

MICROALGAS COMO MATÉRIA-PRIMA PARA
BIOCOMBUSTÍVEIS: IMPORTÂNCIA NO CENÁRIO ATUAL,
PRINCIPAIS ENTRAVES E RESULTADOS PROMISSORES
NA BAHIA

IRACEMA ANDRADE NASCIMENTO
SOLANGE ANDRADE PEREIRA
MARIA BERNADETE NEIVA LEMOS LEITE
JACSON NUNES DOS SANTOS
TIAGO PEREIRA DO NASCIMENTO
MAURICIO ANDRADE NASCIMENTO
JOSÉ BAÍA COELHO NETO
CLARIVALDO SANTOS DE SOUSA

Resumo: O uso de oleaginosas, como matérias-primas renováveis para a produção de biocombustíveis, não lhes garante a ecocompatibilidade, mesmo que sua produção seja carbono-neutra. Com a possibilidade de ampliação das culturas, crescem as preocupações acerca de desmatamentos, proteção da biodiversidade e poluição dos recursos aquáticos. O cultivo de microalgas para a produção de biomassa é largamente aceito como uma provável opção ecocompatível para a geração de biocombustíveis. As vantagens são baseadas na alta eficiência de conversão fotossintética, provendo comparativamente uma produção mais alta por hectare, alta taxa de seqüestro de CO₂, possibilidade de produção continua durante o ano, alto suprimento de óleo, com reduzido uso de água, além da possibilidade de modulação da composição da biomassa e da quantidade de óleo produzido por alteração de parâmetros de cultivo. Atuais limitações técnicas são: 1- a identificação de cepas nativas com alta taxa de crescimento e alta produção de óleo; 2- o suprimento de CO₂ e nutrientes a baixo custo, para uma mais alta eficiência de produção; 3- o processo de colheita (concentração da biomassa). Este trabalho situa a produção de biocombustíveis no contexto da política energética do Brasil e envolve uma análise, nos aspectos científicos, econômicos, ambientais e sociais das vantagens de uso das microalgas como matéria-prima para biocombustíveis; baseia-se em uma ampla revisão bibliográfica dos aspectos tecnológicos da produção de biomassa algal e em resultados conseguidos pela equipe do Labiomar (IB-UFBA), em associação com pesquisadores do Mestrado Profissional em Bioenergia da Faculdade de Tecnologia e Ciências, em Salvador. Concentra a discussão nas inovações empregadas no processo de produção, que evidenciam custos mais baixos e possibilidades de oportunidades de emprego e renda, com o uso do cultivo de microalgas para a produção de biocombustíveis.

Palavras-chave: Microalgas como Matéria-prima; Produção de Biomassa; Óleo Algal para Biodiesel; Catálise Heterogênea.

Abstract: The use of renewable agriculture-generated materials as feedstock for biofuels is not, by itself, a guarantee of their eco-compatibility, even though they may represent a carbon-neutral fuel production. Considering the prospect of increasing cropland use, concerns arise about deforestation, vulnerable communities and pollution, besides water resources constraints. Microalgae culture for biomass production is widely regarded as one of the most efficient ways of generating biofuels. The advantages are based on higher photon conversion efficiency, providing comparatively increased biomass yields per hectare, higher rate of CO₂ sequestration, all-year-around harvesting, continuous supply of oil under reduced supply of water and a possibility of modulating the biochemical composition of their biomass, by varying growth conditions and enhancing oil productivity. Technical bottlenecks are: 1-the identification of strains having both, a high growth rate and a high oil production; 2-the supply of CO₂ and nutrients (at low costs) for high efficiency production; 3- the harvesting process (dewatering). The present work analyzes biofuels in the context of the Brazilian energy matrix under the scientific, social, environmental and economical aspects, by focusing on the advantages of using microalgae biomass as feedstock. This analysis is based on a revision of technical aspects of biomass production and on results obtained by the LABIOMAR (IB-UFBA) team, together with researchers from the FTC Professional Master Course on Bioenergy. It discusses innovation in the biomass productive processes, to get higher yields with lower costs and possibilities of increasing job opportunities by focusing microalgae for biofuels production.

Key-words: Microalgae as Feedstock; Biomass Production; Microalgae oil for Biodiesel Production; Heterogeneous Catalysis.

1 INTRODUÇÃO

Em 2002, pela primeira vez em uma Conferência das Nações Unidas (*World Summit on Sustainable Development*), fez-se explícita a referência de que a energia deve ser considerada como uma necessidade básica humana, entre outras bem especificadas dentro das diretrizes para a sustentabilidade do planeta, que ficaram conhecidas como "Objetivos do Milênio". Com a matriz energética, baseada em combustíveis fósseis, a população mundial saltou, em um século, dos 1.5 bilhão

para quase sete bilhões de habitantes. Entretanto, prover energia para a continuidade do acelerado desenvolvimento, com inclusão das populações mais carentes, representa um desafio nunca antes enfrentado pela humanidade.

Durante o século passado, os combustíveis fósseis dominaram o cenário energético mundial e, ainda hoje, respondem por 60% do consumo de energia do planeta (Análise Energia, 2009). Contudo, apesar das fontes ainda disponíveis e de recentes descobertas pontuais como a da camada pré-sal, no Brasil, quando se considera o consumo mundial, baseado em 80 milhões de barris/dia, estima-se (RATHMANN ET AL., 2007) que as reservas mundiais de petróleo poderão estar exauridas ainda neste século. Sejam precisas ou não estas estimativas, diante do crescimento populacional e das demandas atuais e futuras de consumo, elas representam um desafio, cuja perspectiva direciona para uma urgente busca de suprimento energético a partir de fontes renováveis.

O consumo de energia no mundo deverá crescer cerca de 57% no período entre 2002 e 2025 (US Department of Energy, 2005). Em países de economias emergentes como o Brasil, o projetado crescimento econômico implicará no dobro da demanda energética atual, em 2025. Como a maior parte de toda a energia consumida no mundo ainda provém do petróleo, do carvão e do gás natural, que são fontes limitadas e consideradas geradoras de poluição, a substituição, mesmo parcial, dos combustíveis fósseis, por energias renováveis e mais ecocompatíveis vem sendo perseguida há algumas décadas (SHUCHARDT, 1998).

Mesmo que, tecnicamente, a necessidade de suprimento de energia no Brasil, dentro de curto prazo, aponte para a intensificação das matrizes nuclear e hidrelétrica, as ocorrências, em nível mundial, de impactos ambientais de grande monta relacionados a essas fontes energéticas geram resistências (Análise Energia, 2009). Em vista disso, e sobretudo para suprir a energia no setor de transportes, o Brasil, nas últimas três décadas, buscou alternativas mais aceitáveis, o que tem levado ao desenvolvimento tecnológico baseado no uso de biomassa renovável, como matéria-prima. Dois biocombustíveis oxigenados (biodiesel e etanol) receberam maior atenção como possíveis substitutos do petróleo, devido a suas propriedades e características ambientais menos agressivas que as dos combustíveis fósseis.

O etanol tem sido produzido no Brasil a partir da cana-de-açúcar e usado em carros, em total substituição ou parcialmente (25%), misturado à gasolina. A produção brasileira atual de álcool é de 22.5 bilhões de L/ano. O Brasil ocupa a segunda posição mundial como produtor de álcool, mas a previsão é de um aumento da atual oferta para 53 milhões de litros/ano por volta de 2017 (Empresa de Pesquisa Energética-MME, 2008), o que representa um incremento de 60% na

capacidade atual das usinas e uma ampliação de mais do triplo da área de cultivo de cana de açúcar no País. Entretanto, se vencidos os entraves técnicos para a produção de etanol de segunda geração, o Brasil tem a capacidade de duplicar a atual produção com base apenas no uso dos excedentes de bagaço e palha da cana-de-açúcar, sem ampliar tanto a área plantada.

Os diferentes tipos de biodiesel são ésteres de ácidos graxos de longa cadeia, derivados de fontes renováveis, tais como diversos óleos vegetais, ou gorduras animais, por conversão de triglicerídeos em ésteres, via transesterificação, pirólise ou micro-emulsificação. Entretanto, o processo mais comum de produção do biodiesel é por transesterificação (FUKUDA ET AL., 2001), que requer uma reação catalisada, química ou enzimaticamente, envolvendo um óleo e um álcool, para formar alquil-ésteres de ácidos graxos (biodiesel) e glicerol (co-produto). Metanol é o álcool mais comum utilizado nessa reação, não apenas por seu mais baixo custo, como também por suas vantagens físico-químicas, tais como a de ter uma cadeia mais curta e ser mais polar (ZHANG ET AL., 2003).

Visando ao alcance mais rápido dos objetivos sociais, econômicos e ambientais relacionados à produção de biocombustíveis e, ainda, melhorar o desempenho da balança de comércio exterior, em 2005, o governo brasileiro introduziu oficialmente o biodiesel na matriz energética brasileira, através do Programa de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB). A Lei nº 11.097 fixa o valor de 5% em volume/volume, como o percentual mínimo obrigatório de adição do biodiesel ao óleo diesel comercializado ao consumidor final, no prazo de oito anos, a partir de sua publicação. Antes do alcance desse prazo, estabelece níveis intermediários, a partir dos 2% (obrigatório desde 2008) de uma parcial substituição do diesel, permitindo a ampliação paulatina, segundo autorizações do Conselho Nacional de Política Energética (CNPE), com base, sobretudo, na disponibilidade de oferta da matéria-prima e na capacidade industrial para a produção do biodiesel no País. Os 5% de mistura ao diesel resultariam no consumo mínimo de 2,4 bilhões de litros do combustível/ano. Considerando a capacidade instalada no País, a produção estimada do biodiesel para 2009 é de 3.037 bilhões de L/ ano (Análise Energia, 2009), o que subsidia decisão governamental para o aumento de 4% de mistura, previsto para vigorar a partir do início de 2010.

O uso do biodiesel ficou assim associado à substituição do diesel usado na maioria dos transportes de carga. O Brasil consome 40 bilhões de litros diesel por ano, importando entre 15 a 17% deste montante, cujo custo superou dois bilhões de dólares em 2007 (ANP, 2007). A mistura do biodiesel ao diesel, (Lei nº 11.097/2005), de 2%, 3%, 5%, até limites comprovadamente seguros do ponto de vista técnico (20%), além dos benefícios econômicos e sociais, por envolver o esperado

desenvolvimento da agricultura familiar com o fornecimento de parte da matéria-prima, agrega importantes ganhos ambientais pela redução de emissões de gases de efeito estufa. Assim, a possibilidade de emprego de combustíveis de origem agrícola em mistura com o diesel (Bxx onde o x indica a percentagem da mistura) é bastante atrativa, por se constituir em fonte renovável e por permitir a redução da dependência de importação do diesel (ANP, 2007).

Em função de sua grande biodiversidade e das condições edafo-climáticas, o potencial do Brasil como fonte de biocombustíveis é mundialmente reconhecido, pelo fato de ser um dos maiores potenciais de matérias-primas renováveis do planeta (WORLD BANK, 2004; ORNL, 2008). Em vista da segurança da regulação do setor pelo governo e da garantia de escoamento da produção, as previsões de aumento do uso desse biocombustível na matriz energética brasileira são amplas. Estima-se, com base na capacidade instalada de produção, uma grande ampliação das áreas de plantio para obtenção de matéria-prima, desde que a obtenção de biocombustíveis de primeira geração por ex., a obtenção de biodiesel, a partir de oleaginosas) ainda inclui tecnologias ineficientes de conversão, exigindo grande extensão de culturas e utilização de fertilizantes e pesticidas, cujos efeitos (IRIAS ET AL. 2004; BUSCHNELLI ET AL., 2008; Irias, 2008; SCARLAT ET AL., 2008) poderão determinar poluição, perdas de habitats, de biodiversidade e, em alguns casos, competição com a produção de alimentos (LIEBREICH ET AL., 2008; OECD, 2006; ORNL, 2008).

Segundo fontes governamentais, o Brasil dispõe de 90 milhões de ha de terras agriculturáveis, não se incluindo neste total os biomas Amazônia, Pantanal e a Mata Atlântica (PETROBRAS, 2007). Os demais biomas brasileiros (a caatinga, o cerrado e os pampas) não são ressaltados. O cerrado é uma das 25 áreas do mundo consideradas fundamentais para a conservação, devido à riqueza biológica e à alta pressão antrópica a que vem sendo submetida, sendo por isso considerada um *hotspot*. O bioma Caatinga é o único exclusivamente brasileiro, o que significa que o patrimônio biológico desta região não é encontrado em outro lugar do mundo. Ainda assim está entre os biomas brasileiros mais degradados pelo homem. Apesar de apresentar uma fisionomia aparentemente homogênea, os campos sulinos (pampas) caracterizam-se pela grande riqueza em espécies herbáceas e várias tipologias campestres compondo, em alguns pontos, ambientes integrados com a floresta araucária (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2002).

Diante das estimativas de produção de biocombustíveis, envolvendo a necessidade de extensão de uso de terras agriculturáveis para a produção de matérias-primas, é importante considerar as possíveis consequências ambientais da parcial substituição dos combustíveis fósseis por biocombustíveis de primeira

geração, mesmo que sejam oriundos de cultivo em áreas degradadas, cujo uso diminui, em relação à áreas com cobertura vegetal compacta, o retorno do CO₂ sequestrado em nível do solo para a atmosfera. Risco maior decorre de práticas agrícolas inadequadas, resultando na lixiviação de nutrientes e/ou pesticidas, que poderão poluir os corpos de água.

As vantagens ambientais, como a redução das emissões de hidrocarbonetos e monóxido de carbono (SHARP ET AL., 2000; CARDONE ET AL., 2002), bem como de SO_x (AL-WIDYAN ET AL., 2002), tornam o biodiesel, em princípio, comparativamente mais eco-compatível que o diesel fóssil. Entretanto, a necessidade da expansão das culturas de oleaginosas para o fornecimento do óleo a ser transesterificado, envolve riscos ainda não devidamente avaliados no Brasil. Righelato e Spracklen (2007) estimaram que a substituição de 10% de petróleo e diesel fóssil por biocombustíveis requererá 43% e 38% da área atualmente utilizada com agricultura, respectivamente nos Estados Unidos e na Europa. Apesar de teóricos, esses dados dão uma indicação dos riscos para os ecossistemas e para a biodiversidade.

O Programa de Biocombustíveis do Estado da Bahia prevê atingir a produção de 748 milhões de m³ de etanol e 773.000 m³ de biodiesel até 2012, gerando com isto 90.000 postos de trabalho e envolvendo oito diferentes pólos de produção, com a ocupação de 840.000 ha de terras no Estado, com culturas para biodiesel. Embora esse programa esteja atualmente sendo reformulado, caso seja implantado como inicialmente previsto, pode levar à degradação ambiental, em função do uso de práticas agrícolas não apropriadas, podendo poluir corpos de água, cujo custo de recuperação, na maioria dos casos, excede os ganhos com a agricultura intensiva.

Outra questão, também de interesse ambiental, é a determinação do quanto o biodiesel, apesar de mais ambientalmente amigável que o diesel (YANG ET AL., 2000; HAAS ET AL., 2006), pode ser ecocompatível do ponto de vista toxicológico.

No caso da mistura biodiesel/diesel a 20% (B20), Lapinskiené e outros, (2006) comprovaram, com o uso do biodiesel de colza (*Brassica napus*) transesterificado com metanol, uma redução de até 9% na emissão de monóxido de carbono, 78% nas emissões de gás carbônico, mais de 90%, nas de óxido de enxofre e de até 68%, nas emissões de material particulado na atmosfera, em comparação com o diesel fóssil. Entretanto, esse estudo não investigou as emissões não-reguladas, tais como os compostos carbonílicos (formaldeído, acetaldeído, acroleína, e metil-etil-cetona) liberados por motores diesel, quando são usadas as blends biodiesel/diesel. Esses compostos são importantes precursores de radicais livres, como HO_x, ozônio, and peroxi-acil-nitratos (CARTER, 1995; GAFFNEY ET AL., 1997; PANG ET AL., 2006), que são tóxicos e alguns, comprovadamente mutagênicos

e carcinogênicos ao homem (CARLIER ET AL., 1986; BÜNGER ET AL., 1998; TURRIO-BALDASSARRI ET AL., 2004). Corrêa e Arbillá (2006), mostraram que, em relação à queima do diesel, a queima de blendas em motores pesados (de seis cilindros) aumenta as emissões de poli e monoaromáticos, tais como fenantreno, etil-benzeno e trimetil-benzeno. Estes poluentes, assim como as frações solúveis de diferentes tipos de biodiesel produzidos por transesterificação com o metanol, são potenciais contaminantes de corpos de água (NASCIMENTO ET AL. 2008). Além disso, nenhum estudo foi realizado para se avaliar qual o efeito sobre a biota, quando efluentes dos processos de produção ou frações solúveis destes biocombustíveis alcançam o meio ambiente, por derrames acidentais, negligência ou imperícia. Fica claro que a ecocompatibilidade dos biocombustíveis vai depender do tipo de matéria-prima e como são produzidos, disponibilizados e comercializados (OECD, 2006).

2 MICROALGAS COMO MATÉRIA-PRIMA PARA A PRODUÇÃO DE BIODIESEL

A vantagem econômica da substituição do diesel por biodiesel está atrelada à necessidade de importação do diesel pelo Brasil. Entretanto, presentemente, o alto custo do óleo extraído de oleaginosas, é o maior obstáculo para a sua mais ampla comercialização. Usualmente, o preço de produção de biodiesel é 50 a 60% mais alto que o diesel (ANP, 2007). A crescente demanda mundial por combustíveis de baixa emissão de gases de efeito estufa (GHG) exige a exploração de matérias-primas de menor custo e mais ecologicamente compatíveis. Encontrar um substituto ao mesmo tempo verdadeiramente ecocompatível, barato e passível de criar postos de trabalho, é a finalidade que se descortina com o uso das microalgas como matéria-prima.

No caso do Brasil, é estimado (PÉREZ, 2007) que, para a produção dos 29.5 milhões de ton de biodiesel, necessários para a substituição de todo o diesel utilizado em transporte no País por ano, considerando a soja como matéria-prima, seria necessária a ampliação do cultivo atual em 63 milhões de ha, enquanto que, utilizando-se microalgas cultivadas em fotobioreatores como matéria-prima, poder-se-ia utilizar, para a mesma produção, apenas cerca de 55ha.

A ideia de usar microalgas como fonte de combustível não é nova (Gavrilescu & Chisti, 2005). Apesar de ainda não se ter comprovada, para diferentes ambientes e espécies, a rentabilidade e eficiência no uso de microalgas como matéria-prima para o biodiesel, a possibilidade de utilizá-las com esta finalidade foi recentemente demonstrada (BELARBI ET AL., 2000; SANCHEZ MIRÓN ET AL., 2003). Por manipulação das condições de cultivo (nutrientes, por exemplo), muitas espécies podem ser induzidas a sintetizar e acumular altas concentrações de determinados

triglicerídeos (TG), ultrapassando 50% de seu peso seco. A produtividade em óleo (massa de óleo produzida por unidade de volume da cultura de microalgas/dia) depende da taxa de crescimento algal e do conteúdo de óleo da biomassa. Portanto, a seleção de espécies e de condições de cultivo para as espécies selecionadas, em função da quantidade e qualidade do óleo produzido, se constitui-se em etapa importante para a inovação, que consiste na produção de biomassa algal como matéria-prima para biocombustíveis (BANERGEE ET AL., 2002; METZGER; LARGEAU, 2005; GUSCHINA; HARWOOD, 2006).

A geração de biomassa produzida fotossinteticamente (BANERGEE ET AL., 2002; FEDEROV ET AL., 2005; GAVRILESCU; CHISTI, 2005; SPOLAORE ET AL., 2006; KAPDAN; KARGI, 2006) é a base de todos os biocombustíveis dependentes da energia solar (bio-H₂, bio-metano, biodiesel e BTL-biomass to liquid); entretanto, quanto mais crescem a demanda e a capacidade de produção desses biocombustíveis, mais eles necessitam de terras agriculturáveis. Com a incidência solar e a escassez de água, especialmente na região do semiárido, mesmo com o uso de espécies adaptadas, os custos envolvidos na atividade agrícola poderiam inviabilizar a utilização destas terras para o cultivo de oleaginosas e impedir a inclusão da agricultura familiar, como prevê o PNPB. Em contraste, o uso de sistemas de cultivo de microalgas prevê novas oportunidades de desenvolvimento econômico ambientalmente compatível, especialmente nas zonas semi-áridas, onde se pode implantar uma agroindústria de altíssima eficiência de conversão solar e produtividade em biomassa, com o mínimo uso de água, desde que sistemas de cultivo bem desenhados previnam a evaporação e permitem o reuso, com reaproveitamento também de nutrientes. Além de, comparativamente, requerer um muito menor gasto em água, o cultivo de microalgas, possibilita a produção de uma maior quantidade de biomassa por área de cultivo e mais óleo vegetal do que a maioria das oleaginosas (PÉREZ, 2007). O cultivo de microalgas para finalidades energéticas ou de sustentabilidade ambiental, é defendido em função das seguintes características:

- 1 - As microalgas usam a energia do sol para converter água e CO₂ em biomassa, gerando biocombustíveis potenciais, (SHIMIZU, 2003; LORENZ; CYSEWSKI, 2003; METZGER; LARGEAU, 2005; WALTER ET AL., 2005; SPOLAORE ET AL., 2006). Considerando que até 90% do peso da microalga é proveniente do consumo de CO₂ o cultivo de microalgas também serviria como uma fonte fixadora deste gás, limpando o ar. Estima-se que cada tonelada de biomassa algal produzida em determinado tempo, consome 2 toneladas de CO₂ através da fotossíntese. Isso representa 10 a 20 vezes mais do que o absorvido pelas culturas oleaginosas (BROWN; ZEILER, 1993). Além disso, esses organismos fotossintetizantes são normalmente usados

em ações de bioremediação (MALLICK, 2002; SURESH; RAVISHANKAR, 2004; KALIN ET AL., 2005; MUNOZ; GUIEYSSE, 2006) e como fixadores de nitrogênio (VAISHAMPAYAN ET AL., 2001), de modo que a sua cultura alcançaria outros objetivos além da produção de biomassa geradora do biodiesel. A partir de microalgas pode-se também gerar produtos comestíveis e farmacêuticos, além de etanol e intermediários químicos para o setor petroquímico, bioplásticos e bioquerosene (CHISTI, 2007);

2 - As microalgas se reproduzem rapidamente. Durante a fase exponencial de crescimento, o tempo de duplicação da biomassa é de praticamente 3,5h (SPOLAORE et al., 2006). Em relação ao rendimento em óleo, o de microalgas é pelo menos quinze vezes maior que o de palma, que é o de maior produtividade (PÉREZ, 2007). A extração do óleo de microalgas é simples e pode ser realizada por ultra-som, ou com hexano, exatamente como em indústria alimentícia. Os teores de lipídios e triglicerídios (TG) dependem das condições das culturas, sendo que, desde os anos de 1940, foram relatados percentuais bastante elevados, de 70 a 85% em lipídios (FAO, 1997). Os óleos encontrados nas microalgas possuem características físico-químicas e químicas (composição em ácidos graxos) similares aos de óleos vegetais (FAO, 1997) e por isto elas são consideradas como matéria-prima potencial para a produção de biodiesel (Sheehan et al., 1998). Porém, da mesma forma que em outros vegetais, nas microalgas, a composição em ácidos graxos varia sob condições diversas de cultivo (depressão de nutrientes, salinidade e pH do meio de cultura) e, por conseguinte, variam também as suas propriedades físico-químicas como por exemplo, a estabilidade à oxidação (Hu et al., 2008). De acordo com Teixeira & Morales (2006), resultados promissores vêm sendo obtidos em relação ao aumento no teor de lipídios na biomassa de microalgas, variando-se as condições do cultivo: *Chlorella* cultivada em diferentes regimes de luz (Nichols, 1965); *Navicula pelliculosa*, em escassez de sílica (Coombs et al., 1967); *Dunaliella tertiolecta* em diferentes concentrações de cloreto de sódio no meio, chegando a ter 57% de seu peso em TG (Takagi; Karseno Yoshida, 2006). Além disso, os TG podem ter a sua composição em ácidos graxos diversificada, dependendo de fatores como intensidade de luz, temperatura, e isso influencia na qualidade do biocombustível produzido, como, por exemplo, no índice de iodo e na viscosidade, no caso do biodiesel;

3 - Os custos estimados de produção de microalgas ainda são altos, com valores em torno de US\$/5,00/kg de biomassa, para cultivo em biorreatores industriais (DUERR ET AL., 1998). Entretanto, comparativamente ao oriundo de óleos vegetais, os custos de produção de biodiesel, a partir de microalgas,

podem ser minimizados, considerando-se o valor relativamente baixo para a colheita e transporte (FAO, 1997), o menor consumo de água (SHEEHAN ET AL., 1998), comparados aos de cultivo de plantas, além do fato do cultivo poder ser realizado em condições não adequadas para a produção de culturas convencionais (FAO, 1997);

4 - Historicamente, as microalgas, quando em maiores volumes, têm sido produzidas em tanques (*raceways*). Entretanto, dados de literatura indicam que a produção em fotobiorreatores, além de possibilitar culturas unialgais, proveem, em relação aos *raceways*, uma produção 1000 vezes maior em biomassa/ha, desde que a produtividade volumétrica de biomassa em fotobiorreatores seja 13 vezes maior que em *raceways* e de 1,5 vez maior em rendimento em óleo em m³/ha. (CHISTI, 2007). Por outro lado, a perda de água da cultura para recuperação da biomassa é um processo muito mais barato, justamente porque as culturas em reatores são cerca de 30 vezes mais concentradas. Portanto, o uso de fotobiorreatores para o cultivo das microalgas já significa um avanço tecnológico, com reflexos no preço do produto, e deveria ser utilizado, ao menos, para a produção de inóculos com volumes apropriados para promover rápido crescimento das culturas em tanques abertos, o que promoveria um mais rápido crescimento das algas, diminuindo os riscos de contaminação;

5 - As microalgas podem ser a fonte renovável de biodiesel capaz de alcançar a demanda global de óleos combustíveis, desde que já demonstram potencialidade como matéria-prima (CHISTI, 2007; PÉREZ, 2007). Considerando uma média de 35% de lipídios na microalga seca, e um rendimento de extração de óleo de 90%, seriam necessárias 257.000 t de microalga/dia para substituir todo o diesel consumido no País (40 bilhões de L/ano). O problema do uso das microalgas como matéria-prima para biodiesel reside na seleção de espécies promissoras, suas condições ótimas de cultivo, adaptação e crescimento das culturas (inóculos) em fotobiorreatores e, sobretudo, a redução dos custos de produção.

As dificuldades em relação à produção de microalgas para biocombustíveis são identificar cepas com alto teor de TG (triglicerídeos) e de crescimento rápido, fáceis de colher e desenvolver um sistema de cultivo com custo apropriado. O Ministério da Ciência e Tecnologia disponibiliza fundos para projetos, visando propiciar, na produção de biomassa algal, o alcance de níveis técnicos e econômicos de credibilidade, que venham beneficiar os mercados: regional, nacional e internacional. Na Bahia, tanto a UFBA como a FTC estão desenvolvendo projetos que já apontam cepas de bom crescimento e bom rendimento em óleo, já testadas nessas Instituições, através de cultivos em fotobiorreatores.

3 RESULTADOS COMPROVADOS EXPERIMENTALMENTE NA BAHIA E APLICAÇÕES ESPERADAS

1 - Tecnológicos

1.1 - Dentre as 23 espécies de algas, mantidas no Banco do LABIOMAR (IB-UFBA), seis espécies (*Botryococcus braunii*; *Botryococcus (Botryosphaera) sudeticus*; *Chrorella sp*; *Pseudokirschneriella subcapitata*, cultivadas em água doce, e *Nannochloropsis oculata*; *Chaetoceros calcitrans*; *Nitzschia sp*; *Dunaliella tertiolecta*, espécies de água salgada) caracterizaram-se como altas produtoras de triglicerídeos e ácidos graxos, em cultivos experimentais de laboratório.

1.2 - A fase exponencial de crescimento destas algas em cultura foi conseguida em uma variação de cinco a oito dias, quando cultivadas sob condições testadas previamente em laboratório.

1.3 - Desenvolveu-se na FTC, em conjunto com o LABIOMAR, um meio de cultura, que deve prover elementos inorgânicos que constituem a célula algal. Elementos essenciais incluem o nitrogênio, o fósforo e o ferro, que têm custos razoavelmente caros. A substituição destes nutrientes com igual ou melhor efeito no crescimento das culturas de microalgas, por si só, já se constitui em uma inovação, capaz de reduzir os custos de meio de cultura divulgados (de R\$ 10,00/m³ com o uso do Meio Conway, para, aproximadamente, R\$ 1,00/m³, conforme trabalho realizado em escala laboratorial).

1.4 - Conseguiu-se desenhar um equipamento de cultivo (a ser otimizado), dotado de paredes resistentes e transparentes o suficiente para permitir a passagem dos feixes de luz necessários à fotossíntese, que tem propiciado alta produtividade. Isto assegurará custos de produção mais baixos e permitirá um avanço positivo na conservação sustentável do meio ambiente.

Os aspectos inovadores desses resultados poderão trazer soluções ainda não encontradas pelas empresas envolvidas com a produção de microalgas para fins industriais, o que se reflete atualmente no alto custo do óleo.

2 - Econômicos

2.1 - Como a retirada do óleo é um processo que custa aproximadamente o mesmo para qualquer tipo de insumo, as vantagens econômicas no processo de produção de microalgas devem ser baseadas no custo de produção de biomassa. Com economia de escala, os preços da biomassa algal podem ser competitivos (a partir de 2006, o custo do óleo vegetal mais barato já era 35% maior que petrodiesel), desde que a microalga produzida em sistemas apropriados, possa render, em óleo, 50 a 70% do peso úmido da biomassa (CHISTI, 2007).

2.2 - É possível ainda, diminuir os custos de produção do biodiesel a partir das microalgas, utilizando-se processos de biorefinaria, através do qual, cada componente da biomassa, após a retirada do óleo, pode ser utilizado para a produção de materiais mais nobres. Além disso, a biomassa algal contém significativas quantidades de proteínas, carboidratos e outros nutrientes (SÁNCHEZ MIRON ET AL., 2003), que podem ser utilizados em ração animal.

3- Sociais:

3.1 - Como o cultivo de microalgas é uma proposta relativamente nova e poucos dados existem sobre o assunto, o impacto social do projeto, no que tange à oferta de postos de trabalho, é algo ainda a ser estabelecido com segurança. O governo associou a produção de biodiesel a um selo social, prevendo que, pelo menos 1/3 da produção de biomassa possa envolver trabalhadores de baixa renda e grupos familiares. O cultivo de microalgas, ao se ampliar para suprir as demandas de biodiesel poderá efetivamente empregar mão-de-obra não especializada, no trabalho da biodigestão da biomassa após a extração do óleo, no trabalho de secagem (*dewatering*) das culturas para obtenção da biomassa e na obtenção do próprio óleo.

3.2 - O controle dos sistemas de cultivo e da produção terá que ser feito por técnicos especializados. Como uma formação específica é esperada desses técnicos, a empresa voltada para a produção do biodiesel pode propor ou dividir responsabilidades, por cursos técnicos de formação. Dessa forma a proliferação dos cultivos será mais rápida, considerando-se, nesta previsão, a produção do óleo a custos mais baixos. Cursos profissionalizantes de pós-graduação serão requeridos para formar pessoal capaz de inovações tecnológicas que levem ao progresso da atividade, com barateamento de custos. Na Bahia, a FTC, parceira nesse projeto, já oferece um Mestrado Profissional em Bioenergia, aprovado pela CAPES em 2007. Este curso, e o de Agroenergia, em São Paulo, são os únicos Mestrados Profissionais oferecidos em todo o País.

4 - Ambientais

4.1 - A ecocompatibilidade de um produto pode ser analisada, por vários aspectos, inclusive os ecológicos e ecotoxicológicos. O cultivo de espécies de microalgas não conflita com interesses agrários, com a conservação das florestas e outras biomassas, nem com os diversos usos de água doce (PIRT, 1986). O desmatamento e utilização de biomas naturais com monoculturas de oleaginosas, ou de cana de açúcar, representaria um risco ecológico potencial pela grande demanda de produção das culturas.

4.2 - Quanto aos riscos ecotoxicológicos, Nascimento e outros (2008),

utilizando técnicas de biomarcadores e testes, com organismos de diferentes níveis tróficos, inclusive microalgas, evidenciaram a toxicidade de frações solúveis em água, de diferentes tipos de biodiesel (oriundos por transesterificação metílica de óleo de mamona, de dendê e de gorduras residuais), atribuindo essa toxicidade sobretudo ao metanol, formado por uma reação de hidrólise, que causa a reversão do processo de transesterificação, na presença da água. Os dados da análise toxicológica e química (HPLC), possibilitam aconselhar a inclusão de tratamento para a água de lavagem do óleo, gerada no processo de produção, que em algumas das usinas de produção, são reutilizada no processo. A liberação da água de lavagem no ambiente, sem prévio controle, representa riscos de contaminação já determinados (NASCIMENTO ET AL., 2008).

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Além dos benefícios econômicos decorrentes de ajustes na balança comercial e da inclusão social inserida no PNPB, a ampliação de biocombustíveis na matriz energética brasileira agrega importantes ganhos ambientais, pela redução de emissões de gases de efeito estufa, e particulados. Entretanto, apesar da matriz brasileira ser uma das mais limpas e sustentáveis do mundo, é importante para o País fortalecer, em sua política energética de médio e longo prazos, o efetivo e racional aproveitamento dos recursos renováveis, sem comprometimento da qualidade ambiental, de modo a preservar a biodiversidade. No mundo onde as demandas da economia pressionam exageradamente os limites de produção sustentável dos sistemas naturais, a prioridade dada aos indicadores econômicos para orientar os investimentos pode ser desastrosa. O que se espera é que nossas instituições políticas sejam capazes de incorporar os princípios ecológicos nas decisões econômicas.

Para superar o desafio de atender à crescente demanda por energia, de forma sustentável, é necessário buscar alternativas energéticas que levem à produção de combustíveis de segunda e/ou terceira geração (utilização da biomassa lignocelulósica de rejeitos e utilização da biomassa algal, respectivamente), o que reduziria em muito os riscos ambientais. Já é tecnicamente possível produzir etanol de celulose em escala industrial, e microalgas como matéria-prima para a geração de biocombustíveis, restando apenas a otimização dos custos, possível de se conseguir com os avanços tecnológicos.

O cultivo de microalgas como matéria-prima requer, comparativamente às plantações, um menor gasto em água, provendo uma maior biomassa por área de cultivo e mais óleo vegetal por unidade de biomassa. Além de possibilitar novas oportunidades de desenvolvimento econômico ambientalmente compatível e um

mínimo uso de espaço, a biomassa algal pode ser base de tecnologias alternativas de produção de energia de segunda e de terceira geração. O uso de microalgas como matéria-prima para biocombustíveis é convergente:

Com o PNPB (Plano Nacional de Produção e Uso do Biodiesel), englobando em suas bases a busca da sustentabilidade econômica, ambiental e social. Uma vez demonstrada a viabilidade técnica de obtenção de óleo a partir das microalgas, a um custo menor do que o da produção do óleo de oleaginosas, está-se alcançando a viabilidade econômica; considerando que o cultivo de microalgas não exige grandes áreas de cultivo, não compete com a produção de alimento, possibilita a reutilização da água e o reaproveitamento da biomassa, após a extração do óleo, além de poder seqüestrar o CO₂, estará assegurada a viabilidade ambiental; com o fato dos cultivos de microalgas poder ser implantados em áreas do semiárido nordestino, provendo emprego e renda, alcança-se também a viabilidade social.

Com o PAC da Ciência e Tecnologia, que tem em suas prioridades os biocombustíveis, gerando inovação que leve ao desenvolvimento. Inovações na tecnologia promovem a economia de energia e água nos processos produtivos;

Com as exigências de Lei dos Países importadores. No mundo atual, os negócios confrontam uma série de regulações ambientais e sociais, diretivas regionais e acordos internacionais, além de um aumento de demanda por produtos mais competitivos e ecocompatíveis, que possam levar ao desenvolvimento sustentável. As abordagens referentes a ciclo de vida (*life cycle*) de produtos, processos e serviços estão sendo consideradas como instrumentos para dar suporte aos negócios, em direção a sua sustentabilidade. Na União Europeia, esses princípios foram integrados às políticas, através do "Integrated Product Policy Communication" (IPP) de 2003, reforçado pelas "Thematic Strategies on Natural Resources and on Waste", em 2005. O lançamento dos Planos de Produção e Consumo Sustentável e de Ação para a Sustentabilidade Industrial (SCP/SIP Action Plan) já estão em vigor desde 2008.

REFERÊNCIAS

- ANÁLISE ENERGIA ANUÁRIO 2009. Disponível em: www.analise.com. 233pp, 2009.
- AL-WIDYAN, M., TASHTOUSH, G., ABU-QUDAIS, M. **Utilization of ethyl ester of waste vegetable oils as fuel in diesel engines**. Fuel Process. Technol. 76: 91-103, 2002.
- ANP-AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCMBUSTÍVEIS. **Dados Estatísticos**. <http://www.anp.gov.br>, 2007.

- BAÑADOS PÉREZ, H. E. **Biodiesel de Microalgas**. Parte I. Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares- IPEN. São Paulo. p 1-19, 2007.
- BELARBI, E-H; MOLINA GRIMA, E; CHISTI, Y. **A process for height yield and scaleable recovery of high purity eicosapentaenoic acid esters from microalgae and fish oil**. *Enzyme Microb.Technol.* 26: 516-529, 2000.
- BANERGEE, A., SHARMA, R., CHISTI, Y., BANERGEE, U.C. **Bothryococcus braunii: a renewable source of hydrocarbons and others chemicals**. *Crit. Rev. Biotechnol.*, 22: 245-279, 2002.
- BÜNGER, J., KRAHL, J., FRANKE, H.-U., F., MUNACH, A., HALLIER, E. **Mutagenic and cytotoxic effects of exhaust particulate matter of biodiesel compared to fossil diesel**. *Mutation Research*, 415: 13-23, 1998.
- BROWN, L.M. & ZEILER, K.G. **Aquatic biomass and carbon dioxide trapping**. *Energy Conversion and Management*, 34:1005-10013, 1993.
- BUSCHINELLI, C. C. de A., RAMOS, N. P., BATISTA, E. R., OLIVEIRA, H.M. T. de, VASCONCELOS, E. B. C., RODRIGUES, G. S., RODRIGUES, I. A. IRIAS, L. J. M (Org). **Desenvolvimento Sustentável**. Itatiba, S.P: Berto Editora p. 245-265, 2008.
- CARDONE, M., PRATI, M. V., ROCCO, V., SEGGIANI, M., SENATORE, A., VITOLO, S. **Brassica carinata as an alternative oil crop for the production of biodiesel in Italy: engine performance and regulated and unregulated exhaust emissions**. *Environmental Science & Technology*, 36: 4656-4662, 2002.
- CARLIER, P., HANNACHI, H., MOUVIER, G., **The chemistry of carbonyls in the atmosphere-a review**. *Atmospheric Environment*, 20: 2079-2099, 1986.
- CARTER, W.P.L. **Computer modeling of environmental chamber measurements of maximum incremental reactivities of volatile organic compounds**. *Atmospheric Environment*, 29: 2513-2527, 1995.
- CORRÊA, S. M., ARBILLA, G. **Aromatic hydrocarbons emissions in diesel and biodiesel exhaust**. *Atmospheric Environment*, 40: 6821-6826, 2006.
- COOMBS, J., DARLEY, W.M., HOLM-HANSEN, O., VOLCANI, B. E. **Studies on the Biochemistry and Fine Structure of Silica Shell Formation in Diatoms. Chemical Composition of Navicula pelliculosa during Silicon-Starvation Synchrony**. *Plant Physiology*, 42: 1601-1606, 1967.
- CHISTI, Y. **Biodiesel from microalgae**. *Biotechnology Advances* 25: 294-306, 2007.
- DUERR, E.O., MOLNAR, A., SATO, V. **Cultured microalgae as aquaculture feeds**. *J.Mar.Biotechnology*, 7: 65-70, 1998.
- Empresa de Pesquisa Energética**, www.epe.gov.br; **Ministério de Minas e Energia**, www.mme.gov.br.
- FEDEROV, A.S., KOSOurov, S., GHIRARDI, M.L., SEIBERT, M. **Continuous H2 photoproduction by Chlamydomonas reinhardtii using a novel two-stage, sulfate-limited chemostat system**. *Appl. Biochem.Biotechnol.*121124: 403-412, 2005.

FUKUDA, H., KONDO, A., NODA, H. **Biodiesel fuel production by transesterification of oils.** Journal of Bioscience and Bioengineering, 92: 405-416, 2001.

FAO. **Renewable biological system for alternative sustainable energy production.** Serie Title: FAO Agricultural Services Bulletin, 128, 1997.

GAFFNEY, J.S., MARLEY, N.A, MARTIN, R.S., DIXON, R.W., REYES, L.G., POPP, C.J. **Potential air quality effects of using ethanol-gasoline fuel blends: a field study in Albuquerque, New Mexico.** Environmental Science and Technology, 31: 3053-3061, 1997.

GAVRILESCU, M.; CHISTI, Y. **Biotechnology- a sustainable alternative for chemical industry.** Biotechnol. Adv., 23: 471-499, 2005.

GUSCHINA, I. A., HARWOOD, J. L. **Lipids and lipid metabolism in eukaryotic algae.** Prog.Lipid.Res. 45: 160-186. 2006.

HAAS, M. J., MCALOON, A. J., YEE, W.C., FOGLIA, T.A. **A process model to estimate biodiesel production costs.** Bioresource Technology, 97: 671-678, 2006.

HU, G., SOMMERFELD, M. JARVIS, E. GHIRARDI, M., POSEWITZ, M. SEIBERT, M., DARZINS, A. **Microalgal triacylglycerols as feedstocks for biofuel production: perspectives and advances.** The Plant Journal, 54: 621-639, 2008

IRIAS, L. J. M. **Economia da Agroenergia.** In: PÂNTANO FILHO, R., ROSA, D. DOS S., 2008.

IRIAS, L. J. M. (org.) **Desenvolvimento Sustentável.** IRIAS, L. J. M., GEBLER, L., PALHARES, J. C. P., ROSA, M. F., RODRIGUES, G. S. Itatiba: Berto Editora, p 221-232, 2004.

Avaliação de impacto ambiental de inovação tecnológica agropecuária-aplicação do Sistema Ambitec. **Agricultura em São Paulo**, São Paulo: 51 (1): 23-40.

KALIN, M., WHEELER, W.N., MEINRATH, G. **The removal of uranium from mining waste water using algal microbial biomass.** J.Environ.Radioact, 78: 151-177, 2005.

KAPDAN, I. K., KARGI, F. **Bio-hydrogen production from waste materials.** Enzyme Microb.Technol. 38: 569-582, 2006.

KNOTHE, G., GERPEN, J. V., KRAH, J., RAMOS, L.P. **Manual do Biodiesel.** São Paulo, Editora Edgard Blücher. p. 340, 2006.

LAPINSKIENĖ, A., MARTINKUS, P., REBZDAITÉ, V. **Eco-toxicological studies of diesel and biodiesel fuels in aerated soil.** Environmental Pollution, 142 (3): 432-437, 2006.

Liebreich, M., Rodriguez, R., Boyle, H. Ramos. C. **Food price increases: is it fair to blame biofuels? Research Note.** www.newenergyfinance.com. New Energy Finance: pp 1-3, 2008.

- LORENZ, R.T., CYSEWSKI, G.R. **Commercial potential for Haematococcus microalga as a natural source of astaxanthin.** Trends Biotechnol. 18: 160-167, 2003.
- MALLICK, N. **Biotechnological potential of immobilized algae for wastewater N, P, and metal removal: a review.** Biometals, 15: 377-390, 2002.
- MINISTÉRIO DE AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. www.agricultura.gov.br. 2007.
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **GESTÃO SUSTENTÁVEL DA BIODIVERSIDADE.** www.mma.gov.br. 2002.
- METZGER, P., LARGEAU, C. **Botryococcus braunii a rich source for hydrocarbons and related ester lipids.** Appl. Microbiol. Biotechnol. 66: 486-496, 2005.
- MUNOZ, R., GUIEYSSE, B. **Algal-bacterial process for the treatment of hazardous contaminants: a review.** Water Res. 40: 2799-2815, 2006.
- NASCIMENTO, I. A., dos SANTOS, J. M., da CRUZ, A. C., PEREIRA, S. A., LEITE, M. B. N. L., NASCIMENTO, M. A. **Eco-compatibilidade na matriz energética brasileira: o biodiesel pode ser considerado como combustível ambientalmente correto?** Anais do VI Congresso Brasileiro de Planejamento Energético : 375-385, 2008.
- NICHOLS, B.W. **Light induced changes in the lipids of Chlorella vulgaris.** Biochimica et Biophysica Acta (BBA) Lipids and Lipid Metabolism, 106(2): 274-279, 1965.
- OECD- Organization for Economic Co-operation and Development. **Agricultural Market Impacts of Future Growth in the Production of Biofuels.** OECD Document No. AGR/CA/APM(2005)24/FINAL. Paris. 2006.
- ORNL- Oak Ridge National Laboratory, Biofuel Feedstock Assessment. <http://www.ornl.gov>. 2008.
- PANG, X., SHI, X., MU, Y., HE, H., SHUAI, S., CHEN, H., LI, R. **Characteristics of carbonyl compounds emission from a diesel-engine using biodiesel-ethanol-diesel as fuel.** Atmospheric Environment, 40: 7057-7065, 2006.
- PETROBRAS BIOCOMBUSTÍVEIS. **Comunicação Institucional do Abastecimento da Petrobras.** Setprint Gráfica e Editora. 44pp. 2007.
- PIRT, S.J. **The thermodynamic efficiency (quantum demand) and dynamics of photosynthetic growth.** New Phytologist, 102: 3-37, 1986.
- RATHMANN, R., BENEDETTI, O., PLÁ, J. A., PADULA, A. D. **Biodiesel: uma alternativa estratégica na matriz energética brasileira?** <http://www.biodiesel.gov.br/docs/ArtigobiodieselGINCOB-UFRGS.pdf>. Acesso em: 21 mar. 2007.

- RIGHELATO, R., SPRACKLEN, D. V. **Carbon mitigation by biofuels or by saving and restoring forests?** www.sciencemag.org/cgi/content/full/317/5840/902/DC1. Science, 317: 902, 2007.
- SANCHES MIRÓN, A., CERÓN GARCIA, M-C., CONTRERAS GÓMEZ, A., GARCIA CAMACHO, F., MOLINA GRIMA, E., CHRISTI, Y. **Shear stress tolerant and biochemical characterization of Phaeodactylum tricornutum in quasi steady-state continuous culture in outdoor photobioreactors.** Biochem.Eng. J. 16: 287-297, 2003.
- SCARLAT, N., DALLEMAND, J. F., PINILLA, F. G. **Impact on agricultural land resources of biofuels production and use in the European Union.** International Conference and Exhibition on Bioenergy. University of Minho, Guimarães, Portugal. 10pp, 2008.
- SHARP, C. A., HOWELL, S. A., JOBE, J. **The effects of biodiesel fuels on transient emissions from modern diesel engines. Part II Unregulated emissions and chemical characterization.** SAE Technical Paper. 1-1968. 2000.
- SHEEHAN, J., CAMOBRECO, V., DUFFIELD, J., GRABOSKI, M., SHAPOURI, H. **An overview of biodiesel and petroleum diesel life cycles.** Report of National Renewable Energy Laboratory (NREL) and US-Department of Energy (DOE). Task No. BF886002. 1998.
- SHIMIZU, Y. **Microbial metabolism.** Curr.Opin.Microbiol., 6: 236-243, 2003.
- SHUCHARDT, U., SERCHELI, R., VARGAS, M. **Transesterification of vegetable oils: a review.** J. Braz. Chem. Soc., 9: 199-210, 1998.
- SPOLAORE, P., JOANNIS-CASSAN, C., DURAN, E., ISAMBERT, A. **Commercial applications of microalgae.** J. Biosci. Bioeng., 101: 87-96, 2006.
- SURESH, B., RAVISHANKAR, G.A. **Phytoremediation- a novel and promising approach for environmental clean-up.** Crit.Rev.Biotechnol., 24: 97-124, 2004.
- TEIXEIRA, C. M., MORALES, M. E. **Microalga como matéria-prima para a produção de biodiesel.** Anais do I Congresso da Rede Brasileira de Tecnologia do Biodiesel. p. 91-96, 2006.
- TAKAGI, M., KARSENO, YOSHIDA, T. **Effect of salt concentration on intracellular accumulation of lipids and triacylglycerid in marine microalgae Dunaliella cells.** Journal of Bioscience and Bioengineering, 101(3): 223-226, 2006.
- TURRIO-BALDASSARRI, L., BATTISTELLI, C. L., CONTI, L., CREBELLI, R., DE BERARDIS, B., IAMICELI, A.L., GAMBINO, M., IANNACCONE, S. **Emission comparison of urban bus engine fueled with diesel oil and biodiesel blend.** Science of the Total Environment, 327: 147-162, 2004.

- U.S. DEPARTMENT OF ENERGY. **International Energy Outlook**. Energy Information Administration. Washington, D.C., U.S.A. 2005.
- VAISHAMPAYAN, A., SINHA, R.P., HADER, D.P., DEY, T., GUPTA, A.K., BHAN, U., RAO, A. L. **Cyanobacterial biofertilizers in rice agriculture**. Bot.Rev., 67:453-516, 2001.
- WALTER, T. L., PURTON, S., BECKER, D. K., COLLET, C. **Microalgae as bioreactor**. Plant.Cell Rep., 24: 629-641, 2001.
- WORLD BANK. **Annual Review of Development effectiveness**. ISBN 0-8213-6303-4 <http://www.publications.worldbank.org/>. 2004.
- YANG, L., LAI, C-T., SHIEH, W. K., **Biodegradation of dispersed diesel fuel under high salinity condition**. Water Research, 34: 3303-3314, 2000.
- ZHANG, Y., DUBÉ, M. A., MCLEAN, D. D., KATES, M., **Biodiesel production from waste cooking oil: 1- Process design and technological assessment**. Bioresource Technology, 89: 1-16, 2003.

DOUTORA PELA USP, NA ÁREA DE MEIO AMBIENTE. PÓS DOUTORADO NA UNIVERSITY OF NORTH TEXAS, USA, BOLSISTA PQ DO CNPQ, PROFESSORA TITULAR DA UFBA E DIRETORA DE PESQUISA E COORDENADORA DO MESTRADO PROFISSIONAL EM BIOENERGIA DA FTC. E-MAIL: INASCIMENTO@FTC.BR

DOUTORA PELA UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ, NA ÁREA DE DEFESA E PROTEÇÃO DE MEIO AMBIENTE. ATUALMENTE É PROFESSORA ASSOCIADA II DA UFBA, NA ÁREA DE BIOLOGIA MARINHA. TEM EXPERIÊNCIA NA ÁREA DE OCEANOGRAFIA BIOLÓGICA. E-MAIL: SPEREIRA@UFBA.BR

MESTRE EM BIOLOGIA (BOTÂNICA). DOUTORANDA EM BIOTECNOLOGIA PELO RENROBIO, PROFESSORA DA FTC E BIÓLOGA/PESQUISADORA DA UFBA. E-MAIL: BERNALL@YAHOO.COM.BR

GRADUADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA PELA UNIVERSIDADE DE MOGI DAS CRUZES, COM ESPECIALIZAÇÃO EM GERENCIAMENTO DE TECNOLOGIAS AMBIENTAIS NA INDUSTRIAL PELA UFBA. ATUALMENTE É ENGENHEIRO COORDENADOR DA BRASKEM - CAMAÇARI. E-MAIL: JACSON.NUNES@BRASKEM.COM.BR

MESTRE EM ENGENHARIA ELÉTRICA PELA UFBA. BOLSISTA DE DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO INDUSTRIAL DO CNPQ - NÍVEL 2. PROFESSOR DA FTC. E-MAIL: TPNASCIMENTO.SSA@FTC.BR

DOUTORANDO EM ENERGIA E AMBIENTE, PELA UFBA. MESTRADO PROFISSIONALIZANTE EM GERENCIAMENTO E TECNOLOGIA AMBIENTAL NO PROCESSO PRODUTIVO. E-MAIL: NASCIMENTO.MAURICIOANDRADE@GMAIL.COM

GRADUADO EM TECNOLOGIA EM PROCESSAMENTO DE DADOS, PELA ESCOLA BAIANA DE PROCESSAMENTO DE DADOS, MESTRANDO DO CURSO PROFISSIONAL EM TECNOLOGIAS APLICÁVEIS À BIOENERGIA, PELA FTC. E-MAIL: JOELHO@FTC.BR

DOUTORADO EM QUÍMICA ANALÍTICA, PELA UFBA. ATUALMENTE É PROFESSOR ADJUNTO DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA - UFRB.