

A EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NA ATIVIDADE FLORESTAL¹

Valeria Comitre²

1 - INTRODUÇÃO

A atividade florestal no Brasil possui hoje estrutura e organização que lhe garante participação na economia como um setor consolidado. Esta condição resultou da atuação do governo em promover políticas de incentivo ao setor, via benefícios fiscais, e do desenvolvimento de tecnologias de produção, fortemente apoiadas pelo setor empresarial.

O setor florestal se caracteriza pela produção de fibras e energia e conta também com outros bens e serviços que constituem, à semelhança dos complexos agroindustriais (CAIs), como os da soja, cana-de-açúcar e laranja, o complexo silvindustrial (CSI). O CSI pode ser decomposto em cinco fases distintas que compreendem: suporte à produção, produção, transformação, transporte, armazenamento e comercialização. Cada uma destas fases, isoladamente, emprega capital, trabalho, recursos naturais e tecnologia, entre outros, e estão estruturadas com organização própria e demandas definidas.

No Estado de São Paulo, a atividade florestal conta com órgãos do setor público voltados à pesquisa, conservação, fiscalização e ao desenvolvimento florestal, especialmente para a fase de produção. Já o setor privado atua nos segmentos mais variados do complexo silvindustrial como o fabrico de máquinas, produção de sementes e mudas, celulose e papel, carvão, móveis, etc. Segundo CASTANHO FILHO (nov. 1993/fev. 1994), o CSI paulista emprega aproximadamente cem mil pessoas e alcança um faturamento de mais de US\$2 bilhões por ano.

Todas essas atividades pressupõem o uso intensivo de energia. Quantificar o consumo e a produção de energia nos diversos processos que compõem o complexo silvindustrial representa uma tarefa bastante complexa, seja do ponto de vista da obtenção dos dados, seja em função dos aspectos metodológicos empregados.

Não obstante, para tornar mais eficiente o uso desta energia é preciso conhecer as especificidades dos processos que as utilizam. Nesses processos, conforme salientou GOLDEMBERG (1981), existem pontos de estrangulamento que podem ser identificados dentro de uma perspectiva energética. Assim,

busca-se, à semelhança de uma auditoria contábil, realizar uma auditoria energética, cujo objetivo, nas palavras do autor, é "determinar de que forma a energia entra no sistema e o que ocorre com ela nos diversos estágios do processo", uma vez que "uma fonte alternativa" das mais interessantes para o País, sem dúvida, é a economia de energia.

Neste sentido, o estudo da eficiência energética é fundamental para fornecer os parâmetros necessários para mensurar, interpretar e subsidiar a tomada de decisões no direcionamento das políticas tecnológicas e de planejamento energético. No atual quadro de dispêndio energético, possibilita ainda situar a dependência do sistema em relação aos recursos naturais renováveis ou não, como o petróleo, e suas conseqüências do ponto de vista econômico.

Sob esta ótica, o presente trabalho aborda a fase de produção de madeira, mais especificamente do eucalipto, entendida como a implantação, manutenção e serviços da floresta até o primeiro corte, que ocorre no sexto ano do plantio. Procura-se assim avaliar a eficiência energética da produção florestal representada pelo retorno energético obtido (a madeira) em função da energia utilizada via emprego de insumos.

O objetivo do trabalho está em realizar um exercício metodológico feito através da simulação de um sistema de produção de eucalipto para testar a aderência do modelo. Este sistema foi constituído pelos coeficientes técnicos disponíveis em artigos científicos sobre custos operacionais da atividade silvícola. A intenção foi de aplicar a metodologia de contabilidade energética dos *inputs* à produção e do produto final (*outputs*) com o objetivo de testar o método na simulação de um sistema de produção teórico. A partir deste exercício é possível apreender a aderência do método quando da sua aplicabilidade em sistemas de produção, atualmente empregados pelos produtores.

2 - MATERIAL E MÉTODOS

A atividade silvícola, ao contrário das culturas anuais, necessita de um período de maturação

biológica de vários anos. Durante este período são empregados insumos para a sua manutenção (mão-de-obra e produtos químicos) que foram somados àqueles utilizados na implantação da floresta.

Assim, foram empregadas as seguintes informações da produção de eucalipto, considerando as etapas de implantação, manutenção e serviços:

a) os níveis tecnológicos médios medidos através das exigências físicas de insumos produtivos e dos coeficientes técnicos de operação;

b) o dispêndio de cada operação do sistema de produção de floresta de eucalipto transformado em valores energéticos para o uso de mão-de-obra e insumos químico-biológicos; e

c) a produtividade e a produção energética correspondentes à quantidade produzida de madeira.

Os dados de exigências físicas de fatores de produção foram obtidos dos levantamentos realizados pela Fundação para a Conservação e a Produção Florestal do Estado de São Paulo, da Secretaria do Meio Ambiente (FLORESTAR ESTATÍSTICO, 1994).

Os coeficientes técnicos de produção constituíram a base do padrão tecnológico da região de Ribeirão Preto, Estado de São Paulo, para 1994.

Os coeficientes energéticos foram obtidos na literatura especializada. As informações levantadas compreendem os seguintes itens para um hectare da cultura (Tabela 1):

a) operações manuais: tempo gasto por

TABELA 1 - Exigência Física de Fatores de Produção de Madeira de Eucalipto, 1 ha, Produção de 35 esteres, DIRA de Ribeirão Preto, Estado de São Paulo, 1994

Item	Unidade	Quantidade
Mão-de-obra	HD ¹	64,12
Mudas	u.	1.550,00
Óleo diesel	l	41,37
Lubrificantes	l	0,53
Graxas	l	0,79
Adubo 06-28-06	t	0,195
Adubo 20-05-20	t	0,315
Herbicida Roundup	l	8,00
Herbicida Goal	l	2,00
Formicida granulado	kg	9,00
Inseticida Aldrin	kg	0,10
Cloreto de potássio	kg	0,10
Calcário	t	2,00
Produção	t	21,28

¹HD = homens-dia.

Fonte: FLORESTAR ESTATÍSTICO (1994), SERRA et al. (1979a) e COMITRE (1993).

operação em homens-dia/ha. Incluem braçais, tratoris- tas, auxiliares, operadores de máquinas, mecânicos,

encarregados e serradores. O coeficiente utilizado foi de 64,12 homens-dia/ha (TOLEDO, 1994);

b) combustíveis: quantidade consumida de óleo diesel, óleo lubrificante e graxas estimada em 41,37 l/ha, 0,53 l/ha e 0,79 l/ha, respectivamente (SERRA et al. 1979a e COMITRE 1993).

c) material consumido: quantidade utilizada, 6 tipo, fórmula, concentração e nome comercial. Inclui mudas, adubos formulados, herbicidas, formicidas, inseticidas, cloreto de potássio e calcário (FLORESTAR ESTATÍSTICO, 1994); e

d) produção obtida: 35 esteres³ por hectare, ou seja, 21,28t de madeira/ha (FLORESTAR ESTATÍSTICO, 1994).

2.1 - Metodologia

A análise da eficiência energética tem sido objeto de estudo de pesquisadores no desenvolvimento de metodologias destinadas a contabilizar as energias produzidas (*outputs*) e as consumidas (*inputs*) em um determinado sistema de produção, de modo a estabelecer um índice que indica quantas unidades de energia são produzidas para cada unidade de energia investida no processo produtivo.

A necessidade básica do método é traduzir em unidades ou equivalentes energéticos os fatores de produção e consumos intermediários que tornem viáveis a construção de indicadores, comparáveis entre si, e que, a partir de um quadro teórico, permitam intervir no sistema, visando melhorar a sua eficiência. A conversão dessas entradas e saídas em um equivalente energético, seja em *joule*, *tep*⁴ ou caloria, permite o cálculo da eficiência energética do sistema de produção.

A busca de um denominador comum que permita comparações entre sistemas implica a hipótese de que é possível a conversão na mesma unidade calórica de instrumentos e materiais tão diferentes como máquinas, combustíveis, trabalho humano, entre outros.

De acordo com CARVALHO (1980) a eficiência energética de um sistema é expressa pela relação produção bruta de energia/conjunto de entradas de energia. Esta, por sua vez, pode ser desdobrada em categorias, segundo a sua origem, em **fóssil**: combustíveis e subprodutos oriundos do petróleo como fonte primária; **industrial**: máquinas e implementos agrícolas, corretivos de solo, adubos

químicos formulados, inseticidas e herbicidas; e **biológica**: humana, animal, sementes e mudas.

O referencial teórico utilizado neste trabalho baseia-se em Malassis (citado por CASTANHO FILHO & CHABARIBERY, 1982) em que se consideram basicamente três interações calóricas: fluxo externo, fluxo interno e fluxo perdido ou reciclado.

O fluxo externo é aquele aplicado ao processo de produção e constitui-se de dois tipos básicos: a energia direta e a indireta. A energia direta é representada pela soma de todas as quantidades calóricas provenientes de fontes energéticas na forma em que se apresentam. É o caso dos combustíveis fósseis e daqueles provenientes da biomassa. A indireta é aquela empregada na fabricação, transporte e armazenagem de bens e serviços que são empregados na produção de novas mercadorias. É a energia embutida nas máquinas, implementos, insumos e construções. A medição desta energia é mais complexa e existem basicamente dois procedimentos utilizados para o seu cálculo: análise do processo, empregada neste trabalho, e análise de matrizes insumo-produto. O primeiro consiste em detalhar o processo de produzir determinada mercadoria, investigando a energia empregada nos passos anteriores (matéria-prima + energias diretas) à obtenção do bem. O método das matrizes insumo-produto faz-se empregando os dados da matriz contabilizada junto a todos os setores da economia, que representam as inter-relações e os consumos intermediários em cada setor e entre setores (GOLDEMBERG, 1979).

O fluxo interno representa a energia gerada pelo sistema, ou seja, contida na própria produção. E o fluxo perdido é formado de energias não aproveitadas no processo, que podem ou não ser recicladas.

Deve-se considerar, quando da interpretação dos resultados, as dificuldades em se encontrar coeficientes energéticos apropriados para as condições do País. Quando necessário, foram utilizadas aproximações tomando-se por base os coeficientes da literatura pesquisada. A determinação dos conteúdos calóricos dos diferentes insumos foram então adaptados às situações encontradas.

Metodologicamente as maiores implicações podem estar no cômputo das energias indiretas das máquinas e implementos agrícolas já que todo insumo disponível à produção foi objeto de gastos anteriores com trabalho humano, matéria-prima e transporte. No entanto, em função da metodologia adotada para o cálculo destas energias, a participação no total do

dispêndio energético tem pouca representatividade, em torno de 2% (SERRA et al., 1979b e COMITRE, 1993). Por esse motivo, a energia indireta das máquinas e implementos agrícolas não foi considerada neste trabalho.

2.2 - Métodos de Conversão Energética

A partir da matriz de exigência física

procedeu-se a transformação dos coeficientes físicos em energéticos contabilizados em três categorias, conforme sua origem em fóssil, industrial e biológica. Os valores energéticos dos itens que compõem a matriz foram definidos com base em trabalhos de diversos autores (Tabela 2).

A metodologia de transformação de cada item é apresentada a seguir:

a) Mão-de-obra

A contabilização da energia dispendida pelo trabalho humano tem sido discutida por vários autores sob enfoques bastante distintos. No presente trabalho, adotou-se o valor de 2,34 Megacaloria⁵ (Mcal)/dia, calculado pela FIBGE (FUNDAÇÃO, 1977), como sendo aquele ingerido pelo trabalhador de área rural não metropolitana do Estado de São

TABELA 2 - Coeficientes Energéticos para a Matriz de Exigência Física de Fatores de Produção de Madeira de Eucalipto, 1 ha, Produção de 35 esteres, DIRA de Ribeirão Preto, Estado de São Paulo, 1994

Item	Unidade	Megacaloria (Mcal)
Mão-de-obra	HD ¹	2,34
Mudas	u.	-
Óleo diesel	l	9,21
Lubrificantes	l	8,59
Graxas	l	9,33
Adubo 06-28-06 (N)	t	830,00
Adubo 06-28-06 (N)	t	2.780,00
Adubo 20-05-20 (PK)	t	540,00
Adubo 20-05-20 (PK)	t	300,00
Herbicida Roundup	l	60,82
Herbicida Goal	l	60,82
Formicida granulado	kg	44,13
Inseticida Aldrin	kg	44,13
Cloreto de potássio	kg	-
Calcário	t	40,00
Produção	t	3.250,00

¹HD = homens-dia.

Fonte: Compilação da autora a partir de várias fontes.

Paulo. A escolha desse coeficiente, que representa mais de perto as condições alimentares do trabalhador rural paulista, prende-se às dificuldades de se obter dados de atividades físicas específicas e as correspondentes necessidades energéticas.

b) Mudanças

Não foram encontradas na literatura pesquisada os gastos energéticos para a produção de mudas de eucalipto.

c) Combustíveis

Os valores calóricos dos combustíveis utilizados (óleo diesel, óleo lubrificante e graxas) são aqueles publicados no Balanço Energético Nacional (BRASIL, 1990) e correspondem ao seu valor intrínseco, sem computar os gastos com a extração e o refino do petróleo. Adotaram-se os valores de 9,21Mcal/l para o óleo diesel, 8,59Mcal/l para lubrificante e 9,33Mcal/l para graxas.

d) Adubos

Segundo os dados levantados pelo FLO-RESTAR ESTATÍSTICO (1994), para dosagem média dos nutrientes de adubação (NPK), as formulações mais utilizadas são 06-28-06 e 20-05-20. O poder calorífico de cada elemento refere-se às quantidades energéticas acumuladas durante a extração e o processamento industrial dos fertilizantes e encontram-se em Doering (citado por SERRA et al., 1979b). As energias consideradas foram 13.875 quilocaloria⁶ (kcal)/kg para nitrogênio, 1.665kcal/kg para fósforo e 1.110kcal/kg para o potássio.

e) Corretivo

O consumo de energia para a produção do calcário adotado foi de 40Mcal/t, segundo Pearson (citado por SERRA et al., 1979b).

f) Inseticidas, formicidas e herbicidas

Os valores calóricos dos inseticidas, formicidas e herbicidas utilizados na produção foram obtidos em PIMENTEL (1980). No caso dos inseticidas e formicidas foi empregado o valor de 44,13Mcal/kg, média dos produtos relacionados pelo autor. Para os herbicidas o coeficiente médio utilizado foi de 60,82Mcal/l.

g) Cloreto de potássio

Embora a matriz tecnológica média de produção de eucalipto indique a utilização de cloreto de potássio este item, não foi computado por não se encontrar na literatura pesquisada o respectivo coeficiente calórico.

TABELA 3 - Estrutura de Gastos, Produção e Eficiência Energética da Produção de Eucalipto, 1 ha, Produção de 35 esteres, DIRA de Ribeirão Preto, Estado de São Paulo, 1994

h) A produção obtida para um hectare foi transformada em equivalente energético considerando o valor de 3.250Mcal/t de madeira (GOLDEMBERG, 1981).

3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

No tocante aos gastos, a produção calórica, a participação percentual de cada item na produção de madeira de eucalipto, correspondente a 35 esteres/ha, e a participação relativa das fontes nos dispêndios energéticos mostram a importância da energia industrial na atividade com 61,23% do total. Desse valor, 52,90% foram provenientes dos herbicidas empregados na produção. Em seguida, há os gastos com formicida que totalizam 34,54% do gasto com energia industrial. O calcário participa com 6,96% e os adubos formulados (PK) mais os inseticidas com 5,60% (Tabela 3).

Quanto à participação da energia de origem fóssil, com 30,78% do total dispendido, o óleo diesel representou 65,92%; adubos formulados (N), 32,03%; e lubrificantes e graxas somaram 2,05%. A energia de origem biológica representada pela mão-de-obra contribuiu com 7,99% de participação nos gastos totais.

A eficiência energética encontrada foi de 36,83, demonstrando que para cada unidade calórica aplicada na produção obteve-se um retorno de 35,83 unidades, descontando-se a unidade repostada. O alto poder calórico da madeira contribuiu para essa elevada taxa de conversão líquida.

4 - CONCLUSÕES

Neste trabalho foi possível determinar a eficiência energética da produção de madeira de eucalipto a partir de coeficientes técnicos disponíveis em artigos científicos sobre custos operacionais da atividade.

Observou-se que apesar da significativa eficiência energética da atividade, a tecnologia de produção indica o emprego de quantidade considerável (30,78%) de calorias de origem fóssil, oriundas do petróleo, recurso produtivo não renovável. Somando-se a este valor o percentual do emprego de agroquímicos (56,97%), chega-se a 87,75% de

Item	Mcal	%
Energia direta	728,08	38,77
Biológica	150,04	7,99
Mão-de-obra	150,04	7,99
Fóssil	578,04	30,78
Óleo diesel	381,02	20,29
Lubrificante	4,55	0,24
Graxa	7,37	0,39
Adubos formulados (N)	185,10	9,86
Energia indireta	1.149,66	61,23
Industrial	1.149,66	61,23
Adubos formulados (PK)	59,88	3,19
Herbicida	608,20	32,39
Formicida	397,17	21,15
Inseticida	4,41	0,24
Calcário	80,00	4,26
Total dispêndio energético	1.877,74	100,00
Total produção energética	69.160,00	-
Eficiência energética	36,83	-

Fonte: Dados elaborados pela autora.

insumos altamente energéticos, o que reafirma os elevados índices de modernidade na produção de madeira.

Esses resultados, no entanto, devem ser analisados considerando-se que não foram contabilizados todos os itens da matriz de exigência física de produção, como por exemplo as mudas, bem como os cálculos sobre energia indireta para máquinas e implementos agrícolas. A inclusão destes itens pressupõe um aumento dos dispêndios energéticos e a respectiva diminuição da eficiência energética para a

atividade.

Por outro lado, a estrutura de gastos energéticos apresenta-se bastante semelhante quando comparada com pesquisas afins, indicando a adequação da metodologia empregada. Por fim, conclui-se pela necessidade de pesquisas de campo para a obtenção de coeficientes técnicos que expressem com maior rigor as condições reais de produção que muitas vezes não são especificadas nos trabalhos publicados. Nesse caso, o erro associado ao indicador da eficiência de conversão energética seria minimizado.

NOTAS

¹A autora agradece os comentários da Dr^a Maristela Simões do Carmo do IEA/SAASP. Recebido em 19/09/95. Liberado para publicação em 13/10/95.

²Administrador de Empresas, Doutoranda em Planejamento de Sistemas Energéticos, AIPSE-FEM/UNICAMP.

³Um estéreo corresponde a 0,70m³ ou 608kg (FLORESTAR ESTATÍSTICO, 1994).

⁴tep = tonelada equivalente de petróleo.

⁵1 Megacaloria (Mcal) = 10⁶ caloria (cal).

⁶1 quilocaloria (kcal) = 10³ caloria (cal).

LITERATURA CITADA

BRASIL. Ministério da Infra-Estrutura. **Balço energético nacional**. Brasília, 1990. 140p.

CARVALHO, A. **Análise eco-energética dos sistemas de produção da zona vitícola de Dois Portos (Torres Vedras)**. Oeiras: Instituto Gulbenkian de Ciências. Centro de Estudos de Economia Agrária, 1980. 44p.

CASTANHO FILHO, Eduardo P. & CHABARIBERY, Denyse. **Perfil energético da agricultura paulista**. São Paulo: IEA, 1982. 55p. (Relatório de Pesquisa, 9/82).

_____. O Complexo silvindustrial. **Florestar Estatístico**, SP, v.1, n.3, p.14, nov.1993/fev. 1994.

COMITRE, Valeria. **Avaliação energética e aspectos econômicos da Filieira soja na Região de Ribeirão Preto-SP**. Campinas: FEAGRI/ UNICAMP, 1993. 152p. Dissertação de Mestrado.

FLORESTAR ESTATÍSTICO. São Paulo: Fundação Florestal, v.2, n.4, p.1-77, mar./jun. 1994.

FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEO-

GRAFIA E ESTATÍSTICA. **Estudo nacional de despesa familiar: consumo alimentar antropometria**. Região II - São Paulo. Rio de Janeiro: FIBGE, 1977. 110p. (Dados preliminares)

GOLDEMBERG, José. **Economia de energia no setor industrial**. São Paulo: PROMOCET, 1981. 2-7p. (Estudos e Documentos, 1).

_____. **Energia no Brasil**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1979. 171p.

PIMENTEL, David. coord. **Handbook of energy utilization in agriculture**. Flórida: CRC Press, 1980. 475p.

SERRA, G. E. et al. **Avaliação da energia investida na fase agrícola de algumas culturas**. São Paulo: Secretaria de Tecnologia Industrial, 1979b. 86p. (Relatório Final). mimeo.

_____. The energetics of alternative biomass sources for ethanol production in Brazil. In: THIRD INTERNATIONAL SYMPOSIUM OF ALCOHOL FUELS TECHNOLOGY. Califórnia, USA. 1979a.-12p.

TOLEDO, Yuly I. M. **Comportamento do emprego na silvicultura paulista**. Campinas: IE/ UNICAMP, 1994. 186p. Tese de Doutorado.

A EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NA ATIVIDADE FLORESTAL

SINOPSE: O estudo avalia a eficiência energética na produção de madeira de eucalipto (implantação, manutenção e serviços) representada pelo retorno energético obtido em função da energia utilizada via emprego de insumos. O alto poder calórico da madeira contribuiu para a elevada taxa de conversão líquida (35,83 unidades calóricas produzidas/unidade calórica aplicada na produção). Apesar da significativa eficiência energética constatada, a tecnologia de produção de madeira de eucalipto indica o emprego de quantidade considerável (30,78%) de calorias de origem fóssil, além de 56,97% representado pelos agroquímicos, somando 87,75% de insumos altamente energéticos, indicando elevados índices de modernidade na produção de madeira.

Palavras-chave: energia, eficiência energética, madeira, eucalipto, energia florestal.

THE FOREST ENERGY EFFICIENCY

ABSTRACT: In this paper, the energetic efficiency in Eucalyptus wood production (implantation, management and services) represented by the energetic exchange obtained from energy inputs is evaluated. The high wood caloric power contributed to a high liquid change rate (35,83 calories outputs/one calorie input). In spite of the significant energetic efficiency, the technology of the Eucalyptus wood production shows a considerable calorie employment (30,78%) from fossil energy, beyond 56,97 % represented by agrochemicals bringing up to a total of 87,75% of high energetic inputs, indicating important modernization indexes in wood production.

Key-words: energy, energy efficiency, wood, Eucalyptus, forest energy.