

CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA PAULA SOUZA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA DE CAMPINAS  
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM PROCESSOS QUÍMICOS

ISABELA TEIXEIRA DA SILVA SECCO

**VIABILIDADE DA PRODUÇÃO DE BIOCOMBUSTÍVEL  
OBTIDO ATRAVÉS DE ALGAS**

CAMPINAS/SP

2019

CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA PAULA SOUZA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA DE CAMPINAS  
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM PROCESSOS QUÍMICOS

ISABELA TEIXEIRA DA SILVA SECCO

**VIABILIDADE DA PRODUÇÃO DE BIOCOMBUSTÍVEL  
OBTIDO ATRAVÉS DE ALGAS**

Trabalho de graduação apresentado por Isabela Teixeira da Silva Secco como pré-requisito para conclusão do Curso Superior de Tecnologia em Processos Químicos, da Faculdade de Tecnologia de Campinas, elaborado sob a orientação da Profa. Dra. Juliana Canto Duarte.

CAMPINAS/SP

2019

**FICHA CATALOGRÁFICA**  
**CEETEPS - FATEC Campinas - Biblioteca**

S444v

SECCO, Isabela Teixeira da Silva  
Viabilidade da produção de biocombustíveis obtidos através de algas.  
Isabela Teixeira da Silva Secco. Campinas, 2022.  
30 p.; 30 cm.

Trabalho de Graduação do Curso de Processos Químicos – Faculdade  
de Tecnologia de Campinas.  
Orientador: Profa. Dra. Juliana Canto Duarte.

1. Algas. 2. Biocombustível. 3. Biodiesel. 4. Microalgas. I. Autor. II.  
Faculdade de Tecnologia de Campinas. III. Título.

CDD 662.6

Catálogo-na-fonte: Bibliotecária: Aparecida Stradiotto Mendes – CRB8/6553

TG PQ 19.2

## RESUMO

O biodiesel é um biocombustível derivado de biomassa, matéria orgânica de origem vegetal ou animal que pode ser utilizada para a produção de energia renovável. Este pode ser utilizado em motores a combustão interna com ignição por compressão ou para geração de outro tipo de energia que possa substituir parcial ou totalmente os combustíveis de origem fóssil. Entre as fontes de produção do biodiesel encontram-se microalgas, organismos unicelulares, presentes em diferentes ambientes aquáticos ou úmidos. As microalgas podem ser utilizadas como matéria-prima na produção de diversos bioprodutos, como combustíveis, cosméticos e suplementos alimentares. Diante do exposto, este trabalho tem como base a avaliação da viabilidade da produção de biocombustível a partir do óleo vegetal produzido por microalgas. A vantagem desta tecnologia reside na diminuição da utilização de vegetais alimentícios para esse fim. O método de pesquisa utilizado foi revisão bibliográfica de artigos, trabalhos acadêmicos e notícias do assunto discutido. Como resultado de pesquisa, verificou-se que a produção do biodiesel obtido através de microalgas pode ser uma alternativa viável futuramente, pois ainda existem dificuldades no processo, como elevado custo de colheita, extração do óleo e o comportamento característico para cada espécie. Constatou-se que a técnica mais viável para produção em larga escala é de fotobiorreatores, sendo possível controlar as condições de cultivo. Comparando-se com a soja, as microalgas produzem 200 vezes mais óleo por ano em uma área menor de cultivo. Os impactos ambientais são positivos, visto que as microalgas podem ser cultivadas em águas residuais e fixar carbono através de fotossíntese.

**Palavras-chave:** algas; biocombustível; biodiesel; microalgas.

## **ABSTRACT**

Biodiesel is a biofuel derived from biomass, organic matter of plant or animal origin that can be used for renewable energy production. This can be used in compression-ignition internal combustion engines or for the generation of other energy that can partially or fully replace fossil fuels. Among the biodiesel production sources are microalgae, unicellular organisms, present in different aquatic or humid environments. Microalgae can be used as raw material in the production of various bioproducts, such as fuels, cosmetics and food supplements. Given the above, this work is based on the evaluation of the viability of biofuel production from vegetable oil produced by microalgae. The advantage of this technology lies in the reduced use of food vegetables for this purpose. The research method used was literature review of articles, academic papers and news of the subject discussed. As a result of research, it was found that the production of biodiesel obtained through microalgae may be a viable alternative in the future, as there are still difficulties in the process, such as high cost of harvesting, oil extraction and the behavior of different species. It was found that the most viable technique for large scale production is photobioreactors, being possible to control the cultivation conditions. Comparing soybeans, microalgae produce 200 times more oil per year in a smaller crop area. The environmental impacts are positive as microalgae can be grown in wastewater and fix carbon through photosynthesis.

**Keywords:** algae; biodiesel; biofuel; microalgae.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Modelo da reação de transesterificação .....	10
<b>Figura 2</b> - Equações da reação de transesterificação de um triacilglicerídeo com metanol catalisada por hidróxido de potássio.....	11
<b>Figura 3</b> - Lagoas ou tanques abertos de produção de microalgas .....	16
<b>Figura 4</b> - Lagoas <i>Raceway</i> .....	16
<b>Figura 5</b> - Fotobiorreatores .....	17
<b>Figura 6</b> - Cultivo de microalgas por crescimento vertical .....	18

## **LISTA DE QUADROS**

**Quadro 1** - Comparação de diferentes técnicas para produção de microalgas..... 19

## **LISTA DE TABELAS**

<b>Tabela 1</b> - Conteúdo de óleo de algumas espécies de microalgas .....	13
<b>Tabela 2</b> - Comparação de microalgas com outras matérias-primas para biodiesel.....	21



# SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	8
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO .....	8
1.2	JUSTIFICATIVA .....	8
1.3	OBJETIVOS .....	9
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	10
2.1	BIODIESEL.....	10
2.2	ALGAS .....	12
2.3	PROCESSO DE OBTENÇÃO DO BIODIESEL.....	15
2.3.1	Lagoas .....	15
2.3.2	Lagoas <i>Raceway</i> .....	16
2.3.3	Fotobiorreatores .....	17
2.3.4	Crescimento Vertical .....	17
2.3.5	Fatores influentes no processo .....	18
2.3.6	Comparativo entre técnicas.....	18
2.4	ViABILIDADE ECONÔMICA E AMBIENTAL .....	21
3	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	23
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	24
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	27
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	28

# **1 INTRODUÇÃO**

## **1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO**

Os combustíveis são fundamentais para que muitos automóveis e máquinas possam funcionar. Estes, em sua maioria, são derivados do petróleo, uma fonte de energia não limpa e não renovável (ANP, 2018). O petróleo é um dos principais constituintes da economia no Brasil e no mundo, além de combustível, é matéria prima para produção de plásticos, calçados, cosméticos e energia. A exploração deste recurso tem gerado impactos negativos ao ambiente e exigido um processo de licenciamento ambiental, para determinar medidas que minimizam os impactos (MARTINS et al., 2015).

Conforme apresentado por Antunes e Silva (2010), o foco internacional visando o impacto ambiental das emissões gasosas tem resultado a procura de fontes renováveis e ao desenvolvimento de tecnologias verdes para fornecer o suporte necessário as indústrias e atender às necessidades do mercado mundial. Isso aumenta o investimento em biocombustíveis como fonte alternativa, pois na produção dos biocombustíveis comercializados utiliza-se matéria-prima obtida da agricultura, como cana-de-açúcar, soja, girassol, amendoim, dendê, mamona e outros (INVESTE, 2013).

Ademais, com o aumento significativo do preço do petróleo e as preocupações citadas, a Petrobras, como principal fornecedora de combustível no país, vem investindo em pesquisas para a produção em larga escala de biocombustível obtido por meio de microalgas, uma alternativa sustentável, com maior rendimento comparando-se a outras matérias-primas e que, além do rendimento alto, não causa grande impacto na agricultura do país (MAGALHÃES, 2011).

Pesquisas com microalgas para produção de biocombustíveis foram iniciadas em 1920, na Alemanha, onde foram encontradas microalgas capazes de acumular uma grande quantidade de lipídeos, muitas em situação de estresse nutricional (GOUVEIA et al., 2017). A procura por fontes alternativas e economicamente viáveis tem sido o principal foco de pesquisadores da área, buscando a fonte ideal de produção de biocombustível visando principalmente sua disponibilidade e custo (KNOTHE et al., 2006 apud PEREIRA et al., 2011).

## **1.2 JUSTIFICATIVA**

Pesquisas indicam que a produção de biodiesel a partir de microalgas tende a mudar o mercado de combustíveis. Enquanto a soja produz de 0,2 a 0,4 toneladas de óleo por hectare, as algas podem produzir aproximadamente 237 mil litros de biocombustível. Para tanto, é necessário conhecer o potencial das microalgas e encontrar o melhor caminho para explorá-lo (MAGALHÃES, 2011).

É indispensável compreender o processo e a viabilidade da produção de biocombustível obtido por meio de algas, uma vez que por serem boas produtoras de óleo vegetal, matéria-prima do biodiesel, podem diminuir a utilização de vegetais alimentícios para esse fim, conjuntamente é renovável e sustentável, não causando impacto negativo significativo no meio ambiente (MAGALHÃES, 2011).

Paralelamente, é imprescindível analisar as condições e possibilidades das algas serem uma alternativa para a produção de biocombustível, de modo que não gerem consequências relevantes na agricultura por não serem utilizadas como alimento, possuem bom rendimento lipídico, podem ser cultivadas em uma área menor, se comparada com outras matérias-primas do mesmo segmento, além da possibilidade de cultivá-las em água salgada ou doce (MAGALHÃES, 2011).

### **1.3 OBJETIVOS**

Este trabalho tem como objetivo analisar, por meio de revisão bibliográfica, o processo e a viabilidade da produção de biocombustível utilizando-se óleo vegetal extraído de microalgas como matéria-prima. Juntamente, realizar análises sobre rendimento da produção e as dificuldades encontradas por pesquisadores. Para tanto, serão estudadas as condições de cultivo de algas, como é realizada a escolha da alga, onde é produzida, e, por fim, avaliar os possíveis impactos ambientais e econômicos.

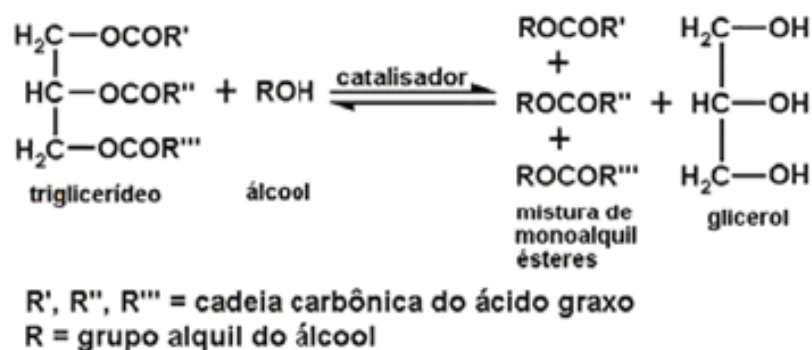
## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 BIODIESEL

O principal biocombustível estudado para ser produzido a partir de algas é o biodiesel. De acordo com o Sebrae (2014), o biodiesel é um biocombustível derivado de biomassa, matéria orgânica de origem vegetal ou animal que pode ser utilizada para produzir energia renovável. Segundo o inciso XXV do art. 6º da Lei nº 9.478, de 6 de agosto de 1997, incluído pela Lei nº 11.097, de 13 de setembro de 2005, que introduziu o biodiesel na matriz energética, este pode ser utilizado 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.

O biodiesel é produzido pela transesterificação de óleos de plantas e gorduras animais (triglicerídeos) com álcoois primários de cadeia curta, geralmente metanol, produzindo ésteres monoalquílicos de ácidos graxos de cadeia longa e glicerol, conforme Figura 1 (CHISTI, 2007).

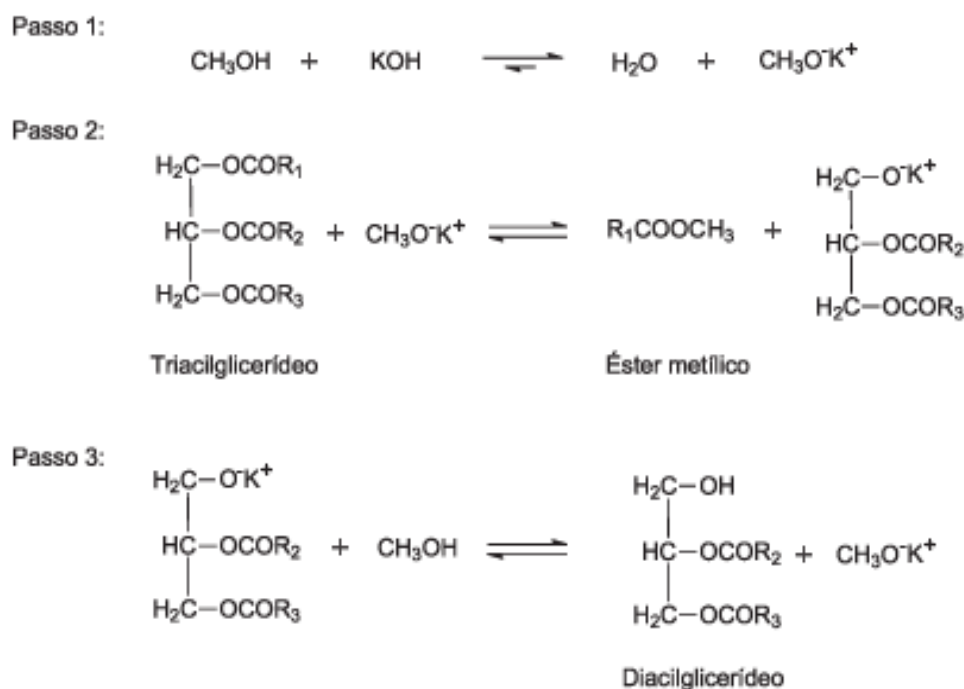
**Figura 1** - Modelo da reação de transesterificação



Fonte: BARROS; JARDINE (s.d)

Segundo Geris et al. (2007), podem ser utilizados catalisadores ácidos ou básicos na reação de transesterificação. Na Figura 2 é possível verificar as três principais etapas de transesterificação de vegetais catalisada por bases.

**Figura 2** - Equações da reação de transesterificação de um triacilglicerídeo com metanol catalisada por hidróxido de potássio



Fonte: GERIS et al. (2007)

Primeiramente a base reage com metanol e produz uma base conjugada (alcóxido) e um ácido conjugado (água). Em seguida, a base conjugada reage com o átomo eletrofílico de carbono do triacilglicerídeo, formando o intermediário tetraédrico. A quebra da ligação entre carbono e oxigênio do glicerídeo no intermediário tetraédrico gera éster metílico e diacilglicerídeo. O diacilglicerídeo se forma quando o átomo de hidrogênio do metanol é removido. Assim, o processo de reação segue convertendo diacilglicerídeos e monoacilglicerídeos para a mistura de ésteres metílicos e glicerol. (GERIS et al., 2007)

Atualmente, pesquisas para que se consiga produzir biocombustível a partir de algas vêm se desenvolvendo e, neste contexto, as microalgas estão fornecendo um bom resultado. Oliveira (2018), após entrevistar a gerente de Biotecnologia do Centro de Pesquisas (Cenpes) da Petrobras, Juliana Vaz, relata que a empresa trabalha no desenvolvimento de uma tecnologia pioneira para produzir biodiesel a partir de microalgas e justifica que é uma alternativa aos combustíveis derivados do petróleo e pode ser utilizada em qualquer veículo com motor a diesel.

Segundo a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis - ANP, (2019), desde setembro de 2019 é obrigatório que 11% de biodiesel sejam misturados ao

diesel fóssil, contudo, já existem veículos que circulam apenas com o biocombustível; ônibus e caminhões são exemplos. Este biodiesel comercializado tem como matérias-primas principais vegetais utilizados na alimentação, tais como soja, canola, milho etc., além disso, precisam de uma grande área para o plantio, gerando a deflorestação e produzindo muitos gases de efeito estufa (ANTUNES; SILVA, 2010).

## 2.2 ALGAS

As algas utilizadas na produção do biodiesel são as algas unicelulares ou coloniais fotossintéticas, conhecidas como microalgas, presentes em diferentes ambientes aquáticos ou úmidos, tais como rios, lagos, oceanos e solos. As microalgas podem ser utilizadas como matéria-prima para produzir diversos bioprodutos, como combustíveis, cosméticos, ração animal e suplementos alimentares (EMBRAPA, 2016). A vantagem na síntese de tais produtos é o alto teor de acúmulo de biomassa e de óleo, bem como a possibilidade de crescerem até dez vezes mais rápido que plantas terrestres (ALISSON, 2014).

As microalgas são as principais integrantes do fitoplâncton, considerado base da cadeia alimentar aquática. Além disso, são fundamentais para a manutenção da vida na Terra, uma vez que participam da produção de maior parte do oxigênio (O<sub>2</sub>) da atmosfera. Ademais, fornecem possíveis matérias-primas para produzir biodiesel e outros produtos químicos (ECYCLE, 2014).

A biomassa de microalgas é composta por três tipos de macromoléculas orgânicas, sendo elas proteínas, carboidratos e lipídeos. Os lipídeos extraídos das microalgas são utilizados na produção de biodiesel e garantem um rendimento próximo a 100%, o que torna as microalgas uma das classes de organismos mais eficientes na produção de combustíveis não fósseis (ECYCLE, 2014).

As vantagens da biomassa de microalgas são muitas, entre elas estão a alta produtividade (de 10 a 100 vezes maior que na agricultura tradicional), a captura de carbono muito eficiente, o alto teor de lipídeos ou amido e a possibilidade de cultivo em água do mar, água salobra ou mesmo em águas residuais (EMBRAPA, 2016).

Outra vantagem é que não há a sazonalidade para a colheita, cultivo ou processamento de microalgas, pois estes podem ser realizados em um mesmo local, sendo produtiva independentemente da fertilidade do solo e menos dependente da pureza da

água, além de reduzir os custos de logística nas instalações de biorrefinarias (EMBRAPA, 2016).

As microalgas não possuem muitas necessidades nutricionais para seu desenvolvimento, somente em presença de luz solar, dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e água, conseguem crescer rapidamente e produzir lipídios. Esse feito gera um alto interesse na biotecnologia que está sendo fundamental para ampliar o rendimento da produção de microalgas. O conteúdo lipídico da microalga varia de 1 a 70% em peso seco. As espécies mais comuns possuem níveis de óleo entre 20 a 50% conforme Tabela 1 abaixo (MATA; MARTINS; CAETANO, 2010).

**Tabela 1** - Conteúdo de óleo de algumas espécies de microalgas

<b>Microalgas</b>	<b>Conteúdo de óleo (% em peso seco)</b>	<b>Microalgas</b>	<b>Conteúdo de óleo (% em peso seco)</b>
<i>Ankistrodesmus sp.</i>	24-31	<i>Dunaliella sp.</i>	17,5-67
<i>Botryococcus braunii</i>	25-75	<i>Dunaliella tertiolecta</i>	16,7-71
<i>Chlorella emersonii</i>	25-63	<i>Isochrysis sp.</i>	7,1-33
<i>Chlorella minutíssima</i>	57	<i>Nannochloris sp.</i>	20-56
<i>Chlorella</i>	14,6-57,8	<i>Nannochloropsis sp.</i>	12-53
<i>protothecoides</i>			
<i>Chlorella sorokiniana</i>	19-22	<i>Neochloris oleoabundans</i>	29-65
<i>Chlorella sp.</i>	10-48	<i>Pavlova lutheri</i>	35,5
<i>Chlorella vulgaris</i>	5-58	<i>Phaeodactylum</i>	18-57
		<i>tricornutum</i>	
<i>Cryptocodinium</i>	20-51,1	<i>Scenedesmus obliquus</i>	11-55
<i>cohnii</i>			
<i>Dunaliella primolecta</i>	23,1	<i>Spirulina máxima</i>	4-9
<i>Dunaliella salina</i>	6-25	<i>Tetraselmis suecica</i>	8,5-23

Fonte: Modificado de MATA; MARTINS; CAETANO (2010)

A espécie *Chlorella*, com a qual foi realizado o primeiro estudo com microalgas em 1920, é considerada uma boa opção para a produção de biodiesel. Contudo, pode-se analisar na Tabela 1 que a *Botryococcus braunii* é a espécie que possui o maior rendimento de óleo, visto que a seleção das espécies deriva de alguns fatores como, por

exemplo, a habilidade da microalga se desenvolver em condições específicas do ambiente, como temperatura, pH e incidência de luz (MATA; MARTINS; CAETANO, 2010), (GOUVEIA et al., 2017).

O Brasil é um país tropical abastecido com 12% do total de água doce disponível no mundo, tem altos níveis de insolação na maior parte dos territórios durante o ano, conta com a flora mais rica do mundo e possui mais de 3,5 mil espécies de algas catalogadas. Essas características são vantajosas para a produção em larga escala de microalgas (EMBRAPA, 2016).

Para a realização da fotossíntese, as microalgas possuem centros para captar luz solar, esses centros são compostos por pigmentos tais como a clorofila que absorve a energia luminosa captada e a transfere para o fotossistema da planta produzindo as moléculas que auxiliam na fixação do CO<sub>2</sub> e na produção dos carboidratos (ALISSON, 2014).

Quando se aumenta a eficiência da absorção de energia solar pelas vias das algas consegue-se elevar a fixação de CO<sub>2</sub> e produzir mais moléculas orgânicas como os carboidratos, que podem transformar-se em proteínas, aminoácidos e óleos, o produto de interesse na produção do biodiesel (ALISSON, 2014).

A maior dificuldade do processo é que ao expor as algas a uma alta incidência de luz solar, seus centros de captação são supersaturados e não conseguem eficientemente capturar de fótons e a transferir elétrons para fixar o carbono. Isso faz com que as plantas percam uma quantidade considerável de energia captada em forma de calor ou de fluorescência e que não será utilizada para fixar CO<sub>2</sub> e produzir carboidratos. Essa energia não distribuída acumula-se no fotossistema, e causa a foto-oxidação e outros danos (ALISSON, 2014).

Mesmo com a eficiência na captura dos fótons, as microalgas são menos produtivas quando em conjunto com outras, pois há uma diferença na captação de energia entre aquelas presentes na superfície e aquelas que estão abaixo da superfície da água. Aquelas que estão na superfície tendem a maior captação de energia da luz do que utilizam para a fixação do carbono e sucumbem o excesso de energia para as que estão abaixo da superfície (ALISSON, 2014).

Em função disso, o emprego das microalgas na produção de biodiesel em nível industrial ainda deve ser matéria de abundantes pesquisas, sobretudo considerando a diversidade biológica das microalgas, os diferentes fatores que influenciam a produção



da biomassa, as técnicas de extração da fração lipídica e a síntese do combustível (GOVERNO DO BRASIL, 2017).

## **2.3 PROCESSO DE OBTENÇÃO DO BIODIESEL**

O cultivo das microalgas é realizado em tanques abertos (lagoas) ou em fotobiorreatores com luz solar ou artificial acrescidos de nutrientes, mas habitualmente, o cultivo ocorre em tanques abertos de baixa profundidade ou de formato alongado para garantir uma adequada incidência de luz solar (BERTOLDI et al., 2008 apud. BARCELLOS et al., 2012).

De acordo com Soares et al. (2011), a técnica mais indicada para produção do biodiesel em larga escala é a de fotobiorreatores, porém a eficiência do processo pode variar de acordo com as condições de operação. O autor também cita a existência da técnica *de* cultivo em Lagoas *Raceway* que consiste em lagoas agitadas constantemente por pás movimentadas por um motor por também ser uma alternativa para produção em larga escala.

### **2.3.1 Lagoas**

As lagoas de crescimento são as mais empregadas na produção de microalgas. Neste método necessita-se de grandes áreas de cultivo (Figura 3), e a produção depende da incidência natural de raios solares, que varia de acordo com as estações do ano e da região geográfica situada. A vantagem do uso das lagoas é a fácil operação e boa produtividade para algumas espécies (SOARES et al., 2011).

**Figura 3** - Lagoas ou tanques abertos de produção de microalgas



Fonte: DEFANTI; SIQUEIRA; LINHARES (2010)

### **2.3.2 Lagoas *Raceway***

A produção de microalgas neste método também depende das condições do ambiente onde a lagoa *Raceway* se encontra. Porém, é mais versátil, podendo ajustar o escoamento no processo para cada espécie de interesse (SOARES et al., 2011). As lagoas *Raceway* são feitas de um circuito fechado de recirculação. A mistura e a circulação são produzidas por um rotor de pás (Figura 4). O fluxo é guiado nas curvas por defletores colocados no canal de fluxo. São construídas em concreto ou terra compactada, podem ser revestidas com plástico branco e possuem cerca de 30 centímetros de profundidade (CHISTI, 2007).

**Figura 4** - Lagoas *Raceway*



Fonte: ANTUNES; SILVA (2010)

### 2.3.3 Fotobiorreatores

Esta técnica possui ótimas características para produção em escala industrial. É possível realizar diversos ajustes de acordo com cada espécie e suas necessidades, como vazão, velocidade de escoamento e concentração, otimizando a produção concedendo maior pureza ao processo. Um fotobiorreator deve ser fabricado com vidro ou plástico (transparentes) para permitir a passagem de luz para o meio, como mostra a Figura 5 (SOARES et al., 2011).

**Figura 5** - Fotobiorreatores



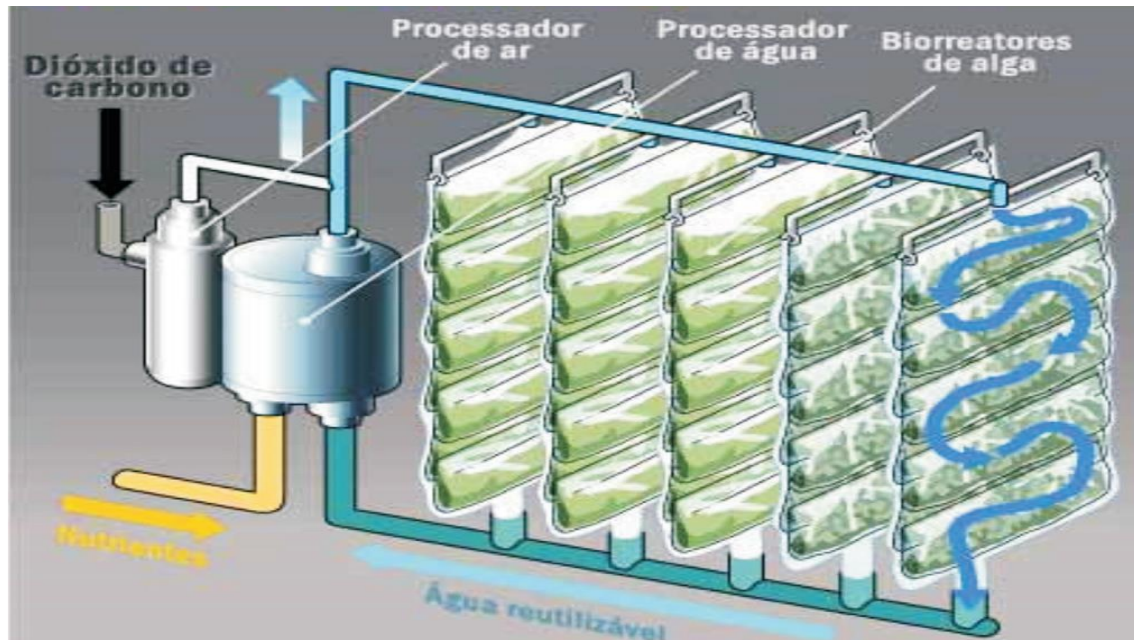
Fonte: EMBRAPA (2016)

### 2.3.4 Crescimento Vertical

O crescimento vertical foi outro método desenvolvido por empresas de biocombustíveis para cultivar microalgas de maneira mais eficiente e rápida que em lagoa aberta. Nesse método as microalgas são colocadas em sacos plásticos transparentes, de maneira a serem expostas à luz solar em ambos os lados (Figura 6). Os sacos são empilhados e cobertos para ficarem protegidos da chuva e de contaminação. A exposição

extra ao sol aumenta o índice de produtividade das algas, e, conseqüentemente, a produção de óleo (DEFANTI; SIQUEIRA; LINHARES, 2010).

**Figura 6** - Cultivo de microalgas por crescimento vertical



Fonte: DEFANTI; SIQUEIRA; LINHARES (2010)

### 2.3.5 Fatores influentes no processo

É necessário dar atenção aos fatores físico-químicos como intensidade de luz, temperatura, pH, nutrientes e agitação pois a composição bioquímica da biomassa, bem como a taxa de crescimento das microalgas são determinadas por estes fatores em conjunto com a natureza da espécie algal em todas as técnicas (BARCELLOS et al., 2012).

Segundo Chisti (2007), o crescimento fotossintético necessita de luz, dióxido de carbono, água, sais inorgânicos e temperatura entre 20 e 30 °C. O meio de crescimento deve fornecer os elementos inorgânicos que constituem a célula de algas. Elementos essenciais incluem nitrogênio (N), fósforo (P), ferro (Fe) e, em alguns casos silício (Si). Água do mar contendo nitratos, fosfatos e outros micronutrientes também pode ser um meio de crescimento para microalgas.

### 2.3.6 Comparativo entre técnicas

O método mais natural de cultivo de microalgas para produção de biodiesel é através da lagoa aberta. Nessas, pode-se cultivar microalgas em áreas quentes e ensolaradas para obter produção máxima. É uma técnica pouco invasiva, porém, o tempo ruim pode ser uma desvantagem no processo, retardando o crescimento das microalgas, bem como a contaminação por bactérias e outros organismos externos (DEFANTI; SIQUEIRA; LINHARES, 2010).

No Quadro 1 é possível analisar as diferenças e semelhanças entre as técnicas citadas.

**Quadro 1** - Comparação de diferentes técnicas para produção de microalgas

Tipos de Cultivos e Processo	Concentração de CO <sub>2</sub> e O <sub>2</sub>	Temperatura	Escoamento	Iluminação	Controle	Produtividade
Lagoas/Batelada	Depende do ambiente	Depende do ambiente, presença de gradientes e profundidade	Sob influência de ventos	Precária para zonas de grande profundidade	Operação simples, não requer controle	Sazonal e distribuída geograficamente
Lagoas <i>Raceway</i> /Contínuo	Depende do ambiente	Depende do ambiente, distribuição homogênea por convecção	Laminar ou turbulento	Precária para zonas de grande profundidade	Velocidade, Vazões e concentração de insumos	Sazonal e distribuída geograficamente
Fotobiorreatores / Contínuo	Controle na entrada do sistema e expurgada por equipamento de exaustão	Ajuste por serpentinas em aparelhagem de purga de gás ou no coletor solar	Laminar ou turbulento	Abrange maior parte do reator	Velocidade, vazão, iluminação, concentração e temperatura	Independente das condições climáticas

Fonte: SOARES et al. (2011)

Fotobiorreatores são mais indicados para produzir microalgas, pois é possível um controle maior sobre as condições de cultivo, dificultando problemas com contaminação e possibilitando a adequação de pH, temperatura, agitação e concentração de dióxido de carbono de acordo com as necessidades de cada espécie, gerando maior rendimento. Em comparação com as lagoas *Raceway*, que necessitam por volta de 7.828 m<sup>2</sup> para produção de 42,6 m<sup>3</sup>/ha de óleo, os fotobiorreatores dispõem de uma área menor para cultivo de 5.681 m<sup>2</sup> produzindo 58,7 m<sup>3</sup>/ha (CHISTI, 2007).

Algumas empresas que produzem biodiesel estão construindo usinas de biorreatores em tanques fechados como forma de auxiliar no aumento da produção de óleo. São tonéis grandes e redondos em seus interiores, para cultivar as microalgas em condições ideais. Elas são manipuladas para crescer ao máximo e serem colhidas diariamente, favorecendo uma grande produção de microalgas e a produção de óleo para produzir biodiesel. Usinas de biorreatores fechados também podem ser estrategicamente construídas perto de usinas de energia, sobretudo as térmicas, para capturar excesso de dióxido de carbono que, em outro caso, poluiria o ar (DEFANTI; SIQUEIRA; LINHARES, 2010). Contudo, mesmo para estas estruturas há desafios para se conseguir alcançar os melhores parâmetros de operação e de produção, por conta da dinâmica de escoamento, da iluminação ideal no reator e limitações de conhecimento das reações fisiológicas que permitem o crescimento das microalgas (SOARES et al., 2011).

A etapa de colheita das microalgas representa de 30 a 40% do custo de produção, portanto possui grande importância na viabilidade do processo. Os principais métodos são: flotação, floculação - método barato e lento, com formação de lodo com alto teor de umidade, centrifugação - usual para microalgas menores, é um método caro, porém eficiente - e filtração - aplicada para microalgas maiores - e depende de fatores como densidade, tamanho da microalga, energia necessária e rapidez apresentada pelo método. A colheita de microalgas geralmente envolve uma etapa de pré-separação, podendo ser realizada por flotação, floculação ou sedimentação por gravidade tendo como objetivo a concentração de biomassa e uma etapa de separação fina, onde o principal objetivo é a remoção de umidade, por centrifugação e/ou filtração (BRENNAN; OWEDNE 2010).

Após a colheita das microalgas, extraem-se os lipídeos, ou óleos, das paredes das células das microalgas. Existem diversos modos de se extrair óleo das algas. A prensagem de óleo é o método mais simples e mais popular. É um conceito similar ao da prensagem do azeite onde até 75% do óleo das algas pode ser extraído (DEFANTI; SIQUEIRA; LINHARES, 2010).

O método de extração com solvente hexano (combinado com a prensagem) extrai até 95% do óleo das microalgas. Primeiro, a prensa extrai o óleo, em seguida mistura-se a sobra das microalgas com hexano, filtra-se e limpa-se para não deixar nenhum químico no óleo (DEFANTI; SIQUEIRA; LINHARES, 2010).

Já o método de fluidos supercríticos extrai até 100% do óleo das microalgas. Neste, o dióxido de carbono age como um fluido supercrítico e pode se comportar tanto como um líquido quanto como um gás. A combinação do dióxido de carbono com as

microalgas a transformam totalmente em óleo. É um método pouco utilizado devido ao alto custo do equipamento e por ser um processo trabalhoso (DEFANTI; SIQUEIRA; LINHARES, 2010).

Posterior a extração, o óleo é refinado a partir de cadeias de ácidos graxos em um processo nomeado transesterificação, onde um catalisador como o hidróxido de sódio ou de potássio é misturado com um álcool como o metanol, por exemplo. A reação fornece o biodiesel combinado com o glicerol. Em seguida, a mistura é refinada para remover o glicerol e obter, como produto de interesse, o biodiesel proveniente de microalgas (DEFANTI; SIQUEIRA; LINHARES, 2010).

## 2.4 VIABILIDADE ECONÔMICA E AMBIENTAL

A produção de biomassa de microalgas é geralmente mais cara que seu cultivo. Para minimizar os gastos, a produção de biodiesel deve depender de luz solar disponível livremente, apesar das variações diárias e sazonais variações nos níveis de luz (CHISTI, 2007). Contudo, conforme Tabela 2, apesar de suas particularidades no processo, é possível verificar que as microalgas possuem rendimento 200 vezes maior que a soja, principal produtora do biodiesel comercializado. De acordo com a Tabela 2, nenhuma fonte vegetal é mais vantajosa que as microalgas, pois estão a frente tanto em produção quanto em espaço necessário para cultivo.

**Tabela 2** - Comparação de microalgas com outras matérias-primas para biodiesel

Fonte Vegetal	Teor de óleo de semente (% de óleo em peso em biomassa)	Rendimento de óleo (L óleo / ha. ano)	Uso da terra (m <sup>2</sup> ano / kg de biodiesel)	Produtividade do biodiesel (kg de biodiesel / ha. ano)
Milho ( <i>Zea mays L.</i> )	44	172	66	151
Cânhamo ( <i>Cannabis sativa L.</i> )	33	363	31	321
Soja ( <i>Glycine max L.</i> )	18	636	18	562
Purgueira ( <i>Jatropha curcas L.</i> )	28	741	15	656
Camelina ( <i>Camelina sativa L.</i> )	42	915	12	809
Canola ( <i>Brassica napus L.</i> )	41	974	12	862
Girassol ( <i>Helianthus annuus L.</i> )	40	1.070	11	946
Mamona ( <i>Ricinus communis</i> )	48	1.307	9	1.156
Óleo de palma ( <i>Elaeis guineensis</i> )	36	5.366	2	4.747
Microalga (baixo teor de óleo)	30	58.700	0,2	51.927

Microalga (médio teor de óleo)	50	97.800	0,1	86.515
Microalga (alto teor de óleo)	70	136.900	0,1	121.104

Fonte: Modificado de MATA; MARTINS; CAETANO (2010)

No processo de cultivo das microalgas, lagoas *Raceway* são economicamente mais viáveis por custar menos que os fotobiorreatores, tanto para construir quanto para operar. Entretanto, os fotobiorreatores possuem maior produtividade de biomassa, pois a produtividade de lagoas *Raceway* pode ser afetada por contaminação microbológica ou falha na mistura pelas pás, desta forma não fornecendo a iluminação necessária. A manipulação e armazenamento dos óleos produzidos demandam cuidados que aumentam gastos e diminuem sua atratividade (CHISTI, 2007).

A principal limitação da produção de biodiesel derivado de microalgas está na viabilidade do processo. O custo de produção e venda do biocombustível é de 10 a 30 vezes maior que do diesel de petróleo, em decorrência do alto gasto para se obter matéria seca e extrair o conteúdo lipídico (ESPINOSA et al., 2014).

Segundo Espinosa et al. (2014), o biodiesel não é um produto com alto valor agregado. É importante se obter coprodutos, tais como, produtos farmacêuticos, nutricionais, fertilizantes e energia derivada dos resíduos de biomassa de microalgas. O conceito de biorrefinaria pode ser implantado para se produzir produtos com valor agregado além do tratamento de efluentes e gases de exaustão. O aproveitamento de água residual, acarreta benefícios econômicos e ambientais. As microalgas alimentadas por efluentes podem ser utilizadas para a obtenção de um óleo mais barato quando comparado aos obtidos em sistemas de cultivos. Ademais, a integração da produção de microalgas em usinas que emitam grandes quantidades de dióxido de carbono poderia reduzir os gastos e a poluição ambiental gerada.

Juntamente, o cultivo das microalgas pode ser feito em água marítima ou salobra e em terras improdutivas, não incide na degradação dos solos, diminuindo os danos ambientais associados e não compromete a produção de produtos derivados da agricultura (ESPINOSA et al., 2014).



### **3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS**

Para a coleta de informações fez-se pesquisas qualitativas e exploratórias, em razão de o assunto ter grande quantidade de conteúdo e precisar ser lido e entendido com muita atenção. As pesquisas bibliográficas realizadas tiveram como fonte artigos, trabalhos acadêmicos, notícias e livro sobre a produção do biocombustível de algas, com foco no Brasil e suas condições climáticas.

Buscou-se dados quantitativos para comparar as diferentes espécies de algas que podem ser utilizadas nesse processo e comparar o rendimento do biodiesel de algas e de outras matérias-primas.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As microalgas estão presentes em diversos ambientes aquáticos e úmidos, como rios, lagos, oceanos e solos e podem servir de matéria-prima na produção de bioprodutos em diferentes segmentos industriais (EMBRAPA, 2016). Para Alisson (2014), as principais vantagens na utilização das microalgas é o alto teor de biomassa e óleo que esses organismos podem fornecer e a capacidade de se reproduzirem mais rápido que plantas terrestres. Outras vantagens são a eficiente captura de carbono realizada durante a fotossíntese, a possibilidade do cultivo ser realizado em águas salobras ou residuais, não haver sazonalidade para colheita e processamento e o fato do Brasil possuir um ótimo clima para produzir microalgas, por ser um país tropical e que recebe iluminação solar o ano todo (EMBRAPA, 2016).

De acordo com Mata, Martins e Caetano (2010), as microalgas não possuem muitas necessidades para se desenvolver, apenas luz solar, dióxido de carbono e água. Já de acordo com Chisti (2007), também é importante a presença de sais inorgânicos, nitrogênio, fósforo, ferro, silício e temperatura de 20 a 30 °C.

Existe uma diversidade de microalgas sendo estudadas para produção de biodiesel e afins, e busca-se a espécie que possui melhor rendimento de óleos e biomassa, todavia há ainda dificuldades no processo a serem consideradas. Para Alisson (2014), em tanques ou lagoas de cultivo a maior dificuldade do processo é a ineficiência da captura de fótons e CO<sub>2</sub> pelas microalgas expostas a luz solar, dificultando a fixação do carbono, entretanto é variável de acordo com a espécie. A incidência de luz solar também é relatada como uma dificuldade para Soares et al. (2011). Defanti, Siqueira e Linhares (2010), esclarecem que a incidência de luz solar varia de acordo com as estações do ano e um tempo ruim pode gerar contaminações além da falta de iluminação, retardando o processo de crescimento das microalgas.

Segundo Soares et al. (2011), existem três técnicas onde as microalgas podem ser cultivadas. A primeira é a técnica de cultivo em lagoas ou tanques abertos, sendo uma técnica barata e que depende do clima para se obter um bom resultado, entretanto não é recomendada para produção em larga escala por não se ter um controle e possuir uma iluminação precária em grandes profundidades. A segunda é a técnica de cultivo em lagoas *Raceway*, que consistem em lagoas de até 30 cm de profundidade agitadas constantemente por pás movimentadas por um motor e podem ser uma alternativa de cultivo em larga escala. A terceira, por fim, é a técnica de produção em fotobiorreatores

produzidos em vidro ou acrílico. Esta é a técnica mais indicada para cultivo em larga escala, pois pode-se controlar as condições ideais para o crescimento das microalgas, como pH e concentração de dióxido de carbono, além de minimizar problemas com contaminação, muito presente nos cultivos em lagoas abertas. Contudo, é mais dispendioso para se construir e realizar manutenções. A técnica mais utilizada atualmente é a de cultivo em tanques abertos, por conta de sua facilidade, simplicidade e baixo custo.

De acordo com Defanti; Siqueira e Linhares (2010), ainda existe outro método de cultivo conhecido como crescimento vertical, onde as microalgas são cultivadas em sacos plásticos transparentes, alimentadas com nutrientes e dióxido de carbono e recebem grande incidência de luz solar. Os autores relatam que essa técnica gera um bom rendimento de biomassa e lipídeos.

Para Brennan e Owedne (2010), a etapa de colheita de microalgas é muito importante para avaliar a viabilidade do processo, pois representa até 40% do custo de produção. Em razão disso, é necessário avaliar o método menos custoso e mais eficiente para o processo que depende de fatores como densidade, tamanho da microalga, energia necessária e rapidez apresentada pelo método. Após a etapa de colheita é realizada a etapa de extração de óleo, que pode ser por prensagem, extraindo até 75% do óleo disponível ou por prensagem combinada com extração por solvente hexano, que extrai até 95% do óleo ou ainda por fluidos supercríticos, onde é possível de extrair até 100% do óleo presente, porém é um método de alto custo e trabalhoso. Após a extração, o óleo passa pelo processo de transesterificação e refino, onde se obtém, como produto, o biodiesel (DEFANTI; SIQUEIRA; LINHARES, 2010).

Segundo Mata; Martins e Caetano (2010), o cultivo de microalgas rende mais matéria-prima para produção de biodiesel que todas as outras fontes vegetais cultivadas em solo. Comparando-se ao óleo de soja, atual matéria-prima para produção de biodiesel, as microalgas produzem 200 vezes mais óleo e dependem de uma área 600 vezes menor para essa quantidade. Além disso, não são utilizadas como alimento e podem ser cultivadas em solo infértil. Com isso, reforça-se a necessidade de se produzir microalgas em larga escala. Todavia, Espinosa et al. (2014), afirmam que produzir biodiesel é até 30 vezes mais caro do que produzir diesel de petróleo, por conta dos processos de colheita e extração. O autor e seus colaboradores ainda expõem que o biodiesel não é um produto com alto valor agregado e que é preciso obter produtos como fármacos e fertilizantes, além da implantação de biorrefinarias para que o cultivo de microalgas seja mais valioso. Ademais, as microalgas podem tratar efluentes durante seu crescimento e realizar captura

de carbono das indústrias que emitem muito esse material, o que além de ser vantagem para as empresas, reduzindo custos, minimiza os impactos negativos causados ao meio ambiente.

Diante do exposto, é possível analisar que ainda há a necessidade de estudos e melhorias para que o processo de obtenção de biodiesel derivado de microalgas seja viável em escala industrial. A etapa de extração, em particular, precisa ser otimizada e o custo benefício da mesma avaliado, pois inviabiliza o processo pelo alto custo. Avanços biotecnológicos são importantes para se estudar as exigências das microalgas e alcançar as condições ideais de cultivo.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O cultivo de microalgas tem sido realizado para obter a biomassa que pode ser destinada para diversos setores da economia, tais como combustíveis e cosméticos. As microalgas são produzidas em diversos locais e possuem muitas vantagens desde seu cultivo até a obtenção do biodiesel. As principais vantagens são a ocupação de área para o cultivo menor que para a produção da soja utilizada atualmente no processo industrial, a alta produtividade durante todo o ano, a necessidade de menos água para a produção que culturas terrestres, a possibilidade da reprodução em águas residuais e terras improdutivas e fixação de dióxido de carbono durante a fotossíntese.

O processo tem como principais desvantagens a ineficiência da utilização da energia solar captada pelas algas e o alto custo nas etapas de colheita e extração. Para a melhoria dessas etapas do processo é necessário investir ainda mais em pesquisas com ênfase na biotecnologia, para se alcançar resultados satisfatórios. O biodiesel oriundo das microalgas é uma alternativa sustentável para reduzir a utilização do petróleo, a emissão de gases poluentes e o monocultivo na agricultura, acarretando benefícios ambientais e, futuramente, podendo ser comercializado em substituição ao biodiesel atual, derivado da soja. Para tanto, é necessário buscar a otimização das etapas de colheita e extração no processo, que são etapas dispendiosas, inviabilizando, em partes, a produção em larga escala.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) - **Petróleo e derivados**. 2018. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/petroleo-e-derivados2>>. Acesso em: 05 out. 2019.

Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP). **Óleo diesel passa a conter mínimo de 11% de biodiesel a partir de 1º de setembro**. 2019. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/noticias/5298-oleo-diesel-passa-a-conter-minimo-de-11-de-biodiesel-a-partir-de-1-de-setembro>>. Acesso em: 12 out. 2019.

Agência Paulista de Promoção de Investimento e Competitividade (INVESTE) - **Biocombustíveis**. 2013. Disponível em: <[http://www.investe.sp.gov.br/uploads/midias/documentos/biocombustiveis\\_saopaulo.pdf](http://www.investe.sp.gov.br/uploads/midias/documentos/biocombustiveis_saopaulo.pdf)>. Acesso em: 05 out. 2019.

ALISSON, E. - **Microalgas transgênicas são mais eficientes na fotossíntese, indica estudo**. Disponível em: <<http://agencia.fapesp.br/microalgas-transgenicas-sao-mais-eficientes-na-fotossintese-indica-estudo/20031/>>. Acesso em: 04 out. 2019.

ANTUNES, R.; SILVA, I. C. - **Utilização de Algas para a produção de biocombustíveis**. Disponível em: <<https://docplayer.com.br/10400541-Utilizacao-de-algas-para-a-producao-de-biocombustiveis.html>>. Acesso em: 02 out. 2019.

BARCELLOS, A. et al. - **Microalgas e seu potencial de uso**. Disponível em: <<https://portalseer.ufba.br/index.php/nit/article/viewFile/11461/8288>>. Acesso em: 10 out. 2019.

BARROS, T. D.; JARDINE, J. G. – **Transesterificação: Matérias-primas e produtos**. Ageitec – Agência Embrapa de Informação Tecnológica. Disponível em: <<https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/agroenergia/arvore/CONT000fj0847od02wyiv802hvm3juldruvi.html>>. Acesso em: 23 out. 2019.

BRENNAN, L; OWENDE, P. - **Biofuels from microalgae – A review of technologies for production, processing, and extractions of biofuels and co-products. Renewable and sustainable energy reviews**. p. 557-577, 2010.

CHISTI, Y. - **Biodiesel from microalgae. Biotechnology Advances**. p. 294-306, 2007.

DEFANTI, L. S.; SIQUEIRA, N. S.; LINHARES, P. C. - **Produção de biocombustíveis a partir de algas fotossintetizantes**. Bolsista de Valor: Revista de divulgação do Projeto Universidade Petrobras e IF Fluminense v. 1, p. 11-21, 2010.

ECYCLE - **Microalgas transgênicas são desenvolvidas para a produção de biodiesel**. Tecnologia a favor, 2014. Disponível em:

<<https://www.ecycle.com.br/component/content/article/37-tecnologia-a-favor/2750-microalgas-transgenicas-sao-desenvolvidas-para-a-producao-de-biodiesel-.html>>. Acesso em: 12 out. 2019.

EMBRAPA - **Agroenergia em revista: Microalgas**. Ano IV, nº 10, dezembro de 2016. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/153095/1/Agroenergia-Revista-microalgas-ed10-red.pdf>>. Acesso em: 05 out. 2019.

ESPINOSA, L. et al. - **As microalgas como fonte de produção de biodiesel: discussão de sua viabilidade**. Acta Scientiae & Technicae, vol. 2, nº1, 2014.

GERIS, Regina et al. - **Biodiesel de soja - reação de transesterificação para aulas práticas de química orgânica**. Química Nova, vol.30 nº.5 São Paulo Sept./Oct. 2007. Disponível em <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-40422007000500053](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422007000500053)>. Acesso em: 03 out. 2019.

GOUVEIA, L. et al. – **Biodiesel from microalgae. Microalgae-Based Biofuels and Bioproducts**. p. 235-250, 2017.

GOVERNO DO BRASIL - **Projeto quer produzir de biodiesel a partir de microalgas**. 2017. Disponível em <<http://www.brasil.gov.br/noticias/educacao-e-ciencia/2014/12/projeto-quer-produzir-de-biodiesel-a-partir-de-microalgas>>. Acesso em 10 out. 2019.

LEI Nº 9.478, DE 6 DE AGOSTO DE 1997. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/LEIS/L9478.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9478.htm)>. Acesso em: 04 out. 2019.

MAGALHÃES, L. P. - **Algas para produção de biodiesel no Brasil**. Portal Biossistemas Brasil, 2011. Disponível em: <<http://www.usp.br/portaliobiossistemas/?p=1787>>. Acesso em: 03 out. 2019.

MARTINS, S. S. S. et al. - **Produção de petróleo e impactos ambientais: Algumas considerações**. HOLOS, Ano 31, vol. 6. Disponível em: <<http://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/view/2201>>. Acesso em: 05 out. 2019.

MATA, T. M.; MARTINS, A.A.; CAETANO, N. S. – **Microalgae for biodiesel production and other applications: a review**. Renewable and Sustainable Energy Reviews 14, p. 217-232, 2010.

MONÇÃO, M. - **O Futuro Verde: Microalgas e Biotecnologia**. Disponível em: <<http://www.microbiologia.ufrj.br/portal/index.php/pt/destaques/novidades-sobre-a-micro/364-o-futuro-verde-microalgas-e-biotecnologia1>>. Acesso em: 10 out. 2019

OLIVEIRA, N. - **Petrobras estuda produzir biodiesel a partir de microalgas.** Disponível em: <<http://agenciabrasil.ebc.com.br/pesquisa-e-inovacao/noticia/2018-02/petrobras-estuda-produzir-biodiesel-partir-de-microalgas>> Acesso em: 04 out. 2019.

PEREIRA, C. M. P. et al. - **Biodiesel renovável derivado de microalgas: avanços e perspectivas tecnológicas.** Química Nova, vol. XY n°.00, 2011.

SEBRAE - **O que é biodiesel.** Disponível em: <<http://www.sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/artigos/o-que-e-biodiesel,466d438af1c92410VgnVCM100000b272010aRCRD>> Acesso em: 07 set. 2019.

SOARES, A.H. et al. – **Técnicas de crescimento da microalga *Dunaliella Salina* para produção de biodiesel e separação de óleo e biomassa produzidos no processo.** Engevista, v.13, n. 2, p.102-110, 2011.