Produção de biodiesel a partir de microalgas no Brasil: Uma revisão sistemática

Rafael Nascimento de Sousa[1], Marcelo Borges Rocha[2], Gláucio Gualtieri Honório [3]

[1] CEFET-RJ, Rio de Janeiro, Brasil (rfsousa2000@hotmail.com)
[2] CEFET-RJ, Rio de Janeiro, Brasil
[3] CEFET-RJ, Rio de Janeiro, Brasil

Resumo: As mudanças climáticas do último século e a crise dos combustíveis fósseis tornam cada vez mais urgente a procura por novas fontes de energia, onde destaca-se a biomassa. O principal objetivo deste trabalho é reunir informações sobre a produção de biodiesel a partir de microalgas no Brasil. A pesquisa foi realizada através do Google Acadêmico, a partir de teses e dissertações defendidas no período compreendido entre 2017 e 2019. Os resultados apontaram que os gêneros de microalga mais promissoras nos estudos são *Chlorella*, *Scenedesmus* e *Chlamydomonas*.

Palavras-chave: biodiesel; microalga; energia renovável; sustentabilidade; Brasil.

INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, com o aumento significativo dos efeitos das mudanças climáticas, a crescente demanda por energia têm forçado os países de todo mundo a diversificarem suas matrizes energéticas, investindo assim em energias de menor impacto ambiental, tais como eólica, hidrelétrica, maremotriz, biomassa, etc.

No caso do Brasil, há um grande potencial para a produção de biodiesel em larga escala. Isso ocorre devido a sua considerável cadeia produtiva da cana-de-açúcar (matéria prima do etanol), às grandes extensões territoriais e aos investimentos do governo no setor de energia com o Programa Nacional do Álcool (Proálcool) nos anos 80, que reconheceu a importância do etanol como uma fonte renovável de energia (GOES et al., 2008, apud Guarieiro, 2019). A partir do ano de 2004, o país introduziu o biodiesel na matriz energética brasileira, criando o Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB). Todavia, somente quatro anos depois começou-se a adicionar biodiesel ao diesel comum (Lei n° 11.097/2005), inicialmente com 2% de concentração, e aumentando conforme o passar dos anos (Pereira,2017).

Segundo a Agência Nacional de Petróleo, Gás natural e Biocombustíveis, o biodiesel é um combustível renovável obtido a partir de um processo químico denominado transesterificação. Este processo constitui na reação entre triglicerídeos presentes em gordura vegetal ou animal com um álcool (metanol/etanol), formando assim uma mistura de ésteres de cadeia curta, obtendo a glicerina como subproduto da reação. Sua vantagem em relação ao diesel, segundo ANP, é a menor emissão de poluentes na atmosfera: 48% menos CO, 47% menos material particulado e 67% menos hidrocarbonetos.

O biodiesel tem como matéria prima principal óleos vegetais provenientes da soja, dendê, mamona, açaí, canola, algodão, entre outros. Essas plantas podem gerar o que Rawat et al.,(2013), apud Laiate, (2018) caracterizou como biodiesel de primeira geração, pois possuem a dupla função de alimentos e matéria prima para biocombustíveis.

Contudo, tem-se pesquisado a possibilidade do uso do óleo extraído de microrganismos unicelulares. Sua vantagem em relação ao óleo vegetal se dá pelo cultivo que independe de época do ano, herbicida ou grandes áreas reservadas para sua produção (Ortenzio, 2015 apud Galina, 2018) ocorrendo em lagoas “raceway” a céu aberto ou em fotobiorreatores.

Por esse motivo, o objetivo principal desta revisão sistemática foi conhecer o panorama geral sobre a geração de biodiesel a partir do óleo extraído de microalgas no Brasil, buscando entender quais espécies são mais utilizadas, e a viabilidade, a nível industrial, da produção do biodiesel de terceira geração. |Busca-se também compreender como o cultivo de microalgas foi feito nos estudos, a partir de informações sobre a técnica utilizada, a extração lipídica, tempo de cultivo, luminosidade, pH e

salinidade. Dessa forma, será possível não apenas conhecer as espécies mais promissoras para geração de biocombustíveis, como também as condições necessárias para o crescimento e cultivo dessas microalgas.

MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa iniciou-se com a seguinte pergunta: "quais são as espécies de microalgas mais utilizadas na produção de biodiesel no Brasil? E por quê?" O objetivo foi entender o processo geral envolvendo a produção de biodiesel por meio das microalgas encontradas, além de analisar comparativamente as espécies mais citadas. Para realização deste trabalho foi utilizada a plataforma de pesquisa Google Acadêmico, visando apenas teses e dissertações em português, entre os anos de 2017 e 2019. Esses resultados não precisaram necessariamente gerar biodiesel nos seus estudos, mas tinham que abordar o cultivo de alguma espécie/gênero de microalga e relacionar esse cultivo com a produção de biodiesel, ainda que de maneira teórica.

Foram utilizadas as seguintes palavras-chave: "biodiesel"; "microalga"; "energia renovável"; "sustentabilidade"; "Brasil". Além disso, foram feitas combinações com essas palavras (ex:"biodiesel" AND "microalga", biodiesel" AND "microalga" AND "sustentabilidade", etc), para se obter o maior número de resultados possível.

Para saber se o conteúdo do estudo deve ou não ser incluído na revisão sistemática, o seguinte procedimento foi realizado: Conferiu se o título inclui uma ou mais palavras-chave, e se ele cita diretamente uma espécie/gênero de microalga como matéria-prima para produção de biodiesel. Caso o título não forneça informações suficientes, deve-se ver se o resumo possui informações importantes sobre uma ou mais microalgas, tais como cultivo, impactos ambientas ou ACV (avaliação do ciclo de vida), e se essas informações estão relacionadas de alguma forma a produção de biodiesel. Se sobrarem dúvidas, deve-se ler a conclusão, a fim de ver se os resultados do trabalho acrescentam informações sobre microalgas para produção de biodiesel. Por último, se ainda não for suficiente, ler o trabalho completo.

Ao final da pesquisa e seleção dos estudos, foram feitas as primeiras análises a partir dos descritores gerais: tipo de estudo (tese ou dissertação), programa de pós-graduação, instituições participantes, as microalgas utilizadas por cada instituição (e de onde foram coletadas) e quais espécies/gêneros de microalgas foram as mais utilizadas. Também foi observada a existência de alguma relação entre a espécie de microalga cultivada e a região do Brasil onde ocorreu a pesquisa, a fim de saber se alguma microalga se adaptaria melhor um clima de determinada região do país.

Após essas análises gerais, aprofundou-se a pesquisa buscando entender o cultivo das microalgas a partir dos descritores específicos. Desse modo, foi feita uma tabela comparando as condições de cultivo a que cada microalga foi submetida. Foram considerados fatores como luminosidade, salinidade, pH, dias de cultivo, método de extração lipídico e o seu rendimento, técnica de cultivo, temperatura e espécie(s)/gênero(s) utilizado(s).

Por último, foi feita outra tabela comparando a qualidade do biodiesel gerado em alguns dos estudos analisados. Contudo, por ser uma parte da revisão que está em andamento, não possui ainda informações suficientes

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para encontrar os estudos pertinentes a essa revisão, foram utilizadas, na plataforma Google Acadêmico, as seguintes combinações de palavras-chave, juntamente com seus resultados:

- "biodiesel" AND "microalgas" (812 resultados)

- "biodiesel" AND "microalgas" AND "Brasil" (692 resultados)

- "biodiesel" AND "microalgas" AND "sustentabilidade" (297 resultados)

- "biodiesel" AND "microalgas" AND "sustentabilidade" AND "Brasil" (276 resultados)

- "biodiesel" AND "microalgas" AND "energia renovável" (200 resultados)

- "biodiesel" AND "microalgas" AND "sustentabilidade" AND "Brasil" AND "energia renovável" (99 resultados)

A seleção das teses e dissertações pertinentes ao tema, considerando os critérios estabelecidos em "Materiais e Métodos", somaram 13 resultados:

1- "A produção de biodiesel a partir da Halamphora coffeaeformis e avaliação da sua qualidade para fins não destrutívas", (Losasco, 2018)

2- "Oxidação da parede celular da microalga Chlamydomonas sp. para extração de lipídios e avaliação da sua qualidade para síntese de biodiesel." (Kramer, 2017)

3- “Dimensionamento e avaliação do ciclo de vida (ACV) da produção de biodiesel por microalgas cultivadas em vinhaça em uma usina sucroalcooleira” (Pereira, 2017)
4- “Cultivo de Chlorella sorokiniana para extração de óleo e produção de biodiesel” (Menegazzo, 2017)
5- “Análise da influência da temperatura e do tempo na transesterificação direta da Nannochloropsis oculata para produção de biodiesel” (Galina, 2018)
6- “Avaliação do potencial da microalga Chlamidomonas sp cultivada em sistema aberto como fonte de metabólicos de alto valor agregado com aplicações integradas ao setor de biocombustíveis, visando uma perspectiva biorrefinária” (Gomes, 2019)
7- “Utilização da vinhaça no cultivo da microalga Klebsormidium flaccidum (Kützing) Silva visando à produção de biomassa aplicada ao mercado de biodiesel”(Guarieiro, 2019)
8- “Produção de biomassa algal e extração de óleo a partir da microalga Chlorella Vulgaris” (Moraes, 2018)
9- “Otimização de produção de biomassa para extração lipídica utilizando estirpes da microalga Scenedesmus sp.” (Oliveira, 2019)
10- “Fitorremediação de efluentes aquicolas e extração de lipídios para a produção de biodiesel utilizando a microalga Chlorella vulgaris” (Silva, 2017)
11- “Estudo do Processo de Cultivo da microalga Chlorella minutíssima e Caracterização Termoquímica de sua Biomassa para Aplicação em Gaseificação” (Layate, 2018)
12- “Avaliação dos efeitos causados pelas diferentes condições de cultivo nas microalgas Scenedesmus sp. E chlorella sp. Mediante a potencialização de teor lipídico.” (Chiesa, 2019)
13- “Lodo de esgoto da ETE Samambaia Chlorella sp. como matérias primas para a produção de biodiesel” (Pinho, 2017)

Desses 13 resultados, contam-se cinco teses e oito dissertações, todas faculdades públicas (6 federais e 3 estaduais): USP, Ufes, Unesp, UnB, UFRN, UEPB, Universidade Federal de Uberlândia, Universidade Federal do Ceará e Universidade Federal de Grandes Dourados. A partir dessa exposição, observa-se que os resultados estão majoritariamente concentrados na região Sudeste, com sete trabalhos, seguidos da região Nordeste (4) e Centro-Oeste (2) do Brasil. Os resultados dos descritores gerais também apontaram que não existe relação entre região do país e espécie de microalga cultivada.

As microalgas citadas, em sua grande maioria, estão entre estes três gêneros: *Chlorella sp, Scenedesmus sp ou Chlamidomonas sp*. A minoria dos estudos (3) utilizou microalgas que pertencesse a outro gênero (*Halamphora coffeaeformis, Nannochloropsis oculata e Klebsormidium flaccidum*). A procedência dessas microalgas nem sempre é informada, mas em grande parte dos casos as cepas são disponibilizadas pelos laboratórios pertencentes à própria faculdade ou de faculdades próximas.

Os programas de pós-graduação são diversos e de áreas de conhecimento que não necessariamente têm relação entre si. São alguns exemplos as áreas de Biocombustíveis, Química, Engenharias (mecânica, de pesca e de produção), Energia e Biologia Vegetal. Essa interdisciplinaridade reforça a importância desta revisão, visto que o conhecimento sobre biodiesel gerado por meio de microalgas é de interesse de vários campos da ciência.

Depois das análises gerais, foi feita uma tabela comparando as condições em que as microalgas foram cultivadas. Os estudos estão numerados de 1 a 13 na primeira linha, enquanto os fatores analisados na tabela se encontram na primeira coluna. Devido a uma questão de espaço, essa tabela foi dividida em duas partes.

Tabela 1. Tabela de cultivo das microalgas

	1	2	3	4	5	6
Técnica de cultivo	SWES e F/2	Lagoas Raceway	Fotobiorreator/lagoa de alta taxa	BBM	Metodologia de Guillard (1975) e Lourenço (2006)	meio RPMI e DMEI
Tempo de Cultivo (dias):	3-(f/2) E 8-(SWES)	7	3	30	8	5
Temperatura (°C):	20 ± 2	ND	ND	26,28 ± 3,42	22	ND
Método de extração lipídica:	Método Soxlet	Rompi-mento da parede celular usando H202	Liquefação Hidrotérmica	Blight & Dyer	adição de TANFLOC (floculação + decantação)	Agitação mecânica + banho de ultrassom
Espécie/Gênero utilizada(o):	Halamphora coffeaeformis	Chlamydomonas sp.	Chlorella sp	Chlorella sp	Nannochloropsis oculata	Chlamydomonas sp.
pH	8,0	ND	9,2	ND	ND	6,7
Rendimento da extração lipídica (m/m)	ND	17,4% c/ H202, e 6,4% sem peróxido	ND	20,07 ± 1,53%	ND	29%
Salinidade	30g/L	15%	ND	ND	ND	10%
Luminosidade (klx)	2,96	ND	ND	31,32 ± 4,708	ND	11

Tabela 1. Tabela de cultivo das microalgas (continuação)

7	8	9	10	11	12	13
Bold Basal Medium	Bold Basal Medium	Bold Basal Medium	Bold Basal Medium	Guillard f/2	Meio f/2	Meio f/2
14 e 21	8	12, 15, 22, 30 e 33	20 e 30	ND	30	7
25 ± 2	ND	25 ± 1	28 ± 1	20 e 30	25	27
Bligh e Dyer (1959).	Metodologia de Zorn (2017) e Bligh & Dyer (1959).	Metodolo-gia de Folch, Less e Stanley (1957)	Bligh & Dyer (1959)	Bligh and Dyer Modificada	Metodologia de Folch, Less e Stanley (1957)	Método Soxhlet
Klebsormidium flaccidum	Chlorella Vulgaris	Scenedesmus sp.	Chlorella vulgaris	Chlorella minutíssima	Scenedesmus sp. e Chlorella sp	Chlorella sp.
7 ± 0,05	ND	ND	ND	ND	ND	7
ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
ND	ND	ND	0	15 e 30 g/L	ND	ND
2	0,85 e 14,50	ND	0,444	0,15	ND	ND

Fonte: Elaborada pelo ator (2021)

O tempo de cultivo variou bastante em cada trabalho, e aparentemente não tem ligação com a técnica utilizada, uma vez que uma mesma técnica foi realizada em diferentes períodos de tempo. Contudo, percebe-se algumas convergências nas informações obtidas pelos estudos. Também não foi encontrada relação entre esses fatores citados e o método de extração lipídica, que por sua vez apresentou resultados variados. A temperatura do cultivo das microalgas em todos os casos ficou entre 20 e 30°C, sugerindo que essa seja a margem mais propícia para o crescimento das cepas. O pH, apesar de muitas vezes não informado, fica entre os valores de 7 e 8, com apenas uma excessão que registra valor de 9,2. Isso pode ser justificado uma vez que o aumento do pH pode limitar o crescimento das microalgas como a Chlorella vulgaris, que necessita de um pH inferior a 9 para se obter um produção relevante (ENCONTRO INTERNACIONAL DE PRODUÇÃO CIENTÍFICA, 2013). Por fim, fatores como rendimento da extração lipídica, luminosidade e salinidade ofereceram muito pouca informação para essa revisão, o que dificulta a observação de um possível padrão ao analisar a qualidade do biodiesel futuramente.

CONCLUSÃO

Através dessa revisão sistemática busca-se conhecer o panorama atual da produção de biodiesel no Brasil a partir do cultivo de microalgas, visando as pesquisas mais recentes (2017-2019) na plataforma Google Acadêmico. Até o momento, foi possível perceber:

-A intensa presença das instituições públicas de ensino, que representam a totalidade dos resultados da pesquisa

-O grande número de áreas do conhecimento que possuem interesse em produção de biodiesel por meio de microalgas

-Quase todos os resultados apontam para 3 gêneros de microalga: *Chlorella, Scenedesmus* e *Chlamidomonas*

-Existe uma lacuna considerável nas informações sobre luminosidade, pH e salinidade que os estudos disponibilizam.

Como o presente trabalho ainda está em andamento, será necessário ainda avaliar as carcterísticas físico-químicas dos biodieseis produzidos em alguns estudos, como aspecto, acidez, teor glicerol (livre e total) e rendimento da transesterificação, para sabermos qual espécie é mais indicada para a produção de biocombustíveis.

AGRADECIMENTOS

Ao CEFET-RJ, pela oportunidade de realizar a pesquisa e pela bolsa concedida

REFERÊNCIAS

BIODIESEL, **Agência Nacional de Petróleo e Gás Natural**, 2017. Disponível em: https://www.anp.gov.br/wwwanp/biocombustiveis/biodiesel. Acesso em: 29/06/2021

CHIESA, Jaqueline Elise Garcia. **Avaliação dos efeitos causados pelas diferentes condições de cultivo nas microalgas *Scenedesmus sp* e *Chlorella sp* mediante a potencialização de teor lipídico**. 70 f. Dissertação (Mestrado em Biocombustíveis) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2019.

ENCONTRO INTERNACIONAL DE PRODUÇÕA CIENTÍFICA, 8., 2013, Salvador. **Anais** [...]. Maringá : CESUMAR, 2013. 5 p.

GALINA, Daiana. **Análise da influência da temperatura e do tempo na transesterificação direta da *Nannochloropsis oculata* para produção de biodiesel**. 71 f. Dissertação (Mestrado em Energia) - Universidade Federal do Espírito Santo, São Mateus, 2018.

GOMES, Andeson Fernandes. **Avaliação do potencial da microalga *Chlamidomonas sp* cultivada em sistema aberto como fonte de metabólicos de alto valor agregado com aplicações integradas ao setor de biocombustíveis, visando uma perspectiva biorrefinária**. 120 f. Tese (Doutorado em Química) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2019.

GUARIEIRO, Mayara dos Santos. **Utilização da vinhaça no cultivo da microalga *Klebsormidium flaccidum* (Kützing) Silva visando à produção de biomassa aplicada ao mercado de biodiesel**. 68 f. Dissertação (Mestrado em Biologia Vegetal) - Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2019

KRAMER, Carlos Augusto Cabral. **Oxidação da parede celular da microalga *Chlamydomonas sp*. para extração de lipídios e avaliação da sua qualidade para síntese de biodiesel**. 123 f. Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2017.

LAIATE, Juliana. **Estudo do Processo de Cultivo da Microalga *Chlorella minutíssima* e Caracterização Termoquímica de sua Biomassa para Aplicação em Gaseificação**. 130 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Escola de Engenharia Campus Guaratinguetá, UNESP, Guaratinguetá, 2018.

LOSASCO, Igor Wesley. **A produção de biodiesel a partir da *Halamphora coffeaeformis* e avaliação da sua qualidade para fins não destrutívas.** 48 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) - Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2018.

MENEGAZZO, Mariana Lara. **Cultivo de Chlorella sorokiniana para extração de óleo e produção de biodiesel.** 127 f. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia) - Universidade Federal de Grandes Dourados, Minas Gerais, 2017.

MORAES, Gisely Souza Campos. **Produção de biomassa algal e extração de óleo a partir da microalga *Chlorella Vulgaris*.** 70 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2018

OLIVEIRA, Flávia Costa. **Otimização de produção de biomassa para extração lipídica utilizando estirpes da microalga *Scenedesmus sp***. 69 f. Dissertação (Mestrado em Biocombustíveis) - Universidade Federal de Uberlândia, Ituiutaba, 2019.

PEREIRA, Paulo Henrique da Silva. **Dimensionamento e avaliação do ciclo de vida (ACV) da produção de biodiesel por microalgas cultivadas em vinhaça em uma usina sucroalcooleira**. 228 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2017.

PINHO, David Mark Mendes. **Lodo de esgoto da ETE Samambaia *Chlorella sp*. como matérias primas para a produção de biodiesel.** 75 f. Tese (Doutorado em Tecnologias Química e Biológica) - Universidade de Brasília, Distrito Federal, 2017.

SILVA, José Willian da. **Fitorremediação de efluentes aquícolas e extração de lipídios para a produção de biodiesel utilizando a microalga *Chlorella vulgaris***. 56 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Pesca) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2017.