

AVALIAÇÃO DE UM SISTEMA DE CAVAQUEAMENTO DE PONTEIRAS DE EUCALIPTO PARA APROVEITAMENTO ENERGÉTICO¹

Juliana Lorensi do Canto², Carlos Cardoso Machado³, Fernando Seixas⁴, Amaury Paulo de Souza³ e Cleverson de Mello Sant'Anna³

RESUMO – Os objetivos deste trabalho foram avaliar o desempenho e estimar os custos de um sistema de cavaqueamento de ponteiros de eucalipto, resultantes de colheita florestal, para aproveitamento energético em uma empresa de base florestal localizada no Estado do Pará, na Região Norte do Brasil. O sistema era composto por um picador florestal, dois tratores florestais transportadores autocarregáveis (com grua) e uma carregadora frontal. A coleta de dados baseou-se em estudo de tempos e movimentos, determinação do consumo de combustível e pesagem dos cavacos produzidos. A produtividade média do sistema foi de 17,51 toneladas por hora efetiva. A eficiência operacional foi de 51,9%, devido a diversas demoras operacionais, principalmente para conserto e manutenção do picador. O transporte de cavacos foi considerado o ponto de estrangulamento do sistema, devido a ocorrências de falta de caminhão disponível no local para o carregamento. O sistema pode produzir entre 94 e 162 vezes mais energia do que consome. O custo do sistema por hora efetiva foi de R\$376,56, o que representa R\$21,51/t de cavacos ou R\$2,70/GJ.

Palavras-chave: Biomassa florestal, Picador e Energia renovável.

EVALUATION OF A WOOD CHIPPING SYSTEM FOR EUCALYPTUS TOPS FOR ENERGY

ABSTRACT – The objective of this study was to evaluate the performance and to estimate costs of a wood chipping system for tree tops, which are considered residuals from wood harvesting, to be used for energy. The study was developed in a forest industry in the Para State, located in the north region of Brazil. The system was comprised by one wood chipper, two forwarders and one front loader. Data collection was based on time study, fuel consumption and chips load weighting. System average productivity was 17.51 tonnes per effective hour. Machine utilization rate was 51.9% due to many delays, mainly for repair and maintenance of the chipper. Chips transportation was considered to be the critical point of the system, due to some lack of trucks available for blowing chips. The system can produce between 94 and 162 times more energy than the energy consumed. System cost per effective hour was R\$ 376.56, which means R\$ 21.51/tonne of chips or R\$ 2.70/GJ.

Keywords: Forest biomass, Wood chipper and Renewable energy.

1. INTRODUÇÃO

A geração de energia por biomassa florestal apresenta vantagens ambientais, pela substituição de combustíveis fósseis e redução da emissão de gases de efeito-estufa; e vantagens sociais, pela geração de empregos locais. Os resíduos da colheita florestal,

que geralmente são deixados no campo, são potenciais fontes de energia renovável. Estima-se que durante a colheita florestal há perda de material lenhoso que poderia ser aproveitado, uma vez que esse material representa significativa parte do total removido de uma floresta (JACOVINE et al., 2001).

¹ Recebido em 24.04.2010 e aceito para publicação em 31.10.2011.

² Universidade Federal do Rio Grande do Norte, UFRN, Brasil. E-mail: <jlcanto@terra.com.br>.

³ Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Viçosa, UFV, Brasil. E-mail: <machado@ufv.br>, <amaury@ufv.br> e <cleverson@ufv.br>.

⁴ Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, ESALQ, Brasil. E-mail: <fseixas@esalq.usp.br>.



O aumento do aproveitamento de florestas comerciais está entre as vantagens econômicas da utilização dos resíduos florestais. As empresas de base florestal que possuem grandes áreas florestadas e produzem grande quantidade de resíduos podem diminuir sua dependência energética ou, mesmo, tornar-se autossuficientes em energia. Essa vantagem é ainda mais evidente em localidades isoladas, especialmente na região amazônica, devido à indisponibilidade de energia produzida por hidrelétricas e ao alto custo dos combustíveis fósseis nessa região.

Para essas empresas, a utilização desses resíduos também constitui fator importante na interface entre a colheita e a silvicultura. A remoção dos resíduos da área, após o encerramento das atividades de colheita, facilitará as operações subsequentes de preparo do solo e a implantação do novo plantio florestal, com consequente redução dos custos de produção (LOPES et al., 2005).

Apesar do grande potencial de aproveitamento, os resíduos florestais ainda não são plenamente utilizados devido, muitas vezes, aos custos de coleta e transporte, que tornam a biomassa florestal para energia pouco atrativa economicamente. A colheita florestal é uma atividade complexa, dado o grande número de variáveis que afetam a produtividade e, consequentemente, os custos operacionais (CANTO et al., 2006).

Nesse sentido, um aspecto de crucial importância no aproveitamento dos resíduos florestais diz respeito à concentração da biomassa. Uma vez concentrado o material, seu transporte poderá ser economicamente viabilizado. Por essa razão, as tecnologias de colheita e aproveitamento de resíduos florestais se baseiam no aumento da densidade do material (MARTÍ, 2006).

Entre essas tecnologias, destacam-se os sistemas de cavaqueamento de resíduos florestais, que abrem a possibilidade de aproveitar sortimentos desinteressantes, do ponto de vista econômico, e torná-los matéria-prima homogênea. Além de uniformizar o material e facilitar o seu manuseio e transporte final, o cavaqueamento no campo constitui uma maneira de acelerar a secagem da biomassa florestal, tornando-a mais apropriada ao consumo industrial (SALMERON, 1980).

Diante disso, este trabalho teve por objetivos avaliar o desempenho e estimar os custos de um sistema de cavaqueamento de ponteiros de eucalipto resultantes

de colheita florestal, para aproveitamento energético, em uma empresa de base florestal localizada na Região Norte do Brasil. Objetivou-se, ainda, determinar o balanço energético desse sistema.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Área do estudo

Este trabalho foi realizado em uma empresa florestal, localizada no Estado do Pará, com consumo anual de 1,55 milhão de toneladas de madeira para celulose. A região se caracteriza, segundo a classificação climática de Köppen, por Am, com características intermediárias entre Af e Aw, cujo regime pluviométrico define uma curta estação seca, entre os meses de setembro e novembro. A precipitação média anual é de 2.115 mm, e as temperaturas mensais são elevadas durante todo o ano, com média anual de 26,4 °C (CORRÊA et al., 1989).

A área onde foi realizado este trabalho possuía solo do tipo Latossolo Amarelo Alúvico, com textura variando de arenosa a média (CORRÊA et al., 1989) e declividade variando entre 0° e 3°. A área continha plantio homogêneo de híbridos de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* (urograndis) com cerca de 1.008 árvores por hectare e idade média de 4,7 anos. O inventário pré-corte do plantio indicou a quantidade aproximada de 200 toneladas de madeira com casca por hectare. A altura média do povoamento era de 22 m. As ponteiros de eucalipto aproveitadas tinham em média 6 m de comprimento, e estima-se que representassem entre 8 e 10% do volume total da árvore.

2.2. Descrição da colheita de madeira

O sistema de colheita empregado, que possibilitava o aproveitamento das ponteiros, era composto por *feller-buncher*, *skidder* e garra traçadora. Após a etapa de corte, realizada por *feller-buncher*, era realizado o desgalhamento manual das árvores dentro do povoamento. Em seguida, os feixes de árvores desramadas eram arrastados por *skidder* para as margens das estradas. O destopamento e o traçamento eram realizados por garra traçadora. Nessa etapa, as toras traçadas eram empilhadas nas margens das estradas e as ponteiros, empilhadas no lado oposto à pilha de toras, dentro do talhão. Após o carregamento da madeira em toras para celulose, ocorria o cavaqueamento das ponteiros para energia.

2.3. O sistema de cavaqueamento avaliado

O sistema de cavaqueamento avaliado era composto por um picador florestal Bruno 196 (306 kW), alimentado com grua TMO AC9718 acoplada em trator Valtra BH145 (108 kW) (trator florestal transportador autocarregável). O módulo possuía dois tratores autocarregáveis. Porém, um deles operava apenas como reserva, pois a empresa planejava ampliar sua capacidade produtiva com a inclusão de um segundo picador. O baldeio das ponteiros de eucalipto e o consequente empilhamento ao alcance do trator autocarregável era realizado por carregadora frontal Caterpillar 938G (118 kW) com pneus.

O picador florestal, com capacidade de produção entre 15 e 25 t/h, possuía motor diesel estacionário com duas facas e uma contrafaca fixa. Sua força era transmitida ao rotor através de embreagem tipo disco, acionada manualmente. O acionamento das partes móveis (calha de alimentação, rolos de alimentação, transportador de extração) era feito por motores e redutores elétricos. Inicialmente, o picador possuía, na calha de alimentação do material, um sistema de correntes, o qual foi removido devido a sucessivas quebras, que provocavam danos irreversíveis às facas. No momento da avaliação, o trator autocarregável alimentava o picador com as ponteiros diretamente nos rolos de alimentação. Os cavacos eram extraídos por um sistema de correias diretamente para os caminhões basculantes, que realizavam o transporte até a planta energética.

O sistema era programado para operar 24 h por dia, em dois turnos de trabalho. Em cada turno eram empregados três trabalhadores, sendo um operador do picador, um do trator autocarregável e um da carregadora. Assim, o sistema empregava nove trabalhadores diretos, pois eram escaladas duas equipes por dia, enquanto a terceira equipe folgava. Segundo informações da empresa, a meta do sistema era produzir 8.000 toneladas de cavacos por mês.

No momento da avaliação, o picador acumulava 5.699 h de trabalho e a carregadora frontal, 2.769 h. O trator autocarregável reserva acumulava 587 h e o outro, 1.557 h.

2.4. Coleta de dados

Os dados foram coletados em fevereiro de 2009, empregando-se a metodologia de estudo de tempos e movimentos para separar tempo produtivo de demoras

operacionais. Os tempos foram obtidos a partir da cronometragem contínua com cronômetro sexagesimal. Foram amostrados cinco turnos de trabalho.

2.4.1. Eficiência operacional e produtividade do sistema

A eficiência operacional representa o percentual do tempo efetivamente trabalhado em relação ao tempo disponível para o trabalho. A produtividade do sistema, em toneladas de cavacos produzidos por hora efetivamente trabalhada, foi obtida a partir do tempo efetivo de trabalho para o carregamento completo dos caminhões e da respectiva pesagem da carga de cavacos na planta energética.

2.4.2. Estudo de tempos e movimentos dos ciclos operacionais

As operações do sistema de cavaqueamento foram subdivididas em atividades parciais, ou seja, em ciclos operacionais realizados por cada máquina do sistema. Para determinar o número mínimo de observações necessárias para proporcionar um erro de amostragem máximo admissível e um nível de confiança desejado, empregou-se a metodologia de estudo de tempos e movimentos proposta por Barnes (1968). Esse autor recomendou que inicialmente fosse realizado um estudo-piloto de cada ciclo operacional, com a cronometragem de 30 ciclos quando a duração do ciclo fosse menor que 2 min e de cinco ciclos nos casos em que a duração fosse maior que 2 min. A partir do estudo-piloto, o número de observações necessárias foi calculado pela seguinte expressão:

$$n \geq \frac{t^2 + CV^2}{E^2}$$

em que:

n = número mínimo de ciclos necessários;

t = valor tabelado do nível de probabilidade desejado e (n-1) graus de liberdade;

CV = coeficiente de variação, em porcentagem; e

E = erro admissível, em porcentagem.

Considerando um erro de amostragem máximo de 5% e um nível de confiança de 95%, determinou-se, a partir do estudo-piloto, que deveriam ser amostrados, para o trator autocarregável, 60 ciclos operacionais com o operador A e 75 com o operador B, uma vez que

dois operadores foram avaliados. Contudo, foram realizadas 92 observações com o operador A e 95 com o operador B. Os tempos gastos pelos operadores por ciclo operacional foram estatisticamente comparados por meio da análise de variância, com o uso do teste F a 1% de probabilidade. Dessa forma, foi possível verificar se os operadores avaliados possuíam a mesma produtividade. Apesar de haver dois tratores autocarregáveis, o estudo de tempos foi realizado em apenas um deles, pois o outro permanecia como reserva. Para a carregadora, deveriam ser amostrados 50 ciclos operacionais, e foram realizadas 55 observações, sendo apenas um operador avaliado.

O ciclo operacional do trator autocarregável foi dividido em três elementos: a alimentação do picador, o deslocamento vazio e o carregamento. A alimentação do picador iniciava no momento em que a grua carregada com ponteiros se posicionava sobre a calha de alimentação e terminava no momento em que a grua vazia estava pronta para se deslocar para o próximo carregamento. O deslocamento vazio da grua iniciava após a alimentação e terminava no momento em que ela estava pronta para realizar o próximo carregamento. O carregamento compreendia a obtenção de ponteiros pela grua e o seu deslocamento carregado até a calha de alimentação, onde, então, se iniciava um novo ciclo.

O ciclo operacional da carregadora foi dividido em cinco elementos: carregamento, deslocamento carregado, descarregamento, deslocamento vazio e espera. O carregamento iniciava quando o operador executava o primeiro movimento da carregadora no sentido de obter os resíduos e terminava no momento em que a carregadora estava pronta para se deslocar carregada. O deslocamento carregado compreendeu qualquer deslocamento que a carregadora realizava carregada. Geralmente, o deslocamento carregado iniciava após o carregamento e terminava no primeiro movimento para o descarregamento. O descarregamento iniciava quando o operador executava o primeiro movimento da carregadora, no sentido de descarregar os resíduos, e terminava no momento em que a carregadora estava pronta para se deslocar vazia. O deslocamento vazio compreendia qualquer movimento que a carregadora realizava sem estar carregada. Geralmente, o deslocamento vazio iniciava após o descarregamento e terminava no primeiro movimento para o carregamento. A espera compreendia o tempo que a carregadora perdia esperando o momento oportuno

para descarregar os resíduos ao alcance do autocarregável, sem interferir na operação de abastecimento do picador.

2.4.3. Consumo de combustível

O consumo de combustível de cada máquina foi determinado a partir do volume de óleo diesel abastecido em relação às horas trabalhadas, registradas pelo horímetro das máquinas, durante o período de avaliação do sistema. O volume de combustível abastecido foi determinado por meio de um medidor acoplado à bomba de abastecimento.

2.4.4. Custos

Os custos operacionais foram estimados por meio da metodologia descrita por Miyata (1980) a partir dos dados obtidos neste estudo. A estimativa dos custos baseou-se nos componentes descritos na Tabela 1.

3. RESULTADOS

3.1. Eficiência operacional e produtividade do sistema

A produtividade média do sistema foi de 17,51 toneladas por hora efetiva e a eficiência operacional do sistema, de 51,9%. Na Figura 1, apresenta-se a distribuição do tempo improdutivo do sistema, por motivo das paradas e por frequência das paradas.

3.2. Estudo de tempos dos ciclos operacionais

3.2.1. Trator autocarregável

A análise estatística dos tempos gastos por ciclo operacional dos dois operadores do trator autocarregável avaliados (A e B) apontou que houve diferença significativa entre eles. O valor de F calculado (36,27) foi maior que o valor de F tabelado (6,77), indicando que houve diferença entre os operadores no nível de 99% de probabilidade. Assim, não se pode considerar que os operadores possuem a mesma produtividade.

Na Figura 2 são apresentados os elementos dos ciclos operacionais dos dois operadores do trator autocarregável avaliados. O tempo médio por ciclo operacional gasto pelo operador A foi de 41,1 seg, enquanto o gasto pelo operador B, de 65,0 seg.

3.2.2. Carregadora

A eficiência operacional da carregadora foi de apenas 54,5%. O tempo médio do ciclo operacional da carregadora foi de 3,23 min. O deslocamento vazio compreendeu

Tabela 1 – Componentes do custo das máquinas avaliadas.
Table 1 – Evaluated machine cost elements.

Descrição	Picador	Autocarregáveis	Carregadora
Valor de aquisição (R\$/máquina)	560.000	340.000	300.000
Quantidade	1	2	1
Vida útil – máquina (anos)	5	8	8
Valor de revenda (% aquisição)	20	20	20
Facas (R\$/unidade)	1.200	-	-
Contra-facas (R\$/unidade)	900	-	-
Vida útil – facas e contra-facas (afiações)	30	-	-
Reparos e manutenção (% depreciação)	100	50	60
Taxa de juros anual (%)	12	12	12
Seguro (% Investimento Médio Anual)	4	4	4
Combustível (R\$/litro)	2,20	2,20	2,20
Lubrificação (% combustível)	36,8	36,8	36,8
Horas anuais programadas	8.030	8.030	8.030
Eficiência operacional (%)	51,9	51,9	54,5
Operação – salário (R\$/mês)	900	900	900
Operação – fator de encargos*	4,2	4,2	4,2

* Fator utilizado pela empresa para calcular os custos incidentes sobre a remuneração da mão de obra, como encargos sociais, uniformes, equipamentos de proteção individual, transporte ao local de trabalho e administração da mão de obra.

Nota: R\$1,00 = US\$0,55.

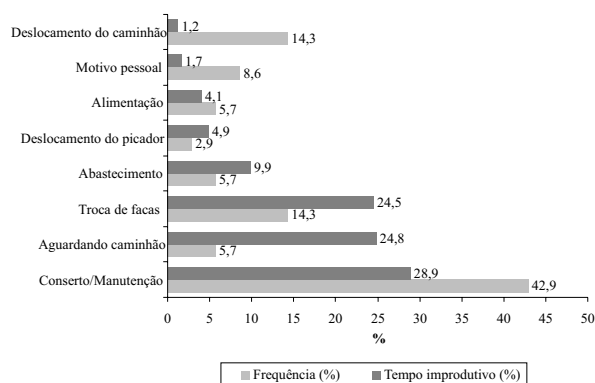


Figura 1 – Distribuição do tempo improdutivo do sistema por motivo das paradas e por frequência das paradas.

Figure 1 – Distribution of the system unproductive time by delay categories and frequency.

36% do ciclo operacional; o carregamento, 19%; o descarregamento, 17,9%; a espera, 16,4%; e o deslocamento carregado, 10,7%.

3.3. Consumo de combustível e balanço energético

O consumo de combustível, em litros por hora, foi de 22,70 para o picador, 16,85 para o trator autocarregável e 10,95 para a carregadora. No total,

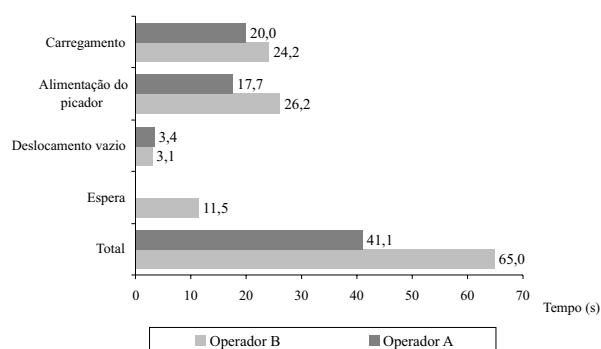


Figura 2 – Ciclos operacionais do trator autocarregável.
Figure 2 – Cycle elements of the forwarder.

o sistema de cavaqueamento apresentou consumo médio de 50,5 litros de combustível por hora trabalhada, o que representa um consumo de 2,35 litros de combustível por tonelada de cavacos produzida. O aporte energético do combustível⁵ consumido pelo sistema de cavaqueamento foi de 20.191 kcal por tonelada produzida. Como o poder calorífico contido na biomassa varia de acordo com o conteúdo de umidade, a razão entre a energia produzida e a energia consumida pelo sistema pode variar de 94 (45% de umidade) a 162 (15% de umidade) (Tabela 2).

⁵ Considerando que o poder calorífico inferior do diesel é de 8.600 kcal/litro.

Tabela 2 – Poder calorífico dos diferentes conteúdos de umidade.
Table 2 – Heat content of chips for a range of moisture content.

	Umidade (%)			
	15	25	35	45
PCS (kcal/kg) ¹	3.954,5	3.954,5	3.954,5	3.954,5
PCI (kcal/kg) ²	3.271,3	2.815,9	2.360,4	1.905,0
Balanco energético	162	139	117	94

PCS = poder calorífico superior; PCI = poder calorífico inferior.

¹ Valor médio obtido em um estudo que determinou o poder calorífico superior dos resíduos resultantes da colheita de *Eucalyptus grandis* e obteve valores médios de 3.908 kcal/kg nos resíduos com diâmetro entre 1 e 3 cm e 4.001 kcal/kg nos resíduos com diâmetro inferior a 1 cm (BAUER, 2001).

² Considerou-se que a perda de energia foi de 600 kcal/kg de água.

3.4. Custos

O sistema de cavaqueamento avaliado apresentou o custo de R\$376,56 por hora efetiva de trabalho, o que representa um custo de R\$21,51 por tonelada de cavacos produzida. O custo por unidade energética foi de R\$2,70 por Giga Joule (Tabela 3), podendo ser ainda menor, a depender do conteúdo de umidade da biomassa.

4. DISCUSSÃO

4.1. Eficiência operacional e produtividade do sistema

Em razão de diversas demoras operacionais, o sistema apresentou baixa eficiência operacional (51,9%). Por isso, não tem atingido a meta de produção mensal estabelecida pela empresa (8.000 toneladas de cavacos).

A produtividade média do sistema (17,51 t/h), apesar de estar dentro da faixa de capacidade de produção especificada pelo fabricante do picador (15-25 t/h), pode ser aumentada mediante a redução de tempos improdutivo.

As paradas para conserto e manutenção foram as mais frequentes (42,9%) e corresponderam ao maior percentual de tempo improdutivo (28,9%). Ocorreram

em intervalo médio de 107 min, com duração média de 15 min. Em 93,3% dos casos, essas paradas ocorreram por problemas no picador, principalmente no sistema de arrefecimento, e no restante (6,7%) aconteceram por problema no trator autocarregável.

As paradas por necessidade de aguardar caminhão (24,8% do tempo improdutivo) referem-se à substituição de um caminhão carregado por outro vazio, uma vez que o carregamento de cavacos era feito diretamente do picador para os caminhões, por meio de um sistema de correias. Durante o estudo, foi possível observar que algumas vezes houve falta de agilidade na substituição do caminhão cheio pelo vazio. Entretanto, grande parte do tempo perdido aguardando caminhão se deveu à falta de caminhão vazio, o que impossibilitou a continuidade do trabalho. Portanto, o transporte de cavacos foi considerado ponto de estrangulamento do sistema.

As trocas de facas do picador (24,5% de tempo improdutivo) ocorreram, em relação ao tempo total, em intervalo médio de 5,39 h, com duração média de 38 min para cada troca. Nas condições do estudo, cada par de facas apresentou durabilidade média de afiação de 2,8 h efetivas. Em parte, essa baixa durabilidade

Tabela 3 – Produtividade e custos do sistema avaliado.
Table 3 – Productivity and costs of the system.

Máquina	Custo operacional(R\$/h)	Produtividade(t/h)	Custo de produção(R\$/t)	Custo por unidade energética(R\$/GJ*)
Picador	179,88	-	-	-
Autocarregáveis	118,63	-	-	-
Carregadora	78,05	-	-	-
Total – Sistema	376,56	17,51	21,51	2,70

GJ (Giga Joule) = 238.845,9 kcal.

* Considerando o PCI de 1.905 kcal/kg (45% de umidade) (Tabela 2).

média de afiação pode ser atribuída ao solo arenoso do local, que provoca maior desgaste das facas. Isso evidencia uma desvantagem desse tipo de picador em relação aos trituradores. Em relação à contrafaca, a durabilidade média de afiação, nas condições do estudo, foi de 124,5 h efetivas.

As demoras por deslocamento do picador (4,9% do tempo improdutivo) referem-se à necessidade de mudança de posição do picador na área de trabalho, em função da distribuição das pilhas de ponteiros de eucalipto no campo.

As demoras por deslocamento do caminhão (1,2% do tempo improdutivo) referem-se à necessidade de mudança de posição do caminhão em relação ao sistema de extração de cavacos durante o carregamento, para que não houvesse desperdício de material.

Em um turno de 12 h, as paradas para alimentação (4,1% do tempo improdutivo) representaram, em média, apenas 15 min. Entretanto, o abastecimento das máquinas com combustível usualmente ocorria nos horários de alimentação, durante os quais os trabalhadores aproveitavam para as refeições. Por isso, para a estimativa do tempo total das paradas para alimentação dos trabalhadores, deve-se incluir o tempo de abastecimento das máquinas.

4.2. Estudo de tempos dos ciclos operacionais

4.2.1. Trator autocarregável

A produtividade do sistema de cavaqueamento foi altamente dependente do desempenho do trator autocarregável. Entretanto, o tempo produtivo do trator autocarregável estava diretamente relacionado ao do picador, pois havia a disponibilidade de um segundo trator autocarregável, usado como reserva, que assegurava a continuidade do trabalho. Portanto, nessas condições, a alimentação do picador não foi considerada ponto de estrangulamento do sistema.

Apesar de terem o mesmo tempo de experiência, não se pode considerar que os operadores do trator autocarregável avaliados possuíam a mesma produtividade. O operador A, além de ter apresentado menor tempo médio no ciclo operacional (41,1 seg), apresentou melhor desempenho nos elementos carregamento e alimentação do picador quando comparado com o operador B. Este, com ciclo operacional médio de 65 seg, apresentou o elemento de espera no

seu ciclo operacional, que compreendeu o tempo parado da grua à espera do abastecimento da pilha de ponteiros pela carregadora. Porém, o operador A não realizou a espera em nenhum dos ciclos amostrados. Assim, observou-se que haveria possibilidade de otimizar o ciclo operacional do operador B através da melhor organização do trabalho, no sentido de melhorar o seu desempenho operacional e aumentar a produtividade. Além disso, a alimentação do picador, que vem sendo realizada diretamente nos rolos de alimentação, demanda maior agilidade do operador da grua do trator autocarregável e resulta em maior perda de tempo.

4.2.2. Carregadora

A função da carregadora era realizar o baldeio e o empilhamento das ponteiros próximo ao trator autocarregável, de forma a garantir a disponibilidade de material ao alcance da grua para a alimentação do picador. Apesar de ter realizado baldeio durante parte das demoras operacionais do picador, o tempo produtivo da carregadora foi influenciado pela sua baixa eficiência operacional.

O deslocamento vazio foi o elemento que compreendeu o maior tempo do ciclo (36%), em função de a carregadora ter realizado baldeio e empilhamento das ponteiros mais distantes durante as demoras operacionais do picador. O carregamento apresentou maior tempo relativo (19%) do que o descarregamento (17,9%). Isso porque a atividade de carregamento requer maior habilidade do que a de descarregamento. Além disso, o descarregamento próximo ao trator autocarregável deve ser rápido, de forma a não interferir na atividade de alimentação. Em relação a isso, observou-se que o tempo de espera representou alto percentual do ciclo operacional da carregadora (16,4%).

4.3. Consumo de combustível e balanço energético

Observou-se que, quanto menor o conteúdo de umidade da biomassa, maior a razão entre a energia produzida e a energia consumida. Por isso, o sistema pode produzir entre 94 e 162 vezes mais energia do que consome. Nesse sentido, deixar os resíduos no campo por certo período de tempo após a colheita, para redução da umidade, constitui prática econômica e, também, ambiental, pela perda parcial das folhas para a ciclagem de nutrientes no solo.

4.4. Custos

Considerando que as ponteiros de eucalipto possuem custo zero pelo seu caráter residual, o custo de coleta e cavaqueamento torna esses resíduos competitivos com outros produtos energéticos. Porém, deve-se considerar o custo de transporte dos cavacos, que diminui a atratividade do energético com o aumento da distância. O custo de transporte é proporcional à distância de transporte do plantio até o centro consumidor e pode inviabilizar economicamente a atividade (SILVA et al., 2007). Conforme dados fornecidos pela empresa, o preço do frete gira em torno de R\$0,88 por tonelada transportada por quilômetro. Isso corresponde a R\$0,11 por Giga Joule por quilômetro. Assim, quanto maior a distância de transporte, menor a atratividade da biomassa florestal.

5. CONCLUSÃO

O sistema avaliado mostrou ser tecnicamente viável nas condições estudadas, mas ainda apresentou a possibilidade de ser otimizado.

O sistema de cavaqueamento avaliado apresentou balanço energético positivo, ou seja, produziu mais energia do que consumiu. Mesmo considerando o transporte dos cavacos a uma distância razoável, ainda espera-se um balanço positivo.

A viabilidade econômica do cavaqueamento de biomassa florestal para energia vai depender do contexto local, da disponibilidade de plantas industriais capazes de consumir essa biomassa, da distância de transporte e de opções e preços locais de outros combustíveis. Contudo, deve-se considerar que o aproveitamento energético da biomassa florestal gera receita, podendo viabilizar economicamente o aproveitamento de resíduos florestais e atividades de tratamentos silviculturais em empresas florestais.

6. AGRADECIMENTOS

Ao Engenheiro Florestal Pablo Guzzo, gerente de Colheita Florestal da Jari Celulose S.A., pelo apoio na viabilização deste trabalho; à Empresa Vix Logística S.A., pelo apoio na coleta de dados; e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo apoio financeiro.

7. REFERÊNCIAS

BARNES, R. M. **Motion and time study:** design and measurement of work. 6.ed. New York: John Wiley & Sons, 1968. 799p.

BAUER, S.R.T. **Resíduos da exploração florestal de Eucalyptus grandis Hill Ex Maiden para geração de energia elétrica.** Botucatu, SP: UNESP, 2001. 54 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2001.

CANTO, J. L. et al. Colheita e transporte florestal em propriedades rurais fomentadas no Estado do Espírito Santo. **Revista Árvore**, v.30, n.6, p.989-998, 2006.

CORRÊA, J. J. L.; JACOMINE, P. K. T.; SANTOS, R. D. **Solos do Jari:** Levantamento de reconhecimento de média intensidade dos solos sob floresta cultivada na área da Companhia Florestal Monte Dourado no Jari. Rio de Janeiro: Companhia Florestal Monte Dourado, 1989. 128p.

JACOVINE, L. A. G. et al. Avaliação da perda de madeira em cinco subsistemas de colheita florestal. **Revista Árvore**, v.25, n.4, p.463-470, 2001.

LOPES, E. S. et al. Análise técnica de um sistema de picagem de resíduos na colheita florestal. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE COLHEITA E TRANSPORTE FLORESTAL, 7., 2005, Vitória. **Anais...** Viçosa, MG: SIF, UFV, DEF, 2005. p.259-266.

MARTÍ, B. V. Situación de los sistemas de aprovechamiento de los residuos forestales para su utilización energética. **Revista Ecosistemas**, n. 1, 2006. Disponível em: <<http://www.revistaecosistemas.net/pdfs/402.pdf>>. Acesso em: 12 jun. 2007.

MIYATA, E. S. **Determining fixed and operating costs of logging equipment.** St. Paul: MN: USDA Forest Service, 1980. 16p. (Gen. Tech. Report NC-55).

SALMERON, A. Pesquisa sobre mecanização florestal para abastecimento industrial de resíduo visando a produção de energia. **Série Técnica IPEF**, v.1, n.2, p.1-10, 1980.

SILVA, M. L. et al. Análise do custo e do raio econômico de transporte de madeira de reflorestamentos para diferentes tipos de veículos. **Revista Árvore**, v.31, n.6, p.1073-1079, 2007.