



UNIVERSIDADE PRESIDENTE ANTÔNIO CARLOS

INSTITUTO DE ESTUDOS TECNOLÓGICOS E SEQUENCIAIS DE JUIZ DE FORA

Magno Angelo

**A redução da emissão de gases de efeito estufa no Brasil, através do biodiesel de
microalgas.**

Juiz de Fora - MG

Dezembro 2014

Magno Angelo

**A redução da emissão de gases de efeito estufa no Brasil, através do biodiesel de
microalgas.**

Monografia de conclusão de curso
apresentada ao Instituto de Estudos Tecnológicos
da Universidade Presidente Antônio Carlos, como
requisito parcial à obtenção do título de
“Tecnólogo em Gestão Ambiental”.

Professor Orientador Vinícius Campos de Almeida – M. Sc.

Instituto de Estudos Tecnológicos e Sequenciais de Juiz de Fora - UNIPAC

Juiz de Fora – MG

Dezembro 2014

Resumo do Trabalho apresentado à Universidade Presidente Antônio Carlos como parte dos requisitos necessários para a obtenção do Diploma de Tecnólogo em Gestão Ambiental.

A REDUÇÃO DA EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA NO BRASIL,
ATRAVÉS DO BIODIESEL DE MICROALGAS

Magno Angelo

Dezembro de 2014

Orientadores:

Este trabalho apresenta uma nova alternativa sustentável para produção de biocombustível e ao meio ambiente. As microalgas comparadas a outras matérias-primas produtoras de óleo apresentam uma elevadíssima produtividade em biomassa seca (dezenas de ton.ha/ano), sendo, portanto, uma matéria-prima capaz de suprir a totalidade do necessário em biodiesel para a meta com o B2 - 2% de adição ao diesel, (já em vigor a partir do ano de 2008) e com o B5 - 5% de adição ao diesel, (entrará em vigor, até o ano de 2013), e até a sua substituição integral com o B100. O gargalo da produção de microalga para a produção deste biocombustível é o alto custo de produção, que pode ser diminuído por um aumento na produtividade em biomassa e em óleo.

As microalgas apresentam maior eficiência fotossintética que os vegetais superiores e são eficientes fixadoras de CO₂ e podem apresentar uma produtividade em óleo pelo menos cinco vezes superior em relação ao cultivo de oleaginosas, por exemplo, ao dendê, a oleaginosa de maior produtividade.

Sumário

1 – Introdução	1
2 – História do Biodiesel	3
3 - Conceito e importância do Biodiesel	7
4 - Programa Nacional do Biodiesel	8
5 - Aspectos produtivos e econômicos do biodiesel	10
6 - Vantagens e desvantagens do uso do biodiesel	14
6.1 - Vantagens do uso do biodiesel	14
6.2 – Desvantagens do uso de biodiesel	17
7 - Biodiesel e o Protocolo De Kyoto	17
8 - Levantamentos da aplicabilidade de biocombustíveis no Brasil	21
8.1 - Etanol no Brasil	21
8.1.1 - Impactos sociais regionais	22
8.2 - Bicompostíveis no Brasil	23
9 – Conclusão	30
10 - Referências bibliográficas	31

A redução da emissão de gases de efeito estufa no Brasil, através do biodiesel de microalgas.

1 – Introdução.

Biocombustível é definido comumente como um combustível derivado de materiais biológicos, incluindo matéria orgânica morta que não esteja fossilizada, e também proveniente de produtos metabólicos de organismo vivos, como, por exemplo, óleo vegetal para a produção de biodiesel (DERMIBAS, 2009).

O acaso dos combustíveis fósseis e as consequências ambientais provocadas pela queima descontrolada destes colocam em cheque a mais usada fonte de energia da sociedade contemporânea, o petróleo. As oscilações de seu preço advindas das intempéries políticas da região em que estão situados os maiores produtores também é um ponto de incerteza e insegurança que mostra que o mundo necessita desenvolver substitutos para esse tipo de fonte de energia. Entre as diversas alternativas energéticas da atualidade (eólica, nuclear, solar, etc.) as oriundas de biomassa surgem como as mais promissoras, especificamente a álcool e o biodiesel (ABREU, 2012).

Na busca por fontes de energia menos poluentes e mais econômicas, pesquisadores brasileiros dão um grande passo ao mostrar a eficiência das microalgas, encontradas no litoral brasileiro, como matéria-prima para produzir biodiesel. A pesquisa, desenvolvida pelo Instituto de Biologia da Universidade Federal Fluminense (UFF), sugere que as algas têm capacidade de gerar 90 mil litros de óleo por hectare ao ano, enquanto a soja, principal base do biodiesel do Brasil, produz apenas 500 litros por hectare. Além disso, as algas ajudam a combater o efeito estufa, uma vez que precisam de dióxido de carbono (CO₂) para se reproduzirem (ZANOTTO, 2005).

As microalgas são organismos unicelulares e habitam quase todos os ambientes existentes. Entretanto, em sua maioria, as microalgas são de ambientes marinhos. O grande destaque destes organismos microscópicos é a sua enorme capacidade de produzir biomassa por unidade de área e tempo. Além disso, algumas espécies armazenam grandes quantidades de óleo (AZEREDO, 2012).

Para AZEREDO (2012), as principais vantagens das microalgas para a produção de biodiesel em relação às culturas tradicionais são:

- As microalgas podem ser cultivadas em áreas não utilizáveis pela agricultura, portanto, áreas desérticas, semiáridas e degradadas podem ser utilizadas para o seu cultivo;
- Devido à característica anterior o cultivo de microalgas para a produção de biocombustíveis não competiria com a produção de alimentos, um dos principais pontos contra a expansão da produção das culturas tradicionais. Além disso, o cultivo de microalgas não ocasionaria um aumento no desmatamento, outro ponto importante contra as culturas tradicionais;
- As microalgas apresentam rendimentos, tanto em termos de biomassa quanto em produção de óleo, muito superiores aos das principais culturas para a produção de biodiesel, por exemplo. O limite inferior de rendimento de óleo (em litros /ha) das microalgas é cerca de 65% maior do que a cultura terrestre com maior rendimento, que é a palma;
- Além disso, as microalgas podem ser utilizadas para mitigar emissões de gases de efeito estufa de fontes estacionárias, como usinas térmicas à combustível fóssil.

2 – História do Biodiesel.

Para PENIDO (2005), ao final do século XIX, a partir da invenção do motor a diesel, pelo engenheiro francês de origem alemã Rudolph Christian Carl Diesel (1858-1913) - que vislumbrou pela primeira vez a possibilidade de usar óleos vegetais como combustível, afirmou, em certa ocasião, de forma premonitória que o “motor a diesel pode ser alimentado com óleos vegetais e poderia ajudar no desenvolvimento dos países que o utilizem”.

Rudolph já previa o ganho ambiental que o Planeta teria se utilizasse este combustível biodegradável. Sendo biodegradável é não tóxico e, praticamente, livre de enxofre, sendo considerado um combustível 100% ecológico (PENIDO, 2005).

Segundo SHAY (1993), devido ao baixo custo e alta disponibilidade do petróleo nessa época, este passou a ser o combustível largamente usado nestes motores. Com o passar do tempo, tanto o motor quanto o combustível foram evoluindo na busca de maior eficiência e menor custo, a tal ponto que, atualmente, não mais é possível utilizar petróleo ou óleos vegetais in natura diretamente. Os problemas de abastecimento de petróleo no mercado mundial, gerados pelos conflitos armados que se iniciaram na década de 30, aliados à tentativa de países europeus de desenvolverem alternativas energéticas para as suas colônias tropicais, levaram à busca por soluções viáveis para a substituição do combustível fóssil.

Como resultados, alguns processos, foram estudados para a transformação de triglicerídeos e ácidos graxos em combustíveis líquidos, como a transesterificação¹, a esterificação² e o craqueamento³.

¹ Transesterificação é uma reação química entre um éster (RCOOR') e um álcool (R''OH) da qual resulta um novo éster (RCOOR'') e um álcool (R'OH).

² Esterificação é uma reação química reversível na qual um ácido carboxílico reage com um álcool produzindo éster e água.

³ Craqueamento é a divisão de um composto em partes menores pela ação de calor e/ou catalisador.

A mistura de ésteres metílicos ou etílicos de ácidos graxos, conhecida hoje como biodiesel, pode ser obtida pela transesterificação de triacilglicerídeos⁴ com metanol⁵ ou etanol⁶. Para fins energéticos, esta reação foi estudada, inicialmente, na Bélgica e, em decorrência, surgiu em 1937, a primeira patente relatando a transesterificação de óleos vegetais em uma mistura de ésteres, metílicos ou etílicos de ácidos graxos, utilizando catalisadores básicos, como os hidróxidos de metais alcalinos (SUAREZ & MENEGUETTI, 2007).

De acordo com o GERIS *et al.* (2005), transesterificação nada mais é do que a separação da glicerina do óleo vegetal. Cerca de 20% de uma molécula de óleo vegetal é formada por glicerina. A glicerina torna o óleo mais denso e viscoso. Durante o processo de transesterificação, a glicerina é removida do óleo vegetal, deixando o óleo mais fino e reduzindo a viscosidade. É um termo usado para descrever uma importante classe de reações orgânicas onde um éster é transformado em outro através da troca do resíduo alcoxila. Quando o éster original reage com um álcool, o processo de transesterificação é denominado alcoólise. Esta reação é reversível e, prossegue, essencialmente, misturando os reagentes. Contudo, a presença de um catalisador (ácido ou base) acelera, consideravelmente, esta conversão, como também, contribui para aumentar o rendimento da mesma.

Posteriormente, CHAVANNE (1942), relatou que foram realizados diversos testes de uso em larga escala, tendo, inclusive, rodado mais de 20.000 km com caminhões usando biodiesel obtido pela transesterificação de óleo de dendê com etanol.

⁴ Triacilglicerídeos são prontamente reconhecidos como óleos ou gorduras (ver óleo vegetal e gordura), produzidos e armazenados nos organismos vivos para fins de reserva alimentar.

⁵ É um composto químico com fórmula química (CH₃OH) líquido inflamável possui chama invisível, fundindo-se a cerca de -98 °C. É usado no processo de transesterificação da gordura, para produzir biodiesel.

⁶ O etanol ou álcool etílico pode ser extraído do milho, da soja, do coco de babaçu, da beterraba, da batata ou da cana de açúcar. A queima desses combustíveis ocorre de maneira mais limpa que a gasolina, produzindo menos hidrocarbonetos e monóxido de carbono, porém, essa queima produz formaldeído, considerada um gás cancerígeno.

Segundo GATEAU (1985), o Instituto Francês do Petróleo em 1940, realizou diversos testes utilizando a tecnologia belga para produção de biodiesel a partir de dendê e etanol, tendo obtido resultados extremamente satisfatórios.

No Brasil, também na década de 40 ocorreu uma das primeiras tentativas de aproveitamento energético dos óleos e gorduras em motores à combustão interna. Têm-se notícia de estudos e uso de óleos vegetais puros em motores diesel, sendo, inclusive, proibida a exportação destes para forçar uma queda no seu preço e, assim, viabilizar o seu uso em locomotivas (CHEMICAL & METALLURGICAL ENGINEERING, 1943). Já pesquisadores americanos desenvolveram um processo utilizando catalisadores ácidos seguidos de catalisadores básicos para evitar a formação de sabões e viabilizar a transformação de óleos brutos, com índices de acidez elevados, diretamente, em biodiesel (KEIM, 1946).

Segundo GOLDEMBERG *et al.* (2004) e a Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais (CETEC), em resposta ao desabastecimento de petróleo ocorrido nas décadas de 70 e 80, o Governo Federal criou além, do amplamente, conhecido Programa Nacional do Alcool (PROÁLCOOL), o Plano de Produção de Óleos Vegetais (PROÓLEO) para fins carburantes, elaborado pela Comissão Nacional de Energia, através da Resolução nº 007, de 22 de outubro de 1980. Previa-se a regulamentação de uma mistura de 30% de óleo vegetal ou derivado no óleo diesel e uma substituição integral em longo prazo.

Para o autor, a partir da década de 80, quando sucessivas crises conjunturais ou estruturais fizeram com que pesquisadores e governantes voltassem mais uma vez para a procura de alternativas renováveis para substituir o petróleo, o biodiesel retornou à cena, como a principal alternativa ao diesel (KEIM, 1946).

Na década de 90, países europeus começaram a implantar programas de uso de biodiesel. Hoje são 2 milhões de veículos que rodam no continente com este biocombustível. Na Alemanha e na Áustria, por exemplo, já se emprega o biodiesel puro (B100). Com isso existe uma grande possibilidade do Brasil vir a exportar biodiesel, aumentando o superávit da balança comercial e contribuindo para a preservação do meio ambiente (PENIDO, 2005).

De acordo com MA & HANNA (1999), além dos fatores econômicos e políticos discutidos, anteriormente, a partir da década de 90, devido a um aumento da conscientização acerca dos problemas ambientais causados pela queima de combustíveis fósseis, o biodiesel, também, tem sido apontado como uma alternativa. De fato, diversos estudos apontam que o uso deste biocombustível diminui a emissão de gases relacionados com o efeito estufa, tais como hidrocarbonetos⁷, monóxido⁸ e dióxido de carbono⁹, além de materiais particulados e óxidos de enxofre, esses últimos responsáveis pela chuva ácida.

Em 2002, a etanolise¹⁰ de óleos vegetais foi considerada como a rota principal para um programa de substituição do diesel de petróleo batizado na Portaria MCT nº 702, de 30 de outubro de 2002 como PROBIODIESEL. Foi proposto substituir até 2005 todo o diesel consumido no Brasil por B5 (5% biodiesel e 95% mistura de diesel) e, em quinze anos, por B20 (20% biodiesel e 80% mistura de diesel) (VIGLIANO, 2003).

⁷ Os hidrocarbonetos naturais são compostos químicos constituídos apenas por átomos de carbono (C) e de hidrogênio (H), aos quais se podem juntar átomos de oxigênio (O), nitrogênio (N) e enxofre (S) dando origem a diferentes compostos de outros grupos funcionais.

⁸ O Monóxido de Carbono (CO) é um gás levemente inflamável, incolor, inodoro e muito perigoso devido à sua grande toxicidade. É produzido pela queima em condições de pouco oxigênio (combustão incompleta) e/ou alta temperatura de carvão ou outros materiais ricos em carbono, como derivados de petróleo.

⁹ O dióxido de carbono, ou anidrido carbônico, ou gás carbônico é um composto químico constituído por dois átomos de oxigênio e um átomo de carbono. A representação química é CO₂. O dióxido de carbono foi descoberto pelo escocês Joseph Black em 1754.

¹⁰ Etanolise *sf.* (etanol+lise) Quím. Alcoólise com álcool etílico.

3 – Conceito e importância do Biodiesel.

O biodiesel é um combustível diesel de queima limpa, derivado de fontes naturais e renováveis como os vegetais. É uma alternativa altamente viável que resolve dois grandes problemas ambientais ao mesmo tempo: aproveitamento de resíduos, aliviando os aterros sanitários, e redução da poluição atmosférica, pela redução na emissão de gases de efeito estufa (PENIDO, 2005).

Para PENIDO (2005), este é um mercado novo para as oleaginosas, com perspectiva da redução de poluentes, além de favorecer um novo ramo da agroindústria, com efeito multiplicador em vários segmentos da economia, envolvendo óleos vegetais, álcool, óleo diesel e mais os insumos e subprodutos da produção do éster vegetal. O biodiesel reduz 78% (setenta e oito por cento) das emissões de poluentes como o dióxido de carbono que é o gás responsável pelo efeito estufa que está alterando drasticamente o clima à escala mundial.

O consumo do biodiesel e de suas misturas pode ajudar um país a diminuir sua dependência do petróleo, contribuir para a redução da poluição atmosférica, uma vez que o biodiesel não contém enxofre em sua composição, além de gerar alternativas de empregos em áreas geográficas menos propícias para outras atividades econômicas, promovendo assim, a inclusão social (SUAREZ E MENEGUETTI, 2007).

PENIDO (2005), estudos apontam que o esgotamento de fontes de energia fóssil para os próximos 40 e 50 anos, destacando a necessidade de buscar outras fontes alternativas. No entanto, os constantes conflitos envolvendo os países do Oriente Médio, onde estão localizadas 80% das reservas comprovadas de petróleo do mundo, conferem instabilidade aos suprimentos e aos preços dos combustíveis, incentivando várias nações a reduzir a dependência em relação à importação do produto.

A crescente preocupação ambiental, em particular, com as condições climáticas globais, coloca a própria sustentabilidade em xeque do atual consumo padrão de consumo energético. Todos esses fatores, cuja importância varia de País para País, vem criando oportunidades para a viabilização econômica de novas fontes de energia de biomassa em vários países do mundo. O uso do etanol, biodiesel, carvão vegetal, biogás, energia obtida a partir de resíduos do agronegócio desperta interesse em várias nações, devendo ocupar posição de destaque na economia num futuro próximo (PENIDO, 2005).

Segundo o Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel, a Lei nº 11.097, de 13 de janeiro de 2005 - da Agência Nacional de Petróleo e Biocombustíveis, Gás e Biocombustíveis, biodiesel é um “biocombustível derivado de biomassa renovável para uso em motores a combustão interna com ignição por compressão ou, conforme regulamento para geração de outro tipo de energia, que possa substituir parcial ou totalmente combustíveis de origem fóssil”.

A perspectiva de o Brasil se consolidar como principal supridor mundial de combustíveis renováveis de elevado conteúdo energéticos é viável graças à sua dimensão continental, sua localização em área tropical, por possuir abundantes recursos hídricos e de imensas áreas desocupadas (PENIDO, 2005).

4 – Programa Nacional do Biodiesel.

Para SUAREZ & MENEGUETTI (2007), a partir de 2003 um novo impulso é dado a essa área e um Decreto Presidencial, de 2 de julho de 2003, criou um Grupo de Trabalho Interministerial, encarregado de apresentar estudos da viabilidade do uso como combustível de óleos, gorduras e derivados, e indicar as ações necessárias para a sua execução. No relatório final, de 4 de Dezembro de 2003, esta comissão considera que o biodiesel deve ser introduzido imediatamente na matriz energética brasileira e

recomenda que: i) o uso não deve ser obrigatório, para poder acessar o mercado de carbono advindo do protocolo de Kyoto; ii) não deve haver uma rota tecnológica ou matéria-prima preferencial para a produção de biodiesel e, iii) deve ser incluído o desenvolvimento socioeconômico de regiões e populações carentes.

Para programar estas sugestões, foi então criada, pelo Decreto Presidencial de 23 de dezembro de 2003, uma Comissão Executiva Interministerial (CEIB) e é coordenado pelo Ministério das Minas e Energia. Após um ano de amadurecimento, foi lançado o Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (PNPB), no dia 4 de dezembro de 2004, sendo o seu principal objetivo garantir a produção viável economicamente do biocombustível, tendo como tônica a inclusão social e o desenvolvimento regional (SUAREZ & MENEGUETTI, 2007).

A principal ação legal do Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (PNPB) foi à introdução de biocombustíveis derivados de óleos e gorduras na matriz energética brasileira pela Lei nº 11.097, de 13 de janeiro de 2005. Esta lei prevê o uso opcional de 2% de biodiesel (B2), até o início de 2008, quando passará a ser obrigatório. Entre 2008 e 2013, poderão ser usadas blendas com até 5% de biodiesel, quando o B5 será obrigatório (SUAREZ & MENEGUETTI, 2007).

Segundo SUAREZ & MENEGUETTI (2007), no entanto, a Agência Nacional do Petróleo (ANP), na Resolução ANP nº 42 de 24 de novembro de 2004, regulamentou apenas o uso de ésteres metílicos ou etílicos de ácidos graxos, sejam esses obtidos por transesterificação ou esterificação. A Resolução ANP nº 41 de 24 de novembro de 2004 regulamentou, ainda, que, para funcionar em nível comercial, as indústrias de biodiesel devem receber autorização dessa agência.

Apesar de ainda não ser regulamentado o uso de combustível derivado de óleos e gorduras que não seja o Biodiesel, existem diversos estudos sendo realizados no Brasil. Dentre estas iniciativas na área dos combustíveis alternativos ao biodiesel, podem ser citadas: mistura de álcool e outros compostos oxigenados diretamente ao diesel; miniusina para craqueamento de óleos e gorduras em pequena escala visando à autosuficiência energética de fazendas e comunidades isoladas e, o hidrocraqueamento¹¹ de óleos e gorduras misturadas com correntes de diesel no processo de hidrodessulfurização em refinarias de petróleo, processo desenvolvido pela Petrobrás e conhecido por H-BIO (SUAREZ & MENEGUETTI, 2007).

Para SUAREZ & MENEGUETTI (2007), cabe salientar que a Resolução ANP nº 19 de 2007 permite o uso desses combustíveis (ou de outros combustíveis sólidos, líquidos ou gasosos) em caráter experimental, em frotas cativas ou para consumo próprio, desde que monitorado por essa agência.

5 - Aspectos produtivos e econômicos do biodiesel.

Para SUAREZ & MENEGUETTI (2007), o biodiesel pode ser produzido a partir de gorduras animais ou de óleos vegetais, existindo dezenas de espécies vegetais no Brasil que podem ser utilizadas, tais como mamona, dendê (palma), girassol, babaçu, amendoim, pinhão manso e soja, dentre outras a partir de qualquer fonte de ácidos graxos, porém nem todas estas fontes viabilizam o processo a nível industrial. Os resíduos graxos também aparecem como matéria-prima para a produção do biodiesel. Nesse sentido, podem ser citados os óleos de frituras, as borras de refinação, a matéria graxa dos esgotos, óleos ou gorduras vegetais ou animais fora de especificação, ácidos graxos, Também, são uma possível fonte alternativa de óleos.

¹¹ Hidrocraqueamento é um conjunto de processos nos quais frações de petróleo são tratadas com hidrogênio, na presença de um catalisador adequado.

A produção de bio-óleos a partir de algas tem sido pesquisada por uma centena de laboratórios e empresas no mundo. Empresas tais como CHEVRON, EXXON, NASA, USDOE, HONEYWELL, BOEING, OILFOX, têm anunciado instalações comerciais. Existe farto conhecimento da produção de algas em lagoas de alta taxa aproveitando efluentes domésticos. As algas podem produzir energia o ano todo, em oposição às culturas vegetais, com uma ou, no máximo, duas colheitas anuais (NREL, 1998).

Por comparação, um hectare de soja pode produzir em média 450 l/ha.ano de bioóleo; pinhão-manso pode produzir em média 1.900 l/ha.ano; palmáceas podem produzir até 6.000 l/ha.ano. Algas, no entanto, a 10 g/m²/dia e 30% de Triglicerídeos Totais (TGT), podem produzir até 12.000 l/ha.ano. Algas a 50 g/m²/dia, 50% TGT, podem produzir até 98.500 l/ha.ano. O bio-óleo pode ser transesterificado a biodiesel ou empregado diretamente em motores agrícolas, SVO (Straight Vegetable Oil) (Yuan Liu, *et al.*, 2008). Em média, em tanques a céu aberto, a taxa de fixação de CO₂ é de 1,6: 1, ou 1 g de algas fixa 1,6 g de CO₂. Nesses tanques, a uma taxa de crescimento máxima de 50 g/m²/dia, um hectare de espelho líquido irá sequestrar uma tonelada de CO₂ por dia. Processos patenteados mostram que essa tonelada de CO₂ pode produzir 54 kg de óleo, 52 kg de CH₄, 135 kg de proteína e 270 kg de agri-char (condicionante de solo) (SCHENK, *et al.*, 2008).

Para DE LUCA, *et al.* (2008) existem alguns questionamentos a respeito dessa técnica de produção de bio-óleos de algas. Vai desde a sobrevivência, no ambiente, de algas específicas, de alta produtividade lipídica, manutenção de taxas de crescimento e do teor de lipídios, aproveitamento do CO₂ de soluções enriquecidas, efeito da penetração da luz solar e da fluorescência, sazonalidade das populações naturais e das condições ambientais, etc., até custos e tecnologias de colheita, secagem, concentração e

extração das algas e problemas de biosegurança. Muitas espécies têm sido candidatas ao enriquecimento: *Chorella vulgaris*, *Navicuola pelliculosa*, *Dunaliella sp.*, dentre as principais. Sob deplecionamento de N, por exemplo, a cepa *Botryococcus braunii* produziu de 25 a 75% de seu peso em triglicerídeos totais; a *Nannochloropsis sp.*, de 31 a 68%; a *Schizochytrium sp.*, de 50 a 77%; a *Neochloris oleaabundans*, de 45 a 47%; a *Scenedesmus dimorphus*, de 16 a 40%, e, a *Tetraselmis suecica*, até 30% do seu peso em triglicerídeos totais. Os gêneros *Chlorella*, *Scenedesmus* e *Nitzschia* são comumente encontrados em tanques de engorda de camarão e em lagoas de alta taxa de tratamento de efluentes. As tecnologias de colheita das algas são o grande componente de custo. As técnicas mais baratas envolvem a coagulação com quitosana e a remoção dos coágulos por flotação a ar dissolvido, seguidas de centrifugação do flotado e extração do bio-óleo com hexano. Quitosana pode ser produzida a partir da casca do camarão. Este trabalho apresenta uma avaliação da potencialidade de produção de bio-óleos de algas e da quantidade de carbono sequestrado.

O biodiesel substitui total ou parcialmente o óleo diesel de petróleo em motores ciclodiesel automotivos (de caminhões, tratores, camionetas, automóveis, etc.) ou estacionários (geradores de eletricidade, calor, etc.). Pode ser usado puro ou misturado ao diesel em diversas proporções. A mistura de 2% de biodiesel ao diesel de petróleo é chamada de B2 e assim sucessivamente, até o biodiesel puro, denominado B100 (SUAREZ E MENEGUETTI, 2007).

Ainda nesse setor da cadeia outra pergunta que surge é se existiria capacidade interna de processamento de oleaginosas para extração do óleo necessário à produção deste biocombustível, pois como foi citado anteriormente o consumo de biodiesel junto ao óleo diesel, a partir de 2008, de acordo com a Lei nº 11.097, de 13 de janeiro de

2005, que prevê o uso opcional de B2 até o início de 2008, quando passará a ser obrigatório (RATHMANN *et al.*, 2005).

Estudos já apontam esse problema como um futuro “gargalo”, pois se estima que até o ano 2050 deva dobrar o uso mundial de biomassa disponível. Estes ainda apontam que ocorrerão tensões no que tange ao uso de terra agriculturável para fins de apropriação da biomassa. (FISCHER, 2001).

As tabelas 1 e 2, a seguir, indicam que a capacidade diária de processamento e refino de óleos vegetais no Brasil, em toneladas/dia por estado e total do país, suficiente para atender a necessidade, também diária, de biodiesel B2, a qual seria de aproximadamente 2 milhões de litros (RATHMANN *et al.*, 2005).

Tabela 1 - Capacidade de Processamento - valores em tonelada/dia

Estado	UF	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	%
Paraná	PR	31.500	28.650	28.950	31.765	32.115	32.950	33.850	35.150	22,6
Mato Grosso	MT	10.820	14.500	14.500	20.600	21.000	21.400	22.000	24.800	16,0
Rio Grande do Sul	RS	19.000	20.150	20.100	19.700	21.200	23.600	24.800	25.800	16,6
Goiás	GO	8.660	9.060	10.320	16.920	18.150	18.800	19.650	19.250	12,4
São Paulo	SP	14.700	12.950	14.450	14.950	15.600	16.400	16.650	17.780	11,4
Mato Grosso do Sul	MS	7.330	6.630	6.980	7.295	8.295	9.360	9.560	9.575	6,2
Minas Gerais	MG	5.750	6.450	6.350	6.400	6.600	6.600	6.600	6.600	4,2
Bahia	BA	5.200	5.460	5.460	5.344	5.344	5.500	5.500	5.530	3,6
Santa Catarina	SC	4.130	4.050	4.000	4.034	4.034	4.034	4.034	4.034	2,6
Piauí	PI	260	260	1.760	2.360	2.360	2.460	2.460	2.530	1,6
Amazonas	AM	-	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	1,3
Pernambuco	PE	400	400	400	400	400	400	400	400	0,3
Ceará	CE	200	-	-	-	-	-	-	-	-
Maranhão	MA	-	-	-	-	-	-	2.000	2.000	1,3
TOTAL		107.950	110.560	115.270	131.768	137.098	143.504	149.504	155.449	100

FONTE: ABIOVE (2005)

Tabela 2 - Capacidade de Refino - valores em tonelada/dia.

Estado	UF	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	%
Paraná	PR	2.730	2.490	2.650	2.910	3.160	3.160	3.460	3.460	16,1
Mato Grosso	MT	600	650	650	1.250	1.250	2.450	2.700	2.600	12,1
Rio Grande do Sul	RS	1.860	1.890	1.720	1.650	1.650	1.950	2.000	2.000	9,3
Goiás	GO	1.420	1.570	1.610	2.090	2.230	2.770	3.070	3.510	16,3
São Paulo	SP	6.256	5.840	5.880	6.230	6.010	5.850	6.220	5.920	27,5
Mato Grosso do Sul	MS	490	540	540	540	540	540	540	720	3,3
Minas Gerais	MG	1.050	1.270	1.270	1.270	1.270	1.270	1.270	1.270	5,9
Bahia	BA	570	970	880	880	880	970	970	970	4,5
Santa Catarina	SC	530	530	530	530	530	450	450	450	2,1
Piauí	PI	120	120	120	120	120	120	120	120	0,6
Amazonas	AM	-	-	-	450	450	-	-	-	-
Pernambuco	PE	500	500	450	80	80	400	400	450	2,1
Ceará	CE	42	-	-	-	-	80	80	80	0,4
Maranhão	MA	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TOTAL		16.168	16.370	16.300	18.000	18.170	20.010	21.280	21.550	100

FONTE: ABIOVE (2005)

6 – Vantagens e desvantagens do uso do biodiesel.

6.1 – Vantagens do uso do biodiesel:

Para PENIDO (2005) podem ser auferidos inúmeros proveitos, como as vantagens agrícolas, técnicas, econômicas, sociais, ecológicas, nacionais, além das ambientais. O combustível é totalmente nacional e 100% renovável. O Brasil ficará menos dependente do petróleo, haverá um aumento de empregos no campo e, consequente fortalecimento do agronegócio.

Além de originar benefícios ambientais, o biodiesel, também, possibilita a geração de empregos, promovendo o desenvolvimento da agricultura nas zonas rurais mais desfavorecidas e evitando a desertificação (PENIDO, 2005).

A menor emissão de gases poluentes é uma das principais vantagens do uso de biodiesel. BARNWAL & SHARMA (2005) analisaram a emissão de gases poluentes pelas combustões de biodiesel e de óleo diesel de petróleo, obtendo resultados favoráveis para o biocombustível. Concluíram que o SO₂ é totalmente eliminado, a fuligem diminui em 60%, o CO e os hidrocarbonetos diminuem em 50%, os hidrocarbonetos poliaromáticos são reduzidos em mais de 70% e os gases aromáticos diminuem em 15%.

Os motores a óleo vegetal possibilitam uma redução enorme de gases poluentes, redução de até 53% de CO, 78% de CO₂ (gás responsável pelo efeito estufa, que esta alterando o clima à escala mundial), além de não emitir SO₂ (um dos causadores da chuva ácida) (PENIDO, 2005).

Segundo BARNWAL & SHARMA (2005) estudos realizados, em 1998, pelos Departamentos de Agricultura (USDA) e de Energia (USDE) dos Estados Unidos sobre a emissão de gás carbônico (CO₂) pelo biodiesel produzido de soja, desde a produção agrícola até a queima pelo motor, e do diesel de petróleo, da extração à combustão, as emissões de CO₂ pelo B20 e pelo B100 foram, respectivamente, 15,7% e 78,5% menores que as do óleo diesel derivado de petróleo. Entretanto, esse mesmo estudo concluiu que a emissão de alguns gases é maior durante a combustão do biodiesel, como a de óxidos de nitrogênio (NO e NO₂), cuja soma aumenta em 2,6% na mistura B20 e em 13,3% no B100, e a de ácido clorídrico (HCL), que aumenta em 2,8% no B20 e em 13,6% no B100.

Para PENIDO (2005) hoje o consumo nacional anual de diesel é de aproximadamente 36 bilhões de litros, sendo que um quinto (20%) é importado. A adição de biodiesel desoneraria a balança de pagamentos e geraria riquezas no interior

do país, sendo que a execução do mesmo requer uma rede estrutural complexa de produção, distribuição e empregos.

De acordo com o autor, o petróleo um dia acaba. PENIDO (2005) há previsões de que, no ritmo em que vem sendo explorado, o petróleo dure menos de um século e, deste modo, a sua substituição é não só urgente como estrategicamente viável.

Este combustível renovável é a melhor forma de tornar o país autossuficiente e exportador de combustíveis líquidos, assegurando suprimento seguro de energia (sem temores) a conflitos internacionais e aumenta o prestígio internacional do país com a execução de um programa ecologicamente equilibrado (selo verde) (PENIDO, 2005).

PENIDO (2005) este adustível é ecologicamente correto e promove a reversão do efeito estufa na fase de implantação do programa. Não é nocivo nem tóxico. Não é explosivo ou inflamável à temperatura ambiente. Não provoca danos ecológicos por vazamentos, pois é biodegradável e, permite a total preservação ambiental. Não contribui para a chuva ácida, pois não contém enxofre em sua composição. Devido a todas estas vantagens o biodiesel já esta sendo utilizado em diversos países do mundo e também no Brasil.

O produto já foi testado em carros, como no caso das montadoras francesas Peugeot e Citroën. Está em fase de teste também em locomotivas da América Latina Logística (ALL) percorrendo os estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, São Paulo e da mesma forma, na Argentina e em motores e geradores elétricos, em parceria com empresas do Paraná (PENIDO, 2005).

6.2 – Desvantagens do uso do biodiesel:

ZHANG *et al.* (2003) citam o custo da produção do biodiesel como um contínuo e grande obstáculo na sua produção, enquanto o óleo diesel derivado do petróleo apresenta um custo relativamente mais acessível em sua produção.

O custo de produção é muito variável, pois depende da matéria prima e do processo utilizado, além do local onde é produzido. A maior demanda pode estimular a produção de oleaginosas, aumentando a escala de produção e oferta grãos, o que pode resultar em diminuição do custo. No entanto, pode aumentar a competição entre a produção de alimentos e a produção de combustível, resultando em maior valor dos grãos e elevando o custo de produção (ZHANG *et al.*, 2003).

Apesar de ser um combustível renovável, a sua capacidade de produção é limitada, pois depende das áreas agrícolas disponíveis, que terão, também, de ser usadas para fins alimentares, e, portanto, só poderá substituir, parcialmente, o gásóleo¹² (SOUZA, *et al.*, 2006).

7 – Biodiesel e o Protocolo De Kyoto.

Segundo MARCOVITCH, (2006) o Protocolo de Kyoto é o mais importante acordo multilateral já firmado em toda a história da humanidade. O acordo global causou no Brasil e no mundo, a mais acesa discussão. Recentemente, recebeu o endosso de todas as nações, menos de duas. Fundamentou-se também na visão da maioria da comunidade científica internacional – um apoio que legitimou, consideravelmente, as marcas estabelecidas.

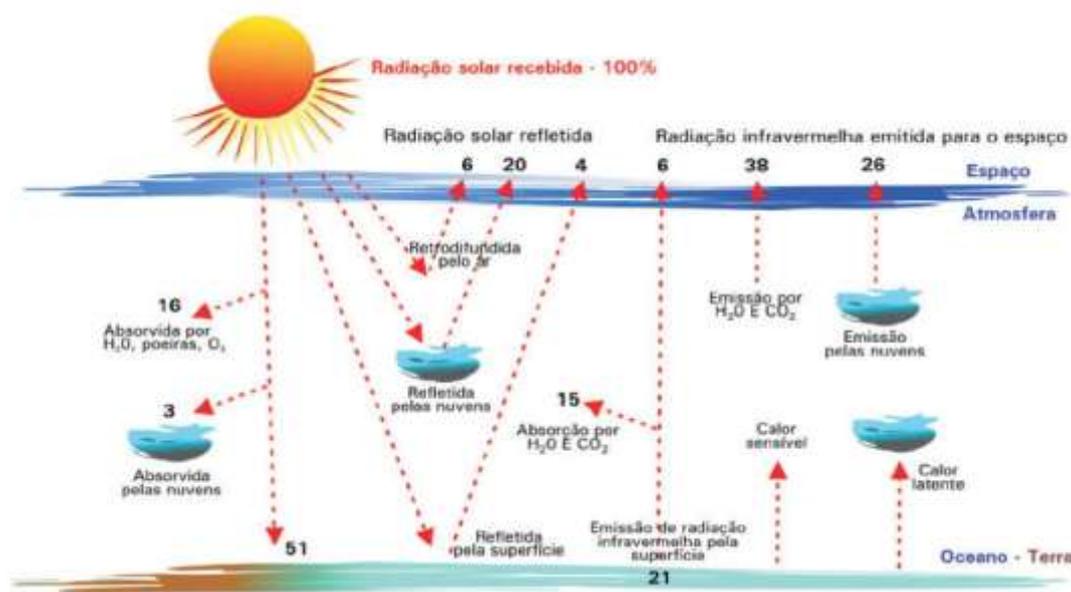
¹² É um derivado da destilação do petróleo bruto usado como combustível nos motores Diesel, constituído basicamente por hidrocarbonetos (óleo diesel ou gásóleo).

O fenômeno das mudanças climáticas vem sendo considerado pela comunidade científica como a mais séria ameaça para todas as formas de vida do planeta, com impactos adversos sobre o meio ambiente, a saúde humana, a segurança alimentar, as atividades econômicas (DANIELLE, 2008).

Muitos pensam que o efeito estufa é o principal causador do aquecimento global. Porém, isto é um engano, pois ele é uma ocorrência natural e benéfica para o planeta Terra. De acordo com DANIELLE (2008) o que prejudica o meio ambiente e ocasiona esse aquecimento é o que denominamos efeito estufa antrópico, oriundo das atividades desenvolvidas pelo ser humano, as quais emitem gases de efeito estufa.

DANIELLE (2008) menciona que para mitigar as mudanças climáticas, em 1997, foi firmado entre diversas nações o Protocolo de Kyoto, que está em vigência desde 16 de fevereiro de 2005, perante o qual alguns países industrializados se comprometeram a reduzir, em média, 5,2% de suas emissões de gases de efeito estufa, tornando-se por base as emissões de 1990, durante o período de 2008 a 2012, por assumirem o papel de grandes agentes provocadores do aquecimento global. O novo pacto internacional revigora o conceito de que o homem, também, habita o mundo e, não somente, sua casa, cidade ou país. A consciência planetária ganha dimensão maior e, por mais que insistam os céticos, o ambientalismo evoluiu para outros patamares (MARCOVITCH, 2006).

A Figura 1 apresenta, de forma esquemática, o efeito estufa natural, que pode ser acirrado com a emissão desenfreada de GEE.



Fonte: Biodiesel online Ltda. (2008).

Com a lei de biosegurança no Brasil, o Protocolo de Kyoto foi um verdadeiro avanço para reduzir a concentração de poluentes na atmosfera (MARCOVITCH, 2006).

Para PIÁ (adaptado, 2002) o Protocolo de Kyoto busca estagnar esse processo estipulando reduções no nível de emissão de CO₂. De acordo com esse documento, o Brasil comprometeu-se a reduzir as emissões em 5% até o ano 2012 (FERRES, 2001) e (MA, 1999). A utilização do biodiesel é uma forma prática de atingir esse objetivo.

A ratificação do Protocolo de Kyoto abriu perspectivas reais para que recursos externos sejam direcionados a projetos no Brasil que atinjam o desenvolvimento sustentável e contribuam para reduzir o efeito estufa através do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL). É importante resgatar a ideia inicial desta história. Através do MDL, projetos com reduções certificadas de emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) poderão gerar créditos de carbono, negociáveis com os países desenvolvidos. Mas, conforme o Artigo 12 do Protocolo de Kyoto, esses projetos têm que atingir a sustentabilidade, o que significa atender a critérios econômicos, ambientais e sociais. Certamente o critério social tem sido pouco explorado (PIÁ, 2002).

Segundo PENIDO (2005) o biodiesel, neste contexto, despontou como uma fonte de energia alternativa limpa que contribui para a redução da emissão de gases tóxicos na atmosfera terrestre.

Países, como Alemanha, Austrália, Áustria, Canadá, França, Itália, Portugal, entre outros, já aderiram aos biocombustíveis. Estes biocombustíveis suprem todas as necessidades da população frente aos combustíveis fósseis. Os investimentos que estes países fazem em biocombustíveis são, em regra, parte do acordo de Kyoto para reduzir a emissão de poluentes na face da Terra (PENIDO, 2005).

PENIDO (2005) menciona que, além disto, o biodiesel também favorece o sequestro de carbono na atmosfera. O sequestro de carbono é fruto do Protocolo de Kyoto, das especulações em torno da redução de poluentes e de um Planeta mais saudável.

O conceito de sequestro de carbono foi consagrado pela Conferência de Kyoto com a finalidade de conter e reverter o acúmulo de CO₂ na atmosfera, visando à diminuição do efeito estufa. A conservação de estoques de carbono nos solos, florestas e outros tipos de vegetação, a preservação de florestas nativas, a implantação de florestas e sistemas agroflorestais e a recuperação de áreas degradadas são algumas ações que contribuem para a redução da concentração do CO₂ na atmosfera (PENIDO, 2005).

O sequestro de carbono, assim como o biodiesel, é uma atividade que envolve toda a sociedade local, além de ser um projeto de desenvolvimento autossustentável.

8 – Levantamentos da aplicabilidade de biocombustíveis no Brasil.

8.1 – Etanol no Brasil:

- ✓ Divisão energética do uso de biocombustíveis:

Para MACEDO & NOGUEIRA (2004) o Brasil tem uma vocação natural para a produção de biocombustíveis, devido às condições favoráveis de clima e disponibilidade de áreas cultiváveis e água. O Brasil é reconhecido mundialmente pelo seu pioneirismo na introdução de um biocombustível – o etanol (álcool etílico), produzido a partir da cana de açúcar – em sua matriz energética.

Desde sua efetiva incorporação à matriz energética brasileira em 1975 até a atualidade, o etanol conseguiu importantes resultados: 1) a produção e a demanda ultrapassaram largamente (em volumes e escopo) as expectativas colocadas no início do Programa Nacional do Álcool (PNA), 2) a execução de tecnologias e avanços gerenciais tornaram este combustível renovável competitivo com os combustíveis fósseis e 3) as características de sua produção o tornam a melhor opção, no momento, para a redução de emissões de gases de efeito estufa no setor de transportes, em todo o mundo (MACEDO & NOGUEIRA, 2004).

A cana-de-açúcar é cultivada em mais de 5 milhões de hectares no Brasil, em todas as regiões geográficas do país, atingindo em 2003 uma produção de aproximadamente 345 milhões de toneladas, um quarto da produção mundial. Cerca de 50% foi utilizada para a produção de açúcar (23,4 x 106 ton.) e 50% para etanol (13.9 x 106 m³)¹³. Portanto, considerando a área total ocupada pela cana para fins industriais, a produção de etanol no Brasil ocupa hoje cerca de 2.5 milhões de ha, ao redor de 4% da superfície agrícola e 0,5% da superfície agricultável (MACEDO & NOGUEIRA, 2004).

¹³ Nastari, P.; O Desenvolvimento do Mercado de Álcool e o Potencial para GD, no VI Sem. Int. GD WADE – INEE, Rio de Janeiro, 2003.

Segundo MACEDO E NOGUEIRA (2004) a produção de cana aumentou de cerca de 120 para 240 milhões de toneladas entre 1975 e 1985. A partir desse ano, iniciou-se outro ciclo de expansão agrícola, basicamente motivado pela exportação de açúcar. Em 1990 a exportação de açúcar foi de 1,2 milhões de ton., ascendendo a 13,4 milhões de ton. em 2003, mostrando o extraordinário aumento da competitividade do produto brasileiro.

8.1.1 – Impactos sociais regionais:

A experiência com o etanol no Brasil indica ser possível para programas similares com biomassa ter impactos positivos e importantes na geração e qualidade de empregos; ajustes no número de empregos ou em sua qualidade podem ser feitos para acomodar os mercados locais, usando tecnologia adequadamente (MACEDO & NOGUEIRA, 2004).

A tendência irreversível no Brasil é seguir incorporando tecnologia e gerando menos empregos com maior qualidade. Esta tendência fica clara com a redução estimada de empregos na área de colheita da cana, nas regiões onde a limitação da queima ou a topografia adequada favorecem a colheita mecânica. Um estudo recente avalia que a introdução da colheita mecânica (hipóteses: 80% no Centro-Sul, 50% no Nordeste) poderia levar, quando completa (vários anos, na próxima década) a uma redução de cerca de 50 a 60% dos empregos diretos na área agrícola da cana; esta redução estaria concentrada nos trabalhadores de menor escolaridade (40% dos com menos de 3 anos de escola; 15% dos entre 4 e 7 anos de escola) (MACEDO & NOGUEIRA, 2004).

8.2 – Bicombustíveis no Brasil:

Além do desenvolvimento científico e tecnológico, uma questão que permeia a utilização de biomassa para produzir combustível é o dilema entre a segurança alimentar e energética. Por um lado, Brasil incentiva a produção dos biocombustíveis chamados, tais como álcool e biodiesel, por outro lado diversos países e organismos internacionais mostram a preocupação no aumento da crise mundial dos alimentos, argumentando que ela foi agravada pelo deslocamento das áreas tradicionalmente utilizadas para o cultivo de alimentos para a produção de insumos destinados à indústria dos biocombustíveis (SUAREZ *et al.*, 2009).

Na Tabela 3 existe um quadro comparativo entre as produtividades, por hectare, de diversas fontes de óleos e gorduras tradicionais e também de algas (CHISTI, 2007).

Tabela 3. Comparação de algumas fontes de matéria-prima para a produção de biodiesel.

Fonte de Biodiesel	Produtividade de óleo (L ha ⁻¹)	Área necessária (M ha) ^a
Milho	172	1540
Soja	446	594
Canola	1190	223
Coco	2689	99
Óleo de palma	5950	45
Microalga ^b	136900	2
Microalga ^c	58700	4.5

FONTE: ABIOVE, 2009 ^a Área suficiente para atender a 50% da demanda de combustíveis nos EUA;

^b variedades com 70% óleo (por peso) na biomassa; ^c variedades com 30% óleo (por peso) na biomassa.

Os dados relatados e apresentados na Tabela 3 representam valores médios aceitos na literatura e, não são absolutos, pois a produtividade de culturas agrícolas depende de inúmeros fatores, como clima, nutrientes no solo, irrigação, entre outros. Percebe-se claramente a partir desses dados que a soja possui uma produtividade muito baixa em lipídeos, demandando enormes quantidades de terra para suprir os mercados de biocombustíveis. No entanto, a soja corresponde hoje a aproximadamente 90% da

produção brasileira de óleos, o que faz com que seja a matéria-prima preferencial da indústria de biodiesel (ABIOVE, 2009).

Para FREITAS (2008) conforme o Ministério das Minas e Energia, a participação do óleo de soja na produção de biodiesel no país cresceu em 2008 de 78% em janeiro para 85% em novembro.

No entanto, fica claro que o aumento na demanda por óleos para produção de biocombustíveis dificilmente poderá ser atendido pela soja ou outros cereais como milho ou canola, uma vez que demandaria uma larga extensão de terra agriculturável. Uma produtividade melhor é alcançada com o uso de palmáceas, tidas por muitos especialistas em produção agrícola como as únicas viáveis hoje para atender programas de biodiesel em larga escala com baixo impacto na produção de alimentos (FREITAS, 2008).

Segundo OLIVEIRA, (2009) dentre as alternativas para produção de óleos e gorduras a partir da agricultura, tem-se dado um destaque especial à família *Jatropha*, especialmente ao gênero *Curcas*, conhecido no Brasil como pinhão-manso. Esta planta, assim como outras espécies da família *Jatropha*, é ainda pouco conhecida, mas pelo fato de ser perene e de se adaptar muito bem em regiões semiáridas tem sido apontada como ideal para a produção de óleos no nordeste brasileiro, utilizando a agricultura familiar.

Apesar de ser ainda bastante controversa a produtividade destas espécies devido ao pouco estudo científico, vários pesquisadores garantem que se pode obter por hectare até 2200 litros de óleo ao ano (DUARTE, 2008).

Portanto, um dos grandes desafios dos processos de produção de biocombustíveis é dispor de matérias-primas capazes de atender às expectativas dos programas energéticos sem impactar de forma significativa a produção de alimentos (SUAREZ *et al.*, 2009).

As microalgas são usadas há décadas na produção de encapsulantes e na aquicultura, para alimentar peixes e outros animais. Segundo o pesquisador, desde a década de 1970, depois da primeira grande crise do petróleo de 1973, já se pensava na aplicação desses organismos marinhos para a produção de energia a partir da biomassa (LOURENÇO, 2008).

As microalgas apresentam elevadíssimas produtividades em biomassa seca, o que representa menor gasto de área para o cultivo (TEIXEIRA & MORALES, 2006).

BROWN & ZEILER (1993) citam que as microalgas apresentam maior eficiência fotossintética que os vegetais superiores e são eficientes fixadoras de CO₂ oriundos de empresas poluidoras, o que colabora para a diminuição das emissões que contribuem para o efeito estufa.

Portanto, são várias as vantagens do cultivo de microalgas em relação ao cultivo de oleaginosas; em relação, por exemplo, ao dendê, a oleaginosa de maior produtividade, as microalgas podem apresentar uma produtividade em óleo pelo menos cinco vezes superior (TEIXEIRA *et al.*, 2007).

Para HUNTLEY & REDALJE (2006) as microalgas são cultivadas, principalmente, para a finalidade de suplemento alimentar, uso em aquicultura e extração de produtos de alto valor comercial. Não existem cultivos em escala comercial com a finalidade de produção de biodiesel; desta forma, não se tem informação sobre custos para este empreendimento; todavia, todos os projetos até agora implantados apresentam altos custos de implantação e de produção da biomassa.

Estes custos são superiores ao custo de produção das oleaginosas utilizadas em geral (CÂMARA & HEIFFIG, 2006).

Para TEIXEIRA *et al.* (2007) a viabilidade econômica da produção de biodiesel a partir de microalgas depende da diminuição dos custos de produção. Isto pode ser alcançado através do aumento da produtividade em biomassa e em óleo.

Em busca de alternativas viáveis, várias espécies vegetais estão sendo estudadas para extração de óleo, como a microalga *Chlorella protothecoides* que, quando se desenvolve heterotroficamente, apresenta alto conteúdo lipídico (55%) nas células e elevada produção de biomassa em tempo menor que o das culturas oleaginosas tradicionais (MIAO & WU, 2006).

Recentes estudos (FAO, 2006) mostraram que os óleos encontrados nas microalgas possuem similaridade quanto às características físico-químicas e químicas dos de óleos vegetais em geral e, que diante disso elas podem ser consideradas potenciais matérias-primas para a produção de biodiesel.

Na Tabela 4 observa-se que os óleos de algumas espécies de microalgas apresentam composição em ácidos graxos (SHEEHAN *et al.*, 1998) semelhante à de óleos vegetais, como por exemplo, os óleos de dendê, mamona e soja, com respectivamente, 22%, 45-50% e 18% de lipídeos (CÂMARA, 2006).

Tabela 4 – Percentual de lipídeos em algumas microalgas em relação à sua massa seca.

Microalga	% de lipídeos	Microalga	% de lipídeos
<i>Scenedesmus obliquus</i>	12 - 14	<i>Euclena gracillis</i>	14 – 20
<i>Scenedesmus dimorphus</i>	16 - 40	<i>Prymnesiumparvum</i>	22 – 38
<i>Chlamydomonas reinhardtii</i>	21	<i>Prophyridium cruentum</i>	09 – 14
<i>Chlorella vulgaris</i>	14 - 22	<i>Spirulina Platensis</i>	04 – 09
<i>Spirogyra sp.</i>	11 - 21	<i>Synechoccus sp.</i>	11
<i>Dunaliella tertiolecta</i>	64 - 71		

Fonte: TEIXEIRA, 2006.

Assim, com base em estimativas, o cultivo de microalgas apresenta várias características favoráveis como: custos parcialmente baixos para a colheita e transporte e menor gasto de água, quando comparados aos de cultivo de plantas; pode ser realizado em condições não adequadas para a produção de culturas convencionais. Além disso, as microalgas apresentam maior eficiência fotossintética que os vegetais superiores e podem ser cultivadas em meio salino simples; e, por fim, são eficientes fixadoras de gás carbônico (TEIXEIRA, 2006).

Quanto à qualidade do biodiesel produzido, apresentamos na Tabela 5 os dados referentes a itens da especificação do biodiesel, segundo a ANP, do biodiesel produzido a partir de algumas oleaginosas e de microalga (TEIXEIRA, 2008).

Tabela 5 – Características do biodiesel de oleaginosas e de microalga.

OLEAGINOSAS							
CARACTERÍSTICAS DO BODIESEL	NORMA ANP	SOJA	GIRASSOL	CANOLA	MAMONA	AMENDOIM	MICROALGA
PONTO DE FULGOR min. (°c)	100	140	152	159	153	149	115
ÍNDICE DE ACIDEZ Max. (mg KOH/g)	0,80	0,30	0,50	0,33	0,80	0,60	0,37
MASSA ESPECÍFICA 20°C (kg/m ³)	ANOTAR	876	877	878	913	872	864

Fonte: Elaboração própria a partir de dados de Relatório de análise da EQ – UFRJ

No entanto, a produção industrial de óleos a partir de microalgas ainda apresenta uma série de problemas tecnológicos: existe sempre a possibilidade de ataque de cepas de algas ou outros micro-organismos selvagens não produtores de óleos, ou que produzem em menor quantidade ou com composição indesejada; necessidade de se manter constante os diversos parâmetros de processo, tais como temperatura, pH e concentração dos nutrientes, pois a alteração desses parâmetros pode levar a uma queda acentuada na produção e mesmo a uma morte total do cultivo; os nutrientes necessários para o crescimento das algas, além do CO₂, são bastante caros; após o crescimento das algas, deve-se proceder à colheita, que significa separar esses organismos unicelulares e microscópicos do meio de cultura, não havendo ainda tecnologia adequada disponível para realizar essa operação em larga escala; após isolar as algas se deve extrair o óleo, sendo para isso necessário romper a parede celular das mesmas, não sendo possível utilizar os processos industriais usuais de extração; e, finalmente, o óleo produzido tem alto teor de água e de ácidos graxos livres, o que impede o seu uso direto em processos

alcalinos tradicionais de obtenção de biodiesel .Tais dificuldades fazem com que o custo de produção de óleo a partir do cultivo de algas seja hoje até 20 vezes superior ao custo a partir da soja, não havendo previsão para que nos próximos anos esta tecnologia possa ser usada em larga escala. Ou seja, ainda falta muita pesquisa e desenvolvimento para viabilizar o processo de obtenção de óleo a partir de algas para abastecer a indústria de biodiesel (TORREY, 2008).

Apesar da falta de dados, alguns pesquisadores já realizam algumas estimativas de produção. De acordo com BRIGGS (2004) a produção deverá situar-se entre 7,7 mil e 23 mil litros de óleo por hectare cultivado ao ano.

É possível observar que a maioria das pesquisas se concentra agora na determinação da aprimoração de condições de reação (uso ou não de solventes, temperatura, conteúdo de água, níveis de ácidos graxos livres, percentual de conversão, entre outros) para melhorar o rendimento da produção de biodiesel quando comparada à catálise química (AKOH et.al., 2007).

9 – Conclusão.

Pesquisas recentes indicam que a produção de biodiesel a partir de microalgas poderá mudar radicalmente o mercado de combustíveis. Com potencial de produção de óleo muito superior por área equivalente de cultivo do que as culturas tradicionais produzidas em terra e utilizadas na produção do biodiesel, as microalgas despertaram o interesse mundial em pesquisas e em estratégias dos investidores, estimulando à produção por meio de financiamentos e a comercialização dos subprodutos, práticas necessárias para que o biodiesel de microalgas torne-se economicamente atrativo.

Encontrou-se nas microalgas um grande potencial energético viável para a substituição das fontes não renováveis. Além da substituição, contribui para a diminuição do aquecimento global devido a grande capacidade de produzir fotossíntese, entre outras aplicações, as microalgas podem ajudar a reduzir as emissões de CO₂ de indústrias poluidoras, como termelétricas, siderúrgicas e cimenteiras.

10 - Referências Bibliográficas:

ABREU, YOLANDA VIEIRA DE. **Biodiesel no Brasil em três hiatos: Selo Combustível Social, Empresas e Leilões 2005 a 2012** / Yolanda Vieira de Abreu, Hugo Rivas de Oliveira, José Eustáquio Canguçu Leal. – Málaga, Espanha: Eumed.net, Universidad de Málaga, 2012. 214p.

AKOH, C. C.; CHANG, S.; LEE, G.; SHAW, J. **Abordagem enzimática para a produção de biodiesel. Enzymatic approach to biodiesel production.** J. Agric. Food Chem., v.55, p.8995-9005, 2007.

AZEREDO, VINÍCIUS BARBOSA SALLES. **Produção de Biodiesel a partir do Cultivo de Microalgas: Estimativa Preliminar de Custos e Perspectivas para o Brasil** /Vinícius Barbosa Salles de Azeredo – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2012. XVI, 171 p.: il.; 29,7 cm.

BARNWAL, B.K.; SHARMA, M.P. **Prospects of biodiesel production from vegetable oils in India.** Renewable & Sustainable Energy Reviews, v.9, n.4, p.368-378, 2005.

Biomass & Bioenergy, Pergamon, v.20, n.3, p. 151-159, mar., 2001.

BRASIL, **Lei nº 11.097, de 13 de janeiro de 2005.** Esta lei prevê o uso opcional de 2% de biodiesel (B2), até o início de 2008, quando passará a ser obrigatório. Entre 2008 e 2013, poderão ser usadas blendas com até 5% de biodiesel, quando o B5 será obrigatório. Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (PNPB).

BRASIL, **Resolução Agência Nacional do Petróleo (ANP) nº 41 de 24 de novembro de 2004** regulamentou, ainda, que, para funcionar em nível comercial, as indústrias de biodiesel devem receber autorização dessa agência.

BRASIL, **Resolução Agência Nacional do Petróleo (ANP) nº 42 de 24 de novembro de 2004** regulamentou, apenas o uso de ésteres metílicos ou etílicos de ácidos graxos, sejam esses obtidos por transesterificação ou esterificação.

CÂMARA, G. M. S.; HEIFFIG, L. S. **Agronegócio de plantas oleaginosas: matérias-primas para biodiesel**. Piracicaba (SP): Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Departamento de Produção Vegetal, Universidade de São Paulo, 2006.

CHAVANNE, G.; BULL. **Agric.** Congo Belge 1942, 23, 3.

CHEMICAL & METALLURGICAL ENGINEERING 1943. **May** 50, 225.

DANIELLA ZANOTTO MANOEL, EDMUR A. DOS SANTOS E RONILDO C. MANOEL CLUBE DE AUTORES. **Gestão De Projetos Ambientais** 10 de set de 2005 - 200 páginas.

DE LUCA, S. J. (2008). **Produção de Camarões pelo Processo Heterotrófico Superintensivo**. Relatório de Pesquisa. CNPq.

DEMIRBAS, A. (2009). “**Progresso e recentes tendências em combustíveis de biodiesel**” **Conversão e Gestão de Energia** 50 (1): 14-34.

DUARTE, A.; **Biodieselbr** 2008, 5, 32.

FAO. **Chapter 6 – Oil production**.

Disponível em: www.fao.org/docrep/w7241e/w7241e0h.htm. Acesso em: 11 dez. 2014.

FISCHER, G.; SCHRATTENHOLZER, L. **Global bioenergy potentials through 2050**. Freitas, R. C.; **Biodieselbr** 2008, 7, 52.

GATEAU, P.; GUIBET, J. – C.; HILTON, G.; STERN. R.; REV. **L’Institut Françaisdu Pétrole** 1985, 40, 509.

GERIS R.; DOS SANTOS, N. A. C.; AMARAL, B. A.; MAIA, I. S.; CASTRO. V. D.; CARVALHO, J. R. M.; **Biodiesel de soja – reação de transesterificação para aulas práticas de química orgânica, 2005.**

GOLDEMBERG, J.; COELHO, S. T.; PLÍNIO, M. N.; LUCOND, O.; **Biomass and Bioenergy** 2004, 26, 301.

HUNTLEY, M. E.; REDALJE, D. G. **CO₂ mitigation and renewable oil from photosynthetic microbes: a new appraisal – Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, 2006.** IIDA, I. Ergonomia – Projeto e Produção. São Paulo: EDITORA: Edgar Blucher, 2001.

KEIM, G. GI.; **Us** 2, 383 – 601, 1945 (CA 1946, 40, 4617).

LAMIRO, D. **Créditos de Carbono: Protocolo de Kyoto e Projetos de MDL.** /DANIELLE LAMIRO. / Curitiba; Juruá, 2008, 170p.

MA, F.; HANNA, M. A.; **Bioresour. Technol.** 199, 70, 15.

MACEDO, I. C., NOGUEIRA, L. A. H., **Avaliação da expansão da produção de etanol no Brasil. Brasília, 2004.**

MEHER, L. C.; SAGAR, D. V.; NAIK, S. N.; **Renew. Sustain. Energy Rev.** 2004, 10, 248.

MIAO, X.; WU, Q. **Biodiesel production from heterotrophic microalgal oil.** Bioresource Technology, v.97, n.6, p.841-849, 2006.

MORAES, M. S. A.; **Biodiesel de sebo: Avaliação de propriedades e testes de consumo em motor a diesel, 2008.**

NREL/TP-58-24190, 1998. **A Look Back to US Dept Energy Aquatic Species Program: BIODIESEL from Algae.** Washington, DC.

OLIVEIRA, J. S.; LEITE, P. M.; DESOUZA, L. B. MELLO, V. M.; SILVA, E. C.; RUBIM, J. C.; MENEGHETTI, S. M. P.; SUAREZ, P. A. Z.; **Biomass Bioenergy.**

2009, 33, 449.

PAULO A. Z. SUAREZ; ANDRÉ L. F. S.; JULIANA P. R.; MELQUIZEDEQUE B. A. **Biocombustíveis a partir de óleos e gorduras: desafios tecnológicos para viabilizá-los**, 2009.

PENIDO, H. R.; **A inclusão social, a preservação ambiental e os gastos econômicos**, 2005.

PIÁ, J. A.; **Perspectivas do Biodiesel no Brasil**, *Indic Econ. FEE*. Porto Alegre, v. 30, n. 2, p. 179-190, set, 2002.

Produção de Combustíveis líquidos a partir de óleos vegetais: **Relatório final do convenio STI – MIC/CETEC, CETEC: Belo Horizonte – MG**, 1983, Vol. 1 e 2.

RATHMANN, R., BENEDETTI, O., PLÁ, J. A., PADULA, A. D. - **II Seminário de Gestão de Negócios**, 2005 - cde.br.

SERGIO L., **Biodiesel feito de algas**. Agência FAPESP, 2008.

SHAY, E. C.; **Biomass and Bioenergy** 1993, 4, 227.

SHEEHAN, J.; DUNAHAY, T.; BENEMANN, J.; ROESSLER, P. **A look back at the US Department of Energy's Aquatic Species Program – Biodiesel from Algae. Colorado**, 1998.

SHUSHART, U.; SERCHELI, R.; VARGAS, R. M.; *J.Braz. Chem. Soc.* 1998, 9, 199.

SUAREZ, P. A. Z.; MENEGHETTI, S. P. M. **Evolução histórica e situação atual no Brasil**. *Quím. Nova*, São Paulo, v. 30, n. 8, 2007.

TEIXEIRA, C. M. L. L. - Pesquisadora da Divisão de Energia do Instituto Nacional de Tecnologia (INT); TEIXEIRA, P. C. N.; ROCHA, H. - Pesquisadores do Centro de Pesquisa do Rio de Janeiro da Fundação Mokiti Okada (FMO); Almeida, A. G.; BRITO G. F. C. - Pesquisadores da Divisão de Desenho Industrial do Instituto

Nacional de Tecnologia: **Um novo Sistema de Cultivo de Microalgas para a Produção de Biodiesel**, 2007.

TEIXEIRA, C. M. **Microalga como matéria-prima para a produção de biodiesel**.

Disponível em: www.biodiesel.gov.br/docs/congresso2006/agricultura/MicroalgaComo.pdf. Acesso em: 21 out. 2014.

TORREY, M.; **Tribology & Lubrication Tech.** 2008, 64, 26.

VIGLIANO, R.; **Brasil Energia** 2003, 274, 54.

VOLLHARDT, K. P. C.; SCHORE, N. E.; **Química Orgânica: Estrutura e Função**, Bookman: Porto Alegre, 2004.

ZHANG, Y. et al. **Biodiesel production from waste cooking oil: 1. Process design and technological assessment.** *Bioresource Technology*, v.89, n.1, p.1-16, 2003.