

**ESTUDO PROSPECTIVO SOBRE
TECNOLOGIAS PARA A PRODUÇÃO
DE BIOCOMBUSTÍVEIS**

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA – CNI

Presidente: Armando de Queiroz Monteiro Neto

SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL – SENAI

Conselho Nacional

Presidente: Armando de Queiroz Monteiro Neto

SENAI – Departamento Nacional

Diretor-Geral: José Manuel de Aguiar Martins

Diretora de Operações: Regina Maria de Fátima Torres



*Confederação Nacional da Indústria
Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial
Departamento Nacional*

ESTUDO PROSPECTIVO SOBRE TECNOLOGIAS PARA A PRODUÇÃO DE BIOCOMBUSTÍVEIS

n.11

Brasília 2010



Modelo SENAI de Prospecção

Estudos Tecnológicos e Organizacionais

©2006. SENAI – Departamento Nacional

Qualquer parte desta obra poderá ser reproduzida, desde que citada a fonte.

SENAI/DN

Unidade de Prospectiva do Trabalho – UNITRAB

Ficha Catalográfica

D258e D'Avignon, Alexandre
OEstudo prospectivo sobre tecnologias para a produção de
biocombustíveis / Alexandre D'Avignon, Alberto Villela. – Brasília:
SENAI.DN, 2010.
64p. (Série Estudos Tecnológicos e Organizacionais, n.11)

ISBN

1. EBiocombustíveis 2. Biocombustíveis – Tecnologia 3. Bio-
combustíveis – Produção I. Villela, Alberto II. Título III. Série
CDU 662.6

SENAI

Serviço Nacional de
Aprendizagem Industrial
Departamento Nacional

Sede

Setor Bancário Norte
Quadra 1 – Bloco C
Edifício Roberto Simonsen
70040-903 – Brasília – DF
Tel.: (061) 3317-9544
Fax: (061) 3317-9550
<http://www.senai.br>

Lista de ilustrações

Figura 1	As distintas visões geopolíticas do papel dos biocombustíveis	14
Figura 2	Cenário da demanda mundial de biocombustíveis (biodiesel e etanol) até 2030	15
Figura 3	Diagrama esquemático dos processos de conversão energética da biomassa	18
Figura 4	Área Cultivada nos EUA e UE necessária para metas de inserção de biocombustíveis em 2020	21
Figura 5	Rendimento Médio de Insumos para Biocombustíveis	23
Figura 6	Balço Energético dos Principais Insumos para Biocombustíveis	23
Figura 7	Rotas Tecnológicas de Conversão Energética de Biomassa	27
Figura 8	Projeções dos custos do etanol celulósico	34
Figura 9	Estágio de desenvolvimento de variados biocombustíveis de 2ª geração	35
Figura 10	Tempo de retorno de carbono para cultivos agroenergéticos (em anos)	39
Figura 11	Processo de entrada de biocombustíveis na matriz energética dos EUA (RFS-2)	44
Figura 12	Cronograma para eliminação da queima na colheita da cana em áreas mecanizáveis	50
Figura 13	Impacto na força de trabalho por conta da mecanização na colheita da cana	53
Tabela 1	Produção de Biocombustíveis (2008) nos principais centros	15
Tabela 2	Produção, consumo e exportação de etanol até 2030 (em mil m ³)	24

Tabela 3	Produção de biodiesel por matéria-prima (mil ton)	25
Tabela 4	Potencial de geração de empregos de diferentes oleaginosas	54
Tabela 5	Produção Brasileira de Óleos Vegetais em 2007/2008 (milhões de litros)	55

Sumário

Apresentação	
1 Introdução	11
2 O Contexto Mundial em Relação aos Biocombustíveis	13
3 A Inserção dos Biocombustíveis na Cadeia da Biomassa no Brasil	17
4 Perspectivas de Crescimento do Setor dos Biocombustíveis no Brasil	21
4.1 Etanol	24
4.2 Biodiesel	24
5 Trajetória Tecnológica do Setor	27
5.1 Conversão Termoquímica	28
5.2 Conversão Bioquímica	29
5.2.1 Fermentação seguida por Destilação	29
5.2.2 Hidrólise de Biomassa Celulósica	30
5.3 Outras Considerações acerca das Rotas Tecnológicas da Energia de Biomassa	31
5.4 Dificuldades no Desenvolvimento dos Biocombustíveis de 2ª Geração	33
6 Ameaças e Oportunidades para o Brasil	37
6.1 Ameaças	37
6.2 Oportunidades	42
6.2.1 P&D	42
6.2.2 Inserção no Mercado Norte-Americano e Europeu	36
6.3 Transição do combustível para transportes: de biocombustíveis para bioenergia	46
7 Questões Socioambientais e a Expansão da Produção de Biocombustíveis	49
7.1 Etanol	49
7.2 Biodiesel	45
8 Conclusões	57
Referências	61

Apresentação

Dando continuidade à divulgação da série estudos tecnológicos e organizacionais, temos o prazer de disponibilizar *o estudo prospectivo sobre tecnologias para a produção de biocombustíveis*.

O estudo busca apresentar um panorama do setor de biocombustíveis no Brasil por meio de análises setoriais, tecnológicas e ambientais. De modo geral os resultados mostraram que este setor no Brasil encontra-se em fase de crescente desenvolvimento, já despontando como fundamental para o desenvolvimento da economia nacional.

Espera-se que este estudo possa ser mais um importante instrumento de informação sobre o dinamismo tecnológico e organizacional em diversos setores industriais e que possibilite auxiliar a tomada de decisão quanto à formulação de políticas de formação profissional e de serviços técnicos e tecnológicos.

1 Introdução

Grande parte das nações desenvolvidas e emergentes estão tomando medidas visando diminuir a dependência dos combustíveis fósseis, que representam mais de 80% da oferta de energia primária total do planeta. A diversificação da matriz energética ocorre principalmente por três razões:

- a) segurança da oferta, associada a uma percepção de futura escassez na disponibilidade do petróleo;
- b) crescentes pressões da sociedade, preocupada com o uso insustentável de fontes não renováveis; e
- c) os impactos ambientais associados ao uso de combustíveis fósseis, em particular aqueles relacionados às mudanças climáticas.

Neste sentido, os biocombustíveis são vistos como estratégicos para a segurança energética e na mitigação da emissão de gases de efeito estufa (GEE). Como o CO₂ emitido em sua combustão já foi previamente absorvido no crescimento da biomassa, existe, em princípio, uma emissão líquida nula deste gás para a atmosfera, ao contrário dos combustíveis fósseis, que emitem carbono estocado no subsolo por milhões de anos. Na prática, no entanto, existem emissões ao longo da cadeia produtiva de biocombustíveis; daí a necessidade de uma análise de ciclo de vida (ACV) para medir a efetiva mitigação de emissões de GEE frente aos combustíveis fósseis líquidos.

Na atualidade, o etanol é o biocombustível mais utilizado em motores ciclo Otto, como alternativa à gasolina. Por outro lado, o biodiesel (ésteres de ácidos graxos) tem sido o biocombustível preferencial para o funcionamento em motores ciclo Diesel, pois possui propriedades muito próximas ao diesel mineral, podendo, em geral, ser usado nesses motores, sem alterações, em percentuais de até 20% (B20).

A demanda mundial dos principais biocombustíveis tem crescido muito na última década. Em 2000, a produção mundial foi de 10 milhões de toneladas

equivalentes de petróleo (Mtep), alcançando 36 Mtep em 2007. A Agência Internacional de Energia (IEA) estima que este montante chegue a 120 Mtep em 2030, ainda assim esta quantidade representaria apenas 5% da energia demandada para transportes terrestres na ocasião.

Atualmente os dois maiores mercados de combustíveis fósseis líquidos, EUA e UE, não têm perspectivas de substituir um percentual relevante desta demanda com biocombustíveis. Estudos indicam que a substituição de toda a gasolina e diesel destes mercados demandaria 4 a 6 vezes a área ora cultivada nestes locais, devido à grande frota veicular existente e a falta de condições climáticas para cultivos eficientes como a cana-de-açúcar, para a produção de etanol, e dendê, para a produção de biodiesel.

No Brasil, onde a produção de biocombustíveis (basicamente etanol de cana-de-açúcar) atendia 13% da demanda energética da frota rodoviária em 2007, ainda há 100 milhões de hectares disponíveis, segundo a Empresa de Pesquisas Energéticas (EPE), para expansão da agricultura tanto para alimentos como para agroenergéticos. O país, em 2008, foi o 2º maior produtor e 1º exportador mundial de etanol e 3º maior produtor de biodiesel.

As metas obrigatórias de mistura de biodiesel ao diesel mineral, em 2008, e a antecipação do aumento da mesma em 2010, contidas no Plano Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (PNPB) acentuam ainda mais a demanda do produto. Os cenários da EPE indicam uma forte expansão da produção doméstica de biocombustíveis, tanto para atender à demanda local quanto externa.

Diante desse quadro, este documento tem por objetivo subsidiar as futuras ações do SENAI na área de biocombustíveis por meio de análise deste setor no Brasil. É realizado levantamento, por meio de dados secundários, do desenvolvimento recente e perspectivas de crescimento dos biocombustíveis no país. Identifica-se a trajetória tecnológica do setor, principais pesquisas e gargalos, além de barreiras e oportunidades, discutindo-se as necessidades de recursos humanos. São avaliadas as áreas estratégicas para a atuação do SENAI no setor de biocombustíveis levando-se em conta as necessidades de capacitação e desenvolvimento tecnológico.

2 O Contexto Mundial em Relação aos Biocombustíveis

Os biocombustíveis têm importante papel na provisão da demanda mundial de combustíveis líquidos, sobretudo pelas questões ambientais em pauta, instabilidade nos preços do petróleo no mercado internacional e a incerteza na oferta dos combustíveis fósseis a médio e longo prazo. Por esse motivo os biocombustíveis assumem importância destacada no debate concernente ao provisão energético mundial futuro.

A utilização de biocombustíveis como fonte de energia, apesar de não ser um assunto novo, nunca despertou tanto a atenção dos diversos segmentos da comunidade internacional. Tanto Estados, empresas ou sociedades em geral, percebem nos biocombustíveis uma importante contribuição, seja para:

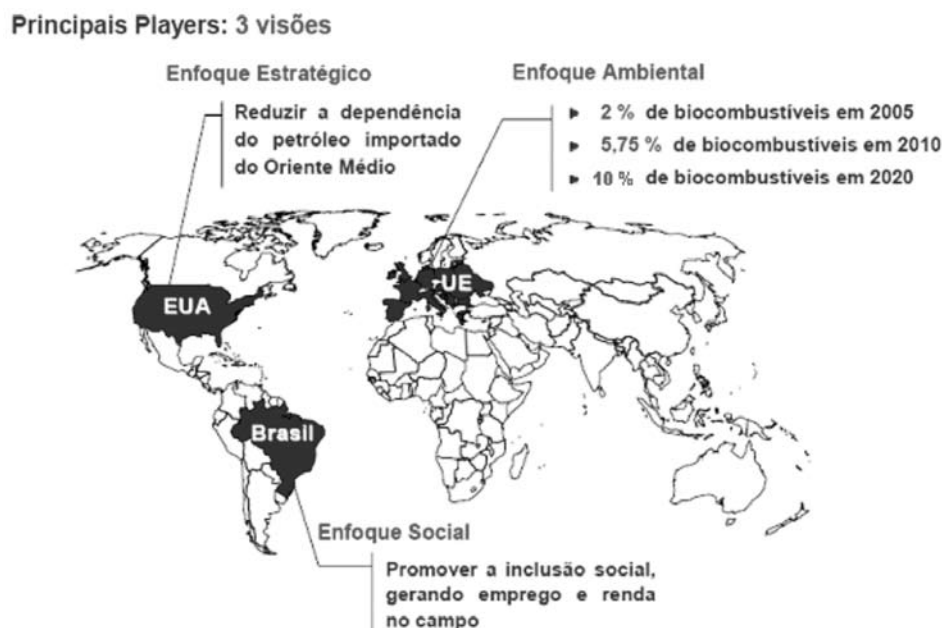
- redução da dependência das fontes de energia não renováveis, como o petróleo;
- mitigação do aquecimento global via redução das emissões de gases de efeito estufa; ou
- a minimização da exclusão econômica e social de famílias em situação de miséria, em particular as que habitam o meio rural.

Neste sentido, os biocombustíveis são vistos como estratégicos para a segurança energética e na mitigação da emissão de gases de efeito estufa (GEE). Como dito anteriormente, o CO₂ emitido em sua combustão foi antecipadamente absorvido pela planta, existindo, inicialmente, uma emissão líquida nula para a atmosfera, ao contrário dos combustíveis fósseis, que emitem carbono estocado no subsolo por milhões de anos. Entretanto, existem emissões na cadeia produtiva de biocombustíveis; daí a necessidade de uma análise de ciclo de vida (ACV) para avaliar a efetiva mitigação de emissões de GEE frente aos combustíveis fósseis líquidos.

Nos cenários de produção de biocombustíveis, dois fatores têm potencial para serem variáveis motrizes: o preço do barril do petróleo e a evolução

tecnológica. O primeiro, por permitir que os biocombustíveis se apresentem como produtos substitutos dos derivados de petróleo; e o segundo, por viabilizar a redução dos custos de produção. Na Figura 1 é proposta uma visão global e sucinta da política internacional no que se refere à questão de biocombustíveis.

Figura 1 – As distintas visões geopolíticas do papel dos biocombustíveis



Fonte: ABIOVE, 2006 (adaptado)

Na Tabela 1 vê-se que a produção de etanol ainda é substancialmente maior do que a de biodiesel. O Brasil é, juntamente com os EUA, responsável por mais de 80% do total global. Devido à entrada em vigor em 2008 da mistura obrigatória B2¹ e, no 2º semestre, B3 por conta do PNPB, o Brasil já figura como o 3º maior produtor mundial deste biocombustível, tendo produzido 1,1 bilhão de litros em 2008. A antecipação da mistura B5 para 2010 provavelmente remanejará a posição brasileira em relação à produção deste combustível.

¹ A notação B(X) significa o biodiesel associado à mistura combustível, ou seja, um B2 denota 2% de biodiesel na mistura combustível associado ao diesel fóssil.

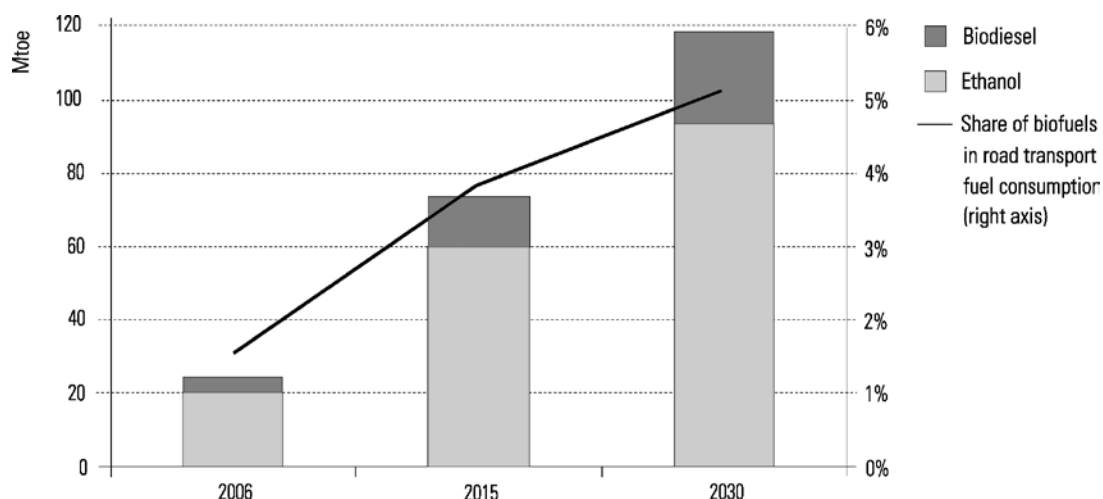
Tabela 1 – Produção de Biocombustíveis (2008) nos principais centros

País / Agrupamento	Etanol		Biodiesel		Total
	(milhões de litros)	(MTEP)	(milhões de litros)	(MTEP)	MTEP
EUA	34.042 (1)*	17,08	2.695(2)	2,13	19,21
Brasil	24.529(2)	12,31	1.167(3)	0,92	13,23
União Europeia	2.782(3)	1,4	8.008(1)	6,33	7,73
Canadá	902(5)	0,45	99(5)	0,08	0,53
China	1.903(4)	0,95	155(4)	0,12	1,07
Índia	250(6)	0,13	23(7)	0,02	0,15
Austrália	99(7)	0,05	68(6)	0,05	0,1
Outros	1.126	0,56	2.520	1,99	2,55
TOTAL	52.009	32,93	14.736	11,66	44,59

Fonte: WWI (2009) - *ranking

Obs: MTEP – milhões de toneladas equivalentes de petróleo

Estudos da IEA Bioenergy (2007) indicam um enorme potencial sustentável na produção de bioenergia, mas o mercado de biocombustíveis deverá ainda representar uma pequena fração, em termos energéticos, dos combustíveis fósseis líquidos, apesar de importantes agências de energia (IEA, EIA) indicarem um expressivo crescimento na demanda dos biocombustíveis nos anos vindouros, conforme Figura 2.

Figura 2 – Cenário da demanda mundial de biocombustíveis (biodiesel e etanol) até 2030

Biodiesel – Biodiesel*. Ethanol – Etanol*. Share of biofuels in road transport fuel consumption (right axis) - Percentual de biocombustíveis no consumo de combustíveis de transportes rodoviários (eixo direito)*2

Fonte : IEA – World Energy Outlook 2008

² * Tradução livre

Os cenários de aumento expressivo de demanda até 2030, conforme a figura acima, acompanha uma longa tendência de crescimento da demanda mundial ao longo da corrente década. Em 2000, a produção mundial atingiu 10 milhões de toneladas equivalentes de petróleo (Mtep), tendo alcançado 36 Mtep em 2007. Mesmo com o aumento deste montante, previsto pela Agência Internacional de Energia (IEA), alcançando 120 Mtep em 2030, ainda assim este volume representará apenas 5% da energia demandada para transportes terrestres na ocasião.

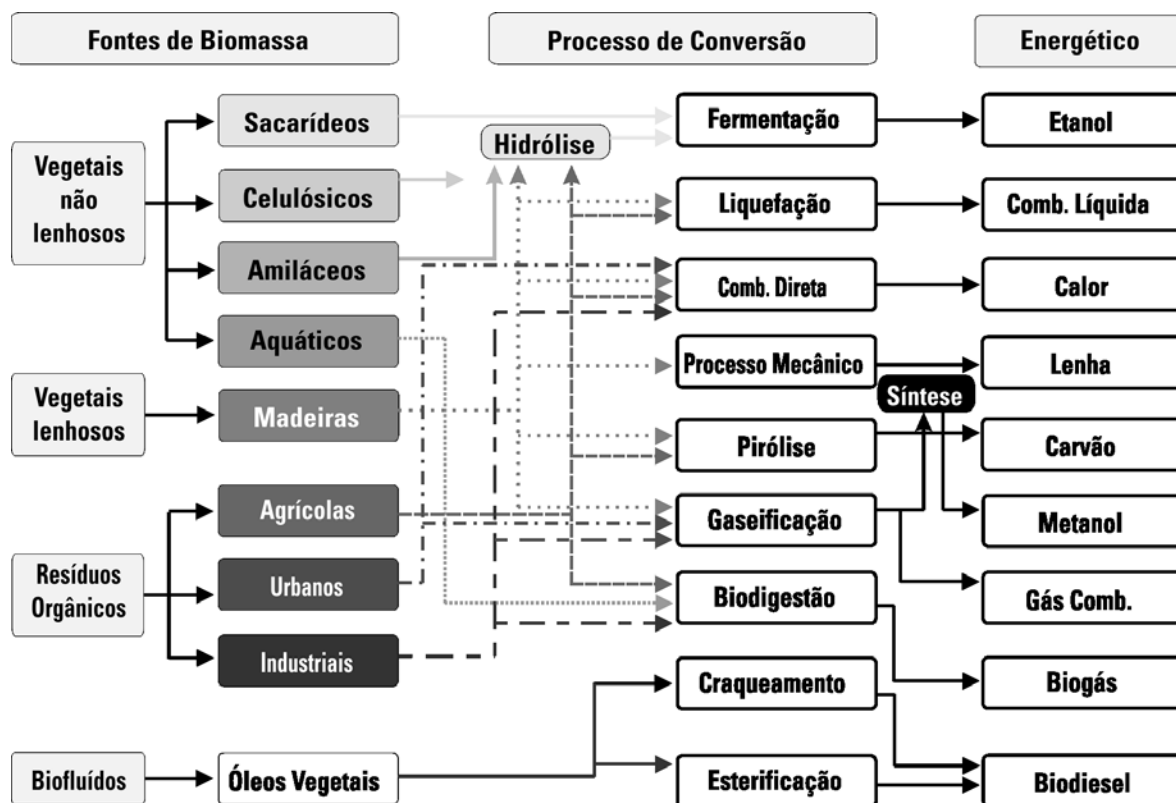
Uma implicação desse forte crescimento previsto na demanda de biocombustíveis é a pressão que começa a se exercer na expansão da fronteira agrícola, com previsíveis consequências no que diz respeito à competição com o plantio de alimentos. Logo, é imperativo o Brasil e outras nações envidarem todo esforço possível no sentido de maximizar a eficiência energética na cadeia agroindustrial dos biocombustíveis.

3 A Inserção dos Biocombustíveis na Cadeia da Biomassa no Brasil

A cadeia de produção dos biocombustíveis está intimamente relacionada com a cadeia da biomassa. A biomassa energética apresenta rotas significativamente diversificadas, com extensa variedade de fontes, que vão desde os resíduos agrícolas, industriais e urbanos até as culturas dedicadas. Existe também uma grande quantidade de tecnologias para os processos de conversão, como mostra a Figura 3. Essas tecnologias incluem desde a simples combustão para obtenção da energia térmica até processos físico-químicos e bioquímicos complexos para a obtenção de combustíveis líquidos e gasosos, além de outros produtos, que variam desde a micro até a larga escala, com significativa amplitude na maturidade do sistema energético e no desenvolvimento das tecnologias (EPE, 2008).

Cabe observar que, em 2005, o governo federal publicou as diretrizes da política de agroenergia, que abrangem quatro vertentes principais: (a) álcool; (b) biodiesel; (c) florestas energéticas cultivadas e (d) resíduos agroflorestais. Os principais objetivos declarados nessa política envolvem a expansão do etanol, a implantação da cadeia do biodiesel, o aproveitamento de resíduos e a expansão de florestas energéticas cultivadas. A conciliação desses objetivos com a produção de alimentos também está prevista na política assim como o desenvolvimento tecnológico, a geração de emprego e renda, buscando-se a sustentabilidade dos sistemas produtivos e a valorização das vocações regionais.

Figura 3 – Diagrama esquemático dos processos de conversão energética da biomassa



Fonte: ANEEL. Atlas de energia elétrica. Brasília, 2006.

É importante também ressaltar, portanto, a importância dos biocombustíveis sólidos, como o carvão vegetal e a lenha, resíduos florestais e produtos animais, como o sebo bovino, que são queimados diretamente em equipamentos de conversão energética constantes na política de agroenergia. Os de origem vegetal normalmente são provenientes de florestas energéticas plantadas, como o eucalipto e pinos. Há ainda os biocombustíveis gasosos, normalmente resultantes da gaseificação, pirólise ou biodigestão anaeróbica da biomassa.

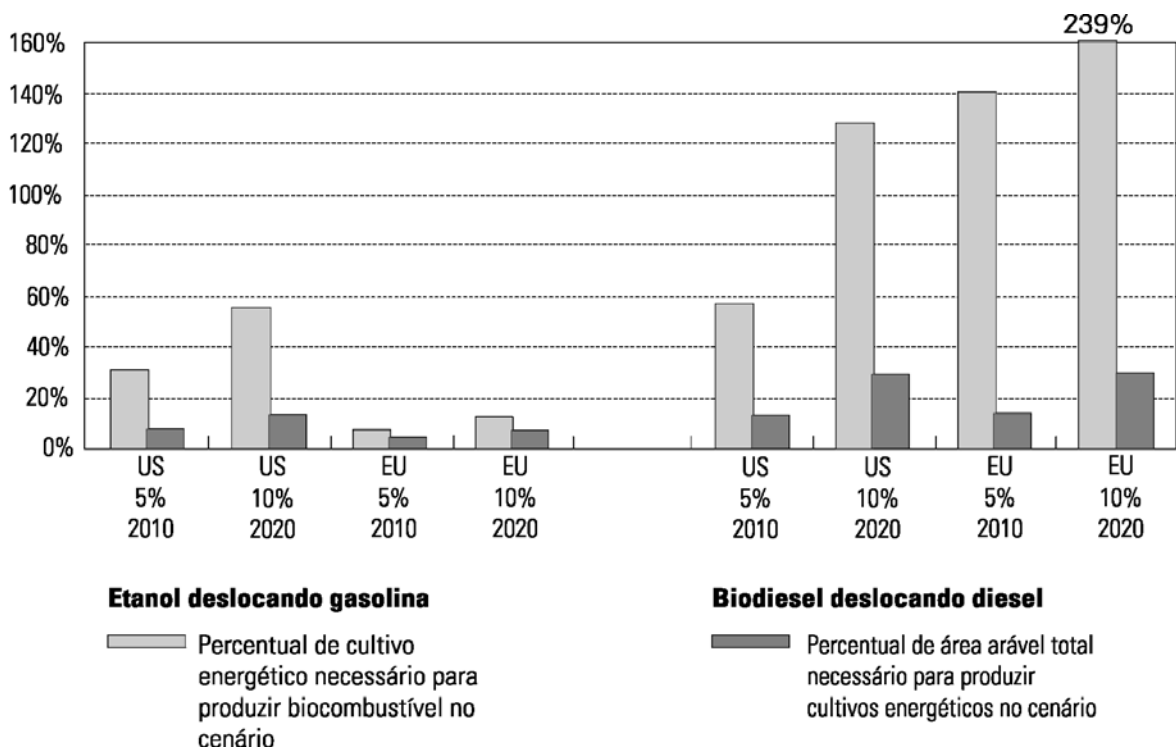
Por outro lado, a participação da lenha e do carvão vegetal na oferta interna de energia vem caindo ao longo das décadas, saindo de 44% em 1970, passando por 12% em 2000, devendo passar a 5% em 2030, segundo a EPE (2008). Assim, para fins deste estudo, o enfoque será prioritariamente nos biocombustíveis líquidos, dado o potencial destacadamente superior destes, visto os cenários de demanda de mercado e desenvolvimento tecnológico.

Uma exceção a ser considerada no escopo deste estudo é a análise dos resíduos (em particular o bagaço) de cana como combustível, cujo consumo final, segundo o Balanço Energético Nacional 2008, equivaleu a 26,7 MTEP, o que corresponde a todo o gás natural, carvão e óleo combustível usados no país em 2007. Confirmando essa trajetória de ascensão, a EPE estima que em 2030 os derivados da cana, incluindo o bagaço, representarão 18% da oferta interna de energia (> 100 MTEP).

4 Perspectivas de Crescimento do Setor dos Biocombustíveis no Brasil

Os dois maiores mercados de combustíveis fósseis líquidos, EUA e UE, não têm perspectivas de substituir um percentual relevante dessa demanda com biocombustíveis. Segundo a IEA (2004), o deslocamento de 10% da gasolina e diesel em 2020 irá requerer 43% da área cultivada nos EUA e 38% na UE, conforme mostra a Figura 4. Cabe ressaltar que, para o cenário descrito acima, assumiu-se que a produção de etanol continuará sendo à base de milho nos EUA e beterraba e trigo na UE e que o biodiesel será produzido a partir de soja nos EUA, sendo a colza e o girassol os insumos usados na UE. Todos estes insumos possuem em comum o fato de serem de baixa eficiência fotossintética, mas são os que melhor se adaptam às limitações intrínsecas de climas temperados.

Figura 4 – Área Cultivada nos EUA e UE necessária para metas de inserção de biocombustíveis em 2020



Fonte: IEA. Biofuels for Transportation. [S.L], 2004.

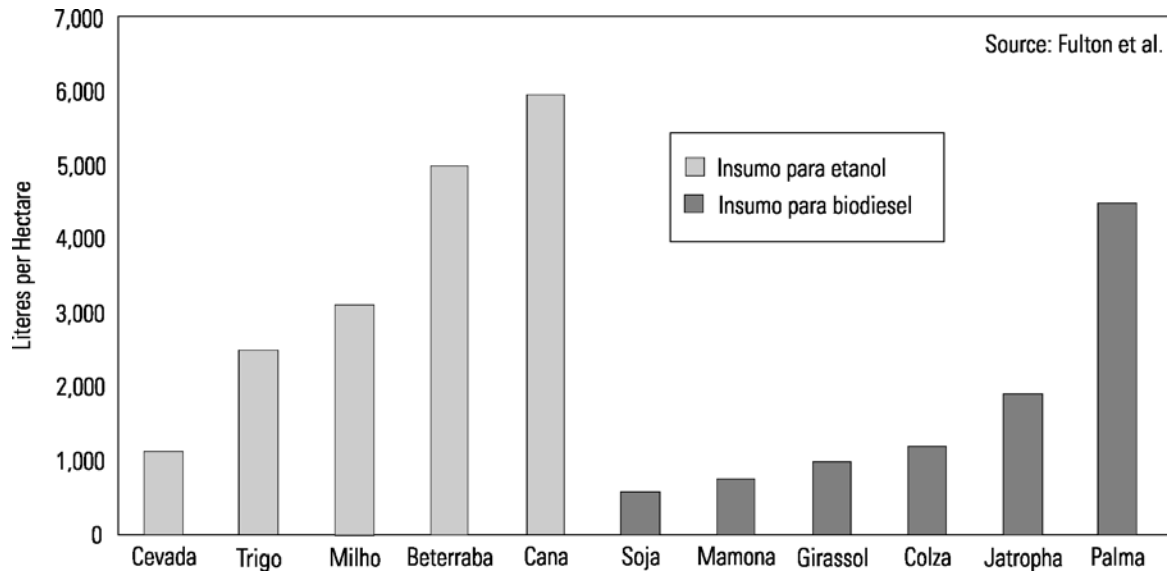
Em contraste com o impedimento físico dos EUA e UE de deslocarem significativamente os combustíveis fósseis líquidos com biocombustíveis, o retrato atual e as perspectivas do Brasil são muito mais favoráveis de acordo com os destaques a seguir:

- 2º maior produtor mundial e maior exportador de etanol em 2008;
- 3º maior produtor de biodiesel em 2008 (no 1º ano do PNPB);
- A produção de biocombustíveis (basicamente etanol de cana-de-açúcar) atendia 13% da demanda energética da frota rodoviária em 2007;
- Ainda há cerca de 100 milhões de hectares (Mha) disponíveis para expansão da agricultura para alimentos e agroenergéticos, em particular em áreas de pastagens abandonadas ou subutilizadas (EPE, 2008);
- Boa disponibilidade hídrica em quase todo o território;
- Grande incidência de energia solar, por se localizar entre os trópicos;
- Baixo custo de mão de obra;
- Agroindústria sólida e produtiva e;
- Reconhecido desenvolvimento científico e tecnológico agrônomo, específico de zonas tropicais.

Além dos pontos acima, do ponto de vista edafo-climático³ o Brasil detém a maior área disponível para o plantio de cana-de-açúcar e palma (dendê), impróprias para climas temperados, mas os cultivos mais energeticamente eficientes e economicamente competitivos que existem para a produção, respectivamente, de etanol e biodiesel como mostram as Figuras 5 e 6. De fato, o etanol de cana-de-açúcar produzido no Brasil é o biocombustível mais competitivo do planeta, sendo o único capaz de competir com sua alternativa fóssil sem necessidade de estímulo governamental (FAO, 2008).

³ Condição climática e de solo para o cultivo

Figura 5 – Rendimento Médio de Insumos para Biocombustíveis

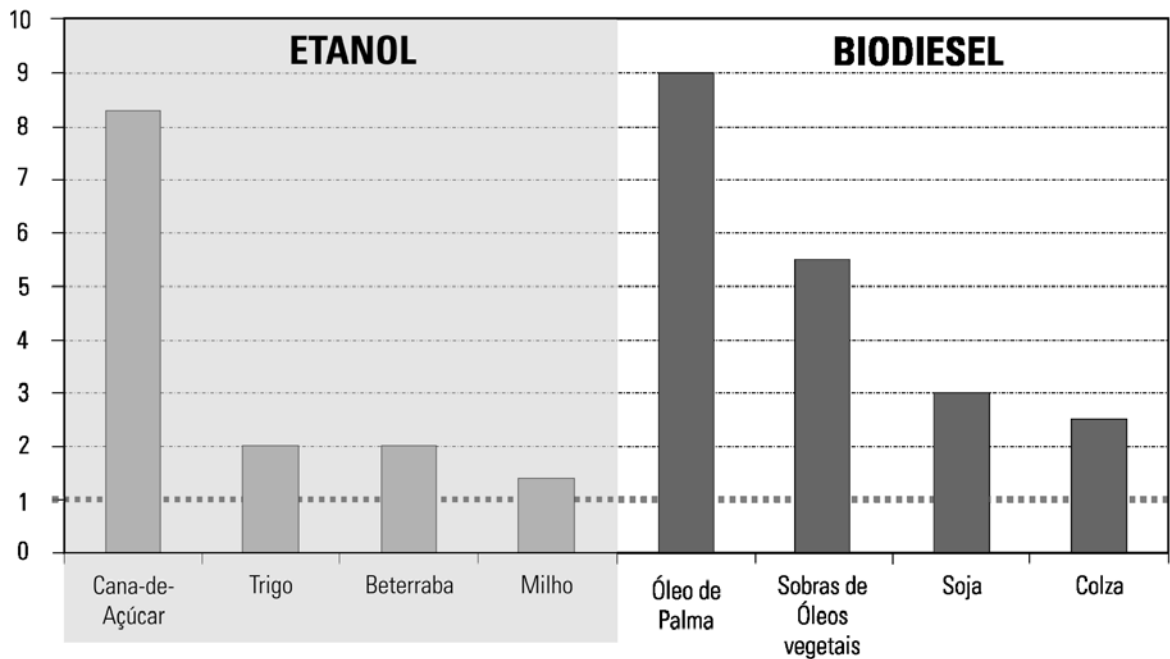


Liters per Hectare – Litros por hectare

Fonte: Kaltner et al (2007)

Figura 6 – Balanço Energético dos Principais Insumos para Biocombustíveis

(Energia contida no combustível/Energia Fóssil usada para produzi-lo)



* Indicador da quantidade de energia final disponibilizada pelo combustível por unidade de energia de origem fóssil consumida no seu ciclo de vida. Combustíveis totalmente não renováveis possuiriam um valor inferior a 1. Valores superiores a 1 indicam a renovabilidade do combustível, sendo esta tanto maior quanto mais elevado for o valor do indicador.

Fonte: World Watch Institute (2007)

4.1 Etanol

Desde o advento do Proálcool, em 1975, a produção de etanol aumentou em taxas expressivas até 1990; ficou praticamente estagnada de 1990 a 2000 e voltou a crescer em média a 9,7% a.a. de 2000 a 2005 (EPE, 2008). A previsão do órgão é de que o crescimento da produção mantenha-se elevada nos períodos 2005-2010 e 2010-2015, com taxas de 8,7 e 6,0% ao ano, respectivamente. Nos períodos 2020-2025 e 2025-2030 a produção desacelera, com um crescimento médio anual de 2,1 e 1,6%, respectivamente. Por outro lado, as exportações de etanol, pouco relevantes até 2000, devem aumentar substancialmente até 2020, atingindo 17 milhões de m³. A partir de 2025, as exportações começam a diminuir devido ao fato do crescimento do consumo ocorrer a taxas maiores do que o da produção como pode ser visto na Tabela 2.

Tabela 2 – Produção, consumo e exportação de etanol até 2030 (em mil m³)

	1970	1980	1990	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030
Produção	625	3.676	11.518	10.700	16.040	25.486	38.594	51.547	57.198	61.875
Importação	0	0	1.156	64	0	0	0	0	0	0
Exportação	0	384	0	227	2.494	8.199	13.360	17.080	16.684	9.518
Perdas/ajustes	-27	-124	-284	1.849	444	218	332	-2.025	224	142
Consumo total	598	3.468	12.390	12.386	13.989	17.504	25.566	32.442	40.739	52.499
Consumo final	598	3.168	12.390	12.386	13.989	17.989	25.566	32.442	40.739	52.499
Consumo final não-energético	414	486	960	1.238	695	481	333	230	160	110
Consumo final energético	184	2.682	11.430	11.148	13.294	17.023	25.233	32.212	40.580	52.388
Transportes	184	2.682	11.430	11.148	13.294	17.023	25.233	32.212	40.580	52.388
Rodoviário	184	2.682	11.430	11.148	13.294	17.023	25.233	32.212	40.580	52.388

Fonte: EPE. Plano Nacional de Energia 2030: combustíveis líquidos. Rio de Janeiro, 2007

4.2 Biodiesel

Apesar do atraso histórico do desenvolvimento do mercado de biodiesel em relação ao do etanol, existem perspectivas de que, num prazo de aproximadamente 20 anos, o Brasil possa também se tornar um dos maiores produtores e exportadores de biodiesel de todo o mundo. De fato, a EPE cenarizou uma produção de quase 9,6 milhões de toneladas de biodiesel para 2030, 12% da demanda doméstica projetada de diesel e 1/3 da demanda mundial de biodiesel prevista pela IEA para o referido ano. Conforme a tabela 3 abaixo, projeta-se que o dendê irá proporcionar 59% do total de biodiesel produzido

em 2030, um montante 69 vezes maior do que aquele produzido em 2005 (antes do início do cumprimento das metas mandatórias de mistura ao diesel).

Tabela 3 – Produção de biodiesel por matéria-prima (mil ton)

Matéria-primas	2005	2010	2015	2020	2025	2030
Soja	122	1.848	2.394	2.641	3.737	3.394
Dendê	5	137	408	1.062	2.571	5.695
Mamona	11	87	150	229	328	451
Girassol	1	22	35	54	78	104
Total (mil ton)	139	2.095	2.988	3.987	6.714	9.644

Fonte: EPE. Plano Nacional de Energia 2030: combustíveis líquidos. Rio de Janeiro, 2007

O crescimento dramático previsto na produção de óleo oriundo da palma (ou dendê), cuja produtividade média é até oito vezes maior do que a da soja, está baseado no fato de a área total adequada ao seu plantio no país ser de aproximadamente 70Mha. Para fins de comparação, a Malásia e Indonésia, que respondem hoje por 85% da produção mundial deste óleo (USDA, 2009), possuem hoje uma área de plantio combinada de 9Mha, com muito mais restrições físicas, ambientais e políticas para expandirem seus plantios do que o Brasil.

O governo federal demonstra estar atento às vantagens do plantio do dendê em áreas degradadas da Amazônia. Até o final de 2009 está previsto o lançamento do Programa de Incentivo à Produção de Dendê, que tem como meta inicial a implantação de um milhão de hectares de dendê para atender o mercado de óleos. Frederico Durães, chefe-geral da Embrapa Agroenergia, afirma que a implantação deste programa deverá ser escalonada em um período de 10 a 12 anos, dada a disponibilidade limitada de sementes (EMBRAPA, 2009). Estima-se, apenas no setor agrário, a geração de 100 mil a 200 mil empregos diretos (EMBRAPA, 2006) com renda média mensal familiar acima de R\$ 800,00 (FISCHER et al., 2006).

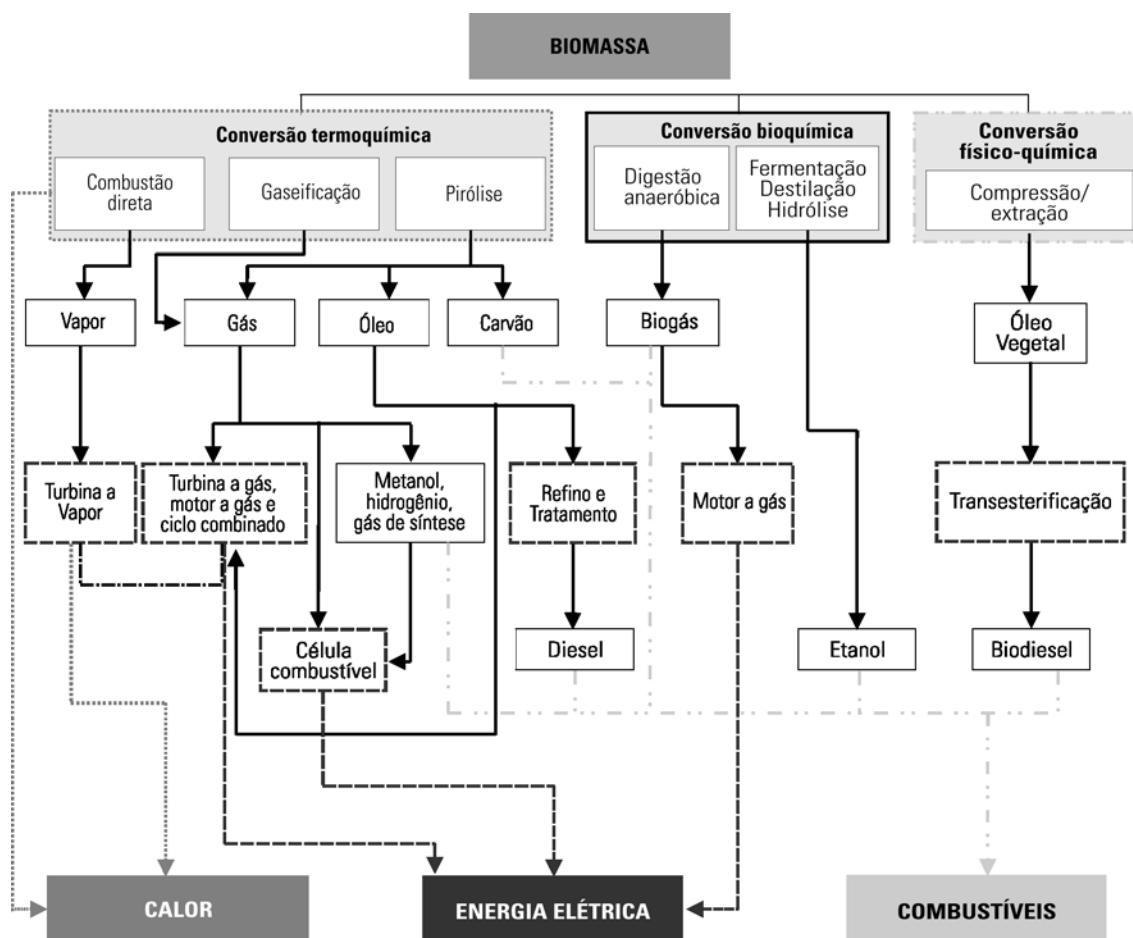
Cabe também ressaltar que a Vale, gestora da maior malha ferroviária nacional e maior consumidora privada de diesel (497 milhões de litros/ano), anunciou em junho de 2009 o Projeto Biodiesel, um consórcio com a Biopalma da Amazônia S.A para a produção de biodiesel na Região Norte do país.

Até 2013, serão plantadas mudas de palma numa área de 60 mil hectares, gerando cerca de 6 mil empregos diretos no campo. Serão produzidas 500 mil toneladas por ano de óleo, sendo parte dessa produção transformada em 160 mil toneladas de biodiesel para a Vale e que serão utilizadas para abastecer toda a frota de 216 locomotivas da Estrada de Ferro Carajás com mistura B20 ou de maior teor. (VALE, 2009)

5 TRAJETÓRIA TECNOLÓGICA DO SETOR

Os países industrializados, como assinalado, não possuem a extensão de terra necessária ao plantio de agroenergéticos de forma a deslocar significativamente os combustíveis fósseis líquidos, devido à pouca disponibilidade de áreas livres e à baixa densidade energética dos cultivos compatíveis com climas temperados. No intuito de superar esta desvantagem natural, pesquisas têm sido conduzidas para desenvolver biocombustíveis de 2ª geração, que possibilitam a conversão energética de um maior percentual da biomassa vegetal (não apenas os açúcares/amidos para produção de etanol ou óleos vegetais para biodiesel), conforme as rotas tecnológicas abaixo.

Figura 7 – Rotas Tecnológicas de Conversão Energética de Biomassa



Fonte: EPE – PNE 2030 – Combustíveis Líquidos

A Figura 7 apresenta um esquema das rotas tecnológicas de conversão da biomassa em energéticos, no qual se destacam os três principais ramos fundamentais dos processamentos primários aplicados à biomassa:

- i) conversão termoquímica;
- ii) conversão bioquímica e;
- iii) conversão físico-química.

As principais rotas tecnológicas de aproveitamento energético são mostradas, com destaque para aquelas que resultam na produção de combustíveis líquidos. O processamento de biomassa por conversão físico-química envolve tecnologias já testadas e maduras; logo, o potencial de aumento em eficiência na cadeia de produção de biocombustíveis por este processo é substancialmente menor do que nos processos de conversão termoquímicos e bioquímicos, daí apenas estes serem detalhados aqui.

5.1 Conversão Termoquímica

A conversão termoquímica ocorre quando a energia quimicamente armazenada na biomassa é convertida em calor por meio da combustão. Uma variedade larga de tecnologias capazes de converter a biomassa em energia está disponível através da via termoquímica, e sua diferenciação está associada à quantidade de oxigênio que é fornecido ao processo, tendo como referência o valor do coeficiente estequiométrico, resultando nas vias de pirólise e gaseificação (EPE, 2007). Ambos são baseados em:

- Decomposição térmica da carga combustível primária e;
- Combustão dos produtos resultantes da decomposição.

Na gaseificação e na pirólise, as duas etapas ocorrem em processos fisicamente independentes, sendo o efeito mais importante desta separação a possibilidade de aplicar os produtos dos processos para a produção de combustíveis líquidos. A conversão termoquímica baseada na gaseificação e

na pirólise origina rotas de processamento primário da biomassa, que são o ponto de partida para cadeias de produção de combustíveis líquidos e matérias-primas derivadas da biomassa.

A gaseificação é o processo em que é fornecida uma quantidade de oxigênio não suficiente à combustão completa da carga combustível (coeficiente estequiométrico entre 0 e 1), obtendo-se uma combustão parcial. O produto principal é um gás que contém como principais componentes o monóxido de carbono (CO), o hidrogênio (H₂), e o metano (CH₄).

A pirólise é o processo em que muito pouco ou nenhum oxigênio é fornecido para a combustão da carga combustível (coeficiente estequiométrico = 0). Através do seu aquecimento a relativamente baixas temperaturas (500 °C a 1.000 °C), ocorre a degradação térmica do combustível, resultando em produtos sólidos, como o carvão vegetal, líquidos (óleo pirolítico) e gasosos (gás pirolítico).

5.2 Conversão Bioquímica

A via bioquímica de conversão da biomassa utiliza processos biológicos e químicos que incluem a digestão anaeróbica, a fermentação/destilação e a hidrólise. A fermentação/destilação e a hidrólise são rotas que apresentam as mais adequadas condições para produção de combustíveis líquidos (etanol) derivados da biomassa, sendo a primeira já tradicionalmente empregada no mundo todo para a produção de etanol, utilizando matérias-primas variadas, conforme segue.

5.2.1 Fermentação seguida por Destilação

É o processo de produção de etanol realizado pela fermentação microbiana de açúcares originários de sacarídeos ou resultantes de outros processos, como a transformação de amiláceos ou celulosas em açúcares. O processo se realiza geralmente em três etapas (EPE, 2007):

- A formação de uma solução de açúcares fermentáveis (sacarificação), dependendo da fonte de açúcares;
- A fermentação destes açúcares e conversão em etanol, realizada por microorganismos que se alimentam de açúcares fermentáveis (tipicamente as hexoses – açúcares de seis carbonos) e excretam o etanol e outros. Assim, biomassas com elevados teores de hexoses (p. ex. glicose), como a cana-de-açúcar, são as matérias-primas mais produtivas. Entretanto, outras matérias-primas são também utilizadas, como os amiláceos, compostos por cadeias longas de moléculas de glicose (polissacarídeos), existentes em numerosos vegetais, tais como trigo, arroz, milho, batata etc. Os amiláceos, após reação prévia com água (hidrólise) para quebrar as cadeias complexas em açúcares fermentáveis, podem também ser fermentados após terem suas moléculas quebradas em glicose. As enzimas específicas que quebram as ligações químicas são adicionadas em várias etapas durante o ciclo de aquecimento;
- No final do processo a separação e purificação do etanol é feita através da destilação.

5.2.2 Hidrólise de Biomassa Celulósica

A biomassa vegetal é composta primariamente por algo entre 30% e 50% de celulose, 20% e 30% de hemicelulose e 20% e 25% de lignina, daí serem chamados materiais lignocelulósicos. A lignina fornece a sustentação estrutural do vegetal e compõe grande parte da matéria do vegetal; por não conter nenhum açúcar, é difícil a sua conversão neste. As moléculas da celulose consistem em longas moléculas da glicose (como os amiláceos), mas têm uma configuração estrutural diferente e, por serem encapsuladas pela lignina, são mais difíceis de hidrolisar que os amiláceos. A hemicelulose também é composta por cadeias longas de moléculas de açúcar e contém, além de hexoses, pentoses (açúcares com cinco carbonos), numa proporção que varia dependendo do tipo de vegetal. Uma vez que a quantidade de pentoses é grande, a capacidade de recuperar e fermentar estes açúcares é importante para a eficiência e a economia do processo de hidrólise de materiais celulósicos. Microorganismos especiais estão sendo geneticamente desenvolvidos para fermentar as pentoses e permitir a conversão em etanol com eficiência relativamente elevada. Há três tipos básicos de hidrólise de materiais celulósicos com variações para cada um deles:

- o processo ácido (mais comum),
- o processo enzimático e
- o processo termoquímico,

5.3 Outras Considerações acerca das Rotas Tecnológicas da Energia de Biomassa

Em palestra no “Workshop on the Impact of land use change and biofuel crops on soils and the environment”, realizado em Junho de 2009 e promovido pelo Programa Fapesp de Pesquisa em Bioenergia (Bioen), Marcos Jank, presidente da União da Indústria de Cana-de-Açúcar (Unica), apontou novos potenciais da cana-de-açúcar: açúcar, etanol, eletricidade, plásticos e hidrocarbonetos. Segundo o dirigente, esta deve ser a rota de utilização da cana a ser seguida pelas atividades de pesquisa científica e tecnológica nos próximos anos.

É muito provável que, daqui a dez anos, o Brasil esteja investindo em estudos e na produção de hidrocarbonetos a partir de açúcares convencionais, quando a cana poderá dar origem a um combustível de 3ª geração, principalmente se o preço do petróleo voltar a patamares elevados, disse.

Estamos diante de um emaranhado de possibilidades, e as experiências brasileiras ainda estão à frente do ponto de vista global, mas essa dianteira ainda não está garantida e dependerá de muito investimento em pesquisa e desenvolvimento na área, além da definição de uma nova agenda de pesquisa para a cana no mundo da energia, destacou.

Em dezembro de 2008, a Agência Internacional de Energia publicou um aprofundado estudo a respeito das perspectivas tecnológicas dos biocombustíveis de 2ª Geração: From 1st to 2nd Generation Biofuel Technologies – An Overview of Current Industry and RD&D Activities (2008b). Os pontos mais relevantes do estudo foram os seguintes:

- ainda permanecem barreiras técnicas à produção de biocombustíveis;

- custos de produção são incertos e variam com o insumo disponível, mas estima-se que variem entre US\$ 0.80 – US\$ 1.00/litro de gasolina equivalente;
- não existe candidato claro para a melhor rota tecnológica entre as rotas bioquímicas e termoquímicas. Será necessário o desenvolvimento e monitoração de diversos projetos de demonstração para prover dados comparativos adequados;
- mesmo com a perspectiva de alto preço do petróleo, os biocombustíveis de 2ª geração provavelmente não se tornarão plenamente comerciais nem conseguirão inserção no mercado por muitos anos sem apoio adicional significativo dos governos;
- investimentos consideráveis serão necessários em pesquisa, desenvolvimento, demonstração e comercialização para assegurar que a futura produção de biocombustíveis de 2ª geração a partir de vários insumos de biomassa possa ser obtida de forma sustentável;
- uma vez identificada e comprovada a melhor rota tecnológica, haverá uma contínua transição dos biocombustíveis de 1ª para a 2ª geração, com exceção do etanol de cana-de-açúcar, que continuará a ser produzida sustentavelmente em muitos países.

Por fim, o referido relatório mostra que, após substancial investimento público visando diminuir os riscos financeiros associados à tecnologias ainda não provadas, tanto o processo bioquímico de hidrólise enzimática quanto o termoquímico de biomassa para líquidos (biomass-to-liquids, ou BTL) já atingiram o estágio de demonstração.

Complementando, ambos os processos podem, potencialmente, converter 1 tonelada de biomassa seca (~20 GJ/t) em aproximadamente 6,5 GJ/t na forma de biocombustíveis, resultando numa eficiência de conversão de biomassa em biocombustível líquido de 35%. Tipicamente, espera-se que a hidrólise enzimática produza até 300 litros de etanol por tonelada de biomassa seca, ao passo que a rota BTL possa render até 200 litros de diesel sintético/t. A eficiência energética dos processos é semelhante, pois o diesel possui maior densidade energética do que o etanol.

5.4 Dificuldades no Desenvolvimento dos Biocombustíveis de 2ª Geração

Conforme assinalado acima, os biocombustíveis de 2ª geração de uma forma geral ainda não se mostram economicamente competitivos frente aos de 1ª geração (etanol a partir de açúcar ou amido e biodiesel de óleo vegetal ou gordura animal), não existindo, em razão disto até o início de 2009, plantas em escala comercial. De fato, segundo a IEA (2008b), a transição da 1ª para a 2ª geração de biocombustíveis ainda deverá levar ao menos 10 anos, à medida que a infraestrutura e a experiência absorvida com a 1ª geração seja transferida para apoiar e guiar o desenvolvimento da 2ª geração.

Tornando mais complexo o quadro, existe ainda a possibilidade de combustíveis de 3ª geração, como conversão bioquímica ou termoquímica de carboidratos em hidrocarbonetos, diesel ou gasolina entrarem no mercado ao mesmo tempo, conforme estudos e depoimentos de especialistas do setor. Segundo a IEA (2008b), os principais problemas em P&D referentes aos biocombustíveis de 2ª geração são:

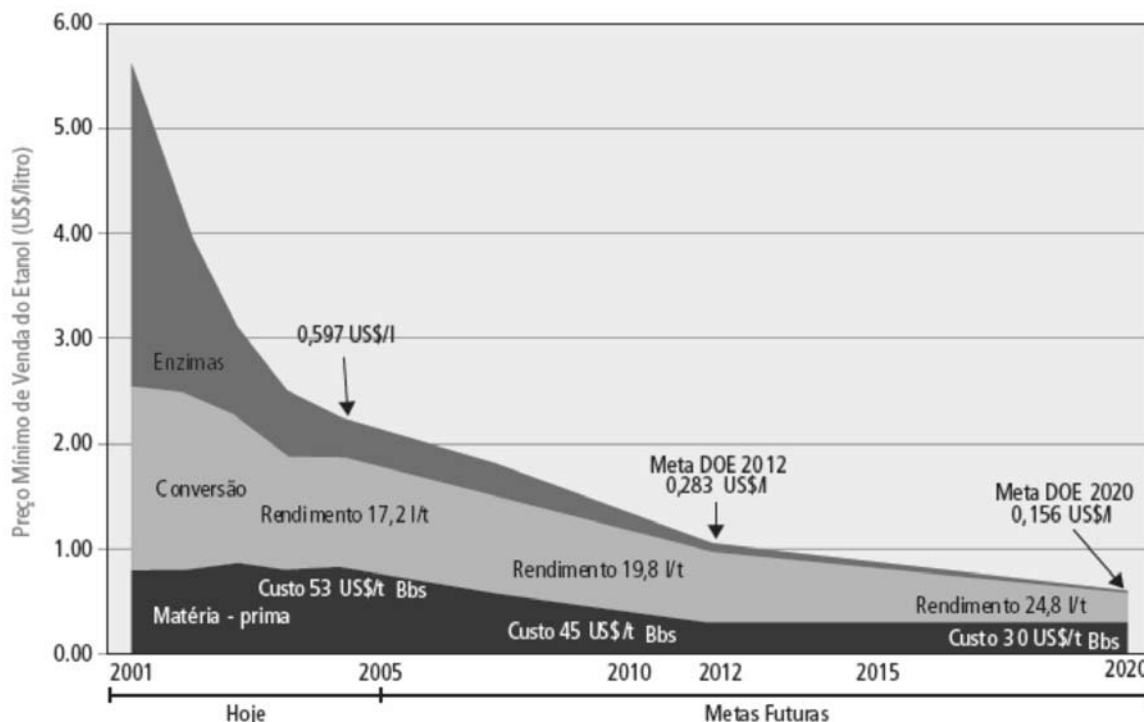
Na Rota Bioquímica

- melhoria nas características dos insumos (p. ex., reduzir o teor de lignina para facilitar acesso à celulose/hemicelulose);
- redução de custos no aperfeiçoamento do pré-tratamento dos insumos;
- aumentar a eficácia e diminuir o custo na produção de enzimas (para hexoses);
- desenvolver enzimas capazes de quebrar pentoses (presentes na hemicelulose) com alta eficiência;

melhoria na integração de processos.

Conforme a Figura 8, o Departamento de Energia dos EUA pretende focar os investimentos de P&D na diminuição expressiva dos custos na produção de enzimas, hoje barreira significativa que se reflete na pouca competitividade do etanol celulósico.

Figura 8 – Projeções dos custos do etanol celulósico



Fonte: EPE (2007)

Na Rota Termoquímica

- aperfeiçoar a confiabilidade da gaseificação de biomassa;
- produção de gaseificadores de biomassa a custos razoáveis;
- logística que garanta entrega constante de altos volumes de biomassa para que a planta tenha escala suficiente para viabilizar-se economicamente;
- Menor potencial de redução de custos

A potencial vantagem da rota bioquímica é que as reduções de custo têm-se provado bem-sucedidas até hoje, de forma que é possível a produção de biocombustíveis com menor custo do que pela rota termoquímica. Por outro lado, de forma geral, existem menos barreiras técnicas para a rota termoquímica, visto que boa parte da tecnologia já está consolidada.

A Figura 9 resume, por sua vez, o status (P&D, demonstração, comercial) em que se encontram as principais tecnologias para a produção de biocombustíveis de 2ª geração (IEA BIOENERGY, 2009).

Figura 9 – Estágio de desenvolvimento de variados biocombustíveis de 2ª geração

	BASIC & APPLIED R&D	DEMONSTRATION	EARLY COMMERCIAL	COMMERCIAL
Bioethanol		Lignocellulosic ethanol		Ethanol from sugar & starch crops
Diesel - type Biofuels	Biodiesel from microalgae	Syndiesel (from gasification + FT ¹)	Renewable diesel (By hydrogenation)	Biodiesel (by transesterification)
Biomethane		Gasification + methanation	Biogas upgrading	
Other Fuels & Additives	Novel fuels (e.g. furanics)	Biobutanol, Pyrolysis-based fuel	DME ² Methanol	
Hydrogen	All other novel routes	Gasification with reforming	Biogas reforming	

Liquid biofuel
 Gaseous biofuel

¹Fischer-Tropsch; ² Dimethylether

Fonte: IEA Bioenergy (2009)

6 Ameaças e Oportunidades para o Brasil

6.1 Ameaças

Há nos países industrializados grupos que identificam os biocombustíveis de 1ª geração como ambientalmente insustentáveis, pois, competem com cultivos alimentares; são uma opção cara de segurança energética, demandando subsídios/incentivos governamentais e produzem baixos benefícios de redução de GEE em sua cadeia, devido às emissões na mudança de uso de solo. Além desses, consideram que os biocombustíveis induzem ao desmatamento florestal em países tropicais; causam impactos à fauna e flora, com uso inapropriado de defensivos e fertilizantes, e ainda competem no uso de água em certas regiões com déficit hídrico.

Esta percepção, que questiona a sustentabilidade ambiental na produção de biocombustíveis, tem gerado pressão para criação de certificados de bioenergia sustentável nos países em desenvolvimento que a produzem. Existem indícios de que esses certificados possam constituir barreiras não tarifárias que dificultem a consolidação do Brasil como líder na exportação de biocombustíveis. Além disso, estudos (CRUTZEN et al., 2007; FARGIONE et al., 2008) têm sugerido que certos biocombustíveis emitem, em todo seu ciclo produtivo, mais GEE por unidade de energia produzida do que um combustível fóssil equivalente.

Essa avaliação sobre a capacidade de mitigação das emissões de GEE dos biocombustíveis se deve à necessidade de medir as emissões em toda a sua cadeia de produção (well-to-wheel, ou do poço à roda), que leva em conta todos os fatores no ciclo produtivo do biocombustível. São avaliados aspectos relacionados à mudança no uso da terra (variação nos estoques de carbono na área de plantio); os insumos energéticos usados no trato cultural das plantas (fertilizantes, defensivos, irrigação, diesel para tratores/colheitadeiras etc.) e a energia no processamento da biomassa bruta (fermentação, destilação, extração), assim como aquelas relativas às edificações e maquinário, transporte

(do material bruto e do produto final) até o consumidor e queima final do biocombustível.

Diversos atores vêm, nos últimos anos, se envolvendo em debates para definir princípios e critérios de sustentabilidade de bioenergia, como o Roundtable of Sustainable Biofuels (RSB), Roundtable of Sustainable Palm Oil (RSPO), Roundtable of Responsible Soybean (RTRS), Global Bioenergy Partnership (GBEP), entre outros.

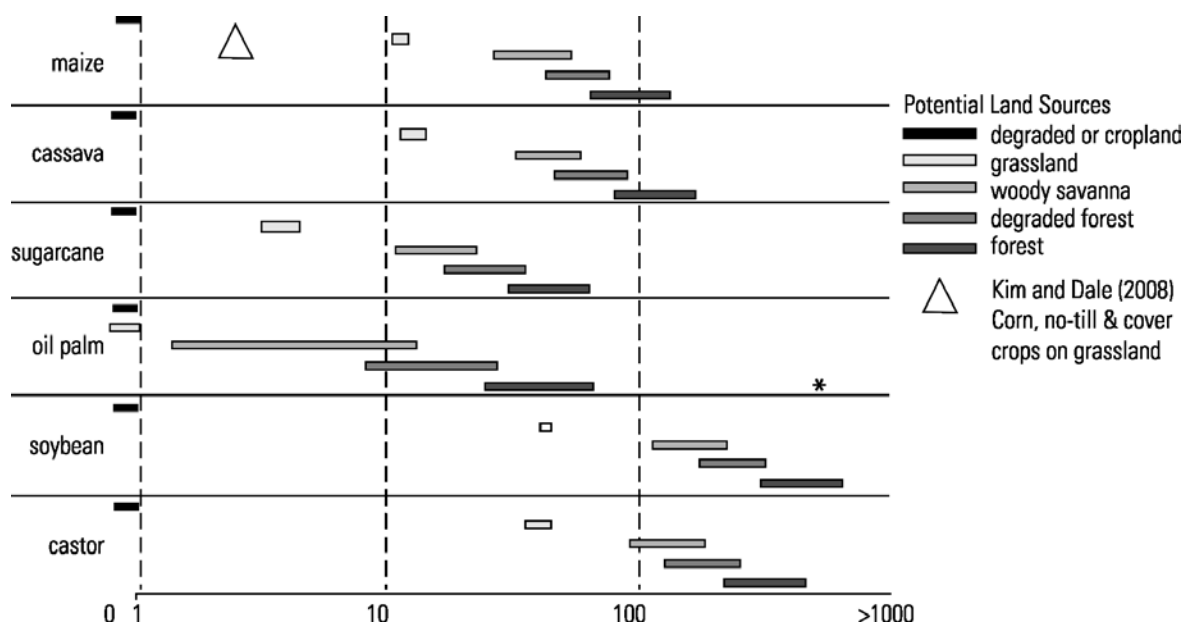
De uma forma geral, as iniciativas de certificação de bioenergia se baseiam em temas recorrentes, como as emissões de GEE na cadeia produtiva; a competição com alimentos e outras aplicações; a proteção à biodiversidade e ao meio ambiente; e o bem-estar social. Sejam quais forem os critérios de sustentabilidade adotados no futuro, as emissões de GEE possuem um caráter mais quantitativo e objetivo, passíveis de mensuração. Os demais temas são mais qualitativos e, portanto, subjetivos, dando margens a interpretações que podem ser passíveis de contestações jurídicas por agentes que se sentirem prejudicados.

Não há mais como justificar, em razão da discussão sobre a sustentabilidade, a certificação de um empreendimento agroenergético instalado em áreas previamente ocupadas, seja com cultivos agrícolas para fins alimentares ou com ecossistemas minimamente preservados.

Vários estudos indicam que a variável-chave para a determinação da sustentabilidade na produção de bioenergia é a mudança de uso da terra, em particular no que toca às emissões de GEE. A Figura 10 mostra como o tempo de retorno⁴ é de menos de um ano para vários cultivos quando eles são estabelecidos em áreas degradadas com praticamente nenhum estoque de carbono florestal. No entanto, quando existem áreas com estoques apreciáveis (florestas, degradadas ou não, savanas), o tempo de retorno pode ser de várias décadas.

⁴Tempo em que um agroenergético compensa, com o deslocamento de combustível fóssil, as emissões devidas ao estabelecimento do cultivo.

Figura 10 – Tempo de retorno de carbono para cultivos agroenergéticos (em anos)



Fonte: Kim; Dale (2008) apud Winrock International (2009)

No entanto, mesmo o cultivo de agroenergéticos em áreas previamente antropizadas estão sujeitas a restrições ambientais. Em Abril de 2009, a Agência de Proteção Ambiental dos EUA (EPA) e o California Air Resources Board (CARB), agência ambiental do referido estado, anunciaram que levarão em conta, nos seus critérios de sustentabilidade, as emissões indiretas de GEE na mudança de uso da terra na cadeia de produção de biocombustíveis (LANE, 2009).

Mudança indireta do uso da terra (ILUC)⁵ ocorre quando a pressão na agricultura devida ao deslocamento de uma atividade prévia induz mudanças no uso da terra em outro local. Os efeitos ambientais de ILUC são conhecidos como vazamento, isto é, o resultado de uma ação ocorrendo num sistema que induz efeitos indiretos fora dos limites deste sistema, mas que podem ser atribuídas às ações que ocorrem no sistema. No caso, o deslocamento de áreas agrícolas produtivas para a produção de bioenergia pode gerar um uso mais intensivo de terras em outro local (GNANSOUNOU et al, 2008).

⁵ ILUC, sigla em inglês

Este efeito foi notabilizado em Searchinger et al. (2008), que sustenta que o incentivo do governo dos EUA para a produção de etanol de milho teria levado a um aumento na área plantada deste grão à custa da área de plantio de soja, levando a uma escassez desta e, conseqüentemente, a um aumento mundial no preço desta commodity. Isso, por sua vez, teria incentivado a expansão na área de plantio de soja no Brasil (2º maior produtor mundial depois dos EUA), induzindo a um aumento no desmatamento da Amazônia. Logo, a produção de etanol de milho nos EUA teria causado um aumento nas emissões de GEE por conta do desflorestamento na Amazônia, e estas emissões teriam que ser contabilizadas e creditadas aos produtores de etanol.

Entretanto, segundo Gustafson (2009), Bruce Dale, da Universidade de Michigan (EUA), comparou curvas de preço da soja com dados de deflorestamento da Amazônia e descobriu que a correlação era menor do que 2%, indicando que os preços da soja tinham efeito desprezível na mudança de uso da terra na Amazônia.

Com relação ao plano da Califórnia em impor cálculos de ILUC em sua busca por reduzir a intensidade de carbono nos combustíveis consumidos no estado, uma carta aberta (SIMMONS et al, 2009) assinada por 111 cientistas norte-americanos, a maioria oriunda de universidades e centros de pesquisas públicas em energia, foi enviada ao governador do referido estado, solicitando que as emissões das mudanças indiretas de uso da terra não fossem incorporadas no cálculo do ciclo de vida dos biocombustíveis. Os principais argumentos foram os seguintes:

Só existe um tipo de impacto de carbono de combustíveis comerciais: os efeitos diretos. Efeitos diretos são aqueles diretamente atribuíveis à produção do combustível, que, no caso de biocombustíveis, inclui a conversão da terra para a produção do insumo;

À parte a questão das incertezas dessas medições, fica claro que os efeitos indiretos não devem ser impostos a apenas uma cadeia de combustíveis. Petróleo, por exemplo, induz efeitos de preço nas commodities, no mercado agrícola e outros mercados. Carros elétricos irão aumentar a pressão na rede elétrica, potencialmente aumentando a demanda marginal de eletricidade a partir de carvão, gás natural ou

— óleo combustível;

Até o momento, a agência ambiental do estado (CARB) propõe apenas atribuir os efeitos indiretos na produção de biocombustíveis, criando uma assimetria na regulação. Isso viola a presunção fundamental de que todos os combustíveis, num padrão de análise de desempenho, devam ser tratados da mesma forma, ou seja, com os mesmos limites para análise de ciclo de vida;

Impor diferentes métricas de atendimento a padrões para diferentes combustíveis é o equivalente a selecionar perdedores e ganhadores, o que entra em conflito com a ambição do plano de redução da intensidade de carbono (LCFS).

Aparentemente, algumas agências parecem ter percebido a injustiça intrínseca relativa à assimetria nas atribuições das responsabilidades nas emissões por conta da mudança de uso do solo. Segundo Fritsche et al (2009), durante um workshop sobre ILUC do braço da Agência Internacional de Energia (IEA Bioenergy), houve discussões dentro do grupo acerca do estabelecimento de um teto global de longo prazo nas emissões na mudança de uso do solo, com o compartilhamento dos impactos entre todos os atores relevantes (agricultura, assentamentos, bioenergia etc.).

Uma visão contundente dessas assimetrias é colocada por Della Vedova (2009): ele afirma que uma coalizão se formou na Europa, incluindo produtores locais de biocombustíveis e ONGs, que ora pressionam a Comissão Europeia (CE) para implementar políticas relacionadas às emissões devidas às mudanças indiretas de uso do solo para discriminar os biocombustíveis oriundos dos EUA e do Sudeste asiático, mais competitivos do que os produzidos na Europa. A CE pretende impor o ônus das mudanças indiretas aos produtores das Américas (EUA, Argentina, Brasil) e asiáticos (Indonésia e Malásia), mas eximir os produtores europeus de tal medida. O autor, parlamentar italiano e ex-membro do Parlamento Europeu, entende ser virtualmente impossível calcular precisamente as emissões devido às mudanças indiretas de uso do solo, que deixam muito espaço para ajustes com objetivos protecionistas. Especificamente, ele afirma que o esforço em demonizar os biocombustíveis do sudeste asiático é “o bom e velho protecionismo, mascarado de ambientalismo”.

Apesar de todas as críticas supracitadas, os dois citados órgãos ambientais, além da própria União Europeia, confirmaram a intenção de levar adiante as emissões indiretas em seus cálculos de sustentabilidade de bioenergia.

6.2 Oportunidades

6.2.1 P&D

Como o Brasil possui clara vantagem competitiva na produção de biocombustíveis de 1ª geração, e como os de 2ª geração não deverão estar disponíveis no mercado no curto e médio prazo, como discutido anteriormente, é necessário manter o foco nas oportunidades existentes nos biocombustíveis tradicionais de forma a aumentar continuamente a sua competitividade, o que pode proporcionar excelentes oportunidades de mercado, como o norte-americano, que será objeto de análise na seção 6.2.2.

O etanol de cana-de-açúcar brasileiro é o biocombustível mais competitivo no planeta, único que não necessita subsídio ou apoio governamental (FAO, 2008). Inúmeros estudos internacionais reconhecem que o cultivo de cana no Brasil para a produção de etanol não sofre a maioria das restrições relacionadas à sustentabilidade. Pesquisas agronômicas (CTC) têm mantido a competitividade do Brasil neste cultivo, com cultivares com maior teor de sacarose, que demandam menos água, que fixam nitrogênio ao solo etc.

O dendê é a oleaginosa mais produtiva (litros/hectare) e de menor custo de produção de óleo que existe, e o Brasil possui a maior extensão com condições edafo-climáticas apropriadas para o seu plantio. O Ministério da Agricultura planeja plantar cerca de 1Mha dessa palmácea em áreas degradadas da Amazônia, o que deverá gerar 100 mil empregos e renda superior a trabalhadores rurais locais. O EPE estima que em 2025 o dendê será o principal insumo de biodiesel do Brasil, superando a soja.

Além do lado agrícola, existem outras oportunidades de P&D para o etanol, como o seu uso em motores ciclo diesel; aumento da eficiência energética das usinas, que, em tese, resultaria em maior excedente de bagaço e a hidrólise do bagaço, maior fonte de biomassa residual.

No caso do biodiesel as oportunidades em P&D são muitas. As propriedades físico-químicas de óleos com potencial comercial (pinhão-mansão, macaúba, babaçu etc.), a transesterificação via rota etílica, em vez da rota metílica, estimulando a produção integrada etanol/biodiesel e o processo de produção de biodiesel em plantas industriais contínuas e por batelada são algumas delas, assim como a avaliação da viabilidade do uso do biodiesel como energia renovável em motores automotivos e estacionários (principalmente em sistemas isolados na Amazônia).

Também é importante a condução de estudos que permitam calcular, à luz dos sistemas de certificação de bioenergia em gestação, as emissões de GEE de diversas alternativas de cadeias agroenergéticas (cana, dendê, soja no cerrado e bioma amazônico etc.) levando em conta modelos de cálculo de emissões por mudanças diretas e indiretas de uso da terra.

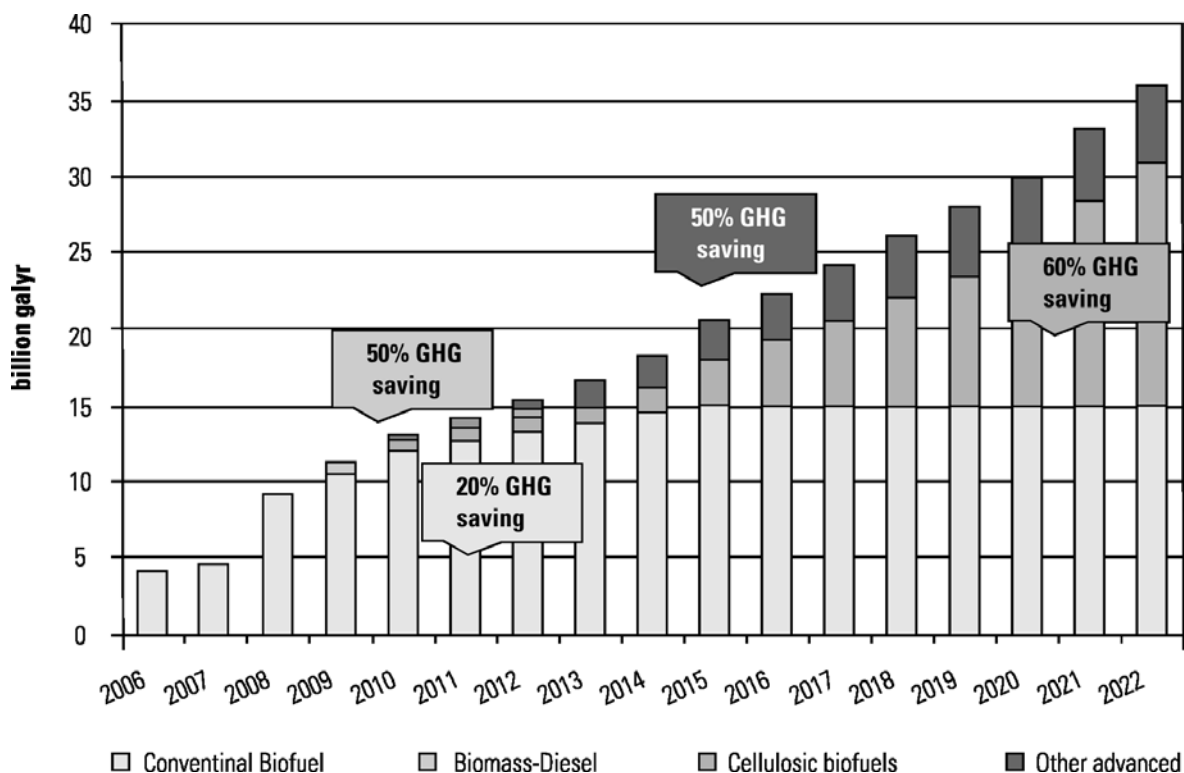
Por fim, a harmonização das normas brasileiras de especificações de biocombustíveis com as dos EUA, UE e outros parece ser um elemento fundamental para que o biocombustível possa fluir nestes mercados sem barreiras de qualquer tipo.

6.2.2 Inserção no Mercado Norte-Americano e Europeu

Nos EUA, a Lei de Segurança e Independência Energética (EISA) de 2007 aumentou a meta de produção de 4 bilhões de galões (15,2 bilhões de litros) de biocombustíveis em 2006, estabelecido pelo Padrão de Combustíveis Renováveis (RFS), para 136 bilhões de galões (515,4 bilhões de litros/ano) em 2022. Conforme a Tabela 1, isso representa mais do dobro da produção mundial de biocombustíveis em 2008.

A categorização dos biocombustíveis dentro da EISA contém metas mínimas de redução de GEE calculadas em cima de uma análise de ciclo de vida (ACV) que necessita incluir tanto os efeitos diretos quanto indiretos da mudança de uso do solo. Além disso, conforme ilustrado pela Figura 11, a EPA estabeleceu os volumes, as taxas de inserção na matriz e os limites de emissões de cada categoria (comparada à cadeia do combustível fóssil equivalente) até 2022, quando a produção deverá atingir, conforme mencionado, a 515,4 bilhões de litros/ano.

Figura 11 – Processo de entrada de biocombustíveis na matriz energética dos EUA (RFS-2)



Fonte: Padrão de Combustíveis Renováveis 2 (RFS)

Obs: 1 galão = 3,79 litros. Assim, 36 bilhões de galões = 136,44 bilhões de litros.

A mesma EPA, dentro do processo de revisão do programa de combustíveis renováveis (RFS-2), publicou em abril de 2009 uma DRIA (Análise Preliminar de Impacto Regulatório) do etanol de cana-de-açúcar brasileiro. Neste documento, foi avaliado que tal biocombustível apresenta uma redução de emissões de GEE de 44% num período de 100 anos (com taxa de desconto de 2% a.a.) e 26% em 30 anos (0% t.d.), levando-se o ILUC em conta. Em resposta, o ICONE (Instituto de Estudos do Comércio e Negociações Internacionais) enviou uma carta em setembro de 2009 à EPA comentando supostos equívocos nas premissas e cálculos da referida agência ambiental americana (NASSAR et al, 2009):

- A análise do ICONE resultou numa redução de emissões de 69% em 100 anos (taxa de desconto = 2%) e 60% em 30 anos (t. d. 0%);
- ICONE empregou um modelo econômico de uso da terra (BLUM - Brazilian Land Use Model) que projeta a mudança de uso do solo nas seis regiões do Brasil, similar ao modelo FASOM, empregado pela EPA, que divide

os EUA em dez regiões. No entanto, a análise da EPA publicada na DRIA traz apenas cálculos agregados de todo o território brasileiro;

Outra diferença fundamental, associada à regionalização na alocação de terra dentro do Brasil, é que o BLUM não apenas calcula alocação de terra para diferentes usos produtivos (soja, milho, algodão, feijão, arroz, cana-de-açúcar e pastagens), mas também as mudanças de uso da terra devidas à substituição de cultivos agrícolas e de usos agrícolas e naturais da terra.

Caso os argumentos colocados pelo ICONE (que conduziu o estudo por solicitação da UNICA) sejam aceitos pela agência americana, será possível o Brasil suprir até 4 bilhões de galões (15,2 bilhões de litros/ano, equivalente a 2/3 da atual produção nacional em 2008) de etanol de cana-de-açúcar na categoria de combustíveis avançados, que a própria EPA entende será majoritariamente de etanol importado. Como a capacidade de mitigação de emissão de GEE do etanol de cana-de-açúcar brasileiro é destacadamente maior do que qualquer outro, existe pequena probabilidade de competição com outras fontes no curto prazo.

Com relação ao mercado europeu, é difícil a avaliação no momento, pois somente em 2010 ou 2011 deverá ser publicada uma diretiva que explicita como será efetuado o cálculo de emissões de GEE dos biocombustíveis (e que necessariamente contemplará o cálculo de emissões diretas e indiretas da mudança de uso do solo), a quem e em que circunstâncias ele será aplicado etc. Entretanto, segundo cenários da Comissão Europeia (EC, 2007), o atendimento à diretiva 2003/30/EC demandará 19 MTep de biodiesel e quase 16 MTep de etanol em 2020, quase 80% da produção global de biocombustíveis em 2008, como mostrado na Tabela 1. O mesmo estudo afirma que não será possível a autossuficiência do bloco, mesmo com a entrada de biocombustíveis de 2ª geração. Em 2020, seria necessário a importação anual de 3,6 milhões de toneladas de biodiesel de palma (dendê), por se tratar do insumo mais competitivo. Esse volume representa mais do que a produção total de biodiesel prevista no PNPB com a entrada de B5⁶.

⁶ A notação B(X) significa o biodiesel associado à mistura combustível, ou seja, um B2 denota 5% de biodiesel na mistura combustível associado ao diesel fóssil

6.3 Transição do combustível para transportes: de biocombustíveis para bioenergia

Conforme já assinalado, assume-se que a substituição de combustíveis fósseis por biocombustíveis faz parte de qualquer solução energética que vise mitigar as emissões de GEE. Entretanto, existem evidências de uma alternativa melhor, no médio e longo prazo, no uso de biomassa para fins de transporte: conversão da mesma em eletricidade.

Atualmente, biomassa é utilizada amplamente para a geração de energia elétrica nos países escandinavos. Na Suécia, ela representa 22% da oferta; na Dinamarca, 14%. Eletricidade é uma forma conveniente e versátil de energia e deve exercer um papel proeminente no setor de transportes a partir do momento em que a frota de veículos automotivos começar a transição de motores de combustão interna para equivalentes elétricos (puros) e plug-ins elétricos (em que um motor Otto convencional alimenta a bateria, que, por sua vez, alimenta um motor elétrico).

Utilizar biomassa para a geração de eletricidade para alimentar motores elétricos pode diminuir significativamente as emissões associadas ao transporte. De acordo com Campbell et al (2009), para uma dada distância, um carro movido a bioeletricidade consome menos energia e emite menos GEE do que um equivalente movido a etanol.

Usando como referência o plantio de uma gramínea de rápido crescimento (switchgrass), objeto de extensa investigação por cientistas norte-americanos para a produção de etanol celulósico, os referidos autores concluíram que a distância percorrida em uma estrada por um veículo compacto, dada a quantidade de energia disponibilizada pela referida gramínea por unidade de área, é 85% maior no caso do uso da mesma como fonte de bioeletricidade do que quando a biomassa é convertida em etanol (celulósico). O ponto-chave é que, no percurso na estrada, o veículo com motor elétrico a bateria mostrou-se 3,1 vezes mais eficiente do que o veículo de referência com motor a combustão interna, de porte semelhante. Por conta das limitações intrínsecas associadas às máquinas térmicas, é fisicamente impossível aos motores a combustão interna possuir uma eficiência comparável a de motores elétricos, que não estão sujeitos aos limites teóricos descritos por Carnot.

Deste modo, a questão que se coloca é qual será a taxa de renovação dessa frota, ou seja, qual o tempo de transição do motor a combustão interna para o motor elétrico. Segundo a Anfavea (2009), existia, em 2006, cerca de 954 milhões de veículos automotivos com motores a combustão interna no mundo. Tal estoque é suficientemente grande para impedir qualquer estimativa de renovação da frota, principalmente porque ainda não há consenso entre os fabricantes sobre a tecnologia que irá prevalecer: híbrido, híbrido plug-in, elétrico puro (com bateria), elétrico com célula de hidrogênio etc.

De todo modo, as vantagens comparativas do Brasil com relação à maior disponibilidade para o plantio de cultivos de biomassa de alto rendimento como a cana-de-açúcar e dendê continuam, mesmo que estes insumos sejam, no futuro, utilizados para a produção de bioenergia.

7 Navegando à vista das Estrelas

7.1 Etanol

Lançado em julho de 2008, o Programa Fapesp de Pesquisa em Bioenergia (Bioen) financia projetos em três linhas de pesquisa:

- melhoria de cultivares para produção de biomassa de cana e outras plantas;
- pesquisa sobre processos de produção de etanol e de outros compostos de interesse da indústria; e
- pesquisas sobre os impactos sociais, econômicos e ambientais do uso e produção de biocombustíveis.

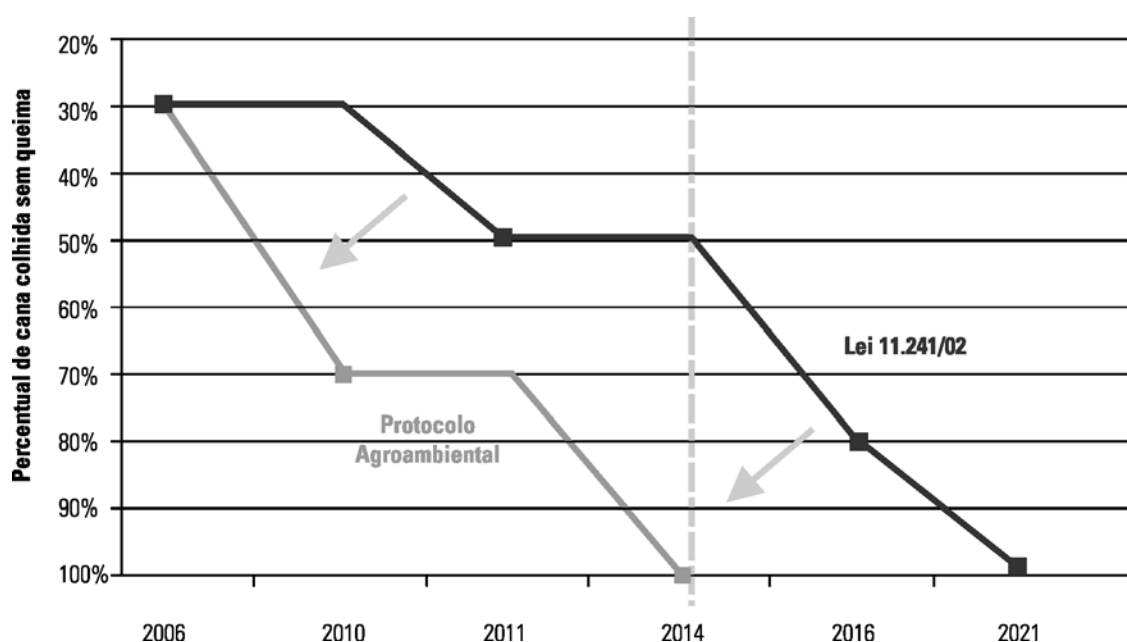
Esta terceira linha de pesquisa mostra a percepção da crescente relevância dos impactos de uma cadeia produtiva de suma importância para o futuro do país, em particular num ambiente internacional que tem sistematicamente diminuído o papel dos biocombustíveis, em especial sua suposta responsabilidade por desmatamentos e conflitos na produção de alimentos. Desta forma, faz-se necessário tecer alguns comentários acerca dos impactos socioambientais dos biocombustíveis. O foco aqui será a cadeia da cana-de-açúcar para produção de etanol, muito mais desenvolvida e impactante do que as cadeias de produção de biodiesel.

A produção de cana tem sofrido um forte processo de moto-mecanização, objetivando o aumento da produtividade do trabalho. Esse processo, que vem desde a década de 60, primeiro chegou ao preparo do solo, onde todas as atividades foram mecanizadas. Posteriormente o processo de mecanização chegou ao carregamento e transporte da cana e, a partir dos anos 1980, chegou à colheita e ao plantio. Entretanto, nestas duas importantes fases do processo de produção agrícola da cana, o processo de mecanização ainda encontra restrições em algumas regiões.

Na colheita, as máquinas existentes, além de serem de elevado valor, têm sua produtividade diminuída em terras com elevadas declividades e relevo acidentado. Além disto, o corte em áreas com declividade e acidentes reduz a produtividade da máquina e sua vida útil. Um problema adicional é que a cana é uma planta semiperene, que dura, em média, 5 safras. Porém, quando cortada mecanicamente, pode haver redução do seu ciclo de vida obrigando à realização de novo plantio antes de 5 anos, encarecendo bastante o custo de produção.

Segundo a UNICA, em 2007 a mecanização da colheita atingia 30% do total da área plantada (41% em SP); os 70% restantes foram cortados manualmente. No entanto a tendência é de que haja uma rápida evolução para o modo de colheita mecanizada, haja vista a lei 11.241, de 2002, criada para estabelecer prazos específicos para redução de área de cana colhida com utilização de queimadas. Além disso, recentemente foi estabelecido um protocolo agroambiental, entre o estado de São Paulo e a UNICA, que prevê prazos ainda mais reduzidos para eliminação da prática da queimada para colheita da cana, conforme a Figura 12. Para áreas não mecanizáveis, os prazos de mecanização são mais dilatados: em 2021 (Lei 11241/02) e 2017 (Protocolo Agroambiental).

Figura 12 – Cronograma para eliminação da queima na colheita da cana em áreas mecanizáveis



Fonte: ÚNICA

Para a completa mecanização de todo o ciclo de produção agrícola da cana, necessária para manter a competitividade e para solucionar problemas ambientais causados pela queima da cana, é necessário que o setor industrial gere novas variedades de máquinas que possam superar os entraves ainda existentes. Obviamente o processo de inovação de variedades de máquinas é fortemente alimentado pela demanda de máquinas, e isto já está ocorrendo com este novo ciclo de produção de cana especialmente num cenário em que a pressão para a mecanização da colheita vem aumentando de forma significativa.

O aumento da produção de cana e a pressão exercida por esta sobre a terra têm provocado dois movimentos migratórios. O primeiro relaciona-se ao processo de redução da população ocupada na agricultura familiar, que ocupa terras nas regiões em que a cana está se expandindo. O segundo é aquele movimento migratório de trabalhadores demandando os postos de trabalho criados pela cana de forma periódica nas áreas de plantio de cana. Neste caso o trabalhador encontra uma redução gradativa da oferta de emprego na colheita da cana em função da mecanização da mesma.

Os agricultores familiares que deixam suas terras passarão a buscar outras formas de trabalho que lhes garantam a subsistência. Porém, estes trabalhadores provavelmente já não mais estarão no campo, mas, talvez, morando nas periferias das cidades da região, gerando um potencial problema social. Adiciona-se a isso um risco de diminuição de produção local de alimentos, que pode gerar um impacto sobre a segurança alimentar regional, com a substituição da agricultura de subsistência.

O segundo movimento se deve ao padrão de produção ainda existente no cultivo da cana, no qual há grande demanda de mão-de-obra em duas fases de seu ciclo produtivo: plantio e colheita. Devido a isto, milhares de trabalhadores ainda buscam trabalho nas regiões de expansão da cultura, criando um movimento migratório pendular, que tem como causa as necessidades pontuais de trabalhadores nestes dois picos de crescimento da demanda por força de trabalho.

Ambos os movimentos acabam criando uma forte pressão sobre as cidades próximas às atividades sucroalcooleiras, levando a uma maior

concentração urbana da população. Este movimento de urbanização acelerado, sem infraestrutura montada para receber esses trabalhadores, gera um agravamento das condições de vida nas cidades do entorno dessas atividades. Dependendo do ritmo dessas transformações, os problemas podem se agravar provocando sérios distúrbios sociais, como acentuação da pobreza, violência e degradação urbana com ocupação desordenada do solo. A qualificação, portanto, desses trabalhadores para outras atividades que podem ser também indiretamente ligadas à cadeia produtiva dos biocombustíveis parece ser uma das saídas para o setor. No caso da cana, a dualidade entre manutenção do emprego e conservação ambiental parece clara, já que a prática de queimadas agrava consideravelmente as condições ambientais locais, e a supressão dela acaba por eliminar número significativo de empregos.

O novo desafio, portanto, será criar postos de trabalho para a mão de obra retirada da colheita da cana à medida que avança a mecanização desse processo, conforme visto acima. A UNICA estima que existam 190 mil trabalhadores envolvidos com a colheita manual da cana no estado de São Paulo e mais 70 mil trabalhadores ocupando posições na colheita mecânica e na indústria. A previsão é que em 2015 toda a cana seja colhida mecanicamente no estado de São Paulo, à exceção das áreas de relevo mais acidentado, de forma que até lá cerca de 190 mil postos de trabalho deixarão de existir.

Por outro lado, estima-se também que esse impacto será amenizado pela criação de 60 mil novos empregos nos setores de colheita mecânica e industrial da própria indústria canavieira. Portanto até o ano de 2015 haverá um balanço negativo de 130 mil postos de trabalho no setor canavieiro, fato que demandará uma atenção especial do estado para planejar a realocação dessa massa de trabalhadores como mostra a Figura 13.

Figura 13 – Impacto na força de trabalho por conta da mecanização na colheita da cana

Estimativas para o Estado de São Paulo

	2006/07	2010/11	2015/16	2020/21	
Produção cana-de-açúcar (milhões t)	299	370	457	544	
Área com colheita mecânica (%)	40%	70%	100%	100%	
Número de empregados					
Colheita mecânica (mil trabalhadores)	189,6	107,4	0	0	} Qualificação de trabalhadores para o setor
Colheita manual (mil trabalhadores)	15,5	30,8	59,5	70,8	
Indústria (mil trabalhadores)	55,3	62,6	68,3	75,3	
Total (mil pessoas)	260,4	200,8	127,8	146,1	} Requalificação para outros setores

Fonte: ÚNICA

A Figura 11 também sugere que no cenário de ampliação da área plantada, além da capacitação dos trabalhadores que deixarão de ter a atividade de colheita manual como gerador de renda, o próprio setor demandará muito em qualificação. Pelo menos 20 mil empregos estão sendo gerados na colheita mecanizada e na indústria de etanol em quatro anos. Isso representa um esforço colossal para as instituições que apoiam o setor no campo de capacitação e qualificação profissional. A demanda das atividades, segundo a entidade de classe que representa o setor, chega a cinco mil pessoas por ano, número muito além da capacidade de instituições de ensino profissional e universitário.

7.2 Biodiesel

O Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB) foi criado em 2003 com o objetivo de introduzir este combustível na matriz energética brasileira a partir de projetos autossustentáveis, considerando-se preço, qualidade, garantia de suprimento e uma política de inclusão social. Neste sentido o projeto do governo previu que 50% do total produzido no país ocorreria a partir de mamona proveniente de produção familiar (HOLANDA, 2004). Ou seja, um dos principais objetivos do PNPB era promover a inclusão social das comunidades rurais através da geração de emprego e renda.

A tendência à monocultura agrícola seria impedida pelas características climáticas do Brasil, que permitem uma diversidade vasta de culturas de oleaginosas. A soja, amendoim, girassol, mamona, pinhão-manso e canola e culturas permanentes de palmáceas, como o dendê e o babaçu, são alguns exemplos dessa variedade. A Tabela 4 mostra que foi acertada a ideia do governo de estimular o cultivo familiar da mamona no Nordeste e do dendê no Norte dada a alta ocupação de terra.

Tabela 4 – Potencial de geração de empregos de diferentes oleaginosas

Oleaginosa	Produtividade (ton de óleo por hectare/ano)	Hectares para produzir 1000t de óleo/ano	Ocupação de Terra (hectares/família)
Mamona (lavoura familiar)	0,47	2128	2
Soja (lavoura mecanizada)	0,21	4762	20
Amendoim (lavoura mecanizada)	0,45	2222	16
Babaçu (extrativismo)	0,12	8333	5
Dendê	5	200	5

Fonte: Parente (2003)

De acordo com uma estimativa elaborada pelo Ministério do Desenvolvimento Agrário, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Ministério da Integração Regional e Ministério das Cidades, a cada 1% de substituição do óleo diesel pelo biodiesel de mamona, seriam gerados 45 mil empregos no campo, com renda média anual de R\$ 4.900,00 por emprego, e 135 mil na cidade. Isso representaria um incremento de R\$ 220,5 milhões na renda agrária (HOLANDA, 2004 apud LUCENA 2009).

Entretanto, considerando a premissa do governo de uma demanda anual de óleo diesel igual a 40 bilhões de litros em 2008, seriam necessários 400 milhões de litros de óleo de mamona para atender à meta de 50% do biodiesel (misturado numa proporção de 2% - B2). Conforme a Tabela 5, pode-se ver que atingir tal meta iria requerer um aumento muito expressivo na produção dessa oleaginosa, ou de qualquer outra que não a soja.

Tabela 5 – Produção Brasileira de Óleos Vegetais em 2007/2008 (milhões de litros)

Cultura	Norte	Nordeste	Centro-Oeste	Sul	Sudeste	Brasil	% Total da Produção
Soja	91	368	2.153	2.602	1.008	6.222	90,90%
Algodão	-	84	196	-	-	280	4,10%
Palma	179	-	-	-	-	179	2,60%
Mamona	-	73	-	-	-	73	1,10%
Amendoim	-	-	-	-	35	35	0,50%
Girassol	-	-	17	7	1	25	0,4

Lucena etYoung (2008) simularam os efeitos do PNPB, no que diz respeito à geração de renda e empregos, baseados no modelo de matriz insumo-produto. Este, segundo os autores, é:

um modelo de produção que permite obter o valor da produção necessário para atender uma demanda final dada. Pode ser definido como método entrada-saída, que permite estudar o fluxo de bens e serviços entre os vários setores da economia, assumindo que a relação consumo intermediário/valor da produção se mantém constante no processo de produção.

Conforme a Tabela 5, devido à limitação da capacidade produtiva atualmente existente no setor de óleos vegetais, a hipótese de adoção da mamona como matéria-prima responsável pela metade do volume de biodiesel produzido no Brasil foi descartada pelos referidos autores, que assumiram que o biodiesel seria produzido em sua totalidade a partir do óleo de soja. Cabe assinalar que dados da ANP mostram que, de fato, a soja representou cerca de 90% do insumo usado no biodiesel em 2008.

Na simulação mais otimista de Lucena eYang⁷, indica-se a geração total de 123 mil empregos, 45 mil deles na agropecuária, 41 mil no comércio e um modesto número de empregos na indústria contra os 180 mil estimados pelo governo. Em termos de renda, a simulação chegou a R\$ 389 milhões de impacto salarial, valor bem aquém das previsões governamentais, que propunham R\$ 220,5 milhões. Cabe assinalar que as simulações foram realizadas antes do aumento (para 3% - B3) do percentual de mistura de biodiesel, que entrou em

⁷ Modelo fechado com coeficientes de 2003, que engloba não só os efeitos diretos e indiretos na economia, mas também o efeito-renda, devido à endogeneização do consumo das famílias.

vigor em julho de 2008, com aumento subsequente para 4% em janeiro de 2009 e a antecipação de B5 para 2010.

Por mais que as previsões não sejam ainda precisas, fica claro que se mantidos o PNPB e o ritmo de adoção de percentuais na mistura de biodiesel no diesel fóssil, o número de empregos demandados nesse setor será significativo. No caso do biodiesel, a demanda de qualificação está muito focada nas práticas agrícolas, mas sem dúvida as outras partes da cadeia produtiva demandarão qualificação profissional desde a cadeia de logística de coleta, transporte e distribuição, assim como a transesterificação do biodiesel e outras alternativas que surgem com a reciclagem de óleo vegetal em cidades de grande porte.

8 Conclusão

Diante da crescente importância que os biocombustíveis vêm adquirindo na demanda mundial de combustíveis líquidos em razão de questões ambientais e da instabilidade nos preços do petróleo no mercado internacional, o Brasil deve criar infraestrutura de capacitação para atender à demanda de empregos e requalificação do setor. O país já ocupa posição privilegiada e de diferencial competitivo na produção dos combustíveis renováveis, o que torna a questão da capacitação fundamental para que este setor possa crescer de forma sustentável, gerando emprego e renda tão necessários para maior distribuição de riquezas no país e combate à pobreza.

A utilização de biocombustíveis como fonte de energia nunca despertou tanto a atenção dos diversos segmentos da comunidade internacional. Seja nos Estados, empresas ou sociedades em geral, os biocombustíveis são vistos como uma importante oportunidade de mudança de paradigmas tecnológicos tradicionais baseados nos combustíveis fósseis, além de serem estratégicos para a segurança energética das nações e mitigação da emissão de gases de efeito estufa. Em relação a estes últimos, entretanto, existem emissões desses gases na cadeia produtiva de biocombustíveis, tornando-se necessária uma avaliação mais criteriosa por meio de ferramentas, como a análise do ciclo de vida, para identificar a efetiva mitigação de emissões de GEE frente aos combustíveis fósseis líquidos.

Essas ferramentas inclusive, são demandas de análise sistêmica que precisam de qualificações muito especializadas para proposição de políticas para mitigação dessas emissões. Este setor é extremamente dinâmico e conta com rotas tecnológicas de longo prazo ainda indefinidas. Apesar de as tecnologias associadas à 1ª geração de biocombustíveis – como fermentação/destilação e transesterificação – serem consideradas maduras, elas certamente ainda podem apresentar ganhos de produtividade por meio do desenvolvimento de leveduras ou catalizadores sólidos para os processos de obtenção do biodiesel. Além disso, a cadeia pode ter novos arranjos, como o relacionado com a produção de álcool derivado das macroalgas ou ainda o biodiesel resultante de microalgas.

Entretanto, o horizonte de mudanças ainda parece de médio e longo prazo, o que sem dúvida assinala a necessidade de criação de centros de P&D dedicados a acompanhar o tema e também a contribuir para maior celeridade do desenvolvimento de setor tão promissor conjuntamente para o Brasil. As necessidades, portanto, de formação de graduados e pós-graduados para o desenvolvimento de pesquisas nesse campo de conhecimento parece crucial. Um centro tecnológico de biocombustíveis conveniado com universidades poderia suprir essa demanda de capacitação em P&D.

O acompanhamento, portanto, do desenvolvimento das tecnologias associadas à 2º e à 3º geração de biocombustíveis parece estratégico para qualquer instituição que pretenda atuar junto ao setor na formação de pessoal para trabalhar com o tema. Além disso, é preciso a capacitação de pessoas envolvidas em certificação de sustentabilidade das atividades de biocombustíveis. Esse é um fator fundamental, já que as restrições relacionadas à importação de combustíveis renováveis cada vez mais são influenciadas por esse fator, visto que existem mercados que procuram se proteger de todas as formas, pois não tem a vantagem competitiva de ter áreas disponíveis para a agroenergia e condições edafo-climáticas como as brasileiras.

Uma demanda de formação de nível superior que parece clara é aquela de engenheiros voltados para a confecção de equipamentos agrícolas que atendam aos novos marcos regulatórios, como no caso de São Paulo. O desenvolvimento, por exemplo, de novas colhedadeiras e equipamentos agregados parece óbvio para maiores ganhos de produtividade.

Não pode ser esquecida a promissora parcela dos biocombustíveis sólidos. A siderurgia no Brasil, por exemplo, também ocupa lugar de destaque e mostra índices de crescimento muito acelerado. O uso do carvão vegetal na redução do aço se mostra como uma alternativa de sustentabilidade setorial se originado de florestas energéticas plantadas. Hoje 50% do ferro-gusa produzido no Brasil usa carvão vegetal em seu processo produtivo. Apesar desse percentual ter diminuído com a expansão do setor, ele continuará crescendo de forma expressiva. A qualificação neste caso também parece uma oportunidade considerável.

No que se refere à formação de técnicos de nível secundário, os números mencionados neste trabalho não são pouco expressivos, apesar de associar todas as categorias de qualificação e não somente o setor industrial. Desde o operador de colhedeira, passando por operadores de equipamentos industriais até o pessoal técnico administrativo, a necessidade de mão de obra qualificada é significativa. Por mais que os cursos tradicionais possam formar profissionais que se adaptem às atividades do setor, estes sempre terão que ser capacitados em um ambiente de trabalho em constante transformação com dinâmicas muito particulares. Essa talvez seja a grande oportunidade para instituições como o SENAI desenvolverem recursos humanos para treinar essa massa de trabalhadores necessária ao crescimento do setor de biocombustíveis.

Salvo iniciativas localizadas, as instituições de formação profissional ainda não oferecem cursos em qualquer modalidade relacionados especificamente à cadeia de produção e distribuição de biocombustíveis. Desta forma, dado o destaque e as perspectivas do Brasil neste setor, entende-se que existem amplas oportunidades para o SENAI no desenvolvimento de iniciativas de aprendizagem em temas ligados a essa cadeia.

Referências

AAGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Atlas de energia elétrica**. 2. ed. Brasília, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE ÓLEOS VEGETAIS (ABIOVE). **Produção sustentável de soja: ações estratégicas**. Wageningen, 2007.

ASOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE VEÍCULOS AUTOMOTORES (ANFAVEA). **Anuário estatístico 2009**. Disponível em: <[http://www.anfavea.com.br/anuario 2009/indice.pdf](http://www.anfavea.com.br/anuario%202009/indice.pdf)>. Acesso em: out. 2009.

CAMPBELL, J.; LOBELL, D.; FIELD, C. Greater Transportation Energy and GHG Offsets from Bioelectricity Than Ethanol. **Science**, v. 324, 22 maio 2009.

CRUTZEN, P. et al. N₂O release from agro-biofuel production negates global warming reduction by replacing fossil fuels. **Atmospheric Chemistry and Physics Discussions**, 7, p. 11191–11205, 2007

DELLA VEDOVA, B. Bio-Fueling a Trade War. **Wall Street Journal**, 3 ago. 2009.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Embrapa dará suporte tecnológico ao Programa de Incentivo à Produção de Dendê**. Disponível em: <<http://www.embrapa.br/imprensa/noticias/2009/agosto/4a-semana/embrapa-dara-suporte-tecnologico-ao-programa-de-incentivo-a-producao-de-dende>>. Acesso em: 20 set. 2009.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Balço Energético Nacional 2008**: Ano Base 2007. Rio de Janeiro, 2008.

_____. **Plano Nacional de Energia 2030**: combustíveis líquidos. Rio de Janeiro, 2007.

EUROPEAN COMMISSION (EC). **The impact of a minimum 10% obligation for biofuels use in the EU-27 in 2020 on agricultural markets**. Bruxelas, 2007.

FARGIONE, J. et al. Land Clearing and the Biofuel Carbon Debt. **Science Express**, 7 fev. 2008.

FISCHER, R.; BOSE, M.; BORBA, P. Dende Oil Family Agriculture Project. **Harvard Review of Latin America**, v. 6, n.1, p.16-19, 2006.

FRITSCHÉ, U.; FEHRENBACH, H.; MIEHE, A. Status of and Perspectives on Science-Based Policies. In: GBEP WORKSHOP ON INDIRECT LAND USE CHANGE (iLUC). **Workshop Summary**. New York, Maio 2009.

FURLAN Jr., J. et al. **BIODIESEL**: porque tem que ser dendê. Belém, PA: EMBRAPA, 2006.

GNANSOUNOU, E. et al. Accounting for indirect land-use changes in GHG balances of biofuels. **Review of current approaches**, Lausanne, mar. 2008.

GUSTAFSON, C. **New energy economics**: can scientists really estimate indirect land use? Disponível em: <<http://www.inforum.com/event/article/id/254514/>>. Acesso em: out. 2009.

HOLANDA, A. **Biodiesel e inclusão social**. Brasília: Câmara dos Deputados. Conselho de Altos Estudos e Avaliação Tecnológica, 2004. INSTITUTO BRASILEIRO DE PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCMBUSTÍVEIS (IBP). **Planejamento estratégico tecnológico e logístico para o Programa Nacional de Biodiesel**. Rio de Janeiro, 2007.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **Bioenergy**: a sustainable and reliable energy source: a review of status and prospects. [S.L], 2009.

_____. **Biofuels for transport**: an international perspective. Paris: OECD, 2004.

_____. **From 1st to 2nd Generation Biofuel Technologies**. Paris: OECD, 2008b.

_____. **World Energy Outlook 2008**. Paris: OECD, 2008a.

KALTNER, F.J. et al. **Liquid Biofuels for Transportation in Brazil**. [S.L], 2006.

LANE, J. **Fat vs. Fuel: Biofuels Digest special report on Indirect Land Use Change and Biofuels Emissions**. Disponível em: <<http://biofuelsdigest.com/blog2/2009/03/27/biofuels-digest-special-report-on-indirect-land-use-change-and-biofuels-emissions-first-in-a-series/>>. Acesso em: mar. 2009.

LUCENA, T.; YOUNG, C. **Criação de emprego e renda pelo Programa Nacional Brasileiro de Biodiesel: uma análise insumo-produto**. Disponível em: <http://www.ie.ufrj.br/gema/pdfs/first_one.pdf>. Acesso em: out. 2009.

NASSAR, A. et al. **Impacts on Land Use and GHG Emissions from a Shock on Brazilian Sugarcane Ethanol Exports to the United States using the Brazilian Land Use Model (BLUM)**. [S.L]: ICONE (Instituto de Estudos do Comercio e Negociações Internacionais); EPA, 2009.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA AGRICULTURA E ALIMENTAÇÃO (FAO). **State of Food and Agriculture**. Roma, 2008.

PARENTE, E. **Biodiesel: uma aventura tecnológica num país engraçado**. Fortaleza: Tecbio, 2003.

SEARCHINGER, T. et al. Use of U.S. Croplands for Biofuels Increases Greenhouse Gases Through Emissions from Land Use Change. **Science Express**, 7 fev. 2008.

SIMMONS, B. et al. **Call for Third Party Analysis of Indirect Land Use Change and Indirect Effects in Support of the CA LCFS**: Carta para Mary Nichols, chairwoman do California Air Resources Board. [S.L], 2009.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA). Foreign Agricultural Service. **Oilseeds: World Market and Trade**. [S.L], 2009.

US DOE. US Department of Energy. **Biodiesel Handling and Use Guidelines**. [S.L], 2006.

VALE. **Projeto Biodiesel**. Disponível em: <<http://www.vale.com/vale/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?sid=702>>. Acesso em: set. 2009.

WINROCK INTERNATIONAL. **The impact of expanding biofuel production on GHG emissions**. 2009. Disponível em: <http://www.globalbioenergy.org/uploads/media/0904_Winrock_International_-_White_paper__1_GHG_implications_biofuel.pdf>. Acesso em: 2 out. 2009.

WORLDWATCH INSTITUTE (WWI). **Biofuels for Transport**. London: Earthscan, 2007.

_____. **Red, White and Green: Transforming US Biofuels**. London: Earthscan, 2009.

SENAI/DN

Unidade de Prospectiva do Trabalho – UNITRAB

Luiz Antonio Cruz Caruso

Gerente-Executivo

Marcello José Pio - SENAI/DN

Paulo Bastos Tigre - UFRJ

Revisão Técnica

SUPERINTENDÊNCIA DE SERVIÇOS COMPARTILHADOS – SSC

Área Compartilhada de Informação e Documentação – ACIND

Renata Lima

Normalização

Maria Clara Costa

Produção Editorial

Ronaldo Santiago

Revisão Gramatical

Link Design

Editoração Eletrônica

