

Avaliação técnica de cabeçotes individual e múltiplo no processamento de madeira

Carlos Cezar Cavassin Diniz¹ Renato Cesar Gonçalves Robert² Marcelo Braseiro Vargas²

¹ Programa de pós-graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná, Rodovia Régis Bittencourt, 9082-9174 - Jardim Botânico, Curitiba - PR, CEP: 80050-540

² Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná, Rodovia Régis Bittencourt, 9082-9174 - Jardim Botânico, Curitiba - PR, CEP: 80050-540

*Author for correspondence: francielealba47@gmail.com

Received: 24 August 2017 / Accepted: 04 March 2018 / Published: 31 March 2018

Resumo

Uma das variáveis que influenciam na produtividade do *harvester* é a escolha adequada do implemento para as operações de processamento de madeira. O objetivo deste trabalho foi analisar a produtividade de dois diferentes modelos de cabeçote processador, um processando uma árvore por ciclo e o outro modelo processando duas árvores simultaneamente. O estudo foi conduzido em um povoamento de *Eucalyptus dunnii* com 11 anos de idade em uma empresa florestal localizada no estado de Santa Catarina, Brasil. As análises foram realizadas pelo método contínuo de tempos e movimentos, calculando-se a produtividade e o tempo efetivo médio do ciclo operacional. Com o cabeçote para processamento múltiplo foi possível obter um ganho de 18% na produtividade do equipamento, sendo que a atividade parcial "processamento" consumiu maior tempo do ciclo operacional, seguido do "ajuste da pilha" e da "busca". Na comparação do tempo total do ciclo, o cabeçote para processamento individual apresentou uma redução de 19%, contudo, o mesmo era capaz de processar apenas uma árvore por ciclo, enquanto o cabeçote para processamento múltiplo foi capaz de processar mais árvores a cada ciclo operacional. Desta forma, foi possível inferir que o uso do cabeçote múltiplo, apesar de consumir um tempo maior a cada ciclo operacional, é capaz de elevar a produtividade do *harvester* na operação de processamento de madeira.

Palavras-chave: Árvores inteiras; produtividade; colheita de madeira

Abstract

Among the variables influencing harvester productivity is the adequate choice of implement for the wood processing operations. In this sense, this work aimed to analyze the productivity of two different processor head models. The study was conducted in a forest company located in the Santa Catarina State, Brazil. The research was carried in an *Eucalyptus dunnii* under clear cut regime at 11 years of age and the data were obtained by a time and motion study using the continuous time technique with two different implement models. From these data, the productivity and the average effective time of the operational cycle were calculated. Using multiple harvester head, it was possible to obtain a gain of 18% in the productivity of the equipment, also showing statistical difference by the T test ($p_{value}<0.01$). The "processing" partial activity consumed longer operating cycle time, followed by "stack adjustment" and "search". In the comparison of the total cycle time, individual harvester head showed a 19% reduction, being deferred to the T test ($p_{value}<0.01$), however, it was able to process only one tree per cycle, while multiple harvester head was able to process two tree seach operational cycle. In this way, it was possible to infer that the use of the multiple heads, despite consuming a longer time in each operational cycle, is able to increase the productivity of the harvester in the wood processing operation

Keywords: Full tree; productivity; wood harvesting.

Introdução

A mecanização das operações de colheita de madeira no setor florestal contribui significativamente para maximizar retornos em geral (Leite et al. 2014a), trazendo ainda muitos benefícios como redução da dependência de mão-de-obra, melhorias nas condições de segurança e ergonomia no trabalho e maior garantia de abastecimento das indústrias com fornecimento regular e padronizado de madeira (Bramucci e Seixas, 2002; Spinelli et al. 2009; Nascimento et al. 2011; Leite et al. 2014b).

Os implementos comumente utilizados no Brasil para as atividades de corte, desgalhamento e traçamento segundo Malinovski e Malinovski (1998) são o cabeçote de harvester, cabeçotes de feller-buncher (sabre, disco e faca), slingshot, delimiters, grades, slashers e garras traçadoras ou processadores. Oliveira Júnior e Seixas (2006), Minette et al. (2008) e Fiedler et al. (2008) avaliaram a sistemas de colheita de árvores inteiras, utilizando garra traçadora para a etapa de processamento da madeira, que até então era um opção para o processamento de mais de uma árvore por ciclo operacional.

A realização de estudos sobre as variáveis que influenciam a produtividade dos equipamentos de colheita de madeira é fundamental, pois possibilita o fornecimento de informações que propiciam a minimização dos custos e a otimização operacional (Simões e Fenner, 2010). A identificação dessas variáveis pode ser realizada por estudos de tempos e movimentos que possibilitam aferir a produtividade das operações.

Malinovski e Malinovski (1998) relatam que a produtividade de determinada operação é influenciada por variáveis externas e dos próprios equipamentos (máquina-base e implemento). Simões e Fenner (2010), Lopes e Pagnussat (2017) complementam o relato citando ainda o nível de tecnologia, treinamento de operadores, condições do povoamento, disponibilidade mecânica e eficiência operacional. Akay et al. (2004) comentam que o rendimento operacional do harvester está relacionado ao volume da árvore, desta forma, diminuindo o volume também diminui o rendimento operacional. Martins et al. (2009), avaliando técnica e economicamente a operação do *harvester*, concluíram que o volume médio por árvore foi a variável que melhor explicou a capacidade operacional efetiva do equipamento. Bramucci e Seixas (2002) afirmaram que o aumento na densidade da floresta resulta na redução do volume individual das árvores, resultando na queda de produtividade do *harvester*. Essa afirmativa encontra respaldo no estudo realizado por Eliasson (1999), que alega que o volume médio individual é um dos principais fatores que influenciam a produtividade dos equipamentos de colheita de madeira.

De acordo com Malinovski et al. (2006), a produtividade dos equipamentos que compõem a atividade de colheita de

madeira é uma das principais variáveis que afetam a viabilidade de dos projetos florestais sendo normalmente influenciada pelas variáveis do terreno, do povoamento e do planejamento feito pelos técnicos e exigidos pelas fontes consumidoras.

Neste sentido, verificando a importância da produtividade dos equipamentos para o retorno dos investimentos, a presente pesquisa teve por objetivo avaliar dois diferentes tipos de cabeçotes *harvesters* no processamento de madeira de modo a identificar o melhor implemento a ser adotado para redução de custos e melhoria do aproveitamento dos recursos disponíveis.

Material e métodos

Caracterização da área de estudo

A pesquisa foi realizada em plantios florestais de *Eucalyptus dunnii* de 11 anos de idade com espaçamento 3 x 2 m, altura média de 33 m, DAP médio de 38 cm e volume médio por árvore de 0,5577 para o cabeçote de processamento individual (CPI) e 0,4258 m³ para o cabeçote de processamento múltiplo. O regime de manejo da floresta utilizado pela empresa foi o de corte raso. A empresa objeto deste estudo fica localizada no estado de Santa Catarina, Brasil. O clima da região é classificado como Cfb, com temperatura média de 17°C e pluviosidade média anual de 1460mm (KÖPPEN, 1948).

Descrição dos cabeçotes

O sistema de colheita da madeira foi o de árvores inteiras (*full tree*), sendo a operação de corte e extração realizadas de forma mecanizada com o uso do *feller buncher* e *skidder*, respectivamente e o processamento da madeira realizado por um harvester equipado com dois tipos de cabeçote. Os sortimentos utilizados pela empresa foram madeira para energia com 3,6 m e para serraria com 2,8 m.

A coleta de dados durou um total de trinta dias sendo o clima durante o experimento predominantemente seco com chuvas isoladas. O processamento da madeira foi realizado por uma máquina base com potência nominal de 117 kW, equipada com motor CAT C6 ACERT (diesel) com peso operacional de 26,4 toneladas e horímetro de 13.596 horas. Neste estudo, esta máquina foi equipada com dois tipos de cabeçote processador (Figura 1).



Figura 1 - Cabeçote para processamento individual (CPI) à esquerda e cabeçote para processamento múltiplo (COM) à direita

O cabeçote para processamento individual (CPI) foi desenvolvido para processamento de uma árvore por vez, equipado com dois rolos de alimentação com velocidade variando de 3,9 a 5,2 metros por segundo, peso de 1.619 kg e capacidade máxima de corte de 650 mm.

O cabeçote para processamento múltiplo (CPM), desenvolvido para o processamento múltiplo de árvores, vem equipado com quatro rolos de alimentação com velocidade de até 6,5 metros por segundo. Possui abertura máxima de corte de 680 mm, com um peso operacional de 2.736 kg.

Fatores de influência

Os principais fatores que podem afetar o rendimento do *harvester* no processamento de madeira são espécie, volume médio individual, sortimento, finalidade do produto, operador, tempo de experiência, máquina-base, implemento e nível de tecnologia do equipamento utilizado. Visto isso, a maioria destes fatores foram mantidos constantes, variando-se somente o implemento utilizado para o estudo.

Coleta de dados

Foi utilizado um estudo de tempos e movimentos, permitindo analisar a produtividade e o tempo médio efetivo do ciclo operacional do *harvester* operando no processamento de madeira com diferentes cabeçotes. Empregou-se o método de cronometragem de tempos contínuos, de acordo com a metodologia proposta por Barnes (1977), caracterizado pela medição dos tempos parciais de cada elemento sem a detenção do cronômetro, ou seja, de forma contínua e com uso de um cronômetro centesimal e formulários específicos de campo.

O ciclo operacional foi subdividido nas seguintes atividades parciais sendo considerado um ciclo operacional o processamento de uma árvore para o cabeçote CPI e uma média de duas árvores para o CPM. Busca (BC), compreende a movimentação do cabeçote até o feixe de madeira; processamento (PR), sendo o acionamento dos rolos alimentadores e do conjunto de corte para confecção das toras; ajuste da pilha (AJ), sendo a deposição das toras sobre os feixes de madeira; e deslocamento (DE), caracterizado pelo deslocamento do equipamento entre os processamentos ao longo da jornada de trabalho.

As informações de produção (m³), número de árvores processadas e volume médio individual (VMI) em metros cúbicos foram coletados por meio dos sistemas operacionais dos cabeçotes e fornecidos pela empresa.

Análise técnica

Inicialmente realizou-se um estudo piloto, para definição do número mínimo de observações, proporcionando um erro de amostragem máximo de 5%, de acordo com a equação 1, proposta por Conaw (1977), Fiedler et al. (2008), Simões et al. (2014) e Pereira et al. (2015).

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

em que: N = número mínimo de ciclos operacionais; t = valor de t, para o nível de 95% de probabilidade; CV = coeficiente de variação (%); e E = erro admissível (5%).

Disponibilidade mecânica, disponibilidade técnica e grau de utilização

A disponibilidade mecânica, representada pela equação 2, representa o percentual de tempo em que o equipamento está apto ao trabalho descontado os tempos de manutenção (Rocha et al. 2009; Simões e Fenner, 2010; Silva et al. 2010; Guedes et al. 2017).

$$DM = \frac{TT - TM}{TT} \times 100 \quad (2)$$

em que: DM = grau de disponibilidade mecânica (%); TT = tempo total de trabalho programado (horas); TM = tempo de manutenção (horas).

A disponibilidade técnica foi calculada a partir do tempo disponível que o equipamento tinha para operar já descontadas as pausas mecânicas, subtraindo as pausas de caráter técnico, sobre o tempo disponível representada pela equação 3.

$$DT = \frac{TP - PT}{TT} \times 100 \quad (3)$$

em que: DT = grau de disponibilidade técnica (%); TP = tempo de trabalho programado já descontadas as pausas mecânicas (horas); PT = tempo de pausas de caráter técnico (horas).

O grau de utilização representa o percentual de tempo que o equipamento operou efetivamente, sendo calculado para o Cabeçote A e B a partir da equação 4.

$$GU = DM \times DT \quad (4)$$

em que: GU = grau de utilização (%); DM = disponibilidade mecânica (%); DT = disponibilidade técnica (%).

Produtividade e tempo efetivo médio

A produtividade dos cabeçotes foi calculada em metros cúbicos de madeira processada por hora de trabalho efetivo a partir da equação 5 (Fernandes et al. 2013; Lopes et al. 2016a; Lopes et al. 2016b; Lopes e Diniz, 2015).

$$PR = \frac{N \times VMI}{HE} \quad (5)$$

em que: PR = produtividade ($m^3.he^{-1}$); N = número de árvores derrubadas; VMI = volume médio individual (m^3); e HE = tempo efetivo de trabalho (horas).

Para obtenção dos valores do tempo médio efetivo do ciclo operacional foi utilizada a equação 6, proposta por Miyajima et al. (2016), obtido através da divisão do somatório dos tempos efetivos dos ciclos operacionais pelo número de ciclos para cada cabeçote.

$$TEM = \frac{\sum TEM}{n} \quad (6)$$

em que: TEM = tempo efetivo médio (minutos); $\sum TEM$ = somatório do tempo efetivo de trabalho (minutos); n = número de ciclos operacionais.

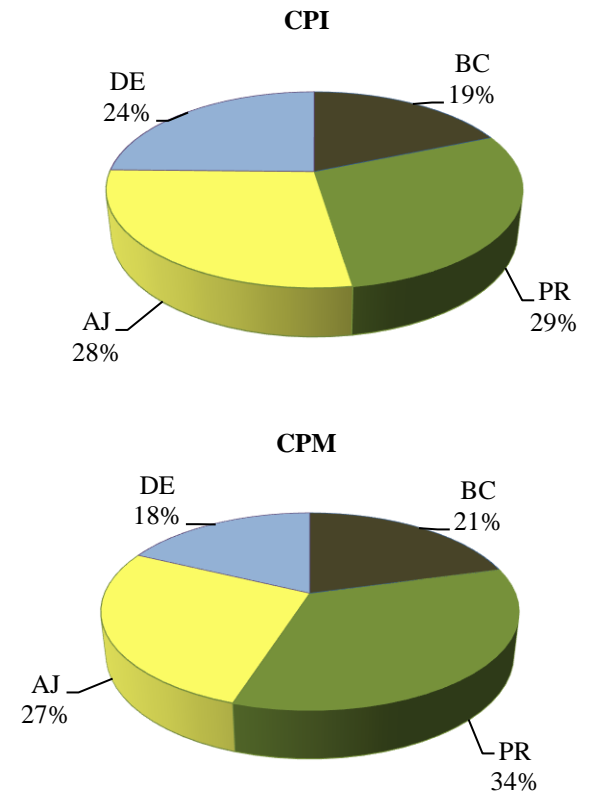
Análise estatística e delineamento experimental

Inicialmente aplicou-se o teste F (amostras independentes) para testar a homogeneidade das variâncias dos resultados para a operação de processamento de madeira com os cabeçotes avaliados. Em seguida, aplicou-se para os resultados das variáveis homogêneas o teste T, caso 1 (duas amostras presumindo variâncias equivalentes), para testar a diferença dos tempos médios dos ciclos operacionais em ambos os processos. Os dados que obtiveram variáveis

heterogêneas foram comparados pelo teste T de Student, caso 2 (duas amostras presumindo variâncias diferentes), ao nível de 5% de probabilidade.

Resultados e Discussão

No estudo foi obtido um total de 11088 ciclos operacionais de processamento de madeira, atendendo à exigência mínima do estudo piloto de 1789 ciclos. Na Figura 2 é apresentada distribuição percentual dos tempos das atividades parciais dos cabeçotes individual (CPI) e múltiplo (CPM) na operação de processamento de madeira.



Em que: BC = Busca; PR = Processamento; AJ = Ajuste da pilha; e DE = Deslocamento.

Figura 2 - Distribuição das atividades parciais do processamento de madeira com os cabeçotes estudados.

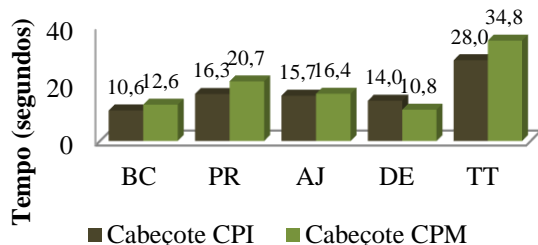
Como pode ser observado, a atividade parcial “processamento” demandou o maior tempo percentual do ciclo operacional em ambos os cabeçotes, com 29% e 34% do tempo total no CPI e CPM, respectivamente. Tal resultado é similar ao obtido por Simões et al. (2010), Silva et al. (2010) e Robert et al. (2013) estudando a operação de corte florestal com *harvester*. O maior percentual da atividade parcial “processamento” no CPM é explicado pelo fato do cabeçote processar simultaneamente mais de uma árvore por ciclo operacional, sendo que desta forma o operador necessita realizar a operação com maior cautela visando a qualidade do processo.

É importante ainda ressaltar o elevado tempo consumido pelas atividades de “ajuste da pilha”, com valores médios de 28% e 27% do tempo total nos processamentos com o CPI e CPM, respectivamente, para que a operação de carregamento de madeira não fosse afetada.

Ao comparar os cabeçotes, verificou-se que o menor tempo consumido pelo equipamento na execução das atividades parciais “busca” e “processamento” no CPI foi ocasionado pela execução do processamento de apenas uma árvore por ciclo, facilitando o manuseio do cabeçote para pegar as árvores a serem processadas. Outro fator que colaborou para este resultado é o fato de que o CPM possui

quatro rolos alimentadores, o que necessita por parte do operador maior cuidado no momento do processamento, pois uma árvore pode “correr” mais que outra, assim, torna-se necessário ajustar as árvores para que seja feito o processamento no comprimento correto.

A Figura 3 ilustra os tempos médios de cada atividade parcial do ciclo operacional dos cabeçotes estudados. É possível notar que o CPM apresentou um tempo total do ciclo operacional maior que o CPI, mostrando ainda diferença significativa pelo teste T ($p_{\text{valor}} < 0,01$).



Em que: BC = Busca; PR = Processamento; AJ = Ajuste da pilha; DE = Deslocamento; e TT = Tempo total.

Figura 3 - Distribuição dos tempos médios das atividades parciais do processamento de madeira com os cabeçotes estudados.

Na Tabela 1 são apresentados os resultados obtidos dos indicadores de produtividade, disponibilidade mecânica, disponibilidade técnica e grau de utilização do equipamento utilizando os cabeçotes estudados. Como pode ser visto, a produtividade ($\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$) atingida utilizando o CPM proporcionou um ganho de quase 20% para o processamento de madeira, mesmo operando com um volume médio individual inferior ao CPI.

Em relação ao número de árvores processadas por hora, o COM obteve um aumento médio de 77 árvores a mais do que quando utilizando o CPI. Tal resultado deveu-se principalmente as características presentes no CPM, que possui quatro rolos de alimentação e uma velocidade superior ao CPI, sendo possível além de processar mais de uma árvore por ciclo operacional, realizar o processamento mais rápido quando processa apenas uma árvore por ciclo.

Tabela 1 - Produtividade alcançada pelos cabeçotes durante o estudo

Cabeçote	Produtividade ($\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$)	Produtividade ($\text{árv} \cdot \text{h}^{-1}$)	Disponibilidade mecânica (%)	Disponibilidade técnica (%)	Grau de utilização (%)
CPI	71,95	129	76,2	89,6	68,3
CPM	87,71	206	79,7	88,3	70,4
▲	17,9%	37,4%	4,4%	1,5%	2,9%

A disponibilidade mecânica média foi de 71,95% e 87,71% para o CPI e CPM respectivamente, ficando próximo aos resultados obtidos por Silva et al. (2010). As principais pausas mecânicas que afetaram a operação de processamento de madeira foram as manutenções corretivas, principalmente para troca de mangueiras hidráulicas e para as manutenções preventivas realizadas pela empresa. A disponibilidade técnica da operação com os cabeçotes não apresentou grande variação, sendo que as principais paradas estavam relacionadas com o deslocamento da máquina, paradas para reuniões e abastecimento.

É importante ainda ressaltar que, considerando grau de utilização para ambos os cabeçotes estudados, o uso do implemento individual ou múltiplo não influenciou de forma

significativa, contudo nota-se o ganho na produtividade do equipamento.

Na Figura 4 é apresentada a modelagem dos dados de produtividade dos cabeçotes estudados a partir do volume médio por árvore (VMI). Como pode ser visto, os modelos encontrados apresentaram um R^2 elevado, mostrando-se confiáveis para o uso no planejamento das operações de processamento de madeira.

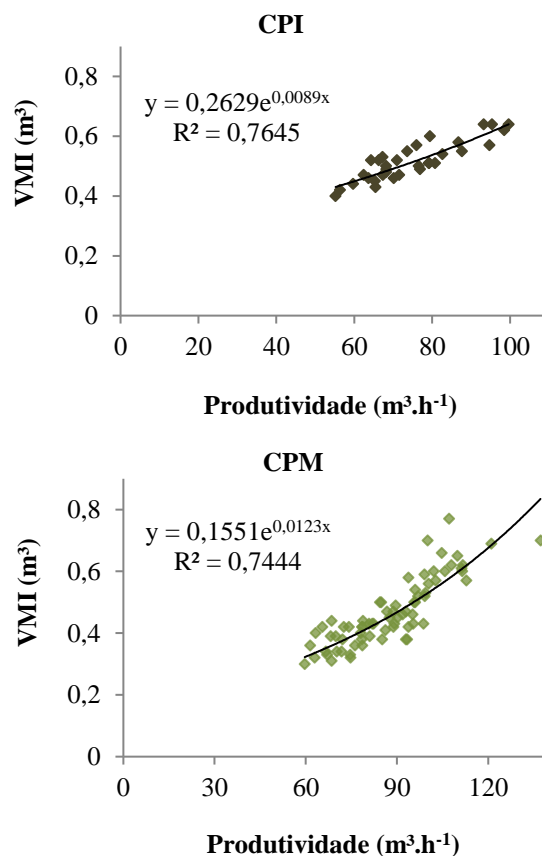


Figura 4 - Equações da produtividade dos cabeçotes estudados na operação de processamento de madeira

É possível notar ainda que em ambas as operações a produtividade do equipamento ($\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$) aumenta com o aumento do VMI, resultado este semelhante ao obtido por Stampfer e Steinmüller (2001) e Donagh et al. (2013).

Malinovski et al. (2006) citam que a predição adequada da produtividade é de extrema importância para que sejam realizados orçamentos para as atividades de colheita de madeira nas empresas, bem como estudos para a viabilização de novos sistemas a serem implantados e dimensionamento dos equipamentos que serão alocadas para cada projeto.

Conclusões

O cabeçote para processamento múltiplo apresentou melhor desempenho operacional em relação ao cabeçote para processamento individual, sendo recomendado para as operações de processamento de madeira.

O aumento significativo do tempo total do ciclo operacional do cabeçote para processamento múltiplo não mostrou ser um problema, uma vez que o mesmo é capaz de processar mais de uma árvore por ciclo operacional, gerando um ganho na atividade.

Os modelos gerados para estimativa da produtividade se mostraram confiáveis e podem ser utilizados no planejamento das operações de processamento de madeira.

Referências

- Akay AE, Erda O, Sessions J. (2004) Determining productivity of mechanized harvesting machines. *Journal of Applied Sciences*, 4(1): 100-105.
- Barnes RM. (1977) *Motion and time study: design and measurement of work*. 6th Edition. New York: John Wiley & Sons, 799p.
- Bramucci M, Seixas F. (2002) Determinação e quantificação de fatores de influência sobre a produtividade de “harvesters” na colheita florestal. *Scientia Florestalis*, 62: 62-74.
- Conaw PL. (1977) *Estatística*. São Paulo: Edgard Blucher, 264 p.
- Donagh PM, Hildt E, Friedl RA, Zaderenko C, Aleganza DA. (2013) Influencia de la intensidad de raleos en la performance de un harvester de ruedas en el noreste argentino. *Floresta*, 43(4): 653-662.
- Eliasson, L. (1999) Simulation of thinning with a single-grip harvester. *Forest Science*, 45(1): 26-34.
- Fernandes HC, Burla ER, Leite ES, Minette LJ. (2013) Avaliação técnica e econômica de um “Harvester” em diferentes condições de terreno e produtividade da Floresta. *Scientia Forestalis*, 41(97): 141-151.
- Fiedler NC, Rocha EB, Lopes ES. (2008) Análise da produtividade de um sistema de colheita de árvores inteiras no Norte do Estado de Goiás. *Floresta*, 38(4): 577-586.
- Guedes LG, Amaral EJ, Leite ES, Fernandes HC, Sant’anna CM. (2017) Avaliação do desempenho e custos de dois sistemas de cabos aéreos na extração de madeira de eucalipto. *Ciência Florestal*, 27(2): 571-580.
- Köppen W. (1948) *Climatologia: con un estudio de los climas de La tierra*. México: Fondo de Cultura Económica.
- Leite ES, Minette LJ, Fernandes HC, Souza AP, Amaral EJ, Lacerda EG. (2014a) Desempenho do harvester na colheita de eucalipto em diferentes espaçamentos e declividades. *Árvore*, 38(1): 000-000.
- Leite ES, Fernandes HC, Minette LJ, Souza AP, Leite HG, Guedes IL. (2014b) Modelagem do desempenho da extração de madeirapelo “forwarder”. *Revista Árvore*, 38(5): 879-887.
- Lopes ES, Diniz CCC. (2015) Produtividade do trator florestal chocker skidder na extração de madeira em terrenos declivosos. *Floresta*, 45(3): 625-634.
- Lopes ES, Diniz CCC, Serpe EL, Cabral OMJV. (2016 a) Efeito do sortimento da Madeira na produtividade e custo do forwarder no desbaste comercial de Pinus taeda. *Scientia Forestalis*, 44(109): 57-66.
- Lopes ES, Tonhato L, Rodrigues CK, Serpe EL. (2016 b) Declividade do terreno e distância de extração na produtividade do forwarder com guincho de tração auxiliar. *Nativa*, 4(6): 347-352.
- Lopes ES, Pagnussat MB. (2017) Effect of the behavioral profile on operator performance in timber harvesting. *International Journal of Forest Engineering*, 0: 1-6.
- Malinovski RA, Malinovski JR. (1998) *Evolução dos sistemas de colheita de madeira para pinus na região Sul do Brasil*. FUPEF, 108p.
- Malinovski RA, Malinovski RA, Malinovski JR, Yamaji FM. (2006) Análise das variáveis de influência na produtividade das máquinas de colheita de madeira em função das características físicas do terreno, do povoamento e do planejamento operacional florestal. *Floresta*, 36(2): 169-182.
- Martins RJ, Seixas F, Stape JL. (2009) Avaliação técnica e econômica de um harvester trabalhando em diferentes condições de espaçamento e arranjo de plantio em povoamento de eucalipto. *Scientia Florestalis*, 37(83): 253-263.
- Minette LJ, da Silva EN, de Freitas KE, de Souza AP, Silva EP. (2008) Análise técnica e econômica da colheita florestal mecanizada em Niquelândia, Goiás. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. 12(6): 659-665.
- Miyajima RH, Tonin RP, Passos JRS, Fenner PT. (2016) A Influência da declividade do terreno e do tempo de experiência dos operadores no rendimento do feller buncher. *Scientia Forestalis*, 44(10): 443-451.
- Nascimento AC, Leite AMP, Soares TS, Freitas LC. (2011) Avaliação técnica e econômica da colheita florestal com feller-buncher. *Cerne*, 17(1): 9-15.
- Oliveira Junior ED, Seixas F. (2006) Análise energética de dois sistemas mecanizados na colheita do eucalipto. *Scientia Forestalis*, 70: 49-57.
- Pereira ALN, Lopes ES, Dias AN. (2015) Análise técnica e de custo do feller buncher e skidder na colheita de madeira em diferentes produtividades do povoamento. *Ciência Florestal*, 25(4): 981-989.
- Silva EM, Machado CC, Minette LJ, Souza AP, Fernandes HC, Silva ML, Jacovine LA. (2010) Avaliação técnica e econômica do corte mecanizado de Pinus sp. com harvester. *Revista Árvore*, 34(4): 745-753.
- Simões D, Fenner PT. (2010) Avaliação técnica e econômica do forwarder na extração de madeira em povoamento de eucalipto de primeiro corte. *Floresta*, 40(4): 711-720.
- Simões D, Fenner PT, Esperancini MST. (2010) Avaliação técnica e econômica da colheita de florestas de eucalipto com harvester. *Scientia Forestalis*, 38(88): 611-618.
- Simões D, Fenner PT, Esperancini MST. (2014) Produtividade e custos do feller buncher e processador florestal em povoamento de eucalipto de primeiro corte. *Ciência Florestal*, 24(3): 621-630.
- Spinelli R, Wardb SM, Owendec PM. (2009) A harvest and transport cost model for Eucalyptus spp. fast-growing short rotation plantations. *Biomass and Bioenergy*, 33(9): 1265-1270.
- Stampfer K, Steinmüller T. (2001) *A New Approach To Derive A Productivity Model for the Harvester “Valmet 911 Snake”*. The International Mountain Logging and 11th Pacific Northwest Skyline Symposium; 254-262. Acesso em: 26 jun 2017. Disponível em: <<http://depts.washington.edu/sky2001/proceedings/papers/Stampfer.pdf>>
- Robert RCG, Silva FAPC, Rocha MP, Amaral EJ, Guedes IL. (2013) Avaliação do desempenho operacional do harvester 911.3 X3M em áreas declivosas. *Floram*, 20(2): 183-190.

Rocha EB, Fiedler NC, Alves RT, Lopes ES, Guimarães PP, Peroni L. (2009) Produtividade e custos de um sistema de colheita de árvores inteiras. *Cerne*, 15(3): 372-381.