

BIOMASSA: Microalgas para obtenção de biocombustíveis renováveis

Julia Sanchez Barbosa¹; Ana Gabriely Penha Silva¹; Murilo Teodoro Martinez^{2*}

¹ Graduanda em Engenharia Química, Faculdades Integradas de Três Lagoas – FITL/AEMS; ² Mestre em Química Analítica – USP; docente da Faculdades Integradas de Três Lagoas – FITL/AEMS
*autor correspondente: mteodoromartinez@gmail.com.

RESUMO

Atualmente, existem grandes interesses por fontes renováveis. Os impactos ambientais e o possível esgotamento das atuais reservas mundiais de combustíveis fósseis, somado ao alto uso desses materiais, aumentou a busca por fontes alternativas. Biomassa é uma fonte renovável que está disponível atualmente e pode substituir as fontes fósseis, além de ser um recurso sustentável e econômico e que coopera com a natureza. A biomassa de microalga é rica em proteínas, lipídios, carboidratos e é um microrganismo fotossintético. Existem diversas espécies de microalgas, as mais relevantes são a Bacillariophyceae, Chrysophyceae e Chlorophyceae. A transformação da biomassa pode acontecer por processos bioquímicos, como a fermentação, ou ainda termoquímicos, que é a partir da pirólise, gaseificação e combustão. As microalgas têm sido cultivadas em fotobiorreatores, os sistemas mais aplicados são os abertos e fechados, na etapa de colheita o método usado pode variar de acordo com suas particularidades e fase de separar a matéria orgânica, pode ser utilizado o método de centrifugação, coagulação ou floculação. Existem inúmeros tipos de biocombustíveis, como o biogás, biodiesel, bioetanol, metanol, entre outros, os mesmos são considerados limpos, por ter origem animal ou vegetal. Alguns estudos recentes, têm mostrado eficiência e sustentabilidade em biocombustíveis provenientes de microalgas, tais como biodiesel e bioetanol, derivados do óleo extraído da biomassa. A utilização de microalgas para produzir biocombustíveis apresenta várias vantagens, tais como a baixa emissão de gases poluentes, rápido desenvolvimento e sustentabilidade ambiental e econômica.

PALAVRAS-CHAVE: biomassa; biocombustível renovável; produção; cultivos de microalgas.

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos a ideia de que as fontes de energias não renováveis podem acabar, tem gerado uma grande preocupação mundial. Considerando o consumo atual, as reservas de petróleo e gás natural estarão extenuadas entre 40-60 anos (BP, 2014). Por ser uma opção econômica e altamente sustentável, a biomassa de microalgas para produção de energias renováveis tem recebido muita visibilidade, gerando menos danos ambientais e um impacto nulo quando se diz respeito à utilização de terras férteis, pois o cultivo pode ser realizado em terras com baixo potencial agrícola (RAWAT, 2011).

Os processos de conversão da biomassa em produtos de valor agregado

podem ser divididos em processos termoquímicos e bioquímicos. A pirólise e a gaseificação são exemplos de conversão termoquímica. Já as rotas bioquímicas utilizam a fermentação e outras vias metabólicas de valor comercial (DU, 2008).

Sendo assim, os biocombustíveis são divididos em três gerações, o biocombustível de primeira geração é produzido a partir de açúcares, grãos e sementes. O principal biocombustível é o etanol produzido a partir da fermentação de açúcares e amido contido em grãos de milho (AMORIM et al., 2011), e o biodiesel extraído de plantas oleaginosas e grãos de soja. A segunda geração é obtida pela biomassa celulósica de plantas. Por fim, a última geração é através de matéria-prima de algas e microrganismos por

serem capazes de armazenar gorduras e carboidratos (GISELROD; PATIL, 2008).

As microalgas são microrganismos fotossintéticos, podendo produzir proteínas, lipídios e carboidratos em grandes quantidades. Portanto, podem ser utilizados para o processamento de biocombustíveis durante um curto período (PÔJO, 2016).

Devido ao seu alto metabolismo, as microalgas se reproduzem em pouco tempo e produzem grandes quantidades de óleos e biomassa, além de utilizarem basicamente água, gás carbônico e outros nutrientes como nitrogênio, enxofre, fósforo, potássio, magnésio, cálcio, sódio, fazem uso também de quantidades muito pequenas de micronutrientes tais como ferro, cobre molibdênio e zinco (LOURENÇO, 2006).

Os principais fatores que contribuem para o crescimento das microalgas, além da água e carbono, é a fonte de energia, sendo um parâmetro que pode afetar o seu crescimento. Como o aumento da intensidade da luz, podendo levar a foto-oxidação, diminui a produtividade. A temperatura também é considerada um parâmetro de crescimento. Uma temperatura elevada terá um desempenho acessível para o cultivo, porém ao ar livre não tem controle sobre a temperatura e poderá afetar a produtividade (DHAR; SINGH, 2011).

A produção de combustíveis renováveis a partir dos cultivos de microalgas, faz uso do processo fotossintético para a produção de biomassa sendo usada como uma fonte de energia e de produtos químicos. Existem espécies de microalgas que são ricas na produção natural de ácidos graxos e hidratos de carbono, outras na produção de lipídios, proteínas, carboidratos, e absorção de carbono, tudo depende da sua forma de cultivo. As espécies, as diatomáceas (Bacillariophyceae), as algas castanhas (Chrysothyceae), e as algas verdes (Chlorophyceae), são produzidas em grandes quantidades (PÔJO, 2016).

Biocombustíveis derivados das microalgas passam por quatro etapas, sendo elas o cultivo, colheita, extração e conversão em bioetanol. Na primeira etapa, as microalgas são cultivadas em tanques abertos ou cobertos, usando luz solar, placa plana ou outros designs. Na segunda etapa, passam pelos processos de colheita, pelo menos cerca de trinta vezes. Após a colheita, o amido microalgal passa pela extração através da utilização de enzimas. E por fim, a fermentação de açúcares formados (AMIN, 2009).

O princípio desta revisão literária objetivou-se a relatar sobre as suas aplicações para uma produção de biocombustíveis renováveis, com ênfase na biomassa de microalgas. Em virtude disso, o artigo também promove informações importantes sobre biomassa e seus processos para a produção de biocombustíveis, sendo eles bioetanol e biodiesel.

Este artigo tem como objetivo detalhar sobre a geração de biocombustível renovável através da utilização dos recursos provenientes da biomassa, dando ênfase no cultivo de microalgas. Para a fundamentação teórica e metodológica, foram realizadas pesquisas bibliográficas, em livros, artigos científicos e sites eletrônicos, visando uma revisão literária relacionada ao tema citado. O artigo foi desenvolvido para pesquisas aprofundadas sobre o tema dissertado: produção de biocombustíveis renováveis através do cultivo de microalgas para decomposição bioquímica da biomassa.

2 BIOMASSA

Nos tempos atuais, a sociedade vem aumentando a sua população mundial de forma extremamente rápida, isso somado ao uso desenfreado de matéria-prima, fez as preocupações referentes aos esgotamentos de recursos naturais ganharem ainda mais força, visto que muitos recursos já estão escassos. Isso fez com que a busca por alternativas que fossem renováveis e de menor impacto

ambiental crescesse exponencialmente (PÔJO, 2016).

Existem demasiados combustíveis que são considerados não renováveis, entre eles estão: o petróleo, o gás natural, o carvão mineral e vários outros, os mesmos são poluentes ao meio ambiente, após a combustão, eles liberam gases, como o dióxido de carbono que é um dos maiores responsáveis pelo efeito estufa, isso gera desequilíbrio ambiental e alterações no clima, por isso a grande preocupação na substituição dos mesmos por alternativas mais eficientes, renováveis e menos prejudiciais ao meio ambiente (PÔJO, 2016).

As fontes não fósseis são aquelas que seu ciclo de renovação é semelhante ao seu tempo de uso, entre as principais, podemos citar o vento, água, matéria orgânica, sol, força das ondas, força das marés e calor do interior da terra, essas fontes agridem minimamente o meio ambiente em relação às outras. Pensando na conservação desses recursos, no meio ambiente, nas próximas gerações e economicamente, não é bom usufruir de forma ilimitada, utilizar apenas para suprir as necessidades dessa geração (MACIEL, 2019).

2.1 Obtenção da biomassa

Biomassa é a matéria orgânica de origem animal ou vegetal, que na maioria das vezes é descartada. Podemos citar como exemplo, o bagaço da cana de açúcar, resíduos florestais e agrícolas, casca de arroz, excremento de animais, papéis já utilizados, embalagens de papelão, resto de alimentos e às vezes até o próprio lixo. Depois essa biomassa pode ser utilizada na produção de energia, biogás, bioóleo, biodiesel, etanol, carvão vegetal, óleo vegetal, entre outras aplicações (MACIEL, 2019).

A biomassa tem como ponto positivo ser renovável, não liberar gases que ajudam no efeito estufa, minimizar os impactos ambientais, reduzir a quantidade de lixo, não cooperar com as chuvas

ácidas e doenças respiratórias. E por outro lado são exorbitantes os custos para adquirir os equipamentos e possuem dificuldades para estocar e armazenar os materiais (MACIEL, 2019).

2.2 Transformação da biomassa

Apesar de não ser tão eficaz quanto outras fontes de energia, como o petróleo e carvão, a biomassa pode ser consumida imediatamente na combustão em fornos e caldeiras. Atualmente com novos conhecimentos da ciência, a biomassa é utilizada na produção de energia com novos processos termoquímicos, que estão cada dia melhores e mais eficazes. Essa energia é gerada a partir da pirólise, combustão e gaseificação (SILVA, 2009). A fermentação é um processo bioquímico de transformar a biomassa (DU, 2008). Segue abaixo uma descrição mais detalhada de cada processo.

2.2.1 Pirólise

A pirólise é a reação de decomposição térmica da biomassa, que geralmente ocorre em temperaturas variáveis (300-800 °C) e sem a presença de oxigênio. O processo acontece até acabar todos os elementos químicos com baixo ponto de ebulição. A escolha da faixa de temperatura depende do tipo de produto final desejado. O objetivo desse procedimento é conseguir substâncias de valor agregado, podendo ser desde biocarvão e bioóleos até gases oriundos (SAIDUR et al., 2011).

2.2.2 Gaseificação

De acordo com Andrade (2007), a gaseificação é uma reação termoquímica que converte a biomassa em gás combustível, é executada com pouca presença de oxigênio em relação a queima estequiométrica e no processo de gaseificação é usada temperaturas maiores do que na pirólise. Embora seja um processo que já existe há mais de um século, o mesmo não foi muito utilizado, pois antigamente era mais vantajoso usar o petróleo, já que estava em fartura e valor baixo

(SILVA, 2009).

2.2.3 Combustão

A combustão é um processo de queima de biomassa, que libera calor e acontece em três etapas. A primeira é um método para a secagem da substância e é feito em temperaturas abaixo de 100 °C. Na segunda fase é realizada a pirólise e a gaseificação em conjunto, e por fim, com temperaturas que alteram entre 250-800 °C, acontecendo a combustão e oxidação da matéria prima (GARCIA et al., 2012).

2.2.4 Fermentação

A transformação dos açúcares da matéria orgânica (biomassa) em álcool, é denominado fermentação, é um dos preceitos mais realizados para produzir bioetanol. Esse processo faz alteração anaeróbica da glicose e das outras substâncias presentes, para adquirir energia e é iniciado de fato quando é adicionado leveduras (NELSON; COX, 2014; SILVA, 2007).

3 MICROALGAS

As microalgas são organismos fotossintetizantes que utilizam o ambiente terrestre ou aquático de água doce ou salgada e também podem ser cultivadas em diversos sistemas para se desenvolverem. As cianobactérias também são conhecidas como microalgas, sendo considerado o maior grupo produtor de biomassa. Elas podem ser utilizadas como fonte para produção de vários produtos, sendo combustível renovável, cosméticos e alimentos (CHISTI, 2004).

Todas elas são capazes de produzir O₂, aumentando a concentração na atmosfera, através do uso do pigmento fotossintético. A grande maioria das espécies de microalgas são capazes de produzir CO₂ na atmosfera, pois apresentam um metabolismo autótrofo fotossintético com a sua capacidade de sintetizar matéria orgânica. As microalgas hetero-

tróficas, utilizam outro metabolismo, derivado somente do composto orgânico usado como fonte de energia (RICHMOND, 2004).

De acordo com Lourenço (2006), o crescimento das microalgas são fatores biológicos, físicos e químicos. Os fatores biológicos são as taxas de metabolismo em cada microalga. Os físico-químicos são as taxas de energia, temperatura e nutrientes. O fotoperíodo é conhecido como o tempo de exposição da luz, um dos fatores importantes para o cultivo da microalga e para sua produção. Além disso, os nutrientes também são importantes, pois o meio de crescimento deve favorecer os elementos inorgânicos que constituem a alga. Os elementos essenciais são o azoto (N) e fósforo (P) (CHISTI, 2007).

Certas espécies de microalgas têm capacidade de produzir altos níveis de carboidratos e lipídios como polímeros de reserva. Para um rendimento favorável para a produção de biocombustível, dependendo da quantidade de óleo encontrada em cada célula nas microalgas. O Brasil possui uma vantagem no desenvolvimento das microalgas, pois 12% são considerados de abastecimento de água doce e também a flora mais rica do mundo, contendo milhares de espécies diferentes de algas (CHISTI, 2007).

3.1 Biomassa de microalgas

A biomassa de alga já era conhecida, com a crise do petróleo essa ideia voltou, foram feitos estudos para verificar a eficiência, se é possível produzir em larga escala e em questão de economia. As microalgas são ricas em proteínas, lipídios e carboidratos, podem ser utilizadas na produção de alimentos, biocombustíveis e energia, gera mais empregos e é renovável, esses fatores trouxeram ainda mais interesse (RIBEIRO, 2020).

Quanto melhor for o cultivo, maior será o crescimento e a produtividade, (FERNANDEZ et al., 2013). A produção da biomassa de microalgas diversifica de

acordo com sua espécie, luz, temperatura, quantidade de dióxido de carbono, água e nutrientes, circunstâncias de mistura e contaminação podem gerar alterações na produção e no crescimento (SINGH; DHAR, 2011).

Na fase da colheita das microalgas, o processo a ser utilizado pode variar, de acordo com as particularidades de cada uma, tamanho, densidade e o propósito da produção, porém nenhuma técnica é considerada econômica e adequada para produzir microalgas em grandes quantidades. No sentido de sustentabilidade, a utilização de microalgas ainda é ruim, em função da colheita (BARROS et al., 2015).

3.2 Cultivo de microalgas

As microalgas são um grupo de diversos tipos de espécies contendo mais de oitocentos mil. Porém, só algumas do grupo de organismo polifilético são mantidas para serem cultivadas em escala industrial (PARMAR, 2011). As três mais importantes são (Bacillariophyceae), as algas castanhas (Chrysophyceae), e as algas verdes (Chlorophyceae). O maior grupo de microalgas é o Chlorophyceae, entretanto, são de fácil acesso, sendo em ambiente aquático de água doce e a taxa de crescimento é considerada rápida (PULZ; GROSS, 2004).

4 SISTEMAS DE CULTIVO DE MICROALGAS

O sistema de cultivo para a produção de microalgas demanda uma análise eficaz, verificando as vantagens, desvantagens e o baixo custo. Esse processo pode ser realizado de forma autotrófica, heterotrófica e mixotrófica. No cultivo autotrófico são de forma fotossintetizante através da luz solar como fonte de energia.

O cultivo de heterótrofo utiliza os compostos orgânicos, como o glicerol, a glicose e acetato como fonte de energia e carbono. O último cultivo seria a

mixotrófica, utilizando a fotossíntese e o composto orgânico como fonte de energia para o seu crescimento (BRENNAN; OWENDE, 2010).

As microalgas têm sido cultivadas em fotobiorreatores, os sistemas mais usados foram os sistemas abertos e fechados (FERNANDEZ, 2013).

4.1 Cultivo aberto

O sistema de cultivo aberto é um dos processos mais econômicos para a produção de biomassa em grande escala. Tem sido realizado em lagoas e tanques abertos, utilizando a luz solar e o CO₂ da atmosfera. Os tanques abertos são adequados para um pequeno número de espécies de algas que podem suportar o ambiente externo e são as espécies portadoras de crescimento rápido, como por exemplo a *Chlorella* (CHISTI, 2007).

Os tanques são construídos através de escavação e revestidos com material impermeável, os mesmos oferecem mais vantagens, porém aumentam o risco de contaminação, devido ao fato de serem abertos e não apresentarem controle da temperatura da água e níveis de CO₂, o que acaba levando ao desenvolvimento de protozoários, bactérias e outros contaminantes biológicos (RICHMOND, 2004).

4.2 Cultivo fechado

O sistema de cultivo fechado foi construído a partir das dificuldades que estavam tendo com o cultivo aberto. Os tanques fechados foram feitos para terem menor contato com o meio ambiente e o índice de contaminação ser mais baixo, promovendo uma produtividade da biomassa (DASGUPTA et al., 2010). No entanto, utilizam fotobiorreatores para uma produção de longa escala e as microalgas conseguem sobreviver em condições extremas com um valor alto de pH. Os fotobiorreatores são considerados como tubulares e planares de material transparente à luz visível (DEMIRBAS, 2009).

5 BIOCOMBUSTÍVEIS RENOVÁVEIS

Após a análise dos atuais problemas que o planeta terra está enfrentando, como poluição, aquecimento global, efeito estufa, mudanças climáticas, entre vários outros, causados por emissão de gases, que ficam na atmosfera por décadas ou séculos e ações dos próprios seres humanos. A busca por materiais sustentáveis, sem causar impactos ambientais e renováveis cresceu muito (EPA, 2016).

Os combustíveis considerados limpos podem ter como matéria prima, lenha, fontes vegetais, dejetos de animais, óleos vegetais, carvão vegetal, matéria orgânica, entre outras. Todas citadas acima são renováveis, menos prejudiciais ao meio ambiente e econômicas. Existem inúmeros tipos de biocombustíveis, como biogás, biodiesel, bioetanol, metanol, dentre outros (URQUIAGA; ALVES; BODEY, 2005).

O biodiesel é uma possibilidade para substituir o diesel comum, o mesmo é igual ao etanol em questão de matéria prima e pode ser produzido a partir de óleos da gordura vegetal ou animal, além de ser considerado o mais viável (RAMOS et al., 2011). O biodiesel é utilizado em motores normais e o etanol em adaptados, já o biogás pode ser usado para gerar energia, em motores adequados e adaptados (GUERRA; FUCHS, 2010).

5.1 Biocombustível proveniente de microalgas

Atualmente, os estudos têm demonstrado o uso de espécies microbianas, tais como leveduras e fungos, utilizando a biomassa, pelo seu alto valor de armazenamento de lipídios e carboidratos, além de crescimento rápido e a conversão em fotossíntese (DRAGONE et al., 2011).

Existem diversas formas de se obter biocombustível a partir de microalgas. Ademais, os mais produzidos são biodiesel e bioetanol, derivados do óleo

extraído da biomassa (ABREL et al., 2012).

5.1.1 Biodiesel

O biodiesel pode ser produzido em quatro etapas, cultivo, colheita, extração de lipídios e carboidratos e por último, a conversão em biodiesel. A extração dos lipídios ocorre quando há rompimento celular, por métodos biológicos ou químicos e dependendo do desenvolvimento pode ser usado algum solvente para auxiliar no processo. Pelo fato de a parede celular ser extremamente rígida, é comum o uso de água quente catalisada com ácido sulfúrico (PARK, 2014).

A transesterificação pode ser utilizada na ausência de catalisador, usando o álcool para este processo. No entanto, conduz a um menor tempo de reação e ajuda no processo de separação e purificação dos produtos utilizando altas temperaturas e pressão. Além disso, pode ser utilizada também a hidroesterificação, com o mesmo procedimento (SUAREZ et al., 2009).

Ao utilizar a microalga *Chlorella*, obtidas em cultivo heterotrófico. Foram realizados procedimentos em várias temperaturas e quantidades de catalisadores, com base no óleo total da microalga. Usando catalisadores e baixa temperatura, obtiveram um resultado favorável para a produção do biodiesel (MIAO; WU, 2006).

O biodiesel para ser comercializado deve estar dentro dos parâmetros físico-químicos, conforme definidos pela Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), e internacionais como o International Biodiesel Standard for Vehicles e o ASTM Biodiesel Standard. As propriedades são caracterizadas pelos experimentos, tais como a viscosidade, baixa temperatura e transesterificação, entre outros (KNOTHE, 2005).

5.1.2 Bioetanol

O bioetanol é considerado um biocombustível renovável que poderia

substituir o petróleo, pois sua produção oferece menos danos para o meio ambiente. O uso do bioetanol é eficiente para diminuição de CO₂ na atmosfera e a utilização de combustíveis fósseis são evitadas. (MUSSATTO, 2010).

O Brasil, Estados Unidos da América e Canadá, são os países que mais produzem bioetanol. Ele é considerado o menos tóxico e na sua composição de produção utilizam altas taxas de amido e carboidratos (JOHN et al., 2011).

A microalga *Scenedesmus obliquus* é vista como uma microalga viável para a produção do biocombustível, sendo capaz de produzir 95 % de açúcares. Essa taxa é considerada excelente para a produção, porém a parede celular da microalga é bastante rígida e seu processo de rompimento deve ser estudado para que não prejudique o processo de produção (MIRANDA; PASSARINHO; GOUVEIA, 2012).

Conforme Harun et al. (2012), existem diversas maneiras de produzir o biocombustível através da biomassa, a fermentação dos açúcares é essencial e deve estar adequada para o processo. São utilizadas metodologias como o pré-tratamento para romper a parede celular da microalga utilizada para a produção, hidrólise para formar açúcares, fermentação e por último a hemicelulose para a produção do bioetanol.

6 VANTAGENS DE UTILIZAR AS MICROALGAS PARA PRODUÇÃO DE BIOCOMBUSTÍVEL

O uso de microalgas para a produção de biocombustíveis tem pontos positivos, como a baixa taxa de emissão de poluentes, como o dióxido de carbono, pois as plantas utilizam uma certa quantidade de CO₂ no processo de fotossíntese, então se a quantidade de CO₂ liberada for semelhante a que utilizar, não irá aumentar a concentração de CO₂ do ambiente (NAIK et al., 2010).

Os biocombustíveis de terceira

geração, são produzidos a partir de biomassa de microalgas, os mesmos tem como vantagens o alto rendimento de energia solar, o desenvolvimento em pouco tempo, a duplicação em 24 horas, utilização de menos água no cultivo, sustentabilidade ambiental e pode substituir os combustíveis derivados de fontes fósseis (CHISTI, 2007; SCHENK et al., 2008).

É possível minimizar os custos na produção de biocombustíveis, utilizando algas de espécies com 60% de quantidade de óleo. O ideal é estudar o conjunto de procedimentos que irão utilizar antes e tentar diminuir a quantidade de etapas do processo, dessa forma os custos serão reduzidos. Além disso, esses fatores podem ajudar as microalgas a entrar no mercado de trabalho (PÓJO, 2016).

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conforme os relatos encontrados na revisão bibliográfica deste artigo, o uso de microalgas para produção de biocombustíveis tem sido de alta demanda com o intuito de produzir biocombustível menos poluente para o meio ambiente. O aumento no consumo de energias não renováveis e a tendência de que este recurso venha a acabar estimula, de certa forma, o desenvolvimento de formas alternativas inéditas e de baixo custo.

As microalgas são utilizadas para diversas produções, sendo a biomassa aproveitada para produção de produtos. Porém, a maior demanda está sendo para produção de biocombustível, devido às suas características de crescimento rápido e por sua composição bioquímica diversificada. Desse modo, existem diversas pesquisas em desenvolvimento visando o preparo para aprimorar a produção de biodiesel e bioetanol através da microalga a custos viáveis. Ademais, a microalga *Chlorella* tem sido destacada com o seu crescimento rápido e de fácil acesso. Para uma produção em grande escala, o método utilizado acaba sendo

desvantajoso pelo alto risco de contaminação, sendo assim, devem ser consideradas melhorias.

Cada etapa do processo para produção de biocombustíveis proveniente das microalgas vem sendo aprimorada com o passar dos anos, visando uma diminuição de poluição e um cultivo cada vez mais eficaz, gerando uma biomassa rentável e de baixo impacto ambiental.

REFERÊNCIAS

AMIN, S. Review on biofuel oil and gas production processes from microalgae. *Energy Conversion and Management*, v. 50, n. 7, p. 1834–1840, jul. 2009.

AMORIM, H. V. et al. Scientific challenges of bioethanol production in Brazil. *Applied Microbiology Biotechnology*, v. 91, p. 1267–1275, jul. 2011.

ANDRADE, R. V. Gaseificação de Biomassa: Uma Análise Teórica e Experimental. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 227 f., 2007.

BARROS, A. I. et al. Harvesting techniques applied to microalgae: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 41, p. 1489-1500, 2015.

BP. BP statistical review of world energy. 2014. Disponível em: <<https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html>>. Acesso em: 12 de mar. 2021.

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*, v. 14, p.557–577, 2010.

CHISTI, Y. Microalgae: our marine forests. Book reviews. RICHMOND, A.

Handbook of microalgal culture: biotechnology and applied phycology. Oxford: Blackwell Science, p. 566, 2014.

DASGUPTA, C. N. et al. Recent trends on the development of photobiological processes and photobioreactors for the improvement of hydrogen production. *International Journal of Hydrogen Energy*, v. 35, p. 10218-10238, 2010.

DEMIRBAS, M. F. Potential contribution of biomass to the sustainable energy development. *Energy Conversion and Management*, v. 7, p.1746–1760, 2009.

DHAR, D. W.; SINGH, N. K. Microalga as second-generation biofuel. A review. *Agronomy Sustainable Development*, v. 31, n. 4, p. 605-629, mar. 2011.

DRAGONE, G. et al. Current Research, Technology and Education Topics in Applied Microbiology and Microbial Biotechnology. p.1355-1366, 2010.

DU, W. Perspectives for biotechnological production of biodiesel and impacts. *Applied Microbiology and Biotechnology*, v. 79, p.331-337, mai. 2008.

FERNÁNDEZ, A. F. G.; FERNÁNDEZ, S. J. M.; MOLINAG, E. Photobioreactors for the production of microalgae. *Reviews in Environmental Science and Biotechnology*, v. 12, p. 131-15, 2013.

GARCIA, R. et al. Characterization of Spanish biomass wastes for energy use. *Bioresource Technology*, v. 103, p. 249-258, jan. 2012.

GISELROD, H. R; PATIL, V. K. Towards sustainable production of biofuels from microalgae. *International Journal of Molecular Sciences*, v. 9, n. 7, p. 1188-1195, jul. 2008.

GUERRA, E. P.; FUCHS, W. Biocombustível renovável: uso de óleo vegetal em

- motores. Revista acadêmica de ciência animal, v. 8, n. 1, p. 104-112, 2010.
- HARUN, R. et al. Renew. Sust. Energ. Rev., v. 85, p. 199-203, 2010.
- JOHN, R. P. et al. Bioresource technol, v. 102, p. 186-193, 2011.
- KNOTHE, G. Dependence of biodiesel fuel properties on the structure of fatty acid alkyl esters. Fuel Processing Technology, v. 86, p. 1059-1070, 2005.
- LOURENÇO, S. O. Cultivo de microalgas marinhas: princípios e aplicações. São Carlos: Rima, 2006.
- MACIEL, L. L. L. Biomassa: Uma Fonte Renovável Para Geração De Energia Elétrica No Brasil. Revista de Trabalhos Acadêmicos Universo Campos dos Goytacazes, v. 2, n. 13, p. 9, 2019.
- MCKENDRY, P. Energy production from (part 2): conversion technologies. Biore-source Technology, v. 83, p. 47-54, 2020.
- MIAO, X; WU, Q. Biodiesel production from heterotrophic microalgal oil. Biore-source Technology, v. 97, n. 6, p. 841-846, 2006.
- MIRANDA, J. R.; PASSARINHO, P. C; GOUVEIA, L.; Bioresource Technol, v. 104, p. 342-348, 2012.
- MUSSATTO, S. I. Technological trends, global market, and challenges of bio-ethanol production. Biotechnology Advances, v. 28, p. 817-830, 2010.
- NAIK, S. N. et al. Production of first- and second-generation biofuels: A comprehensive review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 14, n. 2, p. 578–597, 2010.
- NELSON, D. L.; COX, M. M. Princípios de bioquímica de Lehninger. 6. ed. Porto Alegre: ArtMed, 2014.
- NEVES, D. et al. Characterization and prediction of biomass pyrolysis products. Progress in Energy and Combustion Science, v. 37, n. 5, p. 611-630, 2011.
- PARK, J. Y. Acid-catalyzed hot-water extraction of lipids from *Chlorella vulgaris*. Bioresource Technology, v. 153, p. 408-412, 2014.
- PARMAR, J. Caracterização da resposta adaptativa e crescimento após choque hiper osmótico em *Saccharomyces*. Mol Biosyst, v. 4, p. 1138-48, 2011.
- PÔJO, V. I. N. C. Seleção de Microalgas com Potencial de Produção de Biocombustíveis. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola de Engenharia, Universidade do Minho, Braga, 111 f., 2016.
- PULZ, O.; GROSS, W. Valuable products from biotechnology of microalgae. Applied Microbiology Biotechnology, v. 65, p. 635-648, 2004.
- RAMOS, L. P. et al. Tecnologias de Produção de Biodiesel. Revista de Virtual Química, v. 3, n. 5, p. 385-405, out. 2011.
- RAWAT, I. et al. Dual role of microalgae: Phycoremediation of domestic wastewater and biomass production for sustainable biofuels production. Applied Energy, v. 88, n. 10, p. 3411– 3424, out. 2011.
- RIBEIRO, D. M. Biotecnologia e biomassa para o século XXI: estudo de meios de cultivo para a produção de biomassa de microalgas. Tese (Doutorado em Biotecnologia e Biodiversidade) - Universidade de Brasília, Brasília, 99 f., 2020.
- RICHMOND, A. Handbook of microalgal culture: biotechnology and applied phy-cology. Oxford: Blackwell Science, p. 566,

2004.

SAIDUR, R. et al. A review on biomass as a fuel for boilers. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 15, p. 2262-2289, jun., 2011.

SCHENK, P. M. et al. Biocombustíveis de segunda geração: microalgas de alta eficiência para a produção de biodiesel. *Bio Energy Research*, v. 1, p. 20-43, 2008.

SILVA, D. A. L.; Life cycle assessment of the sugarcane bagasse electricity generation in Brazil. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 32, p. 532-547, 2014.

SILVA, J. S. Produção de álcool na fazenda e em sistema cooperativo. Viçosa:

[s.n.], 2007.

SILVA, W. D. A Cogeração de energia elétrica a partir da biomassa inserida na matriz energética brasileira. 2009. 48f. Trabalho de conclusão de curso (graduação em Engenharia Elétrica com ênfase em Sistemas de Energia e Automação) - Escola de Engenharia, Universidade de São Paulo, São Carlos.

SUAREZ, P. A. Z. et al. *Química Nova*, v. 32, p. 768, 2009.

URQUIAGA, S.; ALVES, B. J. R.; BOODEY, R. M. Produção de biocombustíveis. A questão do balanço energético. *Revista de política agrícola*, v. 14, n. 1, 2005.