

ANÁLISE ENERGÉTICA DE DOIS SISTEMAS DE  
COLHEITA MECANIZADA DE EUCALIPTO

EZER DIAS DE OLIVEIRA JÚNIOR

Tese apresentada à Escola Superior de Agricultura  
“Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, para  
obtenção do título de Doutor em Recursos Florestais,  
com opção em Silvicultura e Manejo Florestal.

P I R A C I C A B A  
Estado de São Paulo – Brasil  
Março – 2005

ANÁLISE ENERGÉTICA DE DOIS SISTEMAS DE  
COLHEITA MECANIZADA DE EUCALIPTO

EZER DIAS DE OLIVEIRA JÚNIOR  
Engenheiro Florestal

Orientador: Prof. Dr. FERNANDO SEIXAS

Tese apresentada à Escola Superior de Agricultura  
“Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, para  
obtenção do título de Doutor em Recursos Florestais,  
com opção em Silvicultura e Manejo Florestal.

PIRACICABA  
Estado de São Paulo – Brasil  
Março – 2005

*“Em momentos de crise só a imaginação é mais importante que o conhecimento”*  
Albert Einstein

À amada Luciana e Tobias  
Dedico

À Cleusa e Emanuela  
Ofereço

*“And we will all need to work together to ensure that  
we can meet our growing and changing energy needs”*  
Karen de Segundo

## **AGRADECIMENTOS**

À Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de nível Superior – CAPES pela bolsa concedida.  
Aos professores que acompanharam o desenvolvimento e tiveram a responsabilidade da participação no amadurecimento destas idéias, os quais servem-me de espelho na carreira acadêmica.

Prof. Dr. Fernando Seixas, orientador e exemplo de conduta e caráter a ser seguido,

Prof. Dr. Brito o qual me trata como colega do alto de sua experiência,

Prof. Dr. Maciel meu orientador na Feagri / Unicamp e especialista em biodiesel,

Prof. Dr. Milan que acompanha meu desenvolvimento desde o mestrado,

Prof. Dr. Kleber crítico desde o mestrado e grande colaborador,

Prof. Dr. Fenner que me apresentou à colheita e exploração,

Prof. Dr. Leonardo pela valiosa revisão e sugestões, e pela atual coordenação do Curso,

Prof. Luiz Carlos pela coordenação inicial do curso de pós graduação,

Aos professores com os quais tive a oportunidade de aprender em suas disciplinas, Prof. Dr. João Batista, Prof. Dr. Pogiani.

Aos amigos Everson, Gustavo e Maurício da Cenibra, Ao José De Sene e Cristiano Lopes da Duratex, Ao Amigo Eduardo Possamai da International Paper, Ao Rogério e Lauri da Ripasa e Ao Luiz Sérgio e Gláucio da Votorantim pela recepção e cooperação.

Aos colegas de curso pela troca de idéias e construção crítica do curso de pós, Ana Schilling, Elisa, Lia, Zé Márcio, Luiz Faria, Air Bag, Daniela, Lana. Israel Lima parceiro e amigão. Ao Ricardo pela DT. Ao Garmim, pela contribuição e implementação nos projetos do universo “fora de estrada”.

Ao Jefferson pelo apoio logístico, esclarecimentos e boa vontade em cada um desses dias, competente, dedicado e motociclista.

Aos amigos CB e Paulinha pelo empreendimento Copiadora “Luiz de Queiroz” e sua equipe, pois os maiores beneficiados, somos nós, a ESALQ.

Em especial ao Ricardo Rabatshi pela competência e pelo meu aprendizado obtido na edição final desta Tese.

Aos funcionários do departamento pelo convívio e excelência, Fátima, Margarete, Daniel, Rogério, Higor, Marcelo, Valdir, Evandro, Marialice Metzker Poggiani.

À Silvia Zinsly e Eliana pela revisão às normas de publicação e orientação, ao pessoal da catalogação bibliográfica e demais amigos da biblioteca.

Agradeço aos novos familiares pela compreensão e paciência. Em especial ao Prof. Lucio pela orientação e críticas ao trabalho, D. Rosa pela paciência e convívio, Lucio pela valiosa revisão do “summary”, Cidinha por seu exemplo de dedicação, ao Roberto meu suplente nas tardes de sábado.

À minha irmã e minha Mãe, as quais esperam sempre um tempinho meu, pelo apoio, torcida e incentivo.

À minha esposa pela sociedade nesta empreitada, sua visão crítica e rigor me auxiliam no desenvolvimento profissional, seu carinho me abranda no emocional.

À Deus pelo empréstimo valioso concedido (*Tobiah = aquele que agrada à Deus*).

## SUMÁRIO

	Página
LISTA DE FIGURAS.....	viii
LISTA DE TABELAS.....	ix
LISTA DE SIGLAS.....	x
LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS .....	xi
RESUMO.....	xii
SUMMARY.....	xiv
1 INTRODUÇÃO .....	1
2 REVISÃO DE LITERATURA .....	3
2.1 Importância da biomassa.....	5
2.2 Energia e trabalho .....	9
2.3 Eficiência energética.....	11
2.4 Produção de energia renovável .....	12
2.5 Entradas energéticas.....	13
2.5.1 Colheita.....	14
2.5.2 Preparo do solo .....	18
2.5.3 Produção de mudas .....	20
2.5.4 Transplante e condução.....	21
2.5.5 Transporte .....	22
2.6 Conversão energética.....	23
2.6.1 Energia direta.....	23
2.6.2 Energia indireta.....	26
2.7 Sistemas mecanizados de colheita e eficiência energética .....	28

3 MATERIAL E MÉTODOS .....	31
3.1 Materiais .....	32
3.1.1 Descrição do viveiro de mudas .....	32
3.1.2 Descrição das atividades de silvicultura .....	34
3.1.3 Descrição da colheita .....	34
3.1.4 Descrição do transporte principal .....	36
3.2 Métodos .....	36
3.2.1 Cálculos para conversão em energia .....	37
3.2.1.1 Método matricial .....	38
3.2.1.2 Método analítico .....	39
4 RESULTADOS .....	43
4.1 Cálculo analítico da atividade do viveiro .....	43
4.2 Cálculo analítico das atividades de silvicultura .....	45
4.3 Cálculo matricial das atividades de silvicultura .....	47
4.4 Cálculo analítico da atividade de colheita .....	48
4.4.1 Sistema de toras curtas .....	49
4.4.2 Sistema de toras longas .....	50
4.5 Cálculo analítico da atividade de transporte .....	50
4.6 Cálculo matricial das atividades de colheita e transporte .....	52
5 DISCUSSÃO .....	54
6 CONCLUSÕES .....	59
ANEXOS .....	60
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	65
APÊNDICES .....	74

## LISTA DE FIGURAS

	Página
1 Organograma dos fluxos de energia na cadeia produtiva .....	14
2 a Máquinas utilizadas na colheita mecanizada no sistema de toras curtas “harvester” .....	35
2 b Máquinas utilizadas na colheita mecanizada no sistema de toras curtas “forwarder” .....	35
3 a Máquinas utilizadas na colheita mecanizada no sistema de toras longas “feller – buncher” .	35
3 b Máquinas utilizadas na colheita mecanizada no sistema de toras longas “clambunk” .....	35
3 c Máquinas utilizadas na colheita mecanizada no sistema de toras longas garra traçadora .....	35
4 Organograma do dispêndio energético da operação .....	37
5 Entrada dos dados organizados no vetor e na matriz .....	38
6 Cálculo matricial para as atividades de silvicultura .....	47
7 Cálculo matricial do dispêndio energético nas atividades de colheita e transporte .....	52

## LISTA DE TABELAS

	Página
1 Potencial técnico de co – geração de energia em diferentes sistemas no Brasil .....	7
2 Usinas de energia elétrica que usam madeira como combustível .....	9
3 Participação relativa das atividades florestais nas emissões de CO <sub>2</sub> na Finlândia .....	13
4 Balanço energético na atividade de colheita em função da produção florestal .....	15
5 Produtividade energética (GJ.ha <sup>-1</sup> ) da floresta em função do espaçamento aos 2,5 anos .....	21
6 Classificação do esforço físico diário conforme atividade .....	24
7 Valores médios mundiais de energia para produção e embalagem de nutrientes primários .....	25
8 Distribuição média do consumo de energia direta por fonte .....	27
9 Investimento energético na atividade de produção de mudas no viveiro .....	44
10 Descrição, consumo e desempenho das operações na atividade silvicultural .....	45
11 Investimento energético das atividades de silvicultura mecanizada .....	46
12 Capacidade operacional e consumo das máquinas em cada sistema de colheita .....	48
13 Depreciação energética das máquinas utilizadas na colheita mecanizada .....	49
14 Investimento energético na atividade de colheita no sistema de toras curtas .....	49
15 Investimento energético na atividade de colheita no sistema de toras longas .....	50
16 Desempenho das operações de transporte rodoviário e de cargas .....	51
17 Investimento energético na carga e no transporte rodoviário .....	51
18 Dispêndio energético final das operações em cada sistema de colheita .....	53
19 Súmula dos dispêndios energéticos das operações conforme o método de cálculo.....	53

## LISTA DE SIGLAS

ANEEL .....	Agência Nacional de Energia Elétrica
BEESP .....	Balanço energético do Estado de São Paulo
BEN .....	Balanço energético nacional
CENBIO .....	Centro nacional de referência da biomassa
CHESF .....	Companhia Hidroelétrica de São Francisco
CVC .....	Composição veicular combinada
INMETRO .....	Instituto Nacional de Metrologia
OIE .....	Oferta interna de energia
SBS .....	Sociedade Brasileira de Silvicultura
SI .....	Sistema Internacional de unidades de medidas
SIGA .....	Sistema Integrado de Gaseificação de Madeira

## LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

m <sup>3</sup>	metro cúbico
Mm <sup>3</sup>	milhão de metro cúbico
J	joule
MJ	mega joule
GJ	giga joule
t	tonelada
Mt	milhão de tonelada
ha	hectare
Mha	milhão de hectare
st	volume de 1 m <sup>3</sup> de madeira empilhada
cal	caloria
Wh	watt hora
W	potência em watts
tep	tonelada equivalente de petróleo
l	litro
N	força em Newton

## ANÁLISE ENERGÉTICA DE DOIS SISTEMAS DE COLHEITA MECANIZADA DE EUCALIPTO

Autor: EZER DIAS DE OLIVEIRA JÚNIOR

Orientador: Prof. Dr. FERNANDO SEIXAS

### **RESUMO**

A colheita mecanizada é uma atividade com altos investimentos em máquinas, consumo de combustível e de lubrificante, representando dispêndio de energia. No caso da colheita mecanizada deve-se ponderar além da entrada de energia direta do combustível e do lubrificante, também a energia biológica do trabalho humano do operador e a energia indireta agregada pela utilização de máquinas e implementos. A mecanização das operações tem proporcionado aumento da capacidade operacional, no entanto, poucos trabalhos têm quantificado o dispêndio energético nas diversas atividades florestais quanto à utilização de máquinas e ao uso de insumos. A caracterização desse potencial técnico para a produção da madeira, bem como a forma de utilização de energia ao longo da cadeia produtiva, são de grande importância, pois existe grande dependência dos insumos proveniente da matriz fóssil. Nesta análise energética é contemplado o consumo de energia das operações florestais, sendo o enfoque principal a energia investida na atividade de colheita de um plantio florestal de eucalipto através de dois sistemas mecanizados, denominados de “toras curtas” e de “toras longas”. Nesta análise foram simuladas as entradas de energia, classificadas e

quantificadas conforme a fonte, considerando-se as características ponderais das máquinas e consumo de diesel em cada operação. Os cálculos de conversão foram realizados pelos métodos de equações e matrizes e as entradas de energia classificadas, conforme o fluxo, em energia direta e energia indireta. Foram analisadas também as atividades silviculturais e de transporte rodoviário com o objetivo de quantificar a relação de entradas totais de energia e o potencial energético existente na produção da madeira de eucalipto ao final do ciclo de sete anos. Pela análise energética do sistema quantificou-se o dispêndio de  $17,99\text{GJ}\cdot\text{ha}^{-1}$  pela silvicultura,  $41,92\text{MJ}\cdot\text{m}^{-3}$  pelo transporte e na colheita,  $36,73\text{MJ}\cdot\text{m}^{-3}$  no sistema de “toras curtas” e  $41,53\text{MJ}\cdot\text{m}^{-3}$  no sistema de “toras longas”. As atividades de colheita e transporte representaram em média 60% do dispêndio energético total. O potencial energético existente na madeira produzida ao final do ciclo foi em média 62 vezes maior que a energia investida.

## ENERGY ANALYSIS OF TWO MECHANIZED SYSTEMS OF HARVESTING EUCALYPTUS

Author: EZER DIAS DE OLIVEIRA JÚNIOR

Adviser: Prof. Dr. FERNANDO SEIXAS

### **SUMMARY**

Harvesting is an activity with high investments in machines, lubricant and fuel consumption. The total energy required to operate forestry machines includes not only direct energy of the fuel and the lubricant, but also indirect energy such as associated with manual labor and manufacturing the equipment. The mechanization of the harvesting process has increased the operational capacity, however few studies have focused on the energy consumption in the diverse forest activities regarding machine and inputs utilization in Brazil. This study quantifies the energy consumption in forestry operations, from seedling production to forest transportation, evaluating in details, two harvesting systems: "cut to length" and "tree length". In this analysis all energy sources involved in the process were simulated, classified and quantified, taking into consideration machine productivity and diesel consumption in each operation. Making use of equation and matrix methods, the energy sources were classified as direct or indirect flow. The silviculture activities and road transportation were also analyzed with the objective of quantifying the relation between the total inputs of energy and the existing energy potential in the production of the eucalyptus wood after a seven year

cycle. A systematic approach to forestry energy analysis requires all energy inputs of any significance to be included and accurately evaluated. The system energy analysis resulted  $17.99\text{GJ}\cdot\text{ha}^{-1}$  for silviculture,  $41.92\text{MJ}\cdot\text{m}^{-3}$  for the transport, and 36.73 and  $41.53\text{MJ}\cdot\text{m}^{-3}$ , respectively in the “cut to length” and “tree length” system. Harvesting and transportation accounted for 60% of the total energy consumption, and the energy yield was 62 times higher than the total invested energy.

## 1 INTRODUÇÃO

A colheita mecanizada é uma atividade com altos investimentos em máquinas, consumo de combustível e de lubrificante. Essas entradas representam energia utilizada cuja quantidade pode ser estimada contabilizando-as conforme a fonte. No caso da colheita mecanizada deve-se ponderar além da entrada de energia direta do combustível e dos lubrificantes, também a energia biológica do trabalho humano do operador e a energia indireta pela utilização de máquinas e implementos.

A mecanização das operações tem proporcionado aumento da capacidade operacional, no entanto poucos trabalhos têm quantificado o dispêndio energético nas diversas atividades florestais quanto à utilização de máquinas e ao uso de insumos.

Na busca de ganhos de produção é necessário o controle dos recursos energéticos utilizados, determinando-se os investimentos em cada etapa do processo produtivo e assim identificar as de maior demanda de energia. A avaliação do sistema pode ser feita pela eficiência da intensidade energética ou pela relação entre entradas e saídas.

Pela análise energética do sistema é possível quantificar o acréscimo do dispêndio de energia ao final do ciclo e a energia agregada devido ao dimensionamento dos conjuntos mecanizados nas operações específicas de cada atividade. Esses dados podem subsidiar decisões na redução de custo com combustível pela correta manutenção e operação de máquinas e implementos.

O total de energia necessária para realização da atividade em cada sistema de colheita será diretamente proporcional ao número de operações envolvidas, considerando-se o desempenho e capacidade das máquinas em cada módulo.

No Brasil, o suprimento de madeira para a indústria de base florestal tem sido feito basicamente por dois sistemas mecanizados de colheita. Um de corte no comprimento (“cut – to – length”) denominado “toras curtas”, cuja madeira é processada no local de corte, com módulo básico composto pelas máquinas “harvester” e “forwarder”. O outro de fustes inteiros (“tree – length”), com a árvore sendo desganhada e destopada no local de corte e o processamento da madeira sendo feito à margem do carreador, denominado “toras longas”, composto por “feller – buncher”, “skidder” e garra traçadora.

Tratando-se de sistemas totalmente mecanizados supõe-se que haja superávit entre consumo e produção de energia, mas com diferenças entre os sistemas quanto ao dispêndio de energia nas operações devido ao tipo de máquinas utilizadas nos módulos de colheita. Assim, como em termos econômicos, também em termos energéticos deve haver uma grande participação das operações de colheita em relação ao total das atividades na cadeia produtiva.

O objetivo principal deste trabalho foi analisar o consumo de energia investida nas operações dos sistemas de colheita mecanizada de “toras curtas” e de “toras longas”, empregados em diferentes empresas florestais brasileiras e também identificar os fatores de maior influência em cada operação, estabelecer qual a relação do dispêndio energético da atividade de colheita em relação às demais atividades silviculturais e o potencial energético existente na madeira produzida ao final da rotação.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

O Brasil destaca-se no cenário mundial pela importância da biomassa florestal e suas potencialidades com uma das mais altas taxas de produtividade na silvicultura, atingindo entre 40 e 50 metros cúbicos ( $m^3$ ) de madeira por hectare ao ano, mais de 10 vezes superior à observada em países de clima temperado (Stape, 2003).

Atualmente, os plantios de florestas comerciais no Brasil cobrem uma área de 4,8 milhões de hectares. No Estado de São Paulo são 770 mil hectares de plantios (3,1% da área). Desse montante o eucalipto responde por 79,4%, o pinus, com 20,6% e outras madeiras com 2% (Kronka et al., 2003).

Segundo a Sociedade Brasileira de Silvicultura - SBS (2004), o consumo anual de madeira industrial em toras no Brasil foi da ordem de  $166,3Mm^3$  em 2001. No Estado de São Paulo estima-se um consumo de  $11Mm^3$  de biomassa florestal para fins energéticos, sendo o setor que mais sente a falta de madeira no mercado, pois o setor de celulose e papel, cujo consumo anual é da ordem de  $8Mm^3$ , têm fornecimento garantido pelos plantios próprios e contratos com terceiros.

Muitos estudos têm sido realizados sobre a viabilidade da floresta no suprimento de matéria prima para geração de energia em termelétricas, publicados pelo Centro Nacional de Referência da Biomassa - CENBIO (2003). No entanto, nenhum deles trata do dispêndio energético das operações mecanizadas ou os relaciona com a demanda de energia necessária para formar e colher uma floresta comercial de eucalipto.

A análise energética pode ser utilizada como importante ferramenta no planejamento como: i) critério para seleção de máquinas, ii) orientar diretrizes de atividades e operações nos povoamentos, iii) para a distribuição dos custos em sistemas em que alguns insumos têm usos múltiplos, como o caso da casca para energia ou como

fonte de nutrientes, iv) para comparar diferentes sistemas mecanizados, como, por exemplo, cultivo mínimo e cultivo intensivo, v) para avaliar viabilidade na aplicação de novos insumos, como aplicação de resíduos industriais ou urbanos.

Segundo Ferreira (2000), a análise de energia na década de 70 orientou-se para o estudo da eficiência nos processos de produção, avaliação de tecnologias alternativas de energia primária, estimação das necessidades diretas e indiretas de energia das atividades de produção e do consumo e, principalmente, a diminuição no fornecimento dos insumos naturais que promovem o crescimento econômico.

De acordo com Serra et al. (1979), a mecanização das operações acentuou o uso da energia fóssil, em formas progressivamente sofisticadas, como consequência do planejamento e utilização de máquinas, fertilizantes e pesticidas, propiciando aumentos consideráveis na produtividade com o passar do tempo. O uso de maiores quantidades de insumos foi sendo agregado às práticas agrícolas e florestais, sendo que o retorno nem sempre aumentou na mesma proporção. Como exemplo, Loftness (1984) cita que os EUA, usando tecnologia moderna, investiam  $64,8\text{GJ}\cdot\text{ha}^{-1}$  na cultura do arroz obtendo uma produtividade de  $5,8\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$  ( $11,2\text{GJ}\cdot\text{t}^{-1}$ ), enquanto que com tecnologia tradicional as Filipinas investiam  $0,17\text{GJ}\cdot\text{ha}^{-1}$  com a produtividade de  $1,25\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$  ( $0,14\text{GJ}\cdot\text{t}^{-1}$ ). A razão desse aumento na energia investida no exemplo norte americano é decorrência da utilização de insumos (fertilizantes, agroquímicos) e da mecanização, enquanto que no caso filipino a baixa produtividade está diretamente ligada ao pequeno investimento energético. Assim, devem-se ponderar quais as necessidades de investimento e a extensão de área necessária para suprir o mercado e produzir alimentos.

A quantidade de energia usada nas operações agrícolas depende de vários fatores, não só da energia proveniente do combustível, mas também daquela agregada na fabricação e distribuição das máquinas, do óleo lubrificante e hidráulico, do trabalho humano entre outros (Bridges & Smith, 1979; Fluck, 1985).

Bridges & Smith (1979) desenvolveram um esquema de comparação da energia usada pelas diversas operações mecanizadas, onde foi possível utilizar os dados da bibliografia para analisar separadamente cada operação dentro do processo de produção agrícola. Sua avaliação baseou-se no consumo de combustível fóssil, energia devido ao

trabalho, incluindo-se a energia agregada na fabricação, transporte, manutenção e reparos das máquinas, bem como a agregada nas construções, sementes, fertilizantes e outros insumos usados na operação.

## **2.1 Importância da biomassa**

Segundo Stape (2003), a alta produtividade das florestas está diretamente relacionada à eficiência no uso de recursos naturais, como água, nutrientes do solo e exposição à luz, durante o crescimento da planta.

Para Nogueira (2002), o cenário futuro é de que os derivados de petróleo e gás natural continuem desempenhando um papel relevante na matriz energética. Especificamente quanto à demanda desses derivados, o contexto previsível para a indústria brasileira de petróleo nas próximas décadas pode ser considerado positivo e equilibrado. Evidentemente que um exercício de projeção de cenários energéticos com tal amplitude apresenta largas possibilidades de variação. O autor considera em particular as associadas aos câmbios tecnológicos e aos efeitos das demais fontes energéticas. Não obstante, mesmo frente a incertezas desta ordem e reconhecendo ainda o inevitável caráter não renovável das reservas de petróleo e gás natural, cabe construir uma perspectiva sustentável de longo prazo, onde o desenvolvimento de sistemas combinados com energia renovável seja possível e seguramente oportuno.

Brito (1997) enfatiza a importância da lenha na matriz energética do Brasil, cuja fonte renovável pode suprir a demanda em setores específicos como carvão para as indústrias de ferro-gusa e aço, além da geração de energia elétrica. O autor considera também necessários investimentos da ordem de US\$ 3,2 bilhões por ano para restabelecer a oferta de madeira e garantir o aumento da eficiência na produção energética.

As atuais tecnologias de conversão da lenha em combustíveis líquidos, sólidos e gasosos de alto valor agregado, têm grande interesse mundial e recebem importante quantia de recursos para suas pesquisas e desenvolvimentos. A gaseificação e a pirólise

são processos termoquímicos mais eficientes, no entanto a combustão ou queima direta ainda é a forma mais tradicional de uso da energia da lenha (Ferreira, 2000).

O setor residencial brasileiro consome 29% do total de lenha, destinados a cocção dos alimentos nas regiões rurais. Uma família de oito pessoas necessita de aproximadamente  $2\text{m}^3$  de lenha por mês para preparar suas refeições. O setor industrial vem em seguida com cerca de 23% do consumo. As principais indústrias consumidoras de lenha no país são alimentos e bebidas, cerâmicas e papel e celulose (BEN, 2003).

A substituição da lenha de mata nativa por lenha de reflorestamento vem crescendo a cada ano, sendo o eucalipto a principal árvore cultivada para este fim. Na produção de lenha para fins comerciais, uma parte da árvore (ponteiros, e galhos finos) é rejeitada constituindo os resíduos florestais. Além disso, algumas indústrias como serrarias e de móveis produzem resíduos industriais como: pontas de toras, costaneiras e serragem em diferentes tamanhos de partículas e densidade, que podem ter aproveitamento energético (CENBIO, 2003).

Segundo Brito (1999), a demanda de energia proveniente da madeira era de 90% para 1,5 bilhão de pessoas no mundo. Para o Brasil de 1995 a madeira representava 27,4 giga toneladas equivalentes de petróleo – Gtep da matriz energética renovável do País, algo em torno de 23% do total das fontes renováveis.

De acordo com Kamimura (2001), os Estados de Minas Gerais e São Paulo apresentaram em 2000 o maior e menor consumo de lenha residencial per capita dos Estados estudados, cerca de  $4853\text{MJ.hab}^{-1}$  e  $373\text{MJ.hab}^{-1}$  respectivamente, uma diferença de 13 vezes. O autor argumenta que a lenha residencial no Brasil, na maioria das vezes, tem origem fora do processo econômico, ou seja, ocorre simples catação, mas sua avaliação tem fundamental importância por afetar o planejamento de todo o sistema energético.

Segundo o Balanço Energético Nacional – BEN (2003), a participação da lenha na oferta interna de energia em 2001 foi cerca de 11,5% da produção de energia primária. Atualmente essa participação gira em torno de 8%, indicando uma menor atenção por parte das políticas energéticas quando se trata da biomassa na matriz renovável. A energia da biomassa no balanço inclui o bagaço de cana, a lenha, o carvão

vegetal e o álcool. O consumo final de biomassa em 2001 foi de 53% no setor industrial, sendo que o setor de papel e celulose usou 10% desse montante, o que representou o segundo maior uso dentro do setor industrial, após o setor de bebidas e alimentos que usou 28%.

O consumo específico de energia proveniente da lenha nas indústrias de celulose e papel é da ordem de  $21,8\text{GJ.t}^{-1}$  de produto (BEN, 2004). Soma-se a isso a energia de 0,4GJ da fase silvicultural (Ferreira, 1999) na produção de  $4\text{m}^3$  de madeira para cada tonelada de celulose, e ter-se-á o consumo específico do produto considerando-se todas as etapas da cadeia produtiva. Ou seja, a madeira representa apenas 1,8% do investimento energético.

A biomassa também tem importância para geração de eletricidade como demonstra a situação de empreendimentos termelétricos no Brasil na Tabela 1, de acordo com dados fornecidos pela Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL (2003).

Tabela 1. Potencial técnico de co-geração de energia em diferentes sistemas no Brasil

<b>Tipo de Combustível</b>	<b>Potência (MW)</b>
Somente Bagaço de cana	391
Somente Biomassa	83
Biomassa e Bagaço de cana	4,0
Biomassa e Óleo combustível	8,8
Lenha picada	5,3
Licor negro	310
Licor negro e Biomassa	143
Lixo urbano	26
Lixo Urbano e Gás natural	600
Óleo combustível e Biomassa	70
<b>TOTAL</b>	<b>1633,6</b>

Fonte: ANEEL (2003).

O bagaço de cana e o licor negro estão entre as fontes mais importantes, nos setores sucroalcooleiro e de papel e celulose respectivamente, além de diversos tipos de sistemas híbridos com combustíveis fósseis. No Plano Decenal de Expansão 2000/2009 o potencial técnico de co-geração nestes dois setores é estimado em 5.750 MW, com um potencial de mercado de pouco mais de 2.800 MW, em 2009 (BEN, 2004).

Segundo a Companhia Hidroelétrica de São Francisco – CHESF (2003), foi desenvolvida tecnologia para implementar a participação da madeira na matriz renovável através do programa de gaseificação na Bahia. O Sistema Integrado de Gaseificação de Madeira – SIGA foi desenvolvido em conjunto com Eletrobrás, Shell e Ministério da Ciência e Tecnologia, planejado para produzir energia a partir da madeira de eucalipto numa usina de 32MW.

Todas essas ações devem considerar o balanço energético da produção de madeira em todas as operações envolvidas conforme o sistema de colheita e máquinas utilizadas na atividade florestal, bem como a viabilidade de aproveitamento do resíduo. A manutenção do resíduo implica em aumento de custo para as operações da silvicultura. O resíduo pode ser vendido ou doado para quem faz dele carvão ou revende a quem o faz. Os trabalhos nessa linha de pesquisa estão bem adiantados na Finlândia.

Segundo Hakkila (2003), a Finlândia tem 20Mha de florestas produtivas com um incremento anual de 80Mm<sup>3</sup>. A produção per capita de madeira é maior que qualquer outro país da Europa e contabiliza-se o consumo de 15m<sup>3</sup> por pessoa, enquanto que nos demais países o consumo é da ordem de 0,8m<sup>3</sup>. Na Finlândia apenas 10% da madeira são usados como lenha, sendo que a maior parte da energia provém dos resíduos das indústrias de base florestal. Apesar da eficiência tecnológica, uma parte considerável da matéria prima não é aproveitada no produto final e há perdas no processo. Cerca de 40% da madeira que entra no processo industrial têm potencial de serem usados como combustível e nenhum resíduo é desperdiçado. Do total de madeira produzido, 35Mm<sup>3</sup> (46,5%) são usados na produção de energia. Essa madeira usada como combustível responde por 20% da energia primária (73TWh) e 11% da energia elétrica.

Segundo dados da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2003), no Brasil existem várias usinas que trabalham com subprodutos da madeira, como exemplificado na Tabela 2 a seguir.

Tabela 2. Usinas de energia elétrica que usam madeira como combustível

Usina	Potência (kW)	Proprietário	Município	Combustível
Castanha	4.000	Madeira São Francisco	Canoinhas – SC	Cavacos
Pizzato	2.000	Pedro Pizzato Ltda	Gal. Carneiro – PR	Cavacos
Rio Pardo	4.500	R. Pardo Papelões Ltda	Sta Rosa de Viterbo – SP	Cavacos
Ripasa	15.000	Ripasa S/A	Limeira – SP	Cavacos
Forjasul	1.800	Forjasul Ltda	Encruzilhada do Sul – RS	Serragem

Fonte: ANEEL (2003).

No Estado de São Paulo a utilização da madeira como fonte renovável tem sido discutida e, ao lado da indústria sucroalcooleira, as indústrias florestais também podem exercer papel fundamental. No entanto, segundo dados de Kronka et al. (2003), dos 25Mha de área do Estado, apenas 770.010ha (3,1%) são cultivados com florestas. O déficit para energia é da ordem de 5,7Mm<sup>3</sup> anuais, o que representa a necessidade de plantar mais 287.000ha, aumentar a produtividade das áreas já existentes e favorecer os plantios com fins energéticos onde haja maior concentração populacional, devido ao uso de carvão e de madeira para energia.

## 2.2 Energia e trabalho

Segundo o Balanço Energético do Estado de São Paulo – BEESP (2003), por razões históricas, cada unidade do Sistema Internacional (SI) está associada a alguma forma de energia. Assim, à caloria – **cal** se associa o calor (proveniente do petróleo, do carvão, da lenha), ao joule – **J** se associa a energia mecânica (de origem hidráulica, eólica etc.) ao watt hora – **Wh** se associa a eletricidade, de forma que qualquer que seja a unidade escolhida para se contabilizar um balanço de energia, surge imediatamente o problema de conversibilidade entre as diversas formas de energia.

Em alguns países, onde o petróleo representa o principal insumo na geração térmica e elétrica é comum o uso da unidade equivalente de petróleo – **tep**, uma unidade espúria fora do SI, mas que representa a quantidade de petróleo necessária para a realização das tarefas energéticas demandadas.

No Brasil, onde a Oferta Interna de Energia – OIE é essencialmente hidráulica existem algumas distorções quando comparadas as fontes energéticas com a tep. Nesse caso, 1kWh de eletricidade corresponderia à quantidade de calor necessária para produzi-la (13,1GJ) e não ao seu equivalente calórico (3,6GJ). Além disso, o fator de equivalência para tep foi determinado considerando-se uma eficiência de apenas 27,5% na transformação do petróleo em energia elétrica, quando a média mundial encontra-se em torno de 35% a 40%. A unidade quilocaloria (kcal) está associada à energia térmica ou calor, na qual qualquer energético pode ser convertido integralmente através do primeiro princípio da Termodinâmica, o que demonstra a existência de um denominador comum na representação contábil de um balanço envolvendo formas de energia com diferentes “qualidades” (BEESP, 2003).

De acordo com Instituto Nacional de Metrologia – INMETRO (2004), a unidade cal está fora do SI, mas temporariamente aceita, sendo o joule a unidade a ser adotada em todos os sistemas pra indicar as grandezas de trabalho, energia e quantidade de calor.

O fluxo de energia é dado pela razão do trabalho num período de tempo. Assim, a capacidade máxima de trabalho ou nível de potência que um cavalo pode manter é 0,746kW, 10 vezes maior que o trabalho humano. Um dia de trabalho de uma pessoa equivale à uma hora de trabalho do animal. Utilizando-se 3,8 l de gasolina num trator por 15 minutos tem-se algo em torno de 8,8kWh, cuja potência é maior que um cavalo trabalhando à sua capacidade máxima por 10h ou o equivalente a três semanas de trabalho humano considerando-se 40h semanais (Pimentel & Pimentel, 1996).

O comparativo da capacidade humana com a do animal, ou com as máquinas, nos dá a idéia de quanto de energia é necessário investir num sistema de produção agrícola ou florestal conforme a tecnologia empregada. O custo relativo do trabalho humano e do combustível fóssil afeta o custo do produto produzido. Essa comparação é importante e podem ser feitas entre dois ou mais sistemas de produção, conforme o grau de mecanização pretendido, potencializando as entradas de energia com investimentos em máquinas, adubação, irrigação, manejo e processamento.

### 2.3 Eficiência energética

De acordo com Monteith (1980), o maior volume de madeira requer investimento proporcional de energia para a atividade de colheita utilizando-se sistemas mecanizados mais complexos, mas sem comprometer o balanço quanto às saídas e entradas energéticas. O balanço de energia para a atividade de colheita está associado ao tipo de máquinas utilizadas e em função da produtividade de madeira.

Segundo Ferreira (1999), um sistema de produção florestal pode ser interpretado do ponto de vista energético como de conversão da energia da radiação solar em energia de produtos, com a utilização de água, gás carbônico e de produtos semi-elaborados, como combustíveis, fertilizantes, pesticidas e sementes. Um dos insumos básicos é o combustível que, analogamente ao grau de mecanização, resulta na quantidade de energia investida na produção de madeira ao final do ciclo.

Pimentel & Pimentel (1996) afirmaram que a energia solar recebida em regiões temperadas varia de 6,3 a 18,8 MJ.m<sup>-2</sup>.dia<sup>-1</sup>, ou seja, cada mm<sup>2</sup> recebe diariamente 1,5J, o suficiente para aumentar a temperatura de 3,8ml de água em 1 °C. O total aproveitado através da fotossíntese é algo em torno de 0,5% para o milho, 0,4% para a batata e 0,2% para o trigo, sendo que não há na bibliografia dados específicos para o eucalipto.

A eficiência de uso da água, se considerada, irá facilitar a conclusão. Lima (1993) afirma que o eucalipto produz de 2 a 3g de biomassa por kg de H<sub>2</sub>O utilizada, enquanto que o milho produz 1,08; o feijão 0,50 e o trigo 0,98 g.kg<sup>-1</sup>.

De acordo com Goldemberg (1979), a energia absorvida pela biomassa é de 0,02% do total incidente em solo brasileiro, o equivalente a 60 usinas como a de Itaipu. Segundo o autor estima-se uma fixação de carbono na ordem de 33Gt.ano<sup>-1</sup>, considerando-se a energia produzida de 1,29PJ.ano<sup>-1</sup>, o equivalente a 40TW.

De acordo com Serra et al. (1979), a maior dificuldade para a obtenção de um indicador energético de uma dada cultura é a contabilidade da energia indireta contida nas máquinas e nos produtos químicos utilizados como insumos. A energia total contida num sistema de produção pode ser contabilizada de duas maneiras: uma pela análise de processos e outra pela matriz insumo – produto. Nessa última técnica contabiliza-se

junto às indústrias, lavouras, comércio e outros, quais os bens utilizados como insumo e quais as formas de energia direta que são gastas na fabricação ou montagem de um produto. A eficiência de uso da energia pode ser avaliada de maneiras diretas ou indiretas das quais as mais utilizadas são: energia dos parâmetros, intensidade de energia, relação entre as entradas e saídas.

#### **2.4 Produção de energia renovável**

O potencial técnico para a produção da energia renovável, bem como a forma de utilização dessa energia ao longo das cadeias produtivas, são de grande importância, pois proporcionam um menor consumo de energia da matriz fóssil e conseqüentemente auxiliam na redução das emissões de carbono na atmosfera (Nogueira, 2002).

Segundo Helzel (1993), a energia necessária para produção agrícola em 1972 considerando-se todos os insumos mais embalagem e transporte, foi cerca de 3,5% da energia comercial mundial. Desse total, 51% foram consumidos em operações mecanizadas, 45% foram investidos em fertilizantes químicos e apenas 2% na produção pela aplicação de pesticidas.

A estimativa de Börjesson (1996) é que os aumentos futuros na eficiência e no desenvolvimento tecnológico dobrarão as produtividades de energia líquida nas próximas duas décadas. O autor considerou um cenário de transição até 2015, partindo-se de um sistema baseado na matriz fóssil para um de biomassa renovável, e estimou o aumento da entrada de energia na produção e no transporte de biomassa em aproximadamente 30 a 45%, tendo a redução da saída de energia líquida em aproximadamente 4%.

Karjalainen & Asikainen (1996) estudaram as emissões causadas pela utilização de máquinas nas atividades florestais da Finlândia cujos resultados são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Participação relativa das atividades florestais nas emissões de CO<sub>2</sub> na Finlândia

<b>Atividade florestal</b>	<b>Participação relativa</b>
Transporte rodoviário	57%
Transporte primário (extração)	18%
Colheita	13%
Implantação e manejo	8%
Transporte de máquinas (frete)	4%

Fonte: Karjalainen & Asikainen (1996).

Ainda segundo os autores anteriormente citados, os efeitos das emissões equivalem, em termos de CO<sub>2</sub>, a 1,31Mt e 0,67Mt em 20 e 100 anos respectivamente. No entanto, essas emissões são pequenas se comparadas aos 30.300Mt de CO<sub>2</sub> fixados na madeira colhida.

Scholz et al. (1998) analisaram o balanço energético na produção de combustíveis sólidos provenientes da produção agrícola e florestal em função da tecnologia empregada. Os resultados mostraram que as entradas são relativamente menores que as saídas de energia, pois cada unidade de energia investida pode retornar de 7 a 30 unidades na colheita, podendo atingir 50 unidades extras se considerados os sub produtos. A energia colhida foi termicamente livre de emissão adicional de CO<sub>2</sub>.

## 2.5 Entradas energéticas

Campos et al. (1998), classificaram as entradas possíveis de energia em dois fluxos, sendo um *externo* que corresponde à energia injetada e outro *interno* ou energia convertida dentro do sistema. O fluxo externo divide-se em:

- Energia direta: energia elétrica, energia biológica (trabalho humano ou animal, sementes, mudas e biomassa) e energia fóssil (combustíveis, lubrificantes, adubos, corretivos, pesticidas, pneus).

- Energia indireta: energia agregada em bens de produção como imóveis e maquinário, denominada depreciação energética.

O fluxo interno divide-se em:

- Primário: energia contida nas fibras e resíduos
- Secundário: energia de transformação dentro do processo de produção

O fluxograma da Figura 1 resume o conceito proposto pelos autores.

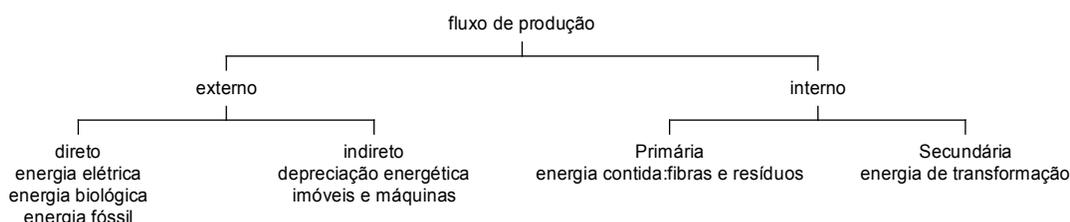


Figura 1 – Organograma dos fluxos de energia na cadeia produtiva

### 2.5.1 Colheita

Segundo Mattsson (1979), o consumo total de energia para se produzir florestas nas condições suecas aumentou em média de  $70\text{MJ.m}^{-3}$  em 1956 para  $180\text{MJ.m}^{-3}$  em 1972 devido à mecanização das operações. O autor comparou dois sistemas variando-se o grau de mecanização. Como resultado, contabilizou o dispêndio de  $123,8\text{MJ.m}^{-3}$  no mecanizado e  $58,3\text{MJ.m}^{-3}$  no semi – mecanizado. O consumo de combustível representou entre 5 a 10% dos custos totais de colheita de madeira.

A energia de produção e de consumo na colheita da madeira foi organizada em tabelas por Monteith (1980), para diversas condições e tipos de florestas dos EUA, com dados de 1977 (Tabela 4). O grau de tecnologia empregada na ocasião foi comparado com o dispêndio energético das operações revelando relação diretamente proporcional.

Tabela 4. Balanço energético na atividade de colheita em função da produção florestal

Produção	Investimentos	un	100 m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup>		200 m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup>		300 m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup>		400 m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup>	
			un.ha <sup>-1</sup>	MJ.ha <sup>-1</sup>						
Trabalho		h	34		77		100		113	
Máquinas		kg	11	829	31	2336	54	4069	73	5500
Ferramentas		kg	0,19	14	0,55	41	0,94	71	1,28	96
Combustível		l	167	7074	511	21394	840	35539	1143	48558
Subtotal				7917		23726		39679		54154
Madeira leve		t	1300	23	3690	65	6380	112	8680	
Madeira dura		t	16740	322	47420	913	82020	1578	111590	2147
Subtotal		t	18040	345	51110	977	88400	1690	120270	2300
Saídas / entradas				0,18		0,17		0,18		0,18
Trabalho (MJ.h <sup>-1</sup> )				42,5		53,1		70,8		85,2

Fonte: Monteith (1980).

un.ha<sup>-1</sup> = unidades por hectare

Nessas tabelas de balanço de energia constam dados que refletem as condições de relevo, eficiências operacionais e volume de resíduos particulares à realidade americana na década de 70. A energia investida de trabalho foi proporcional às horas de trabalho, mantendo-se constante a relação de entrada e saída de energia, indicando que foi necessário maior investimento energético para se obter maior produção de madeira, sem alterar o balanço final da atividade.

Serra et al. (1979) estudaram várias culturas no Brasil e, baseando-se em dados médios fornecidos pelas principais empresas do setor de produção de celulose e papel no Estado de São Paulo, verificaram que a energia investida na formação do povoamento de eucalipto com ciclos de 21 anos e colheitas a cada 7 anos, foi de 2,22GJ.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>. Da energia investida na cultura, a implantação consumiu 60% e as conduções de rebrota 20% cada. A produtividade de madeira (massa seca) considerada foi de 11,8t.ha<sup>1</sup>.ano<sup>-1</sup>, o que representou um dispêndio de energia médio de 0,19GJ.t<sup>-1</sup> para a produção de madeira.

Ferreira (1999) determinou o valor de  $46,7\text{GJ}\cdot\text{ha}^{-1}$  investidos da implantação à colheita, o equivalente a  $0,2\text{GJ}\cdot\text{t}^{-1}$  resultando uma produção energética de  $7.866\text{GJ}\cdot\text{t}^{-1}$  para o *E.paniculata* e  $12.692\text{GJ}\cdot\text{t}^{-1}$  para o *E.grandis*.

Börjesson (1996) estudou a eficiência de produção para diferentes culturas agrícolas na Suécia, comparando-se sistemas baseados na matriz fóssil com aqueles baseados em biomassa renovável. Todos os cálculos das entradas de energia na produção de biomassa consideraram o ciclo total de combustíveis, incluindo-se as de fontes primárias necessárias para agregar energia a um determinado insumo, seja no aço usado nas máquinas ou no fertilizante. Assim, o autor exemplificou que para se produzir uma tonelada de aço são necessárias estas parcelas do total de energia: 15% do óleo combustível, 5% do gás natural, 60% do carvão e 20% da eletricidade. De modo geral, o autor afirma que nos atuais sistemas energéticos baseados na matriz fóssil, a energia usada na produção de óleo diesel, óleo combustível, gás natural e carvão corresponde à cerca de 10% do conteúdo energético do insumo produzido. Então, se considerados insumos indiretos os corretivos, fertilizantes e pesticidas, deve-se proceder ao cálculo da energia incorporada nesses insumos no que diz respeito à produção, embalagem e transporte. O autor verificou que a produtividade da energia líquida na produção de floresta de curta rotação de *Salix spp* foi de 160 a  $170\text{GJ}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$ . A entrada de energia por unidade de biomassa produzida foi mais baixa para os resíduos de *Salix*, o equivalente a 4 ou 5% da energia de saída.

Athanassiadis et al. (2002) calcularam para as condições suecas, a partir do consumo de combustível, que as entradas energéticas pela colheita de madeira foram de  $82\text{MJ}\cdot\text{m}^{-3}$ . Desse total, 11% eram devidos à energia gasta no estágio de extração e refino do combustível. Os autores consideraram que 40% do investimento energético na atividade de colheita eram devidos ao uso de combustível fóssil.

Berg & Lindholm (2004) inventariaram o uso da energia em operações florestais na Suécia entre 1996 e 1997, incluindo-se a produção de mudas, silvicultura, colheita e transporte principal até a indústria. O uso da energia foi de 150 a  $200\text{MJ}\cdot\text{m}^{-3}$  de madeira dependendo da região do país. Esse inventário demonstrou que o dispêndio energético do transporte principal foi maior que o verificado pelos autores na

bibliografia em trabalhos anteriores. No contraste a isso, o dispêndio na colheita foi menor se comparada à década passada, possivelmente devido à melhor tecnologia e manejo.

Hetz (1992) buscou uma correlação entre tamanho das máquinas e o custo energético das operações mecanizadas na agricultura. Foram calculados as intensidades energéticas e os custos horários. Os resultados mostraram que os maiores custos de energia corresponderam à operação de preparo do solo e da colheita. Os menores custos corresponderam à operação de aplicação de fertilizantes. Os custos horários de energia foram dependentes do tamanho da máquina, mas os custos por área ou da massa processada foram independentes.

Bridges & Smith (1979) também verificaram que o tamanho e a potência da máquina não influenciaram na demanda de energia na operação, não havendo relação entre tamanho de máquina com consumo de energia, a não ser por aquela agregada na fabricação e manutenção, mas de forma não significativa. Os autores compararam os dispêndios energéticos de duas colhedoras de cereais nas mesmas condições, sendo uma com potência de 52,2kW e plataforma de 3,96m de largura e outra de 74,6 kW e 4,38m, ambas operando a 4,38km.h<sup>-1</sup> a uma eficiência de campo de 70%. As entradas de energia foram classificadas como: a) da fabricação, transporte e manutenções; b) combustível e c) trabalho humano. Os resultados foram 637,7 MJ.ha<sup>-1</sup> utilizando-se a colhedora de 52,2kW de potência e 635,2 MJ.ha<sup>-1</sup> utilizando-se a colhedora de 74,6kW.

Para as atividades do setor florestal brasileiro foram verificados trabalhos de menor magnitude, alguns dos quais não tratam das operações de colheita e apenas contabilizam a silvicultura em três ciclos de rotação e operações semi mecanizadas, cuja produção de madeira foi de 11,8t.ha<sup>-1</sup> (Serra et al., 1978 e Serra et al., 1979).

Damen (2001) estimou para as condições brasileiras, o dispêndio energético com base no diesel gasto por hectare nas atividades de silvicultura e por tonelada de madeira na atividade de colheita, simulando os dados, com valores de 1996, voltados à produção de eucalipto para o setor de celulose e papel. As entradas de energia para o módulo de colheita mecanizada, com feller, skidder e traçador, foram aproximadamente

123MJ.t<sup>-1</sup>. O autor considerou o custo de colheita em US\$8.11 por tonelada seca de madeira, calculando-se custo energético de US\$1.08.GJ<sup>-1</sup>.

### **2.5.2 Preparo do solo**

Segundo Lanças (2002), o preparo do solo é uma das operações de maior consumo de energia na silvicultura. Dentre as formas de se minimizar a energia estão: a utilização de técnicas de sistemas de cultivo mínimo ou reduzido, de operações conjugadas e melhoria na eficiência das operações com menores perdas de tempo em atividades. Além da avaliação do desempenho das máquinas, buscando-se minimizar os custos energéticos, é importante também a análise dos impactos causados pelo tamanho das máquinas. O autor, no entanto, não cita a ordem de grandeza dessa maximização dos resultados operacionais. A constatação matemática que o autor enfatizou refere-se ao aumento da capacidade operacional, pois sendo produto da largura da faixa de trabalho pela velocidade, a utilização de conjuntos maiores resulta numa maior eficiência, numa análise simplificada de minimizar custos operacionais e racionalizar o consumo energético das operações.

Gonçalves (2004) afirma que a mecanização e automação das práticas silviculturais é uma tendência crescente, visando a melhoria da qualidade e aumento da capacidade operacional cuja demanda está cada vez mais específica às práticas e às condições ambientais. O autor observa que tem sido comum o uso de tratores de maior potência aptos a operar nas condições severas do manejo de resíduos vegetais mais lenhosos. O autor alerta para a deficiente manutenção periódica dos implementos de preparo do solo comumente observada na prática, a qual ocasiona desperdício de insumos, diminuição do desempenho operacional e aumento do consumo de energia.

A eficiência de aproveitamento da potência de um trator é bem conhecida, existindo perdas na ordem de 17% no sistema de transmissão e de 23% na interface solo / pneu (Milan & Molin, 2002). É evidente que no trator existem recursos técnicos que aumentam essa eficiência, dentre elas tração nos quatro rodados e uso de esteiras ao

invés de pneus. Mas, os estudos são pouco avançados com relação a sua eficiência energética.

Uma estimativa de maior exatidão, melhor que o simples dado de consumo de combustível, é o desempenho do implemento analisado independentemente do trator que o traciona, como apresentado na equação 1 (Maciel, 2000).

$$P = F * V \quad (1)$$

P = potencia requerida (kW)

F = força necessária (kN)

V = velocidade de operação (m.s<sup>-1</sup>)

A potência necessária na barra de tração pode ser calculada reescrevendo-se a equação 1, anteriormente citada, como na equação 2 a seguir.

$$P_{BT} = \frac{F_T \cdot V_D}{3600} \quad (2)$$

P<sub>BT</sub> = potência na barra de tração (kW)

F<sub>T</sub> = força de tração (kN)

V<sub>D</sub> = velocidade de deslocamento (km.h<sup>-1</sup>)

Bentivenha (2001) verificou que na operação de escarificação, sulcos rasos, com até 0,2m, tiveram menor gasto de energia sem haver diferenças na produção da floresta ao final do ciclo, sendo apenas detectadas diferenças até os 24 meses pós – plantio. De acordo com Gonçalves et al. (2002), o crescimento inicial estimulado por maior volume de solo mobilizado pode ser considerável se analisado pela menor demanda de operações no controle das plantas invasoras.

Sasaki (2000) estudou a diferença para a profundidade efetiva de trabalho e a área de solo mobilizado, verificando que a haste reta – inclinada apresentou os melhores resultados quanto a demanda por força de tração e desempenho operacional. As ponteiros com asa exigiram cerca de 20% a mais de força de tração, 22% menos resistência específica operacional e mobilizaram 20% mais solo do que as ponteiros sem

asa. Com o aumento da profundidade de trabalho, de 20 para 40cm, houve incremento da força de tração, da potência na barra de tração e da patinagem.

Milan & Molin (2002), afirmam que na estimativa da ASAE para o cálculo de potência necessária para um determinado implemento existem variações de até 50%. Ribeiro & Ramos Jr (1995), verificaram que a mudança no sistema de engate do implemento do 3º ponto para o de arraste resultou em melhora na qualidade da operação quanto à profundidade do preparo e permitiu a utilização de trator de menor potência de 95,6 para 66,2kW (130 para 90HP).

### **2.5.3 Produção de mudas**

Seixas (1991) estudou o investimento energético na atividade de colheita manual de sementes de eucalipto, e verificou como maior dispêndio a operação de coleta envolvendo escaladas em árvores matrizes e pré beneficiamento, alternando-se tempos de descanso. O consumo energético médio nessa atividade foi de  $34\text{kJ}\cdot\text{min}^{-1}$  e contabilizou a produção de 5kg de sementes num dia de trabalho, cujo tempo efetivo foi 5,8h. A atividade foi considerada super pesada com intensidade energética de  $2,37\text{MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$  da semente colhida.

A energia embutida na muda, além da agregada pela colheita da semente, envolve também a do sistema de produção e tecnologia empregada no viveiro, tais como infra-estrutura, tipo de propagação (semente ou estacas), adubações, tempo de permanência das mudas e distância de transporte.

Suiter Filho et al. (1982) determinaram o valor médio de  $87,2\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$  na produção de mudas de eucalipto, considerando-se apenas o consumo de combustível nas operações dos seguintes equipamentos: moto – bomba para irrigação, pulverizador costal motorizado, trator de esteira para retirada de terra do barranco e caminhões para transportes diversos.

Damen (2001) utilizou em seus cálculos de consumo de energia na produção de mudas de eucalipto no Brasil o mesmo valor de  $300\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$  da produção de sementes nas culturas agrícolas da Europa considerado por Biewinga (1996).

### 2.5.4 Transplante e condução

Suiter Filho et al. (1982) computaram os dados de consumo de energia na implantação de floresta de eucalipto para produção de carvão vegetal e concluíram que o balanço de energia era positivo e as operações de transplante e condução do plantio tiveram um consumo médio de  $4.138 \text{ MJ} \cdot \text{ha}^{-1}$ , cerca de 8% do total da atividade.

Segundo Helsel (1993), os pesticidas representam um grande dispêndio energético na fase de condução de uma cultura, pois mesmo aplicados em pequena quantidade em termos absolutos, relativamente há mais energia agregada por esse insumo do que em qualquer outro. Em média os pesticidas requerem de 4 a 5 vezes mais energia por unidade de massa para serem produzidos, se comparado aos fertilizantes nitrogenados.

O balanço de energia na fase de silvicultura pode ser otimizado se considerada a produtividade energética do povoamento florestal a qual está em função do espaçamento e da espécie plantada (Tabela 5). O poder calorífico dos resíduos pode ser contabilizado, devendo-se levar em conta a composição do material remanescente do sistema de colheita adotado. Na Tabela 5 verifica-se que o maior potencial de produção energética foi do *Eucalyptus urophylla* no espaçamento de  $2,0 \times 1,5\text{m}$  com cerca de  $321,6 \text{ GJ} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$  (Brito et al., 1979; Brito, 1983).

Tabela 5. Produtividade energética ( $\text{GJ} \cdot \text{ha}^{-1}$ ) da floresta em função do espaçamento aos 2,5 anos

Espécie	Espaçamento	Lenho	Casca	Subtotal	Galhos	Folhas	Subtotal	Total
<i>E. saligna</i>	1,0 x 1,5m	206	30	235	32	96	128	363
<i>E. urophylla</i>	1,0 x 1,5m	323	40	362	51	70	120	483
<i>E. grandis</i>	1,0 x 1,5m	132	30	261	18	70	88	349
<i>E. saligna</i>	2,0 x 1,5m	170	32	202	44	96	140	342
<i>E. urophylla</i>	2,0 x 1,5m	464	63	527	138	129	267	794
<i>E. grandis</i>	2,0 x 1,5m	261	39	299	37	106	143	442
<i>E. saligna</i>	3,0 x 1,5m	217	34	251	40	92	132	384
<i>E. urophylla</i>	3,0 x 1,5m	292	45	337	111	95	206	543
<i>E. grandis</i>	3,0 x 1,5m	315	46	360	86	109	195	556

Fonte: adaptado de Brito (1983).

Börjesson (1996) estimou o consumo médio dos combustíveis fósseis de acordo com a demanda tecnológica e o custo energético da produção de biomassa para os anos de 1996 e 2015. O resultado da produtividade energética líquida em 1996 para a floresta de *Salix* foi de  $172\text{GJ}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$ , cerca de 21 vezes a energia investida. Na estimativa para o ano de 2015 essa produtividade aumentaria para  $322\text{GJ}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$ , cerca de 36 mais que o investido na fase silvicultural. Pela análise de sensibilidade, o autor concluiu que a produtividade energética líquida é diretamente proporcional aos ganhos de produtividade da floresta e indiferente ao investimento energético nos insumos. Nesses últimos, a alteração em 50% da entrada de energia alterou apenas de 3 a 4% da produtividade energética líquida da cultura.

### 2.5.5 Transporte

Quanto à energia gasta no transporte a Saab – Scania (1998) define o aproveitamento do combustível em veículos de transporte como sendo expresso pelo produto entre a carga útil transportada e a distância percorrida pelo consumo de combustível, cuja unidade mais usual é  $\text{t}\cdot\text{km}\cdot\text{l}^{-1}$ .

Börjesson (1996) estudou as distâncias de transporte viável para diversas culturas, sendo que os cavacos de madeira de *Salix* podem ser transportados por caminhão por até 250 quilômetros, antes que a energia do transporte seja igual à energia da produção dos cavacos. As distâncias correspondentes para o trator, o trem e o barco (transporte litoral) foram aproximadamente 100, 500 e 1000 quilômetros, respectivamente.

Damen (2001) em seu estudo de caso considerou a distância média de transporte em 21,4km assumindo-se as mesmas características de pavimentos de estradas do setor sucroalcooleiro. A energia gasta foi calculada a partir de dados médios da bibliografia. Como resultado chegou à média de  $35\text{MJ}\cdot\text{t}^{-1}$  de energia primária no transporte, equivalente a  $1,0\text{GJ}\cdot\text{ha}^{-1}$  se considerada a produtividade da floresta.

## 2.6 Conversão energética

Serra et al. (1979) afirmam que para apresentar a matriz energética é necessário determinar o conteúdo energético de vários componentes tais como: mão de obra, tratores, máquinas, implementos, combustível, fertilizantes, agroquímicos, mudas e óleos lubrificantes. Vários métodos de análise energética têm sido propostos e todos convergem para a agregação de energia contabilizando-se as entradas e saídas de energia de acordo com as fontes dependendo do objetivo da análise (Pimentel & Pimentel, 1996).

Fluck (1985) substituiu a análise estatística pela agregação total de energia sendo necessário haver exatidão nas entradas energéticas a serem consideradas.

### 2.6.1 Energia Direta

#### a) Mão de obra

Segundo Campos et al. (1998), o trabalho pode ser considerado como fonte de energia biológica se consideradas as horas empregadas em cada atividade. De acordo com Serra et al. (1978) o consumo energético do trabalho humano tem proximidade com os valores energéticos de máquinas e implementos que o substituem, algo em torno de  $2,2\text{MJ}\cdot\text{h}^{-1}$ .

Ulbanere (1988) convencionou não contabilizar a energia do trabalho humano nem a energia das entradas às forças de trabalho, pois no caso de processos produtivos em sistemas mecanizados essa parcela não é significativa na análise energética. Evidente que é importante considerá-la em processos nos quais a força humana e a de animais sejam bastante utilizadas, ou ainda quando se for traçar comparativos entre processos em países desenvolvidos com aqueles em desenvolvimento. Ainda segundo o autor, o fator limitante nas relações trabalhistas é o salário e não a energia.

Sartori & Basta (1999) adotaram o valor de  $1,3\text{MJ}\cdot\text{h}^{-1}$  para o trabalho humano por ser o mais próximo para a realidade no setor sucroalcooleiro.

De acordo com Seixas (1991), a energia gasta para se realizar uma tarefa é denominada energia de trabalho (work joule) e pode ser estimada medindo-se o consumo de oxigênio ( $O_2$ ). Cada litro de  $O_2$  consumido pelo corpo é equivalente a 20,1 J. A medição é feita pela diferença do teor de  $O_2$  do ar atmosférico e do exalado, multiplicado pelo volume de ar exalado. O grau de esforço físico está em função da energia gasta, do número de músculos envolvidos e a proporção solicitada de modo estático. As atividades podem ser classificadas pela carga de trabalho como mostrado na Tabela 6.

Tabela 6. Classificação do esforço físico diário conforme atividades florestais

<b>Carga de trabalho</b>	<b>Energia (MJ)</b>	<b>Exemplo de atividades</b>
Leve	Até 4,18	Atividades no viveiro
Moderado	4,18 a 6,68	Operador de máquinas, plantio manual.
Pesado	6,68 a 8,36	Corte com motosserra ou machado, capina.
Extra pesado	Maior 8,36	Escalar árvores, carregar toras.

Fonte: Seixas (1991).

#### b) Insumos: energia direta via corretivos e fertilizantes

A energia agregada aos fertilizantes é função da demanda de energia exigida na produção, embalagem, transporte e aplicação. Na Tabela 7 são apresentados valores médios para a energia requerida para cada um desses segmentos. A maior demanda para produção de nutrientes em relação ao total recai sobre o nitrogênio (N), cerca de 90%, e de 50% para  $P_2O_5$  e  $K_2O$  (Bruno, 1985).

Tabela 7. Valores médios mundiais de energia para produção e embalagem de nutrientes primários

Segmento	Demanda de energia por nutriente (GJ.t <sup>-1</sup> )		
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
Produção	69,4	7,7	6,4
Embalagem	8,6	9,8	7,3
<b>Total</b>	<b>78,1</b>	<b>17,5</b>	<b>13,7</b>

Fonte: Bruno (1985).

Conforme citado por Bruno (1985), a indústria nacional tem promovido melhorias na eficiência de produção. Destacam-se como itens mais importantes o transporte e a eficiência agrônômica dos fertilizantes. Os gastos de energia no item transporte do fertilizante normalmente apresentam-se elevados em função do óleo diesel como combustível, podendo ser iguais aos de produção devido à localização das indústrias em todo o País. Assim, a uma maior eficiência energética está associado um menor consumo específico (CE) de insumos energéticos, aqui denominado “consumo específico de energia” definido na equação 3 como:

$$CEe = \frac{E_{Consumida}}{P_{útil}} \quad (3)$$

CEe = consumo específico de energia (MJ.kg<sup>-1</sup>, MJ.l<sup>-1</sup>, MJ.R\$<sup>-1</sup>)

E<sub>consumida</sub> = Energia consumida (MJ)

P<sub>útil</sub> = Produto útil (kg, l, R\$)

Serra et al. (1979) consideraram os fertilizantes na matriz energética brasileira como semelhantes aos da economia norte americana, onde, de modo geral, computaram o gasto energético médio de 307MJ.kg<sup>-1</sup> para o insumo.

Pimentel (1980) considerou que a energia para produzir o ingrediente ativo do herbicida 2,4-D é de 101,6MJ.kg<sup>-1</sup> e do inseticida Diuron 270MJ.kg<sup>-1</sup>. Quando consideradas as etapas de produção, de formulação, de embalagem e de transporte, o

consumo específico médio de energia para herbicidas passa a ser de  $349\text{MJ.kg}^{-1}$  e para inseticidas passa a ser de  $312\text{MJ.kg}^{-1}$ . Segundo Mello (2000) a formulação, a embalagem e o transporte correspondem a 1/3 do total do gasto energético no processo.

### **2.6.2 Energia indireta**

A quantia de energia consumida na fabricação de máquinas e implementos consiste na energia usada na extração, transporte e refino de minérios e a energia usada nos processos de fabricação, manutenção e reparos (Doering, 1980 e Fluck, 1985).

Segundo Doering (1980), a contabilidade da energia contida na maquinaria pode apresentar muitas fontes de variação de origem natural e antrópica como eficiência operacional, horas de utilização no ano, variações edafoclimáticas, manejo adotado. O autor classifica o cálculo de energia agregada na maquinaria em três categorias, sendo:

- a) Energia contida no material utilizado na fabricação das peças das máquinas.
- b) Energia utilizada na manufatura da máquina e seus componentes.
- c) Energia contida e utilizada na fabricação, reparo e manutenção de peças e materiais ao longo da vida útil.

Pela estimativa do autor anteriormente citado, o consumo de energia primária para fabricar e operar um trator tem diversas fontes, como mostra a Tabela 8 a seguir. Nas operações agrícolas a energia agregada na maquinaria é 77% da energia direta usada na fabricação e montagem.

Tabela 8. Distribuição média do consumo de energia direta por fonte

<b>Fonte de energia direta</b>	<b>Participação (%)</b>
Derivados de petróleo	68
Energia elétrica	16
Gás natural	12
GLP	3
Outras	1

Fonte: Adaptado de Doering (1980).

Fluck (1985) sugere que a medição pode ser feita multiplicando-se os custos da máquina pelo consumo energético ao longo da vida útil. Essa técnica tem sido utilizada para determinar o custo energético de reparos e manutenções das máquinas agrícolas. O autor propôs dois modelos descritos como “modelo de custo e reparos na vida útil” e “modelo dos custos de fabricação”. O primeiro é baseado no custo acumulado de reparos e manutenções ao longo da vida útil para cada tipo de máquina e o segundo na comparação de dados econômicos da indústria de tratores.

Doering (1980), Pimentel (1980) e Herendreen (1981) consideraram o total da energia agregada na fabricação e reparos para um trator de 97,5kW (130HP) em cerca de 418GJ. De acordo com Mello (2000), se considerado o preço de venda de um trator semelhante no Brasil e transformado esse valor em energia, o valor energético seria de 348GJ. O autor considera esta diferença 20% inferior possível devido àquelas estimativas terem sido feitas em 1980, quando a relação energia / PIB era menor que na época de seu trabalho.

Segundo BEN (2000), o consumo de energia na produção de tratores é da ordem de  $60\text{GJ.kg}^{-1}$  enquanto que edificações como prédios e oficinas são respectivamente de 11,34GJ e 7,14GJ por metro quadrado.

## 2.7 Sistemas mecanizados de colheita e eficiência energética

De acordo com Machado (2002), o sistema de colheita florestal pode ser definido como um conjunto de atividades para o fornecimento constante de madeira à fábrica, variando em função do relevo, do padrão e produção da floresta, sortimento e uso final da madeira e das máquinas e equipamentos disponíveis. Os sistemas podem ser classificados quanto à forma da madeira manipulada na fase de extração, do local de processamento e do grau de mecanização. Ainda segundo o autor, há várias máquinas disponíveis no mercado para as diversas operações de colheita, tendo – se como principais módulos totalmente mecanizados o “harvester” e “forwarder” para o sistema de toras curtas e o “feller – buncher”, “skidder” e processador para o sistema de toras longas.

Ainda segundo Machado (2002), “harvester” ou colhedora pode executar, simultaneamente, as operações de derrubada, desgalhamento, traçamento, descascamento e empilhamento da madeira. É composta por máquina base de pneus ou esteira, uma lança hidráulica e um cabeçote. O “feller-buncher” ou trator florestal cortador – acumulador consiste de um trator de pneus ou esteira com cabeçote que realiza o corte e o empilhamento de árvores. O “forwarder” é uma máquina projetada para ser utilizada no sistema de toras curtas, executando a extração da madeira. Possui um chassi articulado com tração tipo 4x4, 6x6 ou 8x8, e grua hidráulica usada no carregamento e descarregamento. O “skidder” é uma máquina projetada para trabalhar no sistema de toras longas, executando o arraste de feixes de fustes. É composto por máquina base de pneus ou esteira equipada com garra ou guincho. O “clambunk – skidder” também é uma máquina destinada ao arraste de feixes de fustes, no entanto diferencia-se por ter uma grua de carregamento que coloca toras ou fustes sobre uma garra invertida. O arraste é feito como nos demais “skidders”. O processador florestal é responsável pelo traçamento ou toragem da madeira no comprimento desejado. É composto por máquina base de pneus ou esteiras e um cabeçote com serra de acionamento hidráulico.

Seixas (1997) comparou os efeitos causados sobre a brotação do eucalipto pelas máquinas utilizadas no sistema mecanizado de colheita. No comparativo entre o módulo mecanizado, composto por “feller – buncher” e “skidder” e o módulo semi – mecanizado composto por motosserra e extração com caminhão, o sistema mecanizado causou maior impacto. Em levantamento semelhante comparou o sistema de toras curtas (“harvester” e “forwarder”) com o de toras longas (“feller – buncher” e “skidder”), concluindo sobre a vantagem do “harvester” sobre os demais equipamentos.

Segundo Seixas & Oliveira Junior (2001), no Brasil predominam dois sistemas utilizados na colheita florestal, cujos módulos foram desenvolvidos em função dos tipos de máquinas e manipulação da madeira, o sistema escandinavo “cut – to – length” (toras curtas) e o sistema norte americano “tree – length” (toras longas), tendo verificado que ambos os módulos de colheita podem provocar distúrbios ao solo dependendo das condições de umidade e do relevo. Os autores alertam para evitar a generalização do conceito de que o módulo “feller – buncher” e “skidder” cause mais danos que o “harvester” e “forwarder” em termos de compactação.

Segundo Cardoso (2004), a Veracel busca a redução de 35% nos custos de colheita modificando o módulo mecanizado do sistema de “toras curtas” para o de “toras longas”, mas somente será implementada se mantiver ou reduzir os níveis de impactos em relação ao atual processo. Os principais impactos considerados são a exportação de nutrientes, o teor de matéria orgânica no solo e a eficiência energética das operações, medido este último pelo consumo de combustíveis e lubrificantes em relação ao volume de madeira produzido ( $l.m^{-3}$ ).

A interface da colheita mecanizada com novos plantios busca a otimização dos recursos com a diminuição do consumo de energia (diesel, gasolina e óleo lubrificante) e diminuição da emissão de  $CO_2$  como forma de adequação aos processos de certificação, tais como; ISO 9001 (qualidade), ISO 14001 (ambiente), OHSAS 18001 (segurança e saúde ocupacional), CERFOR e FSC (manejo florestal) e Normas de Gestão Social (Cardoso, 2004 e Wojciechowski et al., 2004).

Vojciechovski et al. (2004), citam alguns indicadores utilizados nas empresas Masisa e Terranova, denominando-os de “indicadores ambientais de eco – eficiência” aplicados nas atividades de silvicultura e colheita, como forma de medição e controle do desempenho ambiental para essa adequação, são eles: consumo de energia (kWh), consumo de água (m<sup>3</sup>), rejeitos sólidos (t) e emissão de CO<sub>2</sub> (t).

Nota-se a preocupação de avaliar de algum modo a energia dispendida nas operações e relacioná-la como medida do desempenho ambiental nas atividades florestais. No entanto os trabalhos não têm focado para o impacto do dispêndio de energia das operações em cada sistema mecanizado utilizado na colheita de eucalipto.

De acordo com Makkonen (1989) embora o “skidder” apresente menor custo de operação, existem vantagens na utilização do “forwarder” quanto aos distúrbios no solo justamente pela diferença de operação, enquanto o primeiro arrasta a madeira o segundo carrega, minimizando o recalque do solo, conseqüentemente apresentando menor consumo de combustível e a possibilidade de se estender o período de trabalho em condições de solo com maior teor de água, situação na qual o tráfego do “skidder” estaria comprometida.

Soma-se a isso a possibilidade de aumentar a capacidade de carga do “forwarder” com caixas de carga expansíveis, aumentando-se a distância econômica de transporte primário da madeira e aumento da estabilidade da máquina pela redução do centro de gravidade. O aumento de carga relatado no estudo feito com “forwarder” timberjack 1410D equipado com dispositivo de carga variável “ALS – active load space” foi de 7% para toras destinadas à serraria e de 23% para madeira destinada à celulose, além de permitir velocidade média de deslocamento 5 a 10% maior, dependendo das condições do terreno (Seixas, 2003).

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

Foram montadas planilhas para o cálculo do dispêndio de energia das operações mecanizadas na atividade de colheita em dois sistemas, “toras curtas” e “toras longas”, e analisadas conforme a demanda de energia para a sua realização, considerando-se uma floresta de eucalipto padrão do setor de celulose e papel, com atividades mecanizadas e produção de  $300\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$  de madeira ao final de sete anos.

Os dados de capacidade operacional, consumo de combustível e insumos representam o desempenho de vinte e sete máquinas, que juntas trabalharam 88.384 horas, colhendo 7.268.729 metros cúbicos de madeira os quais foram coletados em visitas e consultas às empresas Cenibra, Duratex, Ripasa e Votorantim no ano de 2003 e 2004, na região Sudeste compreendendo os Estados de São Paulo e Minas Gerais, na qual encontram-se as áreas de plantio das empresas estudadas.

A primeira etapa trata da caracterização dos procedimentos adotados para a atividade de formação da floresta, considerando-se as atividades de viveiro na formação da muda, de preparo do solo e plantio, de condução da floresta (Anexo A). Para as atividades de silvicultura foram utilizados dados coletados em visita a Ripasa com relação ao parque florestal de Ibiti apresentado no Anexo B. Na segunda etapa o mesmo foi feito sobre a forma representativa das atividades e operações para colher um hectare de eucalipto (Anexos C, D e E).

Os dados médios considerados de cada empresa referem-se aos anos de 2003 e 2004, contabilizando a média geral da produtividade das máquinas que compõem os módulos mecanizados nas regiões e desempenhos nos diversos tipos de relevo, mas com padrão de floresta semelhante ( $0,18 \text{ m}^3 \text{ árvore}^{-1}$ ). As máquinas foram agrupadas de acordo com a potência, massa e sistema de colheita obtendo-se a média geral do

desempenho em cada módulo para evitar comparações de capacidade operacional entre as marcas comerciais ou de produtividade entre empresas.

### **3.1 Materiais**

A energia direta considerada foi classificada como: a biológica do trabalho humano, a energia do combustível e a energia dos corretivos e agroquímicos. Foi considerada energia indireta a depreciação energética das máquinas, implementos e edificações. Dependendo da atividade algumas entradas foram detalhadas, como foi o caso do viveiro de mudas, onde a depreciação da infra – estrutura foi importante para a análise da energia agregada nas mudas.

Tratores e máquinas foram considerados como produtos manufaturados, que tiveram um consumo de energia para serem construídos, e ao contabilizá-los foram consideradas as horas gastas e a massa do trator utilizado na operação. Assim, pode-se considerá-los como depreciação da energia indireta gasta.

#### **3.1.1 Descrição do viveiro de mudas**

O detalhamento das operações do viveiro de mudas foi necessário por não haver na bibliografia dados sobre do consumo específico de energia da atividade de produção de mudas. Serra et. al., (1979) não detalharam o processo de produção de mudas, mas enfatizaram a necessidade de se fazê-lo para o setor florestal.

Os cálculos analíticos do consumo energético da produção de mudas foram organizados em planilha conforme exemplo dado no Agriannual (2004) e considerado o viveiro com capacidade média de 20 milhões de mudas anuais no sistema de linha de montagem conforme citado por Zani Filho et al. (1989).

Na produção das mudas foram compilados os dados de Agriannual (2004), Lopes (2004) e de Zani Filho et al. (1989) considerando-se as quantidades de insumos e de estrutura física para se produzir um milheiro de mudas no período médio de 90 dias e vida útil dos componentes de 5 anos, cujos detalhes são descritos a seguir.

**a) Estrutura física:** casa de germinação com 2,8m de pé direito usando-se tela plástica 30% de sombra, mesas com telas metálicas a 0,80m de altura do solo de 1,60 x 1,10m, com capacidade para 1240 mudas e lotação de 25% total de 310 plantas por mesa (Lopes, 2004).

**b) Irrigação:** feitas automaticamente com auxílio de aspersores de PVC na vazão de  $2,0 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$  para atingir lâmina diária média de 10mm, pelo bombeamento com motor elétrico fracionário bifásico de 2,2kW (3CV) e massa 24,9kg. Tempo de funcionamento de 2h por dia, 227 dias no ano totalizando consumo de 1MW de energia elétrica (Zani Filho et al., 1989).

**c) Insumos:** tubetes de propileno com volume de  $55\text{cm}^3$  em bandejas 60x40cm (176 tubetes) na fase de germinação e telas metálicas na fase de desenvolvimento. O substrato é composto por mistura de casca de pinus, turfa e vermiculita. A adubação de base é feita usando-se fertilizante de liberação lenta Osmocote formulação 10.15.10 e dose  $4\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$  ( $3,3\text{kg}\cdot\text{milheiro}^{-1}$ ). Para adubação de cobertura usou-se fertirrigação na última lâmina de 2mm nestas doses e formulações respectivamente: aos 85 dias após a semeadura  $3,0\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$  de nitrato de cálcio,  $1,0\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$  de sulfato de amônia,  $1,0\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$  de nitrato de potássio e  $1,2\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$  de sulfato de magnésio. Aos 100 dias após a semeadura foram aplicados  $0,69\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$  e  $0,42\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$  de cálcio (Lopes, 2004).

Foram consideradas as seguintes concentrações dos nutrientes nestas formulações:

- Cloreto de potássio:                    61% de  $\text{K}_2\text{O}$  e                    13% de  $\text{P}_2\text{O}_5$ .
- Nitrato de cálcio:                    14% de N e                    19% de Ca.
- Sulfato de amônio:                    19% de N e                    23% de S.
- Sulfato de magnésio:                    10% de Mg e                    14% de S.

### 3.1.2 Descrição das atividades de Silvicultura

As atividades silviculturais foram agrupadas em três importantes categorias, sendo: a) preparo do solo, b) transplante e c) manejo e condução da floresta até os 7 anos de idade. O detalhamento das operações é descrito a seguir.

*a) Preparo do solo:* A operação é mecanizada com trator de pneus (TP) no preparo e correção do solo, compreendendo também as operações manuais de controle de pragas com utilização de dosador e auxílio de trator com carreta, utilizada para reabastecimento de corretivos.

*b) Transplante:* considerou-se a operação mecanizada de transplante com utilização do implemento transplantador de linha simples acoplado ao trator de pneus, auxiliado por conjunto trator mais carreta, no reabastecimento das mudas.

*c) Manejo:* foram consideradas as operações mecanizadas na manutenção de aceiros, na capina química e na adubação de cobertura ao longo dos anos até o corte.

### 3.1.3 Descrição da colheita

O sistema de toras curtas considerado é composto por módulo de “harvester” máquina base Volvo (19,5t de massa e potência de 160kW) e “forwarder” máquina base Timberjack 1210B (19,5 t e 160kW). No sistema de toras longas o módulo tem como máquinas “feller – buncher” Timberjack 608L (27,2t e 180kW), “clambunk – skidder” Timberjack 1710 (19,5t e 160kW) e Garra traçadora Timberjack 608B (27,1t e 180kW).

O módulo típico no sistema de toras curtas é composto pelas máquinas ilustradas na Figura 2. O “harvester” corta e processa cada árvore individualmente dentro da área, deixando o resíduo e as toras distribuídos em faixas. O “forwarder” faz a extração das toras empilhando-as na margem do carreador.



(a) “harvester”



(b) “forwarder”

Figura 2 – Máquinas utilizadas na colheita mecanizada no sistema de toras curtas, (a) “harvester” e (b) “forwarder”

O módulo típico no sistema de toras longas é composto pelas máquinas ilustradas na Figura 3. A seqüência das operações é iniciada pelo “feller – buncher” que corta e acumula, em seu cabeçote de corte, as árvores e em seguida as deposita em feixes ao longo da área. O arraste desses feixes é feito pelo “clambunk – skidder” até a margem do carreador onde são processadas pela garra traçadora empilhando as toras ao longo dos carreadores.



(a) “feller – buncher”



(b) “clambunk”



(c) garra traçadora

Figura 3 – Máquinas utilizadas na colheita mecanizada no sistema de toras longas, (a) “feller – buncher”, (b) “clambunk” e (c) garra traçadora

### **3.1.4 Descrição do transporte principal**

Nesta atividade foram consideradas as operações de carregamento e descarregamento, respectivamente no campo e na fábrica com carregadores de 27,1 t de massa e 180kW de potência. O transporte rodoviário foi realizado com composição veicular combinada (CVC) denominada bitrem, composto por caminhão trator e dois semi – reboques acoplados, com sete eixos no total (22,0 t de tara e 300kW de potência). O desempenho e a capacidade foram calculados para uma distância média de 120km e peso bruto total combinado – PBTC de 57t. O ponto de carregamento são nas estradas ou carreadores principais e os desempenhos foram estimados a partir dos dados de Seixas & Oliveira Junior (2004).

### **3.2 Métodos**

Nesta análise as entradas de energia foram classificadas e quantificadas, conforme a fonte, considerando-se as características das máquinas, desempenho operacional por operação, com máquinas e com mão de obra, além do consumo de combustível e insumos utilizados em cada atividade do empreendimento florestal conforme esquematizado no organograma da Figura 4.

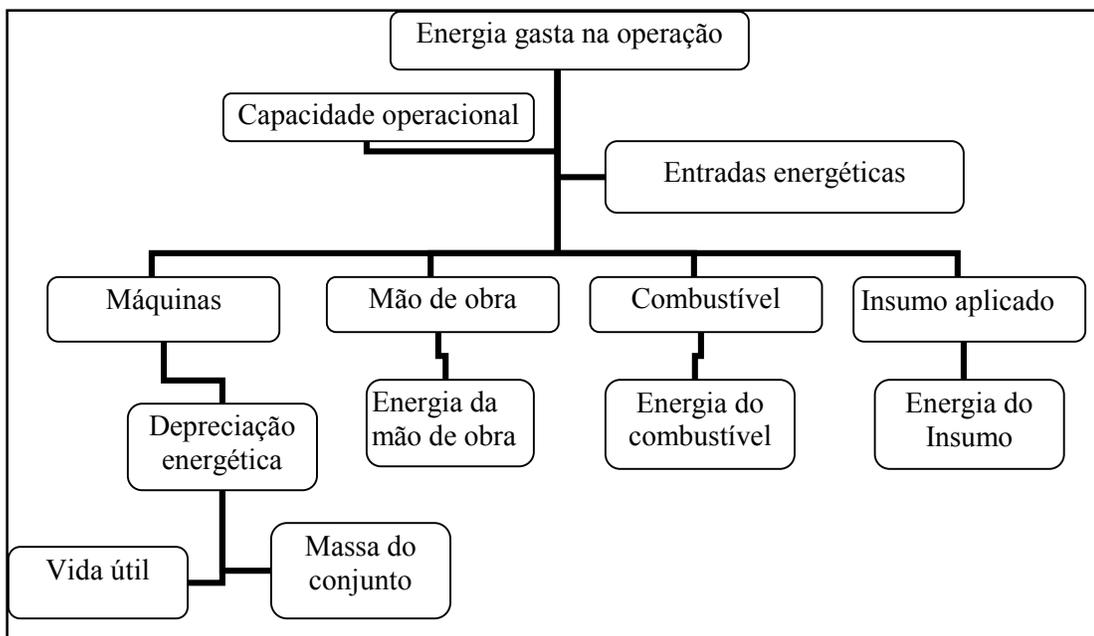


Figura 4 – Organograma do dispêndio energético da operação

Os cálculos de conversão foram classificados conforme o fluxo das entradas de energia externa em energia direta e energia indireta. A atividade de silvicultura do eucalipto foi considerada para calcular a energia total investida na cultura. Para as atividades de implantação e manejo foram consideradas além de operações mecanizadas, também algumas manuais, sendo os dados expressos em unidades de energia por hectare e as operações de colheita e transporte expressos em unidades de energia por metro cúbico de madeira.

### 3.2.1 Cálculos para conversão em energia

As conversões energéticas foram feitas por dois métodos matemáticos (equações e matrizes) conforme a metodologia utilizada por Sartori & Basta (1999). Buscou-se com isso validar para o setor florestal, a eficácia da metodologia recomendada pelos autores.

### 3.2.1.1 Método matricial

Para o cálculo matricial, as entradas de energia foram organizadas no vetor denominado “vetor entradas”, que corresponde às intensidades energéticas de cada fluxo de energia. Já o tempo operacional ( $\text{h.ha}^{-1}$ ) e consumo de combustível ( $\text{l.ha}^{-1}$ ) e de outros insumos ( $\text{l.ha}^{-1}$ ;  $\text{kg.ha}^{-1}$  ou  $\text{un.ha}^{-1}$ ) foram organizados na matriz, denominada “matriz consumo”. Multiplicando-se o vetor de entradas energéticas pela matriz consumo tem-se como resultado um vetor com os valores do dispêndio energético em cada atividade, podendo ser expressos em unidades de energia por metro cúbico ou por hectare ( $\text{J.m}^{-3}$  ou  $\text{J.ha}^{-1}$ ). O exemplo da Figura 5 mostra como foram organizados os dados do vetor entradas e da matriz consumo.

Vetor entradas · Matriz consumo = Vetor resposta								
	mão de obra	máquinas	diesel	herbicida	formicida	base	cobertura	mudas
Vetor entradas	(MJ.h <sup>-1</sup> )	(MJ.h <sup>-1</sup> )	(MJ.l <sup>-1</sup> )	(MJ.l <sup>-1</sup> )	(MJ.kg <sup>-1</sup> )	(MJ.kg <sup>-1</sup> )	(MJ.kg <sup>-1</sup> )	(MJ.un <sup>-1</sup> )
	preparo	transplante	manejo					
Mão de obra	(h.ha <sup>-1</sup> )	(h.ha <sup>-1</sup> )	(h.ha <sup>-1</sup> )					
Máquinas	(h.ha <sup>-1</sup> )	(h.ha <sup>-1</sup> )	(h.ha <sup>-1</sup> )					
Diesel	(l.ha <sup>-1</sup> )	(l.ha <sup>-1</sup> )	(l.ha <sup>-1</sup> )					
Herbicida	(l.ha <sup>-1</sup> )	(l.ha <sup>-1</sup> )	(l.ha <sup>-1</sup> )					
Formicida	(kg.ha <sup>-1</sup> )	(kg.ha <sup>-1</sup> )	(kg.ha <sup>-1</sup> )					
Adubo base	(kg.ha <sup>-1</sup> )	(kg.ha <sup>-1</sup> )	(kg.ha <sup>-1</sup> )					
Adubo cobertura	(kg.ha <sup>-1</sup> )	(kg.ha <sup>-1</sup> )	(kg.ha <sup>-1</sup> )					
Mudas	(un.ha <sup>-1</sup> )	(un.ha <sup>-1</sup> )	(un.ha <sup>-1</sup> )					
Vetor resposta	(MJ.ha <sup>-1</sup> )	(MJ.ha <sup>-1</sup> )	(MJ.ha <sup>-1</sup> )					
Total silvicultura	(MJ.ha <sup>-1</sup> )							

Figura 5 – Entrada dos dados organizados no vetor e na matriz

### 3.2.1.1 Método analítico

Para o método analítico as equações de cálculo são apresentadas nos tópicos a seguir. Em cada situação utilizaram-se os dados de intensidade energética citados.

#### Trabalho humano

O trabalho humano foi considerado na sua forma física em termos de energia gasta em cada tipo de operação, utilizando-se valores médios dos trabalhos feitos por diversos autores (Serra et al., 1978; Serra et al., 1979; Seixas, 1991; Sartori & Basta, 1999). A intensidade energética média do trabalho humano considerado foi de  $2,2\text{MJ}\cdot\text{h}^{-1}$  calculado pela equação 4 da seguinte maneira:

$$E_{mo} = \frac{IE_{mo}}{CO_{mo}} \quad (4)$$

$E_{mo}$  = entrada energética com mão-de-obra ( $\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$ )

$IE_{mo}$  = intensidade energética do trabalho humano ( $\text{MJ}\cdot\text{h}^{-1}$ )

$CO_{mo}$  = capacidade de campo operacional ( $\text{ha}\cdot\text{h}^{-1}$ ) ou ( $\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$ )

#### Máquinas e equipamentos

Foram caracterizadas as máquinas, os implementos, o número de horas trabalhadas, a potência, o consumo de combustível e de lubrificante. O cálculo do consumo de energia da operação foi feito através da equação 5.

$$E_{ma} = \frac{IE_{ma}}{CO_{ma}} \quad (5)$$

$E_{ma}$  = entrada energética com máquinas ( $\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) ou ( $\text{MJ}\cdot\text{m}^{-3}$ ).

$IE_{ma}$  = intensidade energética das máquinas ( $\text{MJ}\cdot\text{h}^{-1}$ ).

$CO_{ma}$  = capacidade de campo operacional ( $\text{ha}\cdot\text{h}^{-1}$ ) ou ( $\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$ ).

As entradas de energia para o cálculo de depreciação energética das máquinas foram assim denominadas; energia contida na matéria prima usada ( $E_{\text{contida}}$ ), energia agregada na fabricação ( $E_{\text{fabric}}$ ), energia agregada por reparos e manutenções ( $E_{\text{RM}}$ ) e coeficiente de ajuste pela vida útil da máquina ( $E_{\text{ajuste}}$ ). Os dados de desempenho operacional, capacidade produtiva, eficiências, bem como consumo de combustível obtidos em cada empresa foram agrupados em médias e feitos os cálculos de depreciação energética conforme proposto por Doering (1980) na equação 6.

$$IE_{ma} = (Ef + Em + Er) \cdot m \cdot 0,333 \cdot RM \cdot Vu_{0,82} \quad (6)$$

$IE_{ma}$  = intensidade energética para as máquinas ( $\text{MJ.h}^{-1}$ ).

$Ef$  = valor do consumo energético utilizado para fabricação ( $\text{MJ.kg}^{-1}$ ).

$Em$  = valor energético do material utilizado ( $\text{MJ.kg}^{-1}$ ).

$Er$  = energia gasta com reparos e manutenção ( $\text{MJ.kg}^{-1}$ ).

$m$  = massa (kg).

$Vu_{0,82}$  = 82% de vida útil (h)

$RM$  = coeficiente de correção para reparos e manutenções

## Insumos

**Fertilizantes e corretivos:** as entradas energéticas foram calculadas pela equação 7 e separados de acordo com sua fonte, tendo-se os nitrogenados, fosfatados e potássicos. Foram utilizadas as estimativas energéticas para os fertilizantes de acordo com a metodologia de Engelstad (1985). Para o calcário foi utilizado dado de Serra et al. (1979) e o método desenvolvido por Macedônio & Picchioni (1985). Os valores adotados são resumidos a seguir:

1. Nitrogênio (N)	105,0MJ.kg <sup>-1</sup>
2. Fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	13,0MJ.kg <sup>-1</sup>
3. Potássio (K <sub>2</sub> O)	6,7MJ.kg <sup>-1</sup>
4. Calcário	1,7MJ.kg <sup>-1</sup>

$$E_{fert} = IE_{fert} \cdot D_i \quad (7)$$

$E_{fert}$  = entrada energética para os fertilizantes (MJ.ha<sup>-1</sup>).

$IE_{fert}$  = Intensidade energética dos fertilizantes (MJ.kg<sup>-1</sup>)

D = Dose ou Quantidade aplicada (kg.ha<sup>-1</sup>)

i = tipo de fertilizante ou corretivo

**Defensivos:** foi considerado o produto aplicado em cada etapa da produção, utilizando-se metodologia adotada por Serra et al. (1979) e Pimentel (1980). O cálculo dessa entrada foi feito pela equação 8.

1. herbicida	420,0MJ.kg <sup>-1</sup>
2. inseticida	365,0MJ.kg <sup>-1</sup>
3. formicida	194,0MJ.kg <sup>-1</sup>
4. fungicida	308,0MJ.kg <sup>-1</sup>

$$E_{def} = IE_{def} \cdot D_i \quad (8)$$

$E_{def}$  = Entrada energética para os defensivos (MJ.ha<sup>-1</sup>).

$IE_{def}$  = Intensidade energética dos defensivos (MJ.kg<sup>-1</sup>).

D = Dose (ingrediente ativo) do produto utilizado (kg.ha<sup>-1</sup>).

i = tipo de defensivo

**Combustível:** a entrada de energia devido ao consumo de combustível foi calculada pela equação 9, conforme o tipo e desempenho da máquina em cada operação.

$$E_{comb} = IE_{comb} \cdot C \cdot CO \quad (9)$$

$E_{comb}$  = Entrada energética do combustível (MJ.ha<sup>-1</sup>).

$IE_{comb}$  = Intensidade energética do combustível utilizado (MJ.l<sup>-1</sup>).

$C$  = combustível consumido (l.m<sup>-3</sup>).

$CO$  = Capacidade operacional (ha.h<sup>-1</sup>) ou (m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup>).

**Mudas:** Foram feitas avaliações do viveiro calculando-se o valor agregado de energia nas mudas de acordo com a quantidade de insumos usados para se produzir um milheiro. A energia agregada pelas mudas na atividade de transplante foi calculada pela equação 10.

$$E_{mu} = IE_{mu} \cdot d \quad (10)$$

$E_{mu}$  = Entrada energética das mudas (MJ.ha<sup>-1</sup>)

$IE_{mu}$  = Intensidade energética das mudas (MJ.muda<sup>-1</sup>).

$d$  = densidade do plantio (mudas.ha<sup>-1</sup>)

## **4 RESULTADOS**

A análise descritiva do consumo de energia nas operações em cada atividade é apresentada a seguir. Inicia-se pela atividade de mudas no viveiro, depois a atividade de silvicultura, a colheita mecanizada, enfatizando-se os sistemas tora curta e tora longa, e, finalmente, a atividade de transporte rodoviário. Os resultados referem-se ao dispêndio energético nas atividades para se produzir, conduzir, colher e transportar um hectare de eucalipto.

### **4.1 Cálculo analítico da atividade do viveiro**

A energia agregada nas mudas devido à atividade do viveiro na produção de mudas e os dados de consumo energético das operações e insumos são apresentados na Tabela 9.

Para a produção de um milheiro de mudas de eucalipto nesta simulação foram necessários 772MJ, ou seja, 0,772MJ por muda. Os insumos tiveram a participação de 94,2% do dispêndio energético, mão de obra e máquinas os 5,8% restantes. O principal componente de insumos foi o adubo nitrogenado (36,4%), mas a energia indireta agregada nas mesas de aço (Tabela 9) também teve grande participação (26,2%).

Tabela 9. Investimento energético na atividade de produção de mudas no viveiro

Fluxos		Consumo de insumos por milheiro				Energia		
Insumos	(un.mil <sup>-1</sup> )	preparo	semeadura	manutenção	expedição	(MJ.mil <sup>-1</sup> )	(%)	
Sementes	kg	0,01				0,024	0,0	
Osmocote	kg	2,2				37,0	4,8	
Micronutrientes	kg	0,3				14,2	1,8	
Nitrogenados	kg	3,3	0,33			280,8	36,4	
Fosfatados	kg	0,2	0,22	0,15	0,25	2,8	0,4	
Potássicos	kg	3,3	0,22	0,15	0,04	0,26	36,5	4,7
Cálcio	kg	1,0	1,0	1,7	0,02	0,06	8,9	1,2
Herbicida	l	0,003		0,01			5,5	0,7
Inseticida	kg	0,03		0,03			21,9	2,8
Formicida	kg			0,001			0,2	0,0
Fungicidas	kg			0,02	0,02		12,3	1,6
Diesel	l	0,3					11,4	1,5
Mesas de aço	kg	3,2					202,4	26,2
Vermiculita	kg	14					0,6	0,1
Sombrite	kg	1,43					13,6	1,8
Plástico	kg	7,14					67,9	8,8
Tubetes	kg	0,79					7,5	1,0
Bandeja	kg	0,32					3,1	0,4
Eletricidade	kWh	0,05					0,6	0,1
Substrato	kg	20,0	1,0				0,5	0,1
Subtotal							727,4	94,2
Mão de obra								
Simples	h	0,16	0,24	0,24	0,5		2,5	0,3
Qualificada	h	0,01	0,01	0,01	0,01		0,1	0,0
Subtotal							2,6	0,3
Máquinas								
Trator + carreta	h	0,01	0,01	0,01	0,01		0,2	0,0
Caminhão	h	0,06				0,1	4,1	0,5
Bomba/irrigação	h	1,67	1,67	1,67	1,0		37,7	4,9
Subtotal							42,0	5,4
TOTAL	MJ						772,0	100

un.mil<sup>-1</sup> = unidades por milheiro de mudasMJ.mil<sup>-1</sup> = mega joule por milheiro

## 4.2 Cálculo analítico das atividades de Silvicultura

Os dados utilizados para os cálculos analítico e matricial de dispêndio energético das operações em cada atividade são apresentados na Tabela 10 a seguir, conforme a característica de cada operação, desempenho e consumo de insumos.

Tabela 10. Descrição, consumo e desempenho das operações na atividade silvicultural

Atividade	Operações	Máquinas	TOmo (h.ha <sup>-1</sup> )	TOmaq (h.ha <sup>-1</sup> )	Diesel (l.ha <sup>-1</sup> )	insumos	
						produto	(un.ha <sup>-1</sup> ) (un)
Preparo solo	controle de formigas	TP 58kW + carreta	0,5	0,5	4,0		
		dosador	8,0			formicida	4 kg
	subsolagem	TP 120kW + escarificador	1,20	1,2	16,8		
	adubação					06:30:06	340 kg
	aplicação herbicida					herbicida	2 l
	subtotal		9,7	1,7	20,8		
Transplante	transplântio mecaniz	TP 100kW + transplantadora	8,0	8,0	96,0		
		TP 58kW + carreta	0,5	0,5	4,0	mudas	1667 un
	combate formiga	dosador	8,0			formicida	4 kg
		TP 58kW + carreta	0,5	0,5	4,0		
	irrigação	TP 58kW + carreta	0,2	0,2	1,6	água	1667 l
	transplântio 30dias	chucho	8,0			mudas	333 un
		TP 58kW + carreta	0,5	0,5	4,0		
	subtotal		25,7	9,7	109,6	total mudas	2000 un
Manejo	aceiros	TP 120kW	0,5	0,5	7,0		
	capina quimica	TP 100kW	1,2	1,2	14,4	herbicida	2 l
	adubação cobertura	TP 100kW	1,2	1,2	14,4	10:00:10	240 kg
	combate formiga	dosador	8,0			formicida	2 kg
	subtotal		10,9	2,9	35,8		
	Total		46,3	14,3	166,2		

Fonte: Ripasa S/A (2003).

TOmo = Tempo operacional com mão de obra

Produtividade = 50m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>

TOmaq = Tempo operacional com máquinas

TP = trator de pneus

Na Tabela 11 são apresentados os dispêndios energéticos para as operações dentro da atividade de silvicultura adotando-se plantio mecanizado. As entradas de energia foram classificadas em energia da mão de obra ( $E_{mo}$ ), das máquinas ( $E_{ma}$ ), do combustível ( $E_{comb}$ ) e dos insumos ( $E_{insumo}$ ) de acordo com os consumos de cada item por hectare.

Tabela 11. Investimento energético das atividades de silvicultura mecanizada

<b>Atividades</b>	<b><math>E_{mo}</math></b> <b>(MJ.ha<sup>-1</sup>)</b>	<b><math>E_{ma}</math></b> <b>(MJ.ha<sup>-1</sup>)</b>	<b><math>E_{comb}</math></b> <b>(MJ.ha<sup>-1</sup>)</b>	<b><math>E_{insumo}</math></b> <b>(MJ.ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>TOTAL</b> <b>(MJ.ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>(%)</b>
Preparo do solo	21,3	20,9	791,0	5180,9	6014,1	33,4
Transplante	56,5	118,8	4154,4	2321,7	6651,4	37,0
Manejo e cultivo	24,0	35,6	1361,4	3909,2	5330,2	29,6
Total	101,9	175,3	6306,8	11411,7	17995,6	100

$E_{mo}$  = entradas energéticas pela mão de obra

$E_{ma}$  = entradas energéticas pelas máquinas

$E_{comb}$  = entradas energéticas pelo uso de diesel

$E_{insumo}$  = entradas energéticas pelo uso de insumos

O resultado final de 17.995,6MJ.ha<sup>-1</sup> representou um investimento médio de 2570,8MJ.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> na fase silvicultural. O maior investimento energético foi na atividade de transplante, devido a baixa produtividade do conjunto trator mais transplantadora e a de menor investimento foi a atividade de manejo e cultivo.

Se consideradas as formas de energia média investida na atividade de silvicultura, verificou-se que a mão de obra representou a menor participação no dispêndio de energia, 0,6% do total, a depreciação energética das máquinas 1,0%, o combustível cerca de 35,0% e os insumos (fertilizantes, herbicidas e formicidas), a grande parte, com 63,4%. Considerando-se o valor das mudas como item insumo, estas representaram 60,6% do consumo energético na atividade de transplante.

### 4.3 Cálculo matricial das atividades de silvicultura

A Figura 6 mostra o resultado do cálculo pelo método matricial na atividade de silvicultura conforme as formas de energia.

	mão de obra	máquinas	diesel	herbicida	formicida	base	cobertura	mudas
Vetor entrada	2,2	12,2	38	420	194	10,6	11,17	0,77
Matriz consumo								
Mão de obra	9,7	25,7	10,9					
Máquinas	1,7	9,7	2,9					
Diesel	20,8	109,6	35,8					
Herbicida	2,0	0	2,0					
Formicida	4,0	4,0	2,0					
Adubo base	340	0	0					
Adubo cobertura	0	0	240					
Mudas	0	2000	0					
	preparo	transplante	manejo					
Vetor resposta (MJ.ha <sup>-1</sup> )	6053	6660	5329					
Total silvicultura (MJ.ha <sup>-1</sup> )	18042							

Figura 6 – Cálculo matricial para as atividades de silvicultura

Pelo método do cálculo matricial o total de energia investido na atividade silvicultura foi de 18.042MJ.ha<sup>-1</sup>, cerca de 2.577MJ.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>. Considerando-se uma produção final de 300m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup> de madeira, o dispêndio de energia equivale a 60,14MJ.m<sup>-3</sup>.

#### 4.4 Cálculo analítico da atividade de colheita

Os resultados da capacidade operacional das máquinas são apresentados na Tabela 12 considerando-se esses valores para os dois métodos de cálculo. Os valores representam a média de produtividade das máquinas a partir dos dados coletados nas empresas, levando-se em consideração o mesmo padrão da floresta e volume médio por árvore de 0,18 m<sup>3</sup> considerando-se as diferentes marcas e modelos de máquinas pesquisadas.

Tabela 12. Capacidade operacional e consumo das máquinas em cada sistema de colheita

Sistema	Operação	Máquina	CO (m <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup> )	Diesel (l.h <sup>-1</sup> )
Toras curtas	Corte e processo	“Harvester”	35,36	17,85
	Extração	“Forwarder”	42,76	17,10
Toras longas	Corte	“Feller – buncher”	86,22	32,78
	Extração	“Clambunk – skidder”	78,44	24,42
	Processo	Garra traçadora	44,00	14,52

CO = Capacidade Operacional

As máquinas utilizadas em cada sistema de colheita foram depreciadas em termos de energia agregada, contabilizando-se a matéria prima usada, a energia consumida na fabricação, com reparos e manutenções ao longo da vida útil. Foram considerados nos cálculos a massa e potência das máquinas e seu uso anual, conforme metodologia proposta por Doering (1980) e descrita pela equação 5. O resultado desses cálculos é apresentado na Tabela 13 a seguir, tendo-se a energia agregada por hora de utilização dessas máquinas.

Os resultados mostram que as máquinas de maior potência apresentaram maior valor de energia agregada por hora, principalmente em função da maior massa. Essa

diferença nos dados de depreciação energética foi considerada nas entradas de energia utilizadas em ambos os tipos de cálculos.

Tabela 13. Depreciação energética das máquinas utilizadas na colheita mecanizada

Máquina	Massa (t)	Potência (kW)	V.útil (anos)	Uso (h.ano <sup>-1</sup> )	E <sub>contida</sub> (MJ.h <sup>-1</sup> )	E <sub>fábric</sub> (MJ.h <sup>-1</sup> )	E <sub>RM</sub> (MJ.h <sup>-1</sup> )	ajuste (MJ.h <sup>-1</sup> )	Total (MJ.h <sup>-1</sup> )
“Harvester”	19,5	160	5	6000	32,7	9,5	10,4	34,6	45,0
“Forwarder”	19,5	160	5	6000	32,7	9,5	10,4	34,6	45,0
“Feller”	27,2	180	5	6000	45,5	13,2	14,5	48,2	62,7
“Clambunk”	19,5	160	5	6000	32,7	9,5	10,4	34,6	45,0
Garra	27,1	180	5	6000	44,8	13,2	14,3	47,6	61,9
Carregador	27,1	180	5	4000	33,6	8,0	10,3	34,1	46,4
Caminhão	22,0	300	8	4000	34,0	8,2	6,5	34,6	41,1

E<sub>contida</sub> = energia agregada na matéria prima      E<sub>fábric</sub> = energia agregada na fabricação

E<sub>RM</sub> = coeficiente de energia para reparos e manutenções

#### 4.4.1 Sistema de toras curtas

O consumo energético no sistema de colheita mecanizada de toras curtas é apresentado na Tabela 14. Foram consideradas as capacidades de operação das máquinas conforme o módulo de operações caracterizado no item 3.1.2.

Tabela 14. Investimento energético na atividade de colheita no sistema de toras curtas

Operação	Máquina	Emo (MJ.m <sup>-3</sup> )	Ema (MJ.m <sup>-3</sup> )	Ecomb (MJ.m <sup>-3</sup> )	Total (MJ.m <sup>-3</sup> )
Corte e processo	“Harvester”	0,06	1,27	19,13	20,47
Extração	“Forwarder”	0,05	1,05	15,16	16,26
<b>Total</b>		<b>0,11</b>	<b>2,33</b>	<b>34,29</b>	<b>36,73</b>

Emo = entradas energéticas pela mão de obra      Ema = entradas energéticas pelas máquinas

Ecomb = entradas energéticas pelo uso de diesel

Nesta atividade foi necessário o investimento energético de 36,73MJ para se colher um metro cúbico de madeira. Desse total a energia agregada pela mão de obra (Emo) representou apenas 0,3%, enquanto que pelas máquinas (Ema) 6,3% e pelo combustível (Ecomb) 93,4%. Se considerada a produção de  $300\text{m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$ , isto representou um consumo energético de  $11.020\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$ .

#### 4.4.2 Sistema de toras longas

Na Tabela 15 é apresentado o resultado do consumo energético no sistema de colheita mecanizada toras longas.

Tabela 15. Investimento energético na atividade de colheita no sistema de toras longas

<b>Operação</b>	<b>Máquina</b>	<b>Emo</b> (MJ.m <sup>-3</sup> )	<b>Ema</b> (MJ.m <sup>-3</sup> )	<b>Ecomb</b> (MJ.m <sup>-3</sup> )	<b>Total</b> (MJ.m <sup>-3</sup> )
Corte	“Feller – buncher”	0,03	0,73	14,41	15,16
Extração	“Clambunk – skidder”	0,03	0,57	11,80	12,40
Processo	Garra traçadora	0,05	1,41	12,51	13,97
<b>Total</b>		<b>0,10</b>	<b>2,71</b>	<b>38,72</b>	<b>41,53</b>

Emo = entradas energéticas pela mão de obra Ema = entradas energéticas pelas máquinas

Ecomb = entradas energéticas pelo uso de diesel

O investimento energético no sistema tora longa foi de  $41,53\text{MJ}\cdot\text{m}^{-3}$ . A distribuição relativa da energia agregada de acordo com o fluxo externo, teve a participação de 0,2%, 6,5% e 93,2% para mão de obra, máquinas e combustível respectivamente. Considerando-se a produção de  $300\text{m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$ , isto representou um dispêndio energético total de  $12.460\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$ .

#### 4.5 Cálculo analítico da atividade de transporte

Os dados para os cálculos desta atividade são apresentados na Tabela 16.

Tabela 16. Desempenho das operações de transporte rodoviário e de cargas

<b>Operação</b>	<b>Máquina</b>	<b>CO (m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup>)</b>	<b>Diesel (l.h<sup>-1</sup>)</b>
Carga / descarga	Garra estacionária	57,2	18,50
Transporte principal	Veículo Bitrem 255kW	6,9	6,48

Fonte: Seixas & Oliveira Junior (2004).

CO = Capacidade Operacional

O investimento energético na atividade de transporte modal rodoviário considerando-se a composição veicular combinada – CVC, denominado Bitrem é apresentado na Tabela 17.

Tabela 17. Investimento energético na carga e no transporte rodoviário

<b>Operação</b>	<b>Máquina</b>	<b>E<sub>mo</sub> (MJ.m<sup>-3</sup>)</b>	<b>E<sub>ma</sub> (MJ.m<sup>-3</sup>)</b>	<b>E<sub>comb</sub> (MJ.m<sup>-3</sup>)</b>	<b>Total (MJ.m<sup>-3</sup>)</b>
Carga / descarga	Carregador	0,04	0,81	12,26	13,11
Deslocamento	Veículo Bitrem	0,32	5,95	35,65	41,92
<b>TOTAL</b>		<b>0,36</b>	<b>6,77</b>	<b>47,91</b>	<b>55,03</b>

E<sub>mo</sub> = entradas energéticas pela mão de obra    E<sub>ma</sub> = entradas energéticas pelas máquinas

E<sub>comb</sub> = entradas energéticas pelo uso de diesel

A atividade de transporte apresentou o valor de 55,03MJ.m<sup>-3</sup>, sendo 76,2% devido ao deslocamento até a fábrica e 23,8% devido ao carregamento e descarregamento. A distribuição da energia agregada conforme o fluxo foi de 0,6% pela mão de obra (E<sub>mo</sub>), 12,3% pelas máquinas (E<sub>ma</sub>) e 87,1% pelo combustível (E<sub>comb</sub>). Representou 16.509MJ.ha<sup>-1</sup> se considerada a mesma produção da floresta citada na atividade de colheita.

Dessa forma o total de energia consumida somando-se a atividade de colheita e transporte pelo método de equações foi de 91,76MJ.m<sup>-3</sup> para o sistema de toras curtas e de 96,56MJ.m<sup>-3</sup>, para o sistema de toras longas.

#### 4.6 Cálculo matricial das atividades de colheita e transporte

As entradas da matriz e do vetor consumo são mostradas na Figura 7. O vetor resposta indica o dispêndio energético por tipo de máquina usada e para se obter o valor final de cada módulo é feito a soma desses valores conforme a máquina utilizada na operação. O mesmo é apresentado para a atividade de transporte considerando-se as operações de carregamento e descarregamento como sendo uma única de carga. Os valores expressam o dispêndio de energia para se manipular um metro cúbico de madeira.

Entradas de energia do fluxo externo									
	mão de obra	harvester	forwarder	feller	clambunk	traçador	carga	transporte	diesel
Vetor entrada	(MJ.h <sup>-1</sup> )	(MJ.l <sup>-1</sup> )							
	2,2	45	45	62,7	45	61,9	46,4	41,1	38
Matriz consumo									
Mão de obra	0,0283	0,0234	0,0116	0,0127	0,0227	0,0175	0,1449	(h.m <sup>-3</sup> )	
Harvester	0,0283	0	0	0	0	0	0	(h.m <sup>-3</sup> )	
Forwarder	0	0,0234	0	0	0	0	0	(h.m <sup>-3</sup> )	
Feller buncher	0	0	0,0116	0	0	0	0	(h.m <sup>-3</sup> )	
Clambunk	0	0	0	0,0127	0	0	0	(h.m <sup>-3</sup> )	
Garra	0	0	0	0	0,0227	0	0	(h.m <sup>-3</sup> )	
Carregador	0	0	0	0	0	0,0175	0	(h.m <sup>-3</sup> )	
Caminhão	0	0	0	0	0	0	0,1449	(h.m <sup>-3</sup> )	
Óleo diesel	0,5048	0,3999	0,3802	0,3113	0,3300	0,3234	0,9404	(l.m <sup>-3</sup> )	
	harvester	forwarder	feller	clambunk	traçador	carga	transporte		
Vetor resposta	20,52	16,30	15,20	12,43	14,00	13,14	42,01	(MJ.m <sup>-3</sup> )	

Figura 7 – Cálculo matricial do dispêndio energético nas atividades de colheita e transporte

Pela soma dos valores no vetor resposta (Figura 7) obteve-se os seguintes dispêndios de energia em cada sistema estudado como mostra a Tabela 18.

Tabela 18. Dispendio energético final das operações em cada sistema de colheita

Sistema	Atividades			Total (MJ.m <sup>-3</sup> )
	Colheita (MJ.m <sup>-3</sup> )	Carga (MJ.m <sup>-3</sup> )	Transporte (MJ.m <sup>-3</sup> )	
Toras curtas	36,82	13,14	42,01	91,97
Toras longas	41,63	13,14	42,01	96,78

Considerando-se o poder calorífico da madeira seca de 19.110MJ.t<sup>-1</sup>, os 300m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup> representam uma produção energética de 2.873.250MJ.ha<sup>-1</sup>.

A demanda total de energia das atividades, para os dois sistemas neste estudo, são apresentadas na Tabela 19 a seguir conforme as operações e métodos de cálculo efetuados.

Nota-se a maior demanda de energia na operação de transporte quando comparada às demais em ambas as formas de cálculo.

Tabela 19. Súmula dos dispendios energéticos (MJ.m<sup>-3</sup>) das operações conforme o método de cálculo

Operações	Toras curtas		Toras longas	
	Matricial	Analítico	Matricial	Analítico
Preparo do solo	21,18	20,05	21,18	20,05
Transplante	22,20	22,17	22,20	22,17
Manejo e condução	17,76	17,77	17,76	17,77
Colheita	36,82	36,73	41,63	41,53
Carga	13,14	13,11	13,14	13,11
Transporte rodoviário	42,01	41,92	42,01	41,92
Total	152,11	151,75	156,92	156,55

## 5 DISCUSSÃO

No caso das atividades florestais, os dois métodos de cálculo utilizados apresentaram algumas diferenças. Pelo cálculo matricial ambos os sistemas de colheita apresentaram valores 0,22% maiores se comparados ao analítico, no entanto essa diferença pode ser atribuída aos arredondamentos em cada operação de cálculo e não implicam em distorções na caracterização de qualquer um dos sistemas de colheita analisados. O método analítico permitiu melhor caracterização de cada sistema ao se considerar os fluxos das entradas de energia (direta e indireta) para cada operação e também melhor detalhamento da demanda energética em função do número de máquinas utilizadas. Embora a sugestão de Sartori & Basta (1999) tenha sido a utilização do método matricial para efetuar esse tipo de análise, neste estudo o método de equações foi considerado vantajoso, sendo recomendado por explicitar nos resultados a participação de cada fonte podendo-se contabilizar a energia direta pelo uso do combustível, pela atividade humana, pelo uso de mudas e da energia indireta devido à energia agregada nas edificações e nas máquinas utilizadas.

As entradas conforme o fluxo externo de energia, em todas as atividades estudadas, desde a silvicultura até a colheita e transporte foram maiores para a energia direta proveniente de origem fóssil e menores para a atividade humana. Os resultados são similares ao contabilizado por diversos autores (Borjesson, 1996; Serra et al., 1979; Suiter Filho et al., 1982 e Ulbanere, 1988).

As entradas de energia direta devido ao trabalho humano foram da ordem de 0,6% em todas as atividades, indicando não ser fator de grande influência nos sistemas mecanizados. Macedônio & Picchioni (1985) e Ulbanere (1998) consideraram que a

mão de obra tem sua maior limitação nas negociações salariais do que na energia investida. Desta forma sugere-se que em trabalhos cujo enfoque seja contabilizar a influência econômica e energética da mão de obra, deve ser considerada a demanda energética em função do padrão de vida das pessoas, classificadas por classe ou hierarquia do trabalhador como citado por Pimentel & Pimentel (1996).

Ponderando-se a demanda de energia nas atividades conforme a fonte, ficou claro que a energia direta proveniente da matriz fóssil seja devido ao uso de combustível, de fertilizante ou de agroquímico têm a maior participação na maioria das operações analisadas. Nas atividades de silvicultura o investimento energético foi maior devido ao uso de insumos (fertilizantes, corretivos, formicidas e herbicidas) em função da alta intensidade energética destes. O combustível nessa atividade representou a segunda fonte de maior investimento. Na atividade de colheita e transporte a demanda energética está em grande parte em função apenas do consumo de combustível, não havendo uso de outros insumos.

Neste aspecto, o principal item a ser monitorado ao se buscar subsídios para a redução da intensidade energética no sistema mecanizado será diferenciado para cada atividade. Para a silvicultura deve ser dada maior atenção ao uso de fertilizantes e agroquímicos enquanto que o consumo de combustível é o segundo item a ser monitorado.

Na atividade de colheita e transporte o componente de maior peso é o óleo diesel, assim como verificado por Athanassiadis et al. (2002), os quais consideraram que aumento do consumo de combustível é inerente ao incremento da mecanização. Em seus estudos a demanda energética das operações de colheita foram 20% menores do que o verificado na década de 80 para as condições da Suécia. Essa redução foi atribuída à troca do módulo mecanizado composto por três máquinas (feller – buncher, processador e forwarder) pelo módulo composto por duas (harvester e forwarder), auxiliada também pela evolução dos motores diesel quanto à eficiência de combustão.

O fluxo indireto de energia dada pela depreciação energética de máquinas e da infra-estrutura teve, de modo geral, pequena participação na maioria das atividades. No entanto, a atividade de produção de mudas no viveiro apresentou valores semelhantes na

demanda de energias direta e indireta devido a alta intensidade energética do adubo nitrogenado usado nas mudas e do aço utilizado nas mesas de suporte das bandejas. A energia agregada pela atividade de produção das mudas foi 17,7 vezes maior do que o verificado por Suiter Filho et al. (1982) que contabilizaram apenas o combustível gasto pelas máquinas e 5,1 vezes maior do que o valor considerado por Damen (2001) o qual utilizou a referência de culturas agrícolas da Europa.

Nas atividades de silvicultura, de colheita e de transporte a energia indireta agregada na fabricação, montagem, reparo e manutenção das máquinas e equipamentos não representaram grandes dispêndios do ponto de vista energético. Contudo, segundo Fluck (1985) existe o fluxo de energia devido ao componente assistência técnica cujo valor é difícil de ser mensurado pela análise energética.

Especificamente na colheita a depreciação energética teve uma participação média de 6,4% da demanda total, não representou ser fator relevante e também não está associado à potência, mas sim em função da massa das máquinas utilizadas devido ao método utilizado de depreciação energética conforme proposto por Doering (1980).

No aspecto tamanho e potência da maquinaria verificou-se que não houve influência na demanda de energia da operação assim como verificado por Bridges & Smith (1979). A produtividade da máquina foi fator de maior influência na demanda de energia da operação, sendo o volume individual por árvore na colheita florestal o principal fator verificado por Seixas & Oliveira Junior (2004), ou seja, o padrão da floresta.

Quando considerada as operações de colheita, o sistema de “toras curtas” requereu 55,7% da demanda energética para o corte e processo enquanto que a operação de extração 44,3%. No sistema de “toras longas” essa demanda representou 70,1% para o corte e processo e 29,9% para a extração. Houve uma melhor distribuição da demanda de energia no primeiro sistema enquanto que no segundo houve uma concentração maior nas operações de corte e processo. Se por um lado o sistema de “toras longas” é mais produtivo, por outro pode representar limitações de ordem ambiental tais como, arrasto de matéria orgânica e danos ao solo.

Sugere-se estudar a influência do aumento da capacidade de carga do “forwarder” no sistema de “toras curtas” como forma de aumentar sua eficiência energética. Já no sistema de “toras longas” deve-se ponderar a vantagem da maior capacidade operacional versus maior demanda energética e impactos ambientais.

Quando considerada a participação de cada operação nos sistemas de colheita dentro da cadeia produtiva as diferenças são minimizadas, não sendo relevante a diferença entre o sistema de “toras curtas” e o de “toras longas” mostrando haver proporcionalidade entre o investimento energético das operações e produtividade das máquinas, conforme citado por Montheith (1980).

Do ponto de vista tecnológico e de gerenciamento do sistema mecanizado, a energia investida nas operações é proporcional nos dois sistemas quanto à produção de madeira, mas em termos de produtividade e eficiência energética em relação às entradas e saídas existem algumas diferenças sendo, no sistema de “toras curtas” o investimento da energia equivale a 1,59% da produção energética e no sistema de “toras longas” essa relação é de 1,64%. Na Finlândia esse investimento varia de 2,5 a 3,0% da produção energética da floresta conforme relatado por Hakkila (2003).

A atividade de transporte rodoviário neste trabalho foi a de maior demanda de energia, considerando-se que essa atividade também teve a maior participação relativa nas emissões de CO<sub>2</sub> como verificado por Karjalainen & Asikainen (1996) há possibilidade de haver uma relação entre demanda de energia e emissão de gases do efeito estufa.

As diferenças nas emissões de gases pelas máquinas segundo Berg & Lindholm (2005) variam em função da operação, tecnologia dos motores, da qualidade dos combustíveis e da adequação do projeto das máquinas às operações. Sendo assim, a metodologia da análise energética permitirá a coleta e tratamento dos dados para análise necessária e investigações neste sentido, utilizando-se o ciclo de vida das máquinas e equipamentos conforme a atividade a que são submetidas. Uma inferência que pode ser

testada de modo prático é a utilização do biodiesel como forma de minimizar as emissões na atividade de colheita e transporte de eucalipto, no entanto deve-se considerar a energia agregada na fabricação do biocombustível, seja óleo vegetal trans esterificado ou óleo residual reciclado.

Nos dois sistemas estudados a demanda total de energia nas operações desde a produção de mudas até o transporte foi semelhante ao encontrado por Berg & Lindholm (2004) nas condições suecas de 1996 e 1997, ou seja, entre 150 e 200MJ.m<sup>-3</sup>, demonstrando haver similaridade da otimização efetiva da tecnologia utilizada no caso brasileiro com o verificado nos países de maior tradição florestal.

Se considerada apenas a atividade de colheita a demanda de energia nas condições brasileiras foram em média metade daquela calculada para as condições suecas estuda por Athanassiadis et al (2002). A diferença verificada pode indicar uma vantagem comparativa no que se refere ao investimento energético necessário na fase silvicultural da realidade brasileira para a sueca.

Dos trabalhos feitos sobre balanço energético e análise energética no setor florestal, este permitiu utilizar a mesma metodologia para caracterizar diferentes sistemas, independente do módulo mecanizado utilizado no processo.

A colheita e transporte têm grande participação no investimento energético análogo ao investimento econômico. Assim, no controle das operações deve-se levar em conta a produtividade da máquina e o consumo de diesel para que haja a otimização dos recursos energéticos empregados na colheita para qualquer um dos sistemas mecanizados.

A caracterização dos dispêndios de energia foi o primeiro passo da análise a qual possibilitará em estudos posteriores a possível comparação entre sistemas de colheita numa mesma condição conforme o interesse a ser estabelecido, seja na colheita com casca ou sem casca, seja variando-se o número de operações ou de máquinas.

## 6 CONCLUSÕES

O maior consumo de energia nos sistemas de colheita mecanizada, seja pelo sistema de “toras longas” ou de “toras curtas” foi devido ao fluxo de energia direta proveniente do consumo de combustível, cerca de 93,3%.

O maior consumo de energia, em todo o processo de produção de madeira de eucalipto, está na operação de transporte rodoviário  $41,92\text{MJ.m}^{-3}$  seguido pela colheita,  $41,53\text{MJ.m}^{-3}$  no sistema de toras longas e  $36,73\text{MJ.m}^{-3}$  no sistema de toras curtas.

Do investimento energético para formar e colher um hectare de eucalipto, a atividade de colheita e transporte consumiu cerca de 60% do total, em ambos os sistemas de colheita estudados.

A produção energética da madeira de eucalipto considerada neste estudo foi cerca de 62 vezes maior que a energia investida em todo o ciclo produtivo.

## ANEXOS

Anexo A – Custo de produção de eucalipto (R\$.ha<sup>-1</sup>) ano base 2002

<b>Eucalipto - Custo de Produção (R\$/ha) - 2002</b>									
Densidade (pés/ha): 1.667					Reforma Florestal				
Solo referencial: Latossolo amarelo, textura arenosa									
Região referencial: Torrinha - SP									
DESCRIÇÃO	ESPECIFICAÇÃO	V.U. US\$	VIVEIRO		REFORMA		MANUTENÇÃO		
			Quant.	Total	ANO 1	ANO 2	ANO 3 ao 7		
			Quant.	Total	Quant.	Total	Quant.	Total	Total
<b>A - VIVEIRO</b>									
Mão de obra própria									
- Lavar e preparar tubetes	Homem-dia	15,70	0,01	0,16					
- Encher e semear nos Tubetes	Homem-dia	15,70	0,01	0,16					
- Selecionar plantas	Homem-dia	15,70	0,02	0,31					
- Aplicar e defensivos	Homem-dia	15,70	0,01	0,16					
- Preparar mudas para o plantio	Homem-dia	15,70	0,02	0,31					
- Outros		15,70	0,01	0,16					
Insumo - Osmocote	R\$/ha	20,50	0,31	6,33					
- SuperSimples	R\$/ha	0,36	2,50	0,90					
- Micronutrientes	R\$/ha	0,54	0,08	0,05					
- Fórmula 10-30-10	R\$/ha	0,87	2,50	2,18					
- Sementes	R\$/ha	200,00	0,01	2,00					
- Fungicida	R\$/ha	10,74	0,03	0,32					
- Inseticida	R\$/ha	21,78	0,01	0,22					
- Herbicida	R\$/ha	38,12	0,04	1,52					
Substrato - Vermiculita expandida	R\$/ha	15,00	0,62	9,26					
- Terra Subsolo	R\$/ha								
remoção		64,88	0,001	0,04					
peneiramento		41,82	0,003	0,14					
- Moinha de Carvão	R\$/ha	7,16	0,08	0,59					
- Esterco Bovino	R\$/ha								
mão de obra		15,70	0,06	0,90					
caminhão		45,08	0,06	2,59					
Sombrite	R\$/m <sup>2</sup>	2,40	0,53	1,27					
Plástico	R\$/m <sup>2</sup>	1,20	1,59	1,91					
Tubetes	R\$/unidade	0,07	350	24,50					
Bandeja para tubetes	R\$/unidade	15,00	2,00	30,00					
Depreciação	R\$/ha	15,48	1,67	25,80					
Manutenção	R\$/ha	14,57	1,67	24,29					
Seguro	R\$/ha	3,15	1,67	5,25					
<b>Subtotal Viveiro</b>				<b>141,32</b>					
<b>B - OPERAÇÕES MECANIZADAS</b>									
<b>b1. Preparo do Solo + Adubação</b>									
Sulcamento/Adubação	HM Tp 75cv + Sulcador 1 haste	20,56			0,70	14,39			
Plantio / Replante	HM Tp 65cv 4x2 + Carreta	18,72			0,50	9,36			
<b>b2. Tratos Culturais</b>									
Readubação de 1º ano	HM Tp 65cv 4x2 + Carreta	18,72			0,50	9,36			
Aplicação de Herbicida	HM Pulverizador costal	13,70			3,70	50,69	3,70	50,69	3,70 50,69
Roçada na entre linha	HM Tp 65cv 4x2 + Roçadeira hidráulico	19,92			1,15	22,91	1,15	22,91	1,15 22,91
<b>b3. Outras Despesas</b>									
Manutenção de aço e carregador	HM Tp 65cv 4x2 + Roçadeira hidráulico	19,92			0,90	17,93	0,90	17,93	0,90 17,93
<b>Subtotal B</b>						<b>124,64</b>		<b>91,53</b>	<b>91,53</b>
<b>C - OPERAÇÕES MANUAIS (**)</b>									
<b>c1. Limpeza da Vegetação</b>									
Limpeza do terreno	Homem-dia	16,33			1,00	16,33			
Combate a Formiga	Homem-dia	16,33			0,45	7,35			
<b>c2. Preparo do Solo + Plantio</b>									
Plantio/Replante/Adubação	Homem-dia	16,33			1,50	24,50			
<b>c3. Tratos Culturais</b>									
Capina Manual (2x)	Homem-dia	16,33			0,67	10,94			
Adubação de Cobertura	Homem-dia	16,33			1,20	19,60	1,00	16,33	
Aplicação de Herbicida	Homem-dia	16,33			3,70	60,42	3,70	60,42	3,70 60,42
Desbrota	Homem-dia	16,33					1,00	16,33	
Combate a Formiga (3x, 1x, 1x)	Homem-dia	16,33			0,86	14,00	0,29	4,67	0,29 4,67
Supervisão						66,73		66,73	66,73
<b>Subtotal C</b>						<b>219,86</b>		<b>164,48</b>	<b>131,82</b>
<b>D - INSUMOS</b>									
<b>d1. Fertiliz. e Corret. (*)</b>									
Superfosfato Simples	R\$/tonelada	360,67			0,20	72,13			
Formicida	R\$/kg	6,00			0,70	4,20	0,50	3,00	0,50 3,00
Herbicida	R\$/litro	11,00			3,00	33,00	4,00	44,00	4,00 44,00
<b>Subtotal D</b>						<b>109,33</b>		<b>47,00</b>	<b>47,00</b>
<b>CUSTO TOTAL (R\$/ha/ano)</b>				<b>141,32</b>		<b>453,83</b>		<b>303,01</b>	<b>270,35</b>

V.U.=Valor Unitário

HM=Hora Máquina

Tp=Trator de pneus

Te=Trator de esteiras

(\*) Insumos: Valores Médios. É necessário fazer análise de solo.

Atualizado em Agosto/2002 em Valores Nominais. Na ocasião, o dólar médio norte-americano estava cotado em R\$ 3,101

Fonte: FNP Consultoria

Anexo B – Desempenho operacional na atividade de silvicultura sem reforma base 2003

Atividade	Operações	Máquinas	COmo	Emo	COmaq	Ema	Diesel	Ecomb	insumos		Eins	Total
			(ha.h <sup>-1</sup> )	(MJ.ha <sup>-1</sup> )	(ha.h <sup>-1</sup> )	(MJ.ha <sup>-1</sup> )	(L.ha <sup>-1</sup> )	(MJ.ha <sup>-1</sup> )	produto	(un.ha <sup>-1</sup> )	(un)	(MJ.ha <sup>-1</sup> )
Preparo solo	controle de formigas	TP 58kW + carreta	2,0	1,1	2,0	6,1	4,0	151,6				159
		dosador	0,1	17,6					formicida	4 kg	777	795
	subsolagem	TP 120kW + escarificador	0,8	2,6	0,8	14,8	16,9	639,4				657
	adubação								06:30:06	340 kg	3564	3564
	aplicação herbicida								herbicida	2 l	839	839
	subtotal		3,0	<b>21,3</b>	2,8	<b>20,9</b>	20,9	<b>791,0</b>			<b>5180,9</b>	<b>6014,1</b>
Transplante	transplântio mecaniz	TP 100kW + transplantadora	0,1	17,6	0,1	98,0	96,0	3638,9				3754
		TP 58kW + carreta	2,0	1,1	2,0	6,1	4,0	151,6	mudas	1667 un	1287	1446
	combate formiga	dosador	0,1	17,6					formicida	4 kg	777	795
		TP 58kW + carreta	2,0	1,1	2,0	6,1	4,0	151,6				159
	irrigação	TP 58kW + carreta	5,0	0,4	5,0	2,4	1,6	60,6	água	1667 l		64
	transplântio 30dias	chucho	0,1	17,6					mudas	333 un	257	275
		TP 58kW + carreta	2,0	1,1	2,0	6,1	4,0	151,6				159
	subtotal		11,4	<b>56,5</b>	11,1	<b>118,8</b>	109,6	<b>4154,4</b>	total mudas	2000 un	1544	
Manejo	aceiros	TP 120kW	2,0	1,1	2,0	6,1	7,0	265,3				273
	capina química	TP 100kW	0,8	2,6	0,8	14,8	14,5	548,0	herbicida	2 l	839	1405
	adubação cobertura	TP 100kW	0,8	2,6	0,8	14,8	14,5	548,0	10:00:10	240 kg	2681	3247
	combate formiga	dosador	0,1	17,6					formicida	2 kg	389	406
	subtotal		3,8	<b>24,0</b>	3,7	<b>35,6</b>	35,9	<b>1361,4</b>			<b>3909,2</b>	<b>5330,2</b>
	Total		<b>7,6</b>	<b>101,9</b>	<b>7,3</b>	<b>175,3</b>	<b>71,8</b>	<b>6306,8</b>			<b>11411,7</b>	<b>17995,6</b>

Fonte: Ripasa S/A (21/01/03) TP = trator de pneus CO = Capacidade Operacional

un.ha<sup>-1</sup> = unidades por hectare (kg; l; mudas)

Anexo C – Indicadores de produtividade total da máquina base “harvester” Volvo equipamento 933 (TPM)

Contas	unidade	P / R	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Média
Árvore média	m <sup>3</sup> .mês <sup>-1</sup>	Previsto	0,24	0,25	0,25	0,23	0,25	0,24
Dias trabalhados	Dias	Previsto	23,00	24,00	26,00	24,00	26,00	24,25
Operação								
Horas trabalhadas	h.mês <sup>-1</sup>	Previsto	236,60	326,40	352,59	382,86	323,00	382,22
		Real	364,25	417,83	251,42	272,25		326,44
Produtividade	m <sup>3</sup> <sub>cc</sub> .h <sup>-1</sup>	Previsto	31,25	33,75	35,00	33,75	33,75	33,51
		Real	39,09	34,89	33,17	33,09		35,36
Óleo Diesel	l.m <sup>-3</sup>	Previsto	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
		Real	0,65	0,49	0,43	0,55		0,53
Nº de quebras	nº.mês <sup>-1</sup>	Previsto	46,00	48,00	52,00	48,00	52,00	48,50
		Real	51,00	36,00	31,00	41,00		39,75
Duração	h	Previsto	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05
		Real	1,56	1,69	2,86	3,20		2,26

Fonte: Duratex (abr.2003)

Anexo D – Indicadores de produtividade total da máquina base “forwarder” Timberjack 1210 equipamento 333 (TPM)

Contas	Unidade	P / R	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Média
Árvore média	m <sup>3</sup> .mês <sup>-1</sup>	Previsto						
Dias trabalhados	Dias	Previsto	25,00	24,00	26,00	24,00	26,00	24,75
Operação								
Horas trabalhadas	h.mês <sup>-1</sup>	Previsto	376,74	373,81	357,14	333,00	242,86	360,17
		Real	458,13	32,92	319,99	392,27		300,83
Produtividade	m <sup>3</sup> <sub>cc</sub> .h <sup>-1</sup>	Previsto	43,00	42,00	42,00	42,04	42,00	42,27
		Real	43,50	45,79	42,87	41,57		42,76
Óleo Diesel	l.h <sup>-1</sup>	Previsto	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
		Real	0,20	0,46	0,95	0,19		0,40
Nº de quebras	nº.mês <sup>-1</sup>	Previsto	25,00	24,00	26,00	24,00	26,00	24,75
		Real	26,00	12,00	22,00	43,00		25,75
Duração	h	Previsto	3,68	1,58	1,58	1,58	1,58	2,11
		Real	1,58	3,81	2,84	1,18		1,94

Fonte: Duratex (abr.2003)

## Anexo E – Produtividade média das máquinas no sistema de toras longas

Máquina	Produtividade Média (m <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup> )	Consumo Diesel (l.h <sup>-1</sup> )	Tempo Padrão (h.m <sup>-3</sup> )	Consumo Diesel (l.m <sup>-3</sup> )
Feller buncher Timberjack 608L Clambunk	73,8	28,78	0,0135	0,39
Timberjack 1710 Garra traçadora	68,6	26,02	0,015	0,38
Timberjack 608B	44,0	14,52	0,0227	0,33

Fonte: Cenibra (set./2003)

## Anexo F – Produtividade média das máquinas no sistema de toras longas

Máquina	Produtividade Média (m <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup> )	Consumo Diesel (l.h <sup>-1</sup> )	Tempo Padrão (h.m <sup>-3</sup> )	Consumo Diesel (l.m <sup>-3</sup> )
Feller buncher Timberjack 608L Clambunk	98,65	36,77	0,0101	0,37
Timberjack 1710 Garra traçadora	102,69	22,81	0,0097	0,22
Timberjack 608B	44,0	14,52	0,0227	0,33

Fonte: Votorantin (dez./2004)

## Anexo G – Depreciação energética de algumas máquinas, equipamentos e ferramentas

Descrição	massa (kg)	potência (kW)	V.útil (anos)	uso (h.ano <sup>-1</sup> )	contida (MJ.h <sup>-1</sup> )	fabric (MJ.h <sup>-1</sup> )	RM (MJ.h <sup>-1</sup> )	Ajuste (MJ.h <sup>-1</sup> )	Total (MJ.h <sup>-1</sup> )
aplicador de adubo	2300		5	2000	14,4	2,0	5,0	13,5	18,5
aplicador de herbicida	2300		5	2000	14,4	2,0	5,0	13,5	18,5
auto carregável	7200	70	10	4000	8,9	0,8	2,4	8,0	10,4
automóvel medio	1800	53	3	1000	37,7	11,2	7,5	40,1	47,6
caminhão 6x2	18000	255	8	4000	27,8	6,9	5,3	28,4	33,7
caminhão 6x4	22000	255	8	4000	34,0	8,2	6,5	34,6	41,1
carregador	27166	180	10	4000	33,6	9,9	10,8	35,7	46,4
carreta	1800		10	2000	5,7	16,3	5,6	18,0	23,6
harvester	19500	160	5	6000	32,7	9,5	10,4	34,6	45,0
forwarder	19500	160	5	6000	32,7	9,5	10,4	34,6	45,0
feller - buncher	27166	180	5	6000	45,5	13,2	14,5	48,2	62,7
skidder	19500	160	5	6000	32,7	9,5	10,4	34,6	45,0
garra traçadora	27166	180	5	6000	44,8	13,2	14,3	47,6	61,9
subsolador	500		5	2000	3,1	39,7	13,2	35,2	48,4
trator 4x2 tda	7200	95	10	3500	10,3	1,1	2,8	9,4	12,2
trator de esteira	10000	100	10	2000	25,1	5,3	7,5	24,9	32,5
trator florestal arraste	17000	120	10	4000	21,4	3,7	6,2	20,5	26,7
motosserra	2	3	2	2000	0,03	62,2	15,4	51,0	66,4

fonte: adaptado de Doering, 1980.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Atlas de energia elétrica do Brasil. 2003.** www.aneel.gov.br (21 mar. 04).

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. **Standards, engineering practices and data.** St Joseph: 1999.1017p.

ANUÁRIO ESTATÍSTICO ANP, 2000. www.mme.gov.br/estat\_anuario00.htm (21 mar. 2004).

ATHANASSIADIS, D.; LIDESTAV, G.; NORDFJELL, T. Energy use and emissions due to the manufacture of a forwarder. **Resource, Conservation and Recycling**, v.34, p.149–160, 2002.

BENTIVENHA, S.R.P. Mobilização do solo e crescimento inicial do eucalipto em função do tipo de haste subsoladora, profundidade de trabalho e características do solo. Piracicaba, 2001. 60p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo.

BERG, S.; LINDHOLM, E.L. Energy use and environmental impacts of Forest operations in Sweden. **Journal of Cleaner Production**, v.13, n.1, p.33 – 42, 2004.

BIEWINGA, E.E. **Sustainability of energy crops in Europe.** Utrecht: Centre for Agriculture & Environment, 1996. 26p.

BORJESSON, P. Energy analysis of biomass production and transportation. **Biomass and Bioenergy**, v.11, n.4, p.305 – 318, 1996.

- BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Balço energético nacional**. Brasília, 2000. 154p.  
<http://www.mme.gov.br/sen/ben/ben.html> (21 mar. 2004).
- BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Balço energético nacional**. Brasília, 2003. 154p.  
<http://www.mme.gov.br/sen/ben/ben.html> (21 mar. 2004).
- BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Balço energético nacional**. Brasília, 2004. 154p.  
<http://www.mme.gov.br/sen/ben/ben.html> (21 mar. 2004).
- BRIDGES, T.C.; SMITH, E.M. A method for determining the total energy input for agricultural practices. **Transactions of the ASAE**, v.22. p.781 – 784, 1979.
- BRITO, J.O. Produtividade energética das populações de *Eucalyptus* aos 2,5 anos de idade implantadas em Jupiá / MS In: SIMPÓSIO SOBRE ENERGIA DA BIOMASSA FLORESTAL, CONVÊNIO CESP / IPEF, São Paulo, 1983. São Paulo: CESP, 1983. p.94 – 100.
- BRITO, J.O. Fuelwood utilization in Brazil. **Biomass and Bioenergy**, v.12, n.1, p.69–74, 1997.
- BRITO, J.O. Um novo contexto para o papel das florestas plantadas. **Preços Agrícolas**, v.14, n.155, p.4, set.1999.
- BRITO, J.O.; BARRICHELO,L.E.G. Aspectos técnicos da utilização da madeira e carvão vegetal como combustíveis. In: SEMINARIO DE ABASTECIMENTO ENERGETICO INDUSTRIAL COM RECURSOS FLORESTAIS, São Paulo, 1982. São Paulo: Coordenadoria da Industria e Comercio, 1982. p.101 – 137.
- BRITO, J.O.; BARRICHELO,L.E.G.; COUTO,H.T.Z.; FAZZIO,E.C.M.; CORRADINI,L.; CARRARA,M.A.; MIGLIORINI,A.J. Avaliação das características dos resíduos de exploração florestal do eucalipto para fins energéticos. **Circular Técnica IPEF**, n.62, p.1-8, ago.1979.

- BRUNO, M.A.C. **Conservação de energia na indústria de fertilizantes**. São Paulo: IPT, 1985. 487p.
- CAMPOS, A.T.; FERREIRA, W.A.; YAMAGUCHI, L.C.T.; RESENDE, H.; ALMEIDA, F.M. Balanço econômico e energético na produção de silagem de milho em sistema intensivo de produção de leite. **Engenharia Rural**, v.9, n.1, p.1 – 70, jul. 1998.
- CARDOSO, M.N.M. Terceirização da colheita com responsabilidade sócio ambiental. In: SEMINÁRIO DE ATUALIZAÇÃO EM SISTEMAS DE COLHEITA DE MADEIRA E TRANSPORTE FLORESTAL, Curitiba, 2004. **Anais**. Curitiba: UFPR, 2004. p.1 – 26.
- CENTRO NACIONAL DE REFERÊNCIA DA BIOMASSA. **A lenha no Brasil**. [http://infoener.iee.usp.br/scripts/biomassa/br\\_lenha.asp](http://infoener.iee.usp.br/scripts/biomassa/br_lenha.asp) (21 abr. 2003).
- COMPANHIA HIDRO ELÉTRICA DE SÃO FRANCISCO. **Geração de energia: fontes alternativas**. <http://www.chesf.gov.br/ctudo-geracao-fontes.html> (13 out. 2003).
- DAMEN, K. **Future prospects for biofuel production in Brazil. A chain analysis comparison of ethanol from sugarcane and methanol from eucalyptus in São Paulo State**. Utrecht: Utrecht University, Department of Science Technology and Society, Copernicus Institute for Sustainable Development and Innovation, 2001. 68p.
- DOERING, O.C. Accounting for energy in farm machinery and buildings. In: PIMENTEL, David. (Ed.). **Handbook of energy utilization in agriculture**. Boca Raton: CRC Press, 1980. 475p.
- ENGELSTAD, O.P. **Fertilizer technology and use**. 3.ed. Madison: Soil Science Society of America, 1985. 107p.
- FERREIRA, O.C. Análise exergética da agricultura. **Economia & Energia**, v.3, n.12, jan. / fev. 1999. <http://www.ecen.com/content/eee12/eee12p.htm> (22 abr. 2003)

- FERREIRA, O.C. Emissões de gases de efeito estufa na produção e no uso do carvão vegetal. **Economia & Energia**, v.4, n.20, maio / junho 2000. <http://www.ecen.com/eee20/emiscarv.htm> (22 abr. 2003).
- FNP CONSULTORIA & COMÉRCIO. **Agriannual 2003**: anuário de agricultura brasileira. São Paulo, 2003. 360p.
- FLUCK, R.C. Energy sequestered in repairs and maintenance of agricultural machinery. **Transactions of the ASAE**, v.28, n.3, p.738 – 744, May / June, 1985.
- GOLDEMBERG, J. Biomassa e energia. In: SIMPÓSIO ENERGIA E BIOMASSA FLORESTAL, Piracicaba, 1979. **Anais** Piracicaba: Cesp; IPEF, 1979. p.2.
- GONÇALVES, J.L.M.; STAPE, J.L.; WICHERT, M.C.P.; GAVA, J.L. Manejo de resíduos vegetais e preparo de solo. In: GONÇALVES, J.L.M. STAPE, J.L. (Ed.) **Conservação e cultivo de solos para plantações florestais**. Piracicaba: IPEF. 2002. 498p.
- GONÇALVES, J.L.M. Perspectivas tecnológicas em áreas florestais manejadas no sistema de cultivo mínimo. **IPEF Notícias**, p.10 – 11. jul. / ago. 2004.
- HAKKILA, P. **Developing technology for large: scale production of forest chips**; interim report. Tekes, Helsinki: Nacional Technology Agency, 2003. 54p.
- HELSEL, Z.R. **Energy and alternatives for fertilizer and pesticide use**. 1993. <http://www.sarep.ucdavis.edu/NEWSLTR/v5n5/sa-12.htm> (21 out. 2003).
- HERENDEEN, R. Net energy and true subsidies to new energy technology. In: MITSCH, W.J.; BOSSERMAN, R.W. **Energy and ecological modeling**. Amesterdan: Elsevier Scientific, 1981. 839p.
- HETZ, E. J. Energy utilization in chilean agriculture. **Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America**, v.23, n.2, p. 52 – 56, 1992.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA. **Sistema internacional de medidas – SI**. 8. ed. Rio de Janeiro, 2003. 116p.

KAMIMURA, A. **Consumo de lenha no setor residencial: proposta metodológica**. NOTA TÉCNICA DNPE/SEM/MME: BEN2002 ANO BASE 2001. PROJETO: PNUD 01/039. <http://www.mme.gov.br/sen/ben/BenTab/NovoBen/textos/lenhaBen02.pdf> (17 out. 2003).

KARJALAINEN, T.; ASIKAINEN, A. Greenhouse gas emissions from the use of primary energy in Forest operations and long – distance transportation of timber in Finland. **Forestry**, v.69, n.3, p.215 – 228. 1996.

KRONKA, F.J.N.; NALON, M.A.; BAITELLO, J.B. Mapeamento e quantificação do reflorestamento no Estado de São Paulo. **Florestar Estatístico**, v.6, n.14, p.19-27, jan. 2003.

LANÇAS, K.P. Instrumentos para avaliação do desempenho operacional de tratores e variabilidade espacial dos solos. In: GONÇALVES, J.L.M. STAPE, J.L. (Ed.) **Conservação e cultivo de solos para plantações florestais**. Piracicaba: IPEF, 2002. 498p.

LIMA, W.P. **Impacto ambiental do eucalipto**. 2.ed. São Paulo: EDUSP, 1993. 302p.

LOFTNESS, R. L. **Energy handbook**. 2.ed. New York: Van Nostrand Reinhold, 1984. 763p.

LOPES, J.L.W. Produção de mudas de eucalipto em diferentes substratos e lâminas de irrigação. Botucatu, 2004. 100p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”.

MACEDÔNIO, A.C.; PICCHIONI, S.A. **Metodologia para o cálculo do consumo de energia fóssil no processo de produção agropecuário**. Curitiba: Secretaria da Agricultura, 1985. 45p.

MACHADO, C.C. **Colheita florestal**. Viçosa: UFV, 2002. 468p.

- MACIEL, A.J.S. **Projeto e otimização do sistema de transmissão para um trator agrícola:** notas de aula. Campinas: UNICAMP, FEAGRI, 2000.
- MAKKONEN, I. Choosing a wheeled shortwood forwarder. **FERIC Technical Note**, n.136, p.1 – 12, 1989.
- MATTSSON, J.E. Energy of Forest machines and in Swedish forestry as a whole. In: SEMINAR ON ENERGY ASPECTS OF THE FOREST INDUSTRIES, Udine, 1979. **Proceedings**. Oxford: Pergamon Press, 1979. p.321 – 300.
- MELLO, R. Rumo a sustentabilidade da produção de cana-de-açúcar em São Paulo: as contas ambientais. **Revista de Administração de Empresas**, v.40, n.3, p.74 – 82, jul. / set. 2000.
- MILAN, M.; MOLIN, J. P. Trator-implemento: dimensionamento, capacidade operacional e custo. In: GONÇALVES, J.L.M. STAPE, J.L. (Ed.) **Conservação e cultivo de solos para plantações florestais**. Piracicaba: IPEF, 2002, 498p.
- MONTEITH, O. Accounting for energy in farm machinery and buildings. In: PIMENTEL, D. (Ed.) **Handbook of energy utilization in agriculture**. Boca Raton: CRC Press, 1980. 475p.
- NOGUEIRA, L.A.H. Produção e processamento de petróleo e gás natural no Brasil: perspectivas e sustentabilidade nos próximos 20 anos. Agência Nacional do Petróleo. In: SUSTENTABILIDADE NA GERAÇÃO E USO DE ENERGIA NO BRASIL, Campinas, 2002. Campinas: UNICAMP, 2002.
- PIMENTEL, D. (Ed.) **Handbook of energy utilization in agriculture**. Boca Raton: CRC Press, 1980. 475p.
- PIMENTEL, D.; PIMENTEL, M. **Food, energy and society**. Colorado: University Press of Colorado, 1996. 297p.

- REDDY, A.K.N., WILLIAMS, R.H., JOHANSSON, T.B. **Energy after Rio: prospects and challenges**. New York: United Nations Development Program, 1997. 188p.
- RIBEIRO, F.A.; RAMOS,G. Desenvolvimento de equipamentos para a utilização em áreas de cultivo mínimo na Ripasa S.A. Celulose e Papel. In: SEMINARIO SOBRE CULTIVO MINIMO NO SOLO EM FLORESTAS, 1, Curitiba, 1995. **Anais**. Piracicaba: CNPF; IPEF; UNESP; SIF; FUPEF, 1995. p.110 – 116.
- SAAB – SCANIA DO BRASIL LTDA. **Desempenho**. Curitiba, 1998. 62p.
- SÃO PAULO (ESTADO). Secretaria de energia, recursos hídricos e saneamento. **Balço energético do Estado de São Paulo 2003: ano base 2002**. São Paulo: Cesp, 2003. 206p.
- SARTORI, M.M.P.; BASTA, C. Métodos matemáticos para o cálculo energético da produção de cana de açúcar. **Energia na Agricultura**, v.14, n.1, p.52-68, 1999.
- SASAKI,C.M. Força de tração e desempenho operacional de hastes subsoladoras em solos com diferentes texturas e umidade. Piracicaba, 2000. 53p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- SCHOLZ, V.; BERG, W.; KAULFUß, P. Energy balance of solid biofuels. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v.71, p.263 – 272, 1998.
- SEIXAS, F. Avaliação do esforço físico em operadores de motosserra. **Série Técnica do IPEF**, v.7, n.22, p.1 – 16. jun. 1991.
- SEIXAS, F. Potencial de danos dos sistemas de colheita de madeira no solo e nas cepas. **Série Técnica do IPEF**, n.30, p.63 – 78, abr. 1997.
- SEIXAS, F. Compactação da madeira devido à colheita. Piracicaba, 2000. 75p. Tese (Livre Docência) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Universidade de São Paulo.

- SEIXAS, F. **Forest engineering conference**. Växjö: 2003. (Relatório de Participação no Evento).
- SEIXAS, F.; OLIVEIRA JUNIOR, E.D. Compactação do solo devido ao tráfego de máquinas de colheita de madeira. **Scentia Florestalis**, n.60, p.73 – 87, dez. 2001.
- SEIXAS, F.; OLIVEIRA JUNIOR, E.D. **Comparativo do custo de composições rodoviárias no transporte de madeira**. Piracicaba: IPEF, 2004. 12p. (Relatório Cenibra, 2004).
- SERRA, G.E.; GOLDEMBERG, J.; MOREIRA, J.R.; CARVALHO, M.C. Estudo energético de alternativas brasileiras para produção de energia renovável. In: CONVENÇÃO UPADI, Santiago, 1978. p.378 – 417.
- SERRA, G.E.; HEEZEN, A.M.; MOREIRA, J.R.; GOLDEMBERG, J. **Avaliação da energia investida na fase agrícola de algumas culturas**. São Paulo: Ministério da Indústria e Comércio. Secretaria de tecnologia industrial. 1979. 86p. (Relatório final).
- SOCIEDADE BRASILEIRA DE SILVICULTURA.2004. <http://www.sbs.org.br/estatisticas.htm> (26 fev. 2003).
- STAPE, J.L. **Pesquisa busca maior retorno das áreas de reflorestamento**. <http://www.ipef.br/servicos/clipping/007-2003.html> (26 fev. 2003).
- SUITER FILHO, W.; REZENDE, G.C.; TONINELLO, S.L.; DABÉS, A.D. Considerações sobre o balanço energético de florestas de eucalipto. **Silvicultura**, v.8, n.28, p.887 – 890, 1982.
- ULBANERE, R.C. Análise dos balanços energético e econômico relativa à produção de grãos de milho no Estado de São Paulo. Botucatu, 1988. 127p. Tese (Doutorado) – Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”.

VOJCIECHOVSKI, G.C.; SCHUCHOVSKI, M.S.; FOLETTO, V.D.F. Interface da colheita com novos plantios. In: SEMINÁRIO DE ATUALIZAÇÃO EM SISTEMAS DE COLHEITA DE MADEIRA E TRANSPORTE FLORESTAL, Curitiba, 2004. **Anais**. Curitiba: UFPR, 2004. p.395 – 409.

ZANI FILHO, J., BALLONI, E.A., STAPE, J.L. Viveiro de mudas florestais: análise de um sistema operacional atual e perspectivas futuras. **IPEF. Circular Técnica**, 168. jun. 1989. <http://www.ipef.br/publicacoes/ctecnica/nr168.pdf> (17 nov. 2004).

## **APÊNDICES**

## APÊNDICE 1. Fatores de conversão de energia para insumos

insumo	un	GJ kg <sup>-1</sup>	insumo	[N]	MJ kg <sup>-1</sup>
carvão equivalente	tCE	29,3	Nitrogenados		
óleo equivalente	tOE	45	N	1,00	105
óleo cru	m <sup>3</sup>	36	uréia	0,45	78
óleo combustível ou diesel	m <sup>3</sup>	37	Nitrato de amônio	0,34	77
querosene	m <sup>3</sup>	35	Nitrato de Cálcio	0,16	17
gasolina	m <sup>3</sup>	33	Amônia anidra	0,82	68
metanol	m <sup>3</sup>	16	Sulfato de amônio	0,21	22
etanol	m <sup>3</sup>	21	Nitrato de Potássio	0,14	15
GLP	t	45,5	Fosfatados	[P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ]	
GNV	m <sup>3</sup>	37	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	1,00	13
lenha 30%	t	7	super simples	0,21	10
resíduo biomassa seca	t	22	super triplo	0,48	22
cavacos 35%	t	12	termofosfato	0,30	4
resíduo urbano	t	11	fosfato de rocha	0,05	1
energia elétrica	MWh	4	P	1,14	14
óleo equivalente	tEP	5,5m <sup>3</sup> madeira	Potássicos	[K <sub>2</sub> O]	
madeira	m <sup>-3</sup>	2,27MWh	K <sub>2</sub> O	1,00	6,7
			sulfato de potássio	0,50	3,4
insumo	un	MJ um <sup>-1</sup>	KCl	0,60	7,2
gasolina	l	42	sulfato de K e Mg	0,25	1,7
diesel	l	48	Calcário	PRNT= 70	1,7
madeira dura	kg	21	micronutrientes		42,6
eletricidade	kWh	13	inseticida		365
aço	kg	42	formicida		194
aluminio	kg	261	fungicida		308
cimento	kg	8,7	herbicida		420
plástico	kg	9,5	mudas		0,037
madeira serrada	kg	2,3	óleo diesel	MJ l <sup>-1</sup>	38
			óleo hidráulico	MJ l <sup>-1</sup>	38
intensidade energética	GJ R\$ <sup>-1</sup>	7,72	gasolina	MJ l <sup>-1</sup>	34
intensidade energética	GJ US\$ <sup>-1</sup>	2,70	eletricidade	MJ kW.h <sup>-1</sup>	13
			trabalho humano	MJ h <sup>-1</sup>	2,2
			semente	MJ kg <sup>-1</sup>	2,37

APÊNDICE 2. Depreciação energética das máquinas, equipamentos e ferramentas

<b>Energia contida (<math>E_{contida}</math>)</b>	<b>MJ.kg<sup>-1</sup></b>
Pneus	86
Aço	63
Trator	49
Colhedora	50
<b>Energia fabricação (<math>E_{fabric}</math>)</b>	
Tratores	14,6
Colhedora cereais	13,0
Implemento de preparo inicial	8,6
Semeadora e cultivadores	8,6
Implemento de preparo periódico	8,4
Pulverizadores	7,4
Enfardadoras	6,3
<b>Coefficiente reparo e manutenção (<math>E_{RM}</math>)</b>	
Classe 1 (4x4 e esteira)	0,74
Classe 2 (4x2 e motor estacionário)	0,89
Classe 3 (caminhão e patrol)	0,46
Classe 4 (picadores silagem)	0,61
Classe 5 (carretas, equip. montados)	0,76
Classe 6 (aplicador calcário e fertilizante.)	0,91
Classe 7 (grades, enxadas rotativas)	0,93
<b>Energia de construção</b>	
Residências	6487
Oficinas e galpões	1773

Fonte: Doering (1980)