

Crise energética mundial e o papel do Brasil na problemática de biocombustíveis

Global energy crisis and the Brazilian role in the bio-fuels issue

Marcelo Francisco Pompelli^{1,3}, Alfredo de Jesús Jarma Orozco², Marciel Teixeira de Oliveira¹, Bruno Rafael Monteiro Rodrigues¹, Mariana Oliveira Barbosa¹, Mauro Guida Santos¹, Antônio Fernando Moraes de Oliveira¹, and Jarcilene Silva de Almeida-Cortez¹

RESUMO

O tema dos biocombustíveis gera grandes expectativas, tanto na população como na comunidade científica em geral. Os biocombustíveis têm notáveis efeitos na economia mundial, mas ainda quando relacionados à proteção dos ecossistemas, já que sua utilização pode promover a redução dos gases gerados pelo uso excessivo de compostos originários do petróleo, que produzem o efeito estufa. Neste cenário, países como o Brasil têm um papel fundamental, toda vez que podem liderar a produção mundial de biocombustíveis de origem vegetal. As principais espécies utilizadas como fonte de biocombustíveis no Brasil são a soja (*Glycine max* L.), e mais recentemente o pinhão-manso (*Jatropha curcas* L. e *Jatropha molissima* Pohl. ex. Baill.). Estes fatos, aliados à grande disponibilidade de terras no Brasil, fazem dele um país pioneiro na produção de biocombustíveis, que, junto com outros na mesma linha, atualmente está enfrentando o problema. Com esse fim, está-se procurando estabelecer novas espécies e sistemas de cultivo para viabilizar o plantio comercial de espécies nativas com grande potencial biocombustível.

Key words: *Jatropha curcas*, *Jatropha molissima*, *Glycine max*, gases efeito estufa, combustíveis vegetais, mudança climática.

ABSTRACT

The bio-fuels topic generates great expectations worldwide, not only for their effect on the world economy, but also because of issues related to environmental protection, provided that the use of these fuels can help reduce greenhouse gas emissions resulting from the excessive consumption of petroleum derivatives. Concerning this scenario, countries like Brazil are called to play a fundamental role in leading the production of bio-fuels. The most frequently used species for this purpose are soybean (*Glycine max* L.) and purging nut (*Jatropha curcas* L. and *Jatropha molissima* Pohl. ex. Baill.). These facts, coupled to the huge land availability of this country, make it a pioneer one in the production of bio-fuels. Currently, together with other countries featuring similar conditions, Brazil is facing the problem directly by searching for the establishment of new species and cropping systems to advance the commercial planting of native species with great bio-fuel production potential.

Palabras clave: *Jatropha curcas*, *Jatropha molissima*, *Glycine max*, greenhouse effect gases, plant fuels, climate change.

Introdução

A evolução do ser humano descreve uma trajetória de demanda crescente sobre os recursos naturais, sendo que uma parcela superior ao 50% da superfície terrestre e sua produtividade já são utilizadas (Vitousek *et al.*, 1997). Estima-se, por exemplo, que a escassez de água atingirá 40% da população do Planeta em 2030 (ONU, 2002). A partir do processo de industrialização da sociedade humana, com a Revolução Industrial como marco inicial comumente aceito, a utilização de energia observou aumento exponencial. Parcela substancial deste aumento deve-se à utilização da matriz fóssil como geradora de energia. Com isto, carvão e petróleo são pano de fundo para uma das mais rápidas e intensas modificações das sociedades humanas em sua his-

tória no Planeta. Como efeito, a atmosfera terrestre observa um aumento gradual, mas persistente, na concentração de gases que alteram seu balanço energético, definindo um quadro não análogo ao observado nos últimos setecentos mil anos (Hendriks e Graus, 2004; Siegenthaler *et al.*, 2005).

O processo de geração de energia é considerado um dos grandes marcos de referência na história da humanidade. É tido como limitante, e como forte entrave para o desenvolvimento sócio-econômico mundial. Existem inúmeras formas de obtenção de energia, desde a hidroeétrica, que é a mais comum, até a nuclear, passando pela energia gerada por meio dos biocombustíveis (Katwal e Soni, 2003; Dovi *et al.*, 2009).

Received for publication: 29 June, 2010. Accepted for publication: 2 June, 2011.

¹ Laboratório de Ecofisiologia Vegetal, Departamento de Botânica, Centro de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Pernambuco. Recife (Brasil).

² Faculdade de Ciências Agrícolas, Universidade de Córdoba. Montería (Colômbia).

³ Autor para correspondência. mpompelli@yahoo.com.br

A primeira e principal fonte de energia utilizada pela humanidade foi e continua sendo representada pela energia fóssil, gerada em períodos geológicos passados a partir de matéria orgânica fossilizada. Esse tipo de energia não renovável está representada atualmente pelo petróleo, carvão mineral e gás natural. Os combustíveis fósseis constituem cerca de 80% da energia primária consumida no mundo, e mais de 57% daquela utilizada no setor de transportes (Lindfeldt e Westermark, 2009). Os combustíveis fósseis enfrentam atualmente uma forte crise devida ao contínuo aumento na demanda e o preço do petróleo, e ao imenso prejuízo que causam no meio ambiente, sendo este último um dos fatores mais agravantes, principalmente em se tratando do aquecimento global (Escobar *et al.*, 2009).

A combustão proveniente deste tipo de combustível gera uma quantidade significativa de gases de efeito estufa, sendo os mais importantes o dióxido de carbono (CO₂) e o dióxido de enxofre (SO₂). Desde meados do século passado, a concentração atmosférica de CO₂ vem se elevando e atingindo níveis assustadores (Obersteiner *et al.*, 2001; Pettersson e Harvey, 2010), devido em parte à utilização crescente de combustíveis fósseis. Acredita-se que seja este um dos fatores que contribuem sobremaneira às mudanças climáticas que o planeta vem sofrendo, e que têm vindo manifestando fortes precedentes como alteração na intensidade e distribuição das chuvas, elevação do nível dos oceanos, e um crescente aumento na frequência e intensidade de fenômenos climáticos extremos (Escobar *et al.*, 2009). A partir dessa problemática, os governos têm partido em busca de novas fontes de energia que sejam renováveis e ambientalmente limpas. Entre elas encontram-se os biocombustíveis, que, podendo ser líquidos, gasosos ou sólidos, são gerados a partir dos mais variados tipos de matéria-prima, como a cana-de-açúcar, plantas oleaginosas, biomassa de florestas, e outras fontes de matéria orgânica (Nass *et al.*, 2007), incluindo as promissoras pesquisas com microalgas biocombustíveis (Chisti, 2007; Greenwell *et al.*, 2010; Radakovits *et al.*, 2010). Eles podem ser utilizados tanto isolados quanto adicionados a combustíveis convencionais. Como exemplos têm-se o bioetanol, biodiesel, biometanol, biogás e bio-hidrogênio. O bioetanol, como o biocombustível mais tradicional, é gerado a partir da cana-de-açúcar, milho, trigo e beterraba, enquanto o biodiesel é comumente obtido a partir de sementes de plantas oleaginosas como soja, canola, algodão, girassol e mamona (Demirbas, 2009). Em 1998, essas fontes de energia renováveis eram muito insignificantes, correspondendo a apenas 2% de toda a energia consumida mundialmente (UNDP, 2000). Atualmente, esse tipo de energia tem ganhado muito destaque na imprensa internacional, visto suas inúmeras vantagens, *e.g.*,

a segurança energética, diminuição com as perturbações ambientais e vantagens socioeconômicas e ambientais. Dessa forma, acredita-se que em 2050 esse tipo de energia represente pelo menos o 50% de toda a energia consumida pelos países em desenvolvimento (Demirbas, 2009).

Neste contexto, o objetivo da presente revisão é apresentar de forma clara as principais espécies oleaginosas potencialmente biocombustíveis que estão sendo pesquisadas e utilizadas no Brasil como alternativa à soja nos programas de substituição do diesel de petróleo.

Biocombustíveis e a questão ambiental

Os biocombustíveis são tidos como ecologicamente favoráveis, toda vez que liberam 50% menos material particulado, e 98% menos enxofre, além de serem biodegradáveis e não tóxicos (Nass *et al.*, 2007; Demirbas, 2009). O biodiesel tem as seguintes características: (a) é virtualmente livre de enxofre e compostos aromáticos, (b) tem um alto teor de cetanos e (c) um teor médio de oxigênio (em torno de 11%), (d) possui maior viscosidade e maior ponto de fulgor que o diesel convencional, e (e) tem um nicho de mercado específico diretamente associado a atividades agrícolas; (f) no caso do biodiesel de óleo de fritura, ele se caracteriza por um grande apelo ambiental, e finalmente, (g) tem preço de mercado relativamente superior ao diesel comercial (Ramos, 1999).

Apesar das vantagens da utilização dos biocombustíveis, na sua produção e utilização final podem-se gerar graves impactos ambientais, como a utilização de grandes quantidades de água, a destruição das florestas, a redução na produção de alimentos e o aumento da degradação do solo (Escobar *et al.*, 2009). Para padronizar a produção dos biocombustíveis têm-se desenvolvido algumas ferramentas úteis que determinam seu possível impacto ambiental. Uma delas é a Análise do Ciclo de Vida (ACV), *i.e.*, uma avaliação do consumo e os impactos em todas as fases do ciclo de vida do produto. Para o bioetanol existem estudos que apontam para um ACV com impactos positivos, e outros que sugerem impactos negativos. Entretanto, é digno de nota que esse impacto pode variar dependendo do ambiente em que as culturas são produzidas. Por exemplo, a obtenção de bioetanol a partir de plantas ricas em açúcares (*e.g.* milho, sorgo, beterraba) torna-se muito mais vantajosa quando produzido em países tropicais do que em regiões temperadas (Escobar *et al.*, 2009). Outros indicadores, como o potencial de substituição dos combustíveis fósseis e a relação energia fóssil/renovável para diferentes matérias-primas, também podem ser utilizados para carac-

terizar as vantagens dos biocombustíveis. Porém, todos os indicadores convergem para um mesmo lado, no sentido de que a seleção do tipo adequado de cultura para uma determinada região, e os benefícios que ela traz consigo, podem atenuar ou até mesmo eliminar o possível impacto ambiental associado (Escobar *et al.*, 2009).

Relação custo/benefício dos biocombustíveis

Dentre os itens que se somam ao custo dos biocombustíveis podem-se citar as despesas de produção, capital e trabalho. Porém, o maior peso é advindo do custo da matéria-prima utilizada. O custo total de um biocombustível é calculado desde a obtenção da matéria-prima até sua transformação em biocombustível propriamente dito. Esse custo ainda pode variar dentro de um mesmo tipo de biocombustível, dependendo da sua matéria prima. Por exemplo, o biodiesel produzido a partir de gordura animal ou óleo reciclado tem um menor custo em relação ao produzido a partir de óleos vegetais nobres, como soja, algodão e milho (Gerpen, 2005).

Contudo, um dos grandes desafios no uso dos biocombustíveis está em superar o baixo custo da produção dos derivados do petróleo (Tab. 1), o qual influencia diretamente a viabilidade econômica daqueles. Ao longo dos anos, porém, o custo dos combustíveis derivados do petróleo tem vindo encarecendo devido ao aumento contínuo do preço do óleo bruto, o que resulta numa promoção potencial dos biocombustíveis. Assim, à medida que o custo internacional do petróleo continue a aumentar, a rentabilidade da produção de biocombustíveis a partir de diferentes matérias primas será muito mais elevada, somando-se ao fato de que são menos prejudiciais ao meio ambiente (Demirbas, 2009).

O biodiesel no mundo

A grande vantagem do biodiesel em relação aos demais combustíveis advém da sua semelhança com o diesel em termos de viscosidade e poder calorífico, o que faz dele uma ótima alternativa a ser utilizada em motores sem nenhuma modificação no seu funcionamento (Castellanelli *et al.*, 2008), gerando assim uma economia na cadeia de produção dos motores a diesel atuais. Em 2006, a produção mundial de biodiesel foi de 4,1 milhões de toneladas. Os países da União Européia juntos detêm cerca de 80% desta fração (Sebrae, 2009). Entretanto, o montante de biodiesel produzido atualmente não é suficiente para atender o mercado mundial em ascensão (Gerpen, 2005). Contudo, a produção mundial está muito aquém de sua capacidade, a qual seria de 52 bilhões de litros anuais, sendo os cinco principais países produtores (*i.e.* Malásia, Indonésia, Argentina, Estados Unidos e Brasil) os responsáveis por cerca de 80% desta produção (Johnston e Holloway, 2007).

Dados revelam que os estoques globais de petróleo se esgotarão por completo por volta de 2046, desconsiderando a tendência de crescimento no consumo. No entanto, mesmo antes de seu esgotamento é possível que o preço de seus derivados atinja patamares muito elevados, o que os tornaria economicamente inviáveis. Logo, a inserção dos biocombustíveis na malha energética dos países poderia agir como regulador de mercado, diminuindo a dependência dos combustíveis fósseis (Lima-Filho *et al.*, 2008). Atualmente se discute tratar os biocombustíveis de outra forma, incentivando seu uso e produção. Uma das formas de se fazer isto seria uma tributação específica sobre o diesel de petróleo, incentivos tributários para a cadeia

TABELA 1. Propriedades complementares atribuídas ao biodiesel em comparação ao óleo diesel comercial.

Características	Propriedades complementares
Características químicas apropriadas	Livre de enxofre e compostos aromáticos, alto número de cetanos, ponto de combustão apropriado, excelente lubrificidade, não tóxico e biodegradável
Ambientalmente benéfico	Nível de toxicidade comparável ao do sal ordinário, com diluição tão rápida quanto a do açúcar (Pompelli, 2008)
Menos poluente	Reduz sensivelmente as emissões de (a) partículas de carbono (fumaça), (b) monóxido de carbono, (c) óxidos sulfúricos e (d) hidrocarbonetos policíclicos aromáticos
Economicamente competitivo	Complementa todas as novas tecnologias do diesel com desempenho similar e sem necessidade de instalação de nova infraestrutura ou implementação de política de treino alguma.
Reduz aquecimento global	O gás carbônico liberado é absorvido pelas oleaginosas durante o crescimento, o que equilibra o balanço negativo gerado pela emissão na atmosfera
Economicamente atraente	Permite a valorização de sub-produtos de atividades agro-industriais, aumento na arrecadação regional de ICMS (Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços), aumento da fixação do homem no campo e de investimentos complementares em atividades rurais
Regionalização	Diferentes tipos de plantas para produção de biodiesel podem ser instaladas em diferentes regiões do país, aproveitando a matéria prima disponível em cada local (Negrello e Zenti, 2007)

produtiva, alterações na legislação de meio ambiente, e subsídios concedidos aos produtores (Lima-Filho *et al.*, 2008). Grande parte dos países desenvolvidos, como Itália e Japão, já adota ou está aprimorando políticas similares. Ademais, tais países já manifestaram interesse em importar matéria-prima para produção de óleos biocombustíveis, principalmente ao levar em consideração o atual cenário mundial para o diesel de petróleo.

Biodiesel no Brasil

Em relação aos biocombustíveis, o Brasil se encontra em posição confortável, principalmente por ser o líder mundial na produção de bioetanol, e também pelo seu enorme potencial natural e agrícola para produção de biomassa para biodiesel (Nass *et al.*, 2007). Em 13 de janeiro de 2005 foi editado o projeto de lei 11097/05 que institui o Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (PNPB) com o intuito de inserir na matriz energética brasileira um novo produto que venha promover a sua independência energética, agregando valores sociais, econômicos e ambientais (Gazzoni, 2009). Esse programa encontra-se ainda em fase de implantação e tem como principal diretriz a criação de um programa sustentável que promova a inclusão social e garanta preços competitivos, qualidade e suprimento, além de produzir biodiesel a partir de diversas oleaginosas em regiões diversas do país (Negrello e Zenti, 2007).

O cultivo de matérias-primas e a produção industrial de biodiesel têm grande potencial de geração de emprego, que é uma forma de inclusão social, especialmente quando se considera o amplo potencial produtivo da agricultura familiar. Nas regiões áridas e semi-áridas do mundo, e especialmente em solos brasileiros, a inclusão social é ainda mais premente. Para promover a inclusão social através do cultivo de espécies vegetais biocombustíveis, o governo brasileiro instituiu o Selo de Combustível Social, concedido a empresas que garantam a compra de matéria-prima de pequenos agricultores em percentual mínimo de 50% para a região Nordeste ou em geral para climas semi-áridos, 10% para a região Norte ou Centro Oeste, e ainda 30% para as regiões Sudeste e Sul. Com isso, a empresa garante alíquotas de PIS/Pasep⁴ e Cofins⁵ com coeficientes de redução diferenciados, e acesso às melhores condições de financiamento junto ao Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) e suas instituições financeiras creden-

ciadas. O produtor de biodiesel também poderá usar o selo para fins de promoção comercial de sua empresa. Os pequenos produtores, por outro lado, também terão acesso a linhas de crédito que facilitem a produção de oleaginosas. Deste modo, acredita-se que a implantação desse programa permita ao biodiesel gerar uma economia de divisas ao reduzir a dependência das importações de petróleo (Eco-Terra Brasil, 2009; Sebrae, 2009), o que conferiria ao país uma clara vantagem estratégica. Logo, o Brasil apresenta condições reais para se tornar um dos maiores produtores de biodiesel do mundo; principalmente por dispor de solo e clima adequados ao cultivo de oleaginosas (Lima-Filho *et al.*, 2008). Além das áreas agricultáveis já utilizadas, o país ainda dispõe de aproximadamente 140 milhões de hectares agricultáveis, incluindo terras pouco viáveis para a produção de outras espécies alimentícias. Assim, o Brasil se torna um dos poucos, se não o único, país do mundo capaz de expandir sua produção para os mais variados fins, incluindo as oleaginosas. A partir daí, acredita-se que o Brasil tem condições suficientes para liderar a produção mundial de biodiesel, possibilitando a substituição do 60% da produção mundial de óleo diesel (Sebrae, 2009).

Espécies promissoras para o Brasil

Existem diversas espécies oleaginosas disponíveis para serem usadas nos programas de biodiesel (Tab. 2) e outras tantas que estão sendo estudadas (Tab. 3) como fontes potenciais de biodiesel no Brasil. Abaixo são apresentadas as principais características de cada uma destas espécies já em uso ou potencialmente utilizáveis na produção de biocombustíveis no Brasil e no Mundo. Primeiramente são apresentadas algumas oleaginosas que já estão sendo usadas na alimentação humana e animal, e que apresentam potencial de uso como biocombustíveis. Por último apresentam-se três outras espécies, que são moringa, pinhão-manso e pinhão-bravo, sendo que a primeira já é usada nas regiões semi-áridas do Brasil para purificar a água de consumo, por apresentar a capacidade de aglutinar partículas em suspensão e precipitá-las (Ferreira *et al.*, 2008; Guirra, 2008). As duas últimas espécies estão entre as mais estudadas pelas suas propriedades oleaginosas. Entre elas, *Jatropha molissima* é nativa do Brasil, apresentando forte resistência à seca.

Soya (*Glycine max* L.)

A soja, com uma tecnologia agrícola já bem estabelecida, é hoje a principal matéria-prima na produção de biodiesel. Parte disso se deve a arranjos produtivos muito bem estudados e implantados em boa parte do território brasileiro, sendo esta sua principal vantagem em relação às outras

⁴ Programa de Integração Social (PIS) e Programa de Formação do Patrimônio do Servidor Público (PASEP)

⁵ Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social

TABELA 2. Características das principais oleaginosas produtoras de matéria prima para biodiesel no Brasil. Adaptado de Ramos (1999).

Espécie	Órgão fonte de óleo	Conteúdo de óleo (%)	Rendimento (t ha ⁻¹)
<i>Arachis hypogaea</i> L. (amendoim)	semente	40 – 43	0,6 – 0,8
<i>Attalea speciosa</i> Mart. (babaçú)	semente	66	0,1 – 0,3
<i>Brassica napus</i> L. (canola)	grão	40 – 48	0,5 – 0,9
<i>Cocos nucifera</i> L. (coco)	fruto	55 – 60	1,3 – 1,3
<i>Elaeis guineensis</i> Jacq. (dendê)	semente	22	3,0 – 6,0
<i>Glycine max</i> (L.) Merr. (soja)	semente	18	0,2 – 0,6
<i>Gossypium hirsutum</i> L. (algodão)	semente	15	0,1 – 0,2
<i>Helianthus annuus</i> L. (girassol)	semente	38 – 48	0,5 – 1,9
<i>Persea americana</i> Mill. (abacate)	fruto	7,0 – 35,0	1,3 – 5,0
<i>Ricinus communis</i> L. (mamona)	semente	45 – 48	0,5 – 1,0

TABELA 3. Espécies que estão sendo atualmente investigadas como potenciais fontes de biodiesel no Brasil. Dados gerados a partir de Bereau *et al.*, 2001; Ferreira *et al.*, 2008; Mayworm *et al.*, 1998; Melo *et al.*, 2006; Nass *et al.*, 2007; Tiwari *et al.*, 2007.

Espécie	Família botânica
<i>Acrocomia aculeata</i> (Jacq.) Lodd. ex. Mart. (macaúba)	Arecaceae
<i>Astrocaryum murumuru</i> Mart. (murumuru)	Arecaceae
<i>Astrocaryum vulgare</i> Mart. (tucumã)	Arecaceae
<i>Attalea geraensis</i> (indaiá-rateiro)	Arecaceae
<i>Attalea humilis</i> Mart. ex. Spreng (pidoba)	Arecaceae
<i>Attalea oleifera</i> Barb. Rodr. (andaiá)	Arecaceae
<i>Attalea phalerata</i> Mart. Ex. Spreng (uricuri)	Arecaceae
<i>Caryocar brasiliense</i> Camb. (pequi)	Caryocaraceae
<i>Cucumis melo</i> L. (melão)	Cucurbitaceae
<i>Jatropha curcas</i> L. (pinhão-manso)	Euphorbiaceae
<i>Jatropha molissima</i> (Pohl) Baill. (pinhão-bravo)	Euphorbiaceae
<i>Joannesia princeps</i> Vell. (cutieira)	Euphorbiaceae
<i>Licania rigida</i> Benth. (oiticica)	Chrysobalanaceae
<i>Mauritia flexuosa</i> L. (buriti)	Arecaceae
<i>Maximiliana maripa</i> (Aubl.) Drude (inaja)	Arecaceae
<i>Sesamum indicum</i> L. (gergelim)	Pedaliaceae
<i>Theobroma grandiflorum</i> Willd. ex. Spreng. K. Schum. (cupuaçu)	Sterculiaceae
<i>Zea mays</i> L. (milho)	Poaceae

oleaginosas. Do ponto de vista do balanço energético, da ocupação de terras e da inclusão social, a soja não é a melhor opção. Porém, do ponto de vista econômico, e visando um baixo uso de fertilizantes nitrogenados e boa disponibilidade de sementes e tecnologia, a soja é, sim, muito importante como matéria-prima para a produção de biodiesel (DeVries *et al.*, 2010). A soja é um vegetal nobre, já que possui destinos variados, especialmente aqueles ligados com a alimentação animal e humana, com fortes impactos sobre a balança comercial dos países produtores (Acikgoz *et al.*, 2009). Além disso, o cultivo desta leguminosa exige condições edafoclimáticas específicas, que não se dão em diversas áreas que necessitam desenvolvimento.

Entre as oleaginosas, a soja ocupa o topo da lista no *ranking* Brasileiro de matérias-primas para a produção de biodiesel. Cerca de 80% do óleo biocombustível produzido no Brasil vem da soja. Assim, muitos países vêm pesquisando

fontes alternativas para o óleo de soja de forma a diminuir o impacto que a subtração desse tipo de óleo tem na alimentação humana e animal, e desmitificar o uso do óleo biocombustível como o *causador da fome no mundo*, como recentemente foi veiculado nos meios de comunicação. Na verdade a indústria do petróleo encontra-se em alerta, tendo em vista a possibilidade dos biocombustíveis como biodiesel e bioetanol reduzirem parte dos seus lucros. A área agrícola destinada ao cultivo de oleaginosas é dezenas de vezes menor quando comparada às áreas voltadas para alimentação. A idéia que os biocombustíveis podem levar ao desmatamento é outro mito, pois as áreas desmatadas são consequência da monocultura, da pecuária extensiva e da extração de madeiras, principalmente na Região Norte do Brasil. Dessa forma, o governo brasileiro tem direcionado uma parcela significativa de recursos para viabilizar estudos de fontes alternativas de oleaginosas não convencionais, bem como nativas, visando a inclusão de

pequenos agricultores nas regiões mais carentes do país, tal como o nordeste.

Algodão (*Gossypium hirsutum* L.)

O óleo de algodão é um dos mais representativos no mercado mundial, ocupando o 9º lugar entre os mais produzidos (Li *et al.*, 2009). Em 2006, o algodão representou 7% do mercado de óleos comercializados no Brasil, ficando atrás apenas da soja (Abiove, 2007). Há muito tempo que o algodoeiro é reconhecido no Brasil, principalmente na região nordeste, como importante fonte de renda e geração de emprego para a agricultura familiar.

O óleo do algodão apresenta um perfil químico compatível com sua utilização como biodiesel, toda vez que suas sementes encerram cerca de 20% de óleo (Li *et al.*, 2009), constituído por ácidos graxos insaturados, especialmente ácidos oléico e linoléico. Além disso, esta cultura possui outras utilidades, como a produção de fibras e torta (Reddy *et al.*, 2004). Dentre as oleaginosas, é a segunda mais produzida nas regiões nordeste e centro-sul do Brasil (Sebrae, 2009). Porém, no listado das 10 melhores oleaginosas brasileiras avaliadas em termos da produção de óleo, *G. hirsutum* aparece em último lugar devido a seu baixo rendimento de óleo por hectare (cerca de 0,1 a 0,2 t ha⁻¹) (Sebrae, 2009). Isto faz com que a potencialidade da espécie para a produção de biodiesel fica comprometida. Entretanto, resultados ainda preliminares de uma pesquisa mais recente que levou em consideração os custos de produção e conservação do meio ambiente, entre outros fatores, indicam que o plantio de algodão voltado para a produção de biodiesel pode ser uma boa opção para os produtores das regiões áridas e semi-áridas do Brasil. Porém, o estudo questiona, preliminarmente também, sua viabilidade econômica.

Amendoim (*Arachis hypogaea* L.)

Os maiores produtores mundiais de amendoim são a China e a Índia. Porém, esta cultura também merece destaque no Brasil, pois se apresenta em 3º lugar dentre as mais utilizadas, ficando atrás apenas do óleo de soja e de algodão (Lourenzani e Lourenzani, 2009). O amendoim alcançou seu auge de cultivo no país no ano de 1972, com a produção de 972 t. A partir de então, apesar de que houve certo decréscimo devido aos altos custos de produção, ele ainda se mantém firme.

O teor de óleo no amendoim varia entre 40 e 50%, sendo rico em ácidos graxos insaturados, *e.g.* oléico e linoléico, com cerca de 40 e 36%, respectivamente (Gunstone *et al.*, 2007). Dentre as oleaginosas com perfil de uso energético no Brasil, o amendoim ocupa a oitava posição. Outro fator

importante em relação com o amendoim é sua facilidade de cultivo, sendo totalmente passível de mecanização, além de tolerar fortemente muitos problemas climáticos (*i.e.* seca, frio, salinidade). Além disso, o fruto produz um farelo de excelente qualidade nutricional para rações animais e para alimentos, a mais de ser útil na geração de calor em usinas termoelétricas a partir da combustão das suas cascas.

No nordeste do Brasil, esta oleaginosa é cultivada em condições de sequeiro, estando, portanto, sujeita aos riscos causados pelas variações climáticas típicas deste sistema de cultivo. Entretanto, a espécie mostra-se muito bem adaptada às condições locais de déficit hídrico. De fato, algumas variedades foram desenvolvidas objetivando uma melhor adaptação a estas condições, em razão das suas características físicas e fisiológicas. Entre elas destaca sua capacidade de aprofundar as raízes para captar água em solos mais profundos, o que a torna uma planta valiosa do ponto de vista agrícola (Dramé *et al.*, 2007). Nesta região, o amendoim é uma excelente alternativa em razão da riqueza nutricional de suas sementes e sua adaptação ao clima. O nordeste do Brasil produz até 14 mil toneladas anuais. Entretanto, essa produção é muito inferior ao necessário para abastecer o mercado regional, representando menos do 30% da demanda. O restante 70% é importado de outros estados brasileiros (principalmente São Paulo) ou mesmo da Argentina (Santos *et al.*, 2005).

Girassol (*Helianthus annuus* L.)

O girassol, uma planta anual originária do Peru, é a quarta oleaginosa mais produzida e consumida no mundo, depois da soja, da palma e da canola. Tem como principais produtores a Rússia, os Estados Unidos, a Argentina e a Índia, e como principais consumidores de novo a Rússia e os Estados Unidos, além da Turquia (Grompone, 2004). No Brasil, é a terceira oleaginosa mais cultivada, perdendo apenas para a soja e o algodão, com cerca de 300 mil hectares em 2008 (Marçal, 2007).

Dependendo do solo, do clima e do tipo de adubação usada, suas sementes produzem cerca de 40 a 50% de óleo, o que rende cerca de 600 kg ha⁻¹ de óleo, contra 450 kg ha⁻¹, em média, obtidos com a soja (Marçal, 2007). Mais ainda, estudos conduzidos pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, situada em Roraima, Boa Vista, convergem para uma variedade de girassol que é duas a três vezes mais produtiva, com teores de óleo que podem chegar até a 55% (Marçal, 2007). O principal interesse na produção agrícola do girassol é a extração do óleo, considerado um dos óleos vegetais de melhor qualidade nutricional e organoléptica, já que é rico em ácidos graxos do tipo oléico, linoléico e

palmítico (Salas *et al.*, 2004). Além disso, a massa resultante da extração do óleo rende uma torta altamente protéica, usada na produção de ração. Por seu alto teor e qualidade de óleo, o girassol ocupa um lugar de destaque entre as oleaginosas potencialmente biocombustíveis (Marçal, 2007).

Gergelim (*Sesamum indicum* L.)

Originário da África, o gergelim tem como seus principais produtores e consumidores à Índia e a China. Em suas sementes apresenta cerca de 50 a 60% de óleo comestível de boa qualidade, seus principais ácidos graxos sendo oléico e linoléico. Este óleo apresenta grandes quantidades de substâncias antioxidantes que auxiliam na estabilidade e manutenção de suas propriedades químicas (Kochhar, 2002), impedindo um rápido deterioro. Esta característica, que compartilha com o pinhão-manso, faz do óleo de gergelim uma importante matéria prima para a indústria de biocombustíveis. Estas duas culturas, juntamente com o babaçu e o amendoim, têm sido consideradas como alternativas de cultivo nas regiões semi-áridas do Brasil, já que apresentam características de tolerância à seca (Beltrão, 1995).

Moringa (*Moringa oleifera* Lam.)

Também chamada de lírio-branco e quiabo-de-quina, é uma árvore nativa da África Tropical, que foi introduzida no Brasil como planta ornamental (Matos, 1998). A moringa tem crescimento rápido, podendo atingir até 10 m de altura. É tolerante à seca, além de se desenvolver em solos pobres com níveis elevados de pH (*i.e.* pH 6 a 9) (Morton, 1991). Alguns estudos indicam que a espécie pode produzir até 3 t de semente por hectare, a qual rende cerca de 39% de óleo rico em ácido oléico (78%). Isto indica que o produto é adequado para a obtenção de um biodiesel com baixo teor de insaturações (Guirra, 2008), que pela sua vez, e mais estável diante da oxidação, facilitando o transporte e o armazenamento. O biodiesel produzido a partir de sementes de moringa apresenta alta viscosidade e massa específica, dentro das determinações exigidas pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (Guirra, 2008).

Pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.)

Dentre as plantas com potencial de utilização nos programas de agroenergia, o pinhão-manso mostra-se muito promissor. *J. curcas* apresenta sementes que encerram entre 25 e 32% de óleo (Pompelli *et al.*, 2010b), podendo render até 1,5 t ha⁻¹ de óleo ano em plantas de pelo menos 5 anos de idade (Openshaw, 2000; Tiwari *et al.*, 2007). A semente produz um óleo com excelentes características

físico-químicas e boa proporção de ácidos graxos insaturados (Teixeira, 1987) os mais cobiçados para estes fins. Segundo o Centro Experimental de Ségou, na antiga África Ocidental Francesa, a produtividade média anual estimada do pinhão-manso é de 8.000 kg ha⁻¹ de sementes (Ungaro *et al.*, 2007). Se não bastasse, o pinhão-manso pode ainda render uma torta rica em nitrogênio, potássio, fósforo e matéria orgânica. Outras aplicações dos subprodutos do pinhão-manso incluem o uso da casca como carvão vegetal e matéria-prima na fabricação de papel. Esses fatores aliados favorecem a cultura do pinhão-manso junto com suas principais vantagens, que consistem em possuir um óleo resistente ao deterioro (Tiwari *et al.*, 2007), de baixa acidez e grande facilidade de colheita em relação a outras espécies ricas em óleo, como as palmáceas (Tiwari *et al.*, 2007).

O pinhão-manso é considerado uma boa opção agrícola, principalmente para as regiões semi-áridas do globo. Embora seja exigente em insolação, apresenta forte tolerância à seca. Porém, estudos mostram que a utilização comercial da espécie seria dependente de precipitações nunca menores a 600 mm ano⁻¹ (Arruda *et al.*, 2004; Abou e Atta, 2009; Pompelli *et al.*, 2010a).

Embora *J. curcas* tenha mostrado moderada tolerância à seca (Abou e Atta, 2009; Achten *et al.*, 2010; Pompelli *et al.*, 2010a), estudos recentes têm mostrado que o estresse osmótico, atrelado ou não ao estresse hídrico, é fortemente inibitório do crescimento desta planta (Nery *et al.*, 2009; Hsie *et al.*, 2011).

Pinhão-bravo (*Jatropha mollissima* (Pohl) Baill.)

O pinhão-bravo é um pequeno arbusto da família Euphorbiaceae, nativo do semi-árido brasileiro, vegetando com muita frequência em áreas degradadas da caatinga, um ecossistema típico do nordeste do Brasil. Com frutos deiscentes e folhagem caduca no período de seca (Leal *et al.*, 2007), apresenta um alto teor de óleo (cerca de 38%) em suas sementes (Mayworm *et al.*, 1998). Porém, dependendo das características intrínsecas do fruto, e da sua forma de cultivo e colheita, esses teores podem ser significativamente diferentes (Teixeira, 1987). Embora haja estudos sobre a ecologia (Leal *et al.*, 2007) e fenologia de *J. mollissima* (Neves *et al.*, 2010), são raros os trabalhos que abordam as características ecofisiológicas ou mesmo produtivas da espécie. Estudos recentes têm mostrado que ela pode apresentar significativas reduções (na ordem de 90%) nas taxas fotossintéticas líquidas durante os períodos mais secos do ano (aqueles com precipitações inferiores a 300 mm).

Perspectivas futuras

A maior motivação para o uso de biocombustíveis é seu potencial de reduzir a emissão de gases de efeito estufa de uma forma sustentável. A importância da agroenergia para a matriz energética brasileira de combustíveis exige uma definição de objetivos estratégicos nacionais de médio e longo prazo. Dessa forma seria possível subscrever um pacto entre a sociedade e o Estado, para que juntos promovam a redução do uso de combustíveis fósseis, a ampliação da produção e consumo de biocombustíveis, a proteção do meio ambiente, o domínio do mercado internacional, e, por fim, a contribuição para a inclusão social.

Com esse fim, o Plano Nacional de Agroenergia estabeleceu um marco e um rumo para as ações públicas e privadas de geração de conhecimento e tecnologias que contribuam para uma produção agrícola sustentável encaminhada à geração de energias limpas e ao uso racional das mesmas. Dito marco tem por meta prioritária tornar competitivo o agronegócio brasileiro e dar suporte às políticas públicas voltadas à inclusão social, à regionalização do desenvolvimento e à sustentabilidade ambiental. Em 2009, o governo brasileiro aprovou a lei que determina o aumento da adição de óleo vegetal no diesel, fato que deve alavancar as pesquisas e o cultivo de espécies oleaginosas destinadas à produção de biocombustíveis.

As condições econômicas estão postas para que o agronegócio brasileiro incorpore o biodiesel como um de seus componentes de maior importância, o qual viria se somar ao bioetanol e demais formas de agroenergia. As pressões sociais (*e.g.* emprego, renda, fluxos migratórios) e ambientais (*e.g.* mudanças climáticas, poluição) reforçam e consolidam essa postura, além de antecipar cronogramas. O Brasil tem uma série de vantagens que o qualificam para liderar a agricultura e o mercado da bioenergia em escala mundial. A primeira é a possibilidade de dedicar novas terras à agricultura de energia, sem necessidade de reduzir a área utilizada na agricultura de alimentos, e com impactos ambientais circunscritos ao socialmente aceito. Em muitas áreas do país, é possível fazer múltiplos cultivos sem irrigação, em um ano, apesar de que com irrigação a produtividade seria muito maior (Maes *et al.*, 2009a; Maes *et al.*, 2009b; Achten *et al.*, 2010; Behera *et al.*, 2010; Pompelli *et al.*, 2010a; Pompelli *et al.*, 2010b; Reubens *et al.*, 2011), fato que também pode impulsionar o Brasil neste crescente mercado mundial.

No âmbito mundial, as pressões são crescentes a cada ano que passa neste início de século XXI, seja devido à crise

econômica ou às mudanças climáticas. Isso fará com que nas próximas décadas, países que antes eram importadores de matéria prima de combustíveis fósseis, passem a exportar biocombustíveis. Essa mudança será um passo definitivo rumo aos países hoje tidos como centrais serem equiparados àqueles atualmente periféricos. Neste cenário enquadram perfeitamente o Brasil, a China e a Índia.

Ademais, quando se observa o panorama geral da produção de biodiesel no Brasil, vê-se que mais do 70% do biodiesel produzido é originário da soja, um produto alimentício nobre com grande impacto econômico que, de quebra, traz para as regiões áridas e semi-áridas uma situação de maior dependência dos Estados do Centro-Sul, fato que nos leva a importar biodiesel dessas regiões. É digno de nota, porém, que o Brasil não somente tem outras espécies promissoras nesse sentido, mas também o interesse a partir do qual está incentivando pesquisas científicas que visam levantar dados sobre a real capacidade de substituir o óleo de soja por óleos de outras oleaginosas. É possível que em um curto prazo não se consiga a substituição total do biodiesel de soja pelo produzido por outras espécies vegetais, mas acredita-se que o Brasil e outros países emergentes têm forte capacidade de liderar o mercado de oleaginosas alternativas.

Se a idéia for gerar emprego e renda nas regiões menos desenvolvidas, há que se fazer algo urgentemente em prol desse objetivo. Neste sentido, a vontade de conciliar a viabilidade econômica com o ambientalmente sustentável e socialmente inclusivo acaba por dificultar um pouco o crescimento da produção nacional de biodiesel. Para alguns, aliás, a solução seria investir ainda mais em soja e procurar alternativas de geração de emprego e renda para as regiões menos favorecidas. Com isso, abre-se uma questão: Como tornar o produtor rural, carente de educação e tecnologia, numa parte importante dessa cadeia de produção de biodiesel, sem que para isso se tenha de inviabilizar a produção economicamente? Acreditamos que somente pesquisas massivas e discussões como esta podem e devem contribuir para o esclarecimento destas pendências, tanto no Brasil como em outros países.

Referências bibliográficas

- Abiove, Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais. 2007. Capacidade instalada da indústria de óleos vegetais. Em: http://www.abiove.com.br/capacidade_br.html; consulta: Junho, 2011.
- Abou, Kheira A.A. e N.M.M. Atta. 2009. Response of *Jatropha curcas* L. to water deficit: yield, water use efficiency and oil seed characteristics. *Biomass Bioenerg.* 33, 1343-1350.

- Achten, W.M.J., W.H. Maes, B. Reubens, E. Mathijs, V.P. Singh, L. Verchot e B. Muys. 2010. Biomass production and allocation in *Jatropha curcas* L. seedlings under different levels of drought stress. *Biomass Bioenerg.* 34, 667-676.
- Acikgoz, E., M. Sincik, A. Karasu, O. Tongel, G. Wietgreffe, U. Bilgili, M. Oz, S. Albayrak, Z.M. Turan Z.M. e A.T. Goksoy. 2009. Forage soybean production for seed in Mediterranean environments. *Field Crops Res.* 110, 213-218.
- Arruda, F.P., N. Beltrão, A. Andrade, W. Pereira e L. Severino. 2004. Cultivo de pinhão manso (*Jatropha curcas*) como alternativa para o semi-árido nordestino. *Rev. Bras. Ol. Fibras.* 8, 789-799.
- Behera, S.K., P. Srivastava, R. Tripathi, J.P. Singh e N. Singh. 2010. Evaluation of plant performance of *Jatropha curcas* L. under different agro-practices for optimizing biomass. A case study. *Biomass Bioenerg.* 34, 30-41.
- Beltrão, N.E.M. 1995. Importância da cultura de gergelim para a região Nordeste. *CNPQ Informa* 19, 1-10.
- Bereau, D., B. Benjelloun-Mlayah e M. Delmas. 2001. *Maximiliana maripa* drupe mesocarp and kernel oils: fatty acid and total tocopherol compositions. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 78, 213-214.
- Castellanelli, M., S.N.M. Souza, S.L. Silva e E.K. Kailer. 2008. Desempenho de motor ciclo diesel em bancada dinamométrica utilizando misturas diesel/biodiesel. *Eng. Agríc.* 28, 145-153.
- Chisti, Y. 2007. Biodiesel from microalgae. *Biotechnol. Adv.* 25, 294-306.
- Demirbas, A. 2009. *Biofuels: green energy and technology.* Springer, Londres.
- DeVries, S.C., G.W.J. Van de Ven, M.K. Van Ittersum e K.E. Giller. 2010. Resource use efficiency and environmental performance of nine major biofuel crops processed by first generation conversion techniques. *Biomass Bioenerg.* 34, 588-601.
- Dovi, V.G., F. Friedler, D. Huisingh e J.J. Klemes. 2009. Cleaner energy for sustainable future. *J. Clean. Prod.* 17, 889-895.
- EcoTerra Brasil. 2009. Biodiesel: O novo combustível do Brasil. Em: Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel, <http://www.ecoterrabrasil.com.br/home/index.php?pg=destaques&cd=1412>; consulta: Junho, 2011.
- Escobar, J.C., E.S. Lora, O.J. Venturini, E. Yanez e E.F. Castillo. 2009. Biofuels: environment, technology and food security. *Renew. Sustain. Energ. Rev.* 13, 1275-1287.
- Ferreira, P.M.P., D.F. Farias, J.T.A. Oliveira e A.F.U. Carvalho. 2008. *Moringa oleifera*: bioactive compounds and nutritional potential. *Ver. Nutr.* 21, 431-437.
- Gazzoni, D.L. 2009. Mercado de biocombustíveis: uma análise. *Biodieselbr* 2, 10-25.
- Gerpen, J.V. 2005. Biodiesel processing and production. *Fuel Process. Tech.* 86, 1097-1107.
- Greenwell, H.C., L.M.L. Laurens, R.J. Shields, R.W. Lovitt e K.J. Flynn. 2010. Placing microalgae on the biofuels priority list: a review of the technological challenges. *J. R. Soc. Interface* 7, 703-726.
- Grompone, M.A. 2004. Sunflower oil. pp. 655-730. Em: Shahidi, F. (ed.). *Bailey's industrial oil and fat products.* 6a ed. Vol. 2. Wiley Interscience, Nova Iorque, NY.
- Guirra, F. 2008. Moringa e o biodiesel: 1001 Utilidades. *Biodieselbr* 8, 30-34.
- Gunstone, F.D., J.L. Harwood e A.J. Dijkstra. 2007. *The lipid handbook*, 3a ed. CRC Press, Nova Iorque, NY.
- Hendriks, C. e W. Graus. 2004. *Global carbon dioxide storage: potencial and cost.* Ecofys Utrecht, The Netherlands.
- Hsie, B.S., M.L.O. Campos, J.A.A. Granja, R.M. Correia, S.R.S. Silva, J.S. Almeida-Cortez e M.F. Pompelli. 2011. Photosynthetic changes, osmoregulation and protective mechanisms in salt-stressed *Jatropha curcas* plants. *J. Agron. Crop Sci.* aprovado para publicação.
- Johnston, M. e T. Holloway. 2007. A global comparison of national biodiesel production potentials. *Environ. Sci. Technol.* 41, 7967-7973.
- Katwal, R.P.S. e P.L. Soni. 2003. Biofuels: an opportunity for socioeconomic development and cleaner environment. *Indian For.* 129, 939-949.
- Kochhar, S.P. 2002. Sesame, rice-bran and flaxseed oils. pp. 297-326. Em: Gunstone, F.D. (ed.). *Vegetable oils in food technology, composition, properties and uses.* Blackwell Publishing, Oxford, UK.
- Leal, I.R., R. Wirth e M. Tabarelli. 2007. Seed dispersal by ants in the semi-arid caatinga of north-east Brazil. *Ann. Bot.* 99, 885-894.
- Li, W., Z. Zhou, Y. Meng, N. Xu e M. Fok. 2009. Modeling boll maturation period, seed growth, protein, and oil content of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) in China. *Field Crops Res.* 112, 131-140.
- Lima-Filho, D.O., V. Prado-Sogabe e T.C. Costa-Calarge. 2008. Mercado de biodiesel: un panorama mundial. *Espacios* 29, 5-27.
- Lindfeldt, E.G. e M.O. Westermark. 2009. Biofuel production with CCS as a strategy for creating a CO₂-neutral road transport sector. *Energ. Procedia* 1, 4111-4118.
- Lourenzani, W.L. e A.E.B.S. Lourenzani. 2009. Perspectivas do agronegócio brasileiro de amendoim. *Inf Econ* 39, 55-68.
- Maes, M.H., W.M.J. Achten, B. Reubens, R. Samson e B. Muys. 2009a. Plant-water relationships and growth strategies of *Jatropha curcas* L. saplings under different levels of drought stress. *J. Arid Environ.* 73, 877-884.
- Maes, W.H., A. Trabucco, W.M.J. Achten e B. Muys. 2009b. Climatic growing conditions of *Jatropha curcas* L. *Biomass Bioenerg.* 33, 1481-1485.
- Marçal, R. 2007. O poder das flores. *Biodieselbr* 1, 22-26.
- Matos, F.J.A. 1998. *Farmácias vivas: sistema de utilização de plantas medicinais projetados para pequenas comunidades.* UFC, Fortaleza, Brasil.
- Mayworm, M.A.S., A.S. Nascimento e A. Salatino. 1998. Seeds of species from the caatinga: proteins, oils and fatty acid contents. *Rev. Bras. Bot.* 21, 299-303.
- Melo, J.C., J.C. Teixeira, J.Z. Brito, J.G.A. Pacheco e L. Stragevitch. 2006. Produção de biodiesel de óleo de oiticica. pp. 164-169. Em: *I Congresso da Rede Brasileira de Tecnologia de Biodiesel.* Vol. 2. Biodieselbr, Brasília.
- Morton, J.F. 1991. The horseradish tree, *Moringa pterygosperma* (Moringaceae): a boon to arid lands? *Econ. Bot.* 45, 318-333.

- Nass, L.L., P.A.A. Pereira e D. Ellis. 2007. Biofuels in Brazil: an overview. *Crop Sci.* 47, 2228-2237.
- Negrello, L. e L. Zenti. 2007. Revolução verde. *Biodieselbr* 1, 12-17.
- Nery, A.R., L.N. Rodrigues, M.B.R. Silva, P.D. Fernandes, L.H.G. Chaves, J. Dantas-Neto e H.R. Gheyi. 2009. Crescimento do pinhão-mansão irrigado com águas salinas em ambiente protegido. *Rev. Bras. Eng. Agr. Amb.* 13, 551-558.
- Neves, E.L., L.S. Funch e B.F. Viana. 2010. Comportamento fenológico de três espécies de *Jatropha* (Euphorbiaceae) da Caatinga, semi-árido do Brasil. *Rev. Bras. Bot.* 33, 155-166.
- Obersteiner, M., C.H. Azar, P. Kauppi, K. Möllersten, J. Moreira, S. Nilsson, P. Read, K. Riahi, B. Schlamadinger, Y. Yamagata, J. Yan e J.P. Ypersele. 2001. Managing climate risk. *Science* 294, 786-787.
- ONU. 2002. Relatório da ONU alerta: escassez de água já afeta 40% da população mundial. Em: <http://www.ecopress.org.br/eco+watch/relatorio+da+onu+alerta+escassez+de+agua+ja+afeta+40+da+populacao+mundial>; consulta: Junho, 2011.
- Openshaw, K. 2000. A review of *Jatropha curcas*: an oil plant of unfulfilled promise. *Biomass Bioenerg.* 19, 1-15.
- Pettersson, K. e S. Harvey. 2010. CO₂ emission balances for different black liquor gasification biorefinery concepts for production of electricity or second-generation liquid biofuels. *Energy* 35, 1101-1106.
- Pompelli, G. 2008. Biofuels. p. 18. Em: International Conference on Sorghum for Biofuels. Houston, TX.
- Pompelli, M.F., R.M. Barata-Luís, H.S. Vitorino, E.R. Gonçalves, E.V. Rolim, M.G. Santos, J.S. Almeida-Cortez e L. Endres. 2010a. Photosynthesis, photoprotection and antioxidant activity of purging nut under drought deficit and recovery. *Biomass Bioenerg.* 34, 1207-1215.
- Pompelli, M.F., D.T.R.G. Ferreira, P.P.G.S. Cavalcante, T.L. Salvador, B.S. Hsie e L. Endres. 2010b. Environmental influence on the physico-chemical and physiological properties of *Jatropha curcas* L. seeds. *Aust. J. Bot.* 58, 421-427.
- Radakovits, R., R.E. Jinkerson, A. Darzins e M.C. Posewitz. 2010. Genetic engineering of algae for enhanced biofuel production. *Eukaryot. Cell* 9, 486-501.
- Ramos, L.P. 1999. Papel dos biocombustíveis no cenário Brasileiro. p. 233. Em: Anais do Congresso Brasileiro de Soja. Centro Nacional de Pesquisa de Soja; Empresa Nacional de Pesquisa Agropecuária, Londrina, Brasil.
- Reddy, K.R., S. Koti, G.H. Davidonis e V.R. Reddy. 2004. Interactive effects of carbon dioxide and nitrogen nutrition on cotton growth, development, yield, and fiber quality. *Agron. J.* 96, 1148-1157.
- Reubens, B., W.M.J. Achten, W.H. Maes, F. Danjon, R. Aerts, J. Poesen e B. Muys. 2011. More than biofuel? *Jatropha curcas* root system symmetry and potential for soil erosion control. *J. Arid Environ.* 75, 201-205.
- Salas, J.J., E. Martínez-Force e R. Garcés. 2004. Biochemical characterization of a high-palmitoleic acid *Helianthus annuus* mutant. *Plant Physiol. Biochem.* 42, 373-381.
- Santos, R.C., I.J. Godoy e A.P. Fávero. 2005. Melhoramento do amendoim. pp. 123-192. Em: Santos, R.C. (ed.). O agronegócio do amendoim no Brasil. Embrapa Algodão, Campina Grande, Brasil.
- Sebrae, Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas. 2009. Biodiesel. Em: <http://www.sebrae.com.br>; consulta: Junho, 2011.
- Siegenthaler, U., T. Stocker, E. Monnin, D. Luthi, J. Schwander, B. Stauffer, D. Raynaud, J.-M. Barnola, H. Fischer, V. Masson-Delmotte e J. Jouzel. 2005. Stable carbon cycle-climate relationship during the late Pleistocene. *Science* 310, 1313-1317.
- Teixeira, J.P.F. 1987. Teor e composição do óleo de sementes de *Jatropha* spp. *Bragantia* 46, 151-157.
- Tiwari, A., A. Kumar e H. Raheman. 2007. Biodiesel production from *Jatropha* oil (*Jatropha curcas*) with high free fatty acids: an optimized process. *Biomass Bioenerg.* 31, 569-575.
- UNDP, United Nations Development Programme. 2000. Energy and the challenge of sustainability. Em: <http://www.undp.org>; consulta: Junho, 2011.
- Ungaro, M.R.G., U.L.K. Morais, A. Regitano-Neto e I.J. Godoy. 2007. Espaçamento e poda na cultura do pinhão-mansão (*Jatropha curcas* L.). p. 272. Em: Castro-Neto, P., A.C. Fraga (eds.). IV Congresso Brasileiro de Plantas Oleaginosas. UFLA, Varginha, Brasil.
- Vitousek, P.M., J.D. Aber, R.W. Howarth, G.E. Likens, P.A. Matson, D.W. Schindler, W.H. Schlesinger e D.G. Tilman. 1997. Human alteration of the global nitrogen cycle: sources and consequences. *Ecol. Appl.* 7, 737-750.