

PRODUTIVIDADE, RENDIMENTO ENERGÉTICO E CUSTO DA EXTRAÇÃO DE MADEIRA COM *GRAPPLE SKIDDER*

Thamires da Silva^{1,1}, Giovani Caprioli Garcia^{1,2}, Ricardo Hideaki Miyajima^{1,3}, Rafael Almeida Munis^{1,4}, Danilo Simões^{2,5}

¹Universidade Estadual Paulista - Unesp, Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu;

²Universidade Estadual Paulista - Unesp, Câmpus Experimental de Itapeva;

¹thamires.silva@unesp.br; ²giovani.caprioli@unesp.br; ³miyajimaricardo@gmail.com;

⁴rafaele.munis@unesp.br; ⁵danilo.simoese@unesp.br.

PRODUCTIVITY, ENERGY PERFORMANCE AND COST OF WOOD EXTRACTION WITH *GRAPPLE SKIDDER*

RESUMO: No sistema de colheita de árvores inteiras, a extração de madeira pode ser realizada por meio do *grapple skidder*. Entretanto, as condições topográficas e as distâncias de extração podem influenciar na produtividade da máquina. Destarte, o objetivo foi avaliar se as distâncias de extração de madeira com *grapple skidder* influenciaram a produtividade efetiva, o rendimento energético e os custos de produção. O estudo foi realizado no estado de São Paulo, em uma floresta plantada de *Eucalyptus sp.* com idade de seis anos e com a declividade do relevo ondulada. A análise técnica foi pautada no estudo de tempos, na produtividade efetiva do *grapple skidder* e no rendimento energético, considerando quatro classes de distância de extração de madeira. Ademais, a partir de critérios de custeio, determinou-se o custo de produção da máquina. Desse modo, observou-se que para a distância média de 100 metros, a produtividade efetiva foi de 74,72 m³ He⁻¹, o rendimento energético foi de 1,65 g kW.m⁻³ e os custos de produção de 1,09 USD m⁻³. Para as condições analisadas, a produtividade efetiva, o rendimento energético e os custos de produção para a extração de madeira com *grapple skidder* em relevo ondulado, são semelhantes estatisticamente em classes de distância de até 100 metros.

PALAVRAS-CHAVE: estudo de tempos; elementos de máquina; operações florestais; *Eucalyptus*.

INTRODUÇÃO

A extração de madeira refere-se à movimentação de feixes por meio de arraste ou baldeio (OLIVEIRA, 2006). Na operação de arraste dos feixes de madeira normalmente utiliza-se o *grapple skidder*, caracterizado como trator florestal arrastador, articulado, que possui tração 4x4, 6x6 ou 8x8, com rodados de pneumáticos ou esteiras (MACHADO, 2014).

Os custos da extração de madeira influem diretamente na composição dos custos totais na produção florestal. Sendo que, este custo pode representar mais de 50% no custo final da madeira (MACHADO, 1984). Ademais, ressalta-se que o custo de produção é inversamente proporcional a produtividade da máquina florestal autopropelida (BIRRO et al., 2002).

Como premissa para a estimativa dos custos de extração de madeira é imprescindível o conhecimento da produtividade efetiva por hora do *grapple skidder*, isto é, excluindo os

tempos de interrupções. Desse modo, aplica-se o estudo de tempos, o qual consente ainda, a identificação dos elementos de máquina que compõem o ciclo operacional.

O estudo de tempos permite a observação e a mensuração da produtividade por hora efetiva da máquina, a partir disso é possível padronizar o método de menor custo de produção (MIYAJIMA et al., 2020). Quanto ao custo da máquina por hora programada pode ser classificado em custos fixos e custos variáveis de acordo com a FAO (1992).

Diante deste contexto, o objetivo foi avaliar se as distâncias de extração de madeira com *grapple skidder* influenciam sobre a produtividade efetiva e os custos de produção.

MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização da área de estudo

Os dados foram provenientes de coeficientes técnico-econômicos de florestas plantadas com *Eucalyptus* sp. com idade de seis anos, localizadas no estado de São Paulo, nas coordenadas geográficas 23°06' de Latitude Sul e 48°36' de Longitude Oeste. Ademais, o volume médio individual por árvore era de 0,22 m³, em primeiro corte.

Análise técnica

A extração de madeira do interior do talhão para as margens das estradas florestais foi realizada por um *grapple skidder* da marca *John Deere*, modelo 848 H, potência nominal de 149 kw, com rodados de pneumáticos, massa aproximada de 17.800 kg e garra com área útil de 1,5 m² (Figura 1). A operação foi realizada em quatro classes de distâncias, definidas em metros, a saber: 0-50m (D1); 51-100m (D2); 101-150m (D3); 151-200m (D4). A declividade do relevo era ondulado (8-20%).



Figura 1: *grapple skidder* marca *John Deere* – modelo 848 H.

O estudo de tempos foi pautado no número de observações necessárias do ciclo operacional do *grapple skidder*, definido a partir de um estudo piloto (BARNES, 1968) com erro de amostragem máximo de 5% (Equação 1).

$$n \geq \frac{t^2 \times CV^2}{E^2} \quad (1)$$

em que:

n é o número mínimo de ciclos operacionais necessários;

t é o valor t de *Student*, para o nível de probabilidade desejado e $(n-1)$ graus de liberdade;

CV é o coeficiente de variação (%);

E é o erro admissível (%).

A produtividade do *grapple skidder* (NMP) foi estimada (Equação 2) por meio da razão entre o volume de madeira extraída (m^3) e as horas efetivas da operação (He) (MIYAJIMA, 2017).

$$NMP = \frac{v}{He} \quad (2)$$

em que:

NMP é a produtividade do *grapple skidder* ($m^3 He^{-1}$);

v é o volume de madeira extraída (m^3);

He é a hora efetiva de operação.

Delineamento experimental

O estudo foi avaliado seguindo um Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC). Os dados foram analisados por meio do teste de *Kolmogorov-Smirnov* e de *Bartlett* confirmando a rejeição dos pressupostos de normalidade e homogeneidade.

A partir do resultado destes testes, foi realizado o teste de *Kruskal-Wallis* para comparar medianas de dados não paramétricos, considerando um nível de significância de 5%. Consequente, constatadas diferenças, aplicou-se o teste de comparação múltipla de *Conover-Iman*, ajuste *bonferroni*.

Análise econômica

Os valores monetários foram expressos em Dólar americano (USD), em vista disso, adotou-se a taxa de câmbio expresso no Real brasileiro (BRL) que era BRL 5,4759 em 29/01/2021.

O custo por hora programada do *grapple skidder* (USD) foi estimado conforme postulado por Ackerman et al. (2014), considerando a quantidade de horas programadas para uso anual e, 5% sobre os custos fixos e custos variáveis como *overheads*.

O custo de produção por hora (MCP) foi calculado (Equação 3) a partir da razão entre o custo da hora programada e a NMP ($m^3 He^{-1}$) (MIYATA, 1980).

$$MCP = \frac{CO}{NMP} \quad (3)$$

em que:

MCP é o custo de produção por hora (USD m^3);

CO é o custo operacional (USD He^{-1});

NMP é a produtividade do *grapple skidder* ($m^3 He^{-1}$).

O consumo de energia que permite inferir sobre o rendimento energético (RE) foi obtido em consonância à metodologia da *United Nations Economic Commission for Europe* (UNECE, 2007). Isto posto, o RE (Equação 4) pode expressar a massa de combustível para que seja produzida uma unidade de potência na unidade de tempo (SIMÕES; FENNER; ESPERANCINI, 2010).

$$Re = \frac{CSE}{NMP} \quad (4)$$

em que:

Re é o rendimento energético ($\text{g kW}^{-1} \text{m}^{-3}$);

CSE é o consumo específico efetivo ($\text{g kW}^{-1} \text{He}^{-1}$);

NMP é a produtividade do *grapple skidder* ($\text{m}^3 \text{He}^{-1}$).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O custo da máquina por hora programada foi 81,42 (USD He^{-1}). Dentre os componentes de custos fixos e variáveis, destaca-se o custo com combustível que representou 33,1% e o custo com a mão de obra do operador com 24,6% do custo total.

Observou-se que a NMP na D1 e D2 não diferiram estatisticamente entre si (p-valor $<0,05$), conseguinte, a NMP para D3 e D4 (Tabela 1). Portanto, para as condições analisadas não houve diferenças estatísticas para distâncias de extração de madeira entre 0 e 100 metros e para distâncias entre 101 e 200 metros.

Quanto ao rendimento energético da operação de extração de madeira, constatou-se uma relação inversa com a produtividade efetiva do *grapple skidder*, portanto, quanto maior a produtividade, menor será a eficiência energética. Ademais, não foi possível identificar diferenças estatísticas entre o MCP para a D1 e D2 e, entre D3 e D4 (p-valor $<0,05$).

Logo, a partir da análise do rendimento energético médio foi constatado um valor de 20,58% superior ao encontrado no trabalho desenvolvido por Pereira, Lopes e Dias (2015).

Tabela 1. Produtividade do *grapple skidder* (NMP), rendimento energético (RE) e custo de produção (MCP).

Dist. (m)	NMP ($\text{m}^3 \text{h}^{-1}$)	RE ($\text{g kW} \cdot \text{m}^{-3}$)	MCP (USD m^{-3})
D1	93,51 a	1,32a	0,87 a
D2	74,72 a	1,65a	1,09 a
D3	53,11 b	2,32b	1,53 b
D4	43,30 b	2,85b	1,88 b

*Medianas seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, na coluna, pelo teste de *Conover-Iman* a 5% de probabilidade.

CONCLUSÕES

Para as condições analisadas, a produtividade efetiva, o rendimento energético e os custos de produção para a extração de madeira com *grapple skidder* em relevo ondulado, são semelhantes estatisticamente em classes de distância de até 100 metros.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq pela concessão da bolsa de estudo do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica – PIBIC.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACKERMAN, P.; BELBO, H.; ELIASSON, L.; JONG, A.; LAZDINS, A.; LYONS, J. **The cost model for calculation of forest operations costs**. International Journal of Forest Engineering, v. 25, n. 1, p. 75-81, 2014.
- BARNES, R. M. **Motion and time study: design and measurement of work**. New York: John Wiley & Sons; 1968. v. 1, 799 p.
- BIRRO, M. H. B.; MACHADO, C. C.; SOUZA, A. P.; MINETTI, L. J. **Avaliação técnica e econômica da extração de madeira de eucalipto com "track-skidder" em região montanhosa**. Revista Árvore, v. 26, n. 5, p.525-532, 2002.
- FAO. **The state of food and agriculture**. Roma: Food and Agriculture Organization Of The United Nations; 1992. v.25, 280 p.
- MACHADO, C. C. **Colheita florestal**. Viçosa –MG: UFV, Imprensa Univesitária; 2014. v. 3, 543 p.
- MACHADO, C. C. **Planejamento e controle de custos na exploração florestal**. Viçosa – MG: UFV, Imprensa Universitária; 1984. v. 1,138 p.
- MIYAJIMA, R. H.; PASSOS, J. R. S.; FENNER, P. T.; SIMÕES, D. **Extração de eucalipto com grapple skidder: abordagem de produtividade operacional e custos de produção**. Scientia Forestalis, v. 48, n. 128, p. 1-13, 2020.
- MIYAJIMA, R. H.; TONIN, R. P.; FENNER, P. T.; SIMÕES, D. **Análise quantitativa do risco técnico-econômico de um trator florestal skidder**. Biofix Scientific Journal, v. 2, n. 1. p. 6-11, 2017.
- MIYATA, E. S. **Determining fixed and operating costs of logging equipment**. Minnesota: U.S. Dept. of Agriculture, Forest Service; 1980. v. 1, 20 p.
- OLIVEIRA, R. J.; MACHADO, C. C.; SOUZA, A. P.; LEITE, H. G. **Avaliação técnica e econômica da extração de madeira de eucalipto com "clambunk skidder"**. Revista Árvore, v. 30, n. 2, p. 267-275, 2006.
- PEREIRA, A. L. N.; LOPES, E.S.; DIAS, A. N. **Análise técnica e de custo do feller buncher e skidder na colheita de madeira em diferentes produtividades do povoamento**. Ciência Florestal, v.25, n.4, p. 981-989, 2015.
- SIMÕES, D.; FENNER, P. T.; ESPERANCINI, M. S. T. **Avaliação técnica e econômica da colheita de florestas de eucalipto com harvester**. Scientia Forestalis, v. 38, n. 88, p. 611-618, 2010.
- UNECE - United Nations Economic Commission for Europe. **Economic Commission for Europe**. New York: United Nations Economic Commission for Europe; 2007. v. 17, 46 p.