

Avaliação técnica e econômica de um *harvester* trabalhando em diferentes condições de espaçamento e arranjo de plantio em povoamento de eucalipto

Technical and economical evaluation of a harvester, working under different spacing and planting arrangement conditions in eucalypts plantations

Ruben Jacques Martins¹, Fernando Seixas² e José Luis Stape³

Resumo

A escolha do espaçamento de plantio tem como objetivo inicial proporcionar para cada árvore o espaço suficiente para se obter o crescimento máximo com melhor qualidade e menor custo. Do ponto de vista da colheita mecanizada, o aumento da densidade da floresta implica diretamente na redução do volume individual das árvores, ocasionando também uma redução da capacidade produtiva do *harvester*. O objetivo deste estudo foi avaliar o efeito de diferentes espaçamentos e arranjos do plantio de povoamentos de eucalipto sobre a capacidade e custo operacional da colheita com *harvester*. A coleta de dados de produtividade do *harvester* foi feita em condições reais de operação, em dois povoamentos de eucalipto com diferentes espaçamentos: 6,0; 7,5; 9,0; 12,0; e 18,0 m² por árvore, além do uso de um simulador de colheita. Usando-se os valores das variáveis espaçamento (E), volume médio (VM), diâmetro à altura do peito (DAP) e altura (H) aplicou-se um teste de regressão *stepwise* e fez-se uma correlação para medir a participação dessas variáveis na capacidade operacional. Os custos operacionais dos equipamentos foram determinados através de um método contábil proposto pela FAO. O volume médio (VM) por árvore explicou 88 % da capacidade operacional do *harvester* e o espaçamento (E) afetou 8,5 %, sendo que o maior espaçamento é a causa do maior volume individual. Conseqüentemente, o custo da operação de colheita de árvores com *harvester* foi menor naqueles tratamentos com maior espaçamento.

Palavras-Chave: Colheita florestal, Mecanização florestal

Abstract

Plantation spacing selection has the primary objective of assigning each tree enough space for maximum growth and best quality to be attained with a minimum cost. From the harvest standpoint, an increase in stand density directly implies a decrease of individual tree volume, reducing also harvester productive capacity. The objective of this research is to assess the effects of several initial spacings and arrangements in eucalyptus plantations on production capacity, operational capacity and costs of forest harvester. Real operational data were collected from two eucalypt plantations at different initial spacing of 6.0, 7.5, 9.0, 12 and 18 m² per tree. Simulation data were obtained from a forest harvester simulator. Using spacing (E), mean tree volume (MV), diameter at breast height (DBH) and height (H) values, a stepwise regression test procedure was run, and correlations computed in order to measure their participation in operational capacity. Operational costs were computed with an accounting method proposed by FAO. Mean tree volume (MV) explained 88% of forest harvester operational capacity. Spacing (E) affected 8.5% of harvester operational capacity; wider spacings were related to higher individual tree volumes. Harvesting operation costs were lower in wider spaced treatments.

Keywords: Logging, Forestry mechanization

INTRODUÇÃO

O sucesso de qualquer empreendimento florestal passa, necessariamente, por um adequado planejamento da implantação de suas florestas, no que diz respeito à escolha da es-

pécie, procedência ou clone, do preparo e conservação do solo, da fertilização, do plantio, manejo e colheita final. Um dos principais aspectos envolvidos no manejo refere-se à correta densidade de árvores por unidade de área, no plantio e ao longo do ciclo da floresta, pois ela

¹Doutor em Recursos Florestais no Departamento de Ciências Florestais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" da Universidade de São Paulo - E-mail: rujacques@gmail.com

²Professor Associado do Departamento de Ciências Florestais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" da Universidade de São Paulo - Caixa Postal 9 - Piracicaba, SP - 13400-970 - E-mail: fseixas@esalq.usp.br

³Professor Associado do Department of Forestry and Environmental Resources - North Carolina State University - 3108 Jordan Hall - Campus Box 8008 - Raleigh, NC - 27695-8008 - USA - E-mail: jlstape@ncsu.edu

influenciará não só o crescimento individual das plantas, como também o seu crescimento conjunto (STAPE, 1995).

O espaçamento da plantação afeta as opções de manejo e o produto final através do regime de corte. A produção de madeira, polpa ou material para bioenergia, por exemplo, pode ser maximizada com diferentes espaçamentos de plantio, porque os produtos finais requeridos são diferentes. A seleção do espaçamento inicial afeta a ocupação do sítio, o tamanho médio da tora e qualidade da madeira, fator chave do componente da economia da plantação (PINKARD e NIELSEN, 2001).

A escolha do espaçamento tem como objetivo inicial proporcionar para cada árvore o espaço suficiente para se obter o crescimento máximo com melhor qualidade e menor custo. Durante a fase inicial de crescimento, a demanda de uma planta é, principalmente, por umidade e calor. Se estes elementos estão em quantidade adequada, qualquer sítio é capaz de suportar o crescimento inicial de um povoamento, mesmo com alta densidade. Entretanto, após alguns anos de crescimento, há um aumento na demanda e as árvores entram em competição por água, nutrientes, luz e pelo espaço para crescimento da copa e sistema radicular (CHIES, 2005).

Segundo Oliveira Neto *et al.* (2003), o espaçamento a ser adotado deve ser selecionado em função do produto florestal desejado, uma vez que, em espaçamentos mais amplos, a produção de matéria seca da parte aérea e, em especial, da madeira por árvore, é elevada em razão de seu maior crescimento em diâmetro, enquanto que em espaçamentos mais reduzidos ocorre maior produção de biomassa por unidade de área, em razão de ter um maior número de plantas. Em espaçamentos de 6, 9, 12 e 15 m² em arranjos de 3,0 x 2,0m; 3,0 x 3,0m; 3,0 x 4,0m e 3,0 x 5,0m encontrou-se que a produção de madeira teve uma resposta linear positiva para a variável área útil por planta, sendo considerado, neste caso, o espaçamento de 15 m² como o que proporcionou maior produção de matéria seca da parte aérea.

Do ponto de vista da colheita, o aumento da densidade da floresta implica diretamente na redução do volume individual das árvores, ocasionando também uma redução da capacidade produtiva do harvester (colhedora florestal) (BRAMUCCI e SEIXAS, 2002; BURLA, 2008). Essa redução pode ser atribuída à maior dificuldade de movimentação do equipamento e de enleiramento das árvores derrubadas. Essa

influência deve ser levada em conta na ocasião do plantio, sendo que, do ponto de vista da capacidade operacional dos equipamentos de colheita, a faixa ideal está entre 800 e 1200 árvores por hectare (BRAMUCCI e SEIXAS, 2002).

O efeito do diâmetro da árvore (DAP) sobre a produtividade do harvester foi estudado por Makkonen (1990), concluindo que a produtividade aumentava linearmente com o DAP até 22 centímetros, diminuindo logo após por problemas de remoção de galhos maiores.

Segundo Gingras (1994), o maior desempenho do harvester ocorre quando as árvores possuem um DAP entre 14 e 20 centímetros e, por tanto, um menor custo de colheita por metro cúbico. No entanto, algumas dificuldades podem afetar tal desempenho como: o menor comprimento das árvores e o maior diâmetro dos galhos.

A influência do comprimento das toras sobre a produtividade do harvester foi avaliada por Salmeron e Ribeiro (1998), concluindo que com o aumento do comprimento de 2,7 para 5,5 m obteve-se um ganho em produtividade (13,39 a 19,17 m³ h⁻¹) de 43 %, com a mesma floresta. Resultados similares foram encontrados por Winter (2002) em trabalhos com harvester na CENIBRA.

Diversos estudos comparativos entre sistemas de colheita com toras curtas apresentaram a variação da produtividade e dos custos de produção em função do volume por árvore, sendo que à medida que o volume por árvore aumenta a produtividade cresce e os custos de produção, conseqüentemente, diminuem (GINGRAS, 1996; SANTOS, 1999; ELIASSON, 1999; MACHADO *et al.*, 2002; SILVA, 2005).

A hipótese aqui considerada foi de que com o aumento do espaçamento do plantio e conseqüente aumento do volume médio por árvore, a capacidade operacional do harvester também será maior, reduzindo o custo operacional de corte por m³.

O objetivo deste estudo foi avaliar o efeito de diferentes espaçamentos e arranjos do plantio de povoamentos de eucalipto sobre a capacidade e custo operacional de corte de árvores com harvester.

MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi desenvolvido em duas etapas complementares, em condições operacionais reais de colheita de eucalipto e através do uso de um simulador de colhedora florestal. A segunda alternativa baseou-se na dificuldade existente de

colheita comercial em povoamentos de eucalipto com diferentes espaçamentos (E) e arranjos (A), havendo a necessidade do uso de simulação e posterior validação e comparação com dados reais. A coleta de dados em condições reais de operação foi feita em povoamentos de eucalipto pertencentes à companhia Votorantim Celulose e Papel S.A., assim como os dados de simulação foram obtidos em simulador do centro de treinamento pertencente à mesma empresa.

Locais

Os povoamentos de eucalipto onde foi acompanhada a operação de colheita estão localizados em duas regiões: Votorantim e Itapeva. A região do município de Votorantim está situada ao sudoeste do Estado de São Paulo, coordenadas geográficas 23° 32'19" S e 47°21'21" W. Trata-se de uma região de relevo montanhoso, com altitude média ao redor de 557 m, clima subtropical e temperatura média anual de 20°C, com máximas de verão em torno de 30°C e mínimas de inverno ao redor de 12°C, com a estação chuvosa concentrando-se de outubro a março. Segundo a classificação de Koeppen, a região de Votorantim é classificada como clima tipo "Cfa". A região de Itapeva localiza-se nas coordenadas geográficas 23° 51'11" S e 48° 52'09" W, com relevo escarpado, altitude de 684 metros, temperatura média anual 24°C e precipitação anual de 1800 mm. Segundo a classificação de Koeppen, Itapeva possui clima tipo "Cfb".

Descrição técnica do *harvester*

Neste trabalho foi avaliado o desempenho do *harvester* Timberjack 1270D, equipado com grua 210H e cabeçote 762C, cujas características técnicas estão agrupadas na Tabela 1.

Descrição dos sistemas de colheita

Na região de Votorantim trabalhou-se em povoamentos de eucaliptos com espaçamento de

9,0 m² e arranjos de 3,0 x 3,0m (tratamento 7) e 6,0 x 1,5m (tratamento 6) com diferentes eitos (Ei). O eito de colheita foi descrito com o posicionamento do *harvester* em relação ao número de fileiras de árvores que processava por vez e a direção de deslocamento da máquina. Para cada espaçamento e arranjo existia um eito de colheita padrão. Na região de Itapeva trabalhou-se em povoamentos de eucaliptos com espaçamento de 6,0, 7,5, 9,0 e 12,0 m², com arranjos de 3,0 x 2,0m (tratamento 4), 3,0 x 2,5m (tratamento 2), 3,0 x 3,0m (tratamento 1) e tratamento 3, com o mesmo arranjo que o tratamento 1, e 6,0 x 2,0m (tratamento 5) com diferentes eitos de colheita (Tabela 2).

Tabela 2. Tratamentos nas regiões de Itapeva e Votorantim.

Table 2. Treatments at Itapeva and Votorantim.

| Tratamentos | E* (m ²) | A* (mxm) | Ei |
|-------------------|----------------------|-----------|----|
| Itapeva | | | |
| 1 | 9,0 | 3,0 x 3,0 | 4 |
| 2 | 7,5 | 3,0 x 2,5 | 3 |
| 3 | 9,0 | 3,0 x 3,0 | 3 |
| 4 | 6,0 | 3,0 x 2,0 | 4 |
| 5 | 12,0 | 6,0 x 2,0 | 2 |
| Votorantim | | | |
| 6 | 9,0 | 6,0 x 1,5 | 2 |
| 7 | 9,0 | 3,0 x 3,0 | 4 |

* E = espaçamento; A = arranjo; Ei = eito de colheita

Coleta de dados

As coletas de dados nas regiões de Votorantim e Itapeva foram feitas em condições semelhantes de relevo plano, clima, nível de treinamento dos operadores e turno de trabalho (6h00 até 18h00). As variações permitidas foram quanto ao espaçamento, arranjos e as características das árvores (DAP, volume e altura).

Foi utilizado o "método multimomento" no estudo de tempos, o qual se baseia na frequência de ocorrência das atividades, onde o cronômetro gira continuamente. Para isto se observou em intervalos de 10 segundos qual das ativida-

Tabela 1. Características técnicas do *harvester* Timberjack 1270.

Table 1. Technical characteristics of Timberjack 1270 forest harvester.

| | |
|-----------------------|-------------------------|
| Tipo Motor | John Deere 6081H turbo |
| Potência | 160 kW, (215 HP) |
| | SAE bruta 1400-2000 rpm |
| Máximo torque líquido | 1100 Nm (1440 rpm) |
| Tipo Transmissão | Hidrostático-mecânica |
| Velocidade Alta | 0-25 kmh ⁻¹ |
| Velocidade Baixa | 0-5 kmh ⁻¹ |
| Máxima tração | 160 kN |
| Eixo Traseiro | Rígido simples |
| Eixo Frontal | Oscilante duplo |
| Peso | 21500 (kg) |



des do ciclo de operação de colheita por árvore estava sendo desenvolvida, anotando-se então a sua frequência em um formulário de tempos de trabalho. Com o uso da equação 1, citada por Barnes (1977), determinou-se o tamanho da amostra, composta por ciclos com 44 árvores cada, para um nível de confiança estatística de 95 % e um erro de amostragem inferior a 5 %:

$$n \geq (t^2 cv^2) / e^2 \quad (1)$$

onde:

n = número mínimo de amostras,

t = valor de t (student) para o nível de probabilidade desejado e (n-1) graus de liberdade

CV = coeficiente de variação (%)

e = erro admissível, em percentagem (5%).

Foi feita uma primeira análise comparando-se os resultados de capacidade operacional efetiva da máquina, obtidos nas duas plantações comerciais de Votorantim e Itapeva. A capacidade operacional efetiva ($m^3 h^{-1}$) foi determinada em metros cúbicos sólidos sem casca por hora efetiva de trabalho, sendo representativa de cada talhão e obtida a partir do volume médio por árvore através da equação 2, a seguir:

$$Coe = Na.Va.he^{-1} \quad (2)$$

onde:

Coe = capacidade operacional efetiva ($m^3 h^{-1}$)

Na = número de árvores

Va = volume médio por árvore (m^3)

he = horas efetivamente trabalhadas (h)

Os dados de número de árvores, DAP, altura e volume médio por árvore foram obtidos através do inventário florestal fornecido pela empresa. As horas efetivamente (he) trabalhadas foram horas de trabalho gastas e medidas em cada ciclo.

No estudo de tempos e movimentos do ciclo operacional do harvester obtiveram-se os tempos parciais: deslocamento do cabeçote (DESLCAB): liberação da última tora e deslocamento até outra árvore; derruba (DERRUBA): inicia-se com o acionamento do sabre de corte até a manobra de derrubada; desgalhe e descascamento (DESCAS): árvore em posição horizontal com sabre

desativado e rolos e facas acionadas; traçamento (TRAÇAM): a partir da medição inicial ao traçamento da última tora; limpeza (LIMPAND): removendo galhos do terreno para melhorar o carregamento; deslocamento da máquina dentro do talhão (DESLMAQ): deslocamento da máquina base; e outros movimentos (OUTROS): movimentos como rebaixamento de toco e lubrificação da corrente.

Simulador de colheita

Desenhado para treinar operadores de harvester e forwarder, apresenta todas as funções das máquinas, assim como o instrumental de manipulação necessário para avaliar o treinamento e desempenho da interação máquina-operador. O simulador usado foi um John Deere Plusth, Versão 2.26, 2005.

O uso do simulador foi programado de acordo com as condições silviculturais encontradas no trabalho de Silva (2005), sendo simulados quatro espaçamentos e arranjos representativos dos tratamentos instalados pelo autor (Tabela 3). Da mesma forma que em Votorantim, em Itapeva empregou-se um estudo de tempo multimomento das diferentes fases da colheita simulada. Inicialmente desenhava-se o talhão virtual na tela do simulador e logo após o operador procedia à colheita, enquanto o tempo de colheita era avaliado. Logo após, com a exclusão de fileiras ou mudança no sentido do deslocamento da colhedora simulava-se o seguinte espaçamento e arranjo.

Análise estatística

Com os dados coletados em Votorantim e Itapeva, e dados do simulador, realizou-se uma análise da variância do tempo de processamento entre os diferentes tratamentos, aplicando-se o teste de Tukey ao nível de 5% no caso de diferenças entre os tratamentos. Usando os valores das variáveis espaçamento, volume médio por árvore, DAP e altura aplicou-se um teste de regressão *stepwise* com uso do programa SAS, para verificar o quanto cada variável explicava a capacidade operacional efetiva do harvester (Coe) e se fez uma correlação para medir a participação das mesmas no resultado final.

Tabela 3. Características dos talhões simulados.

Table 3. Simulated stand characteristics.

| E (m^2) | A (mxm) | Volume (m^3) | Altura (m) | DAP (cm) | Ei* | Capacidade (m^3h^{-1}) |
|-------------|-----------|------------------|------------|----------|-----|----------------------------|
| 6,0 | 3,0 x 2,0 | 0,190 | 18,58 | 14,7 | 4 | 20,3 |
| 9,0 | 3,0 x 3,0 | 0,190 | 18,58 | 14,7 | 2 | 20,4 |
| 12,0 | 6,0 x 2,0 | 0,225 | 19,42 | 15,7 | 4 | 22,4 |
| 18,0 | 6,0 x 3,0 | 0,189 | 18,40 | 14,7 | 2 | 19,9 |

*Ei = eito de colheita

Determinação do custo operacional

Para esta máquina foi feito um levantamento dos dados de custos operacionais e sua respectiva capacidade, sendo que a eficiência operacional, disponibilidade mecânica e utilização foram dados coletados da própria empresa. Para a determinação dos custos operacionais dos equipamentos utilizou-se um método contábil, com valores estimados e reais, sendo os custos fixos estimados pela metodologia proposta pela FAO (SESSIONS, 1987).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Estudo de tempo e movimentos

Os levantamentos dos dados de campo foram feitos nos meses de fevereiro de 2006 na região de Votorantim e em setembro do mesmo ano na região de Itapeva. A simulação foi feita no mês de setembro de 2006, em um Centro de Treinamento da VCP localizado na fazenda Glória, região de Jacaré. Os dados das características silviculturais de cada talhão destas regiões foram obtidos diretamente dos inventários da empresa VCP e são apresentados na Tabela 4.

Encontrou-se o tempo de colheita por atividade parcial e total para cada tratamento para as regiões de Votorantim e Itapeva. Os talhões 4 e 5, por terem características dendrométricas semelhantes, foram avaliados juntos com o tratamento 7.

Os tempos mais relevantes do ciclo de colheita são os quatro primeiros, sendo insignificantes os outros três (limpando, deslocamento de máquina e outros). O fato de que o deslocamento da máquina não tenha sido medido com este método é que muitas fases da operação foram feitas de forma simultânea (Tabela 5).

Observa-se que a maior proporção de tempo médio (s) do ciclo de colheita por árvore foi o de traçamento com 41,4 % dos tempos totais, seguido da fase de descascamento - desgalhe com 30 %. Nos tratamentos 6 e 7, apesar dos espaçamentos serem os mesmos, as diferenças podem ser explicadas pelo maior volume e altura das árvores no tratamento 6, com arranjo 6,0 x 1,5m, sendo

também a proporção de tempo de descascamento-desgalhe menor pelo mesmo fato. A diferença no deslocamento da máquina pode ser explicada pelo diferente arranjo, sendo maior porque o *harvester* apresentou um maior cuidado no manuseio da árvore para não quebrá-la no processo de derubada ao bater nas árvores ainda em pé.

Os valores de traçamento são similares em Votorantim e Itapeva, mas diferem do encontrado por Salmeron e Ribeiro (1998), que foi de 26 % com uma colhedora florestal Valmet-Sisu, com volume médio por árvore similar (0,25 m³) e condições de declividade de aproximadamente 25 %. Esta diferença pode ser explicada pelo maior tempo de deslocamento da máquina Valmet-Sisu, sendo que as atividades de traçamento e descascamento representavam 75 % do tempo total.

Trabalhou-se com as primeiras fases do ciclo de colheita que representam 98 % do tempo total de operação, deixando fora dessa análise os tempos de: limpando, deslocamento de máquina e outros. Na Tabela 5 verifica-se a diferença estatisticamente significativa entre as atividades parciais e total dos diversos tratamentos.

Observa-se nos tratamentos 1, 2, 4 e 5 que o tempo médio por árvore é probabilisticamente igual, ainda que com os diferentes valores de espaçamento, arranjo e eitos, pois a altura, DAP e volume por árvore são similares. No que se refere ao arranjo não parece haver efeito no tempo médio por ciclo de colheita nos casos dos arranjos 3,0 x 3,0m, 3,0 x 2,5m, 3,0 x 2,0m e 6,0 x 2,0m.

Entretanto, os tratamentos 3, 6 e 7 são diferentes dos citados anteriormente e entre si, se bem que o espaçamento é de 9,0 m² por planta nos três casos, com arranjos diferentes, sendo o tratamento 6 com 6,0 x 1,5m e os tratamentos 3 e 7 com mesmo arranjo de 3,0 x 3,0m. O que poderia explicar as diferenças seriam os valores de altura, DAP e volume, com uma particularidade no tratamento 3, que tem maior altura. Estes valores de tempo por árvore não diferem do encontrado por Salmeron e Ribeiro (1998), que foi de 38,7 segundos com árvores de 0,25 m³ de volume.

Tabela 4. Características dendrométricas dos talhões de Votorantim e Itapeva.

Table 4. Dendrometric characteristics at Votorantim and Itapeva stands.

| Tratamento* | E (m ²) | A (mxm) | Altura média (m) | DAP (cm) | Volume sc (m ³) |
|-------------|---------------------|-----------|------------------|----------|-----------------------------|
| 1 | 9,0 | 3,0 x 3,0 | 31,86 | 18,85 | 0,31 |
| 2 | 7,5 | 3,0 x 2,5 | 34,53 | 18,46 | 0,34 |
| 3 | 9,0 | 3,0 x 3,0 | 29,79 | 17,77 | 0,32 |
| 4 | 6,0 | 3,0 x 2,0 | 31,11 | 17,64 | 0,26 |
| 5 | 12,0 | 6,0 x 2,0 | 30,30 | 18,34 | 0,25 |
| 6 | 9,0 | 6,0 x 1,5 | 27,68 | 18,41 | 0,32 |
| 7 | 9,0 | 3,0 x 3,0 | 23,70 | 14,85 | 0,17 |
| 7 | 9,0 | 3,0 x 3,0 | 22,10 | 14,74 | 0,17 |

Tabela 5. Análise comparativa dos tempos médios (s) das atividades parciais e total por árvore dos tratamentos.
Table 5. Comparative analysis of average time(s) per tree for partial and total treatment activities.

| Tratamento | E (m ²) | DESLCAB* (s) | DERRUBA* (s) | DESCAS* (s) | TRAÇAM* (s) | TOTAL (s) |
|------------|---------------------|--------------|--------------|-------------|-------------|-----------|
| 1 | 9,0 | 3,89 a | 5,18 b | 12,31 b | 17,82 a | 41,31 a |
| 2 | 7,5 | 4,33 a | 5,54 b | 14,63 bc | 16,98 b | 41,91 a |
| 3 | 9,0 | 3,58 b | 4,86 ac | 13,98 b | 15,16 b | 37,57 c |
| 4 | 6,0 | 4,78 a | 5,19 b | 17,15 a | 16,77 b | 43,94 a |
| 5 | 12,0 | 4,28 a | 5,72 b | 16,60 ac | 17,21 b | 44,53 a |
| 6 | 9,0 | 1,37 bd | 8,34 a | 9,06 bd | 20,72 a | 44,06 d |
| 7 | 9,0 | 2,89 bc | 7,64 a | 7,64 bd | 16,33 b | 39,06 b |

Médias seguidas com a mesma letra na mesma coluna não diferem entre si pelo teste de "tukey" com 5 % de probabilidade.

*Deslcab = deslocamento da cabine; Derruba = corte da árvore; Descas = descascamento; Traçam = traçamento

Quanto ao deslocamento da máquina, esta observação difere das de Salmeron e Ribeiro (1998), com 22%, e Santos e Machado (1995), que relatam deslocamento médio de 10 % com um processador, sendo que no *harvester* existem movimentos simultâneos que não podem ser atribuídos ao deslocamento da máquina. Salmeron e Ribeiro (1998) mediram juntos os deslocamentos do cabeçote e da máquina base, o que parece ser mais lógico dada a dificuldade em identificar qual dos dois está acontecendo.

O tempo de deslocamento do cabeçote foi similar nos tratamentos 1, 2, 4 e 5, mesmo com o espaçamento, arranjo e eito diferentes. Os tratamentos 3 e 6, com mesmo espaçamento e volume por árvore, também apresentaram o mesmo resultado. No caso da diferença entre os tratamentos 6 e 7, onde os espaçamentos são os mesmos, o dobro da distância entre árvores na mesma linha (3,0 m contra 1,5 m), talvez possa explicar parte desta diferença. A fase de deslocamento do cabeçote, responsável por 9 % do ciclo total, foi menor que os valores encontrados por Santos e Machado (1995) e Salmeron e Ribeiro (1998), para volumes por árvore de 0,25 e 0,34 m³, respectivamente. O deslocamento do cabeçote da máquina não responde, com uma tendência clara, a diferentes espaçamentos e arranjos. Pelos resultados expostos, este fato pode ser explicado porque no momento da colheita, acontecem velocidades angulares simultâneas do cabeçote, da grua e da máquina base que dificultam a identificação de qual variável tem maior influência.

Na fase da derrubada, os tratamentos 1, 2, 4 e 5 têm o mesmo comportamento que a fase de deslocamento do cabeçote, fato este que pode ser explicado pelo DAP e volume, muito similar nos quatro tratamentos, sendo que a parte principal da derrubada é o tempo de corte, que tem relação direta com o quadrado do diâmetro (SESSIONS, 1987). Os tratamentos 3 e 7 têm diferença no DAP e volume médio por árvore, o que não explica a sua similaridade nesta fase. O tratamento 6 tem o

mesmo espaçamento que estes últimos, diferindo em volume médio e arranjo. Estes valores de derrubada foram coincidentes com os encontrados por Salmeron e Ribeiro (1998). Esta fase da máquina, que segura, corta e derruba está relacionada com o DAP das árvores, dado que a abertura das facas e rolos alimentadores é o começo da mesma.

A fase de descascamento-desgalhe apresenta cinco tratamentos similares, 1, 2, 3, 6 e 7, sendo que a altura das árvores é diferente em todos os tratamentos, com valores em metros entre 22,1 e 31,86 m. Nos tratamentos 4 e 5, com alturas similares (31,0 m), o tempo de descascamento-desgalhe é similar, sendo maior que os anteriores, fato este que pode ter relação com a altura. Bramucci e Seixas (2002) observaram um tempo constante de descascamento e desgalhe, independente do porte da árvore. O tempo desta fase atinge 33% do tempo total do ciclo, sendo maior que o encontrado por Salmeron e Ribeiro (1998), que foi de 27 %.

O maior percentual de tempo na atividade de traçamento foi de 47 %, coincidente com Santos e Machado (1995) e superior ao encontrado por Salmeron e Ribeiro (1998). Os tratamentos 1 e 6 não diferem entre si, o que pode ser explicado pelo DAP, altura e volume similares. Entretanto, os tratamentos restantes (2, 4 e 5) também não diferem entre si, mesmo tendo diferentes espaçamentos e arranjo, sendo que os tratamentos 3 e 7, com igual espaçamento e arranjo, não diferem dos anteriormente citados. O que resulta lógico é a relação entre altura da árvore e comprimento da tora, que neste caso foi de 6,80 m, o que define o número de vezes em que o sabre de corte é acionado.

Simulador

A simulação foi feita no mês de setembro de 2006, simulando-se quatro espaçamentos com seus respectivos arranjos e eito, conforme Tabela 6.

Foi realizada a análise da variância e houve diferença significativa entre os tratamentos simulados(s), para tanto se aplicou o teste de Tukey (Tabela 7).

Tabela 6. Tempo médio (s) por árvore em simulação com diferentes espaçamentos, arranjo e eito.**Table 6.** Average time(s) per tree in simulations using different spacing, arrangements and number of rows harvested.

| Tratamentos | E (m ²) | A (mxm) | Ei | Altura média(m) | Volume (m ³) | Tempo (s) |
|-------------|---------------------|---------|----|-----------------|--------------------------|-----------|
| 1s | 6,0 | 3,0x2,0 | 4 | 18,58 | 0,19 | 35 |
| 2s | 9,0 | 3,0x3,0 | 3 | 18,58 | 0,19 | 35 |
| 3s | 12,0 | 6,0x2,0 | 2 | 19,42 | 0,225 | 36 |
| 4s | 18,0 | 6,0x3,0 | 2 | 18,41 | 0,19 | 34 |

Tabela 7. Análise comparativa das médias de tempo(s) por ciclo de colheita.**Table 7.** Comparative analysis of average time(s) per harvest cycle.

| Tratamentos | Média(s) | Número de amostras |
|-------------|----------|--------------------|
| 1s | 35,01 ab | 10 |
| 2s | 35,04 ab | 10 |
| 3s | 36,00 a | 10 |
| 4s | 34,00 b | 10 |

Médias seguidas com a mesma letra não diferem entre si pelo teste de "tukey" com 5 % de probabilidade.

Observa-se que os tratamentos 3s e 4s diferem entre si, o que pode ser explicado pela diferença de volume médio por árvore, que é maior no tratamento 3s. Estes valores encontrados são próximos dos reais, sendo maiores do que os encontrados na simulação feita por Eliasson e Lageson (1998). Os resultados encontrados nos tratamentos simulados podem ser utilizados como "reais" para este tipo de comparação, dado que os tratamentos simulados seguem a mesma tendência que a colheita real, ou seja, o maior volume individual por árvore gera maior capacidade operacional da colhedora.

Capacidade operacional efetiva

Os valores encontrados foram calculados através da equação (2), sendo expressos em metros cúbicos por hora efetiva de colheita (m³he⁻¹) e agrupam-se na Tabela 8.

Tabela 8. Capacidade operacional do harvester (m³he⁻¹) por tratamento em Votorantim e Itapeva.**Table 8.** Operational capacity of forest harvester (m³he⁻¹) per treatment, at Votorantim and Itapeva.

| Tratamento | E (m ²) | Capacidade operacional (m ³ he ⁻¹) sc |
|------------|---------------------|--|
| 1 | 9,0 | 29,08 a |
| 2 | 7,5 | 29,92 a |
| 3 | 9,0 | 30,71 a |
| 4 | 6,0 | 21,34 b |
| 5 | 12,0 | 20,67 b |
| 6 | 9,0 | 29,27 a |
| 7 | 9,0 | 16,82 c |

Médias seguidas com a mesma letra não diferem entre si pelo teste de "tukey" com 5 % de probabilidade.

Obs.: sc = sólido sem casca.

Nesta situação os tratamentos 1, 2, 3 e 6, com espaçamentos de 7,5 e 9,0 m², têm maior Coe, devido ao maior volume médio por árvore (variando de 0,31 a 0,36 m³), seguido dos tratamentos 4 e 5, com espaçamento de 6,0 e 12,0 m², indicando a influência do volume médio por árvore, fato que também foi comprovado por Oliveira Neto *et al.* (2003), Bramucci e Seixas (2002), Burla (2008) e Eliasson e Lageson (1998). Santos e Machado (1995) observaram a mesma tendência sobre a capacidade operacional do equipamento, à medida que se aumentava o volume por árvore, sendo que o custo de processamento teve comportamento inverso. Em todos os tratamentos não se verificou influência direta das variáveis arranjo e eito.

Nos casos simulados, os dados foram calculados com os valores da Coe para a pesquisa de espaçamento e arranjo com diferentes clones instalados na Fazenda Águas Virtuosas. Para espaçamento (E) de 6,0 m², optou-se pelo tempo médio de 35 segundos por árvore, obtido em simulação, para o caso de 10,5 m² o valor de 36 segundos e para 15,0 m² o tempo foi de 34 segundos. Também os valores simulados foram calculados com a equação (2), sendo expressos em metros cúbicos sc (sem casca), por hora efetiva de colheita (m³he⁻¹) para o clone B.

Estes valores simulados e calculados são apresentados na Figura 1, sendo neste caso influência direta do volume médio por árvore. Para o clone A os cálculos foram feitos usando-se os valores de Coe do *harvester* (Figura 2). Concluiu-se que quanto maior o espaçamento maior o volume e, portanto, maior a capacidade operacional em ambos os casos.

Seguindo este raciocínio, calculou-se a relação existente entre a Coe com as variáveis: espaçamento, volume médio, DAP e altura. Usando os valores das variáveis aplicou-se um teste de regressão *stepwise*, para verificar o quanto uma variável explica a Coe, e quando se fez a correlação resultou na eliminação da variável DAP por ter colinearidade com o volume médio. A primei-

ra variável analisada foi o volume médio, como aparece na Tabela 9, sendo a mesma significativa no modelo.

Seguindo o processo, avaliou-se o efeito de agregar a variável espaçamento (Tabela 10), sen-

do que as variáveis volume médio e espaçamento foram significativas no modelo.

No caso da variável altura o efeito foi significativo no modelo, mas menor que as duas anteriores como demonstrado na Tabela 11.

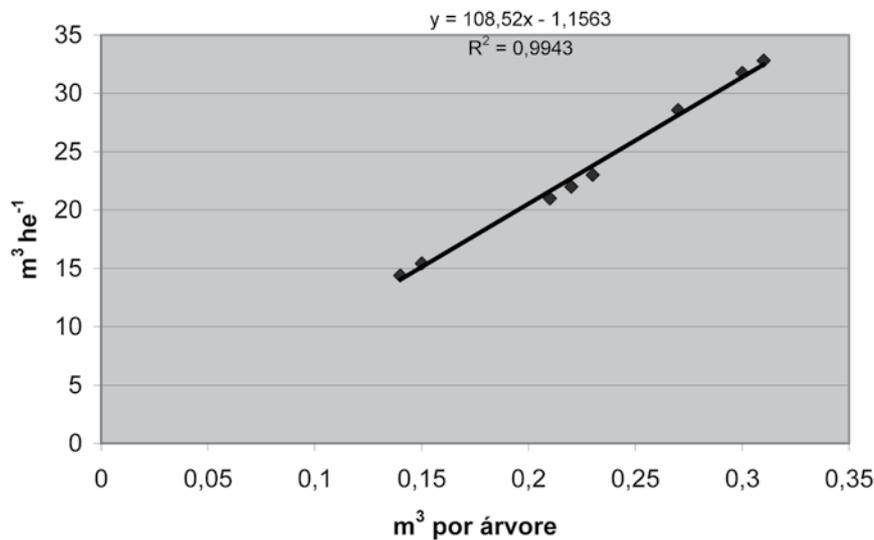


Figura 1. Capacidade operacional efetiva da colhedora calculada no clone B ($R^2 = 0,994$).
Figure 1. Effective operational capacity of harvester computed for clone B ($R^2 = 0,994$).

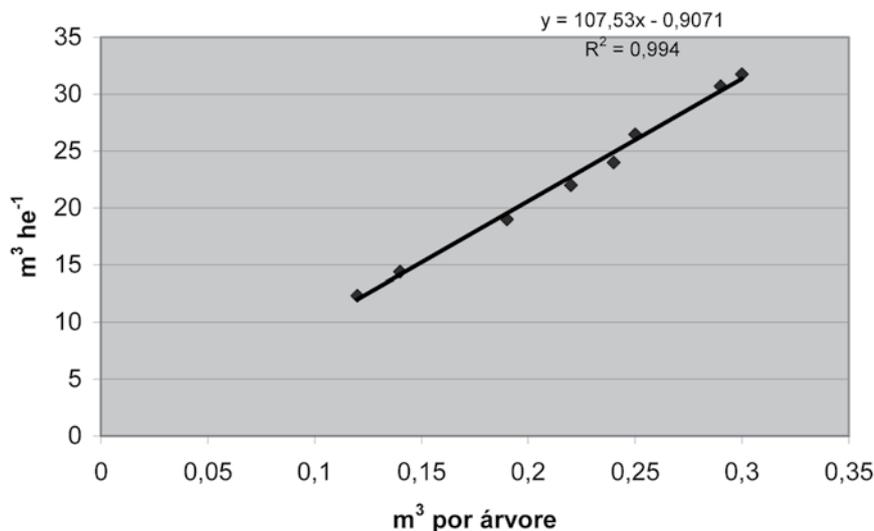


Figura 2. Capacidade operacional efetiva da colhedora calculada do clone A ($R^2 = 0,994$).
Figure 2. Effective operational capacity of harvester computed for clone A ($R^2 = 0,994$).

Tabela 9. Análise de regressão, variável dependente Capacidade Operacional (m^3he^{-1}), variável volume médio por árvore, passo 1.

Table 9. Regression analysis, dependent variable Operational Capacity (m^3he^{-1}), variable average volume per tree, step 1.

| Variável | Parâmetro Estimado | Desvio Padrão | Tipo II | F | Pr>F |
|--------------|--------------------|---------------|---------|--------|---------|
| Intercepto | 1,89 | 1,68 | 6,73 | 1,28 | 0,269 |
| Volume médio | 91,01 | 6,98 | 889,56 | 169,59 | <0.0001 |

Tabela 10. Análise de regressão, variável dependente Capacidade Operacional (m^3he^{-1}), volume médio e espaçamento, passo 2.

Table 10. Regression analysis, dependent variable Operational Capacity (m^3he^{-1}), average volume and spacing, step 2.

| Variável | Parâmetro Estimado | Desvio Padrão | Tipo II | F | Pr>F |
|--------------|--------------------|---------------|---------|--------|---------|
| Intercepto | -0,0663 | 0,958 | 0,00068 | 0,00 | 0,940 |
| Espaçamento | 0,7064 | 0,0959 | 85,84 | 54,26 | <0,0001 |
| Volume médio | 68,85 | 4,88 | 315,24 | 199,27 | <0,0001 |

Tabela 11. Resumo do modelo de regressão stepwise.

Table 11. Summary of stepwise regression model.

| Variável | Número de variáveis | R ² parcial | R ² modelo | F | Pr>F |
|--------------|---------------------|------------------------|-----------------------|--------|---------|
| Volume médio | 1 | 0,8806 | 0,8806 | 169,69 | <0,0001 |
| Espaçamento | 2 | 0,085 | 0,9655 | 54,26 | <0,0001 |
| Altura | 3 | 0,0088 | 0,9744 | 7,21 | 0,0139 |

Como detalhado na Tabela 11, a maior contribuição com a variável Capacidade Operacional efetiva é a do volume médio por árvore, seguido da variável espaçamento, que explica 8,5 %. Mesmo a variável altura é significativa no modelo, no entanto esse valor não chega a 1 %. Nessa situação do trabalho é preferível manter os valores de predição do passo 2, resultando a regressão da capacidade operacional efetiva estimada pela seguinte expressão:

$$Coe (m^3he^{-1}) = -0,063 + 0,706 \text{ Espaçamento} + 68,849 \text{ Volume médio} \quad (3)$$

Custo operacional

Com o objetivo de quantificar o efeito do espaçamento e arranjo no custo final da colheita, foram utilizados os dados calculados de Coe da colhedora obtidos nas regiões de Votorantim e

Itapeva, assim como os simulados na pesquisa feita por Silva (2005).

Os custos fixos e variáveis calculados atingiram um total de US\$113,28 he^{-1} , representando 68 % para os custos fixos e 32 % de custos variáveis (Tabela 12). O valor de aquisição do *harvester* foi de US\$530,000.00, com 20% de valor residual, vida útil estimada em 20.000 horas, eficiência operacional de 72%, com o operador trabalhando 48 semanais e recebendo um salário de US\$746.00. No que refere a relação entre espaçamento e custos totais, conforme expresso na Figura 3, os plantios de eucalipto com espaçamentos maiores têm custos menores de corte com *harvester*.

Plantios com maior espaçamento resultam em árvores com maior volume médio, que por sua vez significa menor custo de colheita, tendência verificada por Bramucci e Seixas (2002), Holtzcher e Lanford (1997), Rezende (1983), Burla (2008), entre outros.

Tabela 12. Valores dos componentes de custos fixos e variáveis (US\$ he^{-1}).

Table 12. Values of fixed and variable costs components (US\$ he^{-1}).

| Custos | | | |
|-------------|-------|-----------------------|-------|
| Fixos | US\$ | Variáveis | US\$ |
| Depreciação | 31.00 | Combustíveis | 22.00 |
| Juros | 3.62 | Lubrificantes | 11.00 |
| Seguro | 0.08 | Consertos, manutenção | 35.00 |
| Estrutura | 1.90 | Pneus | 5.00 |
| | | Sabre e corrente | 1.00 |
| | | Mão de obra | 4.00 |

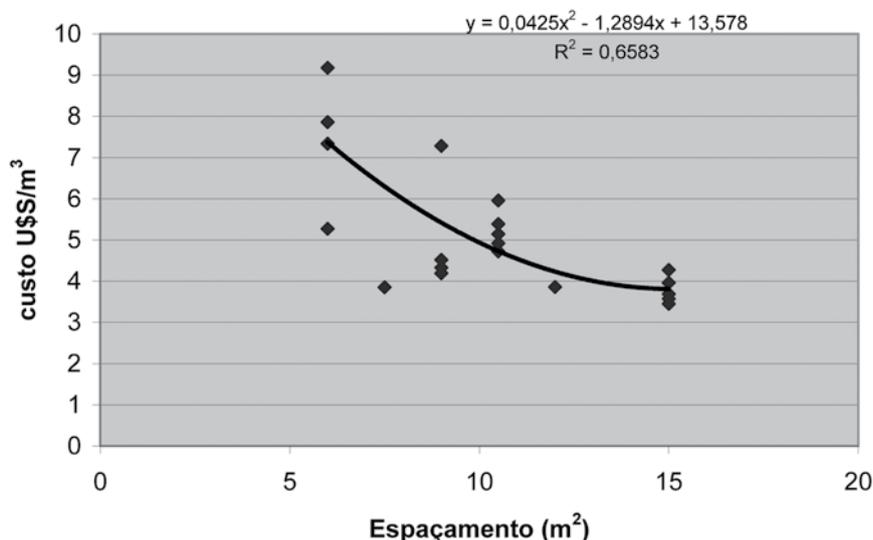


Figura 3. Custo de colheita em função do espaçamento ($R^2 = 0,658$).

Figure 3. Harvest cost relative to the spacing ($R^2 = 0,658$).

CONCLUSÕES

O volume médio por árvore foi a variável que melhor explicou a capacidade operacional efetiva do *harvester*. Em seguida, espaçamentos maiores resultam em maior volume individual por árvore, que, conseqüentemente, influi no melhor desempenho do *harvester*.

O custo da operação de colheita de árvores com *harvester* foi menor naqueles tratamentos com maior espaçamento.

Os resultados encontrados nos tratamentos simulados seguiram a mesma tendência que a colheita real, ou seja, com maior espaçamento obtém-se maior volume individual por árvore e, por tanto, maior capacidade operacional efetiva do *harvester*.

A maior proporção de tempo médio do ciclo de colheita por árvore foi o tempo de traçamento em condições de trabalho real, sendo que no caso da simulação da operação do *harvester* o maior tempo do ciclo foi de descasque-desgale.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio da Votorantim Celulose e Papel S.A.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARNES, R.M. *Estudo de movimentos e de tempos: projeto e medida do trabalho*. São Paulo: Edgard Blucher, 1977. 635p.

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.R. *Avaliação técnica e econômica do "harvester" na colheita do eucalipto*. 2008. 62p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2008.

CHIES, D. *Influência do espaçamento sobre a qualidade e o rendimento da madeira serrada de Pinus taeda L.* 2005. 123p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Setor Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

ELIASSON, L. Simulation of thinning with a single-grip harvester. *Forest Science*, Bethesda, v.45, n.1, p.26-34, 1999.

ELIASSON, L.; LAGESON, H. A simulation study of a single-grip harvester in thinning using two different harvesting regimes; thinning from below and from above. In: SEMINÁRIO DE ATUALIZAÇÃO SOBRE SISTEMAS DE COLHEITA DE MADEIRA E TRANSPORTE FLORESTAL, 10, 1998, Curitiba. *Anais...* Curitiba: UFPR / FUPEF, 1998. p.85-94.

GINGRAS, J.F. A comparative trial of two shortwood systems in southwestern Nova Scotia. *FERIC Field Note: Felling*, Pointe Claire, n.23, p.1-2, 1994.

GINGRAS, J.F. Evaluation of logmax harvester heads in Nova Scotia. *FERIC Field Note: Felling*, Pointe Claire, n.26, p.1-2, 1996.

HOLTZSCHER, M.A.; LANFORD, B.L. Tree diameter effects on cost and productivity of cut-to-length systems. *Forest Products Journal*, Madison, v.47, n.3, p.25-30, 1997.

MACHADO, C.C.; SANTOS, S.L.M.; SOUZA, A.P.; FERNANDEZ, H.C. Análise de custo de subsistemas de colheita de toras de eucalipto de diferentes comprimentos e volumes por árvore. *Revista Árvore*, Viçosa, v.26, n.1, p.73-81, 2002.

MAKKONEN, I. Evaluation of the TAPIO 400 and 550R *harvester* heads. *FERIC Technical Note*, Pointe Claire, n.155, p.1-8, 1990.

OLIVEIRA NETO, S.N.; REIS, G.G.; REIS, M.G.F.; NEVES, J.C.L. Produção e distribuição de biomassa em *Eucalyptus camaldulensis* Dehn. em resposta à adubação e ao espaçamento. *Revista Árvore*, Viçosa, v.27, n.1, p.15-23, 2003.

PINKARD, E.A.; NEILSEN, W.A. Crow and stand characteristics of *Eucalyptus nitens* in response to initial spacing: implications for thinning. *Forest Ecology and Management*, Amsterdam, v.172, p.215-227, 2001.

REZENDE, J.; PEREIRA, A.; OLIVEIRA, D. Espaçamento ótimo para produção de madeira. *Revista Árvore*, Viçosa, v.7, n.1, p.30-43, 1983.

SALMERON, A.; RIBEIRO, S.R. Colheita mecanizada de eucaliptos em regiões acidentadas. In: SEMINÁRIO DE ATUALIZAÇÃO SOBRE SISTEMAS DE COLHEITA DE MADEIRA E TRANSPORTE FLORESTAL, 10, 1998, Curitiba. *Anais...* Curitiba: UFPR/FUPEF, 1998. p.165-181.

- SANTOS, S.L.M. Análise comparativa entre sistemas de colheita com toras longas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE COLHEITA E TRANSPORTE FLORESTAL, 4, 1999, Campinas. **Anais...** Viçosa: SIF/UFV, 1999. p.73-87.
- SANTOS, S.L.M.; MACHADO, C.C. Análise técnico-econômica do processamento de madeira de eucalipto em áreas planas, utilizando o processador. **Revista Árvore**, viçosa, v.19, n.3, p.346-357, 1995.
- SESSIONS, J. Cost control in logging and road construction. In: FAO. Appropriate wood harvesting in plantation forest. **FAO Forestry Paper**, Rome, n.78, p.95-134, 1987.
- SILVA, C.R. **Efeito do espaçamento e arranjo de plantio na produtividade e uniformidade de clones de *Eucalyptus* na região nordeste do Estado de São Paulo.** 2005. 50p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.
- STAPE, J.L. **Utilização de delineamento sistemático tipo leque no estudo de espaçamentos florestais.** 1995. 104p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1995.
- WINTER, M.E. Mecanização da colheita florestal em áreas montanhosas no Brasil a experiência da Cenibra. In: SEMINÁRIO DE ATUALIZAÇÃO SOBRE SISTEMAS DE COLHEITA DE MADEIRA E TRANSPORTE FLORESTAL, 12, 2002, Curitiba. **Anais...** Curitiba: GRAFIVEN, 2002. p.110-120.

Recebido em 18/09/2008

Aceito para publicação em 21/07/2009

