

## Avaliação das características técnica e econômica de um sistema de colheita florestal de árvores inteiras

## Technical and economic evaluation of a full tree harvesting system

Haroldo Carlos Fernandes<sup>1</sup>, Sebastião Eudes Lopes<sup>2</sup>, Mauri Martins Teixeira<sup>3</sup>, Luciano José Minette<sup>4</sup>, Paula Cristina Natalino Rinaldi<sup>5</sup> e Amanda Mirelle Bernardes<sup>6</sup>**Resumo**

O trabalho foi conduzido em povoamentos de eucalipto de uma empresa florestal do Estado de Goiás, com o objetivo de avaliar técnica e economicamente um sistema de colheita florestal de árvores inteiras composto de “feller-buncher”, “skidder” e garra traçadora. Foi realizado um estudo de tempos e movimentos e determinados os custos operacionais e de produção das máquinas. Para avaliar esses valores de produtividade do “feller-buncher” e da garra traçadora, foi empregado um delineamento estatístico inteiramente casualizado com seis repetições, em esquema de parcelas subdivididas. Adotaram-se como parcelas as operações que compõem o ciclo operacional das máquinas e como subparcelas, os níveis de produtividade de floresta de 100, 200 e 300 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>. Os valores foram submetidos à análise de variância e ao teste de Tukey a 5% de probabilidade. Para avaliar o efeito dos tempos consumidos nas operações do ciclo operacional do “skidder” nas produtividades de floresta de 100, 200 e 300 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> e nas distâncias de arraste de 100, 200 e 300 m, assim como avaliar suas interações quando significativas, utilizou-se um delineamento estatístico de blocos casualizados, em esquema fatorial 6x3x3, sendo seis operações, três produtividades e três distâncias de arraste, com quatro repetições. Os valores foram submetidos à análise de variância e ao teste de Tukey a 5% de probabilidade. Concluiu-se que o “feller-buncher” registrou o maior custo de produção dentro do sistema, obtendo melhor capacidade efetiva de trabalho nas áreas de maior produtividade. O “skidder” também teve seu melhor desempenho no talhão de 300 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> na distância até 200 m. A garra traçadora apresentou custo de 0.97, 0.75 e 0.63 US\$ m<sup>-3</sup> para as produtividades de 100, 200 e 300 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

**Palavras-Chave:** Colheita florestal, Composição de custos, Produtividade**Abstract**

This study was carried out in eucalyptus stands of a forest company in the State of Goiás, aiming at a technical and economic evaluation of a harvesting system. The studied system consisted of feller-buncher, skidder and slasher. The technical analysis was based on a study of times and movements and the economic analysis consisted of determining machine operating and production costs. Feller-buncher and slasher data were evaluated in a complete randomized design, with six replications, in a splitplot arrangement, with the phases of the machine operating cycle as whole plots and the levels of productivity 100, 200 and 300 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> as subplots. Data were subjected to analysis of variance and the Tukey test at 5% of probability. To evaluate the effect of the times spent in the operating cycle by the skidder at the productivity levels of 100, 200 and 300 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> and the dragging distances of 100, 200 and 300 m, as well as evaluating the significant interactions, a randomized block design was used, in a 6x3x3 factorial arrangement (six operations, three productivities and three dragging distances), with four replications. Data were subjected to analysis of variance and the Tukey test at 5% of probability. The feller-buncher recorded the highest production cost within the system and was a limiting factor for production. The skidder's best performance was found to be 200 m and a forest productivity of 300 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>. The slasher recorded costs of 0.97; 0.75; and 0.63 US\$ m<sup>-3</sup> for the productivities 100, 200 and 300 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> respectively.

**Keywords:** Forest harvesting, Composition of costs, Productivity

<sup>1</sup>Professor Associado do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa - Avenida PH Rolfs s/n - Campus Universitário - Viçosa, MG - 36570-000 - E-mail: [haroldo@ufv.br](mailto:haroldo@ufv.br)

<sup>2</sup>Doutor em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Viçosa - E-mail: [industria@jatiboca.com.br](mailto:industria@jatiboca.com.br)

<sup>3</sup>Professor Associado do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa - Avenida PH Rolfs s/n - Campus Universitário - Viçosa, MG - 36570-000 - E-mail: [mauri@ufv.br](mailto:mauri@ufv.br)

<sup>4</sup>Professor Associado do Departamento de Engenharia Elétrica e de Produção da Universidade Federal de Viçosa - Av. PH Rolfs, s/n - Campus Universitário - Viçosa, MG - 36570-000 - E-mail: [minette@ufv.br](mailto:minette@ufv.br)

<sup>5</sup>Doutoranda em Engenharia Agrícola no Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa - Avenida PH Rolfs s/n - Campus Universitário - Viçosa, MG - 36570-000 - E-mail: [pcnrinaldi@yahoo.com.br](mailto:pcnrinaldi@yahoo.com.br)

<sup>6</sup>Mestranda em Engenharia Agrícola no Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa - Avenida PH Rolfs s/n - Campus Universitário - Viçosa, MG - 36570-000 - E-mail: [amandamufv@hotmail.com](mailto:amandamufv@hotmail.com)

## INTRODUÇÃO

A avaliação dos sistemas de colheita de madeira, independente do grau de mecanização utilizado, é uma ferramenta fundamental para correções ou qualquer alteração do processo de produção, visando à racionalização e otimização dos recursos utilizados. Trata-se ainda de instrumento indispensável na comparação de diferentes métodos ou equipamentos.

As estimativas de produtividade e custos baseados em dados fornecidos pelos fabricantes dos equipamentos, ou obtidas em trabalhos realizados em outros países, mostram-se bastante frágeis, uma vez que refletem dados obtidos em condições totalmente diversas, no que diz respeito ao sistema silvicultural, clima e formação profissional do operador, ficando clara a necessidade de realização de estudos específicos para as condições brasileiras (BRAMUCCI, 2001).

Os sistemas de colheita de madeira mais comuns são os sistemas de árvores inteiras e de toras curtas. Para Machado e Castro (1985), as vantagens do sistema de árvores inteiras são: a área fica limpa de resíduos diminuindo o risco de incêndios; a utilização da biomassa como fonte energética; a concentração de várias operações em um único ponto permitindo maior controle das operações; e, conseqüentemente, maior rendimento operacional se comparado ao sistema de toras curtas.

Segundo Seixas e Oliveira Júnior (2001), no Brasil predominam os dois sistemas (toras curtas e árvores inteiras) na colheita florestal, cujos módulos foram desenvolvidos em função dos tipos de máquinas e manipulação da madeira: o sistema escandinavo "cut-length" (toras curtas) e o sistema norte americano "full tree" (árvores inteiras), 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" causem mais danos que o "harvester" e "forwarder" em termos de compactação.

Segundo Seixas (2002) a combinação "skidder" + "feller-buncher" pode ser considerada representativa no sistema de árvores inteiras, enquanto que o módulo "harvester + forwarder" trabalha em um sistema de colheita com processamento das árvores no local de abate.

A distribuição dos tempos no trabalho do "feller-buncher", estudado por Lima e Sant'Anna (2001), demonstrou que o tempo efetivo de tra-

balho da máquina não chegou a 30% do seu dia típico de trabalho, sendo 48% do seu tempo gasto com as atividades gerais. Dentro dessas atividades, a manutenção corretiva foi a que consumiu o maior tempo, chegando a 34% do dia.

Birro (2002), avaliando a extração de madeira com "track-skidder" em região montanhosa, relatou que, aumentando a distância de extração, o deslocamento da máquina passou a ser um item significativo em seu ciclo de operação, afetando bastante a eficiência operacional da máquina. Seixas *et al.* (2004) considera o estudo de tempos e movimentos uma técnica muito importante no desenvolvimento de sistemas de colheita de madeira, pois o tempo consumido para cada um dos elementos do ciclo de trabalho permite a sua organização, com o objetivo de otimizar o sistema operacional.

A análise das operações florestais geralmente está vinculada a dados coletados. Frequentemente, esses dados estão contidos em relatórios de estudos de tempo e antes da coleta dos dados, as operações devem ser explicitamente definidas e separadas em nível de elemento (VALVERDE, 1995). Pelo exposto, este trabalho teve por objetivo fazer uma análise técnica e econômica de um sistema de colheita florestal de árvores inteiras.

## MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi conduzida em povoamentos florestais de uma empresa mineradora do grupo Anglo-America na região de Niquelândia no estado de Goiás. O município está situado a 14° 28' 26" de latitude sul e 48° 27' 35" de longitude oeste, com 583 m de altitude. O tipo de solo predominante na região é o Latossolo Vermelho-Escuro (LE), álico, Horizonte A moderado, com textura de média a arenosa e relevo plano a suave ondulado (CODEMIN, 2006).

O sistema de colheita mecanizada utilizado na empresa é o de árvores inteiras. As máquinas que compõem o sistema são: um trator derrubador-amontoador ("feller-buncher"), Caterpillar, modelo 320 CL, de potência nominal no motor de 103 kW (140 cv, aproximadamente), o cabeçote de corte da máquina modelo Hotdins, capacidade de corte 450 mm e peso de 19,5 kN, rodados de esteiras de 600 mm; um trator arrastador florestal ("skidder") articulado com tração 4 x 4, Caterpillar, modelo 525 B, potência nominal no motor de 119 kW (161,8 cv, aproximadamente), pinça de arraste de 1.04 m<sup>2</sup>, e potência de arraste de 172 kN, com sistema rodante traseiro e dianteiro

nas mesmas dimensões (30.5L x 32 PR), e uma escavadora hidráulica Carterpillar equipada com uma garra traçadora modelo 320 CL de potência nominal de 103 kW (140 cv, aproximadamente), com conjunto de corte modelo sabre/corrente, capacidade de corte de 450 mm e capacidade de carga de 30 kN e alcance máximo de 854 mm.

Foi avaliado o sistema de colheita operando em três níveis de produtividade, 100, 200 e 300 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, considerados de alta, média e baixa produtividade, respectivamente, e na operação de arraste da madeira foram consideradas adicionalmente três distâncias (100, 200 e 300 m). O trabalho foi conduzido em duas etapas: a primeira foi o acompanhamento no campo das atividades operacionais de colheita (corte, extração e processamento), realizando um estudo de tempos e movimentos com acompanhamento das interrupções do trabalho das máquinas, a fim de obter informações importantes sobre o ciclo operacional, assim como fornecer subsídios para uma avaliação técnica do sistema, segundo procedimento metodológico de estudo de tempos e movimentos utilizado por Valverde (1995) e Moreira (2000). A segunda etapa consistiu na determinação dos custos operacionais e de produção de cada máquina, obtendo-se assim subsídios para uma avaliação econômica do sistema estudado.

Para avaliar o desempenho do "feller-buncher" e da garra traçadora foi empregado o delineamento estatístico inteiramente casualizado com 6 repetições em esquema de parcelas subdivididas. Adotou-se como parcelas as operações que compõe o ciclo operacional das máquinas e como subparcelas os níveis de produtividade 100, 200 e 300 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>. Os valores foram submetidos à análise de variância e teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Para avaliar o efeito dos tempos gastos nas operações do ciclo operacional do "skidder" nas produtividades 100, 200 e 300 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> e nas distâncias de arraste de 100, 200 e 300 m, assim como avaliar suas interações quando significativas, utilizou-se um delineamento estatístico em blocos casualizados em esquema fatorial 6x3x3, sendo seis operações, três produtividades e três distâncias de arraste, com quatro repetições. Os valores foram submetidos à análise de variância e teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

### Descrição do sistema de colheita florestal

O "feller-buncher" iniciava a derrubada com oito de quatro linhas de corte direcionando a

base dos feixes das árvores para a extremidade do talhão. Cada leito foi dividido em 8 linhas de 100, 200 e 300 m de acordo com a distância preestabelecida para o arraste do "skidder". A etapa seguinte foi a extração com o "skidder", o qual se deslocava da margem da estrada até próximo ao local onde se encontravam os feixes. A etapa final do sistema consistiu no processamento da madeira, realizado pela garra traçadora, que se deslocava em uma faixa de 4 metros entre os feixes arrastados pelo "skidder" e as pilhas formadas pela madeira já processada, sendo a galhada depositada entre estes.

O ciclo operacional das máquinas era composto pelas atividades de: o "feller-buncher" executava o deslocamento vazio, corte e deslocamento para o descarregamento e paradas; o "skidder", o deslocamento vazio, carregamento, deslocamento carregado e descarregado e paradas; e a Garra traçadora, o deslocamento vazio acrescido do deslocamento feito na hora do corte, recolhimento das árvores e o corte e paradas.

O grau de disponibilidade mecânica é a porcentagem do tempo de trabalho programado em que a máquina está mecanicamente apta a realizar trabalho produtivo, expressa pela equação:

$$Dm = \frac{He}{(He + Tm)} \times 100 \quad (1)$$

em que:

*Dm* = grau de disponibilidade mecânica (%);

*He* = tempo de trabalho efetivo (horas); e

*Tm* = tempo de permanência em manutenção (horas).

A eficiência operacional é o tempo efetivamente trabalhado, em relação ao tempo total de trabalho, expressa pela equação:

$$f = \frac{te}{(te + tp)} \times 100 \quad (2)$$

em que:

*f* = eficiência operacional (%);

*te* = tempo de trabalho efetivo (horas); e

*tp* = tempo de paradas (horas).

A produtividade operacional efetiva foi determinada pela equação:

$$Prod = \frac{na \times va}{te} \quad (3)$$

em que:

*na* = número de árvores obtido em cada parcela experimental (un);

$va$  = volume médio por árvore dentro da parcela ( $m^3$ ),

$te$  = tempo de trabalho efetivo cada máquina em cada parcela (horas).

A metodologia utilizada neste trabalho para a determinação dos custos operacionais das máquinas foi aquela descrita por Miyata (1980) e Valverde (1995). O custo operacional foi analisado separadamente para cada máquina avaliada e expresso em dólares por hora efetiva de trabalho ( $US\$ \text{he}^{-1}$ ).

Os custos fixos (CF) não variam com as horas de operação, ocorrendo quer a máquina trabalhe ou não, não sendo afetados nem pelo total de atividades da máquina nem pela produção. Os custos fixos são compostos de custo de depreciação, juros e seguros.

Os custos variáveis (CV) variam, proporcionalmente, com a quantidade produzida ou com o uso da máquina. Fazem parte deles os custos de combustíveis, lubrificantes, óleo hidráulico, pneus, remuneração de pessoal, manutenção, transporte de pessoal e maquinário e pessoal operacional.

Os custos com manutenção, transporte de pessoal, transporte de maquinário, pessoal operacional e de administração foram fornecidos pela empresa, em valores mensais e divididos pela quantidade de horas trabalhadas por mês.

O custo operacional total (CT) foi obtido pela soma dos custos fixos, variáveis e os custos de administração de cada uma das máquinas analisadas neste trabalho.

O custo de produção das máquinas foi determinado pela equação:

$$CPr = \frac{CT}{Prod} \quad (4)$$

em que:

$CPr$  = custo de produção da máquina analisada ( $US\$ \text{m}^{-3} \text{cc}^{-1}$ );

$CT$  = custo operacional total da máquina analisada ( $US\$ \text{he}^{-1}$ ); e

$Prod$  = produtividade da máquina analisada ( $\text{m}^3 \text{cc}^{-1} \text{he}^{-1}$ ).

O rendimento energético das máquinas foi obtido pela equação:

$$RE = \frac{Ce}{Prod} \quad (5)$$

em que:

$RE$  = rendimento energético da máquina analisada ( $\text{g kW}^{-1} \text{m}^{-3} \text{cc}^{-1}$ );

$Ce$  = consumo específico de combustível da máquina analisada ( $\text{g kW}^{-1}$ ); e

$Prod$  = produtividade da máquina analisada ( $\text{m}^3 \text{cc}^{-1} \text{he}^{-1}$ ).

O custo total de produção foi obtido pelos custos de produção da etapa de derrubada com o "feller-buncher", somado com o custo de produção da extração realizada com o "skidder" nas três distâncias de arraste e acrescido do custo de produção do processamento realizado pela garra traçadora.

$$CPS = CPF B + CPSK + CPGT \quad (5)$$

em que:

$CPS$  = custo total de produção do sistema ( $US\$ \text{m}^{-3}$ );

$CPF B$  = custo de produção do "feller-buncher" ( $US\$ \text{m}^{-3}$ );

$CPSK$  = custo de produção do "skidder" ( $US\$ \text{m}^{-3}$ ); e

$CPGT$  = custo de produção da garra traçadora ( $US\$ \text{m}^{-3}$ ).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

As operações do ciclo operacional do "feller-buncher" nas produtividades analisadas apresentaram diferença significativa para a interação operação versus produtividade. As comparações das médias do tempo consumido pelo "feller-buncher" para realizar cada operação, em cada um dos níveis de produtividades, são apresentadas na Tabela 1. Esses valores correspondem a um ciclo operacional, composto por 4,22; 4,07; e 2,50 árvores abatidas, em média, por ciclo nas produtividades de 100, 200 e 300  $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ , respectivamente. Numa análise geral, a operação de deslocamento para descarga foi a que demandou menor tempo para execução em todas as três produtividades. Não houve diferença significativa, entre as produtividades de 100 e 200  $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ , na média do tempo gasto para realizar qualquer uma das quatro operações.

### Custo operacional, custo de produção e rendimento energético

Considerando-se uma taxa de juros de 12% a.a. e uma eficiência operacional de 85% ("feller-buncher"), chegou-se ao custo/hora efetivamente trabalhada de  $US\$ 68.62$ . Os custos fixos corresponderam a aproximadamente 21,49%, e os custos variáveis, aproximadamente 74,68% dos custos totais, respectivamente. O custo de administração foi da ordem de 3,82% dos custos totais.

**Tabela 1.** Média do tempo gasto em segundos para o "feller-buncher" realizar cada operação em cada um dos níveis de produtividade.

**Table 1.** Time expense average in seconds to carry through each operation for the feller-buncher in each one of the productivity levels.

Operações	Produtividade (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )		
	100	200	300
Corte (carga e descarga)	54,59 Aa	49,41 Aa	33,19 Ab
Deslocamento vazio	50,77 Aa	48,91 Aa	16,49 Ab
Deslocamento para descarga	17,39 Ba	13,67 Ba	8,73 Ba
Interrupções	52,47 Aa	41,07 Aa	22,10 Ab

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de significância.

O "feller-buncher" apresentou um custo de produção de 4.97; 2.90 e 1.68 US\$ m<sup>-3</sup> para a produtividade de 100, 200 e 300 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>. Isso demonstra que a máquina tem seu custo reduzido quando trabalha com altas produtividades. Com o consumo específico de combustível de 190 g kW h<sup>-1</sup>, os rendimentos energéticos foram obtidos dividindo o consumo específico pela produção. Esperava-se que o rendimento energético fosse maior na maior produtividade, o que não ocorreu. Isso pode estar relacionado com o tamanho da área de colheita e em função da produtividade (Tabela 2).

Na medida em que a produtividade da floresta aumentou, a do "feller-buncher" também tendeu a aumentar e os valores do custo de produção e o rendimento energético tiveram tendência de diminuir, indicando que a produtividade do talhão influenciou diretamente o custo de produção dessa máquina (Figura 1).

Valverde (1995) e Moreira (2000) obtiveram resultados semelhantes, indicando que as máquinas empregadas na operação de corte de madeira são sensíveis aos diferentes níveis de volume médio por árvore, e seu rendimento, em termos de volume por unidade de tempo, tende a crescer com o aumento do volume médio por árvore.

Na Tabela 3 é apresentado o teste de média dos tempos de arraste do ciclo operacional do "Skidder", nas produtividades analisadas.

Na Tabela 4 é apresentado o rendimento energético do "skidder" nas produtividades e distâncias de arraste estudadas. Para as produtividades da floresta de 100 e 200 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> nas distâncias de arraste de 100; 200 e 300 m verificou-se redução no rendimento energético em função do aumento no volume de madeira produzido, o que não foi observado para produtividade da floresta de 300 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> nas três distâncias de arraste.

Os custos de produção do "skidder" nas produtividades e distâncias de arraste estão representados na Tabela 5. O custo de produção tende a reduzir à medida que o volume de madeira aumenta e a distância de arraste diminui.

Os custos de produção evidenciaram diferenças significativas a 5% de probabilidade pelo teste Tukey, quando o trator trabalhou na produtividade de 300 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> em distâncias iguais ou inferiores a 200 m. Entretanto, os custos foram menores nas produtividades de 200 e 300 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> para a distância de 100 m. O melhor resultado observado para esta variável (custo de produção) foi verificado para uma floresta de 300 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> com arraste de 100 m de distância. Isso leva

**Tabela 2.** Custo de produção e rendimento energético do "feller-buncher", em função do volume de madeira produzido.

**Table 2.** Cost of production and amount energy of feller-buncher relative to wood amount produced.

Produtividade (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )	Produtividade (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )	Custo produção (US\$ m <sup>3</sup> cc <sup>-1</sup> )	Rendimento energético (g kW <sup>-1</sup> m <sup>3</sup> cc <sup>-1</sup> )
100	13,81	4.97	13,75
200	23,67	2.90	7,12
300	40,84	1.68	4,65

**Tabela 3.** Teste de média dos tempos de arraste do ciclo operacional do "skidder", nas produtividades analisadas.

**Table 3.** Test of averages of dragging times of the skidder operating cycle, for analyzed productivities.

Operações	Produtividade (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )		
	100	200	300
Deslocamento vazio	41,67Aa	66,84Ab	100,50Ac
Carga	49,41Aa	66,06Ab	71,32Bb
Deslocamento carregado	37,60Aa	59,95ABb	92,12Ac
Descarga	20,28Ba	32,52Da	20,34Ca
Encabeçamento	14,68Ba	42,66CDb	17,75Ca
Interrupções	45,75Aa	49,18Ba	50,60Ba

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de significância.

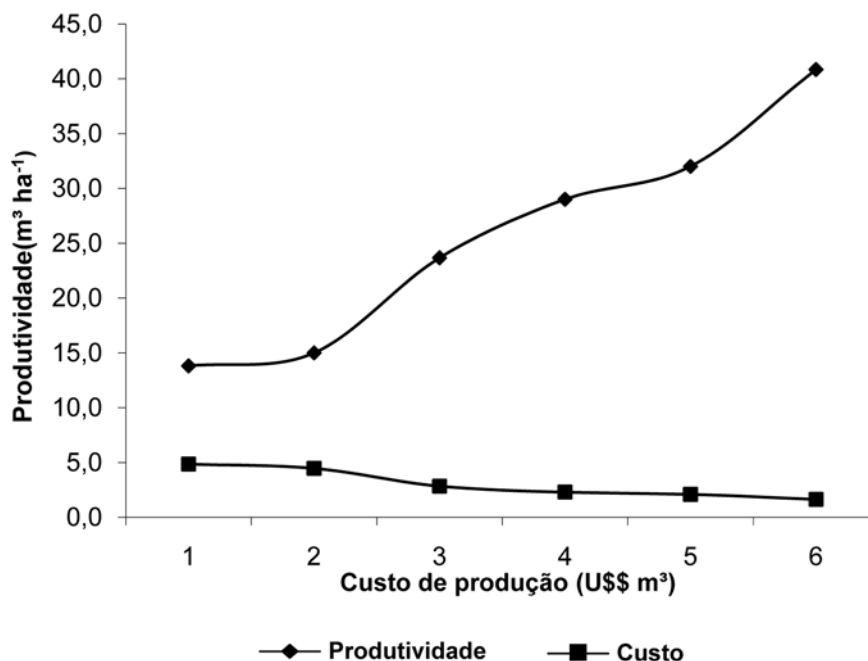
a concluir que o custo de produção do “skidder” está diretamente associado com a produtividade do talhão e distância de arraste até 200 m.

Na Tabela 6 são mostrados a produtividade, os custos de produção e o rendimento energético da garra traçadora nas produtividades e distâncias analisada. A garra traçadora apresentou um consumo específico de combustível de 155,53 g kW h<sup>-1</sup>. À medida que a produtividade do talhão aumentou, a produtividade da máquina também aumentou e os valores do custo de produção e do rendimento energético diminuíram, demonstrando que a produtividade do talhão influenciou diretamente no custo de produção da garra traçadora. Como era de se esperar, o

custo de produção e o rendimento energético da máquina estão diretamente associados ao volume de madeira.

Na Tabela 7 são apresentadas as médias dos tempos gastos nas operações que compõem o ciclo operacional da Garra Traçadora, em diversos níveis de produtividade.

A Figura 2 ilustra a relação entre o custo de produção e a produtividade da garra traçadora. Percebe-se que essa relação é diretamente proporcional, pois o aumento da produtividade abaixa o custo. A melhor relação foi encontrada na produtividade de 300 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, em que para uma produtividade de 76,57 m<sup>3</sup> he<sup>-1</sup> se obteve um custo de US\$ 0.63 m<sup>-3</sup>.



**Figura 1.** Produtividade e custo de produção do “feller-buncher” nas produtividades analisadas.  
**Figure 1.** Productivity and production cost of the feller-buncher, for the analyzed productivities.

**Tabela 4.** Rendimento energético do “skidder” em função do volume de madeira produzido.  
**Table 4.** Energy performance of the skidder relative to the amount of wood produced.

Distância de arraste (m)	Produtividade do talhão (m³ ha⁻¹)		
	Rendimento energético (g kW⁻¹ m³)		
	100	200	300
100	3,0	2,9	2,2
200	2,7	2,3	1,5
300	1,3	1,9	2,3

**Tabela 5.** Custo de produção do “skidder” (US\$ m⁻³) em função da produtividade do talhão.  
**Table 5.** Production cost of skidder (US\$ m⁻³) relative to the productivity of the forest plot.

Distância de arraste (m)	Produtividade do talhão (m³ ha⁻¹)		
	Custo produção (US\$ m³)		
	100	200	300
100	0,96	0,78	0,55
200	0,62	0,96	1,12
300	1,26	1,21	0,93

**Tabela 6.** Produtividade, custo de produção e rendimento energético da garra traçadora.**Table 6.** Productivity, production cost, and amount energy of the slasher.

Distância (m)	Produtividade (m <sup>3</sup> he <sup>-1</sup> )	Custo produção (US\$ m <sup>-3</sup> )	Rendimento energético (g kW <sup>-1</sup> m <sup>-3</sup> )
100	50,05	0,97	3,11
200	65,16	0,75	2,39
300	76,57	0,63	2,03

**Tabela 7.** Médias dos tempos gastos nas operações do ciclo operacional da Garra Traçadora, em diversos níveis de produtividade.**Table 7.** Average times spent on the operations of the operating cycle of the slasher at different productivity levels.

Operações	Produtividade m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>		
	100	200	300
Deslocamento vazio	32,88 Ac	47,71 Ab	55,51 Ba
Interrupção	6,59 Cb	9,90 Db	15,21 EFa
Pegar feixe	9,63 Cc	18,99 Cb	26,87 Da
Ajuste	6,36 Cc	12,89 Db	19,64 Ea
Acerto tora	9,48 Cb	12,42 Da	13,84 Fa
Taçamento	23,26 Bc	45,22 Ab	68,88 Aa
Acerto final da pilha	18,69 Bc	32,02 Bb	40,79 Ca

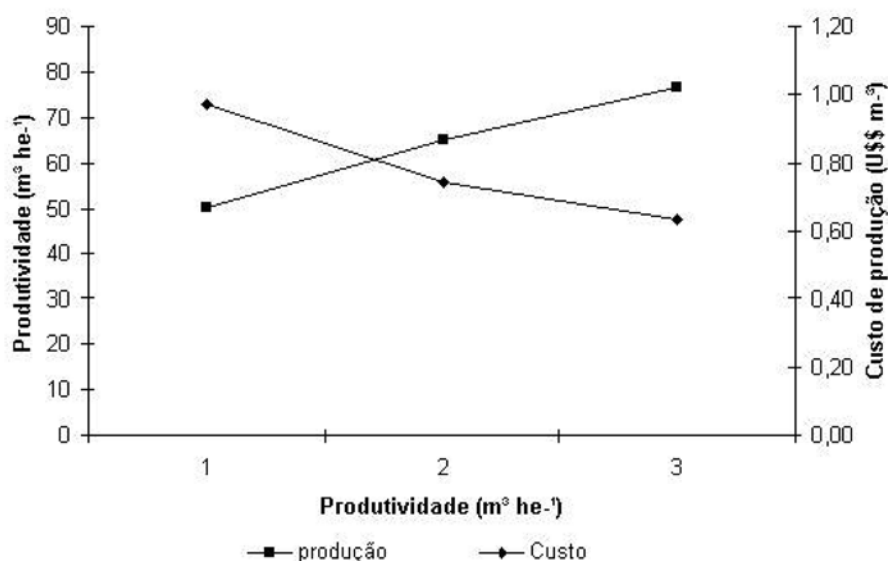
Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de significância.

A Tabela 8 apresenta o custo de produção sistema de colheita composto de 01 "feller-buncher", 01 "skidder" e 01 garra traçadora em 03 diferentes distâncias de arraste e três produtividades do talhão. Os melhores resultados do sistema foram registrados quando os equipamentos trabalharam na produtividade de 300 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>. O "feller-buncher" foi a máquina que tendeu ao maior custo de produção dentro do sistema, sendo de 4,97; 2,90 e 1,68 US\$ m<sup>-3</sup>

para as produtividades de 100, 200 e 300 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> respectivamente. Este custo explica a influência da produtividade do talhão no custo final da máquina. O "skidder" teve seu melhor desempenho no talhão de 300 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> na distância até 100 m. Os custos encontrados para o "feller-buncher" são semelhantes aos encontrados por Moreira (2000), que avaliou o custo da máquina trabalhando num sistema composto de "feller-buncher", "skidder" e "slingshot".

**Tabela 8.** Custo de produção do sistema em função das distâncias e produtividades analisadas.**Table 8.** Production cost of the system, relative to the productivities and distances analyzed.

Distância de arraste (m)	Produtividade (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )		
	100	200	300
		US\$ m <sup>-3</sup>	
100	6.78	4.36	2.80
200	6.94	4.79	2.87
300	7.08	5.54	3.18

**Figura 2.** Comportamento da produção e custo da garra traçadora nas três produtividades.**Figure 2.** Behavior of the production and cost of the slasher, at the three productivities.

A capacidade produtiva do sistema quando se trabalhou nas produtividades de 100, 200 e 300 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> foi de 6.197,93, 10.623,09 e 18.328,99 m<sup>3</sup> mês<sup>-1</sup>, respectivamente. A produtividade do sistema está associada ao desempenho do “feller-buncher”, pois se observou que os demais equipamentos produzem madeira além do que esta máquina consegue cortar.

## CONCLUSÃO

Os melhores resultados do sistema, em geral, foram registrados quando as máquinas trabalharam na produtividade de 300 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> e o arraste efetuado em distância de até 200 m.

A produtividade do sistema está associada ao desempenho do “feller-buncher”, que é a máquina de fundamental importância no sistema, devido ao seu custo de produção, devendo trabalhar em florestas de alta produtividade.

O melhor desempenho do “skidder” é encontrado para a distância de 100 m e uma produtividade da floresta de 300 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>.

O rendimento da garra traçadora é afetado pelo volume de madeira e o arranjo dos feixes na pilha.

O sistema apresentou disponibilidades mecânica e operacional satisfatórias, devido à agilidade com relação à assistência mecânica nas máquinas em campo, ao sistema de manutenção preventivo e à logística de transporte dos operadores.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BIRRO, M.H.B. *Avaliação técnica e econômica da extração de madeira de eucalipto com Track-Skidder em região montanhosa*. 2002. 19p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2002.

BRAMUCCI, M. *Determinação e quantificação de fatores de influência sobre a produtividade de “harvesters” na colheita de madeira*. 2001. 50p. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2001.

CODEMIN – COMPANHIA DE MINERAÇÃO DE NÍQUEL. 2006. Disponível em: <<http://www.angloamerica.com.br>>. Acesso em: 06 maio 2006.

LIMA, A.S.; SANTA'ANNA, C.M. Estudo de tempos e movimentos na colheita de eucaliptos em sistema de árvore inteira. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE COLHEITA E TRANSPORTE FLORESTAL, 5., 2001, Porto Seguro. *Anais...* Porto Seguro, 2001. p.265-280.

MACHADO, C.C.; CASTRO, P.S. *Exploração florestal*. Viçosa: UFV, 1985. 32p.

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

MOREIRA, F.M.T. *Análise técnica e econômica de subsistemas de colheita de madeira de eucalipto em terceira rotação*. 2000. 148p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2000.

SEIXAS, F. Olho na terra. *Revista Cultivar Máquinas*, Pelotas, v.2, n.07, p.15–17, 2002.

SEIXAS, F.; OLIVEIRA JÚNIOR, E.D. Compactação do solo devido ao tráfego de máquinas de colheita de madeira. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, n.60, p.73–87, 2001.

SEIXAS, F.; BARBOSA, R.F.; RUMMER R. Tecnologia que protege a saúde do operador. *Revista da madeira*, Curitiba, v.14, n.82, p.68-73, 2004.

VALVERDE, S.R. *Análise técnica e econômica do subsistema de colheita de árvores inteiras em povoamentos de eucalipto*. 1995. 123p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1995.

Recebido em 29/08/2008

Aceito para publicação em 25/06/2009