

AS MICROALGAS COMO FONTE DE PRODUÇÃO DE BIODIESEL: DISCUSSÃO DE SUA VIABILIDADE

LAUREN ESPINOSA¹, NEYDA DE LA CARIDAD OM TAPANES², DONATO ALEXANDRE GOMES
ARANDA¹, YORDANKA REYES CRUZ¹

¹ Escola de Química, Universidade Federal de Rio de Janeiro, EQ/UFRJ, laurenepinosagonzalez@yahoo.es

² Centro Universitário Estadual da Zona Oeste, UEZO, neydatapanes@uezo.rj.gov.br

E-mail: laurenepinosagonzalez@yahoo.es, neydatapanes@uezo.rj.gov.br.

RESUMO:

Proporcionalmente ao crescimento do consumo de energia, cresceu a poluição, fazendo-se necessário o desenvolvimento de fontes energéticas “limpas”, que permitam a estabilização desse quadro de poluição. Por esse motivo as pesquisas têm se concentrado no desenvolvimento de novos insumos básicos, de caráter renovável, para a produção de combustíveis que possam substituir os derivados de petróleo, o que coloca a biomassa em papel de destaque. Nesse sentido a incorporação do biodiesel à matriz energética constitui um ganho ambiental significativo devido à redução das emissões. Sendo as microalgas produtores primários que armazenam energia solar para convertê-la em energia biológica, o presente trabalho busca uma análise de seu uso para a produção de biodiesel. Para este fim se propõe discutir a sua viabilidade técnica, econômica e ambiental levando em conta alguns cenários prováveis. Sem dúvidas as alternativas mais promissórias serão aquelas que apliquem o conceito de biorefinaria para otimizar a economia do processo assim como os ganhos ambientais.

Palavras- chave: Biodiesel; microalgas, viabilidade.

ABSTRACT:

Proportion to the growth of energy consumption, increased pollution, making it necessary the development of "clean" energy sources that enable the stabilization of this situation of pollution. For this reason, the research has focused on developing new basic petrochemicals, renewable character, to produce fuels that can replace petroleum, which puts the biomass in an important role. In this sense, the incorporation of biodiesel energy matrix is a significant environmental gain due to the reduction of emissions. Being microalgae primary producers that store solar energy to convert it into biological energy, this work seeks a review of its use for the production of biodiesel. To complete this objective, it has been proposed to discuss their technical, economic and environmental viability taking into account some likely scenarios. Without doubt, the most promissory alternative will be those applying biorefinery concept to optimize process economics as well as environmental gains.

Keywords: Biodiesel, microalgae, viability.

INTRODUÇÃO

As tendências atuais no fornecimento e uso da energia são insustentáveis - economicamente, ambientalmente e socialmente. Sem uma ação decisiva, a energia relacionada aos gases de efeito estufa vai mais que dobrar até 2050 e a demanda crescente por petróleo irá aumentar as preocupações sobre a segurança do abastecimento. Podemos e devemos mudar o caminho em que estamos hoje. As tecnologias de baixo teor de carbono de energia terão um papel crucial na revolução da energia necessária para fazer esta mudança acontecer. (OECD/IEA 2011).

Os biocombustíveis hoje comercializados são o bioetanol e o biodiesel. Projeta-se um crescimento da ordem de 14% a.a. para os biocombustíveis líquidos nos próximos 5 anos, sendo o mercado atual da ordem de US\$ 26 bilhões (Biomass Research and Development Technical Advisory Committee 2007). Hoje existe uma grande variedade de tecnologias de conversão de biocombustíveis convencionais e avançados das quais depende a qualidade final dos biocombustíveis, sempre visando processos mais eficientes. Os processos de biocombustíveis convencionais, como o etanol a partir de açúcar, biodiesel a partir de transesterificação, apesar de já disponíveis

comercialmente, continuam a melhorar em eficiência e economia. As rotas de conversão avançadas, como o etanol celulósico ou o óleo vegetal hidrogenado, estão se movendo para a fase de demonstração ou já estão lá. No caso do biodiesel baseado em microalgas ainda encontra-se na fase de P+D básico e aplicado. (OECD/IEA 2011).

O biodiesel, biocombustível derivado de fonte renovável para uso em motores a combustão interna com ignição por compressão, contribui para a redução da temperatura global do planeta e dos custos com a saúde, devido à redução das emissões, pois parte do gás carbônico emitido na queima do combustível é absorvida durante o crescimento da cultura da matéria-prima utilizada na sua produção (Bermann 2008). Além de isto proporciona emprego e renda, é totalmente miscível em óleo diesel mineral, aumenta a lubricidade do combustível melhorando o desempenho do motor, é biodegradável e não tóxico (Encarnação 2008).

O uso de algas é de grande importância para captura de CO₂ e produção de biomassa, bio-óleo e produtos de alto valor agregado (espirulina, astaxantina, carotenos, etc.). Apesar do grande interesse que a utilização de algas para a produção de biocombustíveis e bioprodutos tem despertado, os problemas existentes, entenda-se economia do cultivo, colheita e extração do óleo, são vistos ainda como importantes. O potencial das microalgas é reconhecido: alto rendimento em óleo (60%), rápido crescimento, utilização de terras e recursos de baixo custo de oportunidade, não competição com alimentos e captura e uso de CO₂. Entretanto, ainda é necessária melhor compreensão dos princípios de base para que o scale-up comercial seja viável, P&D fundamental e aplicado ainda parecem necessários. (Darzins e Garofalo 2009) Dentro das principais temáticas de pesquisa e desenvolvimento que tem hoje a produção de biocombustíveis baseado em microalgas, encontram-se os custos eficientes do cultivo, a colheita e a extração do óleo. A reciclagem da

água e nutrientes assim como o valor agregado dos coprodutos constituem assuntos de grande interesse para lograr a viabilidade do processo.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para este trabalho se levaram em consideração bibliografia dos últimos 10 anos, com o 50% dentro dos últimos 5 anos, onde foram estudadas as principais experiências refletidas na literatura. Também se levaram em conta os estudos relativos ao sistema de cultivo usado no Laboratório GreenTec da Escola de Química/UFRJ os quais são descritos em relatórios técnicos. Seguiu-se a técnica da análise de cenários para discutir as seguintes variantes:

Cenário 1: Produção de Biodiesel baseado em microalgas com o aproveitamento de água residual.

Cenário 2: Produção de Biodiesel baseado em microalgas com o aproveitamento de CO₂ industrial e venda dos créditos de carbono.

Cenário 3: Produção de Biodiesel baseado em microalgas com o aproveitamento de coprodutos de valor agregado. Tais cenários serão avaliados levando em conta os seguintes aspectos: Viabilidade técnica, Viabilidade econômica, Viabilidade ambiental.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Viabilidade técnica da produção de biodiesel baseado em microalgas
Extrair óleo das algas é como tirar o suco da laranja: com uma reação química adicional. As algas são plantadas em sistemas de lagoas abertas ou fechadas. Uma vez que as algas são colhidas, os lipídios, ou óleos, são extraídos das paredes das células das algas, o que pode ser feito utilizando vários métodos (Defanti et al. 2010). Esse óleo passa ser processado para obtenção de biodiesel.

O crescimento fotossintético requer luz, dióxido de carbono, água e sais inorgânicos. A temperatura deve manter-se geralmente dentro de 20 a 30 ° C. Para minimizar os gastos, a produção de biodiesel deve contar com a luz

solar disponível livremente, apesar das variações diárias e das diferentes estações do ano nos níveis de luz. O meio de crescimento deve fornecer os elementos inorgânicos que constituem a célula de algas. Os elementos essenciais incluem nitrogênio (N), fósforo (P), ferro e, em alguns casos silício. Os meios de crescimento são geralmente baratos (Chisti 2007).

A produção em larga escala da biomassa de microalgas em geral, usa a cultura contínua durante o dia. Neste método de operação, o meio de cultura fresco é alimentado a uma taxa constante e a mesma quantidade de cultivo de microalgas é retirado continuamente. Segundo expõe Chisti 2007, os únicos métodos viáveis de produção em larga escala de microalgas são lagoas Raceway e fotobioreatores tubulares.

Cultivo (Lagoas Raceway vs. fotobioreatores)

O cultivo de microalgas para a produção de biodiesel em raceway ponds tem sido largamente avaliado em estudos financiados pelo Departamento dos Estados Unidos visto que constitui uma metodologia menos dispendiosa que os fotobioreatores em termos de custos de construção e manutenção. Contudo, este tipo de cultivo, embora apresente produtividades geralmente superiores a 10 g de peso seco/m²d, mantém-se aquém do rendimento dos fotobiorreatores. Uma vez que um sistema aberto é sujeito a flutuações diárias e sazonais de temperatura, as perdas para a atmosfera por evaporação tornam também a utilização do CO₂ menos eficiente, o que conduz a uma produtividade sub-ótima. Adicionalmente, a contaminação por algas e microrganismos que se alimentem de algas, afeta também a eficiência da produção de biomassa (OILGAE, 2012). Uma produção por período muito longo acaba sendo contaminada e por isso, essa não é a forma mais indicada para obtenção de compostos puros a partir de alga para indústria farmacêutica, de cosméticos

ou alimentícia (Arceo 2010).

Contudo, os lagos de cultivo aberto apresentam algumas vantagens: não competem por terra agricultável e podem ser construídos em terras com produção marginal, requerem menos consumo energético para manutenção, operação e limpeza e podem retornar um balanço energético favorável. É por isso que este tipo de sistema é geralmente encarado como a base para a cultura de microalgas em larga escala para a produção de biodiesel, embora estejam ainda a serem optimizadas as condições para cultura das espécies-chave para a produção de biodiesel (OILGAE, 2012).

No caso dos fotobioreatores, os cultivos são realizados em sistemas fechados, em painéis de forma plana ou em forma de serpentinas, espirais ou cilindros, construídos com tubos de plástico, vidro ou policarbonato. Os tubos formam o sistema coletor de luz solar, no interior dos quais uma solução de microalgas é circulada, advindas de um reservatório, onde o ar (contendo CO₂) é alimentado, a alimentação é mantida constante, durante os períodos de sol. Subseqüentemente à passagem pelos tubos, parte do inóculo é removido como produto e o restante recirculado à coluna de separação de gás. Água, CO₂ e os nutrientes necessários são providos de forma controlada, enquanto oxigênio tem que ser removido (Borges 2010). Existem muitas variações, mas de forma geral os fotobioreatores podem ser classificados quando ao formato em: planos, tubulares ou verticais (tubulares em coluna). Nos fotobioreatores é possível controlar as condições de cultivo (quantidade de nutrientes, temperatura, iluminação, pH etc.). Isto implica uma elevada produtividade, viabilizando a produção comercial de uma série de compostos de elevado valor agregado (Teixera 2007).

Seu ponto forte principal é a baixa contaminação exterior, o que possibilita cultura e obtenção de monoculturas e compostos para farmácia e alimentação produzem biomassa de forma mais densa, o que reduz os custos de colheita, mas ainda

assim sua montagem e manutenção é mais cara que o cultivo aberto (Arceo 2010).

Suas principais limitações incluem: sobreaquecimento, bio-incrustantes, acúmulo de oxigênio, dificuldade de ampliação, alto custo de construção, operação do cultivo algal e danos às células pelo estresse de cisalhamento (shear stress) e deterioração do material utilizado para aproveitar a iluminação natural. Adicionalmente, o custo da produção de biomassa algal em fotobioreatores pode ser maior que em tanques. Isto dependerá do destino que será dado à biomassa microalgal (obtenção de químicos de alto ou baixo valor no mercado) (Brennan & Owende 2010). Devido ao exposto acima, os fotobioreatores podem não ter um impacto significativo em um futuro próximo sobre qualquer produto ou processo que possa ser obtido nos tanques aerados abertos.

Colheita

Diversas metodologias podem ser utilizadas para a colheita de microalgas. Os custos de colheita da biomassa representam cerca de 20-30 % do custo total. Atualmente, a colheita da biomassa de microalgas baseia-se em processos de sedimentação em campos gravitacionais, centrifugação, fracionamento de espuma, floculação, filtração por membrana e separação com ultra-som (Carlsoon 2007).

Secagem ou desidratação

Uma vez que ocorre a separação a biomassa é desidratada. Para tanto, podem ser empregadas diversas técnicas, dentre os mais comuns têm-se a secagem com spray (spray-drying), tambor de secagem (drum-drying), liofilização e secagem ao sol. A secagem ao sol é mais utilizada para biomassas com um baixo teor de umidade e a secagem com spray não é economicamente viável para produtos de baixo valor, como biocombustíveis e proteínas. A liofilização tem sido utilizada para secagem de

microalgas em pesquisas laboratoriais. No entanto, este método é muito caro para ser utilizado em uma escala comercial para a recuperação de produtos microalgais. Em alguns casos, a extração com solvente de biomassa seca tem demonstrado uma maior recuperação de metabólitos intracelulares do que a biomassa úmida. Produtos intracelulares como óleos podem ser de difícil extração de biomassas úmidas de células não rompidas. Mas são extraídas facilmente se a biomassa for seca anteriormente (Brennan & Owende 2010).

Extração do óleo

Embora existam diversas metodologias para a ruptura celular, o critério fundamental é a maximização do valor dos materiais obtidos. A ruptura mecânica das células é geralmente o método por excelência uma vez que evita a contaminação química da preparação.

A extração do óleo das microalgas é um tópico polêmico atualmente debatido em virtude de seu alto custo e pode determinar a sustentabilidade do biodiesel de microalgas (Pérez 2007). De acordo com este autor, há cinco métodos bem conhecidos para extrair o óleo das sementes oleaginosas, e estes métodos também devem aplicar-se bem para as microalgas: Prensagem, Extração por solventes, Extração fluída supercrítica, Extração enzimática, Choque osmótico.

Produção de Biodiesel: Transesterificação vs. hidroesterificação

Uma vez que os óleos são extraídos a partir da pasta de microalgas, são depois transformados em biodiesel e glicerina onde geralmente são utilizados os métodos da transesterificação (alcalina ácida ou enzimática) ou a hidroesterificação. Ambos apresentam as suas vantagens e desvantagens.

Na hidroesterificação, a reação de hidrólise eleva a acidez da matéria-prima e torna desnecessária a remoção dos ácidos graxos

livres, que é realizada no refino. Sendo assim, qualquer matéria-prima graxa (gordura animal, óleo vegetal, óleo de fritura usado, borras ácidas de refino de óleos vegetais, entre outros) pode ser utilizada neste processo, independente da acidez e da umidade. A possibilidade de utilizar matéria-prima nestas condições é o grande diferencial em relação ao processo tradicional de transesterificação que, inevitavelmente, gera sabões e afeta o rendimento das plantas e dificulta a separação do biodiesel e da glicerina. (Encarnação 2008). O alto custo de produção da biomassa seca e da extração do óleo podem ser resolvidos mediante a utilização do processo de hidroesterificação, já que a secagem da biomassa não seria precisa. Tais mudanças são apropriadas quando são utilizadas águas residuais (Cenário 1) para o cultivo das algas. Para cultivos que visam obter o valorizar todos os componentes das microalgas (Cenário 3), pode ser que este processo não seja o mais adequado, as altas temperaturas utilizadas podem trazer consequências nefastas para as proteínas e vitaminas que ainda contém o “CAKE” de algas. A esterificação gera então o biodiesel e como subproduto a água, que pode ser reutilizada no processo de hidrólise, fechando o ciclo. O processo de hidroesterificação (hidrólise seguida de esterificação) se insere neste contexto como uma alternativa ao processo convencional de produção de biodiesel (Arceo 2010). Em relação aos custos de ambos processos, como cerca de 80% do custo de produção do biodiesel é proveniente do custo da matéria-prima, a hidroesterificação permite um significativo salto na viabilidade de um projeto de biodiesel. Na tabela 1 se apresenta um estudo comparativo em relação aos custos operacionais destes processos:

	Transesterificação	Hidrólise + Esterificação
Químicos (€/L)	4	1
Energia (€/L)	1	2
Custos Operacionais (€/L)	5	3

Tabela 1 Comparação dos custos operacionais entre as tecnologias Transesterificação e Hidrólise + Esterificação (50,000 mton/ano). Fonte: Cruz & Aranda 2011.

Viabilidade econômica

Atualmente, o processo de produção de combustível a partir de algas poderá parecer não rentável, embora existam muitas empresas de biocombustíveis a base de algas, nenhuma ainda com a produção de quantidades em escala comercial nem a preços competitivos (St John 2009). Tem sido sugerido que o custo de produção deve ser reduzido em até duas ordens de magnitude para se tornar econômica (Wijffels 2007).

Muitas pesquisas publicadas apresentam resultados diferentes para o custo de produção e venda do biodiesel de microalgas. Estima-se que os custos de biodiesel a partir de algas, pelo menos, 10 a 30 vezes superior do produzido a partir de matérias primas convencionais (Kovalyova 2009). O custo estimado para o barril de óleo de microalgas pode variar de \$39 - \$69, onde estes cálculos foram feitos com base no cultivo de 400 hectares em tanques abertos, usando a liberação de CO₂ puro a partir da liberação de uma termoelétrica onde a previsão de produtividade é de 30-60g m² dia⁻¹ de biomassa de microalga com um rendimento aproximado de 50% de lipídeos (Kowalski 2010).

O custo para se produzir um kg de biomassa de microalgas é de US\$ 2,95 em fotobioreatores e US\$ 3,80 para produção em piscinas abertas (Chisti 2007). Estas estimativas pressupõem que o CO₂ está disponível sem custo e que as matrizes algais receberam água e luz solar. Quando a produção de biomassa aumenta para aproximadamente 10.000 ton. por ano o custo do kg reduz-se a cerca de US\$ 0,47

para produção em fotobioreatores e US\$ 0,67 para produção em piscinas abertas por causa da economia de escala.

O custo de produção de biomassa de algas seco num bioreactor tubular tem sido dado como US\$ 32.16 por Kg (Molina et al. 2003). Algumas estimativas indicam que os sistemas de reatores fechados só serão capazes de competir com o petróleo ao preço de US \$ 800 por barril (US \$ 5 por litro) (Broere 2009).

Muitos admitem que a indústria de cultivo de algas para biocombustíveis não pode ser rentável por si só. É necessário o aproveitamento de co-produtos de alto valor agregado, tais como "nutracêuticos", fertilizantes e a produção de energia a partir de resíduos de biomassa de algas.

Sem dúvidas o conceito de biorefinaria deve ser aplicado, já que os óleos representam apenas um dos muitos produtos com valor comercial. Um sistema integrado implica não só que a biomassa de algas alimenta diretamente a biorefinaria, mas também a direta utilização dos efluentes e gases de exaustão (por exemplo, gás de síntese, metano, calor, dióxido de carbono, esgoto, etc) pela biorefinaria ou usina de energia em nossos novos sistemas de produção de algas.

O Cenário 1, relativo ao aproveitamento de água residual, traz muitos benefícios tanto económicos como ambientais. As microalgas alimentadas por efluente, em um sistema de lagoa de estabilização, por exemplo, podem ser utilizadas para a obtenção de um óleo mais barato quando comparado aos obtidos em sistemas de cultivos. Isso levará a uma economia de água e nutrientes, bem como servirá para a remoção de nutrientes do efluente, como nitrogênio e fósforo.

A obtenção de biomassa microalgal diretamente da lagoa facultativa mostra-se como uma alternativa aos processos de obtenção de biomassa algal tradicionalmente utilizados (fotobioreator e tanques aerados). Além de apresentar um motivo para o investimento da instalação de um sistema para recuperar a biomassa microalgal deixando,

com isso, de lançá-la no córrego e podendo ter-se um ganho económico e ambiental (Cardoso & Vieira 2010).

Outro estudo foi o realizado por uma universidade espanhola: Universidade de Málaga com o cultivo da microalga *Scenedesmus dimorphus* utilizando uma fonte de água residual suína. Dado a possibilidade da água residual ser obtida sem custos adicionais existe a oportunidade de associar o crescimento de algumas espécies ao tratamento das águas residuais suínas conseguindo assim, por um lado, a obtenção a baixo custo de biomassa com apreciável conteúdo lipídico e, por outro lado, o tratamento dessas águas.

Por outra parte, não é mistério que o cultivo de microalgas requer de grandes quantidades de CO₂, dentre todos os organismos fotossintéticos e autotróficos, capazes de remover CO₂ de correntes gasosas, as microalgas são o grupo que suportam até 50% de CO₂. No caso de se integrar a qualquer usina que emita quantidades significativas de esse gás (Cenário 2), poderiam ser reduzido os custos e a poluição ambiental, além de gerar para a empresa uma nova fonte de ingressos ao existir a possibilidade de comercializar hoje em dia os créditos de carbono. Cada tonelada de CO₂ que é absorvida (sequestro de carbono) ou a quantidade de gases poluentes que deixam de ser produzidos pela empresa classificada como poluidora é convertida em uma unidade de crédito de carbono, que é negociada em dólar no mercado mundial. Levando em conta o relatório divulgado por Peters-Stanley & Hamilton 2012, aonde o preço médio ponderado dos créditos negociados no mercado OTC (Over-The Country) foi de US \$ 6/tCO₂e = R\$12/tCO₂e, e que segundo Chisti 2007 para o crescimento das microalgas se precisam 1,88356 Kg de CO₂/ kg de biomassa, então se obterá uma receita aproximadamente de R\$ 0,226 por cada quilograma de biomassa cultivada.

Em relação ao Custo de operação do processo de recuperação do CO₂, apesar de que antigamente se considerava custoso, alguns

autores já considerarem que este processo esteja disponível a baixos, ou nenhum custo (Chisti 2007), porém, se faz preciso analisar vários parâmetros que afetam sensivelmente essa estimativa. Atualmente pode ser assumido o custo operacional de US \$ 1,00 por tonelada de CO₂ recuperado, incluindo as etapas de coleta e redirecionamento de CO₂ para os tanques, com uma eficiência de 99% na recuperação de CO₂.

No caso do Cenário 3, é conhecido que os ácidos graxos poliinsaturados (ácido araquidônico - ARA, ácido eicosapentaenóico - EPA e ácido docosahexaenóico - DHA, por exemplo) e pigmentos carotenóides (astaxantina, betacaroteno, luteína, cantaxantina etc.) apresentam propriedades terapêuticas. Atualmente, são comercializadas como alimento natural ou suplemento alimentar e são encontradas formulações em pó, tabletes, cápsulas ou extratos. São também incorporadas em massas, petiscos, doces, bebidas etc., tanto como suplemento nutricional quanto como corantes naturais (Becker 2004). Na Tabela 2 mostra-se como são comercializados alguns produtos e aplicações obtidas da biomassa microalgal.

Microalga	Produção anual	Países produtores	Aplicações e produtos	Preço
Spirulina	3000 ton.	China, Índia, USA, Myanmar, Japão.	Nutrição humana	36 €/Kg
	Peso seco		Nutrição animal	11 €/mg
			Cosméticos	
Chlorella	2000 ton.	Taiwan, Alemanha, Japão	Fitobiotinas	36 €/Kg
	Peso seco		Nutrição humana	50 €/L
			Cosméticos	
Dunaliella salina	1200 ton.	Austrália, Israel, USA, Japão	Aquicultura	215-2150 €/Kg
	Peso seco		Nutrição humana	
Aphanizomenon flos-aquae	500 ton. seco	USA	Beta caroteno	
Haematococcus pluvialis	300 ton. seco	USA, Índia, Israel	Nutrição humana	
	seco		Aquicultura	50 €/L
Cryptocodinium cohnii	240 ton. óleo	USA	Astaxantina	7150 €/KG
	DHA		Óleo DHA	43 €/g
Shizochytrium	10 ton. óleo	USA	Óleo DHA	43 €/g
	DHA			

Tabela 2. Comercialização de produtos e aplicações a partir de algumas espécies de microalgas. Fonte: BRENNAN e OWENDE, 2010.

Por sua parte, o betacaroteno de fonte microalgal tem sido comercializado sob três formas: extratos, pó e como biomassa seca.

Segundo Ben-Amotz 2004, o preço deste produto varia entre US\$ 300,00 e US\$ 3.000,00 por quilograma. Em quanto as proteínas solúveis para alimentação humana podem ser vendidas a €5/kg e para alimentação animal em €0,75/kg (Wijffels et al 2010).

Viabilidade ambiental

Uma das características relevantes das microalgas é a capacidade destes micro-organismos transformarem o dióxido de carbono presente na atmosfera e a luz solar em várias formas de energia, através do processo de fotossíntese, também são capazes de remover a presença de outros compostos como NO e SO₂.

Neste contexto, as microalgas ganham destaque na redução de concentrações dos gases do efeito estufa devido à capacidade fotossintética e sua aplicabilidade em sistemas de engenharia em que a energia solar leva a fixação de CO₂ convertendo-o de energia térmica em biomassa rica em energia com adição de valor agregado gerando produtos químicos e alimentícios. (Chisti 2007).

Estima-se que a fixação de carbono por cultivos de microalgas em condições ótimas estaria entorno de 11-36 ton. C ha/ano. Durante a remoção de CO₂ e NO, gerados durante a combustão do carvão, por microalgas, estudos têm revelado que a remoção máxima de CO₂ chegou a 22,97%, e de NO 27,13% o que pode reduzir os custos com nutrientes do meio de cultivo e problemas gerados com a emissão de gases. (Moraes & COSTA 2008)

Por outra parte, as microalgas podem mitigar os efeitos dos esgotos e fontes industriais de nitrogênio residual como aqueles derivados de tratamento de água residual ou da ictiocultura e, ao mesmo tempo, contribuindo para a preservação da biodiversidade. Além disso, removendo nitrogênio e fósforo da água, as microalgas podem ajudar a reduzir a eutrofização no ambiente aquático (Mulbry et al 2008).

Também não pode se deixar de mencionar que

como seu cultivo pode ser feito em água marítima ou salobra e em terras não cultiváveis, não incorre na degradação dos solos, minimizando os impactos ambientais associados, ao mesmo tempo em que não compromete a produção de alimentos, forragens e outros produtos derivados de culturas.

Considerações Finais

As microalgas constituem uma alternativa promissora devido a suas inúmeras vantagens, por exemplo: o rendimento do óleo extraído para fazer biodiesel nas microalgas é cerca de 200 vezes maior do que o rendimento obtido com outras mais produtivas oleaginosas; podem ser produzidas em qualquer época do ano de forma rápida, os nutrientes para o cultivo de microalgas (especialmente nitrogênio e fósforo) podem ser obtidos a partir de águas residuais, tendo nestes casos dupla funcionalidade: captura de CO₂ e tratamento de efluentes contribuindo à manutenção e melhoria da qualidade do ar; podem produzir uma série de outros produtos valiosos além do óleo, tais como proteínas e carboidratos que podem ser utilizados como alimento para animais ou fertilizantes, ou fermentados para produzir etanol, metano, ou outros produtos com maior valor agregado, como PUFA's, pigmentos, açúcares e antioxidantes.

Em relação às desvantagens, além da suscetibilidade à contaminação e a adaptação ao ambiente, o aspecto que não pode se deixar de mencionar é a dificuldade para uma produção economicamente viável, o alto custo do processo de cultivo e da produção da biomassa seca e extração do óleo. Mas esses problemas podem se resolver num futuro quando se saibam aproveitar as vantagens já mencionadas anteriormente e aplicar o conceito de biorrefinaria com o objetivo de potencializar a economia do processo e os ganhos ambientais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARCEO, A. A. 2012. Dissertação de doutorado: Produção de biodiesel mediante o processo de Hidroesterificação do óleo de microalgas. Ángel Almarales Arceo. Escola de Química. UFRJ. Rio de Janeiro.

BECKER, W. 2004. Microalgae in human and animal nutrition. In: RICHMOND, A. (Ed). Handbook of microalgal culture: biotechnology and applied phycology. London: Blackwell Science, p.312-351.

BEN-AMOTZ, A. 2004. Industrial production of microalgal cell-mass and secondary products – major industrial species: *Dunaliella*. In: RICHMOND, A. (Ed). Handbook of microalgal culture: biotechnology and applied phycology. Oxford: Blackwell Science, p.273–280.

BERMANN, C. 2008. Crise ambiental e as energias renováveis. *Ciência e Cultura*, v. 60, n.3, p. 20-29.

Biomass Research and Development Technical Advisory Committee. 2007. Roadmap for bioenergy and Biodiesel Products in the United States. http://www1.eere.energy.gov/biomass/pdfs/obp_roadmapv2_web.pdf

BORGES, F. C. 2010. Proposta de um modelo Conceitual de biorrefinaria com estrutura descentralizada. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia. Porto Alegre.

BRENNAN, L. OWENDE, P. 2010. Biofuels from microalgae-A review of Technologies for production, processing, and extractions of biofuels and co-products. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. In Press, Corrected Proof.

BROERE, W. 2008. Harvesting Energy from Algae.Shell. [Online] Shell, 15 02. [Cited: 20

05 2009. http://www.shell.com/home/content/innovation/about_us/news_publications/...

CARDOSO, A., VIEIRA, G. G. 2010. Avaliação do potencial das microalgas residuais como uma alternativa à cadeia produtiva do biodiesel. Universidade Federal do Tocantins. Laboratório de Ensaio e Desenvolvimento em Biomassa e Biocombustível – LEDBIO.

CARLSSON, A. S., et al. 2007. Micro and macro-algae: utility for industrial applications. Output from the EPOBIO project. U.S.D.O. Agriculture. :CPL Press.

CHISTI, Y. 2007. Biodiesel from microalgae. *Biotechnol Adv* 25: 294-306.

CRUZ, Y. R, ARANDA, D. G. 2011. Relatório de tecnologias para a produção de biodiesel. Laboratório de Tecnologias Verdes (GREENTEC). Escola de Química. UFRJ.
Darzins, A.; Garofalo, R. 2009. Biofuels, *Bioprod. Bioref.*2009, 3, 426.

DEFANTI, L. S.; SIQUEIRA, N. S; LINHARES, P. C. 2010. 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.

ENCARNAÇÃO, A.P. 2008. Geração de Biodiesel pelos Processos de Transesterificação e Hidroesterificação, Uma Avaliação Econômica - Rio de Janeiro: UFRJ/EQ.144 p. Dissertação de Mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos- UFRJ, Escola de Química.

KOWALSKI, S. C. 2010. Análise da viabilidade técnica econômica do cultivo de microalgas para a produção de biodiesel. Estudo de caso Paranaguá. Dissertação de mestrado apresentada ao programa de Pós Graduação em Tecnologia e Meio Ambiente

do PRODETEC-IEP-LACTEC– Estado do Paraná, Curitiba.

MOLINA GRIMA. E.; BELARBI, E. –H.; FERNÁNDEZ, F. G. A.; MEDINA, A. R.; CHISTI, Y. 2003. Recovery of microalgal biomass and metabolites: process options and economics. *Biotechnol Adv*, v.20, p.491-515.

MORAIS, M.G.; COSTA, J.A.V. 2008. Bioprocessos para remoção de dióxido de carbono e óxido de nitrogênio por microalgas visando a utilização de gases gerados durante a combustão do carvão. *Quim. Nova*, v. 31, n. 5, p. 1038-1042.

MULBRY, W.; KONDRAD, S.; PIZARRO, C.; e KEBEDE-WESTHEAD, E. 2008. Treatment of dairy manure effluente using freshwater algae: algal productivity and recovery of manure nutrients using pilot-scale algal turf scrubbers. *Bioresource Technol*, v.99, p.8137-8142.

OECD/IEA. 2011. Technology Roadmap Biofuels for Transport. International Energy Agency.

OILGAE. 2012. Biodiesel from Algae. <http://www.oilgae.com/algae/oil/biod/biod.html>.

PÉREZ, HOMERO E. B. Biodiesel de Microalgas, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – IPEN, 1-19, 2007.

PETERS-STANLEY.M.; HAMILTON. K. Back to the Future. Developing Dimension: State of the Voluntary Carbon Markets. A Report by Ecosystem Marketplace & Bloomberg New Energy Finance, 2012.

ST JOHN, J. 2009. Algae Company Number 56: Plankton Power. Greentech Media. <http://www.greentechmedia.com/articles/read/plankton-power-another-algae...>

TEIXEIRA, C. 2007. Um Novo Sistema de Cultivo de Microalgas para a Produção de Biodiesel. INT. Rio de Janeiro.

WIJFFELS, R.H. 2007. Potential of Sponges and Microalgae for Marine Biotechnology. Trends Biotechnol: 26, 1, p. 26-31.

WIJFFELS R, BARBOSA M, EPPINK MHM. 2010. Microalgae for the production of bulk chemicals and biofuels. Biofuels Bioprod Biorefin 4:287–95.