

AVALIAÇÃO TÉCNICA E ECONÔMICA DO CORTE DE EUCALIPTO COM *FELLER-BUNCHER* EM DIFERENTES CONDIÇÕES OPERACIONAIS

TECHNICAL AND ECONOMIC EVALUATION OF THE HARVEST OF EUCALYPT WITH *FELLER-BUNCHER* IN DIFFERENT OPERATING CONDITIONS

Danilo Simões¹ Ivan Chiaramonti Iamonti² Paulo Torres Fenner³

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar técnica e economicamente o *Feller-buncher* em condições diferenciadas de colheita em florestas de eucalipto em segundo corte. A análise técnica englobou um estudo de tempos e movimentos pelo método de tempo contínuo e o rendimento operacional foi determinado pelo volume em metros cúbicos de madeira colhida. A análise econômica englobou os parâmetros do custo operacional, custo de colheita florestal e rendimento energético. A análise dos dados evidenciou que a composição da linha de colheita, a disposição dos feixes de árvores influenciaram no rendimento operacional. O custo operacional médio foi de US\$ 86.26 por hora efetiva de trabalho, que resultou num custo de colheita florestal médio de US\$ 1.09 m⁻³.

Palavras-chave: produtividade; custos; mecanização florestal; tempos e movimentos.

ABSTRACT

This study aimed to technically and economically evaluate the Feller-buncher in different conditions of harvest in eucalypt forests of second cut. The technical analysis included a study of time and movements by the method of continuous time, and operational performance was determined by volume in cubic meters of harvested wood. The economic analysis included the parameters of operational cost, harvest cost and energy consumption. The analysis of the data showed that the composition of main line harvesting and the arrangement of bundles of trees influenced operational performance. The average operational cost was US\$ 86.26 per hour of actual work, which resulted in an average cost of forest harvesting of US\$ 1.09 m⁻³.

Keywords: productivity; costs; forest mechanization; times and movements.

INTRODUÇÃO

A avaliação dos sistemas de colheita de madeira, independente do grau de mecanização utilizado, é um procedimento fundamental para correções ou qualquer alteração do processo de produção, visando à racionalização e otimização dos recursos utilizados (LOPES et al. 2008).

De acordo com Andrade (1998) uma das técnicas utilizadas no planejamento e para otimizar

a operação de colheita florestal é o estudo de tempos e movimentos. Simões (2008) descreve que, para medir o tempo despendido e identificar os ciclos operacionais, o mais preconizado é o método de cronometragem, pois, por meio desse método, determina-se o tempo e as atividades parciais que compõem a operação e, de forma análoga realiza-se o estudo de movimentos, que tem por objetivo definir o melhor procedimento a ser realizado durante a execução de uma operação.

1. Administrador de Empresas, M.Sc., Doutorando pela Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Estadual Paulista, Rua José Barbosa de Barros, 1780, Fazenda Lageado, CEP 18610-307, Botucatu (SP). simoesdaniilo@yahoo.com.br
2. Engenheiro Florestal, Mestrando em Ciência pela Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Estadual Paulista, Rua José Barbosa de Barros, 1780, Fazenda Lageado, CEP 18610-307, Botucatu (SP). iciamonti@fca.unesp.br
3. Engenheiro Florestal, Dr., Professor Adjunto, Departamento de Recursos Naturais, Setor de Ciências Florestais, Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Estadual Paulista, Rua José Barbosa de Barros, 1780, Fazenda Lageado, CEP 18610-307, Botucatu (SP). fenner@fca.unesp.br

Recebido para publicação em 19/05/2009 e aceito em 30/04/2010

A evolução da mecanização da colheita florestal intensificou-se nos últimos anos, desencadeando um processo contínuo de avaliação dos rendimentos operacionais e de estimativa dos custos, haja vista que essa etapa despende de elevado percentual dos custos de produção de florestas comerciais.

Para Miyata (1980), o custo operacional dos equipamentos é a base de cálculo para as avaliações econômicas e estudos comparativos entre sistemas, por meio da variação das grandezas de seus parâmetros. Os seus componentes são: valor de aquisição; vida útil, valor residual, taxa de remuneração, seguros e outras taxas, utilização anual, mão-de-obra, combustível e manutenção dos maquinários (pneus, esteiras, peças etc.).

Conforme Silva et al. (2007), as máquinas florestais, em geral e, especificamente o *Feller-buncher*, têm sido avaliadas sob diversos aspectos, em diversas partes do mundo, com objetivos diversos como, por exemplo, avaliar a produtividade, necessidade de manutenção mecânica e eletrônica, entre outros.

O *Feller-buncher* é um trator florestal de pneus ou esteira com cabeçote, um implemento frontal que faz o corte, acumula várias árvores e tomba-as (báscula), formando feixes de toras ou de árvores, empilhando-as para a posterior operação. O cabeçote é uma peça de construção rígida, onde está localizado o órgão de corte que pode ser composto por um disco dentado, uma tesoura de dupla ação, uma serra, ou um sabre e os braços acumuladores, todos acionados por um sistema hidráulico (MACHADO, 2002).

O objetivo deste estudo foi avaliar técnica e economicamente o desempenho do *Feller-buncher* em condições operacionais diferenciadas de colheita em florestas de eucalipto em segundo corte.

MATERIAL E MÉTODOS

Área experimental

O estudo foi desenvolvido numa floresta de *Eucalyptus grandis* de segundo corte, num talhão homogêneo, equiâneo e seminal, com 80 meses de idade. O plantio foi realizado num espaçamento de 3 x 2 metros.

A área experimental está localizada nas coordenadas geográficas 22°58' de Latitude Sul e 48°32' de Longitude Oeste, no estado de São Paulo, Brasil, com altitude média de 780 metros acima do

nível do mar. O tipo de solo predominante na região, segundo a Embrapa (1999), é o argilo-arenoso de cor castanho-avermelhado

A área do reflorestamento estudado, segundo a classificação de Wilhelm Köppen, está localizado em área de clima Cwa, clima temperado quente (mesotérmico), com chuvas no verão e seca no inverno, e a temperatura média do mês mais quente é superior a 22°C. O total de precipitação pluvial anual apresenta a média de 1.524,5 mm, com total médio no mês mais seco de 37,4 mm e 256,7 mm no mês mais chuvoso. A temperatura média anual é de 20,5°C, sendo 17,2°C no mês mais frio e 23,4°C, no mês mais quente (CUNHA et al., 1999).

A coleta dos dados foi efetuada nos mesmos horários e condições climáticas, as quais se mantiveram sem alterações, com o céu encoberto e com períodos de sol durante o período do estudo.

Descrição do Feller-buncher

O *Feller-buncher* era constituído por uma máquina base com estrutura de escavadora hidráulica da marca *Caterpillar* modelo CAT 320 CL, equipado com motor diesel modelo 3066-T, com 103 kW de potência nominal, grua modelo *Scavator*, sistema de rodados de esteiras e peso operacional de 23.800 kg.

O cabeçote de corte acumulador era da marca *Risley* modelo H1818 TS. O diâmetro máximo de corte era de 510 mm, com rotação do disco de 1.200 rpm, inclinação lateral de 15° e 16 facas cortantes.

Sistema de colheita

O sistema de colheita avaliado foi o de “árvores inteiras” (*full-tree*). A derrubada das árvores era direcionada para o lado oposto das árvores em pé e a base dos feixes das árvores era depositada ao chão, com alinhamento variando de acordo com os subsistemas avaliados.

Subsistemas de colheita

Para avaliar a influência das condições operacionais no desempenho do *Feller-buncher*, a área experimental foi subdividida em seis subsistemas.

Com o propósito de atingir a finalidade deste estudo foi necessário fixar os diversos fatores que interferem no rendimento operacional da colheita

com *Feller-buncher*, ou seja, estudou-se a colheita sob condições homogêneas de solo, floresta, clima, local, máquina e operador.

Os subsistemas de colheita foram classificados de acordo com o comprimento da grua, sendo esses:

Subsistema 1: grua com comprimento para alcance máximo de 8,83 m.

Subsistema 2: grua com comprimento para alcance máximo de 9,83 m.

Para cada subsistema, houve condições operacionais diferenciadas, as quais variaram em função da quantidade de linhas de colheita e do ângulo de disposição dos feixes de árvores no chão. Essas condições operacionais foram denominadas por:

3 L – Composta por 3 linhas de colheita, com disposição dos feixes de árvores a 30°.

4 L – Composta por 4 linhas de colheita, com disposição dos feixes de árvores a 45°.

5 L – Composta por 5 linhas de colheita, com disposição dos feixes de árvores a 90°.

Coleta dos dados

A coleta de dados de tempos e movimentos foi efetuada pelo método de cronometragem de tempo contínuo. Esse método se caracteriza pela medição do tempo sem detenção do cronômetro, isto é, de forma contínua.

Para este estudo, cada feixe de árvore colhida foi considerado como sendo um ciclo operacional, subdivididos nas seguintes atividades parciais:

Cortar: tempo despendido para efetuar o corte de derrubada das árvores.

Buscar e deslocar: movimento do cabeçote e do deslocamento da máquina em direção às árvores a serem abatidas.

O número de ciclos operacionais foi estimado por meio da metodologia proposta por Barnes (1968). Mediante um estudo-piloto, foi estimado o número mínimo de ciclos operacionais para um erro de amostragem admissível fixado em 5%, a 95% de probabilidade (Equação 1).

$$n \geq \frac{t^2 \times CV^2}{E^2} \quad (1)$$

Em que,

n – número mínimo de ciclos operacionais necessários;

t – valor de t, *Student*, no nível de

probabilidade desejado e (n-1) graus de liberdade;

CV – coeficiente de variação (%);

E – erro admissível (%).

Análise técnica

O rendimento operacional foi calculado em metros cúbicos de madeira colhida por hora efetiva de trabalho ($m^3 \text{ he}^{-1}$) (Equação 2).

$$R = \frac{v}{T} \quad (2)$$

Em que,

R – rendimento operacional ($m^3 \text{ he}^{-1}$);

v – volume, em metros cúbicos de madeira (m^3);

T – tempo em horas efetiva (he).

O volume, em metros cúbicos de madeira colhida, foi calculado multiplicando o número de árvores pelo volume médio obtido por meio de inventário.

Delineamento estatístico

Os resultados obtidos foram submetidos à técnica da análise de Variância para o esquema fatorial 2x3, para experimentos inteiramente casualizados, por meio do software estatístico R (*R-Statistics*). Nos casos em que houve diferença estatisticamente significativa, foi realizado teste de *Tukey* a 5 % de probabilidade.

Análise econômica

Os custos operacionais foram estimados mediante metodologia proposta pela *American Society of Agricultural Engineers* (ASAE, 2001) e foram expressos em dólar comercial americano, oficial do Banco Central do Brasil (PTAX 800) a preço de venda (BANCO CENTRAL DO BRASIL, 2009) por hora de trabalho ($\text{US\$ h}^{-1}$). Foi considerado como taxa de câmbio o preço da moeda estrangeira medido em unidades e frações da moeda nacional, que era de R\$ 18,398 (19.09.2008).

Para estimar os custos operacionais, foram considerados os custos fixos (depreciação, juros, abrigo, taxas e seguros) e variáveis (combustíveis, lubrificação, mão-de-obra e de reparos e manutenção). Foi considerando uma taxa de juros de 10% a.a., com uma vida útil para a máquina base e cabeçote de corte acumulador de 5 anos e valor residual de 35%.

O custo de colheita florestal (US\$ m⁻³) foi obtido pela divisão dos custos operacionais pelo rendimento operacional efetivo, e o rendimento energético foi obtido pela razão entre o consumo específico efetivo de combustível (g kW⁻¹ h⁻¹) e o rendimento operacional médio efetivo (m³ he⁻¹), para cada subsistema estudado, expresso em g kW m³ he⁻¹.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados apresentados referem-se somente às atividades parciais efetivas que compõem o ciclo operacional do *Feller-buncher*.

Durante o estudo, foram analisados 1.431 ciclos operacionais, número superior ao calculado como necessário para um erro de amostragem admissível fixado em 5 a 95% de probabilidade.

Estudo de tempos e movimentos

Na Figura 1, é apresentada a constituição média das atividades parciais do ciclo operacional do *Feller-buncher*.

Pode-se constatar que em todos os subsistemas avaliados, a atividade que despendeu maior tempo do ciclo operacional foi a atividade parcial “cortar” a qual representou em média 70,82% do tempo total do ciclo operacional.

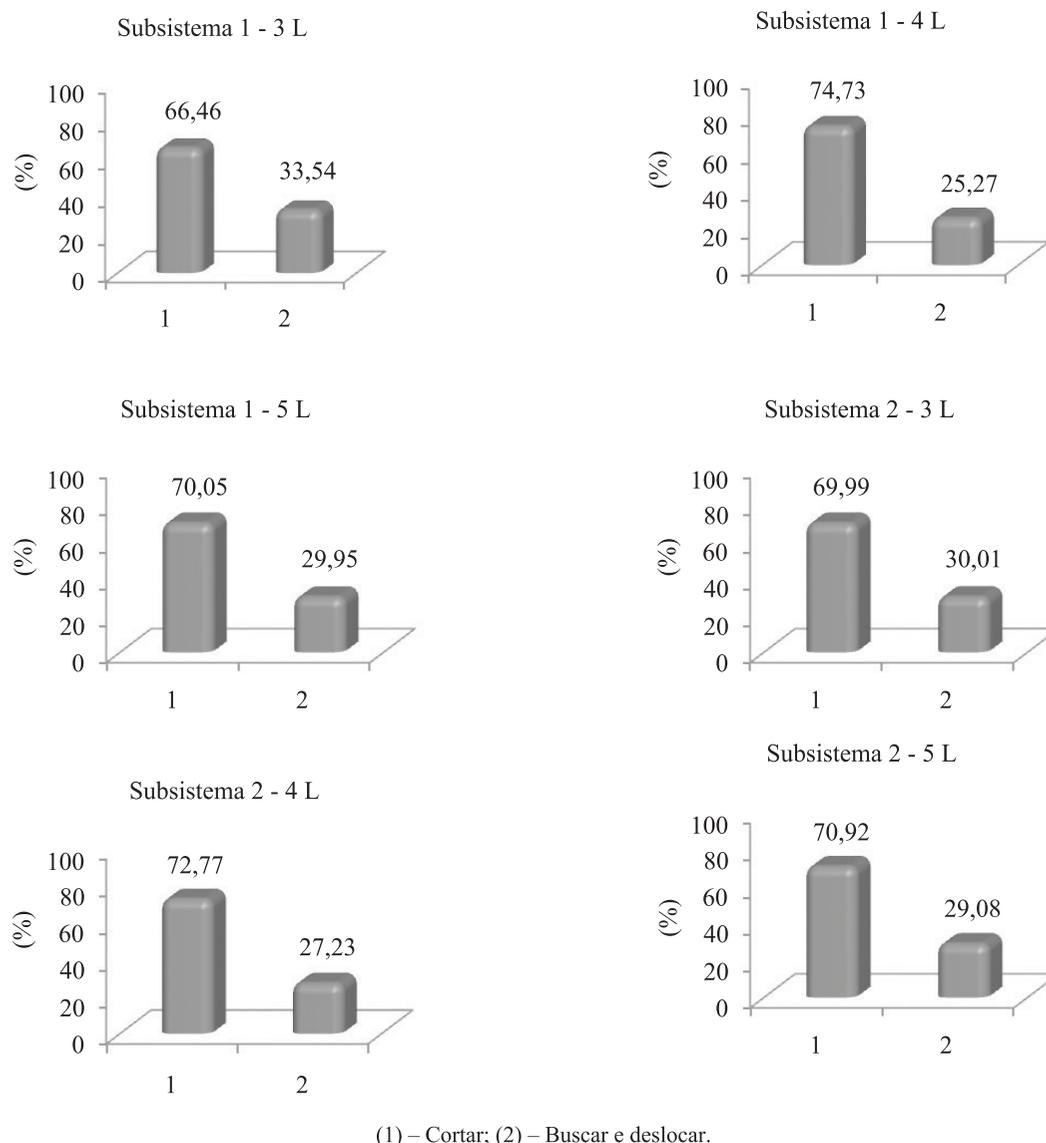


FIGURA 1: Porcentual de tempos das atividades parciais do *Feller-buncher*.
FIGURE 1: Percentage of time of the partial activities of the *Feller-buncher*.

Na Tabela 1, são apresentados os resultados das análises estatísticas realizadas para as atividades parciais que compuseram o ciclo operacional do *Feller-buncher*.

Quando analisado o Subsistema 1, pode-se verificar que as condições operacionais, ou seja, a composição das linhas de colheita e disposição dos feixes de árvores, não influenciaram no tempo de operação do corte das árvores. Entretanto para o Subsistema 2 incidiu uma diferença estatística significativa, haja vista que o menor tempo despendido para o corte das árvores foi obtido na condição operacional 4 L a qual foi semelhante estatisticamente à condição operacional 5 L.

O efeito das condições operacionais 3 e 4 L para os diferentes subsistemas (comprimento da grua), não influenciaram no tempo despendido para o corte das árvores. Para a condição operacional 5 L, o melhor resultado obtido foi por meio do Subsistema 2.

Ponderando o tempo despendido para a busca e deslocamento da máquina em direção às árvores a serem abatidas no Subsistema 1, o melhor resultado obtido foi na condição operacional 4 L, embora não tenha se diferenciado estatisticamente da condição operacional 5 L. Para o Subsistema 2 não houve influência das condições operacionais nos tempos despendidos durante o tempo de busca e deslocamento. O maior tempo despendido, foi para a condição operacional 3 L em ambos os subsistemas. Ao considerar somente as condições operacionais, observou-se que o tamanho da grua não influenciou

estatisticamente o tempo de busca e deslocamento.

Rendimento operacional

O rendimento operacional médio do *Feller-buncher* variou de 70,03 a 91,60 m³ de madeira colhida por hora efetiva de trabalho para os subsistemas avaliados. Esses números foram superiores ao encontrado pelos autores Moreira et al. (2004) que apresentaram em seu estudo um rendimento operacional efetivo de 33,47 e 36,10 m³ de madeira colhida para dois subsistemas avaliados. Entretanto Simões (2008), avaliando o *Feller-buncher* em florestas de primeiro corte, seminal e com relevo plano, determinou um rendimento operacional por hora efetiva de trabalho de 118,51 m³ de madeira colhida, superior ao obtido para este estudo.

Na Tabela 2 pode ser observado que o rendimento operacional médio variou de acordo com os subsistemas avaliados. Constata-se que existe uma interação entre as variáveis de cada subsistema, a qual influenciou nos rendimentos operacionais.

Considerando os subsistemas, observou-se que, para o Subsistema 1, o melhor rendimento operacional foi obtido para a condição operacional 4 L, sendo estatisticamente superior às demais condições operacionais. Ponderando o Subsistema 2, o melhor resultado também foi obtido para a condição operacional 4 L, porém não diferindo estatisticamente da condição operacional 5 L.

TABELA 1: Análise estatística do ciclo operacional do *Feller-buncher*.

TABLE 1: Statistical analysis of the *Feller-buncher* operational cycle.

Subsistemas	Tempo (s)					
	Cortar			Buscar e deslocar		
	3 L	4 L	5 L	3 L	4 L	5 L
1	22,59aA	20,85aA	23,17aB	12,06bA	7,12aA	9,67abA
2	23,80bA	19,97aA	20,17aA	10,46aA	7,52aA	8,32aA

Médias seguidas de mesma letra minúsculas na linha e maiúscula na coluna não diferem, estatisticamente, entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

TABELA 2: Rendimentos operacionais do *Feller-buncher* em diferentes condições operacionais.

TABLE 2: Operational performance of the *Feller-buncher* in different operating conditions.

Subsistemas	Rendimento operacional médio (m ³ h ⁻¹)		
	3 L	4 L	5 L
1	78,20bA	91,60aA	70,03cB
2	72,52 bB	83,60aB	81,75aA

Coefficiente de Variação = 10,71%.

Analisando as condições operacionais, os melhores rendimentos operacionais foram obtidos para 4 L para ambos subsistemas avaliados.

Custo operacional

O somatório dos custos fixos e variáveis apresentou um custo operacional de US\$ 86.26 por hora de trabalho. Esse valor foi superior ao estimado por outros autores, os quais empregaram em seus estudos máquinas com as características técnicas semelhantes. Simões (2008) estimou em seu estudo um custo operacional de US\$ 80.22 por hora de trabalho e Minette (2008) US\$ 66.21 por hora de trabalho.

Por meio da Figura 2, é apresentado o gráfico em percentuais dos custos operacionais obtidos. O custo fixo correspondeu a 27,40% e, o custo variável representou 72,60%.

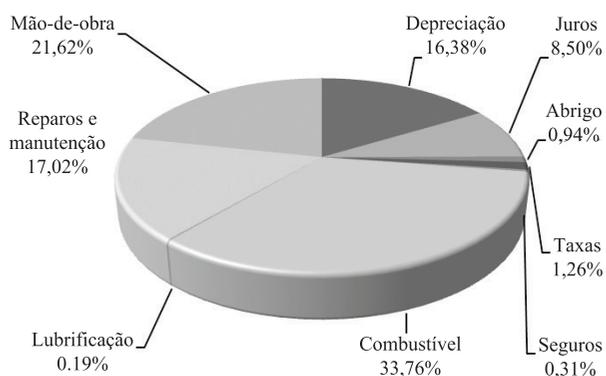


FIGURA 2: Porcentuais dos custos fixos e variáveis do *Feller-buncher*.

FIGURE 2: Percentage of fixed and variable costs of the *Feller-buncher*.

Custo de colheita e rendimento energético

Ponderando que os custos operacionais e o consumo de combustível foram os mesmos para todos os subsistemas avaliados, o que diferiu os valores do custo de colheita florestal e do rendimento energético foi o rendimento operacional obtido nas diferentes condições de trabalho.

Segundo Santos e Machado (1995), o custo de colheita florestal diminui à medida que há um aumento no rendimento operacional. Esse fato pode ser observado na Tabela 3, o qual evidencia que, com a melhora do rendimento operacional, houve um decréscimo no custo de colheita florestal.

TABELA 3: Custo de colheita florestal do *Feller-buncher*.

TABLE 3: Cost of *Feller-buncher* forest harvest

Subsistemas	Custo de colheita florestal (US\$ m ⁻³)		
	3 L	4 L	5 L
1	1.10	0,94	1.23
2	1.19	1.03	1.06

O menor custo de colheita florestal foi obtido durante a avaliação do Subsistema 1 para a condição operacional 4 L, ou seja, grua com comprimento para alcance máximo de 8,83 composta por 4 linhas de colheita, com disposição dos feixes de árvores a 45°. Considerando apenas o Subsistema 2, o menor custo de colheita também foi obtido na condição operacional 4 L, haja vista que a única variação, quando comparado ao Subsistema 1-4 L, foi o comprimento da grua.

Os custos de colheita obtidos nesse estudo diferem amplamente dos estimados por Lopes (2007) durante a análise técnica de sistema de colheita florestal, que determinou custos entre 1.64 e 4.85 US\$ m⁻³ de madeira colhida.

Por meio da divisão do consumo específico pelo rendimento operacional, obtiveram-se os rendimentos energéticos demonstrados na Tabela 4. O estudo do *Feller-buncher* resultou num consumo específico de combustível de 211,03 (g kW⁻¹ h⁻¹) derivando um rendimento energético paralelo ao custo de colheita florestal.

Pode ser observada, na Figura 3, uma curva do tipo exponencial relacionando o custo de colheita florestal em função do rendimento operacional. O custo médio de colheita florestal por metro cúbico variou de US\$ 1.73 para um rendimento operacional de 50 m³ h⁻¹ a uma faixa de melhor rendimento operacional de 100 m³ h⁻¹ a US\$ 0.86 por metro cúbico, na faixa de melhores condições da colheita florestal. Foi traçada uma linha de tendência que gerou a equação a com a respectiva relação.

TABELA 4: Rendimento energético do *Feller-buncher*.

TABLE 4: Energy consumption of the *Feller-buncher*.

Subsistemas	Rendimento energético (g kW m ³ h ⁻¹)		
	3 L	4 L	5 L
1	2,70	2,30	3,01
2	2,91	2,52	2,58

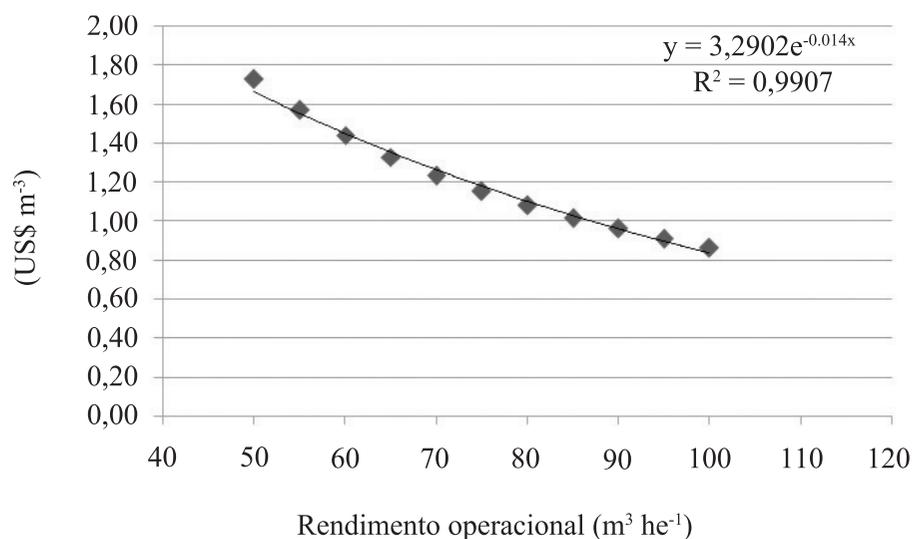


FIGURA 3: Comportamento do custo de colheita florestal em função do rendimento operacional.
 FIGURE 3: Forest harvest cost behavior as a function of operational performance.

CONCLUSÕES

Houve diferenças significativas nas atividades parciais que compuseram o ciclo operacional para as diferentes condições operacionais estudadas.

A composição da linha de colheita e a disposição dos feixes de árvores influenciaram no rendimento operacional.

O melhor rendimento operacional do *Feller-buncher* foi para a condição operacional composta por 4 linhas de colheita e disposição do feixes de árvores no chão a 45°.

O custo operacional médio foi de US\$ 86,26 por hora efetiva de trabalho, que resultou num custo médio de colheita florestal de US\$ 1,09 m⁻³;

O rendimento energético comportou-se de forma análoga ao custo de colheita de florestal.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. **ASAE standards 2001**: machinery, equipment, and buildings: operating costs. Ames, Iowa, USA, 2001. p. 164-226. (ASAE D472-3).
 ANDRADE, S. C. **Avaliação técnica, social, econômica e ambiental de dois subsistemas de colheita florestal no litoral norte da Bahia**. 1998. 125 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1998.
 BANCO CENTRAL DO BRASIL. **Conversão de moedas**. Disponível em: <(http://www4.bcb.gov.br/?TXCONVERSAO)>. Acesso em: 31 de

setembro de 2009.

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

CUNHA, A. R. et al. Classificação climática para o município de Botucatu, SP, segundo Köppen. In: SIMPÓSIO EM ENERGIA NA AGRICULTURA, 1., 1999, Botucatu. **Anais...** Botucatu: SINERGIA, 1999. v. 2, p. 487-489.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solo. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 1999. 412 p.

LOPES, S. E. et al. Avaliação técnica e econômica de uma garra traçadora operando em diferentes produtividades. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 36, n. 79, p. 215-222, 2008.

LOPES, S. E. **Análise técnica e econômica de um sistema de colheita florestal**. 2007. 124 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2007.

MIYATA, O. P. Custo operacional de máquinas utilizadas na exploração e transporte da cultura do eucalipto. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, n 141, p. 24-30, 1980.

MINETTE, L. J., et al. Análise técnica e econômica da colheita florestal mecanizada em Niquelândia, Goiás. **Rev. bras. eng. agrícola e ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 6, p. 659-665, 2008.

MOREIRA, F. M. T., et al. Avaliação operacional e econômica do "*Feller-Buncher*" em dois subsistemas de colheita de florestas de eucalipto.

Revista Árvore , Viçosa, v. 28, n. 2, p. 199-205, 2004.

SANTOS, S. L. M.; et al. Análise técnico-econômica da extração de eucalipto em áreas planas com o *forwarder*. **Revista Árvore** , Viçosa, v. 19, n. 2, p. 213-227, 1995.

SILVA, J. R.; et al. Avaliação do desempenho operacional de trator florestal Feller-buncher.

Revista de Ciência Agroveterinária, Lages, v. 6, n. 1 , p. 29-34. 2007.

SIMÕES, D. **Avaliação econômica de dois sistemas de colheita florestal mecanizada de eucalipto**. 2008. 105 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura)-Faculdade de Ciências Agrônômicas/Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2008.