
ANÁLISE TÉCNICA E ECONÔMICA DO *HARVESTER* OPERANDO EM DOIS SUBSISTEMAS DE COLHEITA DE MADEIRA

Diego Weslly Ferreira do Nascimento Santos¹, Domingos Sárvio Magalhães Valente², Haroldo Carlos Fernandes³, Paulo Roberto Forastiere⁴, Remo Macieira Figueiredo Silva⁵

RESUMO

Apesar da evolução da colheita de madeira nos últimos anos, o Brasil ocupa a quarta posição entre os países com maior custo de produção, sendo necessária a busca de alternativas, a exemplo de novos subsistemas, que visem o aumento da produtividade e redução dos custos. Objetivou-se com esta pesquisa realizar uma análise técnica e econômica de um *harvester* operando em dois subsistemas de colheita de madeira de toras curtas. O estudo foi conduzido em uma área de colheita florestal situada no município de Eunápolis – BA. No subsistema 1, o *harvester* realizava o corte e processamento das árvores. Já no subsistema 2, o corte era realizado por um *feller-buncher*, o *harvester* realizava apenas o processamento das toras. A análise técnica compreendeu o estudo de tempos e movimentos, produtividade, disponibilidade mecânica e eficiência operacional. A análise econômica baseou-se na determinação do custo operacional e de produção, análise de sensibilidade e taxa interna de retorno. Os tempos totais dos ciclos operacionais e as produtividades do *harvester* no subsistema 1 e 2 não diferiram estatisticamente. Obteve-se um custo operacional para o *harvester* 1 e 2 de US\$ 80,86 he^{-1} e US\$ 79,15 he^{-1} , respectivamente. O *harvester* apresentou o menor custo de produção médio, US\$ 2,27 m^{-3} , no subsistema 1. Os resultados do *harvester* trabalhando no subsistema 2 não são satisfatórios, mediante isso a utilização do subsistema não é viável devido a necessidade de introdução de uma máquina para realizar o corte.

Palavras-chave: mecanização florestal, máquinas florestais, otimização florestal.

ABSTRACT

TECHNICAL AND ECONOMIC ANALYSIS OF HARVESTER OPERATING IN TWO WOOD HARVESTING SUBSYSTEMS

Although there has been advances in wood harvesting in recent years, Brazil ranks fourth among countries with the highest production costs. Therefore the search for alternatives, like new subsystems, is necessary to increase productivity and reduce costs. The objective of this research was to conduct a technical and economic analysis of a harvester operating in two cut-to-length harvesting subsystems. The study was conducted in a forest harvesting area in the municipality of Eunápolis – BA. In subsystem 1, the harvester performed the cutting and processing of trees. In the subsystem 2, cutting was performed by a feller-buncher and the harvester just executed log processing. Technical analysis included the study of time and motion, productivity, mechanical availability and operational efficiency. Economic analysis was based on the determination of the operating cost and production, sensitivity analysis and internal rate of return. The total cycle time and productivity of the harvester in the subsystem 1 and 2 did not differed statistically. The operating cost for the harvester 1 and 2 were US \$ 80.86 he^{-1} and US \$ 79,15 he^{-1} , respectively. The harvester had the lowest average production cost, US\$ 2,27 m^{-3} , in subsystem 1. The results for the harvester working in subsystem 2 are not satisfactory, and, therefore, the use of the subsystem is not viable due to the need to introduce another machine to perform cutting.

Keywords: forest mechanization, forest machine, forestry optimization

Recebido para publicação em 23/08/2016. Aprovado em 03/11/2016.

1 - Engenheiro Florestal, doutorando em Engenharia Agrícola da UFV/Viçosa – MG, diegoweslley89@gmail.com

2 - Engenheiro Agrícola e Ambiental, Professor da UFV/Viçosa – MG

3 - Engenheiro Agrícola e Ambiental, Professor da UFV/Viçosa – MG

4 - Engenheiro Agrônomo, doutorando em Engenharia Agrícola da UFV/Viçosa – MG

5 - Engenheiro Florestal, doutorando em Engenharia Agrícola da UFV/Viçosa – MG

INTRODUÇÃO

Segundo Sant'Anna (2009), o corte é a primeira etapa da colheita e compreende as operações de derrubada, desgalhamento, traçamento e empilhamento. Quando o corte é realizado de forma mecanizada, o *harvester* é uma das principais máquinas utilizadas.

O *harvester* é uma máquina autopropelida, podendo ser de esteiras ou pneus, com capacidade de realizar o corte e processamento das árvores dentro da floresta. Segundo Magalhães e Katz (2010), a utilização dessas máquinas permitiu a mecanização de grandes áreas florestais, aumentou o rendimento operacional e a segurança dos operadores.

Apesar da evolução da colheita florestal nos últimos anos, Nascimento et al., (2011) afirmam que a mesma ainda carece de dados confiáveis para a escolha do sistema e da máquina mais adequada, tanto economicamente como tecnicamente.

A análise técnica e de custos dos tratores florestais são algumas das ferramentas que auxiliam na escolha das máquinas, pois proporcionam informações detalhadas sobre as atividades que mais prejudicam o rendimento dos equipamentos e identificam os dispêndios mais representativos no custo operacional.

Lopes et al., (2007), ao realizarem uma análise técnica e econômica, afirmaram que árvores com grades diâmetros e bifurcadas demandam mais tempo para serem cortadas com *harvester*, e consequentemente o rendimento diminui, além de ocasionarem a quebra de peças do cabeçote, principalmente do sabre.

Conforme Leite et al., (2014), o corte é a quarta operação que mais demanda tempo no ciclo operacional do *harvester*, sendo necessária a adoção de medidas que visem a redução do tempo da atividade.

Mediante o exposto, a presente pesquisa tem por objetivo realizar uma análise técnica e econômica do *harvester* operando em dois subsistemas de colheita de madeira de toras curtas.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido em área de colheita florestal localizada no sul do estado da Bahia,

latitude 16°23'34"S e longitude 39°49'3.77"W. A área era povoada com clones híbridos de *Eucalyptus grandis* com *Eucalyptus urophylla*, plantadas no espaçamento de 4x3. O corte raso foi realizado quando as árvores apresentavam 7 anos de idade e volume médio individual de 0,26 m³. A área apresenta relevo plano e altitude de 187 m. Segundo a classificação de Koppen, a região apresenta clima do tipo tropical úmido (Af), temperatura média de 23 °C e precipitação pluviométrica média anual de 1.256 mm.

A colheita de madeira foi realizada em um sistema de toras curtas (*cut to length*), com toras de 6,20 metros de comprimento e distância máxima de extração igual a 330 metros. As operações foram acompanhadas no período diurno, em dias de céu sem a presença de nuvens e sem a ocorrência de precipitação.

No subsistema 1, o *harvester* realizou o corte, desgalhamento/descascamento e traçamento das árvores, sendo as toras extraídas por *forwarder*.

No subsistema 2, o corte foi realizado por um *feller-buncher*, o desgalhamento/descascamento e traçamento executado pelo *harvester* e a extração das toras executadas por um *forwarder*.

Foi utilizado o mesmo *harvester* em ambos os subsistemas, sendo o mesmo constituído por uma escavadeira hidráulica de esteira, modelo EC 210BF prime, da marca Volvo®, motor de 6 cilindros e 110 kW de potência. Composto a escavadeira, tem-se uma lança hidráulica com alcance máximo de 8,2 metros e um cabeçote, modelo H7 da marca Ponsse®.

O cabeçote H7 é composto por 3 rolos dentados alimentadores, laminas para realizar o desgalhamento, braços prensos para segurar as árvores durante o corte e o processamento e um sabre para realizar o corte e o traçamento. Esse cabeçote corta e processa árvores de até 0,6 metros de diâmetro.

O estudo de tempos e movimentos foi executado pelo método multimomento, com frequência de coleta de dados a cada 15 segundos.

O ciclo operacional efetivo do *harvester* no subsistema 1 foi subdividido em: deslocamento e busca (deslocamento da máquina em busca das árvores a serem abatidas), corte de derrubada (tempo consumido para realizar o corte e tombamento das

árvores), desganhamento/descascamento (tempo gasto com desganhamento e descascamento das árvores) e traçamento (tempo gasto com o destopamento e seccionamento das árvores).

As atividades que compuseram o ciclo operacional do *harvester* no subsistema 2 foram: deslocamento e busca (deslocamento da máquina em busca das árvores a serem processadas), desganhamento/descascamento (tempo gasto com desganhamento e descascamento das árvores), e traçamento (tempo gasto com o destopamento e seccionamento das árvores).

A produtividade foi determinada em metros cúbicos de madeira sem casca por hora efetiva de trabalho ($\text{m}^3 \text{he}^{-1}$), através da equação 1. Foram marcadas 10 parcelas experimentais para cada subsistema, com 75 árvores cada.

$$P = \frac{\text{Vol} \cdot 60}{T} \quad (1)$$

em que,

P = Produtividade ($\text{m}^3 \text{he}^{-1}$);

Vol = volume (m^3); e

T = Tempo gasto na parcela (min.).

O volume, em metros cúbicos de madeira, foi obtido multiplicando-se o número de árvores da parcela pelo volume médio individual das árvores.

A disponibilidade mecânica e eficiência operacional foram calculadas conforme as Equações 2 e 3, respectivamente.

$$DM = \frac{HT - HPM}{HT} 100 \quad (2)$$

em que,

DM = disponibilidade mecânica (%);

HPM = horas de paradas para manutenção (h); e

HT = quantidade de horas totais (h).

$$EO = \frac{HE}{HE + HPO} 100 \quad (3)$$

em que,

EO = eficiência operacional (%);

He = horas efetivas de trabalho (h); e

HPO = horas de paradas operacionais (h).

O custo operacional, a análise de sensibilidade e a taxa interna de retorno foram determinados de

acordo com a metodologia proposta pela *American Society of Agricultural Engineers* (ASAE, 2001) e Silva *et al.*, (2014b).

O custo operacional foi expresso em dólar dos Estados Unidos por hora efetiva de trabalho, sendo considerada uma taxa de câmbio de 1 US\$ = 3,18 R\$, cotado no dia 12 de agosto de 2016. Os dados necessários para determinar o custo operacional foram fornecidos pela empresa, sendo obtido através do somatório dos custos fixos (depreciação, taxas administrativas, abrigo, juros, seguros e impostos) e variáveis (combustível, graxas e lubrificantes, óleo hidráulico, pneus, manutenção e reparos e salários dos operadores).

Já o custo de produção foi calculado através da Equação 4, sendo expresso em US\$ m^{-3} .

$$C_p = \frac{CT}{P} \quad (4)$$

em que,

C_p = custo de produção (US\$ m^{-3});

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

P = produtividade ($\text{m}^3 \text{he}^{-1}$).

Os resultados referentes aos ciclos operacionais e às produtividades da máquina foram analisados considerando-se delineamento inteiramente casualizado com dois tratamentos (subsistema 1 e 2) e dez repetições cada, sendo processados por meio de uma análise de variância, e quando significativos comparados pelo teste de Tukey a 95% de probabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

No Quadro 1, consta um teste de média comparado o tempo de cada operação e o tempo total do ciclo operacional da máquina. As operações deslocamento/busca e traçamento do subsistema 2 foram estatisticamente superiores às mesmas operações do subsistema 1, em virtude da máquina ter apresentado dificuldades durante a busca das árvores deixadas pelo *feller-buncher*, pois as árvores ficavam muito próximas e, durante o traçamento, em razão do sabre prender frequentemente na tora, sendo necessário refazer a operação.

Quadro 1. Teste de média dos valores médios (segundos) dos elementos que compõem o ciclo operacional da máquina nos subsistemas.

Subsistema	Deslocamento e busca	Corte de derrubada	Desgalhamento e descascamento	Traçamento	Total
1	7,28 bA	5,84 A	8,02 aA	6,18 bA	27,32 a
2	8,72 aA	-	9,52 aA	10,18 aA	28,42 a

Médias seguidas pela mesma letra, minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Apesar do *harvester* no subsistema 1 ter realizado uma atividade a mais, o corte de derrubada, os tempos totais dos ciclos operacionais não diferiram estaticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. A operação traçamento do subsistema 2 foi a que mais contribui para semelhança entre as médias. Segundo Seixas & Batista (2014), ao avaliarem um *harvester* de esteiras, a atividade traçamento é a que demanda mais tempo para ser completada, sendo necessária a adoção de medidas mitigadoras para reduzir o tempo da atividade.

No Quadro 2, são apresentadas as médias de produtividades do *harvester*, que são estatisticamente semelhantes. Tal fato mostra que a realização do corte de derrubada das árvores não afeta negativamente o rendimento da máquina. Seixas & Batista (2014) e Lopes et al., (2007) determinaram produtividades de 36,04 e 34,4 m³ he⁻¹, respectivamente, valores próximos aos da presente pesquisa e que confirmam que a realização do corte não afeta o rendimento do *harvester*.

A partir do Quadro 3, é possível observar os valores de disponibilidade mecânica (DM) e eficiência operacional (EO) do *harvester* nos subsistemas analisados, sendo os valores semelhantes, o que indica que a realização do corte não provoca o aumento de paradas para realização de atividades ergonômicas e para realização de manutenção.

Os valores de disponibilidade mecânica são superiores aos estipulados pela empresa, sendo considerados altos em virtude de a máquina estar no quarto ano de vida útil. Normalmente, quanto maior a vida útil da máquina, menor a DM, devido ao desgaste das peças. Sendo assim, a alta disponibilidade mecânica da máquina se deve à boa qualidade de manutenção, pois, segundo Fontes e Machado (2014), para que se tenha uma alta DM é necessário que se disponha de uma equipe de manutenção bem dimensionada e bem treinada, compatível com a demanda de serviços.

Com relação à eficiência operacional das máquinas, os valores são satisfatórios, pois,

Quadro 2. Comparação entre as médias de produtividade da máquina nos subsistemas analisados.

	Subsistema 1	Subsistema 2
Produtividade (m ³ he ⁻¹)	36,03 a	34,76 a
Coefficiente de variação (%)	12,97	15,46

Médias seguidas pela mesma letra na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Quadro 3. Disponibilidade mecânica e eficiência operacional

Subsistema	Disponibilidade mecânica (%)	Eficiência operacional (%)
1	90,21	86,45
2	90,28	86,48

segundo Machado (1989), a eficiência das máquinas de colheita florestal não deve ser inferior a 70%. Linhares et al., (2012) determinaram uma eficiência operacional igual a 50%, o baixo valor se justifica ao fato do início das operações de colheita florestal mecanizada ser caracterizado como um período de adaptação e às frequentes falhas de comunicação entre as equipes de manutenção, operadores e técnicos.

O custo operacional da máquina no subsistema 1 foi de US\$ 80,86 he^{-1} . Valor menor, US\$ 79,15 he^{-1} , foi apresentado no subsistema 2 em virtude do menor consumo horário de combustível (Figura 1).

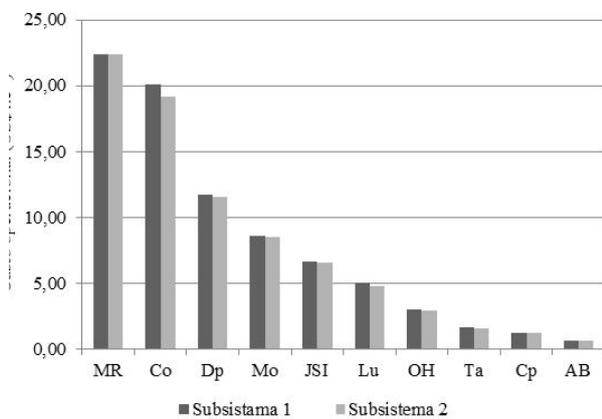


Figura 1. Distribuição dos itens que compõem o custo operacional da máquina. Onde; Mr = Manutenção e reparos; Co = combustível; Dp = depreciação; Sop = salário de operador; JSI = juros, seguros e impostos; Lu = lubrificantes; Oh = óleo hidráulico; Ta = taxas administrativas; Cp = pneus e Ab= abrigo.

Dentre todos os dispêndios que compõem o custo operacional da máquina, em ambos os subsistemas, o custo com manutenção foi o mais representativo, seguido de custo com combustível e depreciação. Resultados semelhantes foram encontrados por Leite et al., (2014) e Simões et al., (2010), o que ratifica os resultados dessa pesquisa e chamam atenção para a necessidade de redução desses dispêndios.

Silva et al., (2014a), ao realizarem uma análise de custos de dois modelos de *harvesters*, afirmaram que a otimização dos dispêndios que compõem o custo operacional da máquina, principalmente aqueles que mais influenciam nos custos, resultam

em uma economia de aproximadamente 7% no custo final do m^3 produzido.

O custo de produção médio do *harvester* no subsistema 1 foi de US\$ 2,27 m^{-3} , variando de 1,68, a US\$ 2,55 m^{-3} . Já o custo de produção médio da máquina no subsistema 2 foi de US\$ 2,31 m^{-3} , variando de 1,60, a US\$ 2,51 m^{-3} . O maior custo de produção do subsistema 2 é em virtude da menor produtividade da máquina.

A partir da análise de sensibilidade, verificou-se que as variáveis horas efetivas de trabalho, combustível, manutenção, valor da máquina e depreciação foram as mais influentes no custo operacional, em ambos os subsistemas (Figura 2).

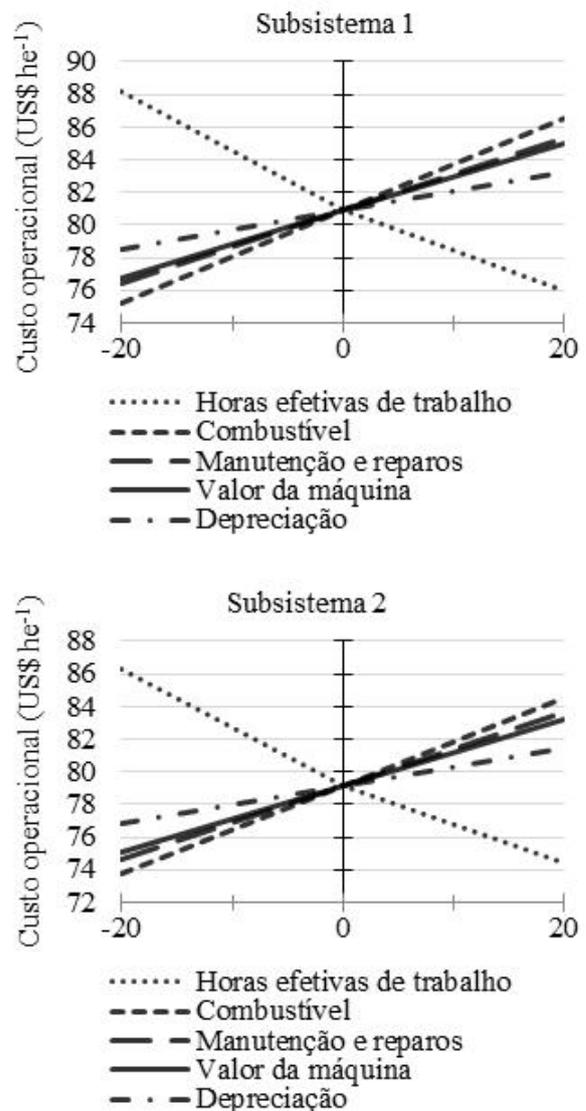


Figura 2. Diagrama de Spiderplot mostrando as principais variáveis que compõem o custo operacional.

A redução de 10% no custo das variáveis mais influentes e aumento de 10% na quantidade horas efetiva de trabalho resultaria no decréscimo de 13% no custo operacional da máquina nos dois subsistemas. Segundo Santos (2014), a redução de 10% nos custos com manutenção e reparos, mão-de-obra, combustível e depreciação e aumento de 10% na quantidade de horas efetivas trabalhadas ocasiona uma redução de 17% no custo operacional do *harvester*.

O *harvester* apresentou maior taxa interna de retorno (TIR), em ambos os subsistemas, no quarto ano de vida útil, sendo 35% no subsistema 1 e 40% no subsistema 2 (Figura 3). A maior rentabilidade do investimento no subsistema 2 se deve a maior quantidade de horas trabalhadas por ano.

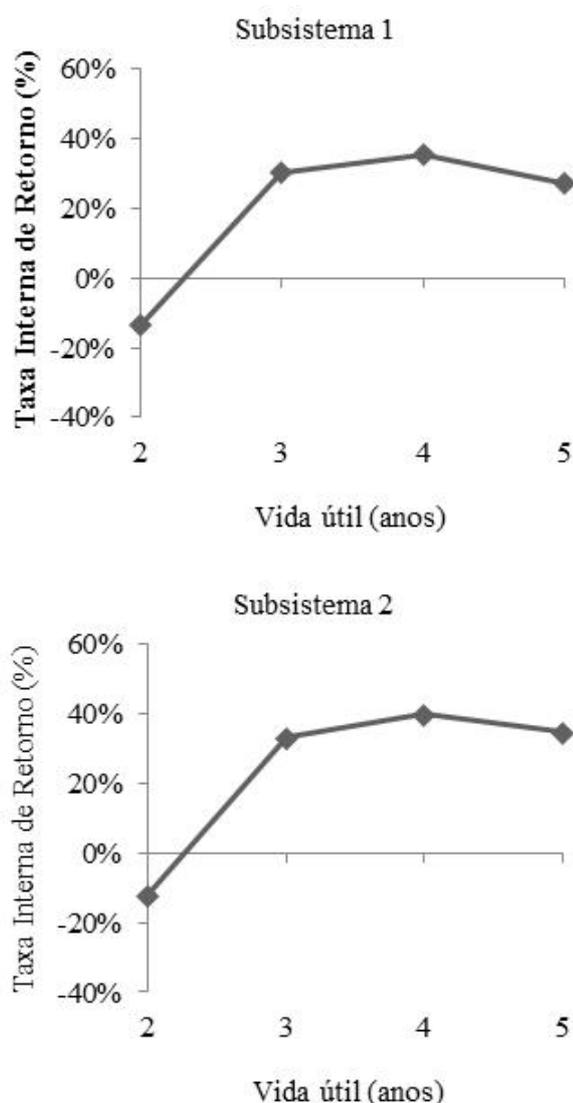


Figura 3. Taxa interna de Retorno (TIR), em função da vida útil (anos).

A TIR só passa a ser positiva após o segundo ano de vida útil da máquina, em razão do alto valor de aquisição que é descontado das receitas líquidas nos anos iniciais de operação.

Após o quarto ano de operação, a TIR diminui em razão do alto custo operacional, principalmente o custo com manutenção, sendo necessária a substituição da máquina após o quinto ano de operação. Segundo Santos (2014), os tratores florestais devem ser substituídos no quinto ano de operação devido ao aumento dos custos variáveis e redução da quantidade de horas efetivas trabalhadas por ano e produtividade da máquina.

CONCLUSÕES

- O corte de derrubada não influencia no tempo total do ciclo operacional e na produtividade da máquina.
- O menor custo operacional é apresentado pelo *harvester* no subsistema 2. No entanto, o menor custo de produção médio foi constatado no subsistema 1.
- Horas efetivas de trabalho, combustível, manutenção, valor da máquina e depreciação são as variáveis mais influentes no custo operacional.
- Foi obtida a maior taxa interna de retorno para *harvester* operando no subsistema 2.
- Os resultados do *harvester* trabalhando no subsistema 2 não são satisfatórios em virtude da necessidade de introdução de uma máquina a mais para realizar o corte de derrubada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. **ASAE standards 2001**: machinery, equipment and buildings: operating costs. Iowa: Ames, 2001. 226p. (ASAE D497.5).

FONTES, J.M.; MACHADO, C.C. Manutenção mecânica. In: MACHADO, C.C. (Editor). **Colheita florestal**. 3ed. Viçosa, MG: UFV, 2014. p.288-334.

LEITE, E.S; MINETTE, L.J.; FERNANDES, H.C.;

- SOUZA, A.P.; AMARAL, E.J.; LACERDA, E.G. Desempenho do *harvester* na colheita de eucalipto em diferentes espaçamentos e declividades. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.38, n.1, 2014.
- LINHARES, M.; SETTE JÚNIOR, C.R.; CAMPOS, F.; YAMAJI, F.M. Eficiência e desempenho operacional de máquinas *harvester* e *forwarder* na colheita florestal. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v.42, n.2, p.212-219, abr./jun. 2012.
- LOPES, E.S.; CRUZINIANI, E.; DIAS, A.N.; FIEDLER, N.C. Avaliação técnica e econômica do corte de madeira de pinus com cabeçote *harvester* em diferentes condições operacionais. **Floresta**, Curitiba, PR, v.37, n.3, set./dez. 2007.
- MAGALHÃES, P.A.D; KATZ, I. Estudo da viabilidade econômica da mecanização do processo de colheita florestal com *harvester* em uma indústria madeireira. **Tékhné Lógos**, Botucatu, v.2, n.1, p.72 a 91, out. 2010.
- MACHADO, C.C. Exploração florestal. Viçosa: UFV, Imprensa Universitária, 1989. v.6, 34p.
- NASCIMENTO, A.C.; LEITE, A.M.P.; SOARES, T.S. FREITAS, L.C. Avaliação técnica e econômica da colheita florestal com *feller-buncher*. **Cerne**, Lavras, v.17, n.1, p.9-15, 2011.
- SANT'ANNA, C.M. Corte. In: MACHADO, C.C. (Editor). **Colheita florestal**. 3ed. Viçosa, MG: UFV, 2014. p.74-105.
- SANTOS, L.N. **Avaliação econômica da colheita florestal mecanizada com *harvester* e *forwarder***. 107p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – UFV, Viçosa - MG, 2014.
- SEIXAS, F.; BATISTA, J.L.F. Comparação técnica e econômica entre *harvesters* de pneus e com máquinas base de esteiras. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.24, n.1, p.185-191, jan.-mar., 2014.
- SIMÕES, D.; FENNER, P.T.; ESPERANCINI, M.S.T. Avaliação técnica e econômica da colheita de florestas de eucalipto com *harvester*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v.38, n.88, p.611-618, dez. 2010.
- SILVA, E.N.; MACHADO, C.C.; FIEDLER, N.C.; FERNANDES, H.C.; PAULA, M.O.; CARMO, F.C.; MOREIRA, G.R.; COELHO, F.E. Avaliação de custos de dois modelos de *harvester* no corte de eucalipto. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.24, n.3, p.741-748, jul.-set., 2014a.
- SILVA, M.L.; MIRANDA, G.M.; CORDEIRO, S.A.; LEITE, E.S. Custos. In: MACHADO, C.C. (Editor). **Colheita florestal**. 3ed. Viçosa, MG: UFV, 2014b. p.253-287.