

AValiação OPERACIONAL E ECONÔMICA DO “FELLER-BUNCHER” EM DOIS SUBSISTEMAS DE COLHEITA DE FLORESTAS DE EUCALIPTO¹

Fábio Murilo Tieghi Moreira², Amaury Paulo de Souza³, Carlos Cardoso Machado³, Luciano José Minetti⁴ e Kátia Regina Silva²

RESUMO - O objetivo deste trabalho foi avaliar técnica e economicamente o *feller-buncher* em dois subsistemas de colheita em florestas de eucalipto. A análise técnica englobou um estudo de tempos e movimentos e de produtividade. A análise econômica englobou os parâmetros custo operacional, custo de produção e rendimento energético. O elemento parcial que consumiu a maior parte do tempo do ciclo operacional foi o busca e corte, com aproximadamente 50% do tempo total do ciclo nos dois subsistemas. Os elementos deslocamento vazio e descarregamento consumiram cerca de 39% do tempo total do ciclo do *feller-buncher*. O custo operacional do *feller-buncher* foi de US\$55,27/he; os custos de produção foram de 1,69 e 1,55 US\$/m³cc, nos subsistemas 1 e 2, respectivamente; e o rendimento energético foi de 4,45 e 4,09 g/kW*m³cc, nos subsistemas 1 e 2, respectivamente.

Palavras-chave: Colheita florestal, custo e mecanização florestal.

TECHNICAL AND ECONOMIC ANALYSIS OF A FELLER-BUNCHER IN TWO HARVEST SUBSYSTEMS OF EUCALYPTUS FORESTS

ABSTRACT - This work aimed to evaluate a *feller-buncher* operationally and economically, under two eucalyptus forest harvest subsystems. The operational analysis included a productivity and motion and time study. The economic analysis included the parameters operational cost, production cost and energy consumption. Searching and cutting consumed most of the operational time, approximately 50% of the total cycle time in both subsystems. Empty displacement and unloading consumed together about 39% of the total *feller-buncher* cycle time. The *feller-buncher* operational cost was US\$55.27/he. The production costs were US\$1.69 and 1.55/m³cc in subsystems 1 and 2, respectively. The energy consumption rates were 4.45 and 4.09 g/kW*m³cc in subsystems 1 and 2, respectively.

Keywords: Timber harvesting, logging cost and forest mechanization.

1. INTRODUÇÃO

Na atividade florestal, a colheita de madeira é a etapa mais importante do ponto de vista econômico, a podendo ela ser descrita por três fases básicas: corte e processamento, extração e transporte (Santos et al., 2000). De acordo com vários autores (Machado, 1989;

Bagio & Stohr, 1978; Rezende et al., 1983), a exploração e o transporte representam 50%, ou mais, do total dos custos finais da madeira posta na indústria.

Segundo Santos (1995), a introdução de equipamentos que substituem a motosserra e o machado possibilitou o aumento da produtividade das operações

¹ Recebido para publicação em 13.2.2003 e aceito para publicação em 30.4.2004.

Trabalho desenvolvido com recursos financeiros do CNPq.

² Estudante D.S. do Dep. de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Viçosa – UFV, 36570-000 Viçosa-MG; ³ Professor Titular do Dep. de Engenharia Florestal da UFV; ⁴ Pesquisador Titular do Dep. de Engenharia Florestal da UFV.

de colheita, minimizando a participação do homem no processo produtivo. Para Wadouski (1998), a mecanização da colheita de madeira, embora não seja a única forma de racionalização e controle da evolução dos custos, pode proporcionar reduções drásticas em prazos relativamente curtos, tendo um lugar de elevada importância nos esforços para o aumento da produtividade e humanização do trabalho florestal.

Hoje, dada à grande quantidade de máquinas e equipamentos de corte e extração disponíveis no mercado, as empresas podem formar vários conjuntos de colheita que podem ser empregados, cabendo a cada empresa optar por aquele que seja mais adequado às suas peculiaridades (Jacovine et al., 2001). Entre as máquinas mais utilizadas na exploração florestal se encontram os *feller-bunchers*, que são tratores florestais cuja função é realizar a derrubada e o enleiramento da madeira. O objetivo deste trabalho foi avaliar técnica e economicamente o desempenho do *feller-buncher* em dois subsistemas de colheita em florestas de eucalipto.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Região de Estudo

O trabalho foi realizado em povoamentos de eucalipto de uma empresa do setor, situados na região noroeste do Estado de São Paulo, entre os paralelos 22°55' de latitude sul e 48°50' de longitude oeste e a 750 m de altitude. O tipo de solo predominante na região é o Latossolo Vermelho-Escuro (LE), e o relevo é plano a suave-ondulado. O clima característico da região é o Cwa, clima quente úmido, de inverno seco, conforme a classificação de Köppen. A precipitação média anual é de aproximadamente 1.200 mm, a temperatura média anual situa-se em torno de 21 °C e a umidade relativa média do ar é de 60%. O reflorestamento da empresa na região era constituído da espécie *E. grandis*, em regime de segunda talhadia.

2.2. Descrição do Feller-Buncher

O *feller-buncher* analisado é composto por uma escavadora de acionamento hidráulico com esteiras, marca Caterpillar, modelo 320 BL, motor Caterpillar-3067, potência nominal de 178 hp; grua modelo Scavator, com alcance de 8,1 m; cabeçote de corte acumulador da marca Risley; e com disco de corte e capacidade de corte de até 45 cm de diâmetro (Figura 1).

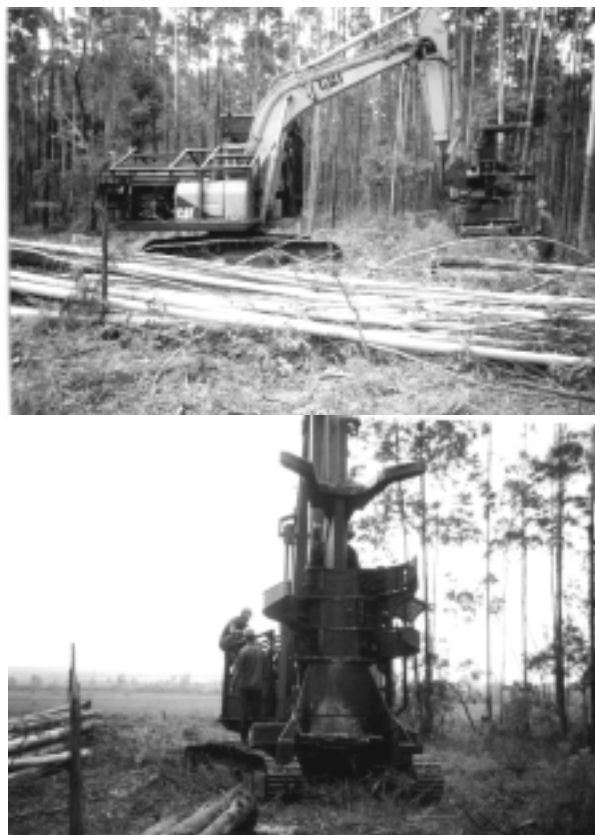


Figura 1 – *Feller-buncher* estudado neste trabalho.
Figure 1 – *Feller-buncher* studied in this work.

2.3. Subsistemas de Colheita

Os subsistemas avaliados foram:

Subsistema 1 - O *feller-buncher* iniciava a derrubada, direcionando a base dos feixes de árvores para a extremidade do talhão onde se iniciou o trabalho, formando os feixes a aproximadamente 45° em relação ao alinhamento de plantio. Depois da derrubada da primeira metade dos dois eitos, deslocava-se para a outra extremidade do talhão, iniciando assim a derrubada da segunda metade do primeiro oito de trabalho e, posteriormente, a derrubada da outra metade do segundo oito. A etapa seguinte foi a extração, feita com o *skidder*, que se deslocava da margem da estrada até o local onde se encontravam os feixes. Em seguida, acionava-se a abertura das garras da pinça, abaixando-a, prendendo e suspendendo o feixe parcialmente em relação ao solo, iniciando o arraste em direção à margem do talhão, onde

o feixe de madeira era posicionado ao lado dos outros. Aproximadamente metade dos feixes era arrastada para uma extremidade do talhão e a outra metade, para a extremidade oposta; os feixes na margem do talhão eram dispostos em um ângulo de aproximadamente 30° em relação ao sentido do alinhamento do plantio. A etapa final deste subsistema consistiu no processamento da madeira, realizado pelo *slingshot*, que se deslocava em uma faixa de ± 4 m entre os feixes arrastados pelo *skidder* e as pilhas formadas pela madeira já processada, sendo a galhada depositada entre os feixes arrastados pelo *skidder* e a pilha formada na margem do talhão.

Subsistema 2 - A derrubada foi realizada com o *feller-buncher*. Ele derrubava cada um dos dois eitos de trabalho, todos em um único sentido, com a base dos feixes direcionada para a extremidade do talhão onde se iniciava a derrubada; os feixes eram direcionados a aproximadamente 30° em relação ao alinhamento do plantio. Em seguida, realizou-se o processamento da madeira dentro do talhão, pelo *slingshot*. A movimentação da máquina foi feita de acordo com o sentido de deslocamento do *feller-buncher*; iniciando o processamento pela extremidade do talhão onde o *feller-buncher* finalizou a derrubada do eito. A etapa final deste subsistema consistiu na extração realizada com o *forwarder*, que se deslocava sobre a mesma linha de tráfego do *slingshot*, extraíndo cada eito de trabalho isoladamente, ou seja, realizando o carregamento apenas por um lado, pelo fato de a distância entre as pilhas de cada eito ser maior que o alcance máximo da grua do *forwarder*. Metade do comprimento de cada eito de trabalho foi extraída para cada extremidade do talhão, visando otimizar a distância média de extração.

Em todos os sistemas o comprimento das toras era de 6 m e a mão-de-obra utilizada foi toda própria.

2.4. Coleta de Dados

Em primeiro lugar foi feito um estudo piloto dos subsistemas de colheita analisados, buscando definir o número de observações necessárias para proporcionar um erro de amostragem máximo de 5%, segundo a metodologia proposta por Barnes (1968), por meio da seguinte expressão:

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

em que n = número mínimo de ciclos necessários; t = valor de t, para o nível de probabilidade desejado e (n-1) graus de liberdade; CV = coeficiente de variação, em porcentagem; e E = erro admissível, em porcentagem.

Sabendo-se o número de observações necessárias e levando em consideração as faixas de corte utilizadas pela empresa, definiu-se o tamanho da área a ser explorada por cada subsistema que proporcionasse o número mínimo de observações a serem coletadas. A partir desse ponto, foi selecionado um talhão que seria explorado na seqüência, sendo então alocadas três parcelas de 42 linhas de plantio cada uma. Depois de alocadas as parcelas no campo, fez-se o inventário de cada parcela. Paralelamente ao inventário, realizou-se o censo de cada parcela, obtendo-se o número exato de árvores existentes. Com os resultados apresentados no Quadro 1, estratificou-se cada parcela, segundo o volume médio por árvore.

2.5. Análise Técnica

A análise técnica do *feller-buncher* em cada subsistema analisado baseou-se nos seguintes parâmetros:

Quadro 1 – Características dendrométricas das parcelas experimentais
Table 1 – Dendrometric features of the experimental plots

Parcela	Área/Parcela (ha)	DAP Médio (cm)	Altura Média (m)	Volume/ha (m ³ cc)*	Arvores/ha	Volume Médio/Árvore (m ³ cc)
A	6,30	9,00	13,90	133,70	1375	0,054
B	6,30	9,70	15,20	171,30	1431	0,068
C	6,30	10,40	15,50	189,90	1469	0,079

* m³cc = metros cúbicos com casca.

a) Estudo de tempo e movimentos: Utilizou-se o método de tempo contínuo. No estudo, foram utilizados um cronômetro sexagesimal, uma prancheta e formulários específicos, onde foram registrados os dados. Os tempos dos elementos do ciclo foram registrados na forma sexagesimal e, posteriormente, convertidos para a forma centesimal.

b) Produtividade: A produtividade do *feller-buncher* foi determinada em metros cúbicos com casca por hora efetiva de trabalho, para cada parcela, sendo a produtividade representativa de cada subsistema a média das três parcelas.

$$\text{Produtividade} = \frac{\text{número de árvores} \times \text{volume por árvore}}{\text{horas efetivamente trabalhadas}}$$

em que número de árvores = obtido através de um censo completo realizado *a priori* em cada parcela experimental; volume por árvore = volume médio por árvore em cada parcela, obtido através do inventário da área; e horas efetivamente trabalhadas = horas efetivas (he) de trabalho gastas em cada parcela experimental, obtidas por meio do estudo de tempos e movimentos e da coleta das horas efetivas trabalhadas em cada subsistema.

2.6. Análise Econômica

A análise econômica do *feller-buncher* em cada subsistema analisado baseou-se nos seguintes parâmetros:

a) Custo operacional: Os custos operacionais do *feller-buncher* foram obtidos diretamente da planilha de custos da empresa onde foi realizado o trabalho, englobando:

custos fixos: depreciação, juros e seguros;

custos variáveis: combustíveis, lubrificantes e graxas, óleo hidráulico, pneus, manutenção e reparos, transporte de pessoal e de maquinário e custos de pessoal operacional; e

o custo operacional total foi encontrado ao somar os custos fixos e os variáveis mais o custo de administração.

b) Custo de produção: O custo de produção foi obtido pela divisão dos custos operacionais (US\$/he) pela produtividade (m³cc/he) do *feller-buncher* dentro de cada subsistema estudado.

c) Rendimento energético: O rendimento energético foi obtido pela razão entre o consumo específico de combustível (g/kW*he) e a produtividade (m³cc/he) do *feller-buncher*, dentro de cada subsistema estudado, tendo sido dado em g/kW*m³cc.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Estudo de Tempo e Movimentos

A constituição média dos elementos do ciclo operacional do *feller-buncher* nos subsistemas analisados é mostrada na Figura 2. Esses valores correspondem a um ciclo operacional de corte, composto de aproximadamente 5,67 árvores, em média. O tempo de busca e corte corresponde ao tempo para realizar o corte, acumular as árvores no cabeçote de corte e deslocá-lo em busca de outras árvores. O ciclo operacional total do *feller-buncher* foi, em média, 46,60 e 42,20 segundos nos subsistemas 1 e 2, respectivamente.

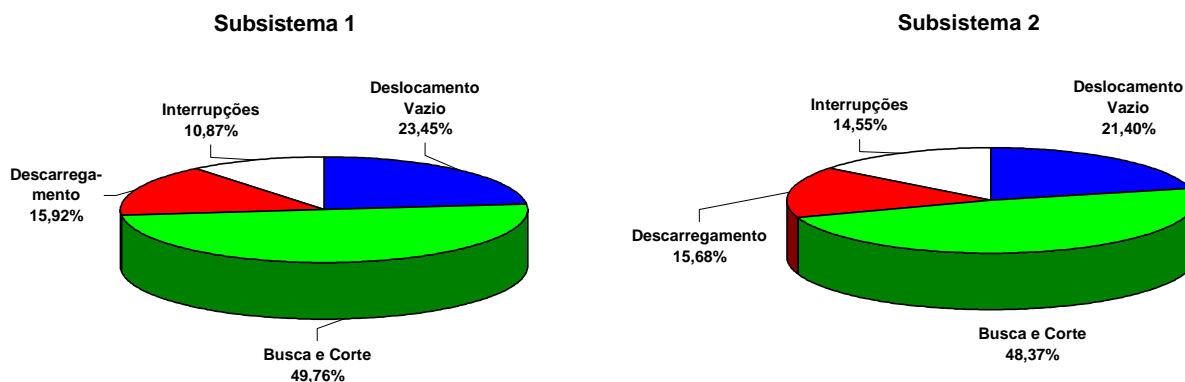


Figura 2 – Composição percentual do tempo total do ciclo operacional do *feller-buncher* nos subsistemas 1 e 2.
Figure 2 – Percent composition of the total time of the *feller-buncher* operational cycle in subsystems 1 and 2.

Os elementos parciais que consumiram a maior parte do tempo do ciclo operacional foram a busca e o corte, com aproximadamente 50% do tempo total do ciclo nos dois subsistemas analisados, mostrando valores próximos em ambos. Os elementos deslocamento vazio e descarregamento vieram em seguida, abrangendo juntos cerca de 37 a 39% do tempo total do ciclo do *feller-buncher*. As interrupções operacionais mais observadas foram: apanhar árvores que escapava, no processo de acúmulo no cabeçote, rebaixar cepa, eliminar sub-bosque, arrancar feixe quando as árvores ficavam mal arranjadas nos feixes e realizar o deslocamento para iniciar um novo eito de corte. Observou-se maior ocorrência das interrupções arranjo do feixe e deslocamento no subsistema 1, pelo fato de o *feller-buncher*, neste subsistema, procurar acumular um maior número de árvores no feixe, como também procurar formar o feixe o mais compacto possível, visando favorecer o carregamento do feixe pelo *skidder* na etapa subsequente. Assim, muitas vezes algumas árvores ficavam mal posicionadas em relação à inclinação do feixe, ou muito espalhadas neste, o que obrigava um arranjo dessas árvores, acarretando maior tempo de retomada do ciclo normal de trabalho. O maior tempo gasto com o deslocamento deveu-se ao método operacional empregado. O *feller-buncher*, em função do direcionamento dos feixes para posterior extração, trabalhava metade de cada eito de corte separadamente, deslocando-se mais vezes para iniciar um novo eito de trabalho no subsistema 1, em relação ao 2.

Notou-se que o subsistema 1 apresentou um tempo total cerca de 10% menor em relação ao subsistema 2. Essa diferença deveu-se basicamente ao fato de no subsistema 1 o operador procurar formar feixes mais volumosos, procurando, com isto, otimizar a etapa de extração que seria feita com o *skidder*. Portanto, era necessário um número maior de ciclos, em relação ao subsistema 2, para formar o feixe ideal; assim, quando o trator acumulava todas as árvores dentro do seu raio de alcance, ele era obrigado a deslocar-se e, muitas vezes, acabava-se distanciando do ponto onde estava sendo formado o feixe. Conseqüente, muitas vezes após o descarregamento o percurso vazio até as próximas árvores a serem abatidas era maior, gerando maior tempo de deslocamento sem carga, maior tempo para o deslocamento para descarregar, maior número de ciclos para atingir o número de árvores ideal e, também, acabou gastando mais tempo no elemento busca e corte.

3.2. Produtividade

A produtividade apresentada pelo *feller-buncher* por hora efetiva de trabalho foi de 500 e 542 árvores, nos subsistemas 1 e 2, respectivamente, e em metros cúbicos com casca por hora efetiva de trabalho foi de 33,47 e 36,10 m³cc, nos subsistemas 1 e 2, respectivamente.

O *feller-buncher* no subsistema 2 apresentou tempo total por ciclo 10,42% menor que no subsistema 1, gerando rendimento superior em 8,35%, em relação ao número de árvores abatidas por hora de efetivo trabalho, e ganho de 7,86% em relação ao volume por hora de efetivo trabalho, principalmente devido ao procedimento operacional de procurar formar feixes com maior número de árvores. O rendimento do *feller-buncher* em termos de número de árvores por unidade de tempo mostrou que nas parcelas com menor volume por árvore o rendimento foi maior, devido ao menor tempo gasto por ciclo operacional, já o rendimento do *feller-buncher* em termos de volume por unidade de tempo cresceu à medida que se aumentou o volume médio por árvore, em ambos os subsistemas analisados.

3.3. Custo Operacional

Considerando uma taxa de juros de 12% a.a. e uma eficiência operacional de 80%, chegou-se ao custo/hora efetivamente trabalhada de US\$ 55,27.

Os custos fixos corresponderam a aproximadamente 30,97% e os custos variáveis, a aproximadamente 67,60% dos custos totais, respectivamente. O custo de administração foi da ordem de 1,43% dos custos totais (Figura 3).

3.4. Custo de Produção e Rendimento Energético

No Quadro 2 estão os custos de produção e o rendimento energético do *feller-buncher* nos dois subsistemas de colheita. Considerando que os custos operacionais e o consumo de combustível do *feller-buncher* foram os mesmos para ambos os subsistemas, o que diferenciou os valores de custo de produção e rendimento energético foi a produtividade alcançada pelo *feller-buncher* nos diferentes subsistemas.

Em ambos os subsistemas, a relação entre a produtividade e o custo de produção foi a mesma, ou seja, à medida que se aumentou a produtividade o custo de produção decresceu e o rendimento energético se comportou de forma análoga ao custo de produção.

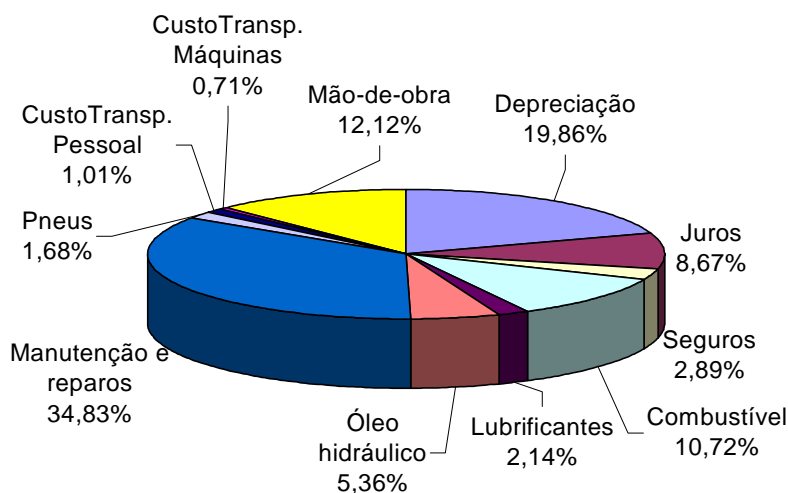


Figura 3 - Distribuição percentual dos itens que compõem o custo operacional do *feller-buncher*.
Figure 3 - Percent distribution of the *feller-buncher* operational cost.

Quadro 2 - Custo de produção e rendimento energético do *feller-buncher*

Table 2 - Production cost and energy consumption of the *feller-buncher*

Subsistema	Custo de Produção (US\$/m ³ cc)	Rend. Energético (g/kW*m ³ cc)
1	1,69	4,45
2	1,55	4,09

4. CONCLUSÕES

Com base na análise e discussão dos resultados, pode-se concluir:

- O ciclo operacional total do *feller-buncher* foi, em média, 46,60 e 42,20 segundos nos subsistemas 1 e 2, respectivamente.
- Os elementos parciais que consumiram a maior parte do tempo do ciclo operacional foram o busca e o corte, com aproximadamente 50% do tempo total do ciclo nos dois subsistemas analisados, mostrando valores próximos em ambos; os elementos deslocamento vazio e descarregamento vieram em seguida, abrangendo juntos cerca de 37 a 39% do tempo total do ciclo do *feller-buncher*.

- As interrupções operacionais mais observadas foram: apanhar árvores que escapavam no processo de acúmulo no cabeçote, rebaixar cepa, eliminar sub-bosque, arranjar feixe quando as árvores ficavam mal arranjadas nos feixes e realizar o deslocamento, para iniciar um novo eito de corte.
- Observou-se maior ocorrência das interrupções arranjo do feixe e deslocamento no subsistema 1.
- O subsistema 1 apresentou um tempo total cerca de 10% menor em relação ao subsistema 2.
- A produtividade apresentada pelo *feller-buncher* por hora efetiva de trabalho foi 500 e 542 árvores, nos subsistemas 1 e 2, respectivamente, e em metros cúbicos com casca por hora efetiva de trabalho foi de 33,47 e 36,10 m³cc, nos subsistemas 1 e 2, respectivamente.
- O *feller-buncher* no subsistema 2 apresentou tempo total por ciclo 10,42% menor que no subsistema 1, gerando rendimento superior em 8,35%, em relação ao número de árvores abatidas por hora de efetivo trabalho, e ganho de 7,86% em relação ao volume por hora de efetivo trabalho.
- Chegou-se ao custo operacional de US\$55,27 por hora efetivamente trabalhada.

- Os custos de produção do *feller-buncher* foram de 1,69 e 1,55 US\$/m³cc, nos subsistemas 1 e 2, respectivamente, e o rendimento energético foi de 4,45 e 4,09 g/kW*m³cc.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BAGIO, A. J.; STOHR, G. W. D. Resultados preliminares de um levantamento dos sistemas de exploração usados em florestas implantadas no sul do Brasil. **Revista Floresta**, v. 9, n. 2, p. 76-96, 1978.
- BARNES, R. M. **Motion and time study**: design and measurement of work. 6.ed. New York: John Willey & Sons, 1968. 799 p.
- 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.
- MACHADO, C. C. **Exploração florestal**. Viçosa: UFV, Imprensa Universitária, 1989. 34 p.
- REZENDE, J. L. P.; PEREIRA, A. R.; OLIVEIRA, A. D. Espaçamento ótimo para a produção de madeira. **Revista Árvore**, v. 7, n. 1, p. 30-43, 1983.
- SANTOS, S. L. M. et al. Avaliação técnica e econômica do corte florestal semi-mecanizado em diferentes volumes por árvore e comprimento de toras. **Revista Árvore**, v. 24, n. 4, p. 417-422, 2000.
- SANTOS, S. L. M. **Alocação ótima de máquinas na colheita de madeira**. 1995. 99 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 1995.
- WADOUSKI, L. H. **Fatores determinantes da produtividade e dos custos na colheita de madeira**. In: SEMINÁRIO DE ATUALIZAÇÃO SOBRE SISTEMAS DE COLHEITA DE MADEIRA E TRANSPORTE FLORESTAL, 10., 1998, Curitiba. **Anais...** Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 1998. p. 77-84.