% da conversão teórica), sem haver evidências de inibição ou toxicidade pelo glicerol puro (COTRIM, 2009, p. 26).

Estudo da produção de hidrogênio e etanol de efluentes do processo de produção do biodiesel contendo glicerol, usando *Enterobacter aerogenes* HU – 101, sendo verificado que os efluentes de produção de biodiesel devem ser diluídos com meio sintético para aumentar a velocidade de utilização do glicerol, e adição de extrato de levedura e a triptona ao meio sintético aceleram a produção de H<sub>2</sub> etanol. Os rendimentos de H<sub>2</sub> e etanol diminuíram com o aumento da concentração do efluente do processo de produção de biodiesel e do glicerol puro. Além disso, as velocidades de produção de H<sub>2</sub> e etanol pelo efluente do processo de produção de biodiesel foram muito menores que as de velocidades com a mesma concentração de glicerol puro, devido, parcialmente, às altas concentrações de sais no efluente. Utilizando um reator com biomassa imobilizada, os valores máximos de produção, a partir do glicerol puro, de H<sub>2</sub> e de etanol foram, respectivamente, 80 e mmol/L.h e 0,8 mol/mol-glicerol, sendo obtido a partir do efluente do processo de produção de biodiesel a velocidade 30 mmol/L.h para o H<sub>2</sub> (COTRIM, 2009, p. 26).

A importância e vantagem fundamental do tratamento com reator anaeróbio operado em batelada seqüencial (ASBR) estão na possibilidade remover a matéria orgânica e ainda produzem metano, tornando o processo de produção do biodiesel economicamente mais vantajoso (COTRIM, 2009, p. 26).

## Conclusões e recomendações

Atualmente, verifica-se em literatura um aumento da potencial necessidade de tratamento de águas residuárias resultantes dos processos de produção de biocombustíveis. Em especial os processos de tratamento biológicos anaeróbios devem ser considerados, pois além de possibilitar a remoção da matéria orgânica, produzem metano, tornando o processo de produção de biocombustível economicamente mais vantajoso.

Neste contexto, passam a surgir muitos trabalhos e literaturas científicas e acadêmicas relacionados ao tratamento anaeróbio de efluente de processo de produção de biodiesel.

Além disso, a aplicação dos reatores anaeróbios operados em batelada seqüencial se mostra potencialmente vantajosa em função de suas características operacionais, ou seja, a possibilidade de operar de forma intermitente acompanhando o processo produtivo, controle operacional simples e viável de funcionar em pequena escala.

A aplicação dos reatores anaeróbios em batelada seqüencial contendo biomassa granulada (ASBR) depende ainda do entendimento de alguns aspectos fundamentais e, principalmente, tecnológicos. Dentre os aspectos tecnológicos, pode ser destacada a aplicação desse tipo de reator ao tratamento de efluentes industriais visando à remoção de matéria orgânica, de compostos nitrogenados e compostos sulfurados. Além disso, vale destacar a importância do processo anaeróbio na obtenção de metano ligada à geração do biogás produzido na biotransformação dos compostos poluentes.

São várias vantagens atribuídas aos sistemas anaeróbios operados em batelada para tratamento de águas residuárias, como melhor controle da qualidade do efluente, alta eficiência de remoção da matéria orgânica e operação simples e estável do sistema. Entretanto, a ocorrência de zonas mortas, alto tempo de sedimentação, arraste de sólidos e inibição devido à sobrecarga orgânica são alguns dos problemas que afetam o desempenho do tratamento. Dessa forma, pesquisas sobre a aplicação dessa configuração de biorreator ao tratamento de diferentes efluentes contribuirão para o melhor entendimento do processo.

## Referências

AGUIAR, Felipe. Montagem e estruturação de unidades de biodiesel. In: SIMPÓSIO DE ÁGUA E ENERGIA, 3, 2007, Araçatuba, SP. **Anais...** Araçatuba, SP: PETROBIO, 2007. Disponível em: <[http://www.cooperhidro.com.br/energia07/pdfs/13\\_petrobio\\_felipe.pdf](http://www.cooperhidro.com.br/energia07/pdfs/13_petrobio_felipe.pdf)>. Acesso em: 05 jul. 2011.

ALIMENTAÇÃO SAUDÁVEL. O Seu Guia de Nutrição. **Os alimentos mais saudáveis do mundo**: sementes de girassol. [S.l.]: Alimentação Saudável, 2008. Disponível em: <<http://www.alimentacaosaudavel.org/sementes-girassol.html>>. Acesso em: 06 jul. 2011.

ANDERSEN, A. J. C. **Refining of Oils and Fats Edible Purposes**. 2nd ed. Pergamon Press, 1962.

BERNARDES, Otávio Luiz; LANGONE, Marta A. P.; MERÇON; Fábio. Produção de biodiesel através da transesterificação de óleo de soja por via química e enzimática. ENCONTRO DA SBQ-RIO DE JANEIRO, 11, 2007, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: Universidade Federal Fluminense, 2007. Disponível em: <<http://www.uff.br/sbqriouff/Arquivos%20link/Resumos/P020%20009%20resumo%20P131.pdf>>. Acesso em: 05 jul. 2011.

BIODIESEL. O Novo Combustível do Brasil. **Programa nacional de produção e uso do biodiesel**: o biodiesel. Brasília: Governo Federal, [20--]. Disponível em: <<http://www.biodiesel.gov.br/>>. Acesso em: 05 jul. 2011.

BRASIL. Governo Federal. Lei n. 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. **Diário Oficial da União**, Brasília: Biodiesel, 2005. Disponível em: <[http://www.biodiesel.gov.br/docs/lei11097\\_13jan2005.pdf](http://www.biodiesel.gov.br/docs/lei11097_13jan2005.pdf)>. acesso em: 06 jul. 2011.

CÂMARA, Gil Miguel de Sousa. **Biodiesel para todos**. Piracicaba, SP: Conselho de Informações Sobre Biotecnologia – CIB / USP / ESALQ, 2006. Disponível em: <[http://www.cib.org.br/pdf/slides\\_biodiesel\\_para\\_todos.pdf](http://www.cib.org.br/pdf/slides_biodiesel_para_todos.pdf)>. Acesso em: 06 jul. 2011.

COOTA, Elaine. Bloqueio Chinês não Paralisa Exportações de Soja, Diz Furlan. **Folha Online**. São Paulo, 14/06/2004.

COTRIM, Luís Henrique Bittencourt. **ASBR aplicado ao tratamento de efluente do processo de produção do biodiesel**. 2009. 168 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos Químicos e Bioquímicos) – Escola de Engenharia Mauá do Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia, São Caetano do Sul, SP, 2009.

CRESTANA, Sílvio. **Matérias-primas para a produção do biodiesel: priorizando alternativas**. São Paulo: EMBRAPA, 2005. Disponível em: <<http://www.embrapa.br/imprensa/palestras/PalestraDiretoPresidenteProducaoBiodiesel.pdf>>. Acesso em: 06 jul. 2011.

CRUZ JÚNIOR, Américo et al. Alcoólise do óleo de girassol com Lipase de *Candida antarctica* B para produção de biodiesel. CONGRESSO DA REDE BRASILEIRA DE TECNOLOGIA BRASILEIRA DE TECNOLOGIA DO BIODIESEL, 2, 2007, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2007. Disponível em: <<http://www.biodiesel.gov.br/docs/congresso2007/producao/3.pdf>>. Acesso em: 06 jul. 2007.

DANTAS, Hérmesson Jales. **Estudo termoanalítico, cinético e reológico de biodiesel derivado do óleo de algodão**. 2006. 122 f. Dissertação (Mestrado em Química) – Departamento de Química, Universidade Federal Paraíba, João Pessoa, 2006. Disponível em: <<http://www.biodiesel.gov.br/docs/Disserta%E7%E3o%20BIODIESEL%20ALGOD%C3O.pdf>>. Acesso em: 07 jul. 2011.

ENCARNAÇÃO, Ana Paula Gama. **Geração de biodiesel pelos processos de transesterificação e hidroesterificação, uma avaliação econômica**. 2008. 144 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008. Disponível em: <<http://www.eq.ufrj.br/sipeq/download/biodiesel-via-trans-e-hidroesterificacao.pdf>>. Acesso em: 18 jul. 2011.

FREIRE, Rosa Maria Mendes. **Sistemas de produção: cultivo da mamona**. Brasília: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento / EMBRAPA, 2006. Disponível em: <[http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Mamona/CultivodaMamona\\_2e\\_d/oleo.html](http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Mamona/CultivodaMamona_2e_d/oleo.html)>. Acesso em: 07 jul. 2011.

KOGA, Eduardo Koiti et al. Biodiesel: uma relação viável ciência, tecnologia, meio ambiente, sociedade e economia. SIMPÓSIO DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO E TECNOLOGIA, 8, 2006, Resende, RJ. **Anais...** Resende, RJ: Associação Educacional Dom Bosco, 2006. Disponível em: <[http://www.aedb.br/seget/artigos06/965\\_ArtigoBiodiesel.pdf](http://www.aedb.br/seget/artigos06/965_ArtigoBiodiesel.pdf)>. Acesso em: 05 jul. 2011.

LARSEN, Andrea Christina. **Co-digestão anaeróbia de glicerina bruta e efluente de fecularia**. 2009. 41 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas / UNIOESTE, Cascavel, PR, 2009. Disponível em: <[http://tede.unioeste.br/tede/tde\\_arquivos/1/TDE-2010-01-19T110709Z-381/Publico/Andrea%20Christina%20Larsen.pdf](http://tede.unioeste.br/tede/tde_arquivos/1/TDE-2010-01-19T110709Z-381/Publico/Andrea%20Christina%20Larsen.pdf)>. Acesso em: 19 jul. 2011.

LIMA, P. C. R. **Biodiesel: Um Novo Combustível para o Brasil**. [S.l.]: Consultoria Legislativa, Fev. 2005.

MEIRELLES, F. S. **Biodiesel**. Brasília: Serviço Nacional de Aprendizado Rural, 2003.

NASCIMENTO, Rosilene Aparecida. O óleo de algodão como fonte para o biodiesel: aspectos técnicos. CONGRESSO BRASILEIRO DO ALGODÃO, 6, 2007, Uberlândia, MG. **Anais...** Uberlândia, MG: EMBRAPA, 2007. Disponível em: <<http://www.cnpa.embrapa.br/produtos/algodao/publicacoes/cba6/palestras/1507.pdf>>. Acesso em: 07 jul. 2011.

OLIVEIRA, Cristiana Gomes de. **Proposta de modelagem transiente para a clarificação de óleos vegetais**: experimentos cinéticos e simulação do processo industrial. 2001. 144 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Departamento de Engenharia Química e de Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001. Disponível em: <<http://www2.engq.ufsc.br/teses/m065.pdf>>. Acesso em: 07 jul. 2011.

OLIVEIRA, M.F., VIEIRA, O.V. Extração de óleo de girassol utilizando miniprensa. Londrina: Embrapa Soja, p. 27, (Embrapa: CNPSo, Documentos, 237), 2004. Ramos, L. P. Um projeto de sustentabilidade econômica e sócio-ambiental para o Brasil. **Biotecnologia Ciência e Desenvolvimento**, v. 26, p. 28-37, 2003.

SANTOS, Joselene Ribeiro de Jesus. **Biodiesel de babaçu**: avaliação térmica, oxidativa e misturas binárias. 2008. 117 f. Tese (Doutorado em Química) – Departamento de Química, Universidade Federal Paraíba, João Pessoa, 2008. Disponível em: <[http://www.quimica.ufpb.br/posgrad/teses/Tese\\_Joselene\\_Ribeiro\\_Jesus.pdf](http://www.quimica.ufpb.br/posgrad/teses/Tese_Joselene_Ribeiro_Jesus.pdf)>. Acesso em: 07 jul. 2011.

SANTOS, Roseane Cavalcanti dos; SOUSA, GONDIM, Tarcísio Marcos de Sousa; FREIRE, Rosa Maria Mendes. **Sistemas de produção**: cultivo de amendoim. Brasília: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento / EMBRAPA, 2006. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Amendoim/CultivodoAmendoim/index.html>>. Acesso em: 06 jul. 2011.

SOLER, M. P.; MUTO, E. F.; VITALI, A. A. Tecnologia de quebra do coco babaçu (*Orbignya speciosa*). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 27, n. 4, out./dez. 2007. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/cta/v27n4/07.pdf>>. Acesso em: 07 jul. 2011.

SOUZA, Jonas de. Dendê. **CEPLAC Notícias**, Brasília, out. 2000. Radar. Disponível em: <<http://www.ceplac.gov.br/radar/dende.htm>>. Acesso em: 07 jul. 2011.

## ANEXO 1 – ESQUEMA DO REATOR ANAERÓBIO

Representação do esquema do biorreator em batelada seqüencial com biomassa granulada (ASBR).

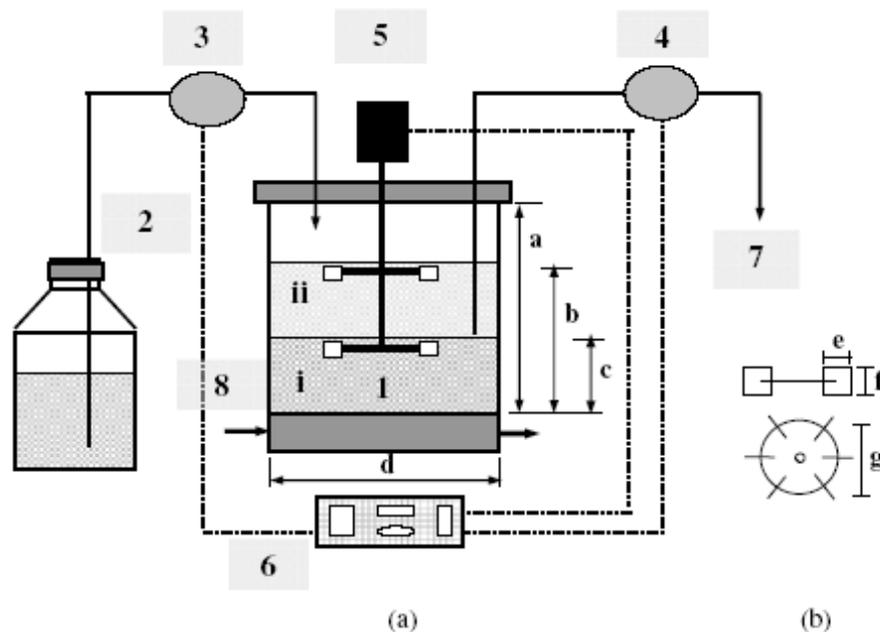


Figura 15 – Esquema do biorreator em batelada seqüencial com biomassa granulada (ASBR)  
Fonte: (COTRIM, 2009, p. 28)

(a) Reator [1 – Biorreator BIOFLO III (*New Brunswick Scientific Co.*) com capacidade de 5 L ( $a = 26$  cm;  $b = 16$  cm;  $c = 8$  cm;  $d = 20$  cm) e um impelidor tipo turbina com seis pás planas ( $e = 2$  cm;  $f = 1,5$  cm;  $g = 6$  cm) contendo biomassa granulada (i – região de alta concentração de biomassa; ii – região de baixa concentração de biomassa); 2 – Afluente; 3 – Bomba de alimentação; 4 – Bomba de descarga; 5 – Sistema de agitação; 6 – Sistema de automação; 7 – Efluente; 8 – Controle de temperatura pela jaqueta do fundo] e (b) Impelidor tipo turbina com seis lâminas planas em detalhe.

## ANEXO 2 – FOTOGRAFIA DO APARATO EXPERIMENTAL

Fotografia representando o aparato experimental.



Figura 16 – Fotografia do aparato experimental  
Fonte: (COTRIM, 2009, p. 29)

[1 – Biorreator BIOFLO III (*New Brunswick Scientific Co.*) com capacidade de 5 L contendo biomassa granulada (ASBR); 2 – Afluente; 3 – Bomba de alimentação; 4 – Bomba de descarga; 5 – Sistema de agitação; 6 – Sistema de automação (“timers”); 7 – Efluente; 8 – Controle de temperatura.

### Nome do técnico responsável

Edésio Rodrigues Alvarenga Júnior

### Nome da Instituição do SBRT responsável

Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais – CETEC/MG

### Data de finalização

22 jul. 2011