



Desempenho técnico e econômico de distintos modelos de forwarders

Diego Weslly Ferreira do Nascimento SANTOS^{1*}, Haroldo Carlos FERNANDES¹,
Domingos Sárvio Magalhães VALENTE¹, Bruno Meira GOMES¹, Juliana Pinheiro DADALTO¹,
Elton da Silva LEITE²

¹ Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, Brasil.

² Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, BA, Brasil.

*E-mail: diegoweslley89@gmail.com

Recebido em maio/2017; Aceito em setembro/2017.

RESUMO: Objetivou-se com esse trabalho analisar técnica e economicamente dois modelos de forwarder na extração de toras de eucalipto. O trabalho foi realizado na região Sul do estado da Bahia. A análise técnica compreendeu ao estudo de tempos e movimentos, produtividade, disponibilidade mecânica e eficiência operacional. Já a análise econômica baseou-se na determinação do custo operacional e de extração. Os resultados de tempos e movimentos e produtividades das máquinas foram submetidos a análise estatística. O tempo total e os elementos carregamento, deslocamento com carga e descarregamento do modelo elephant são estaticamente superior ao tempo total e aos mesmos elementos do modelo buffaloking. O forwarder modelo elephant apresentou uma produtividade média de $44,16 \text{ m}^3 \text{ he}^{-1}$, sendo esse valor estaticamente superior aos $39,40 \text{ m}^3 \text{ he}^{-1}$ apresentado pelo modelo buffaloking. O maior custo operacional e de produção foram calculados para o modelo buffaloking. O modelo elephant demonstra-se mais eficiente na extração de madeira.

Palavras-chave: colheita florestal, desempenho operacional, extração.

Technical and economic performance of different forwarder models

ABSTRACT: The objective of this study is to analyze technically and economically two models of forwarder in Eucalyptus logs extraction. The study was conducted in the southern region of Bahia. Technical analysis includes the study of time and motion, productivity, mechanical availability and operational efficiency. Already the economic analysis was based on the determination of the operating cost and extraction. The results of motion and time and productivity of the machines were subjected to statistical analysis. The total time and the elements: load, displacement load and unload the elephant model are statistically higher than the total time and the same elements of buffaloking model. The forwarder elephant model showed an average yield of $44.16 \text{ m}^3 \text{ he}^{-1}$, and this value statically superior to $39.40 \text{ m}^3 \text{ he}^{-1}$ presented by buffaloking model. The biggest operational cost and production were calculated for the model buffaloking. The elephant model shows to be more efficient in wood extraction.

Keywords: forest harvesting, operational performance, extraction.

1. INTRODUÇÃO

O crescente consumo de produtos de base florestal, que em 2012 atingiu os 182 milhões de metros cúbicos, fortaleceu de forma significativa o setor florestal brasileiro, consolidado a importância do mesmo na economia do país, sendo que o mesmo representa cerca de 1,20% do PIB brasileiro e emprega de forma direta e indireta cerca de 3,8 milhões de pessoas (ABRAF, 2013). Dentre as atividades florestais, a colheita florestal se destaca, por ser uma atividade onerosa e complexa, sendo a mesma influenciada por fatores técnicos, ergonômicos, ambientais e econômicos. Dentre as operações que compõem a colheita florestal, tem-se a extração, que é a retirada da madeira do interior do talhão até as margens das estradas ou pátio intermediário.

A extração das toras, quando realizada de forma mecanizada e no sistema toras curtas, uma das principais máquinas utilizadas é o *forwarder*. Atualmente existem diversos tipos de modelos e fabricantes dessas máquinas no mercado, o que torna necessário a avaliação das mesmas para que se possa optar pela que melhor se adequa as condições operacionais. De acordo com Nascimento et al. (2011) os

dados técnicos e econômicos de máquinas florestais disponíveis não são confiáveis para proporcionar uma escolha segura e eficiente das máquinas que irão compor o subsistema.

Análises técnicas e econômicas são algumas das ferramentas que auxiliam na escolha da máquina. Seixas; Batista (2014) avaliaram máquinas florestais com distintos dispositivos de tração e verificam que máquinas base de esteiras apresentam melhor desempenho técnico e econômico quando comparado com máquinas base de pneus. Já Silva et al. (2014) identificaram por meio de uma análise econômica que o *harvester* Komatsu, modelo PC 200 é economicamente mais viável quando comparado com o *harvester* Komatsu, modelo PC 228.

Além da escolha da máquina, análises técnicas e econômicas podem proporcionar a otimização da operação de extração de madeira. Conforme Carmo et al. (2015) a eliminação parcial dos tempos improdutivos pode aumentar a capacidade produtiva do *forwarder* em 19,27% e reduzir o custo de produção em 8%. Já de acordo com Silva et al. (2014) a otimização das atividades que compõem os custos

operacionais, especialmente aquelas que mais influem nesses custos, resultam em uma economia de aproximadamente 7% no custo final do m³ produzido, em ambas as máquinas. Mediante o exposto e a necessidade de escolha da máquina adequada para condições operacionais específicas, objetivou-se com o presente trabalho avaliar técnica e economicamente dois modelos de *forwarder* na extração de toras de eucalipto.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Área experimental

O trabalho foi realizado em área de colheita florestal, localizada na região Sul do estado da Bahia, latitude 16°24'27.34"S, e longitude 39°49'3"O. O clima da região é do tipo tropical úmido (Af), com precipitação pluviométrica média anual de 1.256 mm. O solo dessa área é classificado como Argissolo Amarelo Distrófico, com relevo plano e 187 m de altitude. O estudo foi executado nos mesmos horários e condições climáticas, com a presença de poucas nuvens no céu, predominando sol durante o período da pesquisa.

A área era povoada com clones híbridos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, plantado em espaçamento 4 x 3, sendo o corte raso realizado aos 7 anos, quando as árvores apresentavam 0,30 m³ de volume individual.

2.2. Sistema de colheita

O sistema de colheita adotado era o de "toras curtas" (*cut to length*), com toretes de 6,20 metros de comprimento. Sendo o corte e processamento das toras realizado pelo *harvester*, que em seguida empilhava as toras, deixando diversas pilhas de madeira processada na área. Em seguida a extração da madeira era realizada pelo trator florestal autocarregável *forwarder*.

2.3. Máquinas utilizadas

Utilizou o *forwarder* da marca Ponsse®, modelo *buffaloking* com motor Mercedes-Benz de 286 HP (210 kW) de potência e tração nas 8 rodas (8x8). O espaço da caixa de carga é de 5,8 m², suportando até 18.000 Kg de madeira. A grua hidráulica, modelo k100+S, possui alcance máximo de 7,8 m e pode levantar aproximadamente 1.500 kg durante o carregamento e descarregamento. No momento do estudo a máquina apresentava 16.440 horas de trabalho.

A segunda máquina empregada na extração foi o *forwarder* da marca Ponsse®, modelo *elephant* com motor Mercedes-Benz de 275 HP (205 kW) de potência e tração nas 8 rodas (8x8). A caixa de carga possui um espaço de 6,25 m² com capacidade para 18.000 kg de madeira. O *forwarder* era equipado com a grua hidráulica, modelo k100+S, com alcance máximo de 7,8 metros, podendo operar com até 1.500 kg. A máquina tinha 8.456 horas de trabalho no momento da pesquisa.

2.4. Estudo de tempos e movimentos

O estudo de tempos e movimentos foi executado conforme a metodologia proposta por Barnes (1968), através do método de cronometragem de tempo contínuo, ou seja, sem a detenção do cronometro. O ciclo operacional do transportador florestal foi subdividido nos seguintes elementos:

Deslocamento vazio: tempo gasto com o deslocamento do *forwarder*, em marcha ré, com a caixa de carga vazia da pilha de madeira a margem da estrada até o estacionamento da máquina ao lado do primeiro feixe a ser carregado;

carregamento: tempo compreendido para o carregamento da caixa de carga com os toretes, sendo interrompido quando a caixa de carga estava completa com a grua posicionada sobre as toras; deslocamento com carga: deslocamento da máquina, em marcha à frente, carregada do interior do talhão até a margem da estrada; e descarregamento: tempo despendido com a máquina realizando o descarregamento das toras, sendo finalizado quando a grua estava posicionada sobre a caixa de carga vazia.

Preliminarmente foi realizado um estudo piloto, de tempos e movimentos, com o objetivo de definir o número mínimo de ciclos operacionais das máquinas avaliadas, para um erro de amostragem admissível fixado em 5%, a 95% de probabilidade, conforme equação 1.

$$n = (t^2 s^2) / E^2 \quad (\text{Equação 1})$$

em que: n = número mínimo de ciclos operacionais necessários; t = valor de t, Student, no nível de probabilidade desejado e (n-1) graus de liberdade; s = variância; e E = erro admissível (%).

2.5. Produtividade

A produtividade, em metros cúbicos sem casca, de cada máquina foi calculada conforme a equação 2.

$$Pr = V / T \quad (\text{Equação 2})$$

em que: Pr = Produtividade (m³sc he⁻¹); V = Volume por carga (m³); T = tempo gasto por carga (horas).

O volume por carga foi obtido mediante a multiplicação do diâmetro, comprimento e número de toretes presentes nas pilhas localizadas no interior do talhão, sendo que posteriormente foi observado o número de pilhas carregadas por ciclo operacional da máquina.

2.6. Disponibilidade mecânica e eficiência operacional

A disponibilidade mecânica e a eficiência operacional foram calculadas por meio das Equação 3 e 4 respectivamente.

$$DM = (HT - HPM) / HT \quad (\text{Equação 3})$$

em que: DM = grau de disponibilidade mecânica (%); HPM = horas de paradas para manutenção (h); e HT = horas totais (h).

$$EO = HE / (HE + HPO) \quad (\text{Equação 4})$$

em que: EO = Eficiência operacional (%); HE = Horas de trabalho efetivo (h); e HPO = horas de paradas operacionais (h).

2.7. Análise econômica

A análise econômica baseou-se na determinação dos custos operacionais das máquinas e custos de produção.

O custo operacional foi determinado de acordo com a metodologia proposta pela *American Society of Agricultural Engineers* (ASAE, 2001), sendo expressos em dólar dos Estados Unidos por hora efetiva de trabalho. Foi considerado uma taxa de cambio de 1 US\$ = 3,15 R\$, cotado no dia 20 de abril de 2017. Os dados necessários para determinar o custo

operacional foram obtidos por meio da coleta de dados no campo e planilhas de custos fornecidas pela empresa. O custo operacional compreendeu ao 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).

O custo de extração (US\$ m⁻³) das máquinas foi calculado através do quociente entre o custo operacional (US\$ he⁻¹) e a produtividade (m³ he⁻¹) dos tratores transportadores.

2.8. Análise dos dados

Os resultados referentes aos ciclos operacionais e as produtividades das máquinas foram analisados considerando delineamento inteiramente casualizado, constituído por dois tratamentos (modelo *buffaloking* e *elephant*) com 45 repetições cada. Os dados foram processados por meio de uma análise de variância e, quando significativos, as médias, foram comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

3. RESULTADOS

Na Tabela 1 são mostrados os resultados do estudo de tempos e movimentos. O tempo total do ciclo operacional do modelo *elephant* foi estatisticamente superior ao tempo total do modelo *buffaloking*, assim como o tempo médio dos elementos carregamento, deslocamento carregado e descarregamento. O *forwarder* modelo *elephant* apresentou uma produtividade média de 44,16 m³ he⁻¹, sendo esse valor estatisticamente superior aos 39,40 m³ he⁻¹ apresentado pelo modelo *buffaloking* (Tabela 2).

Na Tabela 3 são apresentadas a disponibilidade mecânica e a eficiência operacional das máquinas avaliadas, assim como os valores utilizados para calcular os parâmetros.

3.2. Análise econômica

Constatou-se para *forwarder* modelo *buffaloking* um custo operacional de US\$ 85,10 he⁻¹, sendo os custos fixos e variáveis responsáveis por 24 e 76% do valor total, respectivamente. Os dispêndios mais representativos no custo operacional da máquina foram: manutenção e reparos (47%), combustível (13%) e depreciação (11%).

O modelo *elephant* apresentou custo operacional de US\$ 79,60 he⁻¹. Os custos fixos correspondem a 40% do valor total e os custos variáveis 60%. Dentre os custos que compõem o custo operacional da máquina os custos com manutenção e reparos (30%), depreciação (27%) e combustível (14%) foram os mais representativos.

Tabela 1. Comparação entre os tempos médios, em segundos por ciclo, dos elementos que compõem os ciclos operacionais das máquinas.

Table 1. Comparison between the average times, in seconds per cycle, of the elements that make up the machine's operating cycles.

Elemento	Máquina	
	<i>Buffaloking</i>	<i>Elephant</i>
Deslocamento vazio(s)	136,80 a	175,22 a
Carregamento(s)	332,95 b	449,17 a
Deslocamento com carga(s)	126,15 b	189,37 a
Descarregamento(s)	233,00 b	335,44 a
Total(is)	828,9 b	1149,2 a

Médias seguidas pela mesma letra na linha, não diferem estatisticamente (Tukey, p > 0,01).

Tabela 2. Comparação entre as médias de produtividade das máquinas.

Table 2. Comparison between machine productivity averages.

Máquina	Produtividade (m ³ he ⁻¹)	Coefficiente de variação (%)
<i>Buffaloking</i>	39,40 b	14,23
<i>Elephant</i>	44,16 a	12,93

Médias seguidas pela mesma letra na coluna, não diferem estatisticamente (Tukey, p > 0,01).

Tabela 3. Valores de disponibilidade mecânica e eficiência operacional das máquinas.

Table 3. Values of mechanical availability and operational efficiency of the machines.

Máquina	Disponibilidade mecânica (%)	Eficiência operacional (%)
<i>Buffaloking</i>	94,38	82,47
<i>Elephant</i>	92,08	87,84

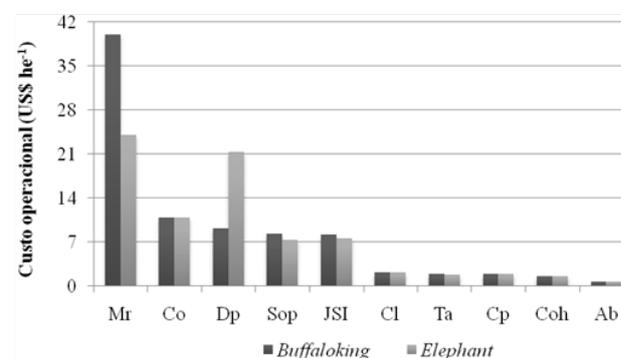


Figura 1. Distribuição dos itens que compõem o custo operacional das máquinas avaliadas. Onde; Co = combustível; Dp = depreciação; Mr = Manutenção e reparos; SOP salário do operador; JSI = juros, seguros e impostos; Cl = lubrificantes; Ch = óleo hidráulico; Ta = taxas administrativas; Cp = pneus e Ab= abrigo.

Figure 1. Distribution of the items that make up the operational cost of the evaluated machines. At where; Co = fuel; Dp = depreciation; Mr = Maintenance and repairs; SOP = operator's salary; JSI = interest, insurance and taxes; Cl = lubricants; Ch = hydraulic oil; Ta = administrative fees; Cp = tires and Ab = shelter.

O custo de produção médio do modelo *buffaloking* foi de 2,23 US\$ m⁻³, valor menor, 1,83 US\$ m⁻³, foi apresentado pelo modelo *elephant*. Na Figura 2 é apresentado o modelo de regressão quadrática que relaciona o custo de extração em função da produtividade. Para ambas as máquinas o acréscimo da produtividade resulta no decréscimo significativo do custo de produção. Considerando uma produtividade média de 35 m³ he⁻¹ para ambas as máquinas, obtém-se um custo de produção de 2,51; e US\$ 2,30 m⁻³ para o modelo *buffaloking* e *elephant* respectivamente.

4. DISCUSSÃO

4.1. Análise técnica

A maior quantidade de tempo gasto para completar o ciclo operacional do modelo *elephant* foi devido ao maior espaço da caixa de carga, pois resultava em uma maior quantidade de madeira colocada na mesma e consequentemente aumentava o tempo com carregamento, descarregamento e do deslocamento carregado. O aumento da quantidade de madeira transportada provocou a redução da velocidade de deslocamento do modelo *elephant*, pois apesar da máquina ter maior espaço na caixa de carga quando

comparada com o modelo *buffaloking*, os motores das máquinas têm potência semelhantes.

O maior espaço da caixa de carga também resultou na maior produtividade do modelo *elephant*. De acordo com Carmo et al. (2015) o aumento da caixa de carga, pode aumentar em até 54,7% a produtividade das máquinas, principalmente em povoamentos de baixo volume.

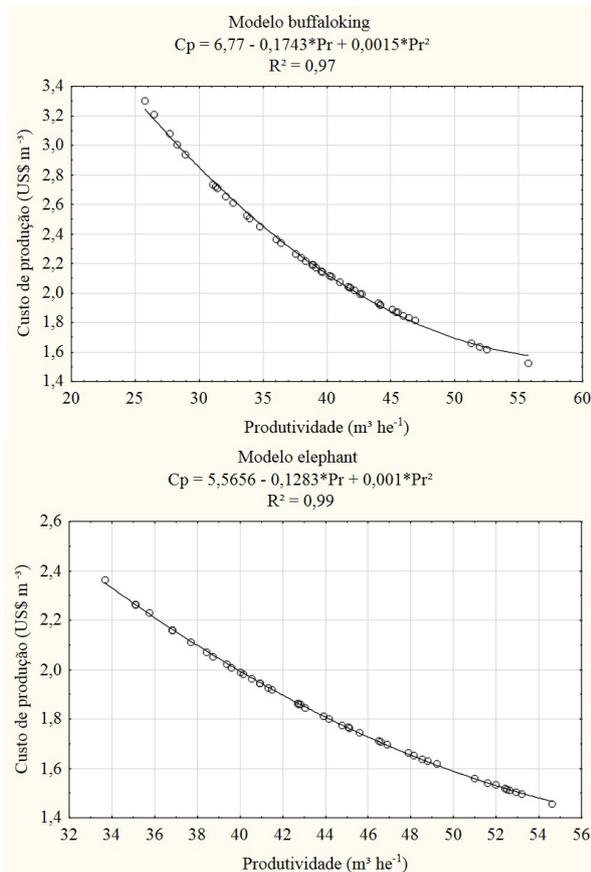


Figura 2. Equação ajustada do custo de produção (US\$ m⁻³) em função da produtividade (m³ he⁻¹). Sendo: Cp = custo de produção; Pr = produtividade; R² = coeficiente de determinação ajustado; e * = significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t.

Figure 2. Adjusted production cost equation (US \$ m⁻³) as a function of productivity (m³ he⁻¹). Being: Cp = cost of production; Pr = productivity; R² = adjusted determination coefficient; and * = significant at the 5% probability level by the t-test.

4.2. Análise econômica

O maior custo operacional do modelo *buffaloking* é devido ao maior custo com manutenção e reparos, sendo o valor 83% superior quando comparado ao custo com manutenção do modelo *elephant*. Tal característica é justificada em virtude da maior quantidade de horas trabalhadas da máquina no momento do estudo que em consequência aumentava a ocorrência de falhas devido ao desgaste das peças. Conforme Santos et al. (2016) o custo operacional do *forwarder* aumenta de forma expressiva com o aumento da quantidade horas trabalhadas da máquina.

O menor custo produção foi calculado para o modelo *elephant*, devido ao menor custo operacional e maior rendimento por hora efetiva de trabalho. Os custos de produção das máquinas analisadas decresceram de forma significativa com o aumento da produtividade.

Os valores médios dos teores de carbono fixo e materiais voláteis (Figura 1), foram semelhantes aos encontrados por

Gouvêa (2012) para resíduos de painéis MDP e MDF, os quais apresentaram valores de 16,5 e 82,8%, respectivamente.

5. CONCLUSÕES

O modelo *elephant* demonstra ser mais eficiente para extrair madeira de eucalipto, pois apresentou maior produtividade por hora efetiva de trabalho e menores valores de custo operacional e de produção.

6. REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTOS DE FLORESTAS PLANTADAS (ABRAF). **Anuário estatístico**: ano base 2012/ABRAF. Brasília, DF, 2013. 146 p.
- AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS (ASAE). **ASAE standards2001**: machinery, equipment and buildings: operating costs. Iowa: Ames, 2001. 226p. (ASAE D497.5).
- BARNES, R. M. **Motion and time study**: design and measurement of work. 6 ed. New York: John Wiley & Sons, 1968, 520p.
- CARMO, F. C. A.; FIEDLER, N. C.; MINETTE, L. J.; SOUZA, A. P. Otimização do uso do trator florestal forwarder em função da produtividade, custos e capacidade de carga. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.39, n.3, p.561-566, 2015. <http://dx.doi.org/10.1590/0100-67622015000300017>
- 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, jan./mar. 2011. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0104-77602011000100002>
- SANTOS, L. N.; FERNANDES, H. C.; SILVA, M. L.; TEIXEIRA, M. M.; SOUZA, A. P. Avaliação de custos da operação de extração de madeira com forwarder. **Cerne**, Lavras, v. 22, n. 1, p. 27-34, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/01047760201622012076>
- SEIXAS, F.; BATISTA, J. L. F. Comparação técnica e econômica entre harvesters de pneus e com máquina base de esteiras. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 24, n. 1, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.5902/1980509813335>
- SILVA, E. N.; MACHADO, C. C.; FIELDER, 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, 2014. <http://dx.doi.org/10.5902/1980509815733>