



UNIFACS  
UNIVERSIDADE SALVADOR  
LAUREATE INTERNATIONAL UNIVERSITIES

v. 4, n. 1, p. 65 -74, jan./dez. 2014

revista  
eletrônica de  
**Energia**

## CULTIVO DE MICROALGAS PARA A PRODUÇÃO DE BIODIESEL: POTENCIAL A SER EXPLORADO

## CULTIVATION OF MICROALGAE FOR BIODIESEL PRODUCTION: POTENTIAL TO BE EXPLORED

**Dallecyo Cerqueira Lopes, Isabella de Moraes, Larissa Pinheiro Silva, Leonardo Peixoto Carvalho, Mauricio Oviedo Paciello**

Curso de Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia, Universidade Federal do Tocantins, Campus Gurupi.  
dallecyo.lopes@gmail.com, isabellamogs@gmail.com, laripinheiro.lp@gmail.com,  
leonardo\_pcarvalho@hotmail.com, mauricioviedo@hotmail.com

---

### RESUMO

Dentro do contexto de busca por novas fontes de energias que sejam mais limpas e de origem renovável, as microalgas se encontram com um forte potencial para sua aplicação como combustível de origem renovável. Diversos fatores contribuem para essa finalidade como: os sistemas de produção, a extração e purificação do óleo obtido, visto que após a etapa de transesterificação esse é bastante similar ao diesel de petróleo, o que torna ainda mais aceitável a utilização de microalgas para a produção de biodiesel. Apresentando vantagens frente à utilização de fontes de energia não renováveis. A engenharia genética se insere nesse contexto com o intuito de que se torne economicamente viável uso de microalgas para a produção de biodiesel. O presente trabalho tem por objetivo mostrar os sistemas de cultivo, os métodos de extração do óleo, a reação de transesterificação para a produção do biodiesel e etapas de purificação do produto.

**Palavras-chave:** Fonte renovável; Biodiesel; Microalgas; Métodos de extração de óleo; Engenharia genética.

### ABSTRACT

Within the context of the search for new energy sources that are cleaner and renewable source, microalgae are with a strong potential for its application as renewable fuel. Several factors contribute to this purpose as: production systems, extraction and purification of oil obtained, since after the Transesterification stage this and quite similar to petroleum diesel, which makes it even more acceptable use of microalgae for biodiesel production. Featuring advantages vis-à-vis the use of non-renewable energy sources. Genetic engineering is inserted in this context with the aim of becoming economically viable use of microalgae for biodiesel production. The present work aims to show the cultivation systems, methods of extraction of oil, Transesterification reaction for the production of biodiesel and product purification steps.

**Keywords:** Renewable source; Biodiesel; Microalgae; Oil extraction methods; Genetic engineering.

---

## 1 INTRODUÇÃO

O interesse pelos óleos de microrganismos como microalgas, fungos e bactérias tem aumentado de forma significativa. As microalgas em especial, tem ganhado atenção para a produção de biodiesel, se destacando como uma nova e promissora matéria prima. Estas habitam em sua grande maioria, ambientes marinhos, e apresentam uma enorme capacidade de produzir biomassa por unidade de área e tempo, devido ao seu rápido metabolismo, possibilitando a duplicação da biomassa em condições ótimas em um tempo de apenas 24 horas, produzindo de forma simultânea energia renovável na forma de combustíveis líquidos (AZEREDO, 2012; PENTEADO, 2013).

A maior vantagem do cultivo de algas em relação às outras culturas produtoras de óleo é a possibilidade de serem cultivadas em regiões que não são suscetíveis para o cultivo de outras plantas, além de poderem ser cultivadas em águas salinas e hipersalinas (BOROWITZKA et al., 2012). As microalgas necessitam além de uma fonte de energia e carbono ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{HCO}_3^-$  ou um composto orgânico), vitaminas e macro (NPK) e micronutrientes (metais). A temperatura e o pH ideal são específicos com o gênero e a espécie de microalga cultivada (FRANCO et al., 2013).

Algumas das vantagens do cultivo de microalgas em relação ao cultivo de oleaginosas são: menor gasto de água, possibilidade de cultivo em áreas desérticas, semi-áridas e degradadas, apresentam alto rendimento, tanto em biomassa quanto em produção de óleo e possibilidade de utilização para mitigar emissões de gases de efeito estufa de fontes estacionárias (VIÊGAS, 2010; AZEREDO, 2012).

## 2 TIPOS E SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE MICROALGAS

As exigências nutricionais de cada tipo de microalga determinam a forma de cultivo das mesmas, podendo ser cultivadas em cultura autotrófica, heterotrófica e mixotrófica. No cultivo autotrófico, as microalgas são fotossintetizantes e utilizam a luz como fonte de energia e o  $\text{CO}_2$  do ar como fonte de carbono para sintetizar suas biomoléculas. Embora apresente eficiência com a incidência de luz sobre a cultura de microalgas, este tipo de cultivo pode ocasionar uma redução do crescimento das mesmas, por consequência da limitação da luz, pela alta densidade celular, ou o seu excesso (fotoinibição) (VIÊGAS, 2010).

Outro tipo de cultivo é o heterotrófico, que se difere do primeiro pelo fato das microalgas utilizarem compostos orgânicos (glicerol, glicose e acetato) como fonte de energia e carbono. Apresenta como vantagem o maior controle do processo de cultivo e o baixo custo na colheita de biomassa (FRANCO et al., 2013; VIÊGAS, 2010). No cultivo mixotrófico atuam o metabolismo autotrófico e heterotrófico, fazendo com que microalga assimile de forma simultânea o  $\text{CO}_2$  e a fonte de carbono fornecida a ela (FRANCO et al., 2013; CARDOSO et al., 2011).

As microalgas podem ser cultivadas em fotobiorreatores ou em lagoas e tanques abertas. Grande parte das microalgas, atualmente estão sendo cultivadas em lagoas e tanques abertos, sendo considerada a forma de cultivo mais natural, pela sua suscetibilidade à variações de parâmetro como temperatura, luminosidade e qualidade do ar. Por outro lado, apresenta como desvantagem o maior risco de contaminação, visto que não fazem o uso de um sistema de controle eficiente, sendo introduzidas de forma inevitável espécies indesejáveis, reduzindo assim o rendimento do processo (AZEREDO, 2012; VIÊGAS, 2010; FRANCO et al., 2013).

Para a produção de biomassa de microalgas, há diversos tipos de sistemas de lagoas abertas, podendo variar desde lagoas que apresentem (lagoas circulares) e não apresentem (lagoas simples) aparato mecânico para mistura da cultura, à sistemas como o *raceway paddle wheel mixed open ponds*, que é composto basicamente de canais independentes de circuito fechado de recirculação, onde o fluxo gerado pela turbina é guiado em torno de curvas. São tanques de fácil manutenção, o qual permite a limpeza do biofilme acumulado na superfície (AZEREDO, 2012; FRANCO et al., 2013).

O cultivo fechado é feito com fotobiorreatores tubulares ou planares, transparentes à luz visível, que permitem maior controle das condições de cultivo e com isso se obtendo maior produtividade de biomassa microalgal. Esse sistema propicia uma produção em larga escala, com alto valor comercial, já que esse sistema reduz os riscos de contaminação e possibilita uma melhor distribuição de luz e assim o aumento da biomassa (FRANCO et al., 2013).

Os fotobiorreatores tubulares e placas achatadas são os principais utilizados. Eles são posicionados horizontalmente, verticalmente ou inclinados e podem ser interligados por tubulações de distribuição. Esses biorreatores podem trabalhar com um sistema monofásico, onde a mistura é feita por bombeamento mecânico e a troca gasosa é feita em tanques separados, e com um sistema bifásico, onde a transferência contínua de gás ocorre no próprio biorreator (AZEREDO, 2012).

Estes são comumente construídos com matérias mais rígidos e transparentes como vidro, e para estruturas mais flexíveis, o plástico. Os biorreatores possuem uma seção que permite a troca de gases no meio de cultura, entrada de CO<sub>2</sub> e saída de O<sub>2</sub>, e outra seção que permite a exposição das microalgas à luz. Os biorreatores tubulares devem ter seu diâmetro máximo de 10cm, para não limitar a penetração da luz e reduzir o acúmulo de O<sub>2</sub> (HOLANDA, 2011).

Os biorreatores de placas possibilitam uma maior captação de luz e baixo acúmulo de O<sub>2</sub>, permitindo uma maior densidade de biomassa obtida. Outro tipo de biorreator, os fotobiorreatores em coluna possuem uma seção onde se encontra o meio, e onde é feita a captação da luz, e uma seção geradora de bolhas que mistura o meio pelo efeito *flashing* que faz a transferência de gases (AZEREDO, 2012).

### 3 TIPOS DE ÁCIDOS GRAXOS

Os ácidos graxos insaturados apresentam uma maior reatividade e são mais suscetíveis a termoxidação (REDÁ, 2007). A qualidade final do biodiesel é determinada pelas propriedades físico-químicas dos ácidos graxos. Um ácido graxo com uma cadeia hidrocarbônica grande terá um maior número de cetano, que acarreta em vantagens para o motor (RINALDI, 2007). Tem-se conhecimento que o biodiesel produzido utilizando ácidos graxos monoinsaturados como o ácido oleico e o ricinoléico apresentam um melhor desempenho, quando comparados com ácidos graxos saturados e os poli-insaturados pois ambos apresentam alguns inconvenientes (WUST, 2004).

### 4 PROCESSO DE TRANSESTERIFICAÇÃO

A reação de transesterificação esta relacionada à transformação de óleos ou gorduras de origem vegetal ou animal respectivamente com alcoóis de cadeia curta como etanol ou metanol. Catalisadores básicos são mais usados em reações para a produção de biodiesel, principalmente hidróxido de sódio ou potássio (FROEHNER e LEITHOLD, 2007; HUANG et al., 2010; RAMOS et al., 2011).

A transesterificação é utilizada para explorar os óleos vegetais como combustíveis alternativos. Esses óleos não são aplicados diretamente a motores a diesel por apresentarem características quimicamente

desfavoráveis como, alta viscosidade, teor de ácidos graxos livres, combustão incompleta e baixa volatilidade do éster, proporcionando o não funcionamento do motor (GERIS et al., 2007). Os óleos vegetais e os de microalgas tem viscosidade mais elevada que o óleo diesel, sendo primordial a transesterificação desses óleos para obtenção do biodiesel de baixa viscosidade (HUANG et al., 2010; MENEGHETTI et al., 2013).

## 5 PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DO BIODIESEL

Considerando-se que o biodiesel a partir de microalgas é visto como uma alternativa promitente que tem ganhado espaço entre as alternativas de produção de combustíveis existente, torna-se dessa forma um dos possíveis substituintes dos combustíveis fósseis. Alguns parâmetros devem ser levados em consideração para a sua implementação como uma das principais fontes de energia de acordo com, acidez do composto, glicerol livres, viscosidade, material particulado, combustão, volatilidade, ponto de fulgor e ponto de névoa dentre outros. O biodiesel proveniente de óleo de microalgas quando comparado ao óleo diesel apresenta características bastante similares quanto à densidade e poder calorífico. Assim a biomassa de microalgas apresenta característica como uma fonte renovável socioeconômica e com grande aplicação como bioenergia por apresentar características físico-químicas apropriadas (MESKO et al., 2012).

Alguns contaminantes inorgânicos podem estar presentes na composição do biodiesel e para este ser utilizado como uma fonte de bioenergia alternativa é necessário avaliar a concentração dos metais que foram adicionados na etapa de transesterificação. Metais como K e Na estão presentes, esses metais são adicionados como catalisadores na reação de produção do biodiesel na forma de hidróxidos (SOARES et al., 2012). Tendo em vista que esses tipos de metais podem causar danos e corrosão nos motores afetando o desempenho, além de causarem danos ao meio ambiente (OLIVEIRA et al., 2009).

## 6 CATÁLISE ALCALINA

A via alcalina em meio homogênea tem sido atualmente a rota mais utilizada para a produção de biodiesel sendo empregadas nessa rota carbonatos e hidróxidos de metais alcalinos ou alcóxidos de metais alcalinos como metóxido de sódio e etóxido de sódio (DABDOUB e BRONZEL, 2009; RAMOS et al., 2011).

Os catalisadores mais usados são os alcalinos como, NaOH e KOH (CARVALHO e SOARES, 2009). Embora usando esses tipos de catalisadores deve-se evitar a hidrólise e saponificação o que pode ocorrer caso tenha umidade considerável na reação acarretando na dificuldade de separação de fases (biodiesel e glicerol) no final da reação formando emulsões que dependem de tempos longos para a decantação. Isso porque a água tem o poder de deslocar o equilíbrio químico em prol da hidrólise do alcóxido, produzindo o álcool correspondente e o hidróxido do metal a qual foi usado como contra-íon do alcóxido (RAMOS et al., 2011; FROEHNER e LEITHOLD, 2007; MESKO et al., 2012; MENEGHETTI et al., 2013; PUPO et al., 2010).

## 7 CATÁLISE ÁCIDA

Os catalisadores ácidos podem apresentar uma estratégia para a neutralização de ácidos graxos livres que por sua vez dão características de alta acidez ao óleo a qual fazem parte (CARVALHO e SOARES, 2009). Além disso, os ácidos de Brønsted-Lowry podem ser utilizados também como catalisadores homogêneos para a produção de biodiesel de microalgas, no entanto a cinética da reação é muito lenta requerendo que a reação aconteça próximo a temperatura de ebulição do álcool utilizado na transesterificação (RAMOS et al., 2011).

## 8 CATALISE ENZIMÁTICA

O interesse para utilização de catalisadores enzimáticos vem aumentando gradativamente, pelas diversas vantagens que são apresentadas em relação ao uso de catalisadores químicos. As enzimas apresentam alto grau de especificidade por seus substratos, aceleram reações químicas e em alguns casos funcionam tanto em soluções aquosas como em solventes orgânicos (GAMBA, 2009). A estabilidade operacional da enzima pode ser afetada pela estrutura e concentração de álcool. Embasado na estabilidade operacional, há a escolha do sistema de reação, na presença ou ausência de solvente orgânico, geralmente estes solventes protegem as enzimas da desnaturação causada pelo álcool (RANGANATHAN et al., 2008).

A catálise enzimática permite a recuperação simples do glicerol, a transesterificação de glicerídeos com alto conteúdo de ácidos graxos e dos ácidos graxos livres. Com isto, não ocorre reações de formações de subprodutos (como o sabão). Algumas enzimas necessitam de cofatores, como íons metálicos ou compostos orgânicos (coenzimas) para realizarem suas tarefas (DUARTE, 2006). Na maioria das reações utiliza como biocatalizador as lipases (SILVA, 2010).

Para que a catalise enzimática seja viável economicamente é necessário passar por algumas etapas cruciais, seleção da matéria-prima e preparação da lipase, onde esta enzima pode ser modificada para que haja um aumento na estabilidade e eficiência catalítica. Há seleção do solvente orgânico, otimização da razão molar entre o álcool e óleo, temperatura, teor de água, pH do microambiente da enzima (ANTCZAK et al., 2009). A desvantagem deste método é o alto custo das lipases quando comparadas aos catalisadores inorgânicos, a inativação por contaminação da matéria-prima e álcoois polares de baixa massa molar (OLIVEIRA, 2009).

## 9 MÉTODOS DE EXTRAÇÃO DE ÓLEO DE MICROALGAS

A extração do óleo de microalgas é tida como uma etapa que demanda bastante energia, pois é necessária a remoção da água na maioria das vezes, além de ser de fácil execução (FRANCO et al., 2013; PEREIRA et al., 2012; SILVA, 2013). Por apresentarem características físico-químicas análogas aos óleos vegetais, os óleos extraídos de microalgas são considerados como matéria prima de grande potencial para produção de biodiesel (KOWALSKI, 2010). A fim de reduzir a degradação dos lipídeos, o método a ser selecionado para a extração do óleo de microalgas, deve apresentar rapidez e ser termolábil. Um dos principais

obstáculos nesse processo é justamente a capacidade de se fazer a extração do óleo da biomassa celular sem perder teor lipídico existentes das microalgas (SILVA, 2013).

Em geral, os métodos utilizados para se extrair o óleo de microalgas são:

- a) **Prensagem mecânica:** processo que faz o uso de pressões para que ocorra o rompimento das paredes celulares, e conseqüentemente a liberação do óleo intracelular. Extrai até 75% do óleo de microalgas. É um processo lento, de fácil manipulação. (SILVA, 2013; PEREIRA et al., 2012; KOWALSKI, 2010).
- b) **Extração por ultrassom:** é um método que mostra ser viável devido ao baixo custo, apresentar alta eficiência no processo, tempo de extração reduzido e melhor ruptura da parede celular. É um método dependente do tempo de extração e temperatura, sendo necessário aperfeiçoar estes parâmetros para a utilização da técnica (SILVA, 2013; PEREIRA et al., 2012).
- c) **Extração com solventes:** nesse processo o óleo de microalgas é extraído pela repetição de lavagens com solvente orgânico, que pode ser feita de forma isolada ou juntamente com outros métodos, a fim de se obter melhor rendimento do óleo (SILVA, 2013). Normalmente utiliza-se como solvente benzeno, éter etílico ou hexano. Um alto rendimento de óleo pode ser obtido se combinado com o método de prensagem mecânica (KOWALSKI, 2010).
- d) **Extração com fluido supercrítico:** Normalmente para esse tipo de extração utiliza-se o dióxido de carbono, que apresenta propriedades semelhantes às de solventes líquidos, com baixa temperatura crítica e pressão de 72,9 atm. É um método inovador, em que o CO<sub>2</sub> sofre pressão, sendo liquefeito, seguido por um processo de aquecimento até que o mesmo adquira propriedade de líquido e gás (ponto supercrítico) (SILVA, 2013; PEREIRA et al., 2012; KOWALSKI, 2010).
- e) **Extração enzimática:** é um método utilizado para degradar a parede celular da microalga, facilitando a extração do óleo (PEREIRA et al., 2012).
- f) **Choque osmótico:** atua reduzindo a pressão osmótica repentinamente provocando a ruptura da parede celular das microalgas. Para melhor rendimento na extração, faz-se o uso juntamente com solventes. Não é um método eficaz para todos os tipos de microalgas (SILVA, 2013; KOWALSKI, 2010).

## 10 MÉTODOS DE PURIFICAÇÃO DO BIODIESEL

No processo de produção de biodiesel há a presença de impurezas, originárias da matéria-prima ou do processo de transesterificação, que agem como contaminantes no produto e que podem alterar as propriedades físicas e químicas do mesmo, fazendo assim com que este se torne inutilizável em motores a diesel (PAULA et al., 2011). Devido a isso, faz-se necessária a utilização das etapas de purificação do produto final para garantir a remoção total dos resíduos, visto que há a exigência de um alto padrão de qualidade por parte dos órgãos reguladores (ANP) (FACCINI, 2008).

Dentre os processos de purificação pode-se citar a purificação via úmida e a purificação via seca. Embora a primeira seja considerada a mais utilizada pelas indústrias, devido a sua alta eficiência, apresenta diversas desvantagens, como por exemplo, a utilização de grande quantidade de água possibilitando a formação de emulsões estáveis, em que os ácidos graxos livres bem como os ésteres metílicos de ácidos graxos

formados não irão se separar da água. Devido ao problema da geração de grande volume de efluentes por consequência da utilização de grande quantidade de água, visto que a geração de efluentes e seu tratamento oneram o produto final, comprometendo de forma significativa a viabilidade econômica, pois o mesmo não pode ser descartado sem tratamento por motivos ambientais (PAULA et al., 2011; FACCINI, 2008).

Visando amenizar esses problemas, faz-se a utilização da purificação por adsorção (via seca), que além de não gerar efluente líquido, alguns estudos demonstram que é possível a reutilização de adsorventes, depende da sua capacidade de adsorção. Exemplos de adsorventes utilizados nesse processo são: silicato de magnésio, de alumínio, de cálcio, de sódio, carbono ativado, sílica gel, argilas, entre outros (FACCINI, 2008).

## 11 ENGENHARIA GENÉTICA

Estudos recentes mostram que as microalgas tem grande potencial para produção de biodiesel, devido algumas características como: à facilidade de seu cultivo, quantidade intracelular de lipídios, viabilidade de manipulação genética das vias metabólicas, duplicação da biomassa em um curto período de tempo e possibilidade de controlar estas condições (PEREIRA et. al., 2012).

A engenharia genética é uma solução para que essas microalgas se tornem economicamente viáveis, de forma que permita a mutação e combinação dos caracteres mais desejáveis (ANTUNES, 2010). A transformação genética das microalgas já foi conseguida, devido os avanços genômicos, por algumas espécies como as algas verdes, vermelhas e castanhas, diatomáceas, euglenófitas e dinoflagelados. Com essas transformações pode perceber que a eficiência está relacionada com a espécie a ser usada e os métodos de transformação devem ser manuseado cuidadosamente, seletivamente e de maneira otimizada (ANTUNES, 2010).

Para o aumento do conteúdo oleaginoso é necessário fazer a manipulação das vias de distribuição de ácidos graxos, bloqueio das vias metabólicas responsáveis pela acumulação de compostos energéticos ou a redução do seu catabolismo. Deve utilizar aplicados a microalgas a inativação genética pela mutagênese aleatória ou silenciamento de RNA. Estas metodologias tem um alto valor agregado (ANTUNES, 2010).

## 12 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diversos estudos vêm se desenvolvendo sobre a utilização de microalgas para a produção de biocombustíveis e também vem se aplicando ao tratamento de águas residuais. As microalgas apresentam potencial de aplicação especialmente para a produção de biodiesel, visto que esta apresenta características favoráveis que atrai as atenções de pesquisadores, pelo fato da sua produção de energia não compete com a produção alimentícia, diferentemente do milho, soja e outras culturas que são utilizadas também na alimentação humana, serem de cultivo rápido e fácil, apresentar quantidade significativa de óleo. Todos esses fatores fazem das microalgas uma excelente fonte alternativa para a produção de biodiesel. Visando futuramente a substituição das fontes de energia atual de característica não renovável.

## REFERÊNCIAS

- ANTCZAK, M. S., KUBIAK, A., ANTCZAK, T., BIELECKI, S. Enzymatic biodiesel synthesis - Key factors affecting efficiency of the process. *Renewable Energy*, v. 34, n. 5, p. 1185-1194, 2009.
- ANTUNES, R., SILVA I. C.. *Utilização de algas para produção de biocombustíveis*. Instituto Nacional da Propriedade Industrial. 2010.
- AZEREDO, V.B.S. *Produção de biodiesel a partir do cultivo de microalgas: estimativa de custos e perspectivas para o Brasil*. 2012. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.
- BOROWITZKA M. A.; BOURUFF, B. J.; MOHEIMANI, N. R.; PAULI, N.; CAO, Y.; SMITH, H.; Identification of the Optimum Sites fo Industrial-scale microalgae Biofuel Production. In: WA using a GIS Model. *The centre for Research into Energy for Sustainsble Transpot (CREST)*. Murdoch University & The University of Western Australia, 2012.
- CARDOSO, A.S.; VIEIRA, G.E.; MARQUES, A.K. Uso de microalgas para obtenção de biocombustíveis. *Revista Brasileira Biociências*, Porto Alegre, v. 9, p. 542 - 549, 2011.
- CARVALHO, L. M.; SOARES, A. B. *Obtenção do biodiesel pela metanólise do óleo de fritura usado via catálise básica (NaOH) e catálise Ácida (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>): um estudo comparativo*. Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Espírito Santo. p. 130-131; 2009.
- DABDOUB, M. J.; BRONZEL, J. L. Biodiesel: visão crítica do status atual e perspectivas na academia e na indústria. *Química Nova*, v. 32, n. 3, p. 776-792; 2009.
- DUARTE, F.; TOBOUTI, P. L.; HOFFMANN, D.. *Produção enzimática de Biodiesel*, Universidade Federal de Santa Catarina, 2006.
- EMBRAPA. Disponível em:  
<<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/agroenergia/arvore/CONT000fbl23vmz02wx5eo0sawqe3wx8euqg.html>>. Acesso: 09 out. 2014.
- FACCINI, C.S. *Uso de adsorventes na purificação de biodiesel de óleo de soja*. 2008 Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.
- FRANCO, A.L.C.; LÔBO, I.P.; CRUZ, R.S. Biodiesel de microalgas: avanços e desafios. *Química Nova*, v.36, n.3, p.437-448; 2013.
- FROEHNER, S.; LEITHOLD, J. Transesterificação de óleos vegetais: caracterização por cromatografia em camada delgada e densidade. *Química Nova*, v. 30, n. 8, p. 2016-2019; 2007.
- GAMBA, M.. *Produção de Biodiesel através de catalise enzimática em liquido iônico*. 2009. Dissertação (Mestrado em Química) - UFRGS, Porto Alegre, 2009.
- GERIS, R.; SANTOS, N. A. C.; AMARAL, B. A.; MAIA, I. S.; CASTRO, V. D.; CARVALHO, J. R. M. Biodiesel de soja – reação de transesterificação para aulas práticas de química Orgânica. *Química Nova*, v. 30, n. 5, p. 1369-1373; 2007.
- HOLANDA, L. R.; RAMOS, S. F.; MEDEIROS, E. R. C.; SANTOS, J. D.; O cultivo de microalgas para a Geração de eletricidade. In: CONGRESSO NACIONAL DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO, 7., 2011. Agosto. *Anais...* Ago. 2011.
- HUANG, G.; CHEN, F.; WEI, D.; ZHANG, X.; CHEN, G. Biodiesel production by microalgal biotechnology. *Applied Energy*. v. 87, p. 38–46; 2010.
- KOWALSKI, S.C. *Análise da viabilidade técnica econômica do cultivo de microalgas para produção de biodiesel*. 2010. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Engenharia do Paraná, Curitiba, 2010.

KRAUSE, L.C. *Desenvolvimento do processo de produção de biodiesel de origem animal*. 2008. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

LEHR, F.; POSTEN, C. Closed photo-bioreactors as tools for biofuel production. *Biotechnology*, v. 20, p. 280 – 285, 2009.

LÔBO, I.P.; FERREIRA, S.L.C.; CRUZ, R.S.C. Biodiesel: parâmetros de qualidade e métodos analíticos. *Química Nova*, v. 32, n. 6, p. 1596-1608, 2009.

Meneghetti, S. M. P.; Meneghetti, M. R.; Brito, Y. C. A Reação de Transesterificação, Algumas Aplicações e Obtenção de Biodiesel. *Revista virtual de química*, v. 5, n.1, p. 63-73; 2013.

MESKO, M. F.; PEREIRA, C. M. P.; HOBUSS, C. B.; MACIEL, J. V.; FERREIRA, L. R.; PINO, F. B. D. Biodiesel renovável derivado de microalgas: avanços e perspectivas tecnológicas [Revisão]. *Química Nova*, v. 35, n. 10, p. 2013-2018; 2012.

OLIVEIRA, M. R.. *Obtenção de biodiesel via catalise enzimática e caracterização através de técnicas cromatográficas e espectrometria de infravermelho associada a calibração multivariada*. 2009. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.

PAULA, A.J.A.; KRUGEL, M.; MIRANDA, J.P.; ROSSI, L.F.S.; NETO, P.R.C. Utilização de argilas para purificação de biodiesel. *Química Nova*, v. 34, n. 1, p.91-95; 2011.

PENTEADO, R.R. *Desenvolvimento de controlador para cultivo de microalgas em lagoas tipo raceway*. 2013. (Dissertação) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

PEREIRA, C.M.P.; HOBUSS, C.B.; MACIEL, J.V.; FERREIRA, L.R.; PINO, F.B.D.; MESKO, M.F.; LOPES, E.J.; NETO, P.C. Biodiesel renovável derivado de microalgas: avanços e perspectivas tecnológicas. *Química Nova*, v. 35, n. 10, 2012.

PUPO, M. M. S.; ALMEIDA, A. R.; MAIA, W. A.; RAMOS, A. L. D. *Produção de biodiesel via hidroesterificação utilizando catalisadores ácidos*. Sergipe: Universidade Federal de Sergipe; 2010.

QUADROS, D.P.C., CHAVES, E.S.; SILVA, J.S.A.; TEIXEIRA, L.S.G.; CURTIUS, A.J.; PEREIRA, P.A.P. Contaminantes em Biodiesel e Controle de Qualidade. *Virtual Química*, v. 3, n. 5, p.376-384; 2011.

RAMOS, L. P.; CORDEIRO, C. S.; SILVA, F. R.; WYPYCH, F. Catalisadores heterogêneos para a produção de monoésteres graxos (biodiesel). *Química Nova*, v. 34, n. 3, p. 477-486; 2011.

RANGANATHAN, S. V. et. al. An overview of enzymatic production of biodiesel. *Bioresource Technology*, v. 99, n. 10, p. 3975-3981, 2008.

REDÁ, S. Y.; CARNEIRO, P. I. B. Óleos e gorduras: aplicações e implicações. *Analytica*, v. 27, n. 60; 2007

RINALDI, R.; GARCIA, C.; MARCINIUK, L. L.; ROSSI, V; A.; SCHUCHARDT, U. Síntese de biodiesel: uma proposta contextualizada de experimento para laboratório de química geral. *Química Nova*, Campinas, v. 30, n. 5, p. 1374-1380; 2007.

SANTOS, A. F. X. G. *Catalisadores heterogêneos para a produção de biodiesel: metanólise do óleo de soja sobre hidrotalcites de magnésio e alumínio modificadas*. Lisboa: Instituto superior técnico; 2007.

SILVA, A. E. *Estudo do processo enzimático de produção de Biodiesel a partir de óleos e gorduras residuais de fritura*. 2010. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Alagoas, Maceió, 2010.

SILVA, G.S. *Extração do óleo de microalgas para produção de biodiesel*. 2013. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

SOARES, B. M.; VIEIRA, A. A.; LEMÕES, J. S.; SANTOS, C. M. M.; MESKO, M. F.; PRIMEL, E. G.; D'OCA, M. G. M.; DUARTE, F. A.; *Bioresource Technology*, v. 110, n. 730; 2012.

VIÊGAS, C.V. Extração e caracterização dos lipídeos da microalga *Chlorella pyrenoidosa* visando à produção de ésteres graxos. 2010. Dissertação (Mestrado). Rio Grande: Universidade Federal do Rio Grande, 2010.

WUST, E. *Estudo da viabilidade técnico-científica da produção de biodiesel a partir de resíduos gordurosos*. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Centro de Ciências Tecnológicas, Universidade Regional de Blumenau - URB, Blumenau, 2004.