INTERFACEHS
Revista de Saúde, Meio Ambiente e Sustentabilidade
Volume 7, Número 1, 2012

DIMENSÕES GEOPOLÍTICAS E AMBIENTAIS DOS BIOCOMBUSTÍVEIS NO BRASIL

Jose Maria Alves Godoi [1]
Silvio Oliveira Junior [2]
Patricia Helena Matai [3]

Resumo

Partindo da concepção de biomassa e dos elementos determinantes da sua produtividade, abarcando a contabilidade emergética, com os fluxos de energia solar, e a disponibilidade de áreas territoriais, o presente trabalho faz uma análise sintética da evolução, e das dimensões geopolíticas e ambientais dos biocombustíveis no Brasil. No desencadeamento dessa análise, evidenciam-se as vantagens competitivas do país, por exemplo, no bioetanol da cana-de-açúcar, a sua concentração na região Centro-Sul e o balanço energético significativamente favorável deste biocombustível em relação ao oriundo de outras biomassas, como, por exemplo, do milho, da beterraba açucareira, etc. No estudo, também se destaca a baixa densidade geopolítica dos bioóleos e do metano solar (biogás) através do território nacional, o difícil balanço energético dos primeiros para a produção de biodiesel, colocando este na fronteira de se tornar um combustível fóssil.

O exame da geopolítica também descortina as questões do uso dos biocombustíveis nas comunidades isoladas da Amazônia e da educação tecnológica e gerencial para a formação dos empreendedores pelo interior do país, o que se constitui numa política pública fundamental para a reprodutibilidade e a confiabilidade do padrão da qualidade especificado, por exemplo, na produção do biodiesel a ser utilizado em motores.

O artigo ainda expõe e debate as dimensões ambientais dos biocombustíveis e suas alternativas de serem transformadas em dimensões econômicas capitalizadas por meio da venda de créditos de carbono, conforme previsto no Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) do Protocolo de Kyoto. Ponderações relevantes também são feitas no trabalho acerca das vantagens do uso dos biocombustíveis líquidos no setor de transportes, principalmente no ambiente atual de intensa poluição atmosférica nas grandes cidades brasileiras.

Finalmente, o artigo suscita políticas públicas integradas, que estabeleçam condições propícias à sustentabilidade e à longevidade dos biocombustíveis como novos sistemas energéticos, os quais tragam melhoria à qualidade de vida e vantagem competitiva ao país.

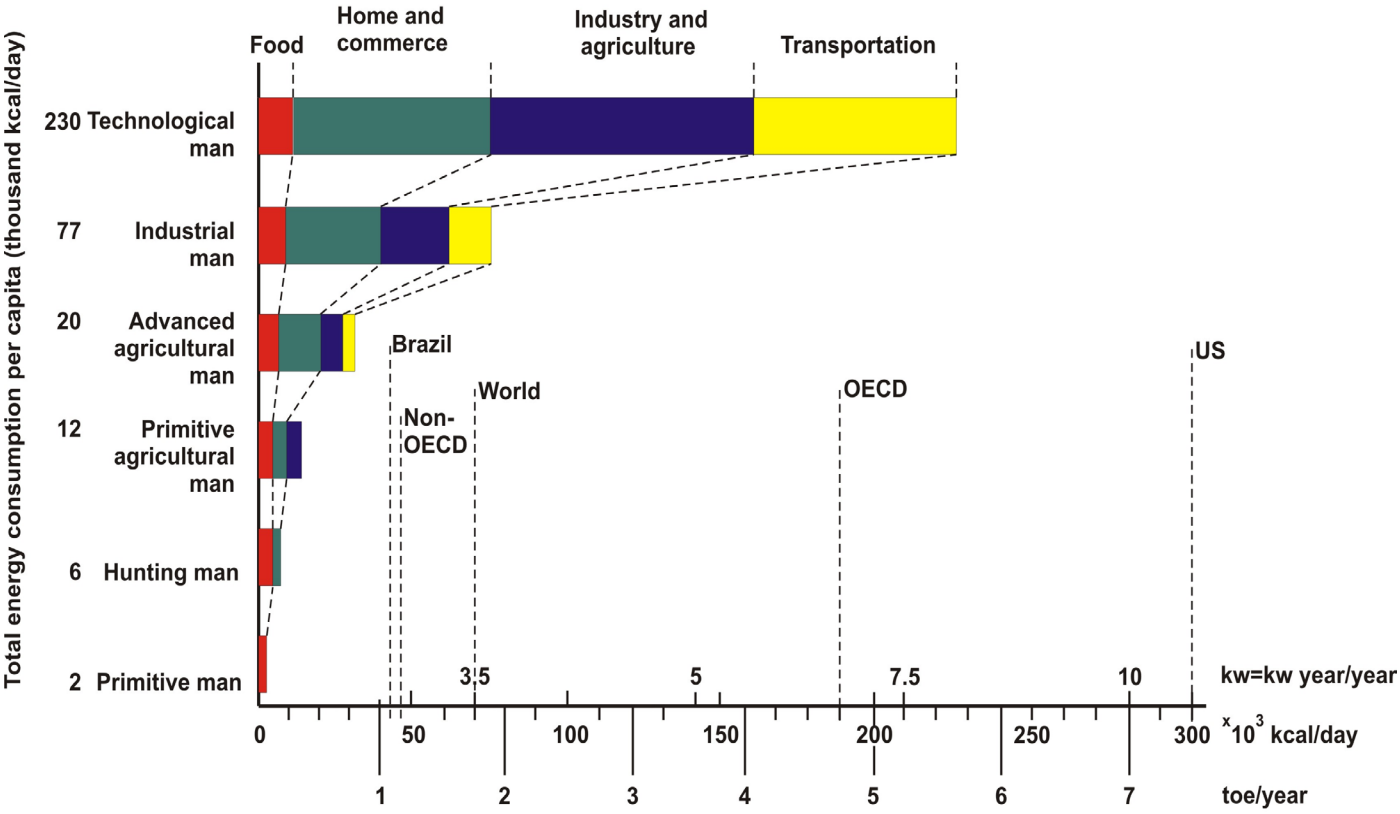
1. Introdução

De acordo com Cook (1976), o homem evoluiu desde a sua fase primitiva, quando o seu nível de utilização de energia era de 2.000 kcal/dia, até o homem tecnológico de hoje, cujo uso energético alcança as 230.000 kcal/dia.
Diferentemente dos outros animais, pela sua natureza exossomática, e para o próprio conforto e bem-estar, ao longo da sua evolução, o homem criou aparatos, processos e sistemas intensamente utilizadores de energia em vários setores de atividades, como os da indústria, da agricultura, dos transportes, etc., cujas formas

1 Doutorando do Programa de Pós Graduação em Energia do Instituto de Eletrotécnica e Energia da USP
2 Docente na Escola Politécnica da USP; Programa de Pós Graduação em Energia do Instituto de Eletrotécnica e Energia da USP
3 Docente da Escola Politécnica da USP (Departamento de Engenharia Química) e docente do Programa de Pós Graduação em Energia do Instituto de Eletrotécnica e Energia da USP - Linhas de Pesquisa Energia e Meio Ambiente; Fontes Renováveis de Energia.

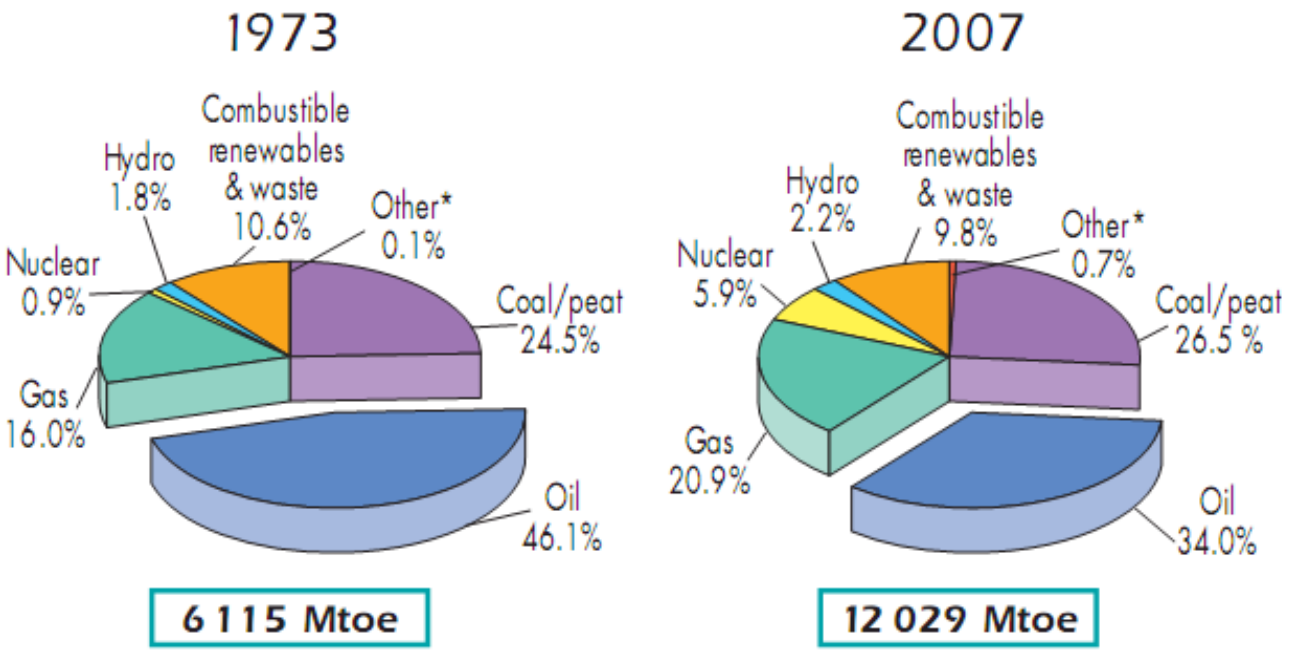
e hábitos de uso, inclusive nas comodidades residenciais, multiplicaram-se e elevaram, em grande monta, a demanda de energia. Ver a **Fig. 1** ao lado.

Figura 1- Estágios do desenvolvimento do uso per capita da energia
Fonte: Cook, 1976.



Por características e eventos específicos ocorridos ao longo desse processo evolutivo, como a descoberta do primeiro poço de petróleo comercialmente explotado em Oil Creek, na Pensilvânia, EUA; a instalação da indústria automobilística mundial no início do século XX; dentre outros, o homem foi buscar nos combustíveis fósseis a sua principal fonte de energia e, com base nela, fundou toda uma infraestrutura industrial, de transporte, etc., de alcance mundial, terminando por consolidar a hoje conhecida sociedade do hidrocarboneto. Para se vê com clareza o nível do volume alcançado por essa energia fóssil no mundo atual, a *International Energy Agency* (IEA) (2009) mostra que ele ultrapassa os 80%. Ver a **Fig. 2**, abaixo.

Figura 2 – Oferta total de energia primária: mundo 1973 e 2007
Fonte: IEA, 2009.



Sabendo-se que não é possível queimar o carbono e o hidrogênio dos hidrocarbonetos sem produzir dióxido de carbono (CO2) e água, em que esta resulta, principalmente, no estado de vapor, além de outros elementos danosos à saúde dos seres vivos, como o dióxido de enxofre (SO2), dentre outros, o homem passou a injetar esses componentes em largas quantidades na atmosfera. O principal efeito dessa sequência de eventos é o rompimento do balanço energético do sistema Terra-Sol, com alterações significativas nos equilíbrios químico e biológico da atmosfera, provocando o efeito estufa, as chuvas ácidas, a depleção da camada de ozônio, a esterilidade de áreas agriculturáveis, êxodos populacionais, o surgimento de doenças novas e o ressurgimento de outras consideradas extintas, etc. No âmbito do conhecimento científico e tecnológico da atualidade, o desequilíbrio químico e biológico da atmosfera, com seus reflexos, diretos e indiretos, na hidrosfera e na litosfera, implica possibilidades de danos à vida em várias e amplas dimensões, as quais ainda não foram desvendadas pelo homem.

A complexa questão ambiental, que resulta desses fenômenos provocados na biosfera, parece ser o efeito bumerangue da grande largueza do homem em relação ao seu orgulho por ser o único animal conhecido dotado da razão e possuir uma inesgotável dimensão exossomática: desenvolve e domina feitos tão próximos como um computador portátil, e tão distantes como os satélites e os aparatos de observação interplanetária.

Diante dessa ampla e intricada problemática, o homem inicia um questionamento sobre essa trajetória e volta-se para alternativas que, embora pareçam primitivas, como buscar a energia do sol, da água, dos ventos, das plantas, dos resíduos, etc.; entretanto, utilizando tecnologias modernas, visando às produtividade, renovabilidade e sustentabilidade. Nesse contexto, emergem os biocombustíveis, aqueles derivados da biomassa.

Sendo assim, focalizando o Brasil, este artigo tem o objetivo de descortinar, e compreender, as dimensões geopolíticas e ambientais dos biocombustíveis no país.

Como metodologia, o trabalho se fundamenta na pesquisa e interpretação de dados e informações oficiais, formais, de agências nacionais e internacionais de energia, pesquisa acadêmica, e publicações de mercado acerca de projetos desenvolvidos, do status dos biocombustíveis no Brasil e suas projeções futuras. Após serem interpretados e coligidos, esses documentos e informações são sequencialmente reorganizados, examinados os seus pontos de congruência e verificados seus tratamentos estatístico e gráfico, de tal modo que, no final, seja alcançado o objetivo acima declarado.

2. Biomassa e Biocombustíveis no Brasil

2.1. Biomassa e biocombustíveis

De acordo com a *International Union of Pure and Applied Chemistry* (IUPAC) (1997) e Godoi (2008), este trabalho define a biomassa como toda a matéria produzida pela atividade e crescimento dos microrganismos, plantas e animais da biosfera, que se materializa na presença do espectro eletromagnético da radiação emitida pelo sol, constituindo, assim, o substrato material, físico, dos depósitos e fluxos energéticos disponíveis na natureza, podendo, sob a gestão do homem, ser reproduzida ou renovada em ciclo econômico (energia renovável) no intervalo de tempo de até 30 anos. Sob essa concepção, a biomassa também inclui os resíduos florestais, agrícolas e urbanos, além dos rejeitos animais e humanos, os quais constituem uma nova classe de coprodutos, que é a base ou, matéria-prima, para a produção dos biocombustíveis.
Portanto, os biocombustíveis são os combustíveis derivados da biomassa ou produzidos a partir dela. Podem se encontrar no estado sólido, como a lenha, os resíduos urbanos (lixo), o carvão vegetal, as algas, etc.; no estado líquido, como o bioetanol e o biodiesel; e, finalmente, no estado gasoso, como o biogás. Por serem suportados pela biomassa, eles dependem da energia solar e do respectivo nível de produtividade da fotossíntese. A energia solar, por ser o suporte de toda a vida existente na biosfera, e da regularidade dos ciclos naturais, como o ciclo hidrológico, o do carbono, os ciclos sedimentares, as correntes de convecção dos ventos, etc., determina a presença das demais energias, como a eólica; a da água; a microbiológica, abarcando as trocas e reciclagens dos seres procarióticos e eucarióticos, além de outras emanações e reciclagens energéticas naturais, que independem da ação antrópica.

Ante essa ampla mescla de energias naturais, com suas trocas e reciclagens, a característica de multidirecionalidade e difusão da radiação solar, a qual, embora contenha uma elevada potência energética, tem distribuição difusa, a biomassa e, consequentemente, os biocombustíveis, dependem de grandes áreas territoriais disponíveis. Nesse contexto, diferentemente dos combustíveis fósseis, que dispõem de conteúdo energético produzido ao longo de centenas de milhões ou mesmo de bilhões de anos, os biocombustíveis, ao se constituírem de um somatório de energias naturais imediatas, dependem de duas dimensões essenciais: disponibilidade de terras e rendimento emergético (conceito de emergia).

Destarte, nessa seqüência fundamental para a compreensão do significado de biocombustível, é introduzido o conceito de emergia. A emergia trata dos fluxos energéticos totais, que começam com a entrada da energia solar, ponderando quanto dessa energia é degradada, como decorrência da segunda lei da Termodinâmica, a energia útil que permanece embarcada, descontando-se ainda a utilizada para crescimento e produção da biomassa, para respiração, etc. As trocas e reciclagens das plantas também incluem seu consumo pelos animais e pelo homem, suas perdas pelos ventos, pela poluição, etc., de tal forma que a emergia contabiliza todas as diferentes formas de energia que contribuem para a formação e para o rendimento final da biomassa como um todo. A emergia realiza uma contabilidade, que abrange várias "moedas energéticas" ou tipos diferentes de energia, a qual, no final, determina a produtividade física de constituição da biomassa e seu ambiente biótico.

À medida que se prossegue na produção da biomassa ou do bioma sob consideração, a natureza difusa da radiação solar, somada a esses fluxos energéticos permeados de perdas pela primeira lei da Termodinâmica e de degradação da qualidade da energia pela segunda lei, inexoravelmente, irá requerer grandes áreas físicas de produção disponíveis para se obter um volume de potência energética suficiente para a produção de biocombustíveis. Essa condição é essencial para que se alcance um balanço energético final favorável.

Os incessantes avanços tecnológicos certamente continuarão elevando a produtividade da biomassa moderna e dos biocombustíveis; entretanto, dificilmente alterarão, significativamente, as limitações de potência dos fluxos energéticos naturais de curto prazo, de ciclo econômico, seja madeira dura, de lei, que pode ser reproduzida em 30 anos, seja o lixo urbano, que se reproduz diariamente.

Portanto, na concepção desenvolvida neste trabalho, os biocombustíveis compõem a dendroenergia.

2.2. Evolução dos biocombustíveis no Brasil

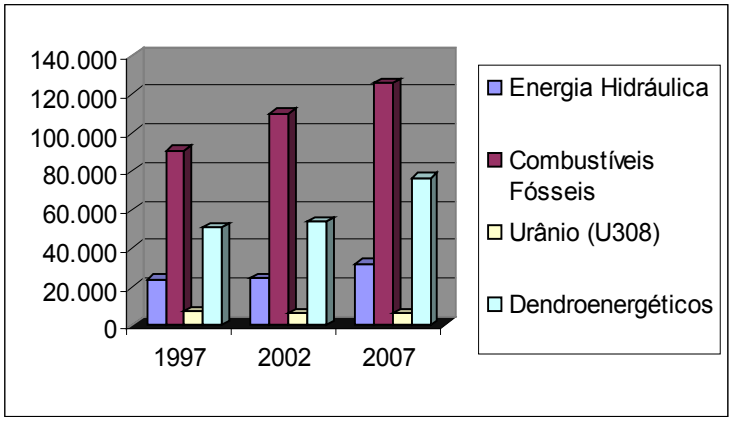
O Brasil é o quinto maior país do mundo em área (mais de 8,5 milhões de Km2), com população inferior a 200 milhões de habitantes; possui climas tropical e subtropical, e apresenta um dos mais elevados rendimentos fotossintéticos do planeta. Por conseguinte, ele preenche as duas condições básicas da produção de biomassa, anteriormente mencionadas: a disponibilidade de áreas territoriais e uma contabilidade emergética favorável.

A cana-de-açúcar, que é a biomassa mais utilizada e responsável pelo principal biocombustível brasileiro – o bioetanol – foi trazida para o Brasil em 1532; em 1934, por efeito da grande dependência geopolítica e econômica (necessidades de importação e das respectivas divisas) do país em relação ao petróleo, o bioetanol entrou na mistura da gasolina; em 1975, por decorrência do primeiro choque do petróleo ocorrido em 1973 e a continuidade dessa dependência, o país introduziu o Programa Nacional do Álcool (PROÁLCOOL), o qual resultou na renovação e aumento do desempenho do programa de mistura à gasolina, na produção massiva do bioetanol suportada por políticas públicas de incentivos tecnológicos, financeiros e fiscais, além do lançamento de motores à combustão interna especificamente projetados para funcionar apenas com álcool. Com a ocorrência do contrachoque do petróleo no mercado internacional e de descontinuidades sistêmicas nas políticas públicas do Brasil; o alvorecer da década de 1990, com o início do processo de desregulamentação econômica do governo Collor, verificando-se o desmonte de várias entidades cartoriais existentes, como, por exemplo, o Instituto do Açúcar e do Álcool (IAA); dentre outras razões, a produção de álcool e da frota de automóveis a álcool foi drasticamente reduzida, quase se encerrando e, como resultado, o PROÁLCOOL entrou em declínio.

Na segunda metade da década de 1990, com a emergência vigorosa da consciência ambiental; divulgação de dados globais sobre as mudanças do clima e suas consequências sobre o homem e as demais formas de vida na terra; o reconhecimento, pela Organização das Nações Unidas (ONU), da existência de 50 milhões de refugiados ambientais no mundo, como efeito da esterilidade de terras agriculturáveis, de acordo com o relato de Almeida (2007); a acelerada redução da qualidade de vida nas grandes cidades do mundo, incluídas São Paulo, Rio de Janeiro e Belo Horizonte, trazendo elevados níveis de degradação socioambiental nas suas áreas periféricas, reavivando a complexa, e real, problemática da poluição atmosférica; a entrada dos motores de combustão interna, flexíveis quanto ao uso de combustíveis fósseis ou renováveis, no mercado; etc., finalmente, reconduziram, ao que tudo indica, à utilização definitiva dos biocombustíveis na matriz energética brasileira.

Nessa sequência de eventos, conforme o Balanço Energético Nacional de 2008 (BEN-2008), ano-base 2007, e fazendo uma avaliação criteriosa acerca de como evoluiu a matriz energética nacional nos últimos 10 anos, período 1997-2007, verifica-se um significativo avanço da dendroenergia no país. Os dendroenergéticos, ponderados nessa publicação, resultam da biomassa da cana-de-açúcar, da lenha, do licor negro e dos resíduos florestais utilizados na indústria de papel e celulose. Ver **Fig. 3** a seguir.

Figura 3- Evolução comparada da OIE por fonte primária
Fonte: BEN-2008.

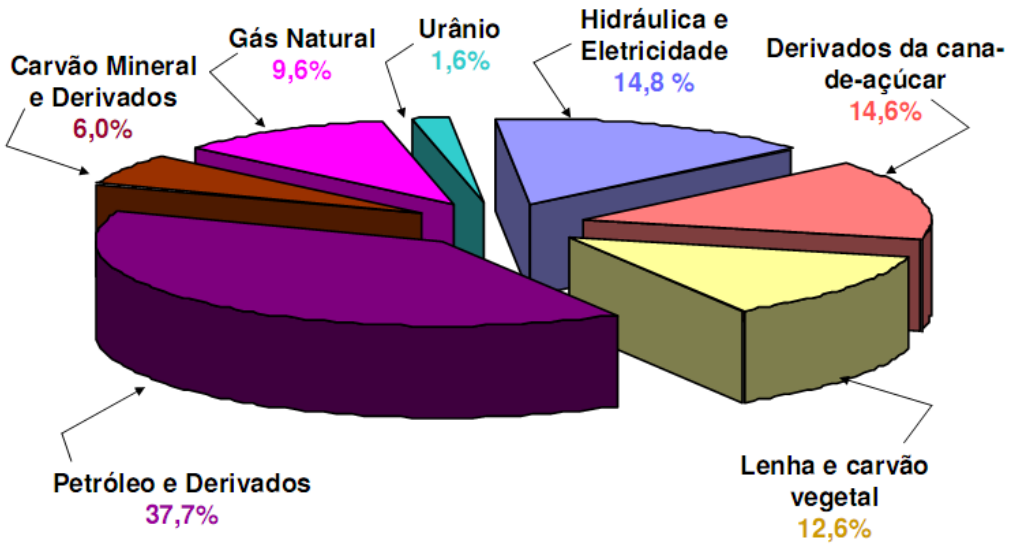


Nesta figura, enquanto o eixo horizontal define o período sob análise, o eixo vertical expressa a oferta interna de energia (OIE) em toneladas equivalentes de petróleo (tep). Como se constata nela, ainda que tenha ocorrido uma elevada fossilização da matriz energética brasileira, a dendroenergia, isto é, os biocombustíveis também avançaram, consideravelmente.

A **Fig. 3** demonstra a evolução comparativa das diversas fontes primárias, na qual se evidencia o avanço destacado da dendroenergia. Ainda que haja um significativo aumento dos combustíveis fósseis, percebe-se que a taxa de crescimento dos biocombustíveis foi maior, no período considerado.

Atualmente, o Brasil tem uma matriz energética, a qual, quando comparada à mundial (**Fig. 2**), demonstra haver uma posição confortável do país em relação à produção e uso de biocombustíveis. Ver a Fig. 4 adiante.

Figura 4 – Distribuição e OIE por fonte: Brasil 2007
Fonte: BEN-2008

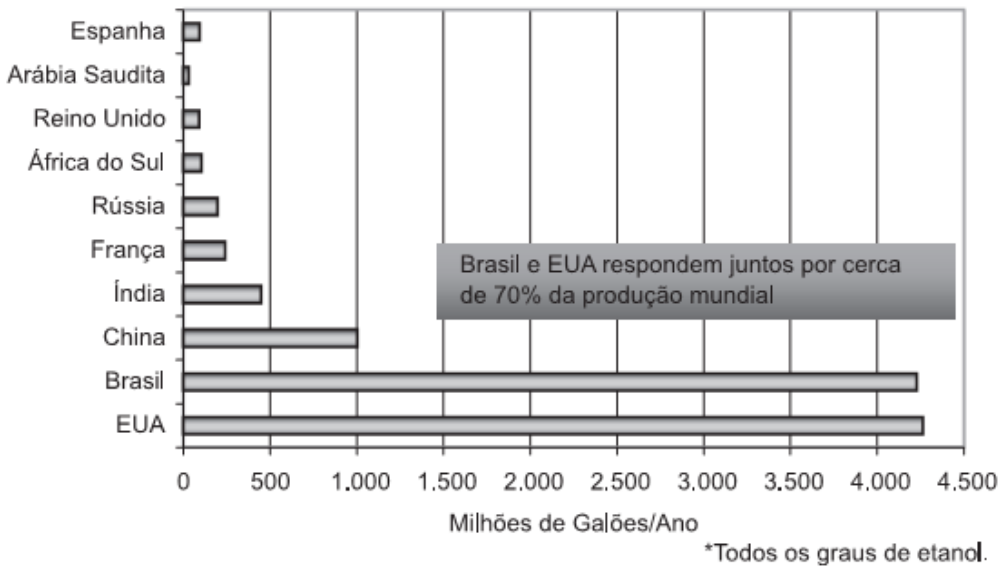


Na **Fig. 4**, constata-se a distribuição, com o nível de participação das fontes na matriz energética brasileira, esclarecendo aquelas da biomassa e, portanto, dos biocombustíveis.

Quanto se inclui a participação da eletricidade de fonte hídrica, quantitativamente, hoje o Brasil contabiliza cerca de 45% de fontes renováveis e de 55% de não-renováveis.

Em termos do bioetanol, o Brasil é o segundo maior produtor do mundo, após os EUA, que produz esse biocombustível a partir do milho. De acordo com a consultoria F. O. Licht, (2006), apud Bastos (2007), os 10 maiores produtores, relacionados na **Fig. 5,** respondem por cerca de 90% de todo o bioetanol produzido no mundo, sendo que apenas os EUA e o Brasil são responsáveis por 70% dele.

Figura 5 – Os dez maiores produtores de bioetanol do mundo
Fonte: F. O. Licht, 2006, apud Bastos, 2007.



De acordo com o Atlas de Bioenergia do Brasil, publicado pelo Centro Nacional de Referência em Biomassa (CENBIO) (2008), a força do país nos biocombustíveis ainda está confinada no bioetanol produzido na região Centro-Sul, principalmente no Estado de São Paulo, e se funda na cana-de-açúcar. Por exemplo, a **Fig. 6** abaixo mostra a pequenez do setor sucroalcooleiro na região norte e seu equivalente potencial em termos de MW, que não ultrapassa 1,0 MW.

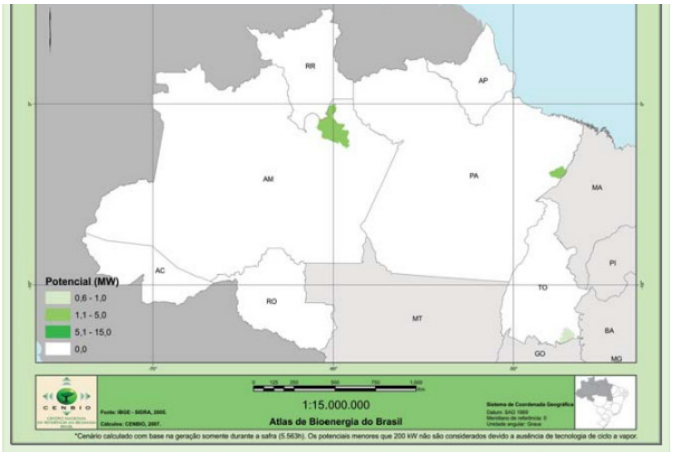


Figura 6 – Potencial de geração de energia no setor sucroalcooleiro: região Norte
Fonte: CENBIO, 2008.

A **Fig. 7**, seguinte, ilustra que o óleo de palma, tão visado nessa região, encontra-se em situação equivalente quanto ao seu significado de potência energética, não apresentando capacidade superior a 10 MW. Os próprios resíduos da silvicultura, que deveriam ser abundantes na região não ultrapassam os 2,0 MW de capacidade e apenas em algumas sub-regiões específicas do Estado do Pará.

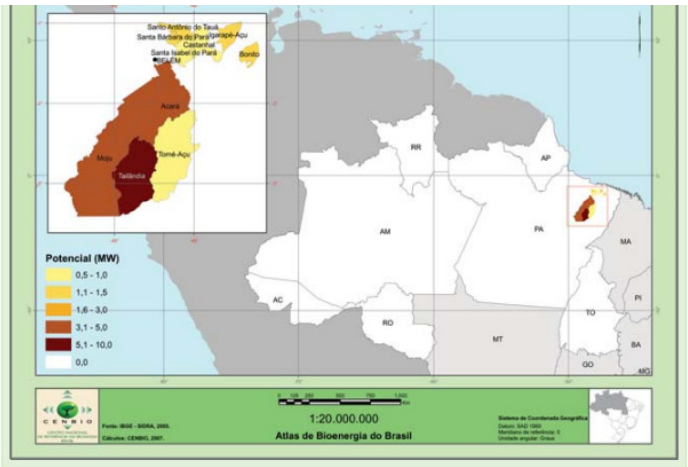


Figura 7 – Potencial de geração de energia com óleo de palma: região Norte
Fonte: CENBIO, 2008

Objetivando não salpintar este texto com figuras em demasia, deve-se registrar que o dendê, no Estado da Bahia, não ultrapassa o potencial de 10 MW em regiões bem delimitadas daquele território. Avançando para o sul, o metano solar (biogás) derivado dos coprodutos (esterco) de suíno alcança, no máximo, 1.800.000 m3/mês, em algumas sub-regiões específicas do Estado de Santa Catarina.

No que se refere aos biocombustíveis com base nas fontes de biomassa oleaginosa até agora tratadas, deve-se observar que, no Brasil, a sua existência é verificada apenas como "traços" nos respectivos mapas regionais, organizados pelo CENBIO. Adicionalmente, também se constata que no caso, por exemplo, do óleo de palma explotado na região norte, sua produção é praticamente toda voltada para alimento; isto é, óleo comestível. A análise geopolítica ora realizada aclara que, hoje, é inviável redirecionar essa biomassa para a produção de biocombustível líquido, como o biodiesel.

O metano solar (biogás) proveniente de coprodutos de suíno já começa a ser usado, em quantidades limitadas, para a produção de energia no contexto específico de autoprodutor, como é o caso de projetos de empresas localizadas no Estado de Santa Catarina; no entanto, sem volume suficiente para destinar à rede de distribuição de eletricidade. A experiência brasileira de produção de eletricidade a partir do metano solar ainda está concentrada no Estado de São Paulo, em alguns aterros sanitários de grande porte, como, por exemplo, os aterros Sítio São João e Bandeirantes. Essas instalações produzem o biogás a partir da matéria orgânica oriunda do lixo urbano, cujas reações de obtenção do metano são catalisadas pelas bactérias (seres procarióticos) derivadas dos coprodutos (dejetos) residuais do tratamento de esgoto.

De acordo com Loga (2008), apud Justi e Moliterno (2009), o aterro Bandeirantes, tendo funcionado de 1979 a 2007, processou 35 milhões de toneladas de resíduos urbanos e apresenta uma reserva estimada em 2,4 bilhões de m3 de biogás. Esse volume disponível ensejou a instalação de uma termelétrica (UTE BANDEIRANTES), com potência de 20 MW, a qual, para um fator de capacidade médio de 0,7 (70%) pode fornecer à sociedade até 120 GWh por ano de energia elétrica.

Entretanto, o grande êxito e a principal referência, atuais, do Brasil, em termos de biocombustíveis, é o bioetanol da cana-de-açúcar, obtido pela tecnologia de primeira geração, consistida pela fermentação. O biodiesel derivado da soja e suas características no Brasil serão referidos adiante.

Quanto ao contexto geopolítico do bioetanol, de acordo com a União da Indústria de Cana-de-açúcar (UNICA) (2009), nos últimos seis anos, a produção nacional desse biocombustível se distribuiu no país conforme estabelecido na Tabela 1 abaixo.

Tabela 1- Produção brasileira de etanol (103 litros)

ESTADOS/SAFRA	03/04	04/05	05/06	06/07	07/08	08/09*
ACRE	0	0	0	0	0	0
RONDONIA	0	0	0	0	0	7.224
AMAZONAS	4.375	4.671	6.009	5.650	8.264	7.963
PARÁ	35.012	48.405	42.725	51.818	35.804	44.908
TOCANTINS	0	0	4.218	11.567	0	2.801
MARANHÃO	89.865	95.905	138.848	128.469	170.164	181.559
PIAUÍ	22.373	19.453	35.083	50.501	36.169	44.553
CEARÁ	317	153	1.022	1.002	571	9.241
R. G. NORTE	94.870	89.463	73.649	77.833	49.244	114.909
PARAIBA	277.763	337.947	267.578	315.114	342.266	390.695
PERNAMBUCO	378.261	414.843	328.059	318.938	508.477	530.467
ALAGOAS	725.516	687.165	546.046	604.177	852.907	845.363
SERGIPE	62.066	64.285	47.940	53.833	48.957	82.966
BAHIA	49.650	63.023	103.275	93.962	140.535	141.484
MINAS GERAIS	799.252	803.575	958.902	1.291.445	1.776.760	2.167.616
ESPIRITO SANTO	183.959	237.774	234.960	173.192	252.270	274.592
RIO DE JANEIRO	107.934	162.874	135.536	87.455	120.274	127.795
SÃO PAULO	8.828.353	9.107.457	9.985.276	10.910.013	13.345.207	16.722.478
PARANÁ	1.224.010	1.209.668	1.039.832	1.318.904	1.859.346	2.048.752
SANTA CATARINA	0	0	0	0	0	0
R. G. SUL	6.045	4.823	3.338	5.686	6.818	6.318
MATO GROSSO	792.169	814.667	770.572	757.251	894.378	952.171
MATO GROSSO DO SUL	480.571	533.580	495.591	640.843	876.773	1.076.161
GOIÁS	646.344	716.937	728.535	821.556	1.213.733	1.726.080
REGIÃO CENTRO-SUL	**13.068.637**	**13.591.355**	**14.352.542**	**16.006.345**	**20.345.559**	**25.101.963**
REGIÃO NORTE-NORDESTE	**1.740.068**	**1.825.313**	**1.594.452**	**1.712.864**	**2.193.358**	**2.404.133**
BRASIL	**14.808.705**	**15.416.668**	**15.946.994**	**17.719.209**	**22.538.917**	**27.506.096**

Fonte: UNICA, 2009.

Como se constata na Tabela 1, geopoliticamente, a produção de etanol da cana-de-açúcar está concentrada na região Centro-Sul do Brasil, a qual, atualmente, é responsável por mais de 90% de todo bioetanol produzido no país; também se verifica que as instalações de produção se deslocam em direção aos estados do Mato Grosso do Sul, Mato Grosso e Goiás. A **Tabela 1** ainda permite observar uma certa estagnação, com aumentos e reduções cíclicas da produção desse biocombustível no Nordeste, e a ainda pouca expressividade do mesmo na região Norte do território nacional.

A vantagem do balanço energético do bioetanol de cana-de-açúcar pode chegar a 9 vezes; isto é, pode alcançar até 9 unidades de energia produzida, disponível, para cada uma empregada no seu ciclo de produção. Esse balanço energético é significativamente elevado em relação a outras biomassas, em que, por exemplo, o do bioetanol baseado no milho não chega a atingir a razão de duas vezes; o da beterraba açucareira é de cerca de 2 vezes; o da palha de trigo não chega a atingir 3 vezes; etc. Esse balanço energético, tão favorável, do álcool da cana-de-açúcar está tornando-o viável para transporte a grandes distâncias.
É essencial observar que o crescimento do bioetanol de cana-de-açúcar no Brasil se verifica na produção fundada sobre tecnologia de primeira geração: fermentação; o país ainda precisa demonstrar aptidões e vantagem competitiva apropriadas para o desenvolvimento tecnológico em geral e, em particular, para as tecnologias de segunda geração destinadas à obtenção de biocombustíveis líquidos, incluído o bioetanol, a partir da biomassa lignocelulósica, como os restos de madeira, as palhas e as cascas, o sabugo de milho, o bagaço de cana-de-açúcar, etc., os quais, na sua totalidade, constituem cerca de 50% de toda a biomassa disponível na biosfera.

Essas tecnologias de segunda geração, destinadas à produção do etanol lignocelulósico, abarcam a hidrólise ácida, a hidrólise enzimática e a síntese de Fischer-Tropsch, as quais avançam celeremente em países desenvolvidos. De acordo com Bastos (2007), por exemplo, nos EUA, a CARGILL e a DuPONT já instalaram biorrefinarias para o desenvolvimento dessas tecnologias, além de laboratórios especializados e universidades, que desenvolvem pesquisas específicas e testes sobre elas; esse movimento já se reproduz na União Européia e Japão. O Brasil largou na frente, na corrida do bioetanol, em tempos pretéritos e dependentes somente da disponibilidade de terras, clima adequado, mão-de-obra barata e domínio da antiga tecnologia de fermentação, a qual é conhecida e utilizada desde os remotos tempos de Noé, que, ao sair da arca, foi o primeiro empreendedor na produção de uvas e vinho, reconhecido na história da humanidade (Gênesis, 9: 20, 21).

Agora, diante da complexa problemática ambiental global resultante do consumo intensivo dos combustíveis fósseis e o decorrente interesse dos países desenvolvidos pelo bioetanol e pela alcoolquímica, com a consequente corrida pelas citadas tecnologias de segunda geração, cabe ao Brasil demonstrar que não compete apenas com terras, clima, mão-de-obra barata e uma antiquíssima tecnologia, mas que também pode concorrer na dimensão tecnológica moderna. Nessa direção, o país precisa livrar-se da sua tradicional perspectiva centrada nas ciências humanas, bacharelesca, sem conexão com as ciências técnicas, na qual o tratamento mais qualificado e especificado é entendido como acadêmico, no sentido de que é teórico, sem conexão com a prática. Ao longo da história do país, essa cultura tem criado um modelo mental de limitações (modelo de bloco), em que a ciência é separada da tecnologia, a qual, por sua vez, é separada das atividades do dia-a-dia da sociedade; a academia fica apartada das empresas e da vida social; faz-se o falso jogo da teoria contra a prática. Essa cultura tem concorrido, sistematicamente, para a secular coleção de perdas do país em corridas tecnológicas, como nos recursos e oferta da sua rica biodiversidade, na nanotecnologia, na química fina, na até hoje inexistente indústria avançada de microprocessadores, nos veículos lançadores, nos satélites, etc. Hoje, faz-se necessário que o país avance da sua visão tradicional sobre as commodities, passando a fornecer uma contribuição massiva ao mundo com produtos de alto valor agregado. As tecnologias de segunda gera-

ção para produção do etanol lignocelulósico serão um teste nesse desafio para um Brasil moderno.

Adicionalmente ao exame acima reportado com base na publicação do CENBIO, deve-se esclarecer que, em relação ao biodiesel, outro biocombustível líquido, o diagnóstico de insuficiência geopolítica diante da existência apenas de "traços" das biomassas de suporte (girassol, resíduos florestais, caroço de açaí, óleo de palma, mamona, caroço de algodão, etc.) nas diversas regiões do país se consolida.
A **Fig. 8** abaixo mostra como as principais oleaginosas de suporte ao biodiesel se distribuem no território nacional, devendo registrar-se que, face à inexistência de políticas públicas adequadas e de planejamento energético no âmbito dos estados brasileiros de uma forma geral, a biomassa apontada inexiste no volume que seria necessário para a produção desse biocombustível.

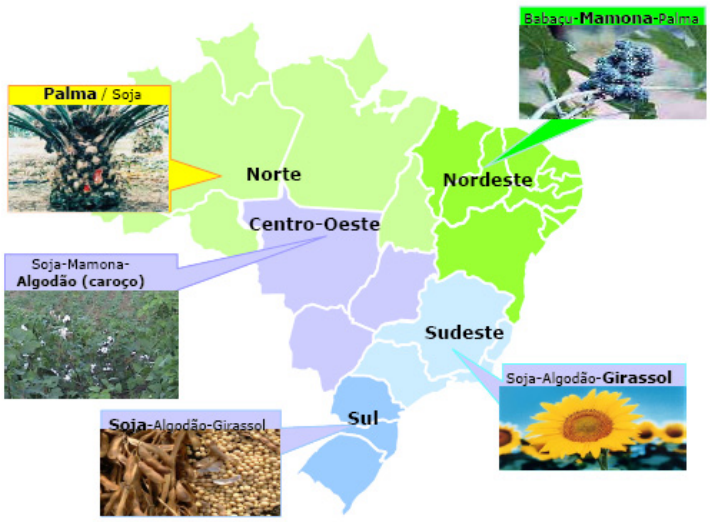


Figura 8 – Distribuição das oleaginosas no Brasil
Fonte: MME, 2004, apud Coelho, 2009.

Dessa biomassa, apenas a soja está fornecendo praticamente todo o suporte para o volume atual de produção de biodiesel do Brasil, no entanto, essa aplicação é desfavorável em relação ao preço do diesel mineral. Na realidade, de acordo com Brieu (2009), o preço do biodiesel da soja custa mais do que o diesel mineral importado, além de reduzir a produção do óleo de soja comestível, o qual também tem melhor custo de oportunidade e rende divisas de exportação para o país.

A **Fig. 9** abaixo demonstra a relação do custo do biodiesel produzido a partir dessa oleaginosa em relação ao diesel mineral importado, denotando as vantagens de custo deste.

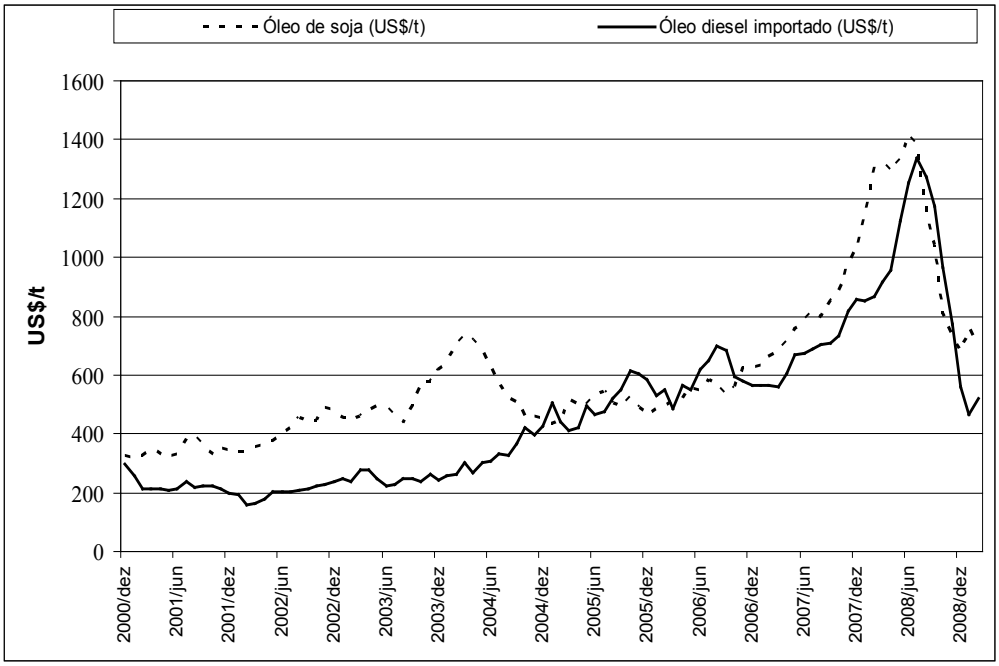


Figura 9 – Preço internacional do óleo de soja X Preço do diesel mineral importado pelo Brasil
Fonte: Brieu, 2009.

Quanto à aplicação do farelo de soja como alimento e o seu alto valor agregado no ciclo de vida da indústria de alimentos não é, aqui, debatido pelo fato de que, em ambos os usos dessa oleaginosa (biodiesel ou óleo comestível), esse coproduto é normalmente obtido e nas mesmas características.

De acordo com Macedo e Nogueira (2004), apud Coelho (2009), nas indústrias química, farmacêutica e de alimentos, o custo de oportunidade da mamona, por exemplo, chega a ser 70% maior do que se aplicada na produção do biodiesel. Em outro exemplo, o custo de oportunidade do dendê nos setores acima mencionados se eleva a mais do que o dobro do alcançado na fabricação de biodiesel.
Essas dimensões econômicas, aplicadas à biomassa de suporte à produção dos biocombustíveis (no caso, bioediesel) são reveladoras no descortino da complexa problemática que envolve essas novas formas de energia não apenas no Brasil como nos demais países do mundo. Por exemplo, até que limite irá investir-se em combustíveis derivados da biomassa ao mesmo tempo em que os minerais (fósseis) ainda se encontram disponíveis a custos menores.

As pesquisas sobre o balanço energético do biodiesel revelam baixos valores, menor que 2 vezes; por exemplo, nos EUA, devido a grande mecanização, pode ser menor que 1; de acordo com Sheehan et al (1998), apud Cortez et al (2008), a produção de cada 1,0 MJ de biodiesel exige 1,24 MJ de energia fóssil, o que significa que ele se comporta como um combustível fóssil, pois, naquele país, o seu balanço energético depende de muito desse último na produção da biomassa, na colheita, no transporte, na fabricação, etc. No Brasil, conforme Gazzoni et al (2006), apud Cortez et al (2008), embora melhor, o balanço energético do biodiesel ainda é muito baixo, de cerca de 1,57; isto é, para cada 1,0 MJ de energia fóssil investida, produz-se 1,57 MJ de biodiesel. Dessa evidência se depreende que ele não é viável para transporte a grandes distâncias, principalmente quando transportado por modal à base de combustíveis fósseis. O seu uso terá que ser local, no máximo, regional.

No que se refere ao conflito dos biocombustíveis com os alimentos, atualmente mencionado na mídia internacional, geopoliticamente, o Brasil está absolutamente imune a essa discussão: conforme dados da Revista Brasileira de Bioenergia (ago/2008), apenas 1% dos 355 milhões de hectares de terras agriculturáveis disponíveis no país é utilizado para o cultivo da cana-de-açúcar destinada ao bioetanol, havendo ainda enorme espaço para o aumento da produtividade e o uso de terras adicionais, sem qualquer pressão sobre florestas fechadas ou áreas protegidas. Quanto aos bioóleos, ante a riqueza de biomassa oleaginosa existente e favorável a novo plantio no país como um todo, inclusive no seu semiárido, essa relação é ainda mais favorável. De tal modo que esse conflito inexiste no Brasil.

Em paralelo, e ainda do ponto de vista geopolítico, deve-se ressaltar que a riqueza de biomassa oleaginosa existente na região amazônica conduz à visão de que a utilização de óleos vegetais "in natura", sem passarem por processos industriais, é aplicável no suprimento das necessidades energéticas prementes das suas comunidades isoladas, pelos seguintes motivos: as matérias-primas são disponíveis localmente, apresentam baixo custo de produção, eliminam-se as dificuldades de transporte do diesel mineral até aquelas localidades e se resolve o grave problema de indisponibilidade econômica daquelas populações para adquiri-lo; isto é, os bioóleos "in natura" seriam uma solução para a falta crônica do diesel mineral destinado à geração de eletricidade e a outras finalidades agrícolas naquelas vilas remotas. Entretanto, o baixo nível educacional, a inexistência de planejamento energético estadual ou regional e a longeva dependência dessas comunidades de políticas públicas frágeis, conduzem-nas a uma obscuridade social atávica, que inviabiliza a operação eficiente desses sistemas com base em bioóleos "in natura", fazendo com que as populações envolvidas permaneçam mergulhadas nas suas carências energéticas insolúveis e com padrões primitivos de qualidade de vida por anos e gerações a fio.

Essa análise geopolítica sintética também se pronuncia sobre a indispensável dimensão da educação tecnológica e empresarial (gestão de negócio) para o modelo de produção de biocombustíveis planejado para o Brasil até o presente momento. Por se fundar sobre biomassa manejada em várias regiões do país, como, por exemplo, projeta-se para a mamona, o girassol, o sebo de boi, a soja, a cana-de-açúcar, dentre outras, como assegurar reprodutibilidade do padrão da qualidade dessa biomassa, no seu tratamento e manejo, no desenvolvimento tecnológico das suas sementes, na gestão da qualidade das matérias-primas, etc., em pequenas propriedades, gerenciadas por pessoas simples, em muitos casos, de baixa escolaridade? Quanto ao nível educacional, abrangendo capacidade de interpretação e compreensão de textos técnicos, desenvolvimento do potencial humano, das habilidades e da consolidação de uma cultura da qualidade, até nas regiões mais evoluídas do país constatam-se carências diversas. Essas carências implicam deficiências na qualidade de sistema, processo e produto final e, portanto, na capacidade de reprodução dos padrões e requisitos da qualidade aplicáveis (sistemas de gestão da qualidade).

Diante dessas evidências objetivas, qualquer geografia política estabelecida para o desenvolvimento da produção de biocombustíveis no país, necessariamente, requer capítulos específicos dedicados à educação desses empreendedores e suas equipes, muitas vezes, até, suas famílias. Atualmente, ainda não se vislumbra essa decisiva dimensão educacional nas políticas públicas destinadas aos biocombustíveis. E, certamente, será um processo educacional especificamente modelado para esses pequenos empresários, que deveria alcançar, pelo menos o nível médio, a capacidade de interpretação e entendimento das tecnologias abarcadas e suas formas de aplicação, além de princípios de gestão que busquem assegurar a sustentação do negócio, a visão estrutural e o alcance do lucro.

Nos setores do bioetanol e do biodiesel da soja, essa visão tecnológica e gerencial já é existente. Indubitavelmente, essa característica deva ser responsável pela grande expansão e o êxito desses biocombustíveis

no Brasil, até hoje. Possivelmente, essa também seja uma indicação para se compreender por que as demais culturas ainda não se firmaram no mercado e tenham permanecido num ultrapassado modelo de sobrevivência. Cabe, então, aos organismos de planejamento energético e aos formuladores de políticas públicas do país ponderarem, no devido grau de importância, essa dimensão essencial da educação para os players participantes desse setor, de forma ampla e estruturada.

2.4. Os biocombustíveis e o meio ambiente

Acerca da interface dos biocombustíveis com o meio ambiente, este trabalho contempla, separadamente, o bioetanol, o biodiesel e o biogás.

Na avaliação do ciclo de vida do bioetanol da cana-de-açúcar, inicialmente consideram-se os impactos ambientais a partir da produção da cana. Estes se iniciam pela utilização de produtos químicos, como fertilizantes e pesticidas. Os impactos ambientais dos fertilizantes são minimizados pelo aproveitamento parcial da vinhaça e pelo controle do lançamento desta no campo; os dos pesticidas estão sendo reduzidos pelos melhoramentos genéticos e controle biológico.

A cultura da cana-de-açúcar também emite efluentes líquidos além da vinhaça, como a soda cáustica; elevada carga orgânica (DQO/DBO), que pode atingir corpos d'água; nitratos, que causam eutrofização e a contaminação de águas subterrâneas. Resíduos sólidos, como torta de filtro e bagaço de cana, igualmente, são produzidos; estes têm aplicação nobre: disposição controlada para proteção do solo e, no caso do bagaço, utilização na produção de energia; no futuro, esse bagaço também produzirá etanol lignocelulósico.

A cultura da cana ainda provoca desmatamento e erosão do solo, remove matas ciliares, expõe o solo às intempéries e pressiona outras culturas. A queima da palha é um impacto ambiental de grande monta às comunidades próximas, com densas emissões de monóxido de carbono (CO), CO2, óxidos de nitrogênio (NOx), óxidos de enxofre (SOx), metano (CH4) e material particulado (MP), incorrendo na chuva ácida e em graves danos à saúde pública. O Estado de São Paulo conseguiu impor uma lei para eliminação da queimada da palha, até meados da próxima década, nas áreas mecanizáveis; entretanto, em muitos outros estados da federação, essa queima continua sob autorização. Quanto a esses danos potenciais, a solução é o zoneamento ecológico-econômico e o licenciamento ambiental.

Ainda que o nível de reuso tenha evoluído significativamente no setor sucroalcooleiro, a lavagem da cana continua provocando elevado impacto sobre a água. De acordo com Coelho (2007), essa lavagem representa 5 m3 d'água/tonelada de cana. Esse impacto está sendo removido com novas tecnologias de lavagem da cana a seco.

No que se refere aos usos finais, o bioetanol traz grandes benefícios ambientais no setor de transportes. Conforme Coelho (2007), em 2006, a utilização desse biocombustível em substituição à gasolina evitou a emissão de 27,5 milhões de toneladas de CO2-equivalente no Brasil; enquanto que, o emprego do bagaço de cana como combustível nas usinas evitou a emissão de 5,7 milhões de toneladas de CO2-equivalente.

No caso do biodiesel, de acordo com Matai (2009), ante a quebra das moléculas de triglicéride para a formação dos ésteres que constituem esse biocombustível, formam-se coprodutos (rejeitos) de glicerina, os quais trazem impactos ao meio ambiente. Embora essa torta de glicerina tenha aplicações em indústrias, como a química, a farmacêutica, dentre outras, em se tratando de uma produção de biodiesel em série, o volume dessa torta torna-se, inexoravelmente, um grave problema ambiental. Hoje, no Brasil, há manifestações de

repúdio a esse excesso de glicerina. Conforme a Revista Biodiesel, v. 16, p. 1, 2008, apud Brieu (2009):

> "A construção do mercado brasileiro de biodiesel trouxe um desafio para as indústrias de componentes químicos que têm como parte de seu portfólio a produção de glicerina. Somente neste ano, a produção pelas usinas deve chegar a 100 mil toneladas – quase 10 vezes acima do que as indústrias químicas ofertam ao país, atualmente. Especialistas afirmam que a produção já é maior que a demanda. Por conta do excesso, os preços despencaram cerca de 48% desde 2005. O preço médio da glicerina, que em 2005 chegou a R$3,00/kg, hoje sai entre R$1,60 e R$1,70. [.....]. A falta de mercado para o excesso do produto está fazendo com que muitas usinas vendam a glicerina por qualquer preço, por estar fora do foco de seus negócios."

Dessa forma, pode-se entender a problemática ambiental do biodiesel e seus desdobramentos de mercado, que já se iniciam.

Quanto aos usos finais, de forma análoga ao bioetanol, o biodiesel também traz um elevado benefício ambiental quando utilizado no setor de transportes. À medida que aumenta a sua participação no diesel mineral, ainda que persistam emissões de NOx, ocorrem significativas reduções nas emissões de CO e de hidrocarbonetos não-queimados. Ver **Fig. 10** adiante.

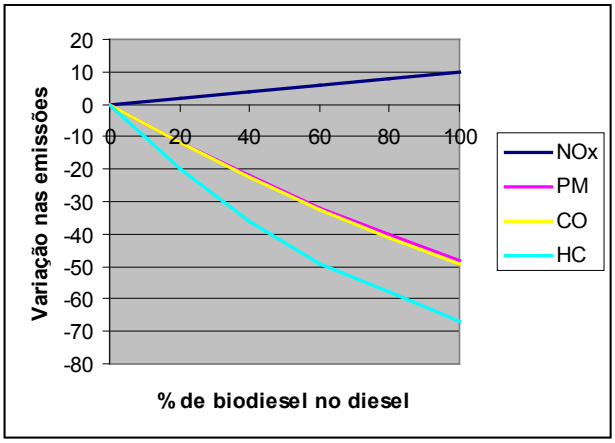


Figura 10 – Emissões do biodiesel
Fonte: EPA, 2002, apud Coelho, 2009

No bojo das vantagens ambientais do bioetanol e do biodiesel também são consideradas a retirada de CO2 da atmosfera e a compensação pelas emissões decorrentes do uso desses biocombustíveis, quando da formação e crescimento das respectivas biomassas.

Em relação ao metano solar (biogás), os impactos ambientais se iniciam na emissão descontrolada de CH4 nas áreas de estocagem das biomassas de suporte, como, por exemplo, na disposição dos coprodutos de suíno e nos aterros sanitários (resíduos urbanos), onde, igualmente, verifica-se a ocorrência de chorume, implicando contaminação do solo e das águas. Esse impacto precisa ser mitigado ou eliminado com a instalação de mantas especiais para impedir a percolação no solo. Quanto ao CH4, segundo a Empresa de Pesquisa Energética (EPE) (2009), os aterros emitem entre 1,0 e 2,0 milhões de toneladas por ano, no Brasil.

No seu processamento, o biogás exige vários equipamentos, tais como, filtros de manga, precipitadores eletrostáticos, ciclones, dentre outros, para limpeza e purificação do CH4 final, a ser transformado e utilizado como novas formas de energia.

Os elementos centrais de mitigação dos impactos ambientais do biogás são o zoneamento ecológico-econômico para localização dessas instalações e o licenciamento ambiental.

Se devidamente gerenciadas, as dimensões ambientais dos biocombustíveis em geral, por meio da venda de créditos de carbono criada pelo Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) do Protocolo de Kyoto, podem ser transformadas em dimensões econômicas palpáveis a serem capitalizadas no mercado de capitais internacional. Por essa via, a dimensão ambiental pode se tornar numa dimensão competitiva relevante do empreendimento: capitalização dos créditos de carbono produzidos e adicionados.

3. Conclusões

As características de disponibilidade de terras e o elevado rendimento fotossintético no Brasil representam uma vantagem competitiva do país no que se refere à produção de biocombustíveis. Essa vantagem se expressa por meio dos seguintes fatores: presença de grandes biomas, naturais e manejáveis, com maior volume e qualidade de biomassa disponível; balanço energético positivo; menores custos de produção; efeitos sociais benéficos às comunidades envolvidas; e opção indiscutivelmente favorável para substituição do diesel mineral em regiões remotas da Amazônia brasileira. Para esta última aplicação, os bioóleos podem ser utilizados no estado "in natura".

Quando utilizados nos veículos automotores, os biocombustíveis representam uma medida de mitigação de proeminente qualidade ante a poluição atmosférica reinante nas grandes cidades do Brasil e do mundo. Possivelmente, hoje, nesse uso final de energia, os biocombustíveis, em combinação com a eficiência energética, constituam as medidas de mitigação, mais qualificadas e eficazes, em relação à complexa problemática socioambiental, decorrente da poluição, nas grandes cidades.

Diante das limitações dos coeficientes de energia embarcada na biomassa (emergia), os biocombustíveis não são viáveis para transporte através de grandes distâncias a custa de energia fóssil sob pena de se transformarem em combustíveis fósseis. Por suas características favoráveis de balanço energético, o bioetanol da cana-de-açúcar, especificamente, tem essa limitação reduzida.

As deficiências de planejamento energético estadual e regional, de educação básica para as comunidades envolvidas, e de educação tecnológica e gerencial para os empreendedores envolvidos nas atividades de produção dos biocombustíveis, pelo interior do Brasil, comprometem a emergência dessas fontes e formas de energia como um sistema energético eficiente no país como um todo. Cabe aos organismos de planejamento energético e de formação de políticas públicas do país introduzirem um conveniente processo educacional no desenvolvimento dessa nova energia.

O exame das dimensões geopolíticas e ambientais acima exposto também demonstra a necessidade de se implementar políticas públicas benéficas, e saudáveis, ao desenvolvimento eficaz dos biocombustíveis no Brasil, tais como, as de pesquisa, desenvolvimento e demonstração; de incentivos financeiros e tributários; comunicação; educação; manutenção; abertura de novos mercados; dentre outras. Essas políticas devem ser adotadas segundo um modelo em que elas funcionem integradas, permitindo sustentação e longevidade a esse novo sistema energético. Essa condição é decisiva para que, ao se encerrarem as políticas, o mercado fundado sobre os biocombustíveis prossiga sobre bases próprias; do contrário, ao acabarem as políticas, o mercado também acaba.

Por meio da venda de créditos de carbono, prevista no MDL do Protocolo de Kyoto, as dimensões ambientais dos biocombustíveis podem ser transformadas em vantagens econômicas; isto é, em acesso a capitais, nacionais e internacionais, por diversos empreendimentos do setor.

A efetividade dos biocombustíveis como um sistema energético sustentável e rentável no Brasil depende de solucionar vários aspectos da complexa problemática acima descrita, fazendo correções de rumo ao longo da trajetória ora em desenvolvimento.

4. Referências

Almeida, F. **Os desafios da sustentabilidade**. Rio de Janeiro: Campus Elsevier, 2007.

Bastos, V. D. **Etanol, alcoolquímica e biorrefinarias.** Rio de Janeiro: BNDES Setorial, n. 25, p. 5-38, mar/2007.

BEN-2008. **Empresa de Pesquisa Energética (EPE). Balanço Energético Nacional**, 2008. Rio de Janeiro: EPE, 2009.

Brieu, T. P. **Programa nacional de produção e uso do biodiesel: um balanço da primeira fase até 2008**. São Paulo, 2009. 161 p. Dissertação de Mestrado em Energia. São Paulo: PPGE/IEE/USP, 2009.

CENTRO NACIONAL DE REFERÊNCIA EM BIOMASSA (CENBIO). **Atlas de Bioenergia do Brasil, 2008**. Disponível em http://cenbio.iee.usp.br. Acesso em 28/09/2009.

Coelho, S. T. **Energias renováveis: biomassa e biocombustíveis, notas de aula.** Especialização em Gestão Ambiental e Negócios no Setor Energético. São Paulo: IEE/USP, 2007.

_____**. Biomassa como fonte de energia** – conversão e utilização, notas de aula. São Paulo: PPGE/IEE/USP, 2009.

Cook, E**. Energy and society.** San Francisco, CA: Freeman and Co, 1976.

Cortez, L. A. B. et al (organizadores). **Biomassa para energia**. Campinas, SP: Editora Unicamp, 2008.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Plano Decenal de Expansão de Energia 2008-2017**. Rio de Janeiro: EPE, 2009.

Godoi, J. M. A. **Metodologia para gestão da eficiência energética de sistemas industriais sob condicionantes socioambientais sustentáveis.** São Paulo, 2008. 146 p. Monografia (Especialização em Gestão Ambiental e Negócios no Setor Energético) – Programa de Especialização do Instituto de Eletrotécnica e Energia da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **Key world energy statistics 2009**. Disponível em http://www.iea.org. Acesso em 30/09/2009.

INTERNATIONAL UNION OF PURE AND APPLIED CHEMISTRY (IUPAC). **Publications: Terminology, 1997**. Disponível em http://www.iupac.org. Acesso em 30/09/2009.

Justi, J. G.; Moliterno, M. **Geração de energia elétrica por meio de biogás extraído do aterro**

sanitário Bandeirantes e o mecanismo de desenvolvimento limpo como indutor de investimentos socioambientais. São Paulo, 2009. 97 p. Monografia (Especialização em Gestão Ambiental e Negócios no Setor Energético) – Programa de Especialização do Instituto de Eletrotécnica e Energia da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

Matai, P. H. L. dos S. **Combustíveis, suas propriedades e usos, notas de aula**. São Paulo: PPGE/IEE/USP, 2009.

Revista Brasileira de Bioenergia. **Etanol X Alimentos**. São Paulo: CENBIO, ano 2, n. 3, p. 07-11, ago/2008.

UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR (UNICA). **Setor sucroenergético: mapa da produção, 2009.** Disponível em http://www.unica.com.br. Acesso em 09/10/2009.