

## ANÁLISE TÉCNICA E DE CUSTO DO *FELLER BUNCHER* E *SKIDDER* NA COLHEITA DE MADEIRA EM DIFERENTES PRODUTIVIDADES DO POVOAMENTO

### TECHNICAL AND COST ANALYSIS OF *FELLER BUNCHER* AND *SKIDDER* ON WOOD HARVESTING IN DIFFERENT STAND PRODUCTIVITY

André Leonardo Nasser Pereira<sup>1</sup> Eduardo da Silva Lopes<sup>2</sup> Andrea Nogueira Dias<sup>3</sup>

#### RESUMO

Esta pesquisa teve por objetivo realizar uma análise técnica e de custos dos tratores florestais *feller buncher* e *skidder* na colheita de madeira de *Pinus taeda* L. em diferentes produtividades do povoamento. O estudo foi conduzido em uma empresa florestal localizada na região Norte de Santa Catarina, Brasil. As análises foram realizadas por meio do estudo de tempos e movimentos, nos quais as operações de corte e extração foram subdivididas em fases do ciclo de trabalho, determinando-se produtividade, eficiência operacional, consumo específico médio de energia e custos operacionais e de produção das máquinas em diferentes produtividades médias do povoamento (PMP): I (403,0 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>); II (550,0 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>) e III (670,0 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>). Os resultados indicaram que o ciclo operacional do *skidder* foi afetado pelas manobras adicionais nas operações de carga e descarga, ocasionado pelo baixo volume dos feixes de madeira sobre o terreno. O maior rendimento volumétrico do povoamento influenciou a produtividade e o custo de produção do *feller buncher* e *skidder*, comprovando a importância dessa variável no planejamento das operações de colheita de madeira.

**Palavras-chave:** colheita de madeira; produtividade; custos; planejamento.

#### ABSTRACT

The objective of this study was to do a technical and costs analysis of a *feller buncher* and *skidder* in module harvesting *Pinus taeda* L. plantations in stands with different productivities. The study was conducted in a forestry company located in northern region of Santa Catarina State, Brazil. The analysis were made using the motion and time study, where the cutting and extraction operations were bundled into work cycle phases to determine productivity, operational efficiency, energy consumption, production and operational costs of the machines in different stands in terms of average (SAP): I (403.0 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>); II (550.0 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>) and III (670.0 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>). The results indicated that the work cycle phases of *skidder* was affected by additional maneuvers in the operations of load and unload, caused by the lower volume of bunching of wood on the ground. The greater stand wood volume affected the productivity and production cost of *feller buncher* and *skidder*, proving the importance of this variable for harvesting planning.

**Keywords:** wood harvesting; productivity; costs; planning.

1 Engenheiro Florestal, MSc., Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Estadual do Centro-Oeste, PR 153, km 7, Bairro Riozinho, CEP 84500-000, Irati (PR), Brasil. nasserandre@hotmail.com

2 Engenheiro Florestal, Dr., Professor Associado do Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Estadual do Centro-Oeste, PR 153, km 7, Bairro Riozinho, CEP 84500-000, Irati (PR), Brasil. eslopes@pq.cnpq.br

3 Engenheira Florestal, Dr., Professora Adjunto do Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Estadual do Centro-Oeste, PR 153, km 7, Bairro Riozinho, CEP 84500-000, Irati (PR), Brasil. andias@irati.unicentro.br

## INTRODUÇÃO

O setor de florestas plantadas apresenta grande importância para a sociedade brasileira em termos econômicos, sociais e ambientais. Segundo ABRAF (2013), a área ocupada pelos plantios florestais dos gêneros *Eucalyptus* e *Pinus* totalizou, em 2012, em torno de 6,6 milhões de hectares e com taxa média anual de crescimento de 3,5%. Além disso, o setor foi responsável por um valor bruto de produção da ordem de R\$ 53,9 bilhões e geração de 4,7 milhões de postos de empregos diretos e resultantes do efeito-renda.

A colheita e o transporte da madeira são considerados as etapas mais importantes dentro do setor florestal em termos econômicos, representando 50%, ou mais, dos custos totais da madeira posta na indústria (MACHADO, 2008), além de serem influenciados por diversos fatores que interferem diretamente na produtividade e nos custos de produção (LOPES, 2001). Por isso, o aperfeiçoamento das técnicas e operações de colheita de madeira torna-se necessário para o aumento de produtividade e redução dos custos, além da busca por melhorias na qualidade do trabalho e minimização de danos ao meio ambiente, contribuindo, assim, com o desenvolvimento sustentável e competitividade das empresas florestais.

As operações de colheita de madeira podem ser divididas em duas etapas: corte (derrubada, desgalhamento, destopamento e traçamento) e extração (remoção da madeira do interior até a margem do talhão ou pátio intermediário), podendo ser utilizados nestas etapas diversos tipos de máquinas, métodos ou combinações de sistemas, sendo que, atualmente, o grande desafio é a otimização das operações.

Além disso, é importante ressaltar que os sistemas mecanizados de colheita de madeira são afetados por diversas variáveis que interferem diretamente na capacidade operacional das máquinas e, conseqüentemente, no custo final da madeira. Dentre tais variáveis, destacam-se: características do povoamento (diâmetro, volume individual, volume total, espaçamento, tamanho dos galhos e copa, densidade da madeira, etc.), condições do relevo, condições climáticas, capacidade de suporte do solo, habilidade do operador e distância de extração (BURLA, 2008; BRAMUCCI e SEIXAS, 2002).

Atualmente, existem poucos dados sobre a influência dessas variáveis na capacidade produtiva

das máquinas em determinadas condições de trabalho. As estimativas de produtividade e de custo baseadas em dados fornecidos pelos fabricantes ou obtidas em trabalhos realizados em outros países mostram-se bastante frágeis, indicando, portanto, a necessidade da realização de estudos para cada condição específica. Por isso, a avaliação das máquinas de colheita de madeira é de fundamental importância para correções ou alterações no processo produtivo, visando à racionalização e otimização dos recursos, principalmente em povoamentos de pinus, nos quais são poucas as informações disponíveis.

Segundo Moreira et al. (2004), estudos realizados com sistemas mecanizados de colheita de madeira mostraram que a produtividade dos povoamentos tem influência direta sobre a eficiência técnica e econômica da maioria das máquinas florestais, sendo mais eficientes aquelas que atuam em povoamentos de maior rendimento volumétrico por unidade de área. Bramucci e Seixas (2002) estudando algumas máquinas no sistema de árvores inteiras de eucalipto verificaram que o volume de madeira por hectare foi a variável de maior influência no corte do *feller buncher*, apresentando melhor desempenho em talhões com maiores espaçamentos. Os mesmos autores afirmaram, ainda, que a produtividade do *skidder* foi mais bem estimada por meio de equação que incluiu as variáveis volume por hectare e distância de extração.

Akay et al. (2004) verificaram que o *feller buncher* apresentou maior produtividade e menor custo de produção dentro do sistema de colheita de madeira, sendo diretamente influenciado pelo volume individual das árvores. Por outro lado, Behjou et al. (2008), estudando o ciclo operacional do *skidder*, constataram que a distância de extração e a declividade do terreno apresentaram maior influência sobre a produtividade da máquina, enquanto Freitas (2005) observou que o volume de madeira por hectare e a distância de arraste foram os fatores de maior influência, em que os menores custos foram encontrados nas menores distâncias de extração.

Portanto, o conhecimento das variáveis que interferem nas operações de colheita de madeira em diferentes condições operacionais, bem como a determinação da produtividade e dos custos das máquinas em situação real de trabalho é de fundamental importância, possibilitando subsidiar o planejamento das operações na busca por maior produtividade e menor custo de produção,

principalmente nas florestas de *Pinus*, onde são escassas as informações disponíveis.

Este trabalho objetivou realizar uma análise técnica e de custos dos tratores florestais *feller buncher* e *skidder* na colheita de madeira de *Pinus taeda* L. em diferentes classes de produtividade do povoamento, subsidiando o planejamento das operações para o aumento de produtividade e redução dos custos de produção.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Caracterização da área de estudo

A pesquisa foi realizada em povoamentos de *Pinus taeda* L. de uma empresa florestal localizada na região Norte do Estado de Santa Catarina. A região está situada entre os paralelos 26°42'52''S e 49°29'00''W, com uma altitude média de 530 m. O clima característico da região, conforme classificação de Köppen é *Cfb* mesotérmico úmido, sem estações secas e com verões quentes e invernos rigorosos, temperatura média anual de 19,7°C e precipitação média anual entre 1.600 a 1.700 mm.

Os solos predominantes das áreas de estudo são Cambissolo Húmico Alumínico típico (CHA), de textura franco-argilo-arenosa e Neossolo Regolítico Húmico típico (RRh), de textura franco-argilo-arenosa, ambos de relevo suave ondulado.

### Características dos equipamentos

Foram estudados os tratores florestais *feller buncher* e *skidder*, sendo o primeiro responsável pela derrubada e empilhamento das árvores no interior do talhão na forma de feixes, cujo volume era dependente do volume individual e do número de árvores acumuladas no cabeçote de corte, enquanto o segundo era responsável pela extração das árvores na forma de arraste até a margem do talhão (Figura 1).

O *feller buncher* estudado era da marca *Caterpillar*, modelo 522, motor *Caterpillar* C9 ACERT, com potência nominal de 193 kw, rodados de esteiras e peso operacional de 30,4 t, equipado com cabeçote da marca *Caterpillar*, modelo HF 201, área útil de corte de 4,60 m<sup>2</sup> e capacidade de carga de 2.517 kg. O *skidder* era da marca *Caterpillar*, modelo 545, motor *Caterpillar* 3306 DITA, potência nominal de 163 kw, tração de 4X4, rodados de pneus recobertos com semiesteiras da marca *Eco Wheel Track* na parte dianteira, garra com área útil



FIGURA 1: Feller Buncher CAT 522 (a) e Skidder CAT 545 avaliados no estudo.

FIGURE 1: Feller Buncher CAT 522 (a) and Skidder CAT 545 evaluated in this study.

de 1,50 m<sup>2</sup> e peso operacional de 18,2 t.

### Procedimento de amostragem

Inicialmente foi realizado um estudo piloto, buscando-se definir o número mínimo de observações do ciclo operacional de cada máquina, de modo a proporcionar um erro de amostragem máximo de 5%, conforme metodologia proposta por Conaw (1977), por meio da seguinte expressão (1):

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

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

Em seguida, conhecendo-se o número

mínimo de observações necessárias para cada máquina e levando-se em consideração a faixa de corte do *feller buncher*, definiu-se o tamanho mínimo da área a ser colhida para cada classe de Produtividade Média de Povoamento (PMP). A partir de então, em função do inventário e do plano de colheita de madeira fornecido pela empresa foram selecionados talhões contemplando as três classes de produtividade do povoamento, sendo realizado o acompanhamento das operações de cada equipamento sem interferência no sistema normal de trabalho da empresa.

As parcelas amostrais alocadas nos talhões possuíam uma área de três hectares, com declividade e distâncias de extração semelhantes. Na Tabela 1 são apresentadas as características dos povoamentos selecionados para realização deste estudo.

No estudo do *skidder*, a distância de extração (DE) foi estratificada em três classes: I ( $DE < 50$  m); II ( $50 \leq DE < 100$  m) e III ( $DE \geq 100$  m).

### Análise técnica

A análise técnica baseou-se na realização de um estudo de tempos e movimentos, permitindo analisar o ciclo operacional, determinar a disponibilidade mecânica, a eficiência operacional, o rendimento energético e a produtividade das máquinas. No estudo foi empregado o método de cronometragem de tempos contínuos, 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 do *feller buncher* foi subdividido nas seguintes atividades parciais: deslocamento vazio (DV), compreendendo a movimentação da máquina no interior do povoamento para realização do corte; e o corte e empilhamento (CE), sendo o acionamento e direcionamento do cabeçote de corte em direção às árvores a serem cortadas e deposição dos feixes de árvores sobre o terreno. O número de árvores cortadas e empilhadas por ciclo operacional em cada classe de povoamento era variável, sendo dependente do volume individual das árvores e do número de árvores acumuladas no cabeçote de corte da máquina.

O ciclo operacional do *skidder* foi subdividido nas seguintes atividades parciais: deslocamento vazio (DV), compreendendo o deslocamento da máquina da margem até o interior do talhão próximo aos feixes de árvores a serem arrastadas; manobra e carga (MC), sendo as manobras realizadas pela máquina, aproximação e carregamento dos feixes de árvores; deslocamento carregado (DC), o deslocamento da máquina no arraste dos feixes de árvores do interior até a margem do talhão; e descarga e manobra (DM), o descarregamento dos feixes de árvores e as manobras na margem do talhão. O número de árvores arrastadas por ciclo operacional era variável em função do volume individual, todavia, a máquina procurava arrastar o máximo de volume de madeira dentro de sua capacidade de carga.

Foram ainda obtidas, para fins de cálculo da eficiência operacional, as interrupções operacionais e não operacionais (INT), que compreenderam todos os tempos em que as máquinas não estavam

TABELA 1: Características da área de estudo nas classes de produtividade do povoamento.

TABLE 1: Characteristics of the study area considering in the classes of stand productivity.

Característica	PMP I	PMP II	PMP III
Idade de corte (anos)	24,0	39,0	39,0
Área basal ( $m^2 ha^{-1}$ )	29,05	44,36	45,36
Número médio de árvores por hectare ( $n ha^{-1}$ )	333,0	410,0	416,0
DAP médio da árvore (cm)	34,62	36,57	36,42
Altura média da árvore (m)	28,34	29,52	29,45
Volume médio por árvore ( $m^3$ )	1,21	1,34	1,61
Volume médio por hectare ( $m^3 ha^{-1}$ )	403,0	550,0	670,0
Declividade média do terreno (%)	7,0	8,0	8,0

Em que: PMP = Produtividade Média do Povoamento.

realizando as atividades relacionadas ao ciclo operacional anteriormente mencionado.

### Disponibilidade mecânica

A disponibilidade mecânica (DM) é a porcentagem do tempo de trabalho programado em que a máquina estava mecanicamente apta para realizar o trabalho produtivo, desconsiderando o tempo em manutenção corretiva ou preventiva. Foi determinada conforme expressão (2):

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

Em que: DM = grau de disponibilidade mecânica (%); TP = tempo programado para o trabalho (horas); TM = tempo de manutenção (horas).

### Eficiência operacional

A eficiência operacional (EO) é a porcentagem do tempo efetivamente trabalhado em relação ao tempo total programado para o trabalho, sendo determinada pela expressão (3):

$$EO = \frac{TE}{TP} \times 100 \quad (3)$$

Em que: EO = eficiência operacional (%); TE = tempo de trabalho efetivo (horas); TP = tempo programado para o trabalho (horas).

### Produtividade operacional

A produtividade operacional (PR) foi determinada pela multiplicação do volume médio das árvores em cada classe de produtividade do povoamento pela quantidade de árvores cortadas e arrastadas, dividindo pelas horas efetivamente trabalhadas, conforme a expressão (4):

$$PR = \frac{n \times V}{HE} \quad (4)$$

Em que: PR = produtividade ( $m^3 \text{ he}^{-1}$ ); n = número de árvores cortadas, arrastadas, desganhadas, destopadas e traçadas em cada ciclo operacional; V = volume médio individual das árvores ( $m^3$ ); e HE = hora efetiva de trabalho (hora).

### Rendimento energético

O rendimento energético, que indica a massa de combustível necessária para produzir uma unidade de potência na unidade de tempo, foi obtido pela razão entre o consumo específico efetivo de combustível em gramas para cada *kilowatt* fornecido durante uma hora ( $g.kW^{-1}he^{-1}$ ) e a produtividade média com casca da máquina ( $m^3cc \text{ he}^{-1}$ ), expresso em  $g.kW^{-1} m^3cc$  (LOPES, 2007 citado por SIMÕES et al., 2010).

### Análise de custos

A análise de custos das máquinas foi realizada com base na determinação dos custos operacionais e de produção. O custo operacional (CO) foi determinado pelo método contábil, conforme proposto por Miyata (1980) e Lopes (2001), sendo utilizados valores reais e estimados. As informações necessárias para o cálculo foram obtidas por meio da coleta de dados de campo e planilha de custos obtidos na empresa. O custo operacional englobou os custos fixos (depreciação, juros e seguros), os custos variáveis (combustíveis, lubrificantes e graxas, óleo hidráulico, pneus e esteiras, manutenção e reparos e transporte de pessoal), os custos de pessoal (salário e encargos sociais) e o custo de administração.

O custo de produção (CP) foi obtido pela seguinte expressão (5):

$$CP = \frac{CO}{PR} \quad (5)$$

Em que: CP = custo de produção ( $R\$ m^{-3}$ ); CO = custo operacional ( $R\$ \text{ he}^{-1}$ ); e PR = produtividade operacional ( $m^3 \text{ he}^{-1}$ ).

### Análises estatísticas

Foi empregado o Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC), sendo considerados três tratamentos (classes PMP) e diferentes números de repetições (ciclos operacionais). Foram comparados os tempos médios dos elementos do ciclo operacional e da produtividade das máquinas, sendo os valores submetidos ao teste de Bartlett para verificação da homogeneidade das variâncias, e em seguida, submetidos à ANOVA, sendo as médias comparadas pelo teste de Tukey em nível de 5% de significância.

**RESULTADOS E DISCUSSÃO**

**Análise técnica e de custo do *feller buncher***

A Tabela 2 apresenta os tempos médios, em minutos, do ciclo operacional efetivo do *feller buncher* nas diferentes classes de produtividade do povoamento. Como pode ser observada, a atividade parcial “deslocamento vazio” demandou um maior tempo em relação ao “corte e empilhamento”, ocasionado pelo maior deslocamento da máquina no interior do talhão, atribuído ao fato de ter sido anteriormente realizado desbaste na área de estudo, acarretando no aumento do espaçamento entre as árvores. Foi possível também verificar que, o tempo total médio do ciclo operacional diminuiu com o aumento da produtividade do povoamento, resultado do maior volume individual das árvores existente e o menor tempo de deslocamento da máquina para o empilhamento dos feixes de árvores.

É importante observar que, os elementos parciais “corte e empilhamento” e “deslocamento vazio” apresentaram diferenças significativas entre a classe de produtividade do povoamento I, explicado pela menor quantidade de árvores existente no povoamento I (333 árvores/hectare) em relação às demais classes. Tal resultado foi semelhante ao encontrado por Akay et al. (2004), os autores afirmaram que o número de árvores por unidade de área foi o fator de maior influência na produtividade do *feller buncher*.

A produtividade média por hora efetiva de trabalho do *feller buncher* foi de 103,8 m<sup>3</sup> he<sup>-1</sup>, acarretando um custo médio de produção

de R\$ 2,38 m<sup>-3</sup> e um rendimento energético de 1,16 g kW<sup>-1</sup> m<sup>-3</sup> cc, considerando uma disponibilidade mecânica média de 95,8% e eficiência operacional média de 70,0%.

Como pode ser visto na Figura 2, na medida em que houve o aumento do volume de madeira do povoamento, ocorreu um aumento da produtividade e redução do custo de produção do *feller buncher*, com diferença significativa entre as classes do povoamento, comprovando a influência dessa variável na produtividade e custo de produção do *feller buncher*. Além disso, ressalta a relação direta existente entre a produtividade e o custo de produção, sendo o melhor resultado obtido no

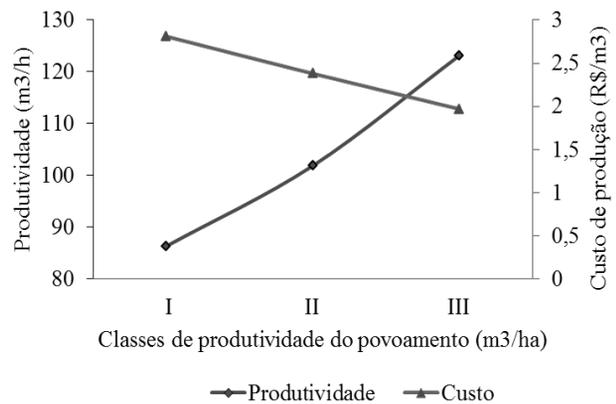


FIGURA 2: Comportamento da produtividade e do custo de produção do *feller buncher* nas classes de produtividade do povoamento.

FIGURE 2: Behavior of the productivity and production cost of *feller buncher* in the classes of stand productivity.

TABELA 2: Tempo médio do ciclo operacional do *feller buncher* nas classes de produtividade do povoamento.

TABLE 2: Average time of operational cycle of *feller buncher* in the classes of stand productivity.

PMP	Tempo médio dos elementos do ciclo operacional (min.)		
	CE	DV	Total
	Média	Média	
I	0,42 a	1,22 a	1,64
II	0,37 b	0,85 b	1,22
III	0,39 b	0,71 b	1,11
Média	0,39	0,92	1,32

Em que: Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente a 5% de significância pelo teste de Tukey. PMP = produtividade média do povoamento; CE = corte e empilhamento; DV = deslocamento vazio.

povoamento de maior rendimento volumétrico.

### Análise técnica e de custo do *skidder*

Na Tabela 3 são apresentados os tempos médios do ciclo operacional do *skidder* nas diferentes classes de produtividade do povoamento. Como pode ser observado, o elemento parcial “deslocamento carregado” consumiu o maior tempo em relação aos demais elementos do ciclo operacional em todas as classes de produtividade do povoamento e com aumento proporcional à distância de extração.

O tempo de deslocamento da máquina, tanto carregado quanto vazio é influenciado pelo tamanho dos talhões, distância de extração, condições da trilha de arraste, declividade do terreno, presença de obstáculos (tocos, resíduos da colheita e sub-bosque) e o volume de madeira arrastado, principalmente em condições de aclives.

É importante ainda destacar os tempos consumidos com as manobras e carga dos feixes de árvores em relação ao tempo total do ciclo operacional. O maior tempo proporcional consumido com as manobras e carga nas diferentes condições do povoamento deveram-se à necessidade do *skidder* de realizar manobras adicionais para apanhar mais de um feixe de árvores para completar a capacidade máxima de carga da garra da máquina, situação que ficou evidente no povoamento de menor produtividade.

Segundo Seixas (2008), ao contrário do *forwarder* que passa a maior parte do ciclo operacional de forma passiva, ou seja, realizando as operações de carga e descarga, o *skidder* deveria ocupar o maior tempo de forma ativa, ou seja, realizando as operações de viagens vazio e carregado, e conseqüentemente, consumindo um menor tempo proporcional do ciclo nas operações de carga e descarga.

Na condição do povoamento de menor volume individual e total, o *feller buncher* realizou o corte e empilhamento das árvores em feixes de menor volume, situação que comprometeu, posteriormente, o ciclo operacional do *skidder*. Já o tempo médio despendido com manobra e descarga (0,87 min) foi ocasionado pelas características dos talhões que possuíam áreas reduzidas e pequenas distâncias de extração, bem como estaleiros reduzidos para deposição da madeira, acarretando em acúmulo de madeira e comprometendo a movimentação do *skidder* no momento do descarregamento dos feixes de árvores.

Na Tabela 4 são apresentados produtividade e custo de produção média do *skidder* nas diferentes classes de produtividade do povoamento e distâncias de extração. A produtividade média efetiva foi de 45,9; 46,5 e 51,2 m<sup>3</sup> he<sup>-1</sup>, acarretando em um custo médio de produção de R\$ 4,81 m<sup>-3</sup>; R\$ 4,67 m<sup>-3</sup> e R\$ 4,23 m<sup>-3</sup> e rendimento energético médio de 2,01; 1,76 e 1,61 g kW<sup>-1</sup> m<sup>-3</sup> cc nos povoamentos I, II e III, respectivamente, considerando uma

TABELA 3: Tempo médio do ciclo operacional do *skidder* nas classes de produtividade do povoamento.

TABLE 3: Average time of operational cycle of *skidder* in the classes of stand productivity.

Fases do Ciclo	Tempo médio dos elementos do ciclo operacional (minutos)											
	PMP I				PMP II				PMP III			
	d <sub>1</sub>	d <sub>2</sub>	d <sub>3</sub>	Média	d <sub>1</sub>	d <sub>2</sub>	d <sub>3</sub>	Média	d <sub>1</sub>	d <sub>2</sub>	d <sub>3</sub>	Média
DV	0,39	0,54	0,85	0,59a	0,50	0,73	0,86	0,69b	0,42	0,63	0,96	0,67b
MC	0,75	0,90	1,10	0,92a	0,54	0,66	0,80	0,66b	0,41	0,65	0,87	0,64b
DC	0,52	1,10	1,65	1,09a	0,72	1,20	1,68	1,20ab	0,76	1,18	1,90	1,28b
MD	0,85	0,80	0,78	0,81a	0,92	0,85	0,84	0,87a	0,69	0,95	1,15	0,93a
Total	3,51	5,34	7,38	-	2,68	3,44	4,18	-	2,28	3,41	4,88	-

Em que: Médias seguidas pela mesma letra na linha horizontal não diferem estatisticamente a 5% de significância pelo teste de Tukey; PMP = produtividade média do povoamento; DV = deslocamento vazio; MC = manobra e carga; DC = deslocamento carregado; MD = manobra e descarga; d<sub>1</sub> = distância de extração (d<sub>1</sub>: DE < 50 m; d<sub>2</sub>: 50 ≤ DE < 100 m; d<sub>3</sub>: DE ≥ 100 m).

disponibilidade mecânica média de 90% e eficiência operacional média de 58%, sendo estes obtidos durante a realização do estudo.

Fernandes et al. (2009) estudando a produtividade do *skidder* no arraste de madeira de eucalipto encontraram uma produtividade média de  $50,1 \text{ m}^3 \text{ he}^{-1}$  na distância de até 100 m, enquanto Lopes et al. (2007) obtiveram uma produtividade de  $120 \text{ m}^3 \text{ he}^{-1}$  no arraste de árvores de pinus de 20 anos de idade e distância média de 100 metros, sendo a maior produtividade atribuída ao maior volume individual das árvores nas florestas de pinus estudados.

Ao se analisar a produtividade do *skidder* em relação aos povoamentos estudados, foi possível verificar uma diferença significativa na produtividade da máquina entre os povoamentos II e III nas distâncias abaixo de 50 m, bem como entre os povoamentos I e III na distância entre 50 e 100 m, enquanto na distância acima de 100 m, não houve diferença significativa entre os povoamentos, pelo teste de Tukey em nível de 5% de significância. Tal resultado mostrou que a variável volume do povoamento apresentou maior influência sobre a produtividade do *skidder* nas menores distâncias de extração, sendo, nas condições deste estudo, minimizada pelo aumento da distância de extração. Além disso, conforme relatado por Akay et al. (2004), a produtividade desta máquina depende também da declividade do terreno, da potência do motor, da carga de arraste e da condição de trafegabilidade.

A Figura 3 ilustra a relação existente entre a produtividade e o custo de produção do *skidder* nas diferentes classes de produtividade

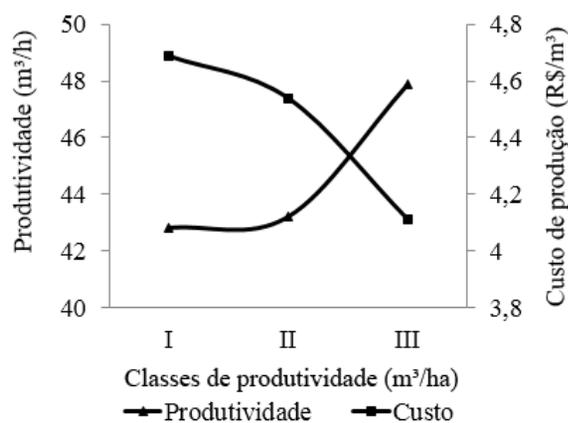


FIGURA 3: Comportamento da produtividade e custo de produção do *skidder* nas classes de produtividade do povoamento.

FIGURE 3: Behavior of the productivity and production cost of *skidder* in the classes of stand productivity.

do povoamento. Como pode ser visto, existe uma relação diretamente proporcional, à medida que se aumentou a produtividade, reduziram-se os custos de produção, sendo a melhor relação obtida no povoamento de maior volume, com produtividade de  $51,3 \text{ m}^3 \text{ he}^{-1}$  e custo de produção de  $\text{R\$ } 4,23 \text{ m}^{-3}$ .

## CONCLUSÕES

O maior espaçamento das árvores em função dos desbastes realizados nos povoamentos contribuiu para o aumento do tempo de deslocamento do *feller buncher*, afetando negativamente o seu

TABELA 4: Produtividade e custo de produção do *skidder* nas classes de produtividade do povoamento.

TABLE 4: Productivity and production cost of *skidder* in the classes of stand productivity.

Classe de distância de extração (m)	Produtividade efetiva ( $\text{m}^3/\text{he}$ )				Custo de Produção ( $\text{R\$}/\text{m}^3$ )			
	PMP I	PMP II	PMP III	Média	PMP I	PMP II	PMP III	Média
DE < 50	57,06 a AB	51,10 a B	58,09 a A	55,42	3,77	4,21	3,70	3,89
$50 \leq \text{DE} < 100$	42,88 b A	43,69 b AB	49,48 b B	45,35	5,02	4,99	4,35	4,79
DE $\geq 100$	38,05 b A	44,56 a b A	46,14 b A	42,91	5,66	4,83	4,66	5,05
Média	45,99	46,45	51,23	47,89	4,81	4,67	4,23	4,57

Em que: Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem estatisticamente em 5% de significância pelo teste de Tukey.

ciclo operacional.

A produtividade e o custo de produção do *feller buncher* foram influenciados pelo aumento do volume de madeira do povoamento, sendo os melhores resultados obtidos na situação de povoamento com maior volume por hectare. Quanto à produtividade do *skidder*, o aumento do volume total do povoamento apresentou maior influência nas menores distâncias de extração.

O maior tempo relativo consumido com as manobras e carga contribuíram para o aumento do ciclo operacional do *skidder* e perda de produtividade, mostrando a necessidade de melhoria do planejamento.

O volume total do povoamento influenciou a produtividade e o custo de produção das máquinas de colheita de madeira, sendo uma variável importante a ser considerada no planejamento das operações florestais.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AKAY, A.E.; ERDA, O.; SESSIONS, J. Determining productivity of mechanized harvesting machines. **Journal of applied Sciences**, v. 4, n.1, p. 100-105, 2004.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS - ABRAF. **Anuário Estatístico da ABRAF - 2013**: Ano base 2012. p. 146. 2013.
- CONAW, P. L. **Estatística**. São Paulo: Edgard Blucher, 1977. 264 p.
- BEHJOU F. et al. Time study and skidding capacity of the wheeled skidder Timberjack 450C in Caspian forests. **Journal of Forest Science**, v. 54, p.183-188, 2008.
- BRAMUCCI, M.; SEIXAS, F. Determinação e quantificação de fatores de influência sobre a produtividade de “harvesters” na colheita florestal. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 62, p. 62-74. 2002.
- BURLA, E. **Avaliação técnica e econômica do harvester na colheita e processamento de madeira em diferentes condições de declividade e produtividade florestal**. 2008. 68 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2008.
- FERNANDES, H. C. et al. Avaliação das características técnica e econômica de um sistema de colheita florestal de árvores inteiras. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 37, n. 83, p. 225-232. 2009.
- FIEDLER, N. C.; ROCHA, E. B.; LOPES, E. S. Análise da produtividade de um sistema de colheita de árvores inteiras no Norte do Estado de Goiás. **Floresta**. V. 38, n. 4, p. 577-586. 2008.
- FREITAS, K.E. **Análise Técnica e Econômica da Colheita Florestal Mecanizada**. 2005. 19 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- LOPES, E. S. et al. Avaliação técnica do trator florestal arrastador *skidder* com diferentes tipos de rodados na extração de madeira em povoamentos de pinus. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 31, n. 6, p. 1053-1061. 2007.
- LOPES, E. S. **Aplicação do programa SNAP III (Scheduling and Network Analysis Program) no planejamento da colheita e do transporte florestal**. 2001. 150 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- MACHADO, C.C. **Colheita florestal**. 2ª ed. Viçosa, MG, Ed. UFV, 2008.
- MIYATA, E. S. **Determining fixed and operating costs of logging equipment**. (S.I.): Washington: USDA Forest Service, 1980. 16p. (General Technical Report NC-55).
- MOREIRA, F. M. T. et al. Avaliação operacional e econômica do “feller buncher” em dois subsistemas de colheita de florestas de eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 28, n. 2, p. 199-205. 2004.
- SEIXAS, F. Extração florestal. In: MACHADO, C.C. **Colheita florestal**. 2.ed. Viçosa: UFV, 2008. p.97-145.
- SIMÕES, D.; IAMONTI, I. C.; FENNER, P. T. Avaliação técnica e econômica do corte de eucalipto com *feller buncher* em diferentes condições operacionais. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 20, n. 4, p. 649-656. 2010.