



## Efeito do volume individual e declividade do terreno na produtividade do *harvester* no desbaste de pinus

Mário Rodolfo Boff Burgin<sup>1</sup>, Eduardo da Silva Lopes<sup>1</sup>, Carla Krulikowski Rodrigues<sup>1\*</sup>

**RESUMO:** Objetivou-se avaliar o efeito do volume individual por árvores e da declividade do terreno na produtividade do *harvester* em povoamentos de *Pinus taeda* L. submetidos ao desbaste. O estudo foi realizado em uma empresa florestal localizada no município de Bituruna, Paraná. A coleta dos dados foi realizada em povoamentos com 10 anos de idade, conduzidos em terrenos com declividade de 0° a 12° e de 12° a 24°. Por meio de um estudo de tempos e movimentos pelo método de multimomento foram determinados os graus de disponibilidade mecânica e técnica, além da eficiência operacional e produtividade da máquina. Os resultados das duas classes de declividade foram comparados no delineamento inteiramente casualizado (DIC), pelo teste t ao nível de 5% de significância. Foram ajustados três modelos para a predição da produtividade da máquina em função do volume individual por árvore e da declividade do terreno. Os resultados mostraram que a produtividade reduziu com o aumento da declividade, bem como aumentou com o incremento do volume individual por árvore. O modelo mais adequado para a estimativa da produtividade do *harvester*, apresentou coeficiente de determinação de 0,98 e erro padrão da regressão de 10,5%, de forma a demonstrar elevada influência destas variáveis na produtividade da máquina.

**Palavras-chave:** Corte florestal; Modelagem estatística; Planejamento operacional.

## Effect of individual volume and terrain slope in the productivity of a harvester in pine under thinning

**ABSTRACT:** The aim of this study was to evaluate the effect of individual tree volume and soil slope on harvester productivity in *Pinus taeda* L. stands under thinning. The study was carried out in a forest company located in the municipality of Bituruna, Paraná. Data collection was performed in 10-year-old stands, conducted on slopes from 0° to 12° and from 12° to 24°. Through a study of motion and time by the multimomento method were determined the degrees of mechanical and technical availability, besides the operational efficiency and productivity of the machine. The results of the two declivity classes were compared in the completely randomized design (DIC), by the t test at the 5% level of significance. Three models were fitted to predict the productivity of the machine as a function of the individual volume per tree and the terrain slope. The results showed that the productivity reduced with the increase of the slope, as well as increased with the increment of the individual volume per tree. The most suitable model for estimating harvester productivity, presented coefficient of determination of 0.98 and standard error of the regression of 10.5%, in order to demonstrate high influence of these variables on machine productivity.

**Keywords:** Forest cutting; Statistical modeling; Operational planning.

## INTRODUÇÃO

O setor brasileiro de árvores plantadas ocupa uma área de aproximadamente 7,8 milhões de hectares, composta predominantemente por espécies dos gêneros *Eucalyptus* spp. e *Pinus* spp., ambos conduzidos para diversos fins industriais, tais como produtos sólidos de madeira, painéis de madeira reconstituída, laminados, celulose, carvão e biomassas para fins energéticos (IBÁ, 2016). Dentro de cada segmento produtivo é necessário o adequado manejo das florestas, onde na região Sul do Brasil predominam os povoamentos de *Pinus* com condução para a geração de produtos de maior valor

agregado. Por isso, mostra-se necessária a adoção de práticas de manejo, as quais garantem o crescimento contínuo da floresta por meio da aplicação de desbastes (SHIMIZU, 2008).

O desbaste consiste na seleção e remoção orientada de indivíduos dos povoamentos, para que sejam reduzidas as competições intraespecíficas pelos fatores ambientais, como água, luz e nutrientes (DAVEL, 2009). Entretanto, a execução do desbaste pelo método mecanizado é uma tarefa complexa e onerosa, devido ao menor número de indivíduos removidos dos povoamentos, o baixo volume

individual das árvores e o espaço restrito para a movimentação das máquinas, além de necessitar cuidado para não causar danos às árvores remanescentes, fatores que acarretam em baixa produtividade e elevados custos de produção (NUUTINEN et al., 2010; OIKARI et al., 2010).

Normalmente os desbastes florestais são realizados pelo sistema de toras curtas (*cut-to-length*), onde as árvores de uma linha do plantio são removidas de forma sistemática, permitindo o tráfego das máquinas, e seletiva, por baixo nas linhas adjacentes, sendo a largura do eito definida pelo alcance máximo da grua do *harvester*. Este sistema de colheita da madeira é o mais indicado para a execução de desbaste, pois apresenta menor quantidade de injúrias no povoamento remanescente se comparado com os demais sistemas de colheita de madeira (SPINELLI et al., 2014).

Além das dificuldades já mencionadas deve-se destacar que, a colheita da madeira quando executada em áreas acidentadas se torna uma atividade ainda mais complexa, pois as operações são afetadas por diferentes variáveis operacionais que dificultam a mecanização florestal. Dentre as variáveis operacionais citam-se o volume individual das árvores e a declividade do terreno, já mencionados em diversos estudos, porém todos em regime de corte raso. Silva et al. (2010) ao estudarem a operação de corte mecanizado de *Pinus* spp. utilizando-se um *harvester* em condições de relevo plano, verificaram que o aumento do volume individual por árvore proporcionou acréscimo da produtividade da máquina. Leite et al. (2013), por sua vez, ao ajustarem modelos para a estimativa da produtividade e custos de produção do *harvester* em povoamento de eucalipto, por meio das variáveis volume individual por árvore e direção da operação em aclave e declive, verificaram que elas explicaram mais de 80% da produtividade e dos custos de produção.

A declividade do terreno é outro importante fator de influência na produtividade das máquinas de colheita da madeira e considerada uma variável limitante nesta operação. Simões e Fenner (2010) avaliaram a influência do relevo na produtividade e nos custos de um *harvester* de esteiras na colheita de *Eucalyptus grandis* aos sete anos de idade e concluíram que o aumento gradativo da declividade acarretou no aumento do tempo do ciclo operacional e na redução da produtividade da máquina.

Portanto, o conhecimento da influência de algumas variáveis, como o volume individual por árvore e a declividade do terreno na operação de primeiro desbaste de *Pinus* spp., ainda é incipiente no Brasil. Logo, o ajuste de modelos para a estimativa da produtividade de máquinas de colheita de madeira, como o *harvester*, poderá auxiliar no

planejamento das operações por meio do dimensionamento adequado de máquinas com as finalidades de otimizar a operação, obter maiores rendimentos operacionais e menores custos de produção.

Diante disso, objetivou-se neste estudo analisar o efeito das variáveis volume individual por árvore e declividade do terreno na produtividade do *harvester* no corte de povoamentos de *Pinus taeda* L. submetidos ao primeiro desbaste, de forma a conhecer o comportamento dos elementos do ciclo operacional e ajustar modelos estatísticos para a estimativa da produtividade da máquina.

## MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada nas áreas operacionais de primeiro desbaste pertencentes a uma empresa florestal localizada no município de Bituruna, estado do Paraná, entre as coordenadas de latitude 26°17'13" S e longitude 51°33'43" W. O clima da região é classificado como Cfb, clima temperado propriamente dito, com temperatura média no mês mais frio abaixo de 18°C e temperatura média no mês mais quente abaixo de 22°C e sem estação seca definida (CAVIGLIONE et al., 2000). Na região, predominam solos do tipo Cambissolo, Argissolo e Neossolo Litólico, possuindo relevo variando de plano a fortemente ondulado e altitude entre 900 e 1.200 m acima do nível do mar.

O estudo foi conduzido em povoamentos de *Pinus taeda* L. com idade de 10 anos, densidade inicial de 1.600 árvores por hectare e espaçamento de 2,5 x 2,5 m. De acordo com dados de inventário florestal eles apresentavam diâmetro a 1,30 m do solo (DAP) médio de 19,7 cm, altura total média de 14,5 m, altura dominante de 15,8 m, área basal de 52,3 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup> e volume médio por hectare de 249,6 m<sup>3</sup>.

O desbaste foi realizado pelo tipo misto, caracterizado pela eliminação sistemática da quinta linha de plantio do povoamento, perfazendo 20% das árvores, de forma a criar uma trilha de tráfego ao *harvester*, sendo esta linha determinada pelo alcance máximo da grua, e retirada, de forma seletiva, por baixo, de 30% das árvores dispostas em ambos os lados da trilha de tráfego, totalizando a remoção de 50% dos indivíduos dos povoamentos, com um peso total do desbaste de 35% da área basal inicial.

Os produtos gerados na operação de desbaste eram destinados à produção de serrados e celulose, onde as toras que apresentavam diâmetros entre 16 e 23 cm e comprimento de 2,60 m possuíam finalidades industriais e as toras com diâmetros entre 8 e 16 cm e comprimento de 2,30 m eram destinadas à celulose. A biomassa residual, composta pela seção final do fuste (ponteira da árvore), galhos e

acículas ficaram dispersos na linha de tráfego da máquina.

O corte das árvores, definido pelas etapas de derrubada, desgalhamento, destopamento e empilhamento, foi realizado por uma escavadeira adaptada, com potência do motor de 126 hp e com horímetro médio de 4.600 horas no momento do estudo. O peso operacional da máquina era de 18.050 kg, com alcance máximo da grua de 12 m, com rodados de esteiras, sendo a máquina equipada com cabeçote de corte com peso de 895 kg, serra de corrente com barra de 64 cm de comprimento, diâmetro máximo de corte de 57 cm e mínimo de 3 cm.

Inicialmente, realizou-se a seleção da área experimental, conforme o planejamento da empresa, considerando a realização do primeiro desbaste em povoamentos de *Pinus taeda* com 10 anos, sendo a idade usualmente utilizada pela mesma. Para a verificação da influência da declividade do terreno foram selecionadas áreas contemplando duas classes de declividade: 0° a 12° e 12° a 24°, onde as áreas eram homogêneas quanto ao tipo de solo e capacidade produtiva do povoamento. Para a seleção dos talhões foram realizadas visitas *in loco* com auxílio de mapas de declividade pertencentes à empresa e conferidas com auxílio de um vertex.

O estudo de tempos e movimentos foi realizado pelo método de cronometragem multimomento, onde os tempos das atividades parciais foram determinados por meio da frequência em que ocorriam, dentro de um intervalo de 15 segundos. Para a determinação do número mínimo de observações necessárias, realizou-se um estudo piloto, de modo a atingir um limite de erro admissível de 5%, conforme proposto por Swann (1973):

$$N = \frac{4.P.(100-P)}{L^2} \quad (\text{Equação 1})$$

em que: N = Número mínimo de observações necessárias; P = Porcentagem estimada de ocorrência de uma atividade específica (%); e, L = Limites de erro admissível de 5%.

A operação de corte do *harvester* na execução do desbaste foi subdivida em atividades parciais do ciclo operacional, onde: Deslocamento da Máquina (DM) referiu-se ao movimento da máquina, caracterizado pelo acionamento da esteira, finalizado com a interrupção do seu movimento; Busca (BU) referiu-se à movimentação do braço e cabeçote da máquina na procura de uma árvore, finalizado com a interrupção do movimento; Corte (CO), pelo acionamento do sabre para execução do corte, finalizado com a separação da árvore do toco;

Tombamento (TO), pela derrubada da árvore sobre o terreno, iniciando-se no momento da separação da árvore do toco até o início do seu processamento; Processamento (PR), pelo acionamento do cabeçote para realização do processamento da árvore (desgalhamento, destopamento e traçamento), finalizado com o empilhamento da madeira; e Interrupções (IT), representado por outras atividades diversas que a máquina executou e que não foram descritas anteriormente.

A análise operacional foi realizada por meio da determinação do grau de disponibilidade mecânica, grau de disponibilidade técnica, eficiência operacional e produtividade da máquina.

O grau de disponibilidade mecânica refere-se à percentagem do tempo programado para o trabalho em que a máquina estava mecanicamente apta a realizar o trabalho produtivo, desconsiderando os tempos de permanência em manutenção corretiva e/ou preventiva, obtido pela expressão descrita por Birro et al. (2002):

$$DM = \frac{TP-TM}{TP} .100 \quad (\text{Equação 2})$$

em que: DM = Grau de disponibilidade mecânica (%); TP = Tempo programado para o trabalho (hora); e, TM = Tempo de permanência em manutenção (hora).

O grau de disponibilidade técnica refere-se à percentagem do tempo em que a máquina, encontrasse disponível para o trabalho e descontadas as paradas de manutenção, onde executou o trabalho de forma efetiva, desconsiderando os tempos de interrupções operacionais e não operacionais, conforme obtido pela expressão descrita por Lopes e Diniz (2015):

$$DT = \frac{(TD-TI)}{TD} .100 \quad (\text{Equação 3})$$

em que: DT = Grau de disponibilidade técnica (%); TD = Tempo disponível para o trabalho, desconsiderando as paradas para manutenção (horas); TI = Tempo de interrupções operacionais e não operacionais (horas);

A eficiência operacional refere-se à percentagem do tempo efetivo de trabalho em relação ao tempo total programado para o trabalho, determinada pela expressão descrita por Birro et al. (2002):

$$EO = \frac{TP-TM-TI}{TP} .100 \quad (\text{Equação 4})$$

em que: EO = Eficiência operacional (%); TP = Tempo programado para o trabalho (hora); TM = Tempo de permanência em manutenção (hora); e, TI = Tempo de interrupções operacionais e não-operacionais (hora).

A produtividade do *harvester* foi determinada por meio do volume individual por árvore com casca (cc), obtido no computador de bordo da máquina, cujo valor foi dividido pelo tempo consumido no ciclo operacional em horas efetivamente trabalhadas, conforme a expressão adaptada de Birro et al. (2002):

$$PR = \frac{vi}{he} \quad (\text{Equação 5})$$

em que: PR = Produtividade da máquina (m<sup>3</sup>cc he);  
vi = Volume individual por árvore com casca

(m<sup>3</sup>cc); e, he = horas efetivas de trabalho do ciclo operacional (hora).

A produtividade do *harvester* na operação de corte em povoamentos submetidos ao desbaste foi estimada a partir das variáveis volume individual por árvore e declividade do terreno. Para tal, foram testados modelos lineares por meio da regressão linear múltipla, conforme adaptações de modelos propostos por Burla (2008), Leite (2012) e Seixas e Batista (2014), e apresentados na Tabela 1.

Os modelos testados foram selecionados com as seguintes estatísticas: Coeficiente de determinação ajustado (R<sup>2</sup>aj.), erro-padrão da estimativa absoluto (Syx) e erro-padrão da estimativa em porcentagem (Syx%). O modelo ajustado que apresentou as melhores estatísticas foi selecionado para representar a variação da produtividade estimada do *harvester* em povoamentos de *Pinus taeda* na operação de desbaste, em função do volume individual por árvore e da declividade do terreno.

Tabela 1. Modelos utilizados para estimativa da produtividade do *harvester* (m<sup>3</sup>cc he<sup>-1</sup>) em povoamentos de *Pinus taeda* submetidos ao desbaste, em função do volume individual por árvore e declividade do terreno.

N	Modelo	Autor
1	PR = β <sub>0</sub> + β <sub>1</sub> (vi) + β <sub>2</sub> (vi <sup>2</sup> ) + β <sub>3</sub> (vi.D) + β <sub>4</sub> (vi <sup>2</sup> .D) + β <sub>5</sub> (D)	Meyer
2	PR = β <sub>0</sub> + β <sub>1</sub> (D <sup>2</sup> ) + β <sub>2</sub> (vi <sup>2</sup> ) + β <sub>3</sub> (vi) + β <sub>4</sub> (D.vi)	Leite (2012)
3	PR = β <sub>0</sub> + β <sub>1</sub> (vi) + β <sub>2</sub> (D)	Parabólico

Em que: N = Número do modelo; PR = Produtividade da máquina (m<sup>3</sup>cc he<sup>-1</sup>); vi = Volume individual por árvore (m<sup>3</sup>cc árv<sup>-1</sup>); D = Declividade do terreno (ponto máximo em graus); e, β<sub>0</sub>, β<sub>1</sub>, β<sub>2</sub>, β<sub>3</sub>, β<sub>4</sub>, β<sub>5</sub> = Coeficientes do modelo.

Para a análise estatística, considerou-se o delineamento inteiramente casualizado, no qual os tratamentos foram as duas classes de declividades do terreno (0° a 12° e 12° a 24°) e as repetições foram a frequência (n° de ciclos) com que ocorreu cada atividade parcial dos ciclos operacionais, o grau de disponibilidade mecânica, o grau de disponibilidade técnica, a eficiência operacional e a produtividade da máquina na execução do desbaste. Por meio do *software* ASSISTAT 7.7, os dados foram submetidos ao teste de normalidade Kolmogorov-Smirnov, e, então, não havendo significância, procedeu-se ao teste de Bartlett, para a verificação da homogeneidade das variâncias. Não havendo significância, empregou-se o teste t para amostras independentes, sendo que, em todos os testes foram realizados ao nível de 5% de probabilidade de erro.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foram cronometrados 1.538 e 1.594 ciclos operacionais da operação de corte nas declividades

de 0° a 12° e 12° a 24°, respectivamente, sendo necessários 576 e 589 ciclos operacionais para atingir um limite de erro admissível de 5%.

Na Tabela 2 são apresentados os tempos percentuais do ciclo operacional do *harvester* na operação de desbaste em povoamentos nas declividades do terreno estudadas. Verificou-se que em ambas as classes de declividade do terreno, a atividade processamento foi superior em relação aos demais elementos do ciclo operacional, com média de 35,2% do tempo consumido, seguido da busca, interrupções, tombamento e derrubada, com médias de 17,4%, 17,1%, 13,0% e 7,6%, respectivamente. Apenas o elemento deslocamento da máquina apresentou diferença significativa pelo teste t, ao nível de 5% de probabilidade de erro, sendo maior tempo percentual encontrado na classe de declividade de 12° a 24°, com média de 11,5% se comparado com a classe de declividade de 0° a 12°, que apresentou uma média de 7,9% do tempo total.

Tabela 2. Tempo percentual do ciclo operacional do *harvester* em povoamentos de *Pinus taeda* submetidos ao desbaste, em duas classes de declividades do terreno.

Classe de Declividade	Tempo percentual ciclo operacional (%)					
	Elementos do ciclo operacional					
	DM	BU	DR	TO	PR	IT
0° - 12°	7,9*	17,1 <sup>ns</sup>	7,4 <sup>ns</sup>	13,2 <sup>ns</sup>	37,2 <sup>ns</sup>	17,2 <sup>ns</sup>
12° - 24°	11,5*	17,7 <sup>ns</sup>	7,8 <sup>ns</sup>	12,7 <sup>ns</sup>	33,2 <sup>ns</sup>	17,1 <sup>ns</sup>
<b>Média</b>	<b>9,7</b>	<b>17,4</b>	<b>7,6</b>	<b>13,0</b>	<b>35,2</b>	<b>17,1</b>

Em que: DM = Deslocamento da máquina; BU = Busca; DR = Derrubada; TO = Tombamento; PR = Processamento; IT = Interrupções; \*significativo a 5%; e <sup>ns</sup> = não significativo ao teste t ao nível de 5% de probabilidade de erro.

Nas duas classes de declividade do terreno foram encontrados o grau de disponibilidade mecânica médio de 96,0%, a disponibilidade técnica média de 86,3% e a eficiência operacional média de 82,8%,

sem diferença estatística pelo teste t ao nível de 5% de probabilidade de erro em ambas as classes de declividade do terreno (Tabela 3).

Tabela 3. Grau de disponibilidade mecânica e técnica, eficiência operacional e produtividade do *harvester* em povoamento de *Pinus taeda* submetidos ao desbaste, em duas classes de declividade do terreno.

Declividade	DM (%)	DT (%)	EO (%)	PR (m <sup>3</sup> cc he <sup>-1</sup> )
0° - 12°	94,5 <sup>ns</sup>	87,6 <sup>ns</sup>	82,8 <sup>ns</sup>	21,64*
12° - 24°	97,5 <sup>ns</sup>	84,9 <sup>ns</sup>	82,8 <sup>ns</sup>	19,40*
<b>Média</b>	<b>96,0</b>	<b>86,3</b>	<b>82,8</b>	<b>20,52</b>

Em que: DM = Grau de disponibilidade mecânica; DT = Grau de disponibilidade técnica; EO = Eficiência operacional; PR = Produtividade da máquina; \*significativo a 5%; e <sup>ns</sup> = não significativo ao teste t ao nível de 5% de significância.

A produtividade do *harvester* na operação de desbaste mostrou-se diretamente afetada pelo aumento da declividade do terreno. A maior produtividade foi obtida na classe de declividade de 0° a 12°, com uma média de 21,6 m<sup>3</sup>cc he<sup>-1</sup>, enquanto, que na classe de 12° a 24° a produtividade média foi de 19,4 m<sup>3</sup>cc he<sup>-1</sup>, com diferença estatística significativa pelo teste t ao nível de 5% de probabilidade de erro.

Os modelos ajustados para a estimativa da produtividade do *harvester* em função do volume individual por árvore e da declividade do terreno mostraram que tais variáveis influenciaram significativamente a produtividade da máquina. Na Tabela 4 são apresentados os modelos ajustados, onde verificou-se que apresentaram coeficiente de determinação ajustado elevado, variando de 0,87 a 0,98, com erro padrão de estimativa entre 10,49 e 35,23%.

Tabela 4. Coeficientes e estatísticas dos modelos ajustados para estimativa da produtividade do *harvester* em povoamentos de *Pinus taeda* submetidos ao desbaste em função da variável volume individual por árvore e declividade do terreno.

N	Modelos ajustados	R <sup>2</sup> aj	Syx	Syx%
1	PR = 273,461.vi - 580,671.vi <sup>2</sup> - 13,841(vi.D) + 29,357.(vi <sup>2</sup> .D) + 1,040.D	0,98	2,22	10,49
2	PR = 0,023.D <sup>2</sup> - 280,535.vi <sup>2</sup> + 234,345.vi - 5,662.(D.vi)	0,94	5,00	23,61
3	PR = 46,693.vi + 0,674.D	0,87	7,46	35,23

Em que: N = Número do modelo; PR = Produtividade da máquina (m<sup>3</sup>cc he<sup>-1</sup>); vi = Volume individual por árvore (m<sup>3</sup>cc); D = Declividade do terreno (graus); R<sup>2</sup>aj = Coeficiente de determinação ajustado; Syx = Erro padrão da estimativa (m<sup>3</sup>cc he<sup>-1</sup>); e, Syx% = Erro padrão de estimativa percentual (%).

Como melhor modelo, selecionou-se o modelo Meyer (Modelo 1), que apresentou o maior coeficiente de determinação ajustado (0,98) e menor erro padrão de estimativa (10,49%). A partir deste modelo, na Figura 1 é apresentado o resultado da modelagem da produtividade do *harvester* em

função do volume individual por árvore e do grau da declividade do terreno, onde é possível constatar que a produtividade reduziu com os baixos valores de volume individual por árvore e acréscimo da declividade do terreno.

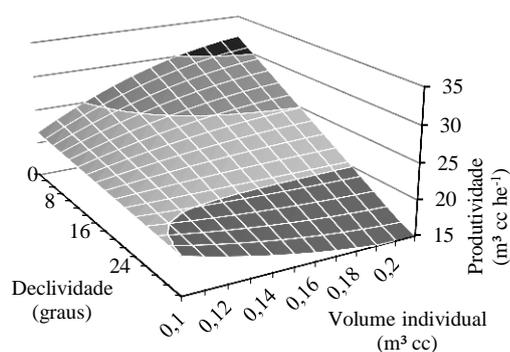


Figura 1. Variação da produtividade estimada do *harvester* em povoamentos de *Pinus taeda* submetidos ao desbaste em função do volume individual por árvore e declividade do terreno.

Na análise do ciclo operacional verificou-se que o processamento da árvore consumiu a maior parte do tempo do ciclo operacional, visto que estão contidas as etapas de desgalhamento, destopamento e traçamento, agregado pela necessidade de realização da separação dos sortimentos de serraria e celulose. Além disso, não houve diferença estatística significativa entre as classes de declividade.

A única atividade parcial do ciclo operacional que apresentou diferença significativa entre as duas classes de declividade do terreno foi o deslocamento da máquina, mostrando ser diretamente afetado por esta variável. Tal resultado se deve à maior dificuldade de deslocamento da máquina no interior do povoamento durante a execução do desbaste. Na classe de declividade de 0° a 12°, o *harvester* alcançou um maior número de árvores na mesma posição, enquanto que com o aumento da declividade do terreno, a máquina se deslocou em maior número de vezes para apanhar o mesmo número de árvores.

O grau de disponibilidade mecânica do *harvester* foi afetado diretamente pelas interrupções causadas pela necessidade de trocas de corrente do cabeçote processador. O grau de disponibilidade técnica foi afetado pelos deslocamentos no interior do talhão, acarretado pela dificuldade da máquina em proceder ao corte em sentido contrário em terrenos de maior declividade. Conseqüentemente, estas interrupções proporcionaram uma eficiência operacional média de 82,8%, considerada satisfatória, pois foi superior aos valores encontrados por diversos autores, como Lopes et al. (2007) com 80,3%; Silva et al. (2010) com 77,8% e Linhares et al. (2012) com 73,2%.

A produtividade do *harvester* na operação de desbaste mostrou-se diretamente afetada pelo aumento da declividade do terreno, ocasionado pela necessidade de maior movimentação da máquina para a visualização da árvore a ser derrubada, proporcionando um maior tempo do ciclo operacional.

As variáveis volume individual por árvore e declividade do terreno influenciaram diretamente a

produtividade do *harvester* em povoamentos submetidos ao desbaste. Os modelos ajustados se mostraram capazes de estimar a produtividade da máquina em função destas variáveis independentes, devido aos parâmetros estatísticos encontrados. Desta forma, observa-se o potencial da modelagem como uma ferramenta no planejamento das operações de colheita da madeira, para a geração de mapas de rendimentos do *harvester*, por meio da determinação de produtividade em função das características do povoamento e físicas do terreno.

## CONCLUSÕES

- O processamento da madeira com o *harvester* pode ser considerada a atividade parcial do ciclo operacional que contribuiu com a maior parte do tempo total em ambas as condições de declividade do terreno, enquanto que o deslocamento da máquina foi a atividade mais afetada pela declividade, ocasionada pela maior movimentação da máquina em terrenos de maior declividade;
- O grau de disponibilidade mecânica foi afetado pela necessidade de troca das correntes, enquanto a disponibilidade técnica pelos deslocamentos adicionais da máquina no interior do talhão ao final do corte da faixa de trabalho, ocasionado pela dificuldade da máquina em proceder ao corte em sentido contrário em terrenos de maior declividade;
- A produtividade do *harvester* reduziu na condição de maior declividade do terreno, sendo considerada uma variável importante no planejamento operacional; e
- O volume individual por árvore e declividade do terreno afetaram diretamente a produtividade do *harvester* na execução do corte em povoamentos submetidos ao desbaste, podendo ser empregados modelos estatísticos para a estimativa da produtividade da máquina por meio destas variáveis independentes.

## REFERÊNCIAS

- 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. *Árvore*, Viçosa, v. 26, n. 5, p. 525-532, 2002.
- BURLA, E. R. **Avaliação técnica e econômica do “harvester” na colheita do eucalipto**. 2008. 62 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- CAVIGLIONE, J. H.; KIIHL, L. R. B.; CARAMORI, P. H.; OLIVEIRA, D. **Cartas climáticas do Paraná**. Londrina: IAPAR; 2000. CD
- DAVEL, M. **Manejo de plantaciones: Boletín Técnico**. Argentina: Centro de Investigación y Extensión Forestal Andino Patagónico, Universidad Nacional de la Patagonia; 2009.
- INDUSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES - IBÁ, 2016, **Relatório anual da IBÁ 2016**, ano base 2015 Disponível em: <<http://www.iba.org>>. Acesso em: 30 Ago. 2016.
- LEITE E. S.; FERNANDES, H. C.; MINETTE, L. J.; LEITE, L. J.; GUEDES, I. L. Modelagem técnica e de custos do Harvester no corte de madeira de eucalipto no sistema de toras curtas. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, v. 41, n. 98, p. 205 – 215, 2013.
- LEITE, E. S. **Modelagem técnica e econômica de um sistema de colheita florestal mecanizada de toras curtas**. 2012. 109 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- LINHARES, M.; SETTE JÚNIOR, C. R.; CAMPOS, F.; YAMAJI, F. M. Eficiência e desempenho operacional de máquinas harvester e forwarder na colheita florestal. *Revista da Pesquisa Agropecuária Tropical*, Goiânia, v. 42, n. 2, p. 212 – 219, 2012.
- LOPES, E. S.; CRUZINIANI, E.; DIAS, A. N.; FIEDLER, N. C. Avaliação técnica e econômica do corte de madeira de pinus com cabeçote *harvester* em diferentes condições operacionais. *Floresta*, Curitiba, v. 37, n. 3, p. 305 – 313, 2007.
- LOPES, E.S.; DINIZ, C. C. C. Produtividade do trator florestal chocker skidder na extração de madeira em terrenos declivosos. *Floresta*, Curitiba, v. 45, n. 3, p. 625 – 634, 2015.
- NUUTINEN, Y.; VÄÄTÄINEN, K.; ASIKAINEN, A.; PRINZ, R.; HEINONEN, J. Operational efficiency and damage to sawlogs by feed rollers of the harvester head. *Silva Fennica*, Helsinki, v. 44, n. 1, p. 121-139, 2010.
- OIKARI, M.; KÄRHÄ, K.; PALANDER, T.; PAJUOJA, H.; OVASKAINEN, H. Analyzing the views of wood harvesting professionals related to the approaches for increasing the cost-efficiency of wood harvesting from young stands. *Silva Fennica*, Helsinki, 2010; 44(1): 481 - 495.
- SHIMIZU, J. Y. **Pinus na silvicultura brasileira**. Colombo: EMBRAPA, 2008, 223 p.
- SILVA, E. M.; MACHADO, C. C.; MINETTE, L. J.; SOUZA, A. P.; FERNANDES, H. C.; SILVA, M. L.; JACOVINE, L. A. Avaliação técnica e econômica do corte mecanizado de *Pinus sp.* com Harvester. *Árvore*, Viçosa, v. 34, n. 4, p. 745 – 753, . 2010.
- SILVA, E. M.; MACHADO, C. C.; MINETTE, L. J.; SOUZA, A. P.; FERNANDES, H. C.; SILVA, M. L.; JACOVINE, L. A. Avaliação técnica e econômica do corte mecanizado de *Pinus sp.* com harvester. *Árvore*, Viçosa, v. 34, n. 4, p. 745 – 753, . 2010.
- SIMÕES, D.; FENNER, P. T. Influência do relevo na produtividade e custos do *harvester*. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, v. 38, n. 85, p. 107-114, 2010.
- SPINELLI R.; LOMBARDINI C.; MAGAGNOTTI N. The effect of mechanization level and harvesting system on the thinning cost of Mediterranean softwood plantations. *Silva Fennica*, Helsinki, v. 48, n. 1, 2014.
- SWANN, K. **Techniques for production efficiency**. London: MacMillan, 1973.