



Foto: Edson Alves de Lima

Balço Energético da Produção de *Eucalyptus benthamii* para Uso em Programas de Bioenergia

Edson Alves de Lima¹

Helton Damin da Silva²

Washington Luiz Esteves Magalhães³

Daniel Tonial Thomaz⁴

Introdução

Aproximadamente 87 % da matriz energética mundial está baseada em fontes não renováveis, sendo que 80,3 % têm origem em fontes fósseis, e que apresenta elevada emissão de gás carbônico (CO₂), gás que é apontado como o mais importante gás de efeito estufa (GEE) (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2006). Atualmente, é crescente o interesse por fontes renováveis de energia, principalmente por aquelas que contribuam em mitigar as emissões de GEE, sobretudo o CO₂. Para isso, o uso de biocombustíveis, como lenha, carvão vegetal, bio-etanol e biodiesel é visto hoje como alternativa viável.

Entretanto, pouca atenção vem sendo dada aos estudos do balanço energético, que estabelece a relação entre o total de energia contida no biocombustível e o total de energia fóssil gasta em todo o processo da produção do mesmo, incluindo-se o processo agrícola e o industrial (URQUIAGA, et al., 2004). Para Gazzoni et al. (2006), o balanço energético é o parâmetro mais adequado para definir a

viabilidade técnica de um programa de bioenergia. Para ser positivo, o balanço energético depende de diversos fatores, em especial do rendimento da cultura e do menor consumo de fertilizantes nitrogenados, que demanda grande quantidade de energia para sua produção.

Nos EUA e na Europa, trabalhos mostram balanços energéticos bastante desfavoráveis. Pimentel (2005) calculou o balanço energético de 0,6 para o etanol de milho nos EUA, e Gover et al. (1996) calcularam no Reino Unido balanço energético de 0,99 para o biodiesel de canola. Entretanto, trabalhos mais recentes da Comunidade Européia (ARMSTRONG et al., 2002) concluíram que o balanço energético foi de 1,47 para o biodiesel de canola.

Já outros biocombustíveis apresentam balanços energéticos mais favoráveis. Urquiaga et al. (2004) realizaram balanço energético da produção de etanol a partir da cana-de-açúcar e biodiesel de mamona nas condições brasileiras, além do biodiesel a partir de óleo de dendê nas condições da Malásia. O biodiesel de

¹Licenciado em Ciências Agrícolas, Doutor, Pesquisador da *Embrapa Florestas*, edson@cnpf.embrapa.br

²Engenheiro Florestal, Doutor, Pesquisador da *Embrapa Florestas*, helton@cnpf.embrapa.br

³Engenheiro Químico, Doutor, Pesquisador da *Embrapa Florestas*, wmagalha@cnpf.embrapa.br

⁴Licenciado em Ciências Biológicas, danieltonial@gmail.com

mamona apresentou balanço energético baixo (menor que 2), devendo-se principalmente à baixa produtividade e à utilização de adubação nitrogenada, que apresenta elevada demanda energética. Segundo os autores, o balanço pode ser melhorado através de variedades mais produtivas e pela substituição e/ou redução da adubação nitrogenada pelo uso de adubação verde com leguminosas em sistema de rotação ou consórcio. Por outro lado, o etanol de cana-de-açúcar e o biodiesel de dendê apresentaram balanços energéticos bastante positivos, sendo superiores a 8.

Gazzoni et al. (2006) calcularam o balanço energético da produção de biodiesel de girassol e soja em condições brasileiras. Para cada unidade energética gasta (produção de grãos e industrialização) obteve-se 2,69 e 4,75 unidades energéticas para biodiesel de girassol e de soja, respectivamente. Assim, alguns dos desafios da pesquisa agropecuária estão em aumentar a produtividade das culturas e o teor de óleo do grão, bem como promover a utilização da adubação verde e fixação simbiótica como fonte de nitrogênio. SOARES et al., (2007) analisaram o balanço energético da produção de biodiesel de girassol. Os autores basearam-se em dados recentes de produtividade nacional (1.300 kg ha^{-1}), em sistemas de produção recomendados para a cultura do girassol, e em dados

de eficiência industrial considerados para a produção de biodiesel a partir de óleos vegetais. O balanço energético calculado foi de 1,13, ou seja, para cada unidade de energia gasta, obteve-se 1,13 unidades energéticas.

No entanto, trabalhos relacionados com balanço energético na produção de biocombustíveis sólidos como lenha e carvão inexistem na literatura. Por isso, o objetivo deste estudo foi contabilizar as entradas e as saídas energéticas do sistema de produção da cultura de *E. benthamii* na região de Guarapuava, PR.

Material e Métodos

Para a realização deste trabalho, tomaram-se como referência os dados da planilha de custos médios praticados por produtores de *E. benthamii* da Região de Guarapuava, PR. Essa região foi selecionada para a tomada de dados em função de ser propensa a fortes geadas e, por isso, já existir uma grande aceitação do *E. benthamii* na produção de madeira para energia. O sítio de coleta dos dados dendrométricos usou coordenadas em UTM 0455524 E 7170739 N - Meridiano Central 51°W e altitude de 1.133 m. A área da estudada apresenta 12,1 ha, com seis anos de idade e os dados do inventário florestal são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Diâmetro à altura do peito (DAP), altura e volume médios do fuste, incremento médio anual (IMA) e produtividade de *Eucalyptus benthamii* aos seis anos de idade em Guarapuava, PR

DAP	Altura	Volume / fuste	IMA *	Produtividade
--- (cm) ---	--- (m) ---	--- (m ³) ---	----- (st **) -----	-----
14,2	18,8	0,1580	292,28	48,7

*IMA = Incremento médio anual; ** Metros estéreos.

Para este trabalho, baseou-se nas seguintes características da terra: área corrigida quanto ao pH, plana, contínua, com lavoura e plantio direto há mais de dez anos. Foram considerados três ciclos de sete anos (total de 21 anos).

Para o balanço energético foram contabilizadas as entradas de energia através do uso de máquinas, fertilizantes, pesticidas, mudas, colheita, mão-de-obra e equipamentos. Os dados de gasto energético foram baseados na literatura existente, conforme a Tabela 2.

O gasto de combustível das operações mecanizadas foi baseado em consumo médio, obtido de planilhas de custos fornecidas por produtores da Região de Guarapuava.

Os dados de consumo energético em fertilizantes foram baseados em Pimentel (1980). Considerou-se balanço energético a razão da quantidade de energia gerada pela biomassa do combustível (madeira) pela quantidade de energia gasta no cultivo. Para determinação do balanço energético da produção de *E. benthamii*, considerou-se o total de energia contida na biomassa, descontando-se os gastos de energia durante cultivo.

Resultados e Discussão

Os resultados do balanço energético da produção de *E. benthamii* por hectare são apresentados na Tabela 2. O consumo total de energia na produção de *E. benthamii* no sistema de talhadia (período de 21 anos) foi de 58,2 GJ. Considerando que o eucalipto é uma

cultura perene, torna-se necessário calcular o gasto energético médio anual para fazer comparação com outros biocombustíveis a partir de culturas anuais como o biodiesel de soja, girassol, mamona e dendê, os quais têm colheita anual, além do etanol a partir de cana-de-açúcar e milho.

A produção de *E. benthamii* apresentou consumo energético médio anual de 2,77 GJ, que pode ser considerado baixo, quando comparado às seguintes situações: produção de biodiesel de girassol com 18,66 GJ e biodiesel de soja com 17,33 GJ (GAZZONI et al., 2006); produção de etanol de cana-de-açúcar com 19,98 GJ (URQUIAGA et al., 2004); produção de etanol de mandioca com 24,71 GJ (SOARES et al., 2007); e produção de biodiesel de girassol com 17,47 GJ (ARAÚJO et al., 2007).

Observa-se que o item operações mecanizadas foi o mais representativo no gasto de energia (48,00 GJ), representando 82 % do total de energia gasta. Dentre as operações mecanizadas, o transporte da produção foi o subitem que mais demandou energia (28,37 GJ), representando 48,7 % do consumo total. Neste sentido, devem-se priorizar plantios próximos do local onde será utilizada a produção para a geração de energia. Os gastos energéticos com operações de cultivo (9,87 GJ) e o deslocamento de técnicos/corte (9,83 GJ) representaram 17 % e 16,9 % do total gasto, respectivamente. A energia consumida pelo trabalho humano foi praticamente desprezível, com 0,33 GJ e representou apenas 0,6 % do total de energia consumida. Praticamente toda a energia gasta na produção foi baseada em energia fóssil.

Tabela 2. Balanço energético da produção de *E. benthamii* na Região de Guarapuava, PR.

Item	Unidade	Quantidade	Energia (GJ)	(%)
Operações mecanizadas				
Operações de cultivo ¹ - diesel	l	177,13	9,87	17,0
Transporte da produção - diesel	l	508,95	28,37	48,7
Deslocamento de técnicos e corte ¹	l	168,09	9,83	16,9
Sub-total			48,07	82,6
Insumos				
Mudas ²	l	74,41	2,09	3,6
Superfostato Simples – SFS ³ - P ₂ O ₅	kg	62,50	0,59	1,0
Uréia ⁴ - N -	kg	12,50	0,75	1,3
KCl ⁵ - K ₂ O	kg	512,50	3,43	5,9
Defensivos ⁶	kg	1,50	2,72	4,7
Outros insumos ⁷	l	6,35	0,21	0,4
Sub-total			9,79	16,8
Operações manuais⁸	h	783,60	0,33	0,6
Sub-total			0,33	0,6
Total			58,10	100,0
Gasto energético médio anual			2,77	
Produtividade de madeira (1º ciclo)	kg	94.120,00	1.849,00	38,9
(2º ciclo)	kg	80.002,00	1.572,00	33,0
(3º ciclo)	kg	68.002,00	1.336,00	28,1
Produtividade em três ciclos (21 anos ⁹)	kg	242.124,00		100,0
Produtividade energética (21 anos)	GJ		4.757,00	100,0
Produtividade energética média anual			226,52	
Balanço energético (energia produzida/energia gasta)			81,80	
Saldo anual de energia (Gcal/ano)			223,75	
Saldo total na produção de <i>E. benthamii</i> em 21 anos (GJ)			4.698,89	

¹ Considerando densidade de 0,85 g cm⁻³ e poder calorífico superior (PCS) de 47.655 kJ kg⁻¹; Densidade da gasolina: 0,75 g cm⁻³ e PCS de 43.931 kJ kg⁻¹;

² Considerando 20 % do custo final das mudas como sendo de gasto de energia, convertida em diesel;

³ SFS – gasto de 9.623 kJ kg⁻¹ de P₂O₅;

⁴ Uréia – gasto de 59.830 kJ kg⁻¹ de N;

⁵ KCl – gasto de 6.694 kJ kg⁻¹ de K₂O;

⁶ Defensivos - gasto de 418.394 kJ kg⁻¹ de defensivo (PIMENTEL, 1980);

⁷ Outros insumos (porta-isca e embalagem);

⁸ Considerando o gasto de 6,7 kJ kg h⁻¹ de uma pessoa de 65 kg (CÁLCULO..., 2007);

⁹ Considerando a produtividade de 192 st ha⁻¹; densidade de 0,46 g cm⁻³; poder calorífico da madeira de 19.668,7 kJ kg⁻¹; produtividade da 1ª talhadia de 85% em relação ao primeiro ciclo; produtividade da 2ª talhadia de 85% em relação à 1ª talhadia.

Considerando a produtividade média do *E. benthamii* da região estudada, verifica-se que a produtividade total de madeira (21 anos) foi de 242.124 kg ha⁻¹ (Tabela 2). Já a produtividade energética total foi de 4.757,00 GJ, resultando em produtividade média anual de 226,56 GJ. Urquiaga et al. (2004) observaram rendimento energético de 161,1 GJ para o etanol de cana-de-açúcar nas condições brasileiras. Verifica-se, portanto, que a produtividade energética do *E. benthamii* foi 40 % superior a do etanol de cana-de-açúcar. No entanto, quando se compara a produtividade energética do *E. benthamii* com outros biocombustíveis, a superioridade é ainda maior, sendo 719 % e 350 % maior que o biodiesel de girassol e soja, respectivamente.

Ao descontar a energia gasta da energia produzida, tem-se o saldo energético anual. Observa-se que o saldo energético do *E. benthamii* foi de 223,75 GJ positivos (Tabela 2). Já para a produção de etanol, tem-se saldo energético de 141,12 GJ (URQUIAGA et al., 2004). Apesar de o etanol apresentar elevada produtividade energética, grande quantidade da energia é gasta durante o processo industrial para remover o etanol (8 %) da água (92 %) (PIMENTEL; PATZEK, 2005).

Porém, o melhor indicador de eficiência energética é o balanço energético. Nota-se, na Tabela 2, que o balanço energético da produção de *E. benthamii* foi de 81,87. Este valor é extremamente elevado, quando comparado a outros biocombustíveis como etanol de cana-de-açúcar (8,06); biodiesel de dendê sob condições da Malásia (8,66) (URQUIAGA et al., 2004); etanol a partir da mandioca (1,52) (SOARES et al., 2007); biodiesel de girassol (1,87) (ARAÚJO et al., 2007); biodiesel de girassol a 2,69; biodiesel de soja (1,57) (GAZZONI et al., 2006); etanol de milho – EUA (1,23); biodiesel de canola – Europa (1,47) (ARMSTRONG et al., 2002). Na produção de *E. benthamii*, para cada unidade energética investida no sistema obtém-se 81,87 unidades energéticas na madeira, demonstrando a elevada eficiência energética da cultura.

Conclusões

O *E. benthamii* cultivado na região de Guarapuava apresentou produtividade energética total de 4.757,00 GJ, com saldo anual de 223,75 GJ positivos, sendo superior aos observados para o etanol a partir da cana-de-açúcar (141,12 GJ) e mandioca (16,27 GJ);

biodiesel de soja (9,84 GJ), girassol (11,44 GJ) e dendê (136,58 GJ).

Para cada unidade energética gasta na produção, obteve-se 81,8 unidades energéticas contidas na madeira, superior ao etanol de cana-de-açúcar (8,06), etanol de mandioca (1,52), etanol de milho – EUA (1,23); biodiesel de dendê (8,66), biodiesel de girassol (1,87 a 2,69), biodiesel de soja (1,57) e biodiesel de canola – Europa (1,47).

Estes resultados colocam o *E. benthamii* como uma excelente alternativa para uso em programas de bioenergia devido ao baixo investimento em energia fóssil e ao elevado retorno energético.

Referências

- ARAÚJO, E. S.; SOARES, L. H. B.; ALVES, B. J. R.; BODDEY, R. M.; URQUIAGA, S. S. Balço energético da cultura do girassol (*Helianthus annuus* L.) para produção de biodiesel. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE AGROENERGIA E BIOCOMBUSTÍVEIS, 1., 2007, Teresina. **Energia de resultados: palestras e resumos**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2007. (Embrapa Meio-Norte. Documentos, 143). Disponível em: <<http://www.cpmn.embrapa.br/agroenergia/trabalhos/004.PDF>>. Acesso em: 15 ago. 2007.
- ARMSTRONG, A. P.; BARO, J.; DARTOY, J.; GROVES, A. P.; NIKKONEN, J.; RECKEARD, D. J. **Energy and greenhouse gas balance of biofuels for Europe: an update**. Brussels: Concawe, 2002. 18 p. Disponível em: <<http://www.concawe.be/1FGJLPMJAJBJBHPCKIKJIDBDFJPDBY9DBYW69DW3571KM/CEnet/docs/DLS/2002-00213-01-E.pdf>>. Acesso em: 20 ago. 2007.
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balço energético nacional 2006: ano base 2005: resultados preliminares** Rio de Janeiro, 2006. 28 p. Disponível em: <http://www.ben.epe.gov.br/downloads/Resultados_Pre_BEN_2007.pdf>. Acesso em: 10 jul. 2007.
- CÁLCULO de necessidades diárias de energia. Disponível em: <<http://www.cdof.com.br/nutri7.htm>>. Acesso em: 15 set. 2007.
- GAZZONI, D. L.; FELICI, P. H. N.; CORONATO, R. M. **Balço energético das culturas de soja e girassol para produção de biodiesel**. 2006. Disponível em: <<http://www.biodiesel.gov.br/docs/congresso2006/agricultura/BalancoEnergetico.pdf>>. Acesso em: 25 mar. 2007.
- GOVER, M. P.; COLLINGS, S. A.; HITCHCOCK, G. S.; MOON, D. P.; WILKINS, G. T. **Alternative road transport fuels: a preliminary life-cycle study for the United Kingdom**. Oxford: Energy Technology Support Unite, 1996. 2 v. (ETSU. Rreport R92).
- PIMENTEL, D.; PATZEK, W. Ethanol production using corn, switchgrass, and wood; biodiesel production using soybean and sunflower. **Natural Resources Research**, v. 14, n. 1, p. 65-76, 2005.
- PIMENTEL, D. (Ed.) **Handbook of energy utilization in agriculture**. Boca Ratón: CRC Press, 1980. 475 p.

SOARES, L. H. B.; ALVES, B. J. R.; BODDEY, R. M.;
URQUIAGA, S. S. Cultura da mandioca (*Manihot esculenta*
Crantz) em um programa para produção de etanol: cálculo do
balanço energético. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE
AGROENERGIA E BIOCOMBUSTÍVEIS, 1., 2007, Teresina.
Energia de resultados: palestras e resumos. Teresina: Embrapa
Meio-Norte, 2007. (Embrapa Meio-Norte. Documentos, 143).
Disponível em: <[http://www.cpamn.embrapa.br/
agroenergia/trabalhos/005.PDF](http://www.cpamn.embrapa.br/agroenergia/trabalhos/005.PDF)>. Acesso em: 15 ago.
2007.

URQUIAGA, S.; ALVES, B. J. A.; BODDEY, R. M. Produção
de bio-combustíveis: a questão do balanço energético. In:
CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA, 1., 2004, Campina
Grande. **Energia e sustentabilidade:** resumos. Campina Grande:
[s.n.], 2004. v. 1, p. 22.

Comunicado Técnico, 183

Exemplares desta edição podem ser adquiridos na:
Embrapa Florestas
Endereço: Estrada da Ribeira Km 111, CP 319
Fone / Fax: (0**) 41 3675-5600
E-mail: sac@cnpf.embrapa.br

1ª edição
1ª impressão (2007): conforme demanda

Ministério da Agricultura,
Pecuária e Abastecimento



Comitê de Publicações

Presidente: Luiz Roberto Graça
Secretária-Executiva: Elisabete Marques Oaida
Membros: Álvaro Figueredo dos Santos,
Edilson Batista de Oliveira, Honorino R. Rodigheri,
Ivar Wendling, Maria Augusta Doetzer Rosot,
Patrícia Póvoa de Mattos, Sandra Bos Mikich,
Sérgio Ahrens

Expediente

Supervisão editorial: Luiz Roberto Graça
Revisão de texto: Mauro Marcelo Berté
Normalização bibliográfica: Elizabeth Câmara Trevisan,
Lidia Woronkoff
Editoração eletrônica: Mauro Marcelo Berté