

PRODUTIVIDADE DE *FELLER-BUNCHER* EM POVOAMENTO DE EUCALIPTO EM RELEVO ACIDENTADO

Ezer Dias de Oliveira Júnior¹, Fernando Seixas², João Luis Ferreira Batista²

¹Eng. Florestal, Dr., Fait/ACITA, Itapeva, SP, Brasil - ezer@fait.edu.br

²Eng. Florestal, Dr., Depto. de Ciências Florestais, ESALQ/USP, Piracicaba, SP, Brasil - fseixas@esalq.usp.br - parsival@usp.br

Recebido para publicação: 12/09/2007 – Aceito para publicação: 12/08/2009

Resumo

Este estudo avaliou a produtividade de dois modelos de *feller-buncher* de esteiras, Timberjack 608L e Timbco 520, na atividade de corte de árvores de eucalipto em terreno acidentado, em um sistema de colheita de árvores inteiras. Através de um estudo de tempo, foi quantificada a influência da inclinação do terreno na produtividade das máquinas, em dois povoamentos florestais com diferentes produções. Foi proposto um modelo de predição para a produtividade do *feller-buncher* em função do padrão do povoamento e da inclinação do terreno, com o relevo influenciando cerca de 80% do seu desempenho efetivo.

Palavras-chave: Desempenho efetivo; produtividade da máquina; colheita de eucalipto.

Abstract

Feller-buncher productivity in eucalyptus plantation on steep ground terrain. This study evaluated two feller-bunchers productivity, one Timberjack 608L and one Timbco 520, working on an eucalyptus's plantation located on a steep ground terrain. A time study quantified the slope influence, on two different sites in terms of forestry productivity, over machine production. The ground slope influenced up to 80% of feller-buncher productivity.

Keywords: Operational performance; full-tree logging system; feller productivity.

INTRODUÇÃO

A produtividade de uma máquina de colheita de madeira depende de diversos fatores, dos quais se destacam: a) localização geográfica e extensão da área de trabalho; b) aspectos climáticos; c) capacidade de suporte do terreno; d) relevo; e) características das árvores; f) características da floresta e da colheita; e g) capacitação do operador (MALINOVSKI *et al.*, 2002).

Um dos sistemas de colheita de madeira é chamado de árvores inteiras, envolvendo o corte das árvores e o seu transporte até outro local, geralmente a margem dos carregadores, para posterior processamento. Esse sistema pode ser composto por um *feller-buncher*, que corta e acumula árvores, depositando-as em feixes, e um *skidder*, que faz o arraste das árvores, podendo ser realizado tanto em local plano como acidentado (MALINOVSKI *et al.*, 2002; SANT'ANNA, 2002).

As restrições ao uso de *feller-bunchers* dizem respeito à declividade do terreno, existindo um limite ao redor de 27° de inclinação, com redução na capacidade efetiva de operação. As condições ótimas para o emprego de equipamentos de maior porte estão em declividades até 8°, um mínimo de 750 árvores por hectare e volume individual por árvore entre 0,23 e 0,28 m³. Nas declividades até 8°, a máquina trabalha melhor acompanhando os contornos do terreno. Em declives maiores, a máquina deve trabalhar morro acima ou abaixo (CONWAY, 1976).

Gingras (1988) avaliou os efeitos de alguns fatores de sítio e talhão no desempenho de um *feller-buncher* de esteiras Timberjack Timbco 2518, com nivelamento de cabine 20° lateralmente e 27° frontal (apto a inclinações até 30°) e capacidade de diâmetro máximo de 51 cm. As principais variáveis determinadas pelo autor foram número de árvores acumuladas por ciclo de corte e DAP médio, sendo que o declive afetou a produção quando excedeu 20° (35%).

Para Valverde *et al.* (1996), o volume de madeira por hectare foi a principal variável de influência na operação de corte de árvores com *feller-buncher*, apresentando também um melhor

desempenho em talhões com espaçamento um pouco maior, 3,0 x 2,0 m contra 3,0 x 1,5 m. Visser; Stampfer (2003), avaliando a produtividade de um *feller-buncher* em segundo desbaste em uma plantação de pinus, concluíram que as principais variáveis de influência foram o volume por árvore e o número de árvores por feixe.

A determinação e quantificação dessas variáveis de influência são fatores determinantes para o planejamento florestal e o sucesso das operações, contribuindo sobremaneira com a otimização e a viabilidade econômica das atividades de colheita. O alto custo das máquinas florestais exige o seu emprego durante o maior número de horas possíveis e elevada produtividade, principalmente quando comparado com opções de menor aporte tecnológico, como o uso de mão de obra intensiva.

Este estudo avaliou a produtividade do *feller-buncher* atuando em um sistema de colheita de árvores inteiras, na atividade de corte de árvores de eucalipto em relevo acidentado, quantificando a influência da inclinação do terreno em condições de diferentes produtividades da floresta.

MATERIAIS E MÉTODO

Materiais

Local

Foi feito o acompanhamento de operações de corte de árvores em povoamentos de *Eucalyptus grandis* com 7 anos de idade, plantados nas regiões de Belo Oriente e Guanhães, MG, pertencentes à Cenibra – Celulose Nipo-Brasileira S.A. (Tabela 1). O diferencial das duas regiões foi quanto à produção da floresta e ao índice de sobrevivência, possibilitando o estudo em regiões com padrões florestais distintos (Tabela 2).

Tabela 1. Descrição das áreas.

Table 1. Area description.

Características	Belo Oriente	Guanhães
Relevo	Plano a fortemente ondulado	Suave a fortemente ondulado
Solo	Medianamente profundos, argilosos e com baixadas férteis	Profundos, argilose pouco férteis
Precipitação média anual	1.163 mm	1.154 mm
Temperatura média anual	25,2 °C	22,2 °C
UR média anual	65%	58%
Déficit hídrico	429 mm	203 mm
Altitude média	290 m	800 m

Tabela 2. Descrição dos povoamentos de *Eucalyptus grandis*.

Table 2. *Eucalyptus grandis* plantation characteristics.

Características	Belo Oriente	Guanhães
Espaçamento (m)	3x2	3x2
Sobrevivência	65%	90%
Número de árvores/m ³	6,5	6,7
Produção média estimada	165 m ³ .cc.ha ⁻¹	224 m ³ .cc.ha ⁻¹

Equipamentos

Utilizaram-se dois modelos de *feller-buncher*: um Timberjack 608 L (Figura 1), com 15.000 horas de uso, em Belo Oriente, e um Timbco 520 (Figura 2), com 5.000 horas, em Guanhães.

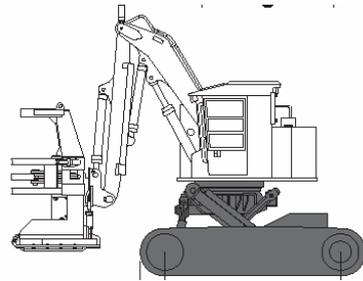
Foram utilizados também um clinômetro, para determinação da inclinação do terreno, uma trena equipada com infravermelho e um binóculo a laser, para determinação da distância do eito de corte, um cronômetro digital marca Cássio modelo HS-30 exatidão 1/100s, prancheta e formulários para coleta de dados de desempenho e estudo de tempos.

Método

Corte

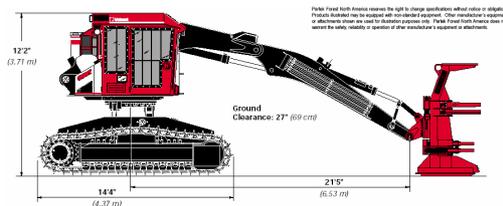
A operação de corte com *feller-buncher* foi feita em eitos de quatro linhas de árvores, sendo avaliadas 10 parcelas por classe de inclinação do terreno (Tabela 3), com 100 árvores cada uma. A partir

de um ponto fixo, o *feller-buncher* conseguia cortar 4 árvores em 4 linhas em sequência e depois colocá-las em uma pilha disposta na diagonal com relação ao sentido de movimentação do *skidder*. A inclinação do terreno em graus, no local de cada parcela, foi estimada com a utilização do clinômetro, com medidas obtidas a cada 10 m em uma mesma linha de árvores.



Potência	171 kW
Alcance da grua	7,10 m
Peso	27 t
Nivelamento de cabine	27°
Pressão no solo	56 kPa

Figura 1. Desenho e características técnicas do *feller-buncher* Timberjack 608L.
 Figure 1. Feller-buncher Timberjack 608L technical specifications.



Potência	180 kW
Alcance da grua	7,10 m
Peso	27 t
Nivelamento de cabine	27°
Pressão no solo	58 kPa

Figura 2. Desenho e características técnicas do *feller-buncher* Timbco 520.
 Figure 2. Feller-buncher Timbco 520 technical specifications.

Tabela 3. Classes de inclinação do terreno.
 Table 3. Ground level classes.

Classe	%	Grau
1	0–10	0–6
2	11–20	7–11
3	21–33	12–18
4	34–50	19–27

A produtividade da máquina, por hora efetiva de trabalho, foi obtida através de estudo de tempo com o método de tempo contínuo. Nesse estudo, a contagem de tempo foi iniciada no momento do corte da primeira árvore da amostra e finalizada ao final da deposição no solo da centésima árvore cortada e colocada no feixe. Nessa etapa, junto com a análise da dinâmica operacional, foram anotados o número de árvores acumuladas por ciclo de corte e a produtividade do talhão ($m^3 \cdot ha^{-1}$), sendo avaliadas apenas as máquinas sem a ocorrência de precipitação (caso houvesse, era interrompida a seção dos testes e iniciada outra nas mesmas condições das anteriores). A análise da influência da produção da floresta sobre o desempenho do *feller* foi feita também em três talhões com volumes por hectare bem diferenciados.

Em todas as medições, foram escolhidos os operadores de mesmo nível técnico e com experiência média de 6 anos de empresa, desconsiderando-se os novatos e também os mais experientes. Todas as tomadas de tempo foram realizadas no turno das 7h00min. às 16h00min.

Uma coleta preliminar de 10 amostras por classe de declive e classe de produtividade foi avaliada quanto ao número ideal de amostras a serem coletadas, de acordo com a fórmula:

$$N' = \frac{t^2 \cdot s^2}{(0,1 \cdot \bar{x})^2} \quad (\text{COCHRAN, 1965})$$

Em que: N' = número necessário de observações para prever o tempo correto dentro de $\pm 5\%$ de erro e 95% de nível de confiança;
 t = valor de tabela (t-Student);
 s = desvio padrão;
 \bar{X} = produtividade média do “feller-buncher” ($m^3 \cdot h^{-1}$).

De acordo com as amostras preliminares, nove parcelas seriam suficientes para a confiabilidade de 95%, sendo adotadas como padrão 10 amostras por classe. Com posse desses resultados, foi calculada a produtividade por hora efetiva de trabalho em função da inclinação do terreno e determinada uma equação estimando essa relação.

Foi feita a análise da dinâmica operacional através de estudo de tempo com método multimomento (com observações de 15 em 15 segundos), dos seguintes elementos do ciclo operacional observados para o conjunto colhedora e seus movimentos do cabeçote de corte:

- Tempo de deslocamento sem carga.
- Tempo de corte efetivo.
- Tempo de deslocamento entre árvores.
- Tempo de deslocamento para o descarregamento (bascular).

O delineamento estatístico utilizado foi de um experimento inteiramente casualizado, sendo feitas análises em separado para cada uma das duas regiões, considerando-se quatro tratamentos quanto às classes de inclinação do terreno (Tabela 3), com dez repetições por tratamento. A comparação de médias foi feita pelo Teste de Tukey, ao nível de probabilidade de 5% ($p < 0,05$). Ao mesmo tempo, efetuou-se uma análise para comparação entre as médias de cada tratamento obtidas nas duas regiões, buscando-se avaliar a influência da produtividade de cada povoamento sobre o desempenho das máquinas.

Buscou-se também a predição geral da produtividade do *feller-buncher* ($m^3 \cdot h^{-1}$) para as duas regiões em função da declividade do terreno (graus) e produtividade da floresta, realizando-se análises de regressão para a determinação de equações que melhor estimassem essa relação. Utilizou-se o programa BioEstat 3.0 para ajustamento de curvas nos modelos de regressão linear, exponencial, logarítmica e geométrica.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados expressam o desempenho das máquinas em termos de capacidade de campo efetiva (C_cE) do trabalho dentro dos procedimentos normais adotados na empresa, cuja unidade é expressa em metros cúbicos por hora ($m^3 \cdot h^{-1}$). Assim, não foram computadas as horas paradas para manutenção, abastecimento, reparos e pausas pessoais, e sim o tempo realmente gasto na função estabelecida. O registro da precipitação nas duas regiões durante o período do estudo está detalhado na tabela 4, que mostra a similaridade climática de ambas quanto à distribuição pluviométrica. As tomadas de tempo consideradas neste estudo só contemplaram as atividades realizadas sem chuva durante as observações da dinâmica operacional.

Tabela 4. Dados de precipitação mensal por região.

Table 4. Monthly pluviometer data by region.

Mês	Precipitação na região (mm)	
	Belo Oriente	Guanhães
Dezembro	148,59	293,63
Janeiro	282,70	186,43
Fevereiro	257,05	222,51
Março	152,62	119,63
Abril	146,05	137,68

Produtividade do *feller-buncher* em função das classes de relevo

A produtividade do *feller-buncher* apresentou diferenças significativas nas quatro classes de inclinação para as duas regiões e também entre regiões.

Em florestas de maior produtividade e melhor padrão, observou-se o maior desempenho na operação de corte, verificando-se também as maiores influências do relevo sobre a capacidade de desempenho da colhedora e maiores coeficientes de variação (Tabela 5).

Tabela 5. Média e coeficiente de variação (CV) da produtividade do *feller-buncher* ($\text{m}^3 \text{h}^{-1}$) por classe de inclinação e região.

Table 5. Average and coefficient of variation (CV) of feller-buncher productivity ($\text{m}^3 \text{h}^{-1}$) by inclination class and region.

Classe de inclinação	Belo Oriente	Guanhães
Classe 1	65,9 aa* (7,6%)	95,5 ab (9,2%)
Classe 2	65,5 aa (5,7%)	71,8 bb (11,0%)
Classe 3	41,6 ba (8,3%)	65,7 bb (7,8%)
Classe 4	35,5 ca (8,9%)	47,5 cb (14,4%)

* A primeira letra indica relação entre classes na mesma região, e a segunda letra entre regiões na mesma classe, sendo que mesma letra indica semelhança estatística ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Nota-se que a produtividade da máquina em florestas de baixo padrão (Belo Oriente) teve menor variação se comparada à de melhor padrão (Guanhães), indicando serem mais pronunciadas as perdas de desempenho quanto maior for o padrão da floresta.

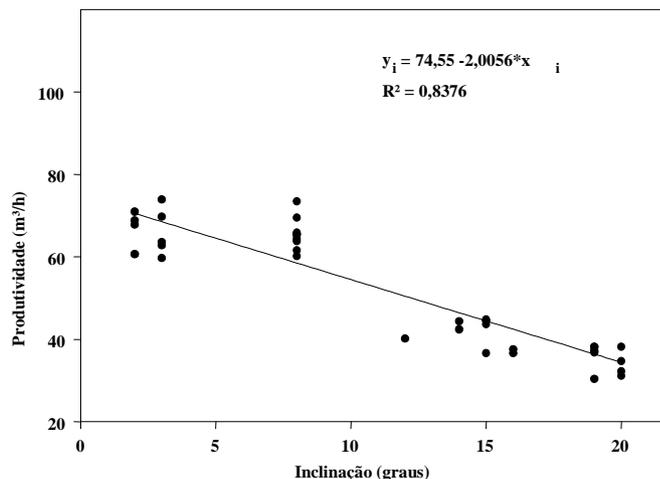


Figura 3. Regressão linear para produtividade do *feller-buncher* em função da inclinação na região de Belo Oriente.

Figure 3. Linear regression of feller-buncher productivity as a function of inclination at Belo Oriente.

A análise de variância feita isoladamente para a região de Belo Oriente detectou diferença significativa entre as classes de inclinação do terreno, com exceção entre a 1ª e a 2ª. Escolheu-se o modelo de regressão linear, que explicou 84% da variabilidade da variável resposta (Figura 3), sendo a produtividade inversamente proporcional à inclinação. Contudo, a distribuição dos dados coletados para a Classe 2 (7–11 graus) talvez levasse a um outro modelo, desde que utilizada uma análise de regressão mais complexa, o que não foi considerado essencial para este estudo.

Na região de Guanhães também houve diferenças significativas entre as classes de inclinação, excetuando-se a semelhança entre as classes 2 e 3. Nesse caso, o modelo mais adequado foi o de regressão logarítmica, explicando 78% da variabilidade da variável resposta (Figura 4). Nessa região, a queda de produtividade foi mais acentuada, o que talvez pudesse ser explicado pela maior produtividade da floresta, em função da dificuldade de manuseio de árvores maiores em terreno mais acidentado.

O estudo de tempo forneceu informação extra sobre a dinâmica operacional do *feller-buncher*, sendo destacados na tabela 6 os resultados dos dois extremos em termos de inclinação do terreno: classe 1 e classe 4.

Nota-se que na classe 1 houve maior tempo gasto para buscar as árvores (deslocamento entre árvores) na região de Belo Oriente e menor para a região de Guanhães, indicando haver influência da

porcentagem de falhas do plantio sobre o tempo. No entanto, quanto mais acidentado o relevo menor foram essas diferenças. O tempo de deslocamento do *feller-buncher* com árvores cortadas acumuladas no cabeçote é maior na região mais acidentada, não tendo sido definido o motivo desse fato.

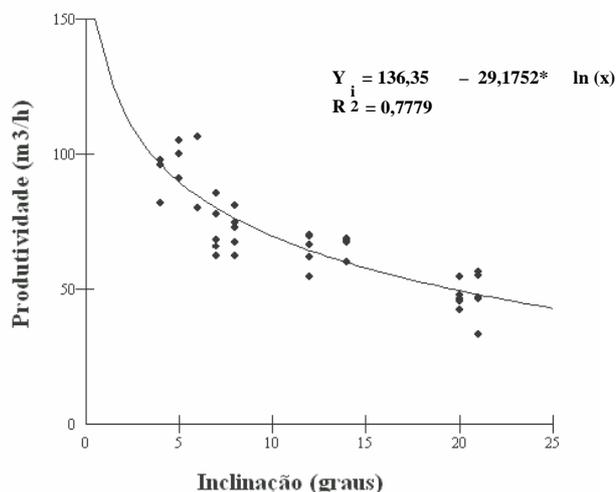


Figura 4. Regressão logarítmica para produtividade do *feller-buncher* em função da inclinação do terreno na região de Guanhões.

Figure 4. Logarithmic regression of feller-buncher productivity as function of inclination at Guanhões.

Tabela 6. Distribuição percentual de tempos e movimentos do *feller-buncher* nos extremos de inclinação do terreno nas regiões de Belo Oriente e Guanhões.

Table 6. Feller-buncher work and time study at two extreme ground inclination classes at Belo Oriente and Guanhões regions.

Atividade	Classe 1		Classe 4	
	Belo Oriente	Guanhões	Belo Oriente	Guanhões
	%	%	%	%
Deslocamento sem carga	14	21	22	23
Corte	27	35	29	27
Deslocamento entre árvores	44	29	34	33
Bascular	15	15	16	17

Complementando-se o estudo, foi feito o comparativo do desempenho do *feller-buncher* em áreas planas, variando-se apenas o padrão de floresta (Tabela 7). A floresta considerada de melhor padrão nas regiões estudadas foi a do projeto Marcocem, com produção de $264 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ e 90% de sobrevivência, seguida do projeto Lagoa Grande I, com $200 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ e 75% de sobrevivência e, finalmente, o projeto Tamanduá, com cerca de $164 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ e 60% de sobrevivência. O modelo de regressão linear obtido explicou 90% da variabilidade da produtividade da máquina ($\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$) em função do padrão da floresta ($\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$) (Figura 5).

Como constatado na tabela 7, o volume individual por árvore influi positivamente na capacidade operacional, concordando com os trabalhos de demais autores (GINGRAS, 1988; VALVERDE *et al.*, 1996; VISSER; STAMPFER, 2003).

Pode-se pressupor que o tempo gasto para cortar uma árvore de $0,11 \text{ m}^3$ seja igual ao de outra de $0,25 \text{ m}^3$, no entanto, ao se considerar a capacidade produtiva em termos volumétricos, somada à inclinação do relevo e produção da floresta, essa relação é de difícil predição. O modelo deste estudo possibilitou prever o desempenho médio da colhedora denominada *feller-buncher* tendo-se como entradas a inclinação do relevo e a produção da floresta, aumentando as possibilidades do planejamento de tempo de permanência da equipe de colheita em determinado padrão de floresta de acordo com o relevo predominante.

Tabela 7. Resumo estatístico para as variáveis estudadas de desempenho do *feller-buncher* na operação de corte em área plana.

Table 7. Statistical results of *feller-buncher* productivity variables on flat terrain.

Projeto	Estatística	Arv.min ⁻¹	Arv.m ⁻³	m ³ .h ⁻¹	Arv./ciclo
Marcocem (Belo Oriente)	Média (S) CV	8,77 (±0,55) 6,2%	4,5 --	116,19 (±7,35) 6,3%	6,8 (±0,4) 5,8%
Lagoa Grande I (Guanhães)	Média (S) CV	7,54 (±0,80) 10,6%	6,7 --	67,57 (±7,22) 10,7%	5,8 (±0,7) 12%
Tamanduá (Belo Oriente)	Média (S) CV	6,64 (±1,04) 15,6%	7,2 --	55,35 (±8,62) 15,6%	6,4 (±0,9) 14%

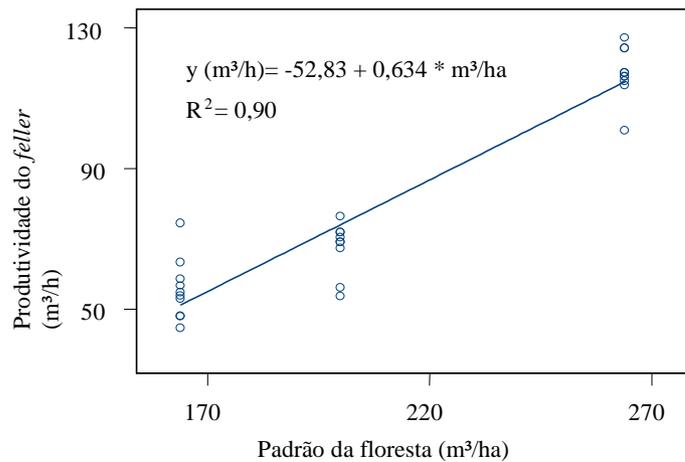


Figura 5. Modelo de regressão linear para a produtividade da máquina *feller-buncher* em função da produção da floresta.

Figure 5. Linear regression of *feller-buncher* productivity as a function of forestry productivity.

A análise conjunta da influência das variáveis inclinação do terreno e produtividade da floresta sobre a produtividade do *feller-buncher*, considerando-se todos os dados obtidos neste estudo nas regiões de Guanhães e Belo Oriente, resultou na equação 1.

$$P_{FB} = 37,04 - 1,52 \cdot I + 0,23 \cdot Pf \quad (R^2 = 0,72) \quad (1)$$

Em que: P_{FB} = produtividade do *feller-buncher* (m³.h⁻¹);

I = inclinação do terreno (°);

Pf = produtividade da floresta (m³.ha⁻¹).

Outros fatores também devem afetar a produtividade do *feller-buncher*, como o operador, a idade da máquina e o sistema de corte, sendo que, nessas condições, os principais elementos foram a inclinação do terreno e a produtividade da floresta, explicando-se, pela modelagem feita, 80% e 90% da variação, respectivamente. De modo geral, 72% das variações foram dadas pelos dois principais fatores contemplados no modelo.

A operação corte de árvores com *feller-buncher* demonstrou ser fortemente influenciada pela inclinação do terreno, com o aumento da inclinação afetando entre 67% e 82% da resposta quanto à produtividade da máquina, de acordo com a produção menor ou maior da floresta, respectivamente.

CONCLUSÕES

- A operação de corte de árvores com *feller-buncher* foi significativamente influenciada pela inclinação do terreno em qualquer padrão de floresta. A queda da produtividade do *feller-buncher*, conforme a classe de inclinação, foi inversa, perdendo nas áreas de maior inclinação do terreno cerca de metade da produtividade daquela obtida em terreno plano, para ambas as regiões estudadas. Na análise isolada da influência do padrão da floresta, mantendo-se o corte somente em áreas em terreno plano, a produtividade do *feller-buncher* foi diretamente proporcional à melhoria do padrão da floresta em termos de volume por hectare.
- Com a predição da produtividade da colhedora, é possível determinar o tempo real gasto para a colheita em cada projeto, tendo-se como pré-requisitos o padrão de floresta e a inclinação média de cada talhão. Algo simples de ser calculado a partir dos dados amostrados e analisados antes da chegada da equipe de corte.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Cia. Cenibra (Celulose Nipo-Brasileira S.A.), na pessoa do Engenheiro Maurício Muramoto, pelo total apoio para a realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- COCHRAN, W. G. **Técnicas de amostragem**. Rio de Janeiro: Fundo de Cultura, 1965. 555 p.
- CONWAY, S. **Logging practices: principles of timber harvesting systems**. San Francisco: Miller Freeman, 1976. 416 p.
- GINGRAS, J. F. The effects of site and stand factors on feller-buncher performance. **Feric Technical Report**, Vancouver, n. 84, p. 1-18, nov. 1988.
- MALINOVSKI, J. R.; CAMARGO, C. M. S.; MALINOVSKI, R. A. Sistemas. In: MACHADO, C.C. (Ed.) **Colheita florestal**. Viçosa, MG: UFV, 2002. p. 145-67.
- SANT'ANNA, C. M. Corte florestal. In: MACHADO, C.C. (Ed.) **Colheita florestal**. Viçosa, MG: UFV, 2002. p. 55-88.
- VALVERDE, S. R.; MACHADO, C. C.; REZENDE, J. L. P.; SOUZA, A. P.; ANTIQUEIRA, A. C. Análise técnico-econômica do corte de madeira com o trator florestal derrubador-amontoador (*feller-buncher*) no sistema de colheita florestal de árvores inteiras de eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 20, n. 2, p. 229-40, 1996.
- VISSER, R.; STAMPFER, K. Tree-length system evaluation of second thinning in a loblolly pine plantation. **Southern Journal of Applied Forestry**, Bethesda, v. 27, p. 77-82, 2003.