

## Desempenho de um *feller buncher* em extrema variação da declividade do terreno

Carlos Cezar Cavassin Diniz<sup>1</sup> Nelson Yoshihiro Nakajima<sup>1</sup> Renato Cesar Gonçalves Robert<sup>1</sup> Cícero Jorge Fonseca Dolácio<sup>1</sup> Franciele Alba da Silva<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal do Paraná, Rodovia Régis Bittencourt, 9082-9174 - Jardim Botânico, Curitiba - PR, CEP: 80050-540.

\*Author for correspondence: carloscezar Diniz@gmail.com

Received: August 2017 / Accepted: June 2018 / Published: September 2018

### Resumo

Uma das variáveis que influenciam o desempenho do *feller buncher* é a declividade do terreno e é neste sentido que este trabalho objetivou analisar a produtividade desta máquina em diferentes classes de declividade. O estudo foi conduzido em uma empresa florestal localizada na região Centro-Oeste do Paraná, Brasil. As análises foram realizadas em plantios de *Pinus taeda* sob regime de corte raso aos 15 anos de idade e os dados foram obtidos pelo método contínuo de tempos e movimentos. Foram determinadas a produtividade e o tempo efetivo médio do ciclo em três classes de declividade do terreno: Plano a Moderado; Íngreme; e Muito Íngreme. Com o aumento da declividade do terreno houve um aumento no tempo médio do ciclo operacional do *feller buncher*. A atividade parcial “busca e corte” consumiu maior tempo, seguido do “deslocamento vazio” e do “empilhamento”. A produtividade da colheita com o *feller buncher* diminuiu com o aumento da declividade do terreno. Na comparação das declividades, o terreno íngreme apresentou uma queda de 8,6% em relação ao muito íngreme. Em média o rendimento no terreno plano a moderado foi 76,14 m<sup>3</sup>.he<sup>-1</sup>, no íngreme foi de 63,12 m<sup>3</sup>.he<sup>-1</sup> e no muito íngreme foi de 69,05 m<sup>3</sup>.he<sup>-1</sup>.

**Palavras-chave:** colheita de madeira, relevo, produtividade.

### Abstract

*Feller buncher* performance is influenced by slope of the terrain and it is in this sense that this work aimed to analyze the productivity of this machine in different slope classes. The study was performed in a forest company located in the Midwest region of Paraná State, Brazil. The research was carried out in *Pinus taeda* plantations under clear cut regime at 15 years of age and the data were obtained by a time and motion study using the continuous time technique. The productivity and the mean time of the cycle were determined in three classes of terrain slope: Flat to Moderate; Steep; and Very Steep. With the increase of the terrain slope was an increase in the mean time of the *feller buncher* operational cycle. The operational cycle element search and cut took longer, followed by empty displacement and stacking. The *feller buncher* productivity decreased with terrain slope increasing. In the slopes comparison the steep terrain showed a drop of 8.6% in relation to the very steep. On average the productivity in the level to moderate terrain was 76.14 PMH0-1, in the steep terrain was 63.12 PMH0-1 and in the very steep 69.05 PMH0-1.

**Keywords:** wood harvesting, relief, productivity.

### Introdução

Máquinas florestais foram adaptadas estruturalmente ao longo do tempo para atuar em terrenos que possuam adversidades como em terrenos íngremes ou muito íngremes. O *feller buncher* é uma destas máquinas que com o rodado de esteiras e o nivelamento da cabine chega a operar em terrenos de declividade acentuada. Mesmo com adoção de novas tecnologias na engenharia de construção de máquinas, o setor

florestal ainda tem a necessidade por dados confiáveis para a escolha do sistema e da máquina adequada para cada tipo de operação (Nascimento et al. 2011).

Apesar do processo contínuo de evolução tecnológica, a colheita da madeira em conjunto ao transporte possui grande importância em termos econômicos dentro da cadeia produtiva da madeira, representando 50% ou mais do custo final da madeira posto na indústria (MACHADO, 2014). A colheita florestal representa a operação final de um ciclo de produção florestal, na qual são obtidos os produtos mais valiosos, constituindo um dos fatores que determinam a rentabilidade florestal (ARCE et al., 2004).

O corte florestal, uma das atividades pertencentes a colheita de madeira é influenciada por vários fatores ambientais e operacionais que podem até restringir a atividade, como: densidade do talhão, declividade do terreno, classe de solo, volume por árvore, operador, condições da máquina, manutenção e direção de operação (Leite et al. 2013).

De acordo com Moreira et al. (2004), estudos realizados 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. Akay et al. (2004) verificaram que o volume individual das árvores influenciou diretamente na operação do *feller buncher*, sendo que tal comportamento também foi verificado por Bramucci; Seixas (2002), onde 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.

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 (Pereira et al. 2015).

Portanto, o conhecimento das variáveis que interferem nas operações de colheita de madeira em diferentes condições operacionais, bem como a determinação da produtividade 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. Diante disso, esta pesquisa objetivou analisar tecnicamente a produtividade do corte florestal utilizando *feller buncher* em três diferentes condições de relevo para o subsídio do planejamento da produção florestal.

## Material e Métodos

### Caracterização da área de estudo

A pesquisa foi realizada em plantios florestais de *Pinus taeda* de 15 anos de idade em regime de corte raso em uma empresa de celulose localizada na região Centro-Oeste do estado do Paraná, Brasil sob as coordenadas geográficas 25°23'42" S 51°27'28" O.

As características climáticas da região são consideradas subtropical Cfb, com chuvas regulares e bem distribuídas durante o ano, sendo os verões amenos e inverno frio com presença de geadas (Köppen 1948). A descrição da área estudada está apresentada na Tabela 1.

Tabela 1. Caracterização da área de estudo.

Característica da área de estudo	
Espécie	<i>Pinus taeda</i>
Idade de corte (anos)	15
Volume médio individual (m <sup>3</sup> )	0,28 - 0,32

### Caracterização da máquina avaliada

O sistema de colheita da madeira foi o de árvores inteiras (*full tree*), sendo a operação de corte realizada de forma mecanizada com o uso do *feller buncher* (Figura 1).



Figura 1. *Feller buncher* utilizado na pesquisa.

A máquina estudada apresenta potência nominal de 303 hp / 226 Kw equipado com motor CAT C9 ACERT (diesel) com peso operacional de 32 toneladas e horímetro de 9543 horas.

### Fatores de influência

Os principais fatores que podem afetar o rendimento do *feller bunchers* são: declividade, operador, tempo de experiência do operador, floresta, espécie, espaçamento, tratamentos silviculturais, volume por árvore, solo, sistema de colheita, turno de trabalho, finalidade da madeira, capital disponível entre outros (MIYAJIMA et al., 2016). Desta forma, grande parte das variáveis foi mantida constante, variando-se somente a declividade do terreno.

### Análise técnica

Para a análise técnica foi utilizado um estudo de tempos e movimentos, permitindo analisar a produtividade e o tempo médio efetivo do ciclo operacional do *feller buncher* operando em diferentes declividades do terreno. No estudo foi empregado o método de cronometragem de tempos contínuos, proposto por Barnes (1968), 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; busca e corte (BC), sendo o acionamento e direcionamento do cabeçote de corte em direção às árvores a serem cortadas; e empilhamento (EM), sendo a 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.

### Coleta de dados

Inicialmente realizou-se um estudo piloto, a fim de definir o número mínimo de observações, proporcionando um erro de amostragem máximo de 5%, de acordo com a expressão 1 proposta por Conaw (1977).

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

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 (%).

O experimento foi conduzido nas seguintes classes de declividade: Plano a Moderado – declividade de 0° a 15°; Íngreme – declividade de 16° a 30° e Muito Íngreme – declividade de 31° a 45°. Esta classificação é similar a classificação de declividade do terreno usada pela Forestry Commission UK (1996) (Plano = 0° - 6°, Suave = 6,1° - 11°, Moderado = 11,1° - 18°, Íngreme = 18,1° - 27°, Muito Íngreme => 27,1°).

Em função do inventário e do plano de colheita de madeira fornecido pela empresa foi selecionado um talhão que contemplou as três classes de declividade, sendo realizado o acompanhamento das operações do equipamento sem interferência no sistema normal de trabalho da empresa.

### Tempo efetivo médio e produtividade

Para o cálculo do tempo efetivo foi utilizada a equação 2, proposta por Miyajima et al. (2016), onde o tempo efetivo médio foi obtido através da divisão do somatório dos tempos efetivos dos ciclos operacionais pelo número de ciclos.

$$TEM = \frac{\sum TEM}{n} \quad (2)$$

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

A produtividade da máquina foi calculada em metros cúbicos de madeira cortada por hora de trabalho efetivo a partir da equação 3.

$$PR = \frac{N \times VMI}{HE} \quad (3)$$

em que: PR = produtividade (m<sup>3</sup>.he-1); N = número de árvores derrubadas; VMI = volume médio individual (m<sup>3</sup>); e HE = tempo efetivo de trabalho (horas).

### Análise estatística e delineamento experimental

Para a análise estatística do tempo (segundos) efetivo médio dos elementos do ciclo operacional e da produtividade (m<sup>3</sup>.he-1) das classes de declividade, primeiramente foi efetuado a verificação da homogeneidade de variância pelo teste proposto por Bartlett (1937), e quando este indicou variância não homogênea, os dados foram transformados a partir da metodologia de Box & Cox (1964) para reduzir a variabilidade existente dentro de cada tratamento. Identificada homogeneidade, procedeu-se com a análise de variância (ANOVA) seguindo delineamento inteiramente casualizado para identificar possíveis diferenças de tempo efetivo médio das atividades e de produtividade entre as

diferentes classes de declividade, quando esta indicou haver significância, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 95% de probabilidade. Para as análises utilizou-se o software R, além do pacote “MASS” para determinar o valor ótimo de “ $\lambda$ ” utilizado na transformação.

## Resultados

No estudo, foi obtido um número de 441 ciclos operacionais do corte florestal realizado pelo *feller buncher*, valor superior ao mínimo de 350 ciclos recomendados para obtenção de um limite de erro de 5%.

Na Tabela 2 podem ser observados os valores médios referentes ao tempo das atividades parciais do ciclo operacional do *feller buncher* para cada classe de declividade, bem como teste de Bartlett, teste de Fischer da análise de variância e o coeficiente de variação.

Tabela 2. Tempo efetivo médio das atividades que compõem o ciclo operacional do *feller buncher*.

Classes de declividade	DV	BC	EM	Ciclo Total
Plano a Moderado	12,21a	15,31 <sup>a</sup>	5,30b	21,54a
Íngreme	20,60 b	23,44b	5,07b	30,47b
Muito Íngreme	24,52b	31,59c	4,24a	43,89c
K	4,000ns	4,702ns	0,346ns	4,438ns
F	4,535*	50,700*	11,570*	71,500*
CV(%)	19,23	21,92	4,66	11,41

Médias seguidas das mesmas letras na vertical não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% (pvalue > 0,05); DV = Deslocamento vazio; BC = Busca e corte; EM = Empilhamento; K = valor do teste de Bartlett calculado; F = valor do teste de Fischer calculado; CV(%) = coeficiente de variação em percentagem; ns = valor calculado não significativo ao nível de 5% (pvalue > 0,05); e \* = valor calculado significativo ao nível de 5% (pvalue < 0,05).

Os valores de produtividade do *feller buncher* por hora efetiva de trabalho para cada classe de declividade estudada estão apresentados na Figura 2.

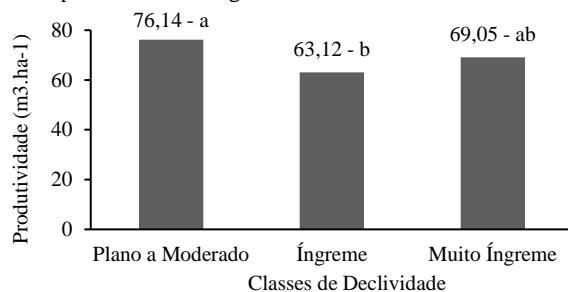


Figura 1. Produtividade média (m³.he⁻¹) do *feller buncher* nas classes de declividade estudadas.

Médias seguidas das mesmas letras não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% (pvalue > 0,05).

## Discussão

A partir da aplicação da metodologia de Box e Cox (1964), foi possível tornar homogênea a variância das atividades, permitindo a realização da ANOVA (Tabela 2). Ao examinar os resultados do teste F, nota-se que em todas as atividades há pelo menos uma média que se difere das demais.

O tempo consumido na atividade parcial “deslocamento vazio” para a classe de declividade plano a moderado apresentou redução de 41% e 50% no tempo em relação as classes de declividade íngreme e muito íngreme respectivamente, sendo os resultados diferentes estatisticamente pelo teste de Tukey (pvalor > 0,05). Este resultado pode ser explicado pela inclinação do terreno, que a medida em que aumenta acaba exigindo cada vez mais da máquina, deixando-a mais lenta.

Na atividade “busca e corte”, observou-se que a classe de declividade plano a moderado apresentou redução no tempo

de 52% em relação a classe de declividade muito íngreme. Já comparando o resultado com a classe de declividade íngreme, a redução foi de 25,7% mostrando ainda diferença estatística pelo teste de Tukey (pvalor > 0,05) em ambos os casos. A explicação para este comportamento está ligada ao cuidado que o operador exercia sobre os movimentos, pois com a elevação do grau de inclinação, o mesmo não podia fazer movimentos bruscos, pois algum movimento errado poderia acarretar em um acidente de trabalho.

Na atividade “empilhamento” o tempo gasto no terreno muito íngreme apresentou redução no tempo de 16% em relação a classe de declividade íngreme e 20% em relação a classe de declividade plano a moderado com diferença significativa pelo teste de Tukey (pvalor > 0,05). Considerando as atividades operacionais parciais conjuntamente, todas as classes de declividade apresentaram diferença estatística pelo teste de Tukey (pvalor > 0,05) em seus tempos, sendo no terreno plano a moderado, onde foram obtidos os melhores resultados. Tal resultado é explicado pela própria inclinação do terreno, que de acordo com estudos de Bramucci; Seixas, (2002), Jiroušek et al. (2007) e Martins et al. (2009) influência a operação a medida em que a mesma aumenta.

A produtividade do *feller buncher* por hora efetiva de trabalho nas três classes de declividade apresentaram variância homogênea na escala original ao nível de 5% de probabilidade, além disso, a ANOVA indicou existir diferença significativa entre estas ao nível de 95% de probabilidade. Os valores médios deste fator variaram de 63,12 m³.he-1 a 76,14 m³.he-1 nas classes íngreme e plano a moderado, respectivamente, diferindo estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 95% de probabilidade (FIGURA 2). Simões et al, (2014) obtiveram uma produtividade média de 118,48 m³.he-1 com um *feller buncher* em terreno plano com floresta de *Eucalyptus grandis* de VMI 0,2255 m³, ou seja, produtividade 55% maior. O terreno muito íngreme apresentou uma produtividade média de 69,05 m³.he-1, porém, não se diferiu estatisticamente das demais classes de declividade.

Como pode ser observado, o terreno íngreme foi o que apresentou menor produtividade, sendo explicado pelo fato de que quando a máquina estava operando nesta faixa de declividade os dentes de corte estavam gastos, fazendo com que o operador cortasse menor quantidade de árvores por ciclo operacional. O consumo de tempo que o *feller buncher* levou para cortar uma árvore nos terrenos plano a moderado, íngreme e muito íngreme foi em média 15,7; 19,9; e 17,9 segundos, respectivamente. Desta forma, nota-se que a redução abrupta na produtividade do *feller buncher* no terreno íngreme foi principalmente devido ao desgaste dos dentes de corte.

Robert et al. (2013) analisando o corte florestal com *harvester* detectaram que a produtividade não decresceu com o aumento do percentual de inclinação do terreno nas parcelas, resultado este, diferente do presente trabalho, onde as produtividades diminuíram com o aumento da declividade do terreno. Resultados semelhantes foram obtidos por Simões; Fenner (2010) e Miyajima et al, (2016), onde concluíram que a declividade do terreno foi um dos fatores que mais influenciaram na produtividade do corte florestal.

## Conclusões

Os tempos do ciclo operacional do *feller buncher* aumentaram com o aumento da declividade do terreno.

A atividade parcial busca e corte foi a que mais consumiu tempo, seguido do deslocamento vazio e tombamento.

Com o aumento da declividade a produtividade da máquina apresentou uma queda.

Os dentes de corte mostraram-se uma variável de forte influência nas atividades de corte florestal afetando diretamente na produtividade da máquina.

#### Referências

- Akay AE, Erda O, Sessions J. (2004) Determining productivity of mechanized harvesting machines. *Journal of Applied Sciences*, 4(1): 100-105.
- Arce JE, Macdonagh P, Friedl RA. (2004) Geração de padrões ótimos de corte através de algoritmos de traçamento aplicados a fiastes individuais. *Revista Árvore*, 28(2): 383- 391.
- Barnes RM. (1977) *Motion and time study: design and measurement of work*. 6<sup>th</sup> Edition. New York: John Willey & Sons, 799p.
- Bartlett MS. (1937) Properties of Sufficiency and Statistical Tests. *Proceedings of the Royal Society of London*, 160(901): 268-282.
- Box GEP, Cox DR. (1964) An analysis of transformations. *Journal of the Royal Society*, 26(2): 211-252.
- 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.
- Forestry Commission UK. 1996. *Terrain Classification*. Disponível em: <<http://www.biomassenergycentre.org.uk>>. Acesso em: 01 mar 2017.
- Jiroušek R, Klvač R, Skoupý A. (2007) Productivity and costs of the mechanized cut-to-length wood harvesting system in clear-felling operations. *Journal of Forest Science*, 53(10): 476-482.
- Köppen W. (1948) *Climatologia: con un estudio de los climas de La tierra*. México: Fondo de Cultura Económica.
- Leite ES, Fernandes HC, Minette LJ, Leite HG, Guedes IL. (2013) Modelagem técnica e de custos do Harvester no corte de madeira de eucalipto no sistema de toras curtas. *Scientia Forestalis*, 41(98): 205-215.
- Machado CC. (2014) *Colheita florestal*. 3<sup>a</sup> ed. Viçosa: UFRV, 543p.
- 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.
- 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.
- Moreira FMT, Souza AP de, Machado CC, Minetti LJ, Silva KR. (2004) Avaliação operacional e econômica do “feller buncher” em dois subsistemas de colheita de florestas de eucalipto. *Revista Árvore*, 28(2): 199-205.
- Nascimento AC. (2011) Avaliação técnica e econômica da colheita florestal com feller buncher. *Cerne*, 17(1): 9-15.
- 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.
- Robert RCG, Silva FAPC, Rocha MP, Amaral EJ, Guedes IL. (2013) Avaliação do desempenho operacional do harvester 911.3 x3m em áreas declivosas. *Floresta e Ambiente*, 20(2): 183-190.
- Simões D, Fenner PT. (2010) Influência do relevo na produtividade e custos do harvester. *Scientia Forestalis*, 38(85): 107-114.
- 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.