

MICROALGAS: CULTIVO E APLICAÇÕES

Lucas Ambrosano¹; Douglas Pelegrini Vaz-Tostes¹; Renato Mendes Guimarães¹; Luísa Maria Gouveia da Silva²; Catarina Viegas de Sousa²; Pedro Castro Neto¹ e Antônio Carlos Fraga¹

¹Universidade Federal de Lavras, campus universitário, caixa postal 3037, cep 37200000, Lavras, Minas Gerais, Brasil. Email: lucasambrosano@gmail.com, douglaspelegrini@hotmail.com, renatomg@dag.ufla.br, oleo@ufla.br, fraga@ufla.br. (

²Laboratório Nacional de Energia e Geologia, Unidade de Bioenergia, Edifício G, Estrada do Paço do Lumiar, 1649-038, Lisboa, Portugal. Email: luisa.gouveia@lneg.pt, catarina.viegas.de.sousa@gmail.com.

RESUMO: *As microalgas são organismos aquáticos, microscópicos unicelulares, fotossintéticos e podem crescer em águas doces ou salgadas. Atualmente são conhecidas milhares de espécies e estima-se que existam outras milhares não identificadas. O cultivo pode ser realizado por processo autotrófico, heterotrófico e mixotrófico, e cultivadas em lagoas abertas ou em sistemas fechados, denominados fotobiorreatores. A biomassa, produzida pelas microalgas cultivadas em sistemas convencionais, pode ser utilizada na alimentação humana e animal, produção de carotenoides e ácidos graxos. Também tem sido bastante estudadas o seu cultivo em meios líquidos residuários e sua biomassa utilizada para a produção de biocombustíveis, biodiesel (óleo), bioetanol e biohidrogênio (fermentação da biomassa) e bioprodutos para aplicação na nutrição vegetal.*

PALAVRAS-CHAVE: *Biomassa. Águas residuais. Biocombustível.*

MICROALGAE: CULTIVATION AND APPLICATIONS

ABSTRACT: *Microalgae are aquatic, microscopic, single-celled, photosynthetic organisms that can grow in fresh and salt waters. Currently there are thousands of known species and it is estimated that there are thousands species waiting to be found. The cultivation can be carried out by autotrophic, heterotrophic and mixotrophic process, and grown in natural open pond or artificial raceway pond, and in closed systems, called photobioreactors. The biomass produced by microalgae grown in conventional systems can be used as food and feed, production of carotenoids and fatty acids. It has also been widely studied for their cultivation in wastewater and their biomass has been used for the production of biofuel, biodiesel (oil), bioethanol and bio-hydrogen (fermentation of biomass) and bioproducts for use in plant nutrition.*

KEYWORDS: *Biomass. Wastewaters. Biofuels.*

INTRODUÇÃO

As microalgas são um grupo de organismos unicelulares, normalmente autotróficos, podendo ser procariotos ou eucariotos. Por serem fotossintéticos permitem a conversão de energia solar em química. São seres aquáticos que podem crescer em águas marinhas ou em água doce e apresentam grande potencial devido à elevada taxa de crescimento. A quantidade exata de espécies microalgais não é conhecida, existe na literatura relatos de que podem ser encontradas alguns milhares de espécies. Essa grande quantidade de espécies propicia uma

diversificação da composição bioquímica das biomassas microalgais, possibilitando uma gama enorme de produtos a serem obtidos das microalgas (Pulz e Gross, 2004).

A escolha da espécie a ser cultivada deve levar em consideração a aplicação que se pretende dar, pois a composição bioquímica da biomassa das microalgas é determinada pela natureza de cada espécie algal e de fatores ambientais, tais como, a intensidade de luz, temperatura, pH, nutrientes e concentração de CO₂.

O cultivo de microalgas pode apresentar inúmeras vantagens, como, alta taxa de acúmulo de biomassa, elevada eficiência fotossintética, consumo de CO₂ atmosférico e produção de O₂, uso de menores áreas quando comparadas com o cultivo agrícola, utilização de terras inférteis e a utilização de águas não potáveis. Uma das principais vantagens da produção de microalgas é a possibilidade de seu cultivo em águas não potáveis, especificamente, águas salobras, águas residuárias de esgoto e águas residuárias de diversas outras atividades, o que cria um cultivo que não necessita de água potável, um bem tão valioso na sociedade. Outro ponto a ser destacado é o uso de áreas inférteis, o que nos oferece alternativa na produção de energia que não irá competir com culturas alimentícias produzidas em áreas férteis.

A biomassa de algumas espécies de microalgas produzidas comercialmente tem sido utilizada em variadas aplicações, tais como, produtos para aplicação na indústria de alimentos, produção de corantes naturais, fonte de lipídeos, produção de biocombustíveis (bioetanol e biodiesel) e a produção de bioprodutos para aplicação no cultivo vegetal.

Uma das grandes vantagens na produção de lipídeos a partir da biomassa microalgal em comparação as culturas energéticas oleaginosas é o tempo para produção, que pode durar de meses a anos, enquanto que as microalgas podem começar em 5 dias, podendo a biomassa ser recolhida diariamente. Estes organismos podem ser produzidos ao longo de todo o ano, ao contrário da maior parte das culturas que são sazonais.

Atualmente o processo autotrófico é a técnica mais viável economicamente de cultivo de microalgas em escala comercial, e comumente é conduzido em ambiente exterior com luz solar abundante (Lam; Lee, 2012). Uma das formas economicamente viável de obter biomassa algal para produção de biocombustíveis em larga escala, minimizando os impactos ambientais, é a utilização das microalgas para o tratamento de águas residuais (Abdelaziz et al., 2013; Park et al., 2011; Pittman et al., 2011).

As microalgas cultivadas em águas residuárias aliadas a fontes geradoras de CO₂ poluente, podem se tornar um complexo de produção de energia e bioprodutos. Cultivo este

com diversas vantagens ao meio ambiente, visto que se trata da produção de energia limpa, tratamento de água residual e purificação do CO₂ que seria emitido à atmosfera.

A produção de bioprodutos a partir da biomassa microalgal pode tornar-se uma alternativa interessante na construção de um cultivo mais viável de microalgas em escala comercial. Alguns desses bioprodutos têm grande potencial de uso na nutrição vegetal, como bioestimulantes de germinação de sementes, enraizamento e alongamento de plantulas e desenvolvimento de plantas.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Microalgas

As microalgas representam um sistema mais simples do que as plantas, são predominantemente aquáticos e geralmente microscópicos (5 - 300 µm) unicelulares, podendo formar colônias, e apresentar pouca ou nenhuma diferenciação celular. Sua coloração variada é característica devido à presença de pigmentos e mecanismo fotoautotrófico em sua estrutura. Filogeneticamente, o grupo das microalgas é composto de espécies procarióticas ou eucarióticas, antigas ou mais recentes, conforme o período em que surgiram no planeta (Mata et al., 2010).

As microalgas possuem uma composição bioquímica diversificada composta por: proteínas, carboidratos, ácidos graxos, carotenóides, dentre outros. A composição bioquímica está diretamente relacionada à natureza de cada espécie, aos fatores ambientais relacionados ao local de cultivo e ao meio de cultura utilizado para seu desenvolvimento (Miao e Wu, 2006; Zamalloa et al., 2011).

Até poucos anos, em ficologia aplicada o termo microalga referia-se às algas microscópicas e as cianobactérias (Tomaselli, 2004). Assim, “microalgas” representavam tanto organismos eucarióticos, como as algas verdes (*Chlorophyta*) e diatomáceas (*Bacillariophyta*), quanto procarióticos como as *Cyanophyceae* (Mata et al, 2010). Entretanto, a evolução de técnicas moleculares e de microscopia eletrônica levou à alteração do termo comum *Cyanophyceae* para Cyanobacteria, e estes micro-organismos, atualmente, são classificados como bactérias (Komárek e Hauer, 2011).

O interesse para estes dois grupos distintos de micro-organismos fotoautotróficos reside no potencial de utilização da biomassa para as mais variadas aplicações, como alimentação humana e animal, produção de biocombustíveis, além da produção de metabólitos secundários (Harun et al., 2010; Spolaore et al., 2006).

As microalgas aquáticas são reconhecidas por apresentarem eficiência fotossintética superior às plantas C4, altas taxas de proliferação, grande capacidade de adaptação e crescimento em ambientes extremos, além de apresentarem excelente adaptabilidade a cultivos intensivos, o que as torna eficazes na redução do CO₂ atmosférico e produção de biomassa. Dos organismos fotossintetizantes, as microalgas têm maior eficiência no uso do CO₂ em comparação às plantas superiores, podendo fixar maiores quantidades (Kurano et al., 1995).

Segundo Gouveia et al. (2009), as microalgas podem alcançar elevadas produções de biomassa por área e, embora o seu mecanismo fotossintético seja similar ao de plantas superiores, as microalgas tem maior eficiência na conversão da energia solar, devido a sua estrutura celular simples e também pelo fato de crescer em meio aquoso, o que favorece o fornecimento de água, CO₂ e outros nutrientes para o seu desenvolvimento. De forma geral, apresentam elevadas taxas de crescimento, condição que proporciona alta produção de biomassa em intervalos de tempo curtos. A produtividade de sistemas algáceos é superior a qualquer cultura agrícola conhecida (Pulz e Gross, 2004).

As microalgas podem alterar suas rotas metabólicas para excretar uma gama de compostos que irão atuar como inibidores de outros organismos. Diante de sua capacidade de adaptação a diversos ambientes, podem apresentar vários tipos de metabolismos, sendo capazes mudar suas rotas metabólicas como resposta às mudanças das condições ambientais (Mata et al., 2010).

Uma biorrefinaria de microalgas pode beneficiar de diversos objetivos, tais como a produção de biomassa com altos teores de lipídeos para produção de biodiesel, altos teores de açúcares para produção combustíveis por meio de fermentação alcoólica (Bioetanol), fermentação no escuro (BioH₂) ou por digestão anaeróbica (Biogás-metano), altos teores protéicos, ácidos graxos poli-insaturados, antioxidantes para nutrição humana e carotenoides que podem ser usados como agentes corantes em alimentação humana e animal e na indústria cosmética (Nobre et al., 2013; Yang et al., 2011). E após extração a possível utilização da biomassa residual na agricultura.

Alguns exemplos de produtos que podem ser obtidos nas biorrefinarias são os biocombustíveis, ácidos orgânicos, polímeros de açúcares e de proteínas, plásticos e agentes tensoativos biodegradáveis, polímeros específicos, novas fibras e enzimas (Batista et al., 2015). Uma das características das biorrefinarias está relacionada ao fato da biomassa vegetal ser constituída por diversas frações, de composição química variada, o que leva a importantes desafios em termos de pré-tratamentos, de modo a permitir a sua utilização de forma eficiente (Ruzene et al., 2008).

Tipo de cultivo

O cultivo de microalgas pode ser realizado por processo autotrófico, heterotrófico e mixotrófico. Em cultura autotrófica, as microalgas utilizam luz como fonte de energia e CO₂ como fonte de carbono para formar energia química através da fotossíntese. Diferente deste, o cultivo heterotrófico é realizado quando a espécie de microalga utiliza carbono orgânico como fonte de energia e de carbono. O mixotrófico ocorre quando a microalga realiza o processo de fotossíntese e utiliza carbono orgânico e CO₂ como fonte de carbono para o seu crescimento (Brennan; Owende, 2010; Chen et al., 2011).

Os termos mixotrófico e heterotrófico apresentam uma diferença particular na fonte de energia necessária para suportar o crescimento e a produção de metabólitos específicos pelos micro-organismos. Assim, heterotrofia pode ser definida como a utilização somente de compostos orgânicos como fonte de carbono e de energia, possibilitando o aumento da concentração de biomassa e sua produtividade. Já o termo mixotrofia é definido como um processo metabólico em que a fotossíntese é a principal fonte de energia, embora a presença de compostos orgânicos seja essencial. Neste caso, o organismo é capaz de assimilar compostos orgânicos como fonte de carbono enquanto utiliza compostos inorgânicos como doadores de elétrons (Chojnacka; Marquez-Rocha, 2004; Perez-Garcia et al., 2011).

A habilidade de utilizar compostos orgânicos como fonte de carbono aumentou o interesse nas relações entre fotossíntese e respiração de microalgas e cianobactérias. A maioria das cianobactérias utiliza o período escuro para ajuste da fotossíntese e dos mecanismos de biossíntese para uma posterior fase ativa na presença de luz. A glicose do meio de cultivo pode ser convertida em glicose 6-fosfato e metabolizada via respiratória. No entanto, algumas enzimas do ciclo de krebs são detectadas com atividades extremamente baixas e o metabolismo no escuro está ligado à presença de oxigênio, sendo que a principal rota é a via das pentoses fosfato (Ardelan e Zarnea, 1998; Fay, 1983). Assim, pode-se utilizar a capacidade de esses micro-organismos crescerem heterotroficamente na ausência de luz e substituírem a fixação do CO₂ atmosférico que ocorre nas culturas autotróficas por uma fonte de carbono orgânico dissolvido no meio de cultura, como uma alternativa interessante (Perez-Garcia et al., 2011).

Acetato e glicose são as fontes de carbono mais utilizadas para cultivos mixotrófico e heterotrófico de microalgas e cianobactérias, tanto em pesquisa quanto em escala comercial (Shi et al., 1999). Entretanto, as informações acerca da concentração inicial destas fontes de carbono necessárias para o crescimento ideal dos micro-organismos são ainda muito dispersas (Perez-Garcia et al., 2011).

Sistemas de cultivo

Os sistemas de cultivo mais utilizados atualmente para o cultivo das microalgas são as lagoas aeradas abertas e os fotobiorreatores fechados (Brennan;e Owende, 2010; Chen et al., 2011; Harun et al., 2010; Singh et al, 2011). De acordo com Dasgupta et al. (2010), os fotobiorreatores podem ser classificados em dois tipos principais: sistemas abertos (tanques aerados de alta taxa e com extremidades elípticas, raceway ponds, e lagos) e os sistemas fechados (tubular, reator em placa, cônico, piramidal e fermentador). A escolha do sistema é influenciada pelas características do local de cultivo, pela espécie utilizada, quantidade de luz necessária e o sistema de colheita de biomassa do seu meio de cultura (ex: centrifugação, floculação, filtração etc) que se pretende utilizar.

Os fotobiorreatores fechados apresentam- se como os mais adequados para microalgas que podem ser rapidamente contaminadas por outros micro-organismos, exceto para microalgas que conseguem sobreviver em condições ambientais extremas como alto pH (*Arthrospira* (*Spirulina*), por exemplo) e alta salinidade (*Dunaliella*, por exemplo) ou podem crescer muito rapidamente (*Chlorella*, por exemplo) em tanques abertos (Brennan e Owende, 2010).

Tabela 1 Principais vantagens em sistemas de cultivo aberto e fotobiorreatores fechados.

Lagoas abertas	Fotobiorreatores fechados
<i>Vantagens</i>	
Simplicidade na operação	Possibilidade de produzir monoculturas
Menor investimento e custo de produção	Controle dos parâmetros de operação
Baixos consumos energéticos	Menor área e maior produtividade
<i>Desvantagens</i>	
Elevado grau de contaminação	Complexidade na operação
Necessidade de grandes áreas	Alto investimento e custo de produção
Sujeitos às condições climáticas	Elevados consumos energéticos
Menores produtividades	
Impossibilidade de controle de vários parâmetros	

Fonte: Adaptado de Huang et al. (2010), Miao e Wu (2006) e Xu, Miao e Wu (2006).

Muitas microalgas são potencialmente úteis para produção em grande escala; entretanto, a escolha de espécies envolve questões diversas, tais como a velocidade de crescimento e sua

composição química. Essas variáveis são influenciadas por alguns fatores como o meio de cultura utilizado, a idade do cultivo, a intensidade luminosa, a temperatura, a salinidade e o fotoperíodo (Brown et al., 1997).

A produção em larga escala em sistemas fechados tem grande potencial para gerar produtos de alto valor agregado (Pulz, 2001; Tomaselli, 2004). Para Rawat et al. (2013) a maioria dos sistemas de cultivos comerciais para a produção comercial em larga escala de microalgas foi limitada a produtos de alto valor, e não de biodiesel. Grandes avanços têm sido obtidos por pesquisadores de todo o mundo em termos de fotobiorreatores e estratégias de produção, capazes de aumentar a produtividade em biomassa (Varfolomeev e Wasserman, 2011).

Aplicações das microalgas

Há uma maior eficiência das microalgas para capturar energia solar e convertê-la em biomassa, em comparação com as plantas (Li et al., 2008), as microalgas têm sido foco de inúmeras investigações biotecnológicas e diversas espécies têm sido cultivadas para produzir substâncias específicas, devido a sua importância econômica, nutricional e ecológica (Antelo et al., 2010).

Para a produção de um biocombustível a baixo custo para que todos os consumidores venham a ter acesso, a escolha do sistema de obtenção de microalgas para este fim é de fundamental importância, para além da possibilidade de maiores investimentos nessa área. Para isso, seria necessário o aperfeiçoamento do sistema de cultivo mais economicamente viável, com consequente redução de custos em todas as áreas (uso de água, nutrientes, energia, infraestrutura, entre outros). Uma alternativa que vem sendo pensada, atualmente, é o aproveitamento de efluentes industriais ou domésticos (como fonte de nutrientes) e a própria infraestrutura (ou com adições) de uma Estação de Tratamento de Efluente (ETE), com sistema de lagoa de estabilização, para a obtenção de biomassa de microalgas (Mulbry et al., 2008). Além disso, os sistemas utilizados para a obtenção de biocombustíveis (etanol, biodiesel, biogás, hidrogênio) devem ser integrados para um maior aproveitamento da biomassa e diminuição dos custos (Harun et al., 2011; Powell e Hill, 2009).

A biomassa de microalgas pode ter grande variação na sua composição bioquímica dependendo da espécie cultivada e das condições ambientais de cultivo, tais como concentração de CO₂, nutrientes, pH, iluminação (intensidade e fotoperíodo), temperatura, salinidade, densidade da população cultivada e idade da cultura entre outras. A biomassa de microalgas pode ser utilizada para extração de lipídeos para produção de biodiesel, amido para produção

de bioetanol e/ou biohidrogênio, na indústria alimentícia para animais (pets) e humanos, aplicação em produtos cosméticos e utilização como biofertilizantes e condicionadores de solo.

A extração de lipídeos e carotenóides de microalgas pode ser realizada pelos métodos convencionais de extração, tais como o uso de solventes orgânicos e extração por Soxhlet, porém há a necessidade do uso de grande quantidade de solvente orgânico para realizar a extração. Recentemente tem sido dada uma importante alternativa frente ao uso dos métodos convencionais de extração o uso da Extração por Flúidos Supercríticos (SFE). Nesse processo, o CO₂ é o solvente supercrítico mais usado, pois através dele os compostos podem ser obtidos sem a contaminação por solventes orgânicos e sem a ocorrência da degradação térmica, uma vez que as temperaturas utilizadas são baixas (Bai et al., 2011; Nobre et al., 2006, 2013).

Produção de Biocombustíveis

As microalgas podem ser utilizadas para a produção de inúmeros biocombustíveis líquidos e gasosos, tais como biometano, bioetanol, biodiesel, biohidrogênio e biogás. Esses biocombustíveis, produzidos a partir de microalgas podem ser uma alternativa aos combustíveis fósseis. A produção de biocombustíveis a partir de microalgas baseia-se primeiramente na produção de biomassa com elevadas produtividades e, no caso do uso para a produção de biodiesel, necessita-se ainda que esta biomassa apresente elevados percentuais de lipídeos (Montero et al., 2011). O teor de lipídeos de microalgas pode variar de 20 a 50% do seu peso seco com a possibilidade de atingir até 80% (Spolaore et al., 2006). As microalgas podem variar quanto ao teor de lipídeos e o tipo de ácidos graxos dependendo da espécie estudada e dos parâmetros de cultivo (Gouveia et al., 2009).

Após a extração dos lipídeos e dos pigmentos de microalgas, a biomassa residual pode ser usada no processo de fermentação para produção de hidrogênio ou de digestão anaeróbia para produção de biogás. A biorefinaria de microalgas, com obtenção de óleos para biodiesel, pigmentos para indústria alimentar humana/animal e cosmética, concomitante com a produção de biocombustível gasoso a partir da biomassa residual desempenha um papel duplo na produção de energia renovável e desenvolvimento sustentável da indústria de biodiesel de microalgas (Nobre et al., 2013; Yang et al., 2011).

Como exemplo, a microalga marinha *Nannochloropsis sp.*, é comumente usada na aquicultura e tornou-se amplamente reconhecida como uma fonte potencial de lipídeos para produção de biodiesel (Gouveia; Oliveira, 2009; Moazami et al., 2012). É considerada também como fonte importante de carotenóides tais como a astaxantina, cantaxantina e zeaxantina (Lubian et al., 2000). Segundo Nobre et al. (2013), a microalga *Nannochloropsis sp.* tem

potencial como matéria prima na produção de ácidos graxos para produção de biodiesel, elevado conteúdo de carotenoides e biohidrogênio num contexto de biorrefinaria.

Tratamento de efluentes

Atualmente, uma questão preocupante para os municípios, é a elevada taxa de crescimento da população urbana e que tem gerado grandes quantidades de resíduos sólidos e efluentes líquidos o que representa um grande desafio para a sociedade (Arbib et al., 2014). Segundo Pasqualino, Meneses e Castells (2011), a recuperação de águas residuais é crucial para uma melhor gestão dos recursos hídricos, e sua reutilização pode ajudar a mitigação da escassez regional ou sazonal de água. Neste contexto, as microalgas podem assumir um papel importante no tratamento de efluentes domésticos/urbanos, visto que em condições favoráveis de crescimento consomem com eficácia os nutrientes dos efluentes.

De acordo com Arbib et al. (2014) as microalgas podem simultaneamente crescer em efluentes domésticos/urbanos e produzir biomassa enquanto removem carbono orgânico e nutrientes inorgânicos (nitrogênio e fósforo) dos efluentes. O tratamento dos efluentes com microalgas oferece muitas vantagens em relação aos tratamentos convencionais: (1) o nitrogênio e o fósforo, removidos simultaneamente dos efluentes, podem ser convertidos em biomassa sem qualquer fonte externa de carbono orgânico; (2) o efluente descarregado em corpos de água receptores é oxigenado; e (3) produtos de alto valor podem ser extraídos a partir da biomassa.

Além disso, algumas espécies de microalgas têm-se mostrado potencialmente úteis no tratamento de águas residuárias, pois possuem a habilidade de remover matéria orgânica e nutrientes dos efluentes incorporando-os a sua biomassa (Bastos et al., 2004; De-Bashan e Bashan, 2010; Queiroz et al., 2007).

A utilização de microalgas e cianobactérias no tratamento de águas residuárias vêm sendo estudada, devido aos baixos custos envolvidos, quando esse procedimento é comparado aos sistemas convencionais de tratamento de efluentes. Além disso, soma-se a esta vantagem à valorização dos resíduos, com possibilidade de se obter uma biomassa passível de ser utilizada na fertilização dos solos, na forma de proteínas ou na obtenção de biocombustíveis (Bastos et al., 2004; Queiroz et al., 2007; Tam e Wong, 2000). Contudo, essa aplicação encontra limitações, principalmente devido ao custo das condições autotróficas, além da turbidez característica das águas residuárias agro-industriais, que não permite penetração da luz de forma homogênea no sistema de cultivo (Heredia-Arroyo et al., 2011). Entretanto, a literatura reporta que, embora sejam organismos naturalmente fotossintetizantes, algumas linhagens de

microalgas e cianobactérias apresentam a distinta capacidade de se desenvolver na ausência de luz: por meio dos metabolismos mixotrófico ou heterotrófico, elas consomem moléculas orgânicas solúveis, tais como acetato, ácidos orgânicos e açúcares (Bastos et al., 2004, 2011; De-Bashan] e Bashan, 2010; Dumas et al., 1998; Fay, 1992; Jacob-Lopes et al., 2006; Perez-Garcia et al., 2011).

A composição dos efluentes pode variar de acordo com sua origem e/ou época do ano. Muitos efluentes podem conter grande quantidade de matéria orgânica, ou ainda apresentar altas concentrações de metais tóxicos, representando um grave problema para o meio ambiente (Dal Magro, 2011).

Segundo Batista et al. (2015) a biomassa produzida em efluentes é uma fonte de energia que pode ser processada para produção de biocombustíveis ou de outros produtos valiosos, como biofertilizantes, biopolímeros, bioplásticos, lubrificantes, tintas e corantes e suas aplicações são dependentes da qualidade e composição bioquímica da biomassa.

Chlorella vulgaris Beyerink, uma Chloroficeae de água doce, é uma das microalgas mais estudadas no tratamento de água residuárias (Aslan; Kapdan, 2006; Gonzáles; Canizares; Baena, 1997; Kim et al., 2010). Já *Aphanothece microscopica* Nägeli é uma Cyanobacteria de grande aplicação na valorização de resíduos agroindustriais no sul do Brasil, reconhecida pelo seu elevado teor protéico e pelo potencial de remoção de matéria orgânica de efluentes agroindustriais em cultivos heterotróficos (Bastos et al., 2004, 2010; Jacob-Lopes et al., 2008; Queiroz et al., 2007, 2011).

Produção de bioprodutos

A utilização de microalgas como fonte de alimento, tanto para humanos como para animais, vem se destacando por apresentar potencial fonte de proteínas com aminoácidos essenciais, ácidos graxos insaturados, vitaminas, sais minerais, pigmentos, enzimas, antibióticos e outros metabolitos biologicamente ativos (Gouveia et al., 2006).

Algumas espécies de microalgas apresentam valores elevados de proteínas, como exemplo, as espécies *Spirulina maxima*, *Chlorella vulgaris*, *Diatronema vlkianum* e *Isochrysis galbana* e para o conteúdo mineral as espécies *Spirulina máxima* e *Chlorella vulgaris* apresentaram valores de 31% e 24%, respectivamente (Batista et al., 2013). Esses teores de proteína e material mineral mostram um grande potencial no aproveitamento da biomassa de microalgas para nutrição vegetal (Marques et al., 2011; Stahl e Sies, 2005).

Dentre os mais de 400 carotenóides conhecidos, poucos são utilizados comercialmente, tais como β -caroteno, astaxantina, luteína, zeaxantina, licopenos, bixina entre outros. O uso

mais importante dos carotenóides é como corantes alimentícios naturais, como aditivo para alimentação animal, em cosméticos e alguns podem apresentar ações anti-inflamatórias (Del Campo et al., 2000; Marques et al., 2011).

O cultivo de microalgas, tanto para tratamento de águas residuárias ou para obtenção de produtos oriundos da biomassa, tem se tornado cada vez mais uma atividade economicamente viável e sustentável. Esta atividade já consolidada em alguns países vem crescendo bastante no Brasil e tem enorme potencial para ser cultivada, devido as condições ambientais favoráveis. Mesmo sendo bastante conhecido os sistemas de cultivo de microalgas para produção de produtos utilizados na indústria alimentícia, há também um enorme potencial de aproveitamento de sua biomassa para produção de bioprodutos para aplicação na agricultura e também para produção de biocombustíveis, além de uma gama de potenciais aplicações.

REFERÊNCIAS

- ABDELAZIZ, A. E.; LEITE, G. B.; HALLENBECK, P. C. Addressing the challenges for sustainable production of algal biofuels: I., algal strains and nutrient supply. **Environmental Technology**, London, v. 34, n. 13/14, p. 1783-1805, 2013.
- ANTELO, F. S. et al. Extraction and purification of Cphycocyanin from *Spirulina platensis* in conventional and integrated aqueous two-phase systems. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, São Paulo, v. 21, n. 5, p. 921-926, 2010.
- ARBIB, Z. et al. Capability of different microalgae species for phytoremediation processes: wastewater tertiary treatment, CO₂ bio-fixation and low cost biofuels production. **Water Research**, New York, v. 49, p. 465-474, Feb. 2014.
- ARDELAN, I.; ZARNEA, G. Photosynthesis respiration interplay in cyanobacteria: fundamentals and application. In: SUBRAMANIAN, G.; KAUSHIK, B. D.; VENKATARAMAN, G. S. (Ed.). **Cyanobacterial biotechnology**. Enfield: Science, 1998. p. 103-107.
- ASLAN, S.; KAPDAN, I. K. Batch kinetics of nitrogen and phosphorus removal from synthetic wastewater by algae. **Ecological Engineering**, Amsterdam, v. 28, n. 1, p. 64-70, Nov. 2006.
- BAI, M. et al. Microalgal pigments potential as byproducts in lipid production. **Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers**, Taipei, v. 42, n. 5, p. 783-786, Sept. 2011.
- BASTOS, R. G. et al. Bioconversão do nitrogênio do efluente da parboilização do arroz por incorporação em biomassa da cianobactéria *Aphanothece microscopica* Nägeli. **Revista Ambiente e Água**, Taubaté, v. 5, n. 3, p. 258-264, 2010.
- BASTOS, R. G. et al. Growth of cyanobacteria *Aphanothece* sp. on exogenous sugars. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 27, n. 1, p. 156-161, 2011.

BASTOS, R. G. et al. Remoção de nitrogênio e matéria orgânica do efluente da parboilização do arroz por *Aphanothece microscopica* Nägeli na ausência de luminosidade. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 9, n. 2, p. 112-116, 2004.

BATISTA, A. P. et al. Combining urban wastewater treatment with biohydrogen production: an integrated microalgae-based approach. **Bioresource Technology**, Essex, v. 184, p. 230-235, May 2015.

BATISTA, A. P. et al. Comparison of microalgal biomass profiles as novel functional ingredient for food products. **Algal Research**, New York, v. 2, n. 2, p. 164-173, Mar. 2013.

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**, New York, v. 14, n. 2, p. 557-577, Feb. 2010.

BROWN, M. R. et al. Nutritional properties of microalgae for mariculture. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 151, n. 3, p. 315-331, May 1997.

CHEN, C. Y. et al. Cultivation, photobioreactor design and harvesting of microalgae for biodiesel production: a critical review. **Bioresource Technology**, Essex, v. 102, n. 1, p. 71-81, Jan. 2011.

CHOJNACKA, K.; MARQUEZ-ROCHA, F. J. Kinetic and stoichiometric relationships of the energy and carbon metabolism in the culture of microalgae. **Biotechnology**, Dickson, v. 3, n. 1, p. 21-34, 2004.

DAL MAGRO, C.; HEMKEMEIER, M.; COLLA, L. M. Remoção de cromo VI e DQO de meio de cultivo adicionado de efluente com elevada concentração de cromo a partir da microalga *Spirulina platensis*. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE BIOPROCESSOS, 18., 2011, Caxias do Sul. **Anais...** Caxias do Sul: UCS, 2011. 1 CD-ROM.

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**, Oxford, v. 35, n. 19, p. 10218-10238, Oct. 2010.

DE-BASHAN, L. E.; BASHAN, Y. Immobilized microalgae for removing pollutants: review of practical aspects. **Bioresource Technology**, New York, v. 101, n. 6, p. 1611-1627, Mar. 2010.

DEL CAMPO, J. A. et al. Carotenoid content of chlorophycean microalgae: factors determining lutein accumulation in *Muriellopsis* sp. (Chlorophyta). **Journal of Biotechnology**, Amsterdam, v. 76, n. 1, p. 51-59, Jan. 2000.

DUMAS, A. et al. Biotreatment of fish farm effluents using cyanobacterium *Phormidium bohneri*. **Aquacultural Engineering**, London, v. 17, n. 1, p. 57-68, 1998.

FAY, P. **The blue-greens (Cyanophyta-cyanobacteria)**. London: E. Arnold, 1983. 88 p.

FAY, P. Oxygen relations of nitrogen fixation in cyanobacteria. **Microbiology and Molecular Biology Reviews**, Washington, v. 56, n. 2, p. 340-373, 1992.

GONZÁLES, L. E.; CANIZARES, R. O.; BAENA, S. Efficiency of ammonia and phosphorus removal from a Colombian agroindustrial wastewater by the microalgae *Chlorella vulgaris* and *Scenedesmus dimorphus*. **Bioresource Technology**, New York, v. 60, n. 3, p. 259-262, June 1997.

GOUVEIA, L. et al. Evolution of pigment composition in *Chlorella vulgaris*. **Bioresource Technology**, Essex, v. 57, n. 2, p. 157-163, Aug. 1996.

GOUVEIA, L. et al. *Neochloris oleabundans* UTEX #1185: a suitable renewable lipid source for biofuel production. **Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology**, New York, v. 36, n. 6, p. 821-826, Apr. 2009.

GOUVEIA, L.; OLIVEIRA, A. C. Microalgae as a raw material for biofuels production. **Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology**, New York, v. 36, n. 2, p. 269-274, Nov. 2009.

HARUN, R. et al. Bioprocess engineering of microalgae to produce a variety of consumer products. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Golden, v. 14, n. 3, p. 1037-1047, Apr. 2010.

HEREDIA-ARROYO, T. et al. Mixotrophic cultivation of *Chlorella vulgaris* and its potential application for the oil accumulation from non-sugar materials. **Biomass and Bioenergy**, Oxford, v. 35, n. 5, p. 2245-2253, May 2011.

JACOB-LOPES, E. et al. Protein characterization of the *Aphanothece microscopica* Nägeli cyanobacterium cultivated in parboiled rice effluent. **Ciência & Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 26, n. 2, p. 482-488, 2006.

JACOB-LOPES, E.; SCOPARO, C. H. G.; FRANCO, T. T. Rates of CO₂ removal by *Aphanothece microscopica* Nägeli in tubular photobioreactors. **Chemical Engineering and Processing**, Lausanne, v. 47, n. 8, p. 1365-1373, Aug. 2008.

KIM, J. et al. Removal of ammonia from wastewater effluent by *Chlorella vulgaris*. *Tsinghua. Science and Technology*, Beijing, v. 15, n. 4, p. 391-396, 2010.

KOMÁREK, J.; HAUER, T. **The on-line database of cyanobacterial genera**. Bohemia: University of South Bohemia; Institute of Botany AS CR, 2011. Disponível em: <<http://www.cyanodb.cz>>. Acesso em: 3 out. 2011.

KURANO, N. et al. Fixation and utilization of carbon dioxide by microalgal photosynthesis. **Energy Conversion and Management**, Oxford, v. 36, n. 6/9, p. 689-692, 1995.

LAM, M. K.; LEE, K. T. Microalgae biofuels: a critical review of issues, problems and the way forward. **Biotechnology Advances**, New York, v. 30, n. 3, p. 673-690, May/June 2012.

LI, Y. et al. Biofuels from microalgae. **Biotechnology Progress**, New York, v. 24, n. 4, p. 815-820, 2008.

LUBIÁN, L. M. et al. *Nannochloropsis* (*Eustigmatophyceae*) as source of commercially valuable pigments. **Journal of Applied Phycology**, Copenhagen, v.12, n.3, p.249-255, 2000.

MARQUES, A. et al. Microalgae biotechnological applications: nutrition, health and environment. In: _____. **Microalgae: biotechnology, microbiology and energy**. New York: New Science, 2011. p. 1-60.

MATA, T. M.; MARTINS, A. A.; CAETANO, N. S. Microalgae for biodiesel production and others applications: a review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Golden, v. 14, n. 1, p. 217-232, Jan. 2010.

MIAO, X.; WU, Q. Biodiesel production from heterotrophic microalgal oil. **Bioresource Technology**, Essex, v. 97, n. 6, p. 841-846, Apr. 2006.

MOAZAMI, N. et al. Large-scale biodiesel production using microalgae biomass of *Nannochloropsis*. **Biomass & Bioenergy**, Oxford, v. 39, p. 449-453, Apr. 2012.

MONTERO, M. F.; ARISTIZÁBAL, M.; REINA, G. G. Isolation of high-lipid content strains of the marine Microalgae *Tetraselmis suecica* for biodiesel production by flow cytometry and single-cell sorting. **Journal of Applied Phycology**, Copenhagen, v.23, n.6, p.1053-1057, 2011.

MULBRY, W. et al. Treatment of dairy manure effluente using freshwater algae: algal productivity and recovery of manure nutrients using pilot-scale algal turf scrubbers. **Bioresource Technology**, Essex, v. 99, n. 17, p. 8137-8142, Nov. 2008.

NOBRE, B. et al. A biorefinery from *Nannochloropsis* sp. microalga: extraction of oils and pigments: production of biohydrogen from the leftover biomass. **Bioresource Technology Special Issue: Biorefinery**, Essex, v. 135, p. 128-136, May 2013.

NOBRE, B. et al. Supercritical carbon dioxide extraction of astaxanthin and other carotenoids from the microalga *Haematococcus pluvialis*. **European Food Research and Technology**, Berlin, v. 223, n. 6, p. 787-790, Oct. 2006.

PARK, J. B. K.; CRAGGS, R. J.; SHILTON, A. N. Wastewater treatment high rate algal ponds for biofuel production. **Bioresource Technology**, Essex, v. 102, n. 1, p. 35-42, Jan. 2011.

PASQUALINO, J. C.; MENESES, M.; CASTELLS, F. Life cycle assessment of urban wastewater reclamation and reuse alternatives. **Journal of Industrial Ecology**, London, v. 15, n. 1, p. 49-63, Feb. 2011.

PEREZ-GARCIA, O. et al. Heterotrophic cultures of microalgae: metabolism and potential products. **Water Research**, Oxford, v. 45, n. 1, p. 11-36, Jan. 2011.

PITTMAN, J. K.; DEAN, A. P.; OSUNDEKO, O. The potential of sustainable algal biofuel production using wastewater resources. **Bioresource Technology**, Essex, v. 102, n. 1, p. 17-25, Jan. 2011.

POWELL, E. E.; HILL, G. A. Economic assessment of an integrated bioethanol-biodiesel-microalgal fuel cell facility utilizing yeast and photosynthetic algae. **Chemical Engineering Research and Design**, Elmsford, v. 87, n. 9, p. 1340-1348, Sept. 2009.

PULZ, O. Photobioreactors: production systems for phototrophic microorganisms. **Applied Microbiology and Biotechnology**, Berlin, v. 57, n. 3, p. 287-293, Oct. 2001.

PULZ, O.; GROSS, W. Valuable products from biotechnology microalgae. **Applied Microbiology and Biotechnology**, Berlin, v. 65, n. 6, p. 635-648, 2004.

QUEIROZ, M. I. et al. The kinetics of the removal of nitrogen and organic matter from parboiled rice effluent by cyanobacteria in a stirred batch reactor. **Bioresource Technology**, New York, v. 98, n. 11, p. 2163-2169, 2007.

QUEIROZ, M. I. et al. Single-cell oil production by cyanobacterium *Aphanethece microscopica* Nägeli cultivated heterotrophically in fish processing wastewater. **Applied Energy**, London, v. 88, n. 10, p. 3438-3443, Oct. 2011.

RUZENE, D.S. et al. An alternative application to the portuguese agro-industrial residue: wheat straw. **Applied Biochemistry and Biotechnology**, Clifton, v.147, n. 1/3, p. 85-96, Mar. 2008.

SHI, X. M. et al. Production of biomass and lutein by *Chlorella protothecoides* at various glucose concentrations. **Process Biochemistry**, Barking, v. 34, n. 4, p. 341-347, June 1999.

SINGH, A.; NIGAM, P. S.; MURPHY, J. D. Mechanism and challenges in commercialization of algal biofuels. **Bioresource Technology**, Essex, v. 102, n. 1, p. 26-34, Jan. 2011.

SPOLAORE, P. et al. Commercial applications of microalgae. **Journal of Bioscience and Bioengineering**, Osaka, v. 101, n. 2, p. 87-96, 2006.

STAHL, W.; SIES, H. Bioactivity and protective effects of natural carotenoids. **Biochemistry Biophysics Acta**, Nijmegen, v. 1740, n. 2, p. 101-107, 2005.

TAM, N. F. Y.; WONG, Y. S. Effect of immobilized microalgal bead concentrations on wastewater nutrient removal. **Environmental Pollution**, Amherst, v.107, n.1, p.145-151, 2000.

TOMASELLI, L. The microalgal cell. In: RICHMOND, A. (Ed.). **Handbook of microalgal culture**. Oxford: Blackwell, 2004. p. 3-19.

VARFOLOMEEV, S. D.; WASSERMAN, L. A. Microalgae as source of biofuel, food, fodder and medicines. **Applied Biochemistry and Microbiology**, Oxford, v. 47, n. 9, p. 789-807, 2011.

XU, H.; MIAO, X.; WU, Q. High quality biodiesel production from a microalga *Chlorella protothecoides* by heterotrophic growth in fermenters. **Journal of Biotechnology**, Amsterdam, v. 126, n. 4, p. 499-507, Dec. 2006.

YANG, Z. et al. Fermentative hydrogen production from lipid extracted microalgal biomass residues. **Applied Energy**, London, v. 88, n. 10, p. 3468-3472, Oct. 2011.

ZAMALLOA, C. et al. The techno-economic potential of renewable energy through the anaerobic digestion of microalgae. **Bioresource Technology**, Essex, v. 102, n. 2, p. 1149-1158, Jan. 2011.