

25

Circular
TécnicaSeropédica, RJ
Novembro, 2008**Autores**

Luis Henrique de Barros Soares
Pesquisador da Embrapa
Agrobiologia, BR 465, Km 7, Caixa
Postal 74505, CEP 23851-970,
Seropédica-RJ. E-mail:
luis.henrique@cnpab.embrapa.br

Ednaldo da Silva Araújo
Pesquisador da Embrapa
Agrobiologia, BR 465, Km 7, Caixa
Postal 74505, CEP 23851-970,
Seropédica-RJ. E-mail:
ednaldo@cnpab.embrapa.br

Bruno José Rodrigues Alves
Pesquisador da Embrapa
Agrobiologia, BR 465, Km 7, Caixa
Postal 74505, CEP 23851-970,
Seropédica-RJ. E-mail:
bruno@cnpab.embrapa.br

Robert Michael Boddey
Pesquisador da Embrapa
Agrobiologia, BR 465, Km 7, Caixa
Postal 74505, CEP 23851-970,
Seropédica-RJ. E-mail:
bob@cnpab.embrapa.br

Segundo Urquiaga
Pesquisador da Embrapa
Agrobiologia, BR 465, Km 7, Caixa
Postal 74505, CEP 23851-970,
Seropédica-RJ. E-mail:
urquiaga@cnpab.embrapa.br



Eficiência energética comparada das culturas do girassol e soja, com aptidão para a produção de biodiesel no Brasil

Introdução

O óleo diesel é o combustível-base do sistema de transporte rodoviário nacional, é derivado do petróleo obtido em maior quantidade e com menor custo, além de ser utilizado em grande escala nos motores reservados para aplicações pesadas e de resistência como, por exemplo, a grande maioria de tratores e máquinas agrícolas. Mesmo com a relativa auto-suficiência na produção de óleo bruto, o Brasil ainda importa quantidades significativas de óleo diesel em decorrência da demanda interna elevada. Na estrutura de consumo final no mercado interno, dos derivados de petróleo, esse produto apresenta a maior participação, com mais de 38%, seguido da gasolina automotiva com 16%. O próprio petróleo junto com todos seus derivados também responde por aproximadamente 38% da oferta interna de energia (BRASIL, 2006b).

O Brasil adotou o sistema padrão de motores utilizado nos países desenvolvidos do hemisfério Norte a partir de meados dos anos 1950, com o sucesso comercial de empresas como Mercedes-Benz e Scania. Esses motores são otimizados para funcionarem em uma temperatura de combustão relativamente baixa, ideal para o funcionamento com hidrocarbonetos de cadeia única linear ou cíclica, tais como os que ocorrem no óleo diesel (ANFAVEA, 2008).

Sabe-se que, com algumas modificações, principalmente se atentarmos para as propriedades físico-químicas dos óleos como viscosidade, é possível que estes motores funcionem com óleos vegetais integrais, ou seja, na sua forma natural de triglicerídios. Esta idéia não é nova, pois remonta aos trabalhos do próprio Rudolf Diesel no final do século XIX, todavia recrudescer no momento em que se discute as alternativas renováveis aos combustíveis fósseis (ALTIN, CETINKAYA e YÜCESU, 2001).

A lei nº 11.097, de 13/01/2005 estabelece a estratégia nacional de adoção do Biodiesel como substituto gradual para o óleo diesel de petróleo, e a Resolução nº 2 do Conselho Nacional de Política Energética (CNPE), publicada em março de 2008, aumentou de 2% para 3% o percentual obrigatório de mistura de biodiesel ao óleo diesel. Os padrões e a normalização para uso e comercialização internacional dos biocombustíveis estão definidas no documento chamado "White Paper", elaborado por instituições Brasileiras, Européias e Norte Americanas, e suas orientações seguem no sentido de que os óleos vegetais devam ser transesterificados para sua utilização como combustível (WHITE ..., 2006).

Também é sabido que o setor de transportes é o principal responsável pela emissão de poluentes atmosféricos, e que os impactos provocados pelo uso de combustíveis fósseis exige uma reformulação da matriz energética. Deste modo, os biocombustíveis estão sendo introduzidos com inúmeras vantagens ambientais, sociais, e possivelmente econômicas. É fato que a busca de culturas com potencial de produção de biocombustíveis deve contemplar um leque amplo de possibilidades, evitando a dependência excessiva de poucos produtos. Por outro lado, as particularidades regionais de clima, solo e aptidão agrícola restringem algumas regiões para o cultivo mais intensivo de determinadas culturas já exploradas para produção de alimentos (FERREIRA e CRISTO, 2006).

De qualquer forma, para viabilizar uma alternativa renovável de combustível é imperativo um estudo completo do balanço energético de toda a sua cadeia de produção, a fim de verificar se a energia não renovável investida nos processos agrícolas, industriais e na logística de transporte é efetivamente menor que a energia final obtida, ou seja, se existe sustentabilidade energética do programa (BRASIL, 2006a). Neste trabalho avaliaram-se energeticamente duas culturas que são tradicionalmente cultivadas na região centro-sul do Brasil, o girassol e a soja. Dois cenários foram considerados, o primeiro levou em conta apenas a energia contida no óleo extraído e no biocombustível derivado deste óleo. O segundo cenário considerou também a energia total contida no farelo.

Biodiesel a partir do óleo de girassol

O girassol é uma planta originária da América do Norte, tradicionalmente cultivada pelos povos indígenas para alimentação. É uma cultura pouco sensível às variações no fotoperíodo, fato este que permite seu escalonamento de produção em quase todo o território nacional. Em virtude da grande quantidade de restos culturais, oferece

grandes vantagens em sistemas de rotação e sucessão, pois promove melhorias sensíveis nas propriedades físico-químicas dos solos (INDICAÇÕES... 2007). O óleo obtido das sementes do girassol possui mais de 80% dos seus ácidos graxos insaturados, linoléico na maior parte (COULTATE, 2004). Isto demanda o uso de aditivos para sua estabilização visando o armazenamento e a formação de estoques logísticos. Como hoje este óleo ainda apresenta cotações de mercado acima dos de soja e canola, esta cultura não oferece a melhor perspectiva como alternativa energética. Contudo, pode ser uma solução viável para a produção de energia renovável em pequena escala, a fim de atender os interesses regionais, e reduzir também a dependência de energia fóssil.

Este trabalho baseou-se em dados recentes de produtividade nacional (1.300 kg ha^{-1} , safra 2007) em sistemas de produção consolidados recomendados para o girassol, e em dados de eficiência industrial considerados para a produção de biodiesel a partir de óleos vegetais para calcular o balanço energético nas condições brasileiras. Durante a produção agrícola (Tabela 1), existe um consumo de energia fóssil de mais de 12GJ por hectare, aproximadamente 60% da energia contida no biodiesel produzido. Apenas o adubo nitrogenado, com 40 kg ha^{-1} , responde por 22% deste gasto. Quase na mesma proporção de consumo energético se encontram os combustíveis utilizados na etapa agrícola de produção.

Na Tabela 2 apresenta-se o balanço energético global da produção de girassol, considerando as etapas de processamento industrial e transesterificação dos óleos oriundos desta cultura.

Tabela 1. Investimento energético para a produção agrícola de Girassol.

Fator	Unidade	Quantidade	Energia (GJ)
Insumos ¹			
Calcário	kg/ha	1000	1,18
N (uréia)	kg/ha	40	2,68
P (P ₂ O ₅)	kg/ha	18	0,30
K (K ₂ O)	kg/ha	33	0,45
Boro	Kg/ha	3	0,05
Sementes	Kg/ha	4	0,13
Pesticidas	kg/ha	4	1,68
Energia elétrica	kWh	10	0,12
Operações Manuais	h/ha	8,6	1,44
Operações Mecânicas			
Máquinas	kg	20	1,51
Combustível	litros	54	2,26
Transporte	ton	1,3	0,28
Total			12,08

^{1/}Dados baseados em sistema de produção de girassol recomendado por EMBRAPA, 2008.

Tabela 2. Balanço energético da produção de girassol.

Fator	Unidade	Quantidade	Energia (GJ)
Produção agrícola ¹	kg/ha	1300	33,74
Energia na produção agrícola ²			12,08
Processamento Industrial ³			5,39
Energia total investida			17,47
Óleo produzido ⁴	kg/ha	520	19,60
Torta (com cascas)	kg/ha	780	13,07
Balanço energético:			
	Óleo bruto	1,62	
	Biocombustível	1,12	
	Total:	1,87	

^{1/} média nacional, dados de previsão de safra obtidos de IBGE-SIDRA (www.sidra.ibge.gov.br).

^{2/} dados da Tabela 1.

^{3/} adaptado de Sheehan et al. (1998), Scharmer (2001), Pimentel e Patzek (2005).

^{4/} extraído de Lima et al. (2006)

Como podemos observar, para cada unidade energética investida no sistema obtém-se apenas 1,12 em biodiesel, valor que sobe para 1,87 quando consideramos também a energia contida

na torta do girassol. Isto significa que, em óleo combustível, o girassol produz apenas 12% a mais em energia renovável em função do total energético investido. O saldo líquido de energia renovável obtido nesta avaliação da cultura do girassol é de 2,13 GJ por hectare em óleo. Em termos práticos, um trator classificado como de potência média, do tipo MF-290 ou equivalente, equipado com motor Perkins de 4 cilindros com 86 cv de potência (dados do fabricante), trabalhando a 2.200rpm consome este excedente líquido em aproximadamente 9 horas e 20 minutos.

Biodiesel a partir do óleo de soja

A soja é uma cultura tradicional no Brasil desde a década de 1970, principalmente nas regiões Centro-Sul. Na Tabela 3 apresenta-se o gasto energético para a produção agrícola de 1 hectare de soja, com base em sistema de produção recomendado. Percebe-se que o ganho associado à Fixação Biológica de Nitrogênio nesta cultura possibilita um menor investimento energético total.

Tabela 3. Investimento energético para a produção agrícola de Soja.

Fator	Unidade	Quantidade	Energia (GJ)
Insumos ¹			
Calcário	kg/ha	1000	1,18
Herbicida	L/ha	3,8	1,80
Adubo 0-20-20	kg/ha	400	0,62
Sementes	kg/ha	50	1,02
Fungicidas	L/ha	1,8	0,57
Inseticida	L/ha	1,65	0,6
Isclas	kg/ha	1	0,36
Operações Manuais	h/ha	8	1,34
Operações Mecânicas			
Máquinas	kg	14,8	1,12
Combustível	litros	58	2,76
Transporte	ton	1,3	0,20
Total			11,57

^{1/}Dados baseados em sistema de produção de soja, EMBRAPA (2004)

Deve-se notar que, em decorrência da soja ser uma cultura com elevado teor de proteína mas menor quantidade percentual de óleo, quando comparada com o girassol, resulta em grande quantidade de farelo que não deve ser considerado na avaliação direta da produção de biodiesel. Porém, o balanço energético total é maior do que 3 se levamos em conta o conteúdo energético do farelo de soja (Tabela 4). Mesmo assim, o saldo energético em biodiesel é de apenas 0,98 GJ por hectare.

Tabela 4. Balanço energético da produção de soja.

Fator	Unidade	Quantidade	Energia (GJ)
Produção agrícola ¹	kg/ha	2380	48,74
Energia na produção agrícola ²			11,57
Processamento Industrial ³			3,6
Energia total investida			15,17
Óleo produzido ⁴	kg/ha	428	16,15
Torta (com cascas)	kg/ha	1952	32,64
<hr/>			
Balanço energético:	Óleo bruto	1,40	
	Biocombustível	1,06	
	Total:	3,21	

^{1/} média nacional, dados de previsão de safra obtidos de IBGE-SIDRA (www.sidra.ibge.gov.br).

^{2/} obtidos da Tabela 3.

^{3/} Adaptado de Sheehan et al. (1998), Scharmer (2001), Pimentel e Patzek (2005).

^{4/} Extraído de Lima et al. (2006)

O processo industrial de transesterificação, realizado com álcool etílico ou metílico, responde por aproximadamente 20 a 30% da energia total consumida no processo de produção de biodiesel. Este processamento reduz a viscosidade natural dos óleos, que estão na forma principalmente de triglicerídios, facilitando a padronização e tornando-os mais compatíveis em misturas com o óleo Diesel de petróleo (DEMIRBAS, 2007; NATIONAL, 1998;). Verifica-se que aproximadamente 24% da energia investida na produção agrícola é decorrente do consumo de

combustíveis nas máquinas agrícolas. Considerando-se a situação prática com utilização de um trator classificado em uma faixa de potência leve, menor que o anterior, tal como o Valtra/Valmet 785F ou equivalente, que possui um motor MWM de 4 cilindros e 72 cv (dados do fabricante). Este trator, rodando a 2.400 rpm consome este excedente energético em um pouco menos de 5 horas e 10 minutos.

Conclusões

Embora sejam positivos, os balanços energéticos para estas culturas oleaginosas não oferecem a possibilidade de obter grandes quantidades de energia renovável a partir destas fontes, na situação corrente. Um volume ainda considerável de pesquisa precisa ser desenvolvido, tanto na tecnologia agrônômica de produção quanto no desenvolvimento de novas variedades adaptadas para a finalidade energética. Algumas palmáceas como o Dendê (*Elaeis guineensis*) necessitam maior atenção para atender a demanda imediata de óleo para biocombustíveis em virtude de apresentarem maiores produtividades por área cultivada e balanço energético mais favorável já reportado na literatura internacional, o que resulta em saldo energético altamente positivo. Todavia por ser uma cultura perene, que demanda em torno de três anos para o início da produção, as políticas de fomento e incentivo são necessariamente diferenciadas.

Um dos grandes problemas atuais quando se tenciona avaliar a sustentabilidade geral de uma atividade econômica produtiva qualquer é que os custos e benefícios totais para o ambiente e para a sociedade são, na maioria das vezes, ignorados (BAUEN, 2005). A abordagem de avaliação dos balanços energéticos é uma ferramenta que também pode permitir e facilitar a integração entre as metodologias que promovem a internalização desse passivo tais como os estudos de dinâmica das paisagens naturais, a avaliação do impacto

ambiental, as emissões de poluentes particulados e dos gases de efeito estufa.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Embrapa, Faperj e CNPq pelo auxílio financeiro.

Referências bibliográficas

ANFAVEA. Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores. **Indústria Automobilística Brasileira: 50 anos**. Disponível em: <<http://www.anfavea.com.br/50anos/136.pdf>>. Acesso em 10.jun.2008.

ALTIN, R.; CETINKAYA, S.; YÜCESU, H.S. The potential of using vegetable oil fuels as fuel for diesel engines. **Energy Conversion and Management**, v.42, p.529-538, 2001.

BAUEN, A. Avaliação das questões relativas às externalidades e à sustentabilidade. In: ROSILLO-CALLE, F.; BAJAY, S. V.; ROTHMAN, H. (Org.) **Uso da Biomassa para Produção de Energia na Indústria Brasileira**. Campinas: Unicamp, 2005. p.162-213.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Produção e Agroenergia. **Plano Nacional de Agroenergia: 2006-2011**. 2. ed. rev. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2006a. 110 p.

BRASIL, Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. **Balço energético nacional: relatório final**. Rio de Janeiro, 2006b. 188p.

CONSELHO NACIONAL DE POLÍTICA ENERGÉTICA. Resolução CNPE Nº 2, de 13.mar.2008. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF 14.mar.2008. Disponível em: <www.fecombustiveis.org.br/juridico-resolucoes/...de.../resolucao-cnpe-n-2-de-13.3.2008>. Acesso em 10 jun.2008

COULTATE, T. P. **Alimentos: A química de seus componentes**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 368p.

DEMIRBAS, A. Progress and recent trends in biofuels. **Progress in Energy and Combustion Science**, v.33, p.1-18, 2007.

EMBRAPA. Sistema de Produção de Girassol. Disponível em: <<http://www.cnpso.embrapa.br/producaogirassol>>. Acesso em 14 Jun. 2008.

EMBRAPA SOJA. Tecnologia de produção de soja: região central do Brasil. Londrina: Embrapa Soja, 2006. 220 p. (Embrapa Soja. Sistema de Produção, 9).

FERREIRA, J. R.; CRISTO, C. M. P. N. (Coord.) **O futuro da indústria: biodiesel**. Brasília, DF: MDIC-STI/IEL, 2006, 145p. (Série Política Industrial, Tecnológica e de Comércio Exterior, 14)

INDICAÇÕES para o cultivo de girassol nos Estados do Rio Grande do Sul, Paraná, Mato Grosso do Sul, Mato Grosso, Goiás e Roraima. Londrina, PR: Embrapa Soja, 2007. 4p. (Embrapa Soja. Comunicado técnico, 78).

NATIONAL RENEWABLE ENERGY LABORATORY. (Estados Unidos) . **Life Cycle Inventory of Biodiesel and Petroleum Diesel for Use in an Urban Bus: Final Report**. Colarado: U.S. Department of Energy's Office of Fuels Development, 1998, 314p.

PIMENTEL, D.; PATZEK, T. Ethanol Production Using Corn, Switchgrass, and Wood Biodiesel Production Using Soybean and Sunflower Natural Resources Research, v.14, n.1, p.65-76, Mar. 2005.

SCHARMER, K. **Biodiesel: Energy and Environmental Evaluation.** Bonn: Union for Promoting Oilseeds and Proteinplants. S.l.: s.n, 2001.62p. Disponível em: <<http://www.ufop.de/295.php>>. Acesso em 10.Jun.2008

TABELA brasileira de composição de alimentos. 2. ed. Campinas: NEPA-UNICAMP, 2006. 114p.

WHITE Paper on Internationally Compatible Biofuel Standards: Tripartite Taskforce, Brazil, European Union and United States of America. S.l.: s.n, 2007. 95p. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/biocombustiveis/estudos_biocombustiveis.asp>. Acesso em 12.Jan.2008.

Circular Técnica, 25

Exemplares desta publicação podem ser adquiridas na:

Embrapa Agrobiologia

BR465 – km 7
Caixa Postal 74505
23851-970 – Seropédica/RJ, Brasil
Telefone: (0xx21) 2682-1500
Fax: (0xx21) 2682-1230
Home page: www.cnpab.embrapa.br
e-mail: sac@cnpab.embrapa.br

1ª impressão (2008): 50 exemplares

Embrapa

Ministério da Agricultura,
Pecuária e Abastecimento



Comitê de publicações

Eduardo F. C. Campello (Presidente)
José Guilherme Marinho Guerra
Maria Cristina Prata Neves
Verônica Massena Reis
Robert Michael Boddey
Maria Elizabeth Fernandes Correia
Dorimar dos Santos Felix (Bibliotecária)

Expediente

Revisor e/ou ad hoc: Gustavo Ribeiro
Xavier e Claudia Pozzi Jantalia
Normalização Bibliográfica: Dorimar dos Santos Félix.
Editoração eletrônica: Marta Maria
Gonçalves Bahia.