

**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz**

Efeito do espaçamento e arranjo do plantio do eucalipto na capacidade operacional e custo da colheita com colhedora florestal

Ruben Jacques Martins

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em Recursos Florestais, com opção em Silvicultura e Manejo Florestal

**Piracicaba
2008**

Ruben Jacques Martins
Engenheiro Agrônomo

Efeito do espaçamento e arranjo do plantio do eucalipto na capacidade operacional e custo da colheita com colhedora florestal

Orientador:
Prof. Dr. **FERNANDO SEIXAS**

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em Recursos Florestais, com opção em Silvicultura e Manejo Florestal

Piracicaba
2008

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - ESALQ/USP**

Martins, Ruben Jacques

Efeito do espaçamento e arranjo do plantio do eucalipto na capacidade operacional e custo da colheita com colhedora florestal / Ruben Jacques Martins. - - Piracicaba, 2008.
84 p. : il.

Tese (Doutorado) - - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2008.
Bibliografia.

1. Colhedoras 2. Colheita - Custos 3. Espaçamento 4. Eucalipto 5. Mecanização florestal
6. Plantio I. Título

CDD 634.9734
M386e

“Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor”

AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de nível Superior- CAPES pela bolsa concedida.

Aos professores que acompanharam o desenvolvimento e tiveram a responsabilidade da participação no amadurecimento destas idéias, os quais servem-me de exemplo no meu trabalho.

Prof. Dr. Fernando Seixas, orientador, com grande dedicação.

Prof. Dr. José Luiz Stape por suas idéias.

Prof. Dr. Leonardo de Moraes Gonçalves, por inspiração ao pensamento.

Dr. Fabio Pogiani pela troca de idéias.

Dr. Luiz Carlos Estraviz pela clareza das idéias e conceitos.

Dr. Natal Gonçalves por seu conhecimento.

Dr. João Baptista Ferreira, pela assistência em estatística.

Dr. Marcos Milan pela formação em engenharia agrícola

Dr. José Paulo Molin por sua excelente capacidade de formação

Dr. Tomas Caetano Ripoli por seu sentido construtivo.

Sra Marialice Pogiani e o pessoal da biblioteca pelo excelente serviço e amabilidade.

A todo o pessoal de colaboradores, Jefferson, Catarina, Marcelo, Igor, Margarete, Eliana, Celine.

Aos colegas do laboratório: José Mauro, Ana, Perseo, Abilio, Jaime, Luis Faria, Mauricio, Katia, e outros amigos.

SUMÁRIO

RESUMO	6
ABSTRACT	7
RESUMEN	8
LISTA DE FIGURAS	9
LISTA DE TABELAS	10
1 INTRODUÇÃO	12
2 DESENVOLVIMENTO	15
2.1 Revisão bibliográfica.....	15
2.2 Sistemas de colheita florestal	15
2.3 Características técnicas das principais máquinas do sistema de toras curtas	17
2.4 Fatores de influência nas operações de colheita de madeira	18
2.5 Capacidades de Campo Efetiva e Operacional de equipamentos agrícolas e florestais	21
2.6 Comportamento do eucalipto em diferentes espaçamentos e arranjos	23
3.1 Locais	27
3.2 Descrição técnica da colhedora florestal	28
3.3. Descrição dos sistemas de colheita.....	31
3.4 Coleta de dados.....	38
3.5 Simulador de colheita	40
3.5.1 Simulador: Características técnicas.....	41
3.5.2. Operação do simulador.....	43
3.6 Elementos do modelo empírico de colheita.....	45
3.7 Análise Estatística	55
3.8 Análise Econômica.....	55
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	56
4.1 Estudo de Tempo e Movimentos	56
4.2 Simulador	60
4.3 Capacidade operacional efetiva	62
4.4 Resultados do Modelo Empírico da Capacidade Operacional	69
4.5 Resultados da Análise Econômica.....	74
5 CONCLUSÕES	77

REFERÊNCIAS 78

ANEXO 83

RESUMO

Efeito do espaçamento e arranjo do plantio do eucalipto na capacidade operacional e custo da colheita com harvester

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; e 18 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 se fez 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 da colhedora florestal 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. Os tratamentos simulados podem ser utilizados como “reais” para este tipo de comparação, dado que os tratamentos usando o simulador seguem a mesma tendência que a colheita real, ou seja, a maior espaçamento, maior volume individual por árvore e por tanto maior capacidade operacional 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 colhedora o maior tempo do ciclo foi de descasque-desgalhe. O modelo empírico apresentado pode ser uma ferramenta válida para predição de capacidade operacional do *harvester*.

Palavras-chave: Colhedoras; Colheita-Custos; Espaçamento; Eucalipto; Mecanização florestal; Plantio

ABSTRACT

The effects of spacing and arrangement of eucalypt plantations on operational capacity and costs of a forest harvester

Plantation spacing selection has the primary object of assigning each tree enough space in which maximum growth and best quality can 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 spacing and arrangement in eucalypt plantations on production capacity and operational capacity and costs of forest harvester. Real operational data were collected from two eucalypt plantations at different initial spacing, viz. 6.0, 7.5, 9.0, 12 and 18 m² per tree. Simulation data were obtained from forest harvester simulator. Using spacement (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 accounting method proposed by FAO. Mean tree volume (MV) explained 88% of forest harvester operational capacity. Spacement (E) affected 8.5% of harvester operational capacity; wider spacements were related to higher individual tree volumes. Harvesting operation costs were lower in wider spaced treatments. Simulated treatments can be used as in field conditions. Treatments under simulated conditions and real conditions had the same results: the wider the spacement, more individual volume tree and higher harvester operational capacity. The higher time of the harvest cycle was the cross-cutting operation in real conditions and the debarked and delimiting in simulated conditions. The empirical model can be a valid tool to predict the harvester operational capacity

Keywords: Harvester, Harvest Cost; Spacing, Eucalypt, Forest Mechanization, Plantation.

RESUMEN

Efecto del espaciamiento y del arreglo de las plantas de eucalipto en la capacidad operacional y el costo de la cosecha con harvester

La elección del espaciamiento de las plantas tiene como objetivo principal proporcionar para cada árbol el espacio suficiente para obtener el máximo crecimiento con la mejor calidad y menor costo. Del punto de vista de la cosecha mecanizada, el aumento de la densidad de plantas implica directamente en la reducción del volumen individual de los árboles, ocasionando también una reducción de la capacidad productiva del harvester. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de diferentes espaciamientos y arreglos de plantas en poblaciones de eucalipto sobre la capacidad operacional de la cosecha con harvester. Los datos relevados de productividad fueron hechos en condiciones reales de operación, en dos poblaciones de eucalipto con diferentes espaciamientos: 6,0; 7,5; 9,0; 12; y 18 m² por árbol, además del uso de un simulador de cosecha. Usando los valores de las variables espaciamiento (E), volumen medio (VM), diámetro a la altura del pecho (DAP) y altura (H) se aplicó un test de regresión “stepwise” y se hizo una correlación para medir la participación de estas variables en la capacidad operacional. Los costos operacionales de los equipos fueron determinados a través de un método contable propuesto por FAO. El volumen medio (VM) por árbol explico el 88 % de la capacidad operacional de la cosechadora forestal y el espaciamiento (E) afecto 8,5 %, siendo que el mayor espaciamiento es la causa del mayor volumen individual. Consecuentemente, el costo de la operación de cosecha de árboles con *harvester* fue menor en aquellos tratamientos con mayor espaciamiento. Los tratamientos simulados pueden ser utilizados como “reales” para este tipo de comparación, debido a que los tratamientos simulados siguen la misma tendencia que la cosecha real, o sea, a mayor espaciamiento, mayor volumen individual por árbol y por tanto mayor capacidad operacional del *harvester*. La mayor proporción del tiempo medio del ciclo de cosecha por árbol fue el tiempo de trozado en condiciones de trabajo real, siendo que en el caso de la simulación de la cosechadora, el mayor tiempo del ciclo fue el de descortezado-desgaje. El modelo empírico presentado puede ser una herramienta válida para la predicción de la capacidad operacional de *harvester*.

Palabras-clave: Cosecha forestal; Mecanización forestal

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Vista lateral da colhedora florestal 1270D	31
Figura 2 - Eito de colheita em povoamento de eucalipto com arranjo 3,0 x 3,0 m.....	32
Figura 3 - Eito de colheita em povoamento de eucalipto com arranjo 6,0 x 1,5 m.....	33
Figura 4 - Eito de colheita em povoamento de eucalipto com arranjo 6,0 x 2,0 m.....	34
Figura 5 - Eito de colheita em povoamento de eucalipto com arranjo 3,0 x 2,0 m.....	35
Figura 6 - Eito de colheita em povoamento de eucalipto com arranjo 3,0 x 3,0 m.....	36
Figura 7 - Eito de colheita em povoamento de eucalipto com arranjo 3,0 x 2,5 m.....	37
Figura 8 - Eito de colheita em povoamento de eucalipto com arranjo 3,0 x 3,0m.....	38
Figura 9 - Monitor do simulador semelhante ao da colhedora Timberjack 1270D.....	42
Figura 10 - Janela da área de treinamento mostrando área e trajetória da colhedora assim como o eito de colheita	43
Figura 11 - Arranjo da máquina no comprimento a e b	46
Figura 12 - Vista horizontal do movimento, giro da base da grua; ângulo α (alfa)	47
Figura 13 - Abertura da grua, vista lateral.....	49
Figura 14 - Ângulo de giro e tensão do cabeçote	50
Figura 15 - Comprimento do descascamento-desgalhe.....	51
Figura 16 - Fluxograma de funcionamento da colhedora florestal.....	54
Figura 17 - Capacidade operacional efetiva da colhedora calculada do clone C041	65
Figura 18 - Capacidade operacional efetiva da colhedora calculada do clone C219.....	67
Figura 18 - Capacidade operacional calculada em função do volume médio por árvore.....	71
Figura 19 - Capacidade operacional efetiva calculada em função espaçamento.....	72
Figura 20 - Capacidade operacional efetiva calculada em função do espaçamento com volume médio por árvore constante	73
Figura 21 - Horas por hectare em função do espaçamento	74
Figura 22 - Custo de colheita em função do espaçamento	75

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características do solo dos talhões do estudo na região de Votorantim	28
Tabela 2 - Características do solo dos talhões do estudo na região de Itapeva	28
Tabela 3 - Características técnicas da colhedora florestal Timberjack 1270D.....	29
Tabela 4 - Características técnicas do cabeçote 762C	30
Tabela 5 - Tratamentos na região de Votorantim	31
Tabela 6 - Tratamentos na região de Itapeva.....	34
Tabela 7- Tratamentos de espaçamentos e arranjo de plantio com clones de <i>Eucalyptus</i>	44
Tabela 8 - Características dos talhões simulados	45
Tabela 9 - Características dendrométricas dos talhões de Votorantim e Itapeva	56
Tabela 10 – Tempos parcial e total (s) do ciclo de colheita medidos nos tratamentos 1 a 7 em Votorantim e Itapeva	57
Tabela 11 - Análise comparativa das médias de tempos (s) das atividades parciais e total dos tratamentos	58
Tabela 12 - Tempo médio (s) por árvore em simulação com diferentes espaçamentos, arranjos e eito de colheita.....	60
Tabela 13 - Análise comparativa das médias de tempo (s) por ciclo de colheita.....	61
Tabela 14 - Tempos parcial e total (s) do ciclo de colheita medidos em quatro arranjos simulados	61
Tabela 15 – Capacidade operacional ($m^3 \text{ he}^{-1}$) da colhedora florestal por tratamento em coletados em Votorantim e Itapeva	62
Tabela 16 - Capacidade operacional efetiva ($m^3 \text{ he}^{-1}$) do simulador da colhedora em diferentes espaçamentos e arranjos	63
Tabela 17 – Capacidade operacional efetiva da colhedora florestal ($m^3 \text{ he}^{-1}$) simulados e calculados com diferentes espaçamentos e arranjo, valores calculados para o Clone C041 .	64
Tabela 18 - Capacidade operacional da colhedora florestal ($m^3 \text{ he}^{-1}$) simulados e calculados com diferentes espaçamentos e arranjo, valores calculados para o Clone C219.....	66
Tabela 19 - Análise de regressão, variável dependente Capacidade operacional efetiva ($m^3 \text{ he}^{-1}$), variável volume médio por árvore, passo 1	67
Tabela 20 - Análise de regressão, variável dependente Capacidade operacional efetiva ($m^3 \text{ he}^{-1}$), volume médio e espaçamento, passo 2.....	68

Tabela 21 - Análise de regressão, variável dependente Capacidade operacional efetiva ($m^3 \text{ he}^{-1}$), altura, espaçamento e volume médio, passo 3.....	68
Tabela 22 - Resumo do modelo de regressão “stepwise”.....	68
Tabela 23 - Tempos de giro da grua em diferentes E, A e E_i	70
Tabela 24 - Valores dos componentes de custos fixos e variáveis ($\text{US\$ he}^{-1}$).....	75

1 INTRODUÇÃO

No contexto mundial florestal o Brasil é o segundo país em plantações de eucalipto, possuindo a maior área da América Latina, 2,965 milhões de hectares, 22% do total mundial (FLYNN; ASSOCIATES, 1999 apud MORA; GARCIA, 2000), seguido do Uruguai com 428.000 hectares (EUFORES, 2004). O setor florestal do Brasil representou em 2004, 16 % do total das exportações oriundas do agronegócio, o segundo lugar no ranking de produtos agrícolas, com produtos florestais predominantemente originados em florestas plantadas (BRACELPA, 2004). Esse resultado do segmento de florestas plantadas é fruto de pesquisa e desenvolvimento, que melhoram a produtividade média dos eucaliptos, e do investimento na otimização do cultivo, na colheita e no transporte (IPEF, 2005) (Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais). O setor de celulose e papel realiza, entre plantios e reformas de eucalipto, cerca de 180 mil ha/ano, programando-se até o ano 2012 um total de 1,6 milhões de hectares de novos plantios (BRACELPA, 2003), sendo que em 2004 atingiu-se a marca de 400 mil hectares. O plantio de eucaliptos desempenha, a nível nacional, um importantíssimo papel sócio-econômico ao gerar uma gama de produtos florestais como celulose, papel, chapas, carvão, madeira para energia, serraria, construções, postes, dormentes, além de óleos essenciais e mel (STAPE, 1995).

O sucesso de qualquer empreendimento florestal passa, necessariamente, por um adequado planejamento da implantação de suas florestas, no que diz respeito à escolha da espécie, procedência ou clone, do preparo e conservação do solo, da fertilização, do plantio, manejo e colheita final. Um dos principais aspectos envolvidos no manejo se refere à correta densidade de árvores por unidade de área, no plantio e ao longo do ciclo da floresta, pois ela 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; NIELSEN, 2001).

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, 2002). 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. A perda de capacidade também se dá no caso do descascamento, pois o tempo de descasque é independente, até certo ponto, do porte das árvores (BRAMUCCI, 2002).

A produtividade e custo em um sistema de colheita com toras curtas em *Eucalyptus globulus* são afetados pelas condições do terreno, planejamento operacional, volume e forma da árvore, comprimento das árvores e sortimento das toras, assim como a formação das pilhas de toras tem relação direta com o eito de colheita, sugerindo menor eito para diminuir o tempo total. O tempo de desgalhe e toragem foi influenciado pelo rendimento das toras (tanto em número como em comprimento) e teve uma relação direta com o volume e forma da árvore. (SPINELLI et al.; 2002).

O efeito do DAP sobre a produtividade do *harvester* foi estudado por Makkonen (1990), quem considera que para três modelos de cabeçote de *harvester* a produtividade aumenta linearmente com o DAP até 22 centímetros, logo, diminui por problemas de remoção de galhos grandes.

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 tais como: o comprimento das árvores e o maior diâmetro dos galhos.

Salmeron e Ribeiro (1998), trabalhando com a influência do comprimento das toras sobre a produtividade do *harvester*, chegaram ao resultado de que com o aumento do comprimento obteve-se um ganho em produtividade (13,39 a 19,17 m³.h⁻¹) de 43 %, com a mesma floresta, similares resultados foram encontradas por Winter (2002) em trabalhos com *harvester* na CENIBRA.

Gingras (1996), Santos (1999), Eliasson (1999) e Machado et al. (2002), em estudo comparativo entre sistemas de colheita com toras curtas, apresenta 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.

Hipótese:

Com o aumento do espaçamento do plantio e conseqüente aumento do volume médio por árvore, a capacidade operacional da colhedora florestal também será maior, reduzindo o custo operacional de corte por m³.

Objetivo:

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 colhedora florestal.

Gerar um modelo empírico da capacidade operacional da colhedora em diferentes espaçamentos e arranjos do plantio de povoamentos de eucalipto.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Revisão bibliográfica

O planejamento da produção de madeira de uma empresa florestal, geralmente, é determinado em função de vários aspectos que exercem influência direta ou indireta no custo final da sua produção. Dentre os mais importantes, pode-se citar; a qualidade do solo, espécie, espaçamento inicial, idade de corte e tratamentos silviculturais. Para plantios realizados no mesmo sítio, a escolha do espaçamento inicial do plantio influenciará no número de tratos silviculturais a serem efetuados, volume de madeira, sortimento, taxa de mortalidade e dominância, manejo e colheita, custos de produção entre outros (CHIES, 2005).

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 radicial (CHIES, 2005).

2.2 Sistemas de colheita florestal

No Brasil, a modernização das operações de colheita florestal iniciou-se na década de 70, quando a indústria nacional começou a produzir alguns maquinários e equipamentos específicos. Naquele período surgiram as motosserras profissionais, os tratores agrícolas equipados com pinça hidráulica traseira, denominados mini *Skidder*, *Skidders* (trator arrastador) e os auto-carregáveis. Na década de 80, vieram os *Feller-Bunchers* (trator derrubador-acumulador) e grades desganhadoras. Com a abertura das importações em 1994, o aumento no custo da mão-de-obra, a necessidade de executar o trabalho de forma mais ergonômica, de se ter maior eficiência e diminuição dos custos de produção, levaram muitas empresas a iniciar a mecanização da colheita de forma mais intensiva (SANTOS, 1995; MACHADO, 2002).

A colheita florestal pode ser definida como um conjunto de operações efetuadas no maciço florestal, que visa preparar e extrair a madeira até o local de transporte, fazendo-se uso de

técnicas e padrões estabelecidos, com a finalidade de transformá-la em produto final (MACHADO, 2002).

O sistema de colheita pode ser definido também como um conjunto de atividades, integradas entre si, que permitem o fluxo constante de madeira evitando-se os pontos de estrangulamento e levando os equipamentos à sua máxima utilização (SEIXAS, 1998).

De acordo com as condições locais, há uma combinação de atividades manuais e mecânicas dentro de cada sistema de colheita de madeira, as quais se baseiam essencialmente no comprimento das toras a serem retiradas da floresta. Existem cinco sistemas de colheita de madeira no que se refere à forma da matéria-prima: sistemas de toras curtas, sistemas de toras longas, sistemas de árvores inteiras, sistemas de árvores completas e sistemas de cavaqueamento (MALINOVSKI et al., 2002).

No sistema de toras curtas, todo o processamento da madeira (desgalhamento, destopo, toragem ou traçamento e descascamento) é feito no canteiro de corte onde a árvore foi derrubada. As toras produzidas medem até 6 metros, dependendo do índice de mecanização. Este sistema usa geralmente um módulo composto por um *Harvester* (colhedora florestal) e um *Forwarder* (trator autocarregável), (SEIXAS, 1998). Essas máquinas são consideradas de baixo impacto no solo (MALINOVSKI, 2002; ATHANASSIADIS; WÄSTERLUND, 1998; SALMERON et al., 1998), além de deixar os resíduos da colheita (casca e galhada) no talhão, diminuindo o custo de reposição de nutrientes e o custo do transporte em proporção à casca que não é transportada (MIRANDA et al., 2002).

No sistema de toras longas, a árvore é derrubada e eventualmente desgalhada no local de corte e a madeira posteriormente desdobrada à margem dos carregadores (SEIXAS, 1998). O sistema de árvores inteiras implica remover do talhão a árvore sem raízes, como operação subsequente ao corte. O processamento completo é feito em local previamente escolhido. Esse sistema requer elevado índice de mecanização. O sistema de árvores completas tem como estratégia retirar a árvore, inclusive as raízes, de forma que seja possível a utilização de toda a árvore. No sistema de cavaqueamento, as árvores são derrubadas, desgalhadas, descascadas e transformadas em cavacos dentro do talhão (MALIVNOSKI et al., 2002).

A mecanização florestal intensiva no Brasil é irreversível e a velocidade de concretização será estabelecida pela política econômica e industrial do governo, bem como pelos custos e disponibilidade de mão de obra (MACHADO, 2002). Os tratores florestais usados nas

diversas etapas da colheita mecanizada são de grande porte, com massa de 15 a 20 Mg, com potência no motor de 120 a 340 kW, maior velocidade de deslocamento, permitindo grande mobilidade e proporcionando aumento na sua capacidade operacional, uma vez que realizam maior quantidade de trabalho em menos tempo.

Segundo Parise e Malinovski (2002), a globalização possibilitou um avanço muito rápido no processo de mecanização da colheita florestal no Brasil, com a substituição de máquinas de baixa tecnologia e produtividade por máquinas de alta tecnologia e alta produtividade, propiciando o aumento da competitividade. Para alcançar e manter a competitividade se faz necessário que os componentes do sistema Homem-Máquina se complementem e possam obter os benefícios que a evolução técnica pode proporcionar. Desta maneira, todas as prioridades devem ser relacionadas com a capacitação e treinamento de todos os envolvidos no processo.

2.3 Características técnicas das principais máquinas do sistema de toras curtas

Segundo Malinovski et al. (2002), os principais “módulos mecanizados” de colheita florestal, utilizados pelas empresas brasileiras são: a) motosserra e mini *skidder*; b) motosserra e auto-carregável; c) motosserra e guincho; d) *harvester* e *forwarder*; e) *feller-buncher* com *skidder* e processador; f) *feller-buncher* com *skidder* e grade desgalhadora.

O *harvester*, trator conhecido como colhedora florestal, é automotriz e tem a finalidade de cortar e processar árvores dentro da floresta. O seu sistema de rodados pode ser com pneus em tandem ou esteiras. Possui conjunto motriz com alta mobilidade e boa estabilidade, cabeçote de múltiplas funções (segurar, levantar, cortar, desgalhar, descascar, torar e empilhar), massa total entre 8,5 e 16,5 Mg, potência entre 70 e 170 kW. A movimentação e acionamento dos dispositivos que compõem o cabeçote são realizados pelo operador que empunha um *joystick*. A cabina devidamente fechada contém sistema condicionador de ar e proteção contra queda de galhos e árvores. A estrutura permite uma movimentação de 180 graus de giro e boa visibilidade, facilitando a ação do operador. O cabeçote de múltiplas funções é acoplado a um braço hidráulico. A altura máxima e o comprimento do braço hidráulico articulado são, em alguns modelos, com movimento telescópico, pontos importantes na seleção. O cabeçote é constituído de braços acumuladores (preensores), que têm a finalidade de segurar e levantar a árvore após o

corte. Após o corte, a árvore é posicionada na horizontal e movimentada por rolos dentados ora para esquerda, ora para direita, de tal forma que o descasque e o desgalhamento, sejam realizados por uma estrutura metálica de corte. Então se iniciam a toragem e o empilhamento, de acordo com a finalidade da madeira colhida (LIMA; LEITE, 2002).

O *forwarder* é uma máquina com grua hidráulica e caçamba, também conhecida como trator florestal transportador. Pode ser dotada de sistemas de rodado de pneus em tandem ou esteiras, com chassi articulado, possibilitando a diminuição do raio de giro nas manobras dentro do talhão. A este trator é adaptada uma cabina de proteção ao operador, com sistema de ar condicionado e assento giratório, facilitando a ação e visibilidade na operação. Faz-se o seu carregamento por um braço hidráulico articulado e telescópico acoplado a uma garra com movimento de abrir e fechar. Sua função é retirar a madeira de dentro dos talhões, levando-a para as margens das estradas. Ele se movimenta no talhão, posicionando-se próximo aos feixes de toras. Acionam-se, hidraulicamente, calços que permitem o posicionamento do braço do carregamento em ângulo de 90 graus em relação ao plano longitudinal do trator, com o objetivo de minimizar o momento provocado após o abraçamento e a suspensão das toras pelo braço, com um alcance aproximado de sete metros. Na seqüência, processa-se o carregamento de sua caçamba de comprimento variável, adaptada com estruturas laterais que permitem o empilhamento das toras. O comprimento destas pode variar de acordo com os diferentes sistemas de colheita, sendo o mais comum de até 6 metros. Encontram-se várias marcas e modelos no mercado com peso variando de 9 a 12 Mg e potência do motor na ordem de 70 a 120 kW, com capacidade de carga de 10 a 19 Mg. Inclinação maior do que 40 graus da área de colheita podem limitar o tráfego dessa máquina (LIMA; LEITE, 2002).

2.4 Fatores de influência nas operações de colheita de madeira

Segundo Wadouski (1998), os fatores determinantes da produtividade e custos das operações de colheita de madeira, representam mais do que 50 % dos custos florestais. Os fatores da colheita florestal podem ser agrupados em: legais, (trabalhista, ambiental e fiscal); administrativos (planejamento operacional, políticas/estratégias, qualificação da mão de obra, *turn-over* e padronização); ambiente físico, (área, solo, relevo e clima); floresta, (origem do povoamento, espécie, talhão, árvore e qualidade do plantio); operacionais (grau de treinamento,

consumo de energia, estoques, frota, logística, rede viária, natureza da operação, sortimento de madeira e interfaces); econômico-financeiro, (volume de recursos, custos financeiros / reinvestimentos e rentabilidade do negócio x rentabilidade florestal).

Rezende et al. (1983) estudando o espaçamento ótimo de eucalipto para produção de madeira com fins energéticos, afirmam que o custo de colheita é o mais significativo na produção lenhosa, chegando a representar 50 % dos custos totais num espaçamento menor, em comparação com as plantações de maior espaçamento. Esta pesquisa foi feita com *Eucalyptus* spp. com três espaçamentos de 2, 3 e 6 m² por planta, resultando que, os espaçamentos menores, tendem a ser mais econômicos para a produção de fitomassa para fins energéticos, mas, os custos de colheita crescem com a diminuição do espaçamento entre as plantas.

Santos e Machado (1995) trabalharam com o objetivo de analisar economicamente, a técnica e a atividade de processamento do eucalipto, em espaçamento de 9,0 m², e o arranjo 3,0x3,0 m, em áreas planas, com uso de processadores. Após a análise concluíram que o tempo de processamento foi altamente correlacionado com o volume por árvore, sendo que o tempo de processamento (desgalhamento, toragem e embandeiramento) foi o elemento que consumiu a maior parte do ciclo operacional (70 %), seguido pelos tempos de deslocamento do cabeçote (20 %) e de deslocamento da máquina (10 %), a cada 8 árvores processadas. O primeiro dependeu do volume por árvore e os dois últimos foram independentes. A produtividade do processador foi otimizada no volume por árvore de 0,34 m³ e o custo de processamento foi mínimo nesse volume. A produtividade nesse ponto foi de 28,46 m³ h⁻¹, eficiência operacional de 56 % e o custo operacional de 69,60 US\$.h⁻¹. Estes pesquisadores relatam que um povoamento com árvores de pequeno diâmetro médio requer maior tempo de operação por metro cúbico, proporcionando pequena produção de madeira por dia e, conseqüentemente, altos custos por unidade de produto. Ressaltam também que a variação do número de árvores por hectare tem relativamente pouco efeito no tempo-padrão ou na realização do corte, em comparação com o efeito do diâmetro médio das árvores do povoamento.

Valverde et al. (1996) trabalharam com diferentes espaçamentos e arranjos (3,0 x 2,0m e 3,0 x 1,5m) e eitos (3, 4 e 5 linhas de árvores) na colheita de *Eucalyptus* com *feller-buncher*, concluindo que no espaçamento e arranjo de 3,0 x 2,0m e eito de 4 linhas o desempenho foi devido as melhores condições de limpeza, menor número de tocos e melhor distribuição de diâmetro e altura, e ainda com custo menor.

Holtzschler e Lanford (1997) estudando o efeito do diâmetro no custo e produtividades em sistemas de toras curtas encontraram que para todos os sistemas estudados o porte da árvore tem um efeito significativo no custo da madeira colhida, sendo que o aumento do porte da árvore diminui o custo unitário produzido. Também observam que no uso do *harvester*, em sistema de toras curtas, o custo é muito alto quando os diâmetros são pequenos, somente comparável a outros sistemas, quando o diâmetro for maior.

Eliasson e Lageson (1998), através de modelo de simulação com *harvester* sobre tempo de operação e produtividade, encontraram que a altura de corte influenciou no tempo necessário de deslocamento e aproximação do cabeçote, consumindo maior tempo quando o corte ocorria em maior altura que o corte na parte mais baixa. Também o tempo de corte e de processamento foi mais alto quando a posição do cabeçote era alta, aumentando-se com o tamanho da árvore. A altura de corte influenciou de duas formas: 1) deslocamento e movimento do cabeçote, influenciado pelo número de árvores colhidas; e 2) corte e processamento influenciados pelo volume médio por árvore. A velocidade média de deslocamento foi de 23 m min^{-1} e o tempo médio consumido por árvore foram de 23,1 s para corte baixo e 27,2 s para corte alto, dado que, no corte alto as árvores tinham maior volume. A produtividade do *harvester* esteve diretamente relacionada com o volume médio por árvore em todos os casos simulados. Nesse modelo o tempo de posicionamento do cabeçote foi considerado constante, mas na realidade varia conforme o tamanho da árvore, arranjo e espaçamento (distribuição espacial). O tempo foi subestimado em 5,5 s. O número de árvores afeta o movimento da máquina e o cabeçote, por outro lado, o tempo de corte e o processamento foi influenciado pelo volume médio das árvores. Nos custos de colheita o aumento do porte da árvore determinou um menor custo de colheita medido em m^3h^{-1} .

Em um estudo de tempos e movimentos de um *harvester* em colheita de eucalipto, Salmeron e Ribeiro (1998) encontraram os seguintes valores em porcentagem de tempo: corte 16 %, descascamento 27 %, traçamento 26%, deslocamento 22 %, outros movimentos 9%. Percebe-se que os tempos de descascamento, traçamento e deslocamento (máquina e/ou cabeçote) são muito parecidos e somam 75 % do tempo total do ciclo de trabalho. Neste estudo não fica claro a que se referem os valores obtidos no item “outros movimentos”, se corresponde ao tempo de limpeza, lubrificação da corrente, rebaixamento de toco ou outros, ou as diferenças que tem origem no número de árvores por hectare, espaçamento e arranjo dos mesmos.

Tarnowski et al. (1999) estimaram a produtividade de um processador florestal trabalhando com *E. grandis*, chegando a 25,8 m³ cc (com casca) h⁻¹, com custo operacional de 47,9 US\$.h⁻¹. Com base nos resultados obtidos, concluíram que o tempo de processamento (desgalhamento, toragem e embandeiramento), das árvores variava diretamente com o aumento do diâmetro das árvores; sendo inverso ao número de árvores. O tempo médio de processamento por árvore, foi de 20,4 s que corresponderam a 57,6% do tempo total do ciclo operacional. Concluíram também que o custo operacional por metro cúbico de madeira processada varia em relação inversa ao aumento do diâmetro; sendo o custo fixo o de maior proporção.

Haroldo et al. (2001) comentam que para caracterizar o trabalho de um *harvester* é preciso ter em conta principalmente o número de árvores por hectare e o espaçamento entre as fileiras, assim como também o tamanho das toras e percentagem de casca nelas existente.

2.5 Capacidades de Campo Efetiva e Operacional de equipamentos agrícolas e florestais

Segundo Hunt (1979), a capacidade, quando expressa somente como a razão entre a área pelo tempo despendido, pode não ser um indicador adequado para se avaliar o desempenho de equipamentos agrícolas. No caso das colhedoras as diferenças de produtividade da cultura afetam a capacidade de trabalho. Para máquinas como as colhedoras florestais que tem que cortar, derrubar, tirar galhos, descascar, despontar, serrar, empilhar toras de uma árvore, o interesse é na quantidade de material separado pela unidade de tempo.

A análise da capacidade de trabalho das máquinas agrícolas e florestais pode ser realizada de acordo com as características das operações, sendo classificadas por Mialhe (1996) em capacidade de campo, de produção e de manipulação. As determinações das Capacidades de Campo Efetiva e Operacional de conjuntos tratorizados são as seguintes:

Capacidade de Campo Efetiva (CcE) – é a relação entre uma área (ou uma produção) obtida e o tempo efetivo decorrido na execução de determinada operação mecanizada (aração, gradeação, pulverização, adubação, colheita, etc.), ou seja, tempo efetivo não leva em conta os tempos consumidos em: manobras de cabeceiras, interrupções para reabastecimento (do trator e/ou da máquina ou implemento acoplado) e manutenção para regulagens, desembuchamentos e, ainda, descanso e refeições de operadores.

A capacidade de colheita tem sido entendida como a quantidade de trabalho que um conjunto de máquinas (ou sistema mecanizado) ou uma colhedora isoladamente, é capaz de executar na unidade de tempo. O aspecto é caracterizado através dos seguintes parâmetros:

- a) Capacidade efetiva: - líquida ou calculada;
 - bruta;
- b) capacidade operacional: - de jornada;
 - de longo tempo.

Diz-se capacidade efetiva líquida ou calculada, quando obtida por cálculos e tendo como base o parâmetro qualitativo eficácia de manipulação. A capacidade efetiva e dita “bruta” quando se considera diretamente a quantidade de material liberado no veículo de transporte, sem levar em conta as perdas no campo e as impurezas contidas na carga recolhida.

As formas de cálculo são feitas através das seguintes equações:

Em colheita florestal seria $CE(m^3/h) = N_a \times N \times L \times \pi(DAP^2/4)ff/h$

Sendo:

N_a = número de árvores por eito de corte;

N = número de toras por árvore;

L = comprimento da tora em metros;

DAP = diâmetro a altura do peito em metros;

ff = fator de forma.

h = hora efetiva

A Capacidade Operacional medida em $m^3 \cdot h^{-1}$, corresponde à quantidade de trabalho que uma máquina isoladamente é capaz de executar na unidade de tempo, resulta da multiplicação da Capacidade Efetiva vezes a Eficiência Operacional, sendo:

Eficiência Operacional = Disponibilidade Mecânica (%) x Utilização (%)

A Disponibilidade Mecânica como sendo a porcentagem do tempo de trabalho programado em que a máquina está apta a realizar trabalho produtivo. Desconsidera-se, portanto o tempo em que à máquina está em manutenção. A utilização refere-se ao tempo, em porcentagem, em que a máquina está efetivamente trabalhando, resumindo:

Capacidade Operacional ($\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$) = Capacidade Efetiva x Eficiência Operacional.

2.6 Comportamento do eucalipto em diferentes espaçamentos e arranjos

Muito embora seja fato conhecido dos técnicos que, na produção de madeira de pequenas dimensões, em ciclos curtos, os espaçamentos reduzidos proporcionam maior rendimento volumétrico por unidade de área que nos espaçamentos mais amplos, o fato em si tem outras implicações. Um dos primeiros pontos é o surgimento precoce da competição entre árvores, por espaço para crescer, com conseqüente dominância das mais vigorosas, que produzem plantas dominadas com inferior qualidade. Desta forma, o espaçamento atua sobre o crescimento em diâmetro que pode ser controlado pelo silvicultor, passando a desempenhar um papel dos mais importantes na qualidade e valor da matéria-prima produzida nos povoamentos sob manejo adequado.

Segundo Davis et al. (2000) a mortalidade das árvores apresenta uma dificuldade na predição de modelos de crescimento e espaçamento no final da colheita. Sendo esta variável difícil de medir, e determina quanta madeira se deixa de colher. As árvores que morrem, tombam ou sofrem doenças, desaparecem do inventário e não são contabilizadas de maneira exata e ajustadas, em conseqüência a coleta de dados tem um custo muito alto. Geralmente a mortalidade é um dado de fontes secundárias, como por exemplo, informação de parcelas permanentes que permitem gerar função de mortalidade, que depende da idade, DAP, e área basal de cada rodal. Em geral as árvores ocupam o espaço necessário em proporção a seu tamanho, diâmetro, altura, dispersão e volume da copa.

A adoção de um espaçamento inicial em *Eucalyptus spp*, mais amplo possibilitou retardar os efeitos da competição mútua e evitar um desbaste precoce e não comercializável, encontrando-se maior produção em espaçamentos com área por planta de $6,0 \text{ m}^2$ em comparação com $4,5 \text{ m}^2$, com os arranjos $3,0 \times 2,0\text{m}$ e $3,0 \times 1,5\text{m}$ sem influência do espaçamento na altura final das árvores (COELHO et al., 1970).

Mello et al. (1972) estudando a influência da espécie, do espaçamento e da idade no custo de produção em termos de volume total de madeira industrial, concluíram que o *E. grandis*, plantado no espaçamento de $4,5 \text{ m}^2$ e arranjo de $3,0 \times 1,5\text{m}$ e cortado aos 7 anos de idade, apresentou o mais baixo custo por estéreo de madeira produzida, quando comparado com as

espécies *E. saligna*, *E. Alba* e *E. propinqua*, nos espaçamentos 4,5 e 6,0 m² e arranjos 3,0 x 1,5m e 3,0 x 2,0m, cortados aos 5 e 7 anos. Concluíram ainda que o custo da tonelada de matéria seca foi altamente influenciado pela densidade básica da espécie e que o arranjo 3,0 x 1,5m reduziu o custo do estéreo da madeira produzida, em comparação com o arranjo 3,0 x 2,0m. Esta conclusão pode apresentar dificuldade, porque segundo os autores não foram considerados os custos de corte, descascamento, empilhamento e transporte. Este trabalho sugere que há uma tendência verificada entre espaçamento e idade de corte, sendo que até a idade de nove anos o espaço oferecido às árvores, para crescer, foi suficiente.

Segundo Evans (1987), as condições de sítio e seleção de espécies desejadas implica em mudanças no uso final, com a escala de plantação tendo um vínculo muito forte com o manejo silvicultural. As populações tradicionais de 800 a 2000 plantas por hectare, com arranjos em quadrado, são as mais apropriadas para plantações industriais.

Vital e Della Lucia (1987), estudando a qualidade e produção em peso da madeira em nove tipos de espaçamentos em *E. grandis* e *E. urophylla*, concluíram que o espaçamento não afetou a densidade da casca e a densidade da madeira. De modo geral, a produção em peso por unidade de área foi diretamente proporcional ao número de árvores. Também se observou que o peso médio por árvore foi inversamente proporcional ao número de árvores por hectare. A maior produção por hectare obtida foi com arranjo de 3,0 x 0,5 m, que continha, também, o maior número de árvores por hectare.

Garcia et al. (1991), em um estudo de comportamento de *E. grandis* e *E. saligna* em diferentes espaçamentos, observaram diferenças significativas entre as médias de DAP e também de altura dos diferentes tratamentos em função do espaçamento utilizado. Considerou-se também, para a variável altura, um efeito independente e significativo de espécies sobre esta característica. Há também um efeito de espécies sobre a produtividade, expressa pelo Volume Cilíndrico (m³/ha), havendo ainda uma interação entre espécies e espaçamentos, indicando que para cada espécie deve existir um espaçamento cuja produtividade média deva diferir das demais estatisticamente. Os resultados desse trabalho indicaram que com o aumento do espaçamento, aumenta a sobrevivência, há um acréscimo no DAP médio, considerando-se uma mesma espécie, sendo que fato semelhante ocorre também para a variável altura. O bom desenvolvimento em altura e diâmetro das árvores observadas nessa pesquisa foi afetado pela alta percentagem de falhas. Dessa forma obtiveram-se árvores de grande diâmetro e altura, mas em pequeno número,

resultando, portanto, numa baixa produtividade por hectare, o que finalmente influenciou no custo da colheita.

A taxa de crescimento de uma floresta é altamente determinada por dois fatores, capacidade inata do sítio, e composição e proporção do crescimento dos indivíduos da população. Dentro destas características encontram-se a espécie, número e distribuição espacial das árvores, sendo estas de domínio do silvicultor. O significado da densidade de árvores de fato, com limites, e a proporção do espaço de crescimento por árvore influem na velocidade de crescimento. O manejo florestal do espaçamento e poda têm sido consistente em mostrar incremento de DAP, com o aumento do espaço ocupado pela planta. Entretanto, em um determinado povoamento de árvores o tamanho final é determinado pelo crescimento prévio no espaço ocupado por cada árvore. A concorrência entre as árvores afeta o diâmetro particularmente em plantas de crescimento rápido e especialmente espécies intolerantes à sombra. Muitos trabalhos destacam que a altura das árvores não é afetada pela densidade do plantio, somente com planos de manejo de poda e desbaste (CLUTTER et al., 1992).

Leite (1997), trabalhando com *Eucalyptus grandis* com densidades populacionais de 500 a 5000 árvores, com espaçamentos por plantas de 2 a 20 m² e 5 arranjos, encontrou que o diâmetro médio das árvores, a profundidade da copa e a área foliar foram crescentes com o aumento do espaçamento, já a altura média das plantas nos diferentes espaçamentos e arranjos não mostrou tendência definida de variação.

Em trabalhos de espaçamento e arranjo com *Eucalyptus urophylla* na região de cerrado de Minas Gerais, Assis et al. (1999) observaram que com a redução do espaçamento de plantio, as plantas de eucalipto tenderam a crescer mais, tendo sido encontradas as plantas mais altas no espaçamento de 6,0 m² e arranjo de 3,0 x 2,0 m e as mais baixas nos espaçamentos de 15 m² em arranjo de 3,0 x 5,0 m. Destacam ainda a produção das plantas de eucalipto nos arranjos de 3,0 x 3,0 m, 4,0 x 2,25 m, 5,0 x 1,8 m, 6,0 x 1,5 m e 9,0 x 1,0 m, com uma tendência a diminuir a produção à medida que a distância dentro da entrelinha diminuiu. O arranjo de 6,0 x 1,5 m foi exceção a essa afirmativa.

Leles (2001) encontrou que espaçamentos de 9,0 e 6,0 m² com arranjos de 3,0 x 3,0 m e 3,0 x 2,0 m parecem ser os mais indicados para o estabelecimento de espécies de *Eucalyptus* na região de cerrado, com base nos dados de produção de matéria seca de madeira. À medida que as plantas são arranjadas em espaçamentos mais adensados, a contribuição das raízes para a matéria

seca total vai diminuindo, entretanto espaçamentos muito amplos devem ser evitados uma vez que ocorre maior alocação de assimilados para raízes em detrimento da produção de madeira.

Estudos sobre o efeito dos espaçamentos iniciais são geralmente focalizados em altura, volume e diâmetro da árvore. Estes fatores são importantes na determinação do volume, tamanho da tora, desbaste e tempo ótimo das operações de corte. A proposição de mudança entre maximização total da produção e maximização individual por tamanho da árvore é um compromisso que depende do produto que está sendo cultivado (PINKARD; NEILSEN, 2003).

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 2,0 m; 3,0 x 3,0 m; 3,0 x 4,0 m e 3,0 x 5,0 m 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.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi desenvolvido em três etapas complementares, em condições operacionais reais de colheita de eucalipto, através do uso de um simulador de colhedora florestal e geração de um modelo empírico de colheita. 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 com diferentes E pertencentes à companhia Votorantim Celulose e Papel, assim como os dados de simulação foram obtidos em simulador de centro de treinamento pertencente à mesma empresa.

3.1 Locais

Os povoamentos de eucalipto onde foi acompanhada a operação de colheita estão localizados em duas regiões, Votorantim e Itapeva. A região do município Votorantim está situado 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. A região possui clima subtropical e temperatura média anual de 20°C, com máximas de verão em torno de 30,13°C e mínimas de inverno ao redor de 12,20°C, com a estação chuvosa concentrando-se de outubro a março.

Segundo a classificação de Koeppen, a região de Votorantim é classificada com clima tipo "Cfa", que caracteriza clima subtropical quente, inverno não muito seco (30 a 60 mm de precipitação pluviométrica no mês mais seco). Apresenta deficiência hídrica pequena ou nula, ocorrência de geadas rara ou pouco frequente. A descrição dos solos dos talhões onde foram feitos os testes encontra-se na Tabela 1.

Tabela 1 - Características do solo dos talhões do estudo na região de Votorantim

Talhão	Descrição solo	Textura	Área (ha)
4	Podzólico vermelho, amarelo	Média/argilosa	26,29
5	Podzólico vermelho, amarelo	Média/argilosa	32,18
18	Latossolo vermelho, escuro	argilosa	24,95

A região de Itapeva, coordenadas geográficas 23° 51'11" S e 48°52'09" W, relevo escarpado, altitude de 684 metros, temperatura média anual 24°C, precipitação anual 1800 mm. Segundo a classificação de Koeppen, Itapeva possui clima tipo "Cfb".

Tabela 2 - Características do solo dos talhões do estudo na região de Itapeva

Talhão	Descrição solo	Textura	Área (ha)
1	Latossolo vermelho, distrófico	muito argilosa	45,36
9	Latossolo vermelho, distrófico	muito argilosa	38,9
13	Latossolo vermelho, distrófico	muito argilosa	33,85
16	Latossolo vermelho, distrófico	Argilosa	34,03
40	Latossolo vermelho, distrófico	Argilosa	30,4

3.2 Descrição técnica da colhedora florestal

Neste trabalho foi avaliado o desempenho de um único modelo de colhedora florestal, a Timberjack 1270D (Figura 1), equipado com grua 210H e cabeçote 762C, cujas características técnicas estão agrupadas nas tabelas 3 e 4.

Tabela 3 - Características técnicas da colhedora florestal Timberjack 1270D

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

Tabela 4 - Características técnicas do cabeçote 762C

Peso e dimensões	Largura aberto (mm) 1818
	Largura fechado (mm) 1104
	Altura sem rotador (mm) 1590
	Peso sem rotador e corrente (kg) 1270
Derruba/corte	Tensão da corrente automática
	Corrente de corte com impulsão hidrostática
	Diâmetro de derruba e corte (mm) 650
	Tipo de corrente (inch) 0,404
	Velocidade da corrente (m.s ⁻¹) 40
	Tanque óleo de corrente (l) 5
Alimentação	2 rolos alimentadores de aço
	Força bruta de alimentação a 25 Mpa (25,7 cm ³ de motor) (kN) 857
	Velocidade de alimentação (m.s ⁻¹) 0- 4,5
	Abertura máxima dos rolos de alimentação (mm) 606
Desrame-descasque	Facas de desrame, quatro moveis, duas fixas
	Facas controladas independente dos rolos
	Desrame de ponta a ponta (mm) 430
	Abertura máxima das facas superiores (mm) 550
	Abertura máxima das facas inferiores (mm) 630
Sistema hidráulico	Capacidade da bomba (lmin ⁻¹) 225-305
	Pressão de operação (Mpa) 25
Equipamento opcional	Kit para <i>eucalyptus</i>



Figura 1 - Vista lateral da colhedora florestal 1270D

3.3. Descrição dos sistemas de colheita

Votorantim

Na região de Votorantim trabalhou-se em povoamentos de eucaliptos com E de $9,0 \text{ m}^2$ com A de $3,0 \times 3,0 \text{ m}$ (tratamento 7) e $6,0 \times 1,5 \text{ m}$ (tratamento 6) com diferentes eitos de colheita (E_i), representados nas Figuras 2 e 3. O eito de colheita foi descrito com o posicionamento do harvester em relação ao número de fileiras de árvores que processa por vez e a direção de deslocamento da máquina. Para cada E e A existia um E_i de colheita padrão (Tabela 5).

Tabela 5 - Tratamentos na região de Votorantim

Tratamentos	E (m^2)	A(mxm)	E_i (linha de árvores)
6	9,0	6,0 x 1,5	2
7	9,0	3,0 x 3,0	4
7	9,0	3,0 x 3,0	4

Para facilitar a compreensão dos dados coletados em cada configuração entre E, A e Ei, representou-se nas Figuras 2 e 3 a colhedora florestal em situação real de colheita, com referência a processo de colheita, o lugar final das toras e da galhada, assim como insumos para modelar os diferentes tempos, distâncias e capacidade de colheita.

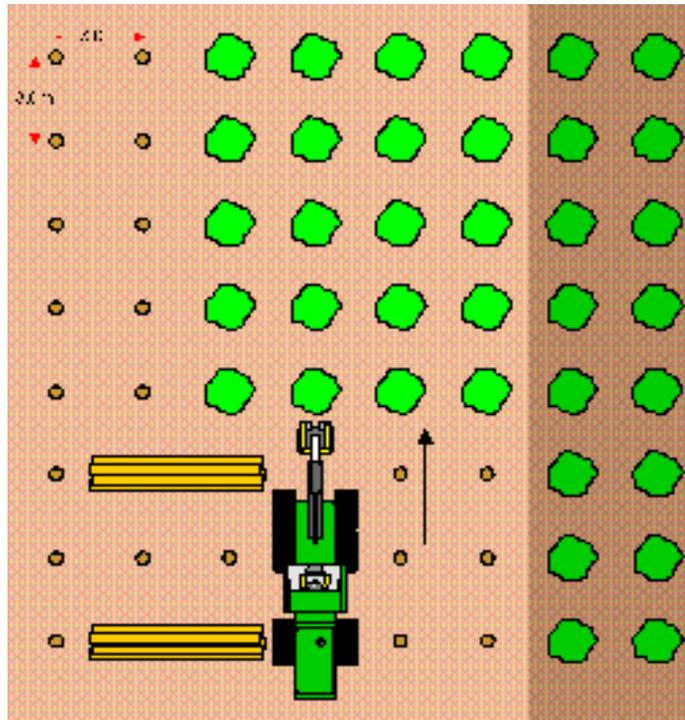


Figura 2 - Eito de colheita em povoamento de eucalipto com arranjo 3,0 x 3,0 m

No Ei de quatro linhas de árvores representado na Figura 2, a colhedora florestal desloca-se sobre a segunda fileira, inclinando a árvore cortada para a lateral direita e deixando as toras processadas à esquerda, entre a primeira e a segunda fileira.

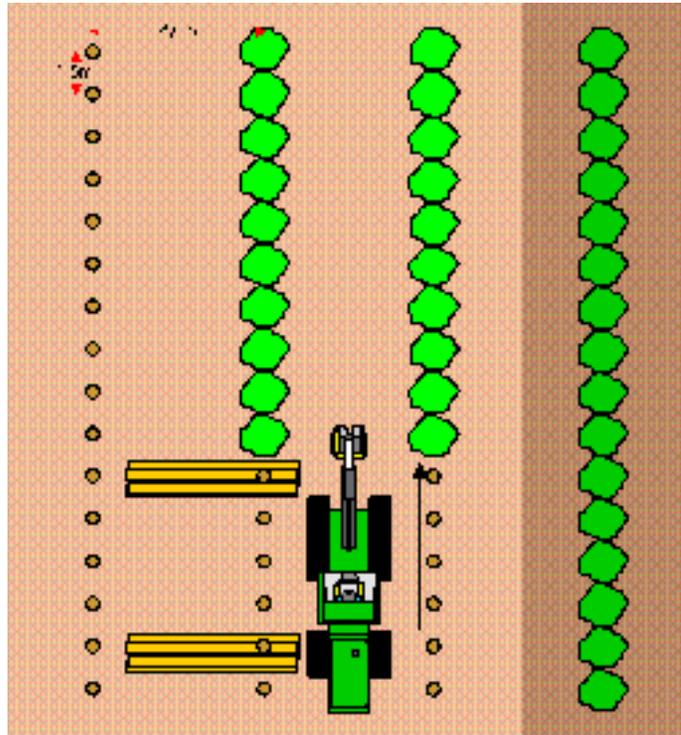


Figura 3 - Eito de colheita em povoamento de eucalipto com arranjo 6,0 x 1,5 m

Observa-se na Figura 3 que a colhedora florestal trabalha na parte central deixando a casca e galhada na frente para após transitar por cima, sendo que as toras ficam à esquerda do operador, na situação representada as operações de plantação são diferentes a da Figura 2, pela disposição final da casca e galhada.

Itapeva

Na região de Itapeva trabalhou-se em povoamentos de eucaliptos comercial com E de 6,0, 7,5, 9,0 e 12,0 m², com A de 2,0 x 3,0 m (tratamento 4), 3,0 x 2,5 m (tratamento 2), 3,0 x 3,0 m (tratamentos 1 e 3) e 6,0 x 2,0 m (tratamento 5) com diferentes Ei de colheita (Tabela 6), representados espacialmente nas Figuras 4, 5, 6, 7 e 8.

Tabela 6 - Tratamentos na região de Itapeva

Tratamento	E (m ²)	A (mxm)	Ei (linha de árvores)
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

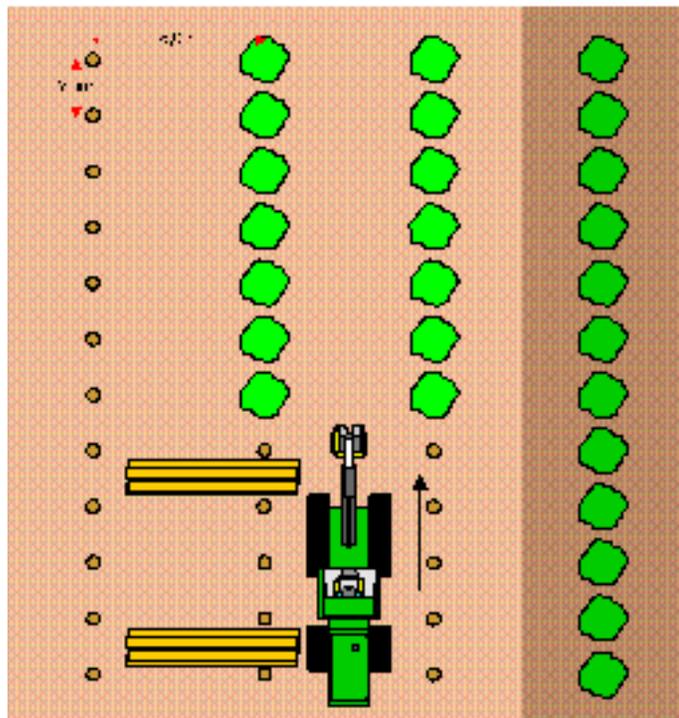


Figura 4 - Eito de colheita em povoamento de eucalipto com arranjo 6,0 x 2,0 m

Na Figura 4, observa-se a disposição central da colhedora florestal similar a Figura 3, deixando as toras à esquerda do operador e a casca e galhos na parte central, servindo de sustentação da máquina.

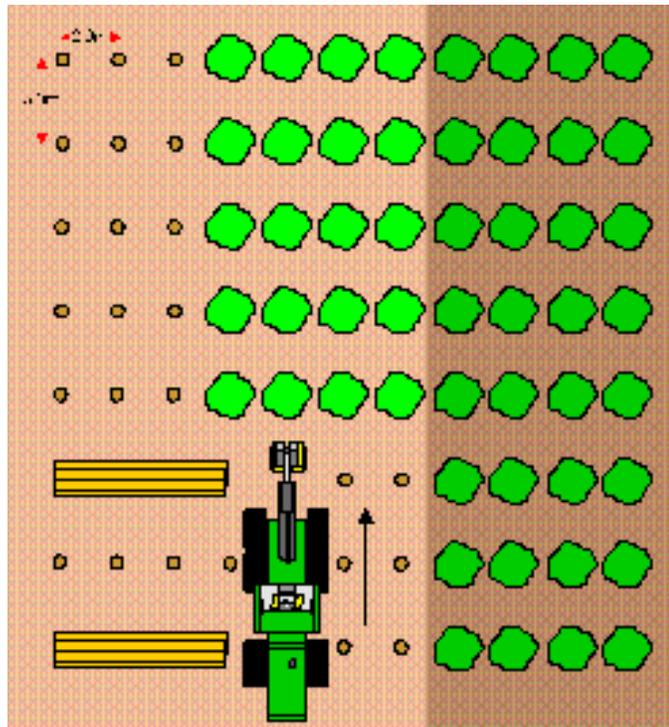


Figura 5 - Eito de colheita em povoamento de eucalipto com arranjo 3,0 x 2,0 m

No caso da Figura 5 o talhão 9 está sendo trabalhado no sentido perpendicular à fileira. Da mesma forma a derrubada da árvore é feita à direita e o desgalhe e desrame feito na segunda fileira, como na Figura 2, sendo que a decisão de ter um sentido ou outro do Ei obedece aos ventos predominantes da região e disposição final das toras para posterior carregamento.

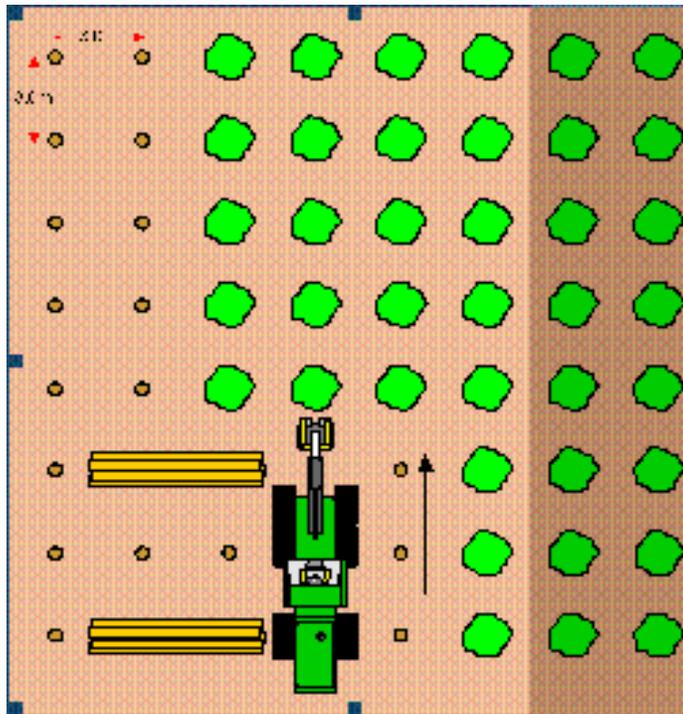


Figura 6 - Eito de colheita em povoamento de eucalipto com arranjo 3,0 x 3,0 m

A disposição central da colhedora florestal encavalada na segunda fileira (Figura 6) diminui os movimentos da base da grua, sendo o material de casca e galhos dispostos na frente da máquina, de maneira semelhante ao que foi feito nos talhões nomeados nas figuras anteriores.

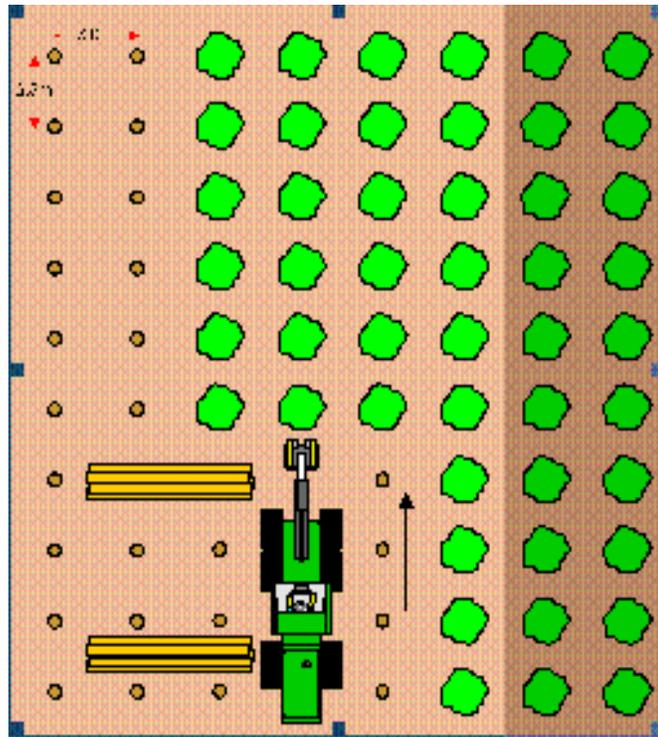


Figura 7 - Eito de colheita em povoamento de eucalipto com arranjo 3,0 x 2,5 m

A configuração espacial da Figura 7 corresponde ao talhão 16, localizando-se a colhedora florestal na linha central, derrubando e deslocando a árvore à direita e deixando as toras processadas à esquerda do operador.

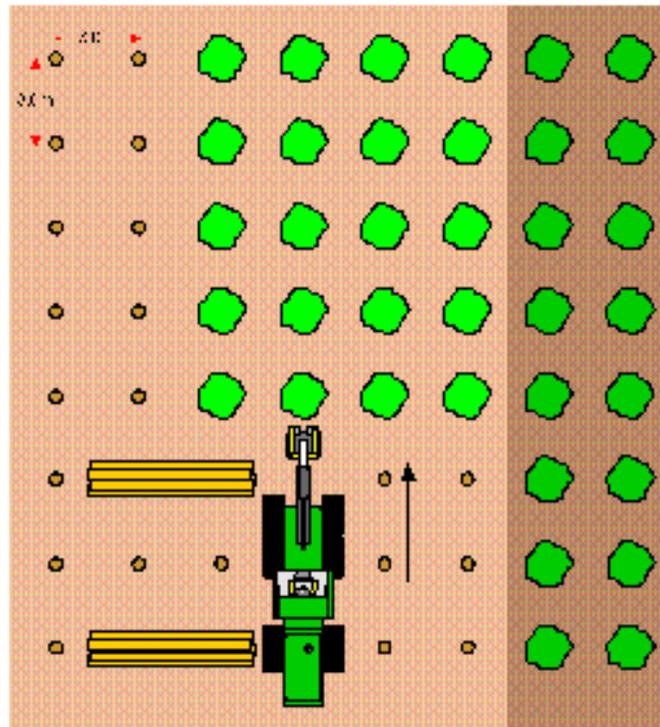


Figura 8 - Eito de colheita em povoamento de eucalipto com arranjo 3,0 x 3,0m

No caso do talhão 40 de Itapeva, representado na Figura 8, os valores de E, A e E_i são similares aos da Figura 2.

3.4 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 E e A as características das árvores (DAP, volume e altura).

A coleta de dados foi feita por meio de um estudo de tempos e movimentos sendo uma importante técnica utilizada na racionalização do trabalho de colheita e transporte florestal. O estudo dos tempos tem por objetivo básico determinar o tempo necessário para a realização de uma atividade definida, estabelecida por um método racional e executada em cadência normal por uma pessoa qualificada e habituada à determinada técnica (BARNES, 1977).

Foi utilizado o “método multimomento”, 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 atividades 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, para um nível de confiança estatística de 95 % e um erro de amostragem inferior a 5 %:

$$n \geq \frac{t^2 cv^2}{e^2} \quad (1)$$

Em que:

n-número mínimo de amostras, $n \geq 10$ sendo cada amostra composta de 44 árvores.

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

CV - coeficiente de variação, em percentagem do tempo total por árvore.

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 (Coe), medida em ($m^3.h^{-1}$) 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:

$$Capacidade\ operacional\ efetiva(m^3.h^{-1}) = \frac{NaVa}{he} \quad (2)$$

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 às horas de trabalho gastas e medidas em cada amostra.

No estudo de tempos e movimentos do ciclo operacional da colhedora obtiveram-se os tempos parciais dos mesmos: deslocamento do cabeçote, derruba, desgalhe e descascamento, traçamento, limpeza, deslocamento da máquina dentro do talhão e outros movimentos, explicados a seguir.

- a) **Deslocamento do cabeçote** (DESLCAB): liberação da última tora e deslocamento a outra árvore.
- b) **Derruba** (DERRUBA): inicia-se com o acionamento do sabre de corte até a manobra de derrubada.
- c) **Descascamento-desgalhe** (DESCAS): árvore em posição horizontal com sabre desativado e rolos e facas acionadas
- d) **Traçamento** (TRAÇAM): a partir da medição inicial ao traçamento da última tora.
- e) **Limpando** (LIMPAND): tirando os galhos para melhorar o carregamento.
- f) **Deslocamento da máquina** (DESLMAQ): deslocamento da máquina base.
- g) **Outros** (OUTROS): movimentos como rebaixamento de toco e lubrificação da corrente.

Para gerar um modelo empírico da capacidade operacional da colhedora trabalhou-se com o filme da colhedora em situação real de colheita com uma filmadora Panasonic NV-DS-15, Mini – DV, 1-CCD. Para a medição da velocidade angular da grua e cabeçote se usou uma fita métrica e cronômetro.

3.5 Simulador de colheita

Desenhado para treinar operadores de colhedora florestal e de trator autocarregável, apresenta todas as funções das máquinas, assim como o instrumental de manipulação necessário para avaliar o treinamento e desempenho da interação máquina-operador. Apresenta também exercícios com níveis progressivos de complexidade e relatórios de produtividade. O operador é acompanhado por um instrutor que vai guiando os diferentes exercícios. O período de treinamento varia de 3 a 6 meses (280 horas de aula), logo após os alunos conhecem seu ambiente de trabalho, ou seja, as plantações florestais.

3.5.1 Simulador: Características técnicas

O simulador usado foi um John Deere Plusth, Versão 2.26, 2005, é um sistema de treinamento que funcionalmente consiste de quatro componentes principais:

- Sistema de medição Timberjack 3000 e controles da máquina: monitora e controla a operação do cabeçote de corte durante o processamento da árvore. Os *joysticks* de controle da máquina e da grua e o pedal do acelerador que faz parte dos controles do *harvester* estão incluídos no simulador. As funções do sistema de medição correspondem às da máquina real e o operador pode alimentar suas próprias configurações no sistema de medição através do ajuste das leituras dos parâmetros.
- Simulador de paisagem: é uma ferramenta que gera o modelo tri-dimensional de um ambiente pela fusão de informações do banco de dados do mapa e de planejamento da floresta. O modelo de terreno serve de cenário para execução dos exercícios. Usando a plena capacidade de treinamento, pode ser desenvolvido em qualquer área geográfica desejada e a pessoa que planeja o exercício dispõe de um grande número de opções para definir as características do solo e variedade de árvores para o ambiente de treinamento.
- Sistema de simulação: necessário para simular a operação da máquina, envolve os seus movimentos e de seus componentes em realidade virtual, bem como a interação entre máquina de um lado e ambiente e sistema de medição de outro.
- Sistema visual: usado para desenhar a representação da paisagem correspondente ao cenário simulado.

Em todos os casos o programa do simulador faz um relatório completo da quantidade de movimentos, sejam estes simples ou de vários movimentos simultâneos, com tempo definido para cada atividade da máquina em operação. Dentro do sistema de avaliação do operador estão: tempo de pausa, (que no começo é alto para logo diminuir a um mínimo aceitável de 4 a 6 %), eo registro do progresso nos movimentos simultâneos, (sendo estes os mais comuns de 3 a 6). As características do simulador são similares às encontradas dentro de cada colhedora ou trator

florestal. A Figura 9 apresenta o monitor utilizado no simulador, sendo o mesmo encontrado no harvester 1270D.



Figura 9 - Monitor do simulador semelhante ao da colhedora Timberjack 1270D

O seguimento da colheita simulada pode ser planejado previamente, podem ser escolhidos o espaçamento, o arranjo o eito, características dendrométricas das árvores assim como o caminho a ser percorrido pela máquina, como mostra em Figura 10.

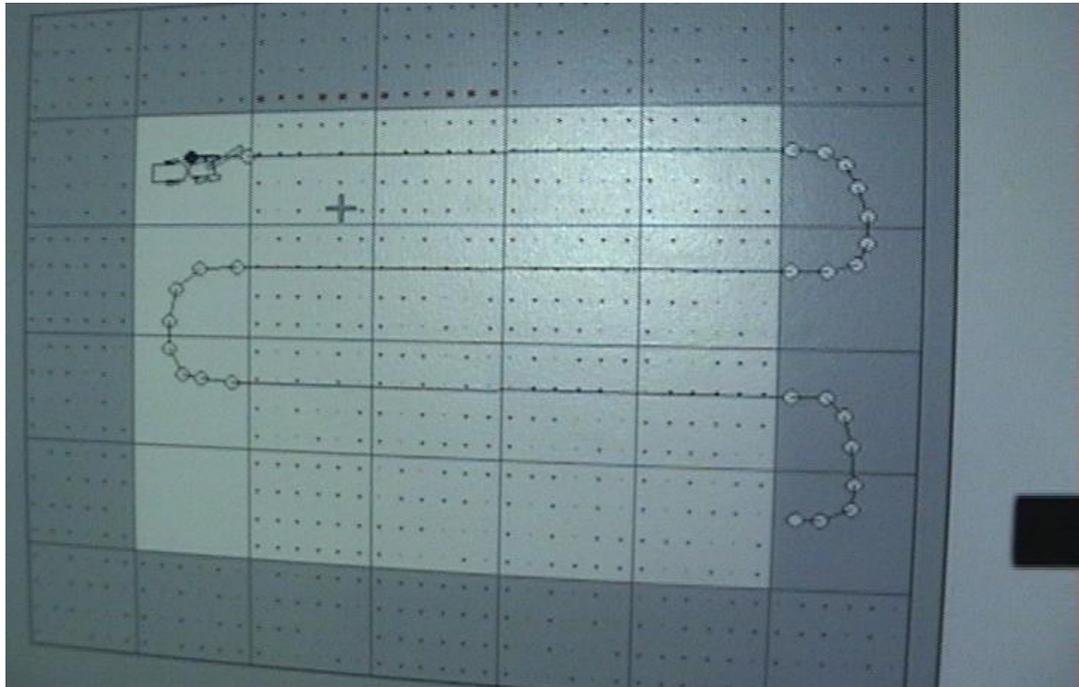


Figura 10 - Janela da área de treinamento mostrando área e trajetória da colhedora assim como o eito de colheita

3.5.2 Operação do simulador

O uso do simulador foi programado de acordo com as condições silviculturais encontradas no trabalho de Silva (2005), que estudou o efeito do E e A do plantio na produtividade de clones de *Eucalyptus* C041 e C219, dispostos em 72 unidades experimentais com dimensões de 900 m² (Tabela 7).

Tabela 7- Tratamentos de espaçamentos e arranjo de plantio com clones de *Eucalyptus*

Tratamentos		E	A
C041	C219	(m ² planta ⁻¹)	(m x m)
1c	10d	6,0	3,00 x 2,00
2c	11d	6,0	6,00 x 1,00
3c	12d	6,0	9,00 x 0,67
4c	13d	10,5	3,00 x 3,50
5c	14d	10,5	6,00 x 1,75
6c	15d	10,5	9,00 x 1,17
7c	16d	15,0	3,00 x 5,00
8c	17d	15,0	6,00 x 2,50
9c	18d	15,0	9,00 x 1,67

Fonte: Silva (2005)

O simulador foi operado por um instrutor e o número de amostras (com $n = 10$ e 44 árvores por amostra) foi tomado com as mesmas características que nos casos de colheita no campo. Neste caso, o trabalho no simulador foi conduzido pelo técnico de desenvolvimento operacional da VCP, Sr. Ronaldo de Souza Silva, com experiência de seis anos no cargo e quatro anos como operador de colhedora florestal. Estes resultados foram comparados com aqueles encontrados nos E e A das regiões de Votorantim e Itapeva. O simulador possui um programa de colheita com E e A predefinidos, permitindo a variação por exclusão de fileiras. Dessa forma simulou-se quatro E e A representativos dos tratamentos instalados por Silva (2005). Da mesma forma que em Votorantim e Itapeva empregou-se um estudo de tempo multimomento das diferentes fases da colheita simulada. Inicialmente desenhou-se o talhão virtual na tela do simulador, e o operador procedeu à colheita, e simultaneamente avaliou-se o tempo de colheita. Logo após, com a exclusão de fileiras ou mudança no sentido do deslocamento da colhedora simulava-se o seguinte E e A, conforme detalhado na Tabela 8.

Tabela 8 - Características dos talhões simulados

E (m ²)	A (mxm)	Volume (m ³)	Altura (m)	DAP (cm)	Ei
6,0	3,0 x 2,0	0,19	18,58	14,7	4
9,0	3,0 x 3,0	0,19	18,58	14,7	2
12,0	6,0 x 2,0	0,225	19,42	15,7	4
18,0	6,0 x 3,0	0,189	18,4	14,7	2

Os dados da Tabela 8 foram obtidos diretamente através da simulação possível.

3.6 Elementos do modelo empírico de colheita

Um modelo empírico sobre a capacidade operacional efetiva da colhedora foi criado, com o objetivo de melhorar a explicação do comportamento das variáveis: E, A, volume médio, DAP, altura e Ei, assim como outras variáveis, (fator de forma, mortalidade, árvores bifurcadas, número de passadas por hectare e outros). Utilizando-se o *harvester* e o cabeçote em situação real de colheita. Para obter os tempos e movimentos, se tomou a medida das hastes da grua e do cabeçote, assim como dos ângulos e velocidades respectivas. Por outro lado, com a filmagem obteve-se maior precisão de tempos e movimentos do ciclo de colheita. O estudo de tempo e movimentos da colhedora abrangeu seis fases:

1. Avance da máquina
2. Deslocamento do cabeçote
3. Corte e derruba
4. Descascamento-desgalhe
5. Traçamento
6. Depósito

O fluxograma apresentado na Figura 16 expõe os diferentes tempos e movimentos da colhedora florestal.

- 1) Avance da máquina.

Corresponde ao tempo de deslocamento da máquina colhendo no sentido da direção “b”, Figura 11, em princípio, incluído em outros movimentos, dado a simultaneidade dos mesmos, fazendo-se após uma correção em função da distância “b”.

2) Deslocamento do cabeçote.

Considera-se tempo de deslocamento do cabeçote aquele que inclui os tempos de: abertura da grua, giro e pressão do cabeçote, no começo do corte.

Para estabelecer a vinculação entre as árvores e a máquina configurou-se a disposição na área de colheita.

Cada disposição ou “arranjo” foi classificado com as letras “a” e “b”, Figura 11.

Sendo:

a(m): comprimento entre as fileiras de árvores transversal ao avance da colhedora.

b(m): comprimento entre as árvores na direção do avance da colhedora.

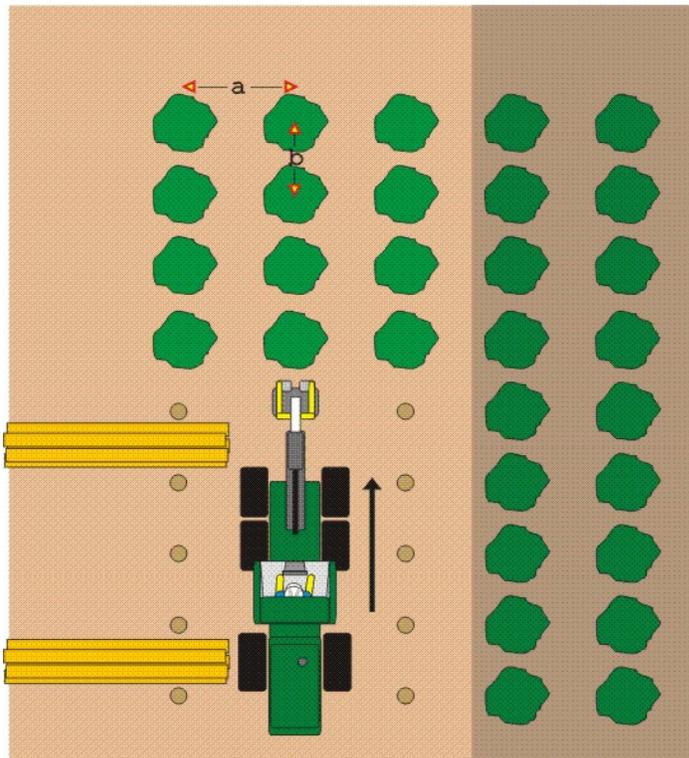


Figura 11 - Arranjo da máquina no comprimento a e b

A seqüência de movimentos tem continua da seguinte forma:

2.1) O cabeçote acabou de cortar a última tora, deixando a mesma na parte de cima da pilha de toras; a seguinte linha de árvores transversal ao deslocamento da máquina(b), Figura 11, começará a ser colhida, e depositada no mesmo lugar mantendo a distancia desde a linha próxima a pilha. Na Figura 12 apresenta-se o movimento da base da grua, com o qual o operador da colhedora alinha as hastes com a árvore a ser colhida.

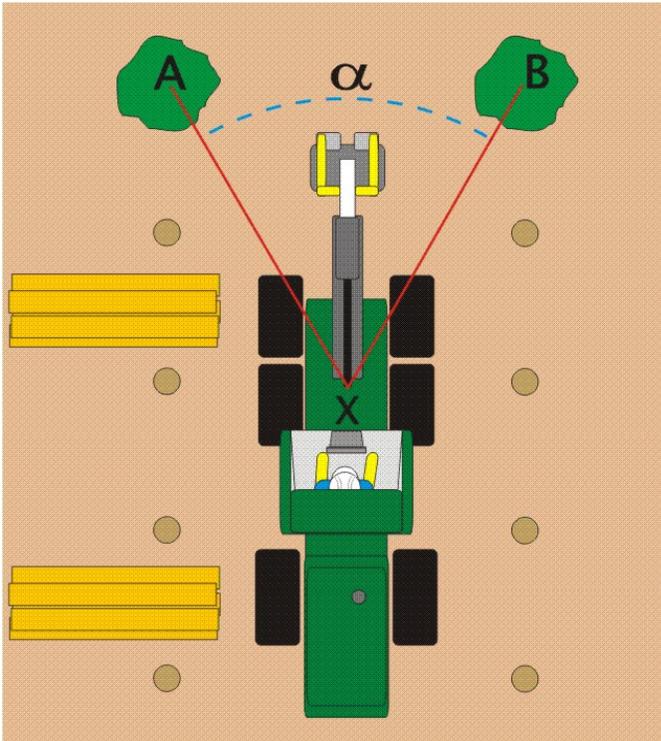


Figura 12 - Vista horizontal do movimento, giro da base da grua; ângulo α (alfa)

O movimento da grua da árvore A a árvore B; determinou uma velocidade angular w_1 (rad/s), calculada com a equação (4).

$$w_1 = \alpha/t \quad (4)$$

Sendo que:

α , (ângulo), medido em radiano,

t, (tempo), medido em segundos.

Para calcular o tempo utilizado no giro da grua, utilizam-se a equação (4) deriva-se a equação (5).

$$t(s) = \alpha^\circ / w_1(^{\circ}/s) \quad (5)$$

Das medições feitas em área de trabalho e os resultados observados no filme, à velocidade angular w_1 considerou-se constante. Seguindo a equação (5), obteve-se uma generalização da mesma, resultando na equação (6). O ângulo máximo de giro da base da grua é de 195° , substituindo o ângulo α° pelo seu máximo valor na equação 5, obtém-se a equação 6.

$$w_1 = 195 \times \pi / 180^\circ / 9,7 \text{ 1/s} = 0,35 \text{ 1/s.} \quad (6)$$

Com o efeito de simplificar os cálculos do tempo de giro derivou-se a equação 6 e obteve-se a equação 7.

$$t_1(s) = \text{ângulo } (^\circ) \cdot 2 \pi / 360 / 0,35 = 0,0499 \times \text{ângulo } \alpha^\circ \quad (7)$$

Este ângulo (α°), medido em graus, é função da distância “a” e do eito de colheita.

Logo após o direcionamento do ângulo de giro da grua, o operário começa a aproximação do cabeçote.

2.2) Esta aproximação à árvore começa com a abertura da grua; a mesma é o resultado de uma combinação de movimentos de dois ângulos; a segunda haste abre a grua; (ângulo β_2) e a primeira haste baixa (ângulo β_1). Estes movimentos são executados simultaneamente e geram um novo ângulo γ (gama); obtido w_2 (velocidade angular), Figura 13, expressa pela Equação 8.

$$t_2(s) = \gamma^\circ / w_2(^{\circ}/s) \quad (8)$$

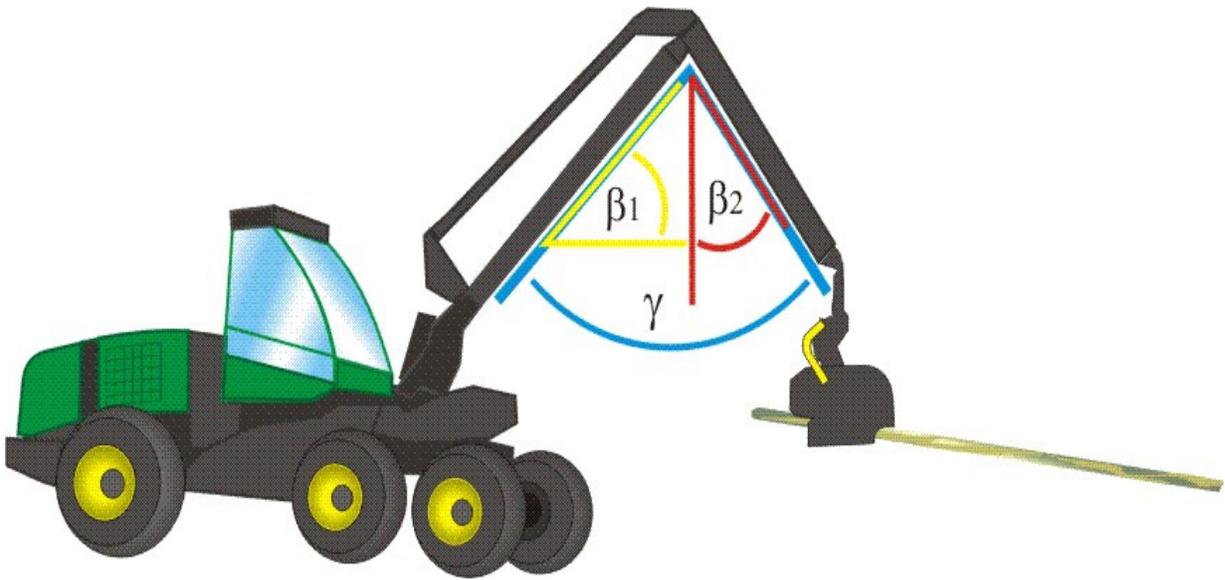


Figura 13 - Apertura da grua, vista lateral

Sendo:

β_1 ângulo da primeira haste da grua;

β_2 ângulo da segunda haste da grua e

γ ângulo composto pelos movimentos simultâneos dos ângulos β_1 e β_2 .

Logo após a aproximação da grua, começa o giro, o cabeçote pressiona o tronco para causar uma ação de tensão aliviando o processo de corte. O tempo de aproximação do cabeçote, e função da habilidade do operador, é foi calculado e medido, e considerou-se constante, por tanto $t_2(s) = K1$.

Na prática; a posição do cabeçote respeito à árvore e de 1,50 metros do tronco, o ângulo de deslocamento do cabeçote medido entre 30° e 150° . A posição do cabeçote é perpendicular ao deslocamento da máquina; as facas e os suportes dos rolos de tração estão abertos até chegar ao tronco. O tempo de giro e pressão (em esta fase o operário fecha as facas e os suportes dos rolos segurando a árvore e originando uma flexão na mesma) do cabeçote sobre a árvore, foi constante $K2(s)$, este tempo calculou-se com a equação 9. Em todos os casos o ângulo de giro e tensão (ϵ) foi de 22° , Figura 14.

$$K2(s) = 22^\circ \cdot 2 \cdot \pi / 360 / 0,367$$

(9)

O tempo total de posicionamento do cabeçote se resume em $t_4(s) = K1(s) + K2(s)$

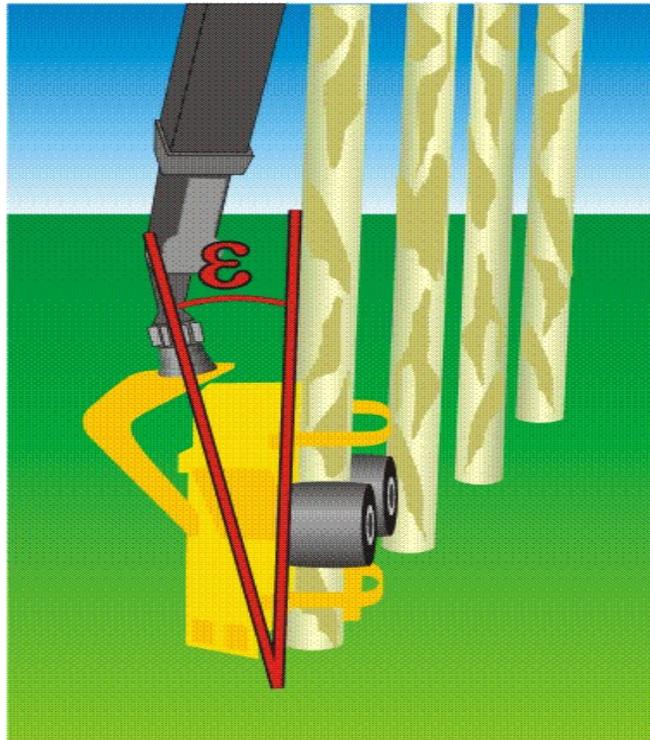


Figura 14 - Ângulo de giro e tensão do cabeçote

3) Corte e derruba: O tempo de corte incluso no tempo de derruba. Os valores analisados de derruba variaram entre 5" e 8". Após a derruba, a árvore é arrastada até o centro da máquina. Esta operação da início á seguinte fase de descascamento-desgalhe. O tempo de deslocamento da árvore da extremidade até o centro foi considerado nulo, dado que acontece no mesmo tempo que o descascamento-desgalhe. Considerou-se constante o tempo de corte e derruba $t_5(s) = K3$.

4) Descascamento - desgalhe: O tempo de descascamento-desgalhe tem relação direta com a altura comercial da árvore (H_c , em metros). Para ser descascada-desgalhada á árvore passa duas vezes pelas facas. O comprimento do descascamento-desgalhe foi medido em duas passadas completas, ultrapassando o comprimento total comercial em 0,5 metros, e 4 passadas adicionais, de 1,0 metro c/u, na parte mais grossa da árvore, onde tem maior proporção de casca e onde a mesma está mais aderida. Esta fase é representada pela equação (10) e Figura 15.

$$L_{descasc}(m) = 2(NL+0,5) + 4(\text{passadas de } 1,0 \text{ m}) \quad (10)$$

Sendo:

$L_{descasc}(m)$: comprimento do descascamento-desgalhe no processo da máquina.

$L(m) = 4,80$ ou $6,80$ metros, comprimento da tora comercial.

N : Número de toras, em função da altura comercial da árvore.

$H_c(m)$: altura comercial da árvore.

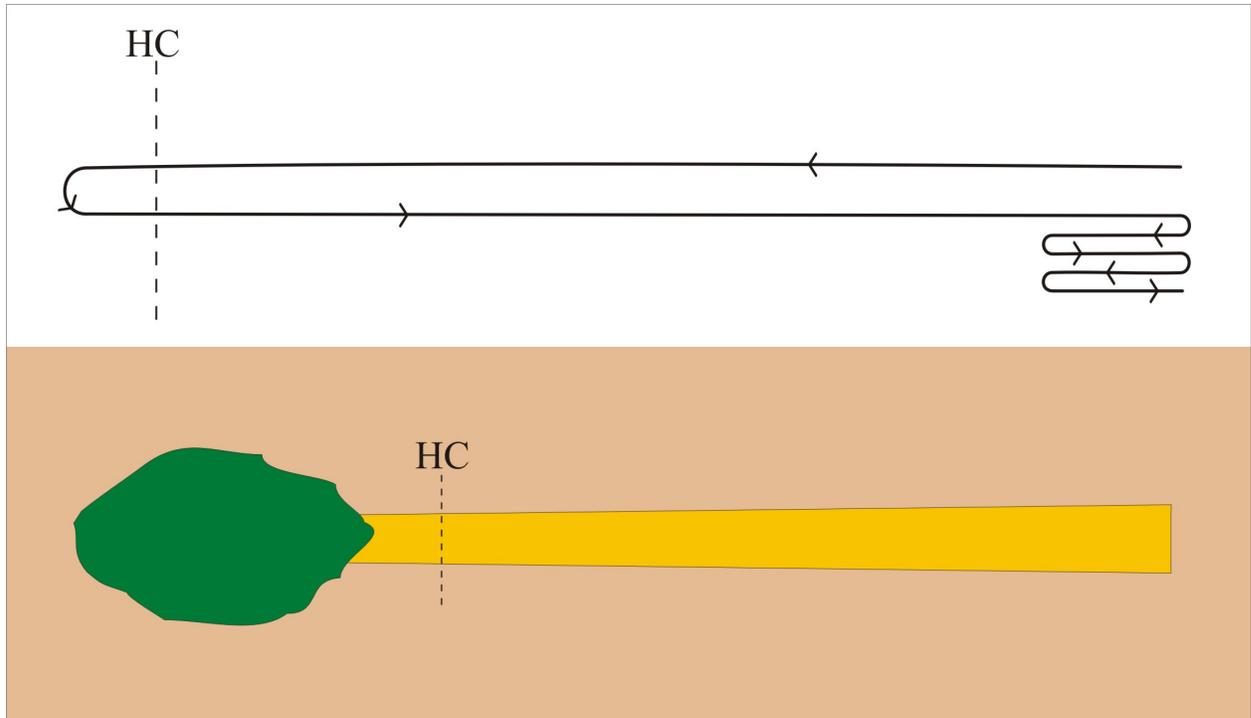


Figura 15 - Comprimento do descascamento-desgalhe

Para calcular o tempo de descascamento-desgalhe derivou-se da equação 10, e obteve-se a equação 11.

$$t_6(s) = L_{descasc}(m) / V(\text{linear média}) \quad (11)$$

Sendo:

$t_6(s)$ tempo total de descascamento-desgalhe

$V(m/s)$: velocidade linear média da árvore em processo de descascamento-desgalhe.

5) Traçamento: Medida em tempos totais de corte, para duas, três e quatro toras por árvore. O tempo de traçamento implica em três tempos, consecutivos, sendo eles, o começo da medição e primeiro corte, seguido do deslocamento entre os cortes (influenciado pela velocidade periférica dos rolos de tração), e o tempo de corte da tora.

Os tempos foram agrupados em:

$t_7(s)$ = tempo de desponta inicial (começo da medição).

$t_8(s)$ = tempo de deslocamento entre cortes.

$t_9(s)$ = tempo de corte da tora.

A somatória de estes três tempos representa-se na equação 12.

$$t_{\text{traçamento}}(s) = 0,30 + (2,92 + 0,22L)N \quad (12)$$

O tempo total por árvore (T_a) é a somatória de todos os tempos parciais por árvore, mostrado na Equação 13.

$$T_a(s): t_1 + t_4 + t_5 + t_6 + t_{\text{traçamento}} \quad (13)$$

A somatória de todos os tempos (T_a) implica no processo de uma árvore, fato este que se repete de acordo com o número de árvores(n) por linha “b”, perpendicular ao deslocamento da colhedora, e tem relação direta com o E_i , sendo o tempo por linha, o produto do tempo por árvore vezes o número de árvores do E_i , representado na equação 14.

$$T_l(s) = n.T_a \quad (14)$$

6) Considero-se o depósito das toras na pilha, o tempo em que às toras são depositadas à esquerda do operador do harvester. Este tempo foi avaliado dentro do tempo de traçamento, dado que as toras processadas são simultaneamente depositadas. Por outro lado, na soma dos tempos parciais anteriores, podem-se considerar, o tempo para acomodar a casca e a galhada, a queda da árvore na fase de descascamento-desgalhe e outros.

O deslocamento da máquina até a seguinte linha de árvores, considera-se um tempo mínimo, geralmente incluso em outros movimentos, dado a simultaneidade de tempos e movimentos, esse tempo deve ser corrigido, para melhorar o ajuste do modelo, sendo este tempo função da distância “b” entre as árvores dentro da linha.

Todavia mede-se o tempo de colheita do *harvester*, avaliam-se os metros de árvore processada por linha, sendo calculado com: número de árvores por Ei(n), o número de toras(N) e o comprimento(L) das mesmas, representado na equação 15.

$$Al(m) = n.N.L \quad (15)$$

Logo calcula-se a quantidade de madeira por linha, (Ql), expressa em m³ com a equação 16.

$$Ql(m^3) = Al.\pi(DAP^2/4).ff \quad (16)$$

Sendo DAP = diâmetro altura do peito em metros;

ff = fator de forma valor experimental.

Chegando ao final como se amostra na Figura 16, a calcular a capacidade operacional efetiva representada na equação 17.

$$Coe(m^3he^{-1}) = Ql.TI^{-1} \quad (17)$$

A seguir apresenta-se o fluxograma de funcionamento de modelo empirico.

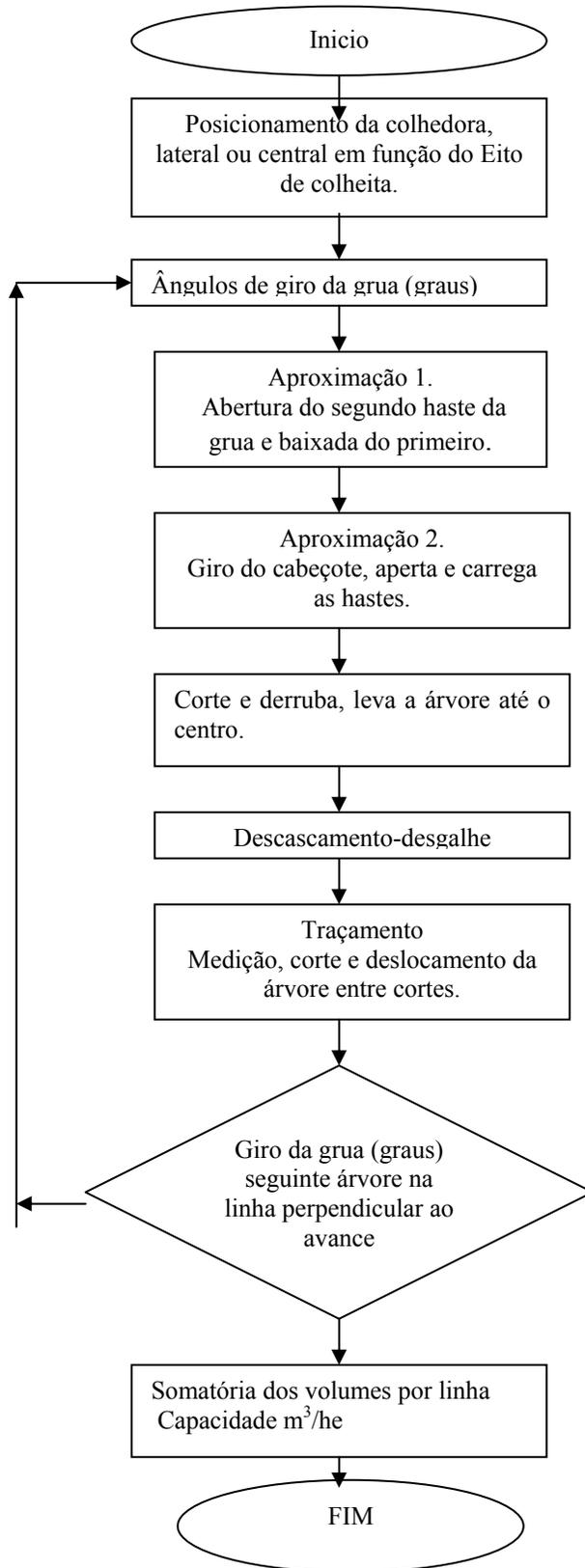


Figura 16 - Fluxograma de funcionamento da colhedora florestal

3.7 Análise Estatística

Com os dados coletados em Votorantim e Itapeva, e dados do simulador, realizaram-se uma análise da variância do tempo de processamento entre os diferentes tratamentos (E, A e Ei), aplicando-se o teste de Tukey no caso de diferenças entre os tratamentos. Com este análise modelo se pretende chegar a estimar a $Coe(m^3.he^{-1})$ da máquina em talhões de eucalipto com condições similares, tomando em conta as variáveis preditoras. Usando os valores das variáveis, E, volume médio, DAP e altura aplicaram-se um teste de regressão “stepwise”, para verificar o quanto uma variável explica a Coe e quando se fez correlação para medir a participação das mesmas no resultado final. Os dados de tempo por cada fase de colheita com o *harvester* medidos em cada E e A coletados nas regiões de Votorantim e Itapeva e os dados simulados foram analisados com o programa “SAS”.

3.8 Análise Econômica

Para esta máquina se fez um levantamento dos dados de custos operacionais e sua respectiva Coe, sendo que a eficiência operacional, disponibilidade mecânica e utilização foram dados coletados da própria VCP. Estimaram-se os custos operacionais para os diferentes tratamentos das parcelas experimentais assim como das regiões de Votorantim e Itapeva. Para a determinação dos custos operacionais dos equipamentos se utilizou o método contábil, com valores estimados e reais. Os custos fixos foram estimados pela metodologia proposta pela FAO (SESSIONS, 1987).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Estudo de Tempo e Movimentos

Os levantamentos dos dados de campo foram feitos nos meses de fevereiro de 2006 na região de Votorantim 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 Jacareí. Os dados das características silviculturais de cada talhão destas regiões foram obtidos diretamente dos inventários da empresa VCP e são apresentados na tabela 9.

Tabela 9 - Características dendrométricas dos talhões de Votorantim e Itapeva

Tratamento*	Talhões	E (m ² arv ⁻¹)	A (mxm)	Altura média (m)	DAP (cm)	Volume sc (m ³ arv ⁻¹)
1	40	9,0	3,0 x 3,0	31,86	18,85	0,31
2	16	7,5	3,0 x 2,5	34,53	18,46	0,34
3	13	9,0	3,0 x 3,0	29,79	17,77	0,32
4	9	6,0	3,0 x 2,0	31,11	17,64	0,26
5	1	12,0	6,0 x 2,0	30,30	18,34	0,25
6	18	9,0	6,0 x 1,5	27,68	18,41	0,32
7	5	9,0	3,0 x 3,0	23,70	14,85	0,17
7	4	9,0	3,0 x 3,0	22,1	14,74	0,17

* Tratamentos de 1 a 7 referem-se a espaçamento, arranjo e eito de colheita.

Encontrou-se o tempo de colheita por atividade parcial e total para cada tratamento (E,A, e Ei), representados na tabela 10 para as regiões de Votorantim e Itapeva. Os talhões 4 e 5, por terem características dendrométricas semelhantes, foram avaliados juntos no tratamento 7.

Utilizando o método “multimomento” do estudo de tempo e movimentos avaliaram-se os tempos das atividades parciais e o total dos diferentes tratamentos com o objetivo de quantificar a proporção de cada fase e gerar um modelo empírico.

Tabela 10 – Tempos parcial e total (s) do ciclo de colheita medidos nos tratamentos 1 a 7 em Votorantim e Itapeva

TRATA- MENTO	DESLCAB (s)	DERRUBA (s)	DESCAS (s)	TRAÇAM (s)	LIMPAND (s)	DESLMAQ (s)	OUTROS (s)	TOTAL (s)
1	3,89	5,18	12,31	17,82	1,6	0,57	0,04	41,41
2	4,33	5,64	14,63	16,98	0,19	0,15	0	41,92
3	3,58	4,88	13,98	15,16	0	0	0	37,60
4	4,78	5,19	17,15	16,77	0,07	0	0,03	43,99
5	4,28	6,72	16,6	17,21	0,4	0,21	0,07	44,55
6	1,37	8,41	9,09	21,44	1,75	2,46	0,55	45,07
7	2,82	7,56	10,01	16,18	0,62	1,43	0,54	39,16

Neste caso, 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, foi de 0,69 (s) por árvore, valor maior ao encontrado por Tarnowski et al. (1999), este resultado é devido a que muitas fases da operação foram feitas de forma simultânea.

Observa-se que a maior proporção de tempo médio(s) do ciclo de colheita por árvore foi o de traçamento entre 41,4 % dos tempos totais, seguido da fase de descascamento - desgálhe 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 A de 6,0 x 1,5m, sendo também a proporção de tempo de descascamento-desgálhe menor pelo mesmo fato. A diferença no deslocamento da máquina pode ser explicada pelo diferente arranjo que foi maior devido a que a colhedora apresentou uma maior mobilidade no manuseio da árvore para não quebrá-la no processo de derrubada 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 com o traçamento e descascamento representa 75 % do tempo total.

Procurou-se aprofundar a análise para identificar, de forma mais clara, as variáveis de maior influência na resposta das diferentes fases do tempo do ciclo de colheita. Trabalhou-se com as primeiras fases do ciclo de colheita que representam 98 % do tempo, deixando fora dessa análise os tempos de: limpando, deslocamento de máquina e outros. Na Tabela 11 verifica-se a

diferença estatisticamente significativa entre as atividades parciais e total dos diversos tratamentos.

Tabela 11 - Análise comparativa das médias de tempos (s) das atividades parciais e total dos tratamentos

TRATAMENTO	ESPAÇAMENTO (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 não diferem entre si pelo teste de “tukey” com 5 % de probabilidade.

Observa-se que nos tratamentos 1, 2, 4 e 5 o tempo médio por árvore é probabilisticamente igual, ainda que com os diferentes valores de E, A e Ei. No caso do E, com os valores de 6,0; 7,5; 9,0 e 12 m², o tempo médio por ciclo de colheita foi o mesmo, pois a altura, DAP e volume por árvore são similares. No que se refere ao A, não parece haver efeito no tempo médio por ciclo de colheita nos casos de 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 E é de 9,0 m² por planta nos três casos, mas há um A diferente, tendo o tratamento 6 de (6,0 x 1,5m) e os tratamentos 3 e 7 o mesmo A de (3,0 x 3,0m). O que poderia explicar as diferenças seria a 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.

Em 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 a máquina base, o que parece ser mais lógico dado à dificuldade em identificar qual dos dois está acontecendo.

O tempo de deslocamento do cabeçote foi similar nos tratamentos 1, 2, 4 e 5 sendo que os E e A eram diferentes. Os tratamentos 3 e 6 têm o mesmo resultado, sendo que têm o mesmo E e volume por árvore, mas diferentes arranjos. No caso das diferenças entre os tratamentos 6 e 7,

onde os E são os mesmos, os arranjos explicam em parte esta 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 m³ e 0,34m³, respectivamente. O deslocamento do cabeçote da máquina não responde, com uma tendência clara, a diferentes E e A. Pelos resultados expostos, este fato pode ser explicado porque no momento da colheita, acontecem velocidades angulares simultâneas dentro do cabeçote, da grua e da máquina base que dificultam a identificação de qual variável tem maior influência.

A origem das árvores pode significar uma diferença importante na população final, gerando aleatoriamente diferentes E e A por mortalidade até a colheita.

Na fase da derruba, 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 derruba 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 E que estes últimos, diferente em volume médio e A. Estes valores de derruba foram coincidentes com os encontrados por Salmeron e Ribeiro (1998). Esta fase da máquina, que segura, corta e derruba esta 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 5 tratamentos similares, 1, 2, 3, 6 e 7, sendo que a altura das árvores é diferente em todos os tratamentos, com valores em metros a partir de 22,1 a 31,86 m. Os tratamentos 4 e 5 têm tempos maiores que os anteriores, aqui à altura (31,0 m) é similar, e relaciona-se em forma mais direta com a fase de descascamento-desgalhe. Este fato foi observado por Bramucci (2002) como um tempo constante que independe 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 %. Estas diferenças podem ser atribuídas a fatores climáticos, temperatura e umidade relativa que ocorrem no momento da colheita.

O maior tempo na atividade de traçamento foi de 41,4 %, coincidente com Santos e Machado (1995), todos maiores que os encontrados por Salmeron e Ribeiro (1998) os tratamentos 1 e 6 não diferem entre si, o que pode explicar o DAP, altura e volume similares. Entretanto, os tratamentos restantes também não diferem entre si, mesmo tendo diferente E e A (2, 4 e 5), sendo que os tratamentos 3 e 7 com igual E e A não diferem dos anteriormente citados.

O que resulta lógico é a relação entre altura da árvore e comprimento da tora, que em este caso foi de 6,80 m, que define o numero de vezes que aciona a corrente de corte.

4.2 Simulador

A simulação foi feita no mês de setembro de 2006, simulando-se quatro E com seus diferentes A e Ei, conforme Tabela 12.

Tabela 12 - Tempo médio (s) por árvore em simulação com diferentes espaçamentos, arranjos e eito de colheita

Tratamentos	E (m ² arvore ⁻¹)	A (mxm)	Ei	Altura média(m)	Volume (m ³ arvore ⁻¹)	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

Foi realizada a análise da variância e houve diferença significativa entre os tratamentos simulados(s), por tanto se aplicou o teste de Tukey. Os resultados de este último aparecem na Tabela13.

Tabela 13 - Análise comparativa das médias de tempo (s) por ciclo de colheita

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 bastante próximos dos reais, sendo maiores do que os encontrados na simulação feita por Eliasson e Lageson (1998).

Com o intuito de analisar a importância de cada fase do tempo de colheita total simulado, a seguir na tabela 14 se descreve os resultados obtidos na simulação.

Tabela 14 - Tempos parcial e total (s) do ciclo de colheita medidos em quatro arranjos simulados

TRATAMENTO	DESLCAB	DERRUBA	DESCAS	TRAÇAM	LIMPAND	DESLMAQ	OUTROS	TOTAL
1s	5,73	4,18	14,68	10,43	0,0	0,16	0,0	35,18
2s	3,64	6,41	13,52	11,45	0,0	0,02	0,0	35,04
3s	4,27	5,57	13,86	12,23	0,0	0,07	0,0	36,00
4s	3,5	6,34	12,61	11,65	0,0	0,0	0,0	34,00

Nos casos dos tratamentos 2s, 3s e 4s com espaçamento de 9,0; 12 e 18 m² o resultado aparece com maior proporção na fase de descascamento-desgalhe, sendo que também a fase de derruba é maior do que o deslocamento do cabeçote. Mesmo em estes tratamentos, tem mais influência o tempo de derruba que o de deslocamento do cabeçote, provavelmente porque o movimento de sobrecarga do cabeçote para começar a derruba, é um movimento mais complexo do que o de deslocamento do cabeçote, esta tendência é comum tanto para os dados coletados na simulação quanto no ciclo real.

Outra diferença com o ciclo real é que o traçamento sempre representa maior proporção de tempo do ciclo, sendo que o tempo de traçamento no simulador foi menor que o tempo de descascamento-desgalhe, para a mesma dimensão da tora. Se forem comparados os tempos de simulação com os tempos reais para os mesmos volumes por árvore, os tempos médios simulados

foram sempre menores que no ciclo real. Isto pode ser devido a que o programa de simulação simplifica a operação, e produz muito menos interferência na coleta de dados, o que diminui a variabilidade do ciclo de colheita.

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.

4.3 Capacidade operacional efetiva

Os valores encontrados de Coe foram calculados com a equação (2), sendo expressos em metros cúbicos por hora efetiva de colheita (m^3he^{-1}) e agrupam-se na tabela 15. Nos casos simulados os dados foram calculados com os valores da Coe para a pesquisa de E e A com diferentes clones instalados na Fazenda Águas Virtuosas. Para E de 6,0 m^2 , optou-se pelo tempo médio de 35 segundos por árvore, obtido em simulação, para o caso de 10,5 m^2 o valor de 36 segundos, para E de 15,0 m^2 o tempo foi de 34 segundos.

Tabela 15 – Capacidade operacional ($m^3 he^{-1}$) da colhedora florestal por tratamento em coletados em Votorantim e Itapeva

Tratamento	E (m^2)	COe ($m^3sc. he^{-1}$)	
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.

Em esta situação os tratamentos 1, 2, 3 e 6 com E de 7,5 e 9,0 m^2 têm maior Coe, devido ao maior volume médio por árvore (variando de 0,31 a 0,36 m^3), seguido dos tratamentos 4 e 5 com E de 6,0 e 12,0 m^2 , indicando a influência do volume médio por árvore, fato que também foi comprovado por Oliveira Neto et al. (2003), Bramucci e Seixas (2002) e Eliasson e Lageson (1998). Santos e Machado (1995) observaram a mesma tendência sobre a COe do

equipamento, à medida que aumenta o volume por árvore, sendo que o custo de processamento teve comportamento inverso. Em todos os tratamentos não se verifica influência direta das variáveis: A e Ei.

Também os valores simulados da Coe foram calculados com a equação (2), sendo expressos em metros cúbicos sem casca, por hora efetiva de colheita (m^3he^{-1}) (Tabela 16).

Tabela 16 - Capacidade operacional efetiva ($\text{m}^3 \text{he}^{-1}$) do simulador da colhedora em diferentes espaçamentos e arranjos

Tratamento	Espaçamento ($\text{m}^2\text{arvore}^{-1}$)	Volume ($\text{m}^3\text{arv}^{-1}$)	Coe (m^3he^{-1})
1s	6	0,19	20,3
2s	9	0,19	20,4
3s	12	0,225	22,3
4s	18	0,19	19,9

Os valores de Coe da tabela 16 foram definidos pelo volume médio por árvore. No E de $12,0\text{m}^2$ e A $6,0 \times 2,0\text{m}$ a Coe foi maior que nos outros E, novamente a variável volume médio por árvore aparece como a principal influência sobre a Coe.

Para cada clone, calculou-se a Coe da colhedora florestal com a equação (2), em cada E e A, agrupam-se nas tabelas 17 e 18.

Tabela 17 – Capacidade operacional efetiva da colhedora florestal ($\text{m}^3 \text{he}^{-1}$) simulados e calculados com diferentes espaçamentos e arranjo, valores calculados para o Clone C041

Tratamentos	E	A	Volume	Coe
C041	($\text{m}^2 \text{árvore}^{-1}$)	(m x m)	$\text{m}^3 \text{árvore}^{-1}$	$\text{m}^3 \text{he}^{-1}$
1c	6,0	3,00 x 2,00	0,15	15,42
2c	6,0	6,00 x 1,00	0,14	14,40
3c	6,0	9,00 x 0,67	0,14	14,40
4c	10,5	3,00 x 3,50	0,22	22,0
5c	10,5	6,00 x 1,75	0,23	23,0
6c	10,5	9,00 x 1,17	0,21	21,0
7c	15,0	3,00 x 5,00	0,30	31,76
8c	15,0	6,00 x 2,50	0,31	32,82
9c	15,0	9,00 x 1,67	0,27	28,58

Os valores apresentados na tabela 17 foram calculados com a fórmula de capacidade operacional efetiva da colhedora, sendo neste caso influência direta do volume médio por árvore, como se apresenta na figura 17.

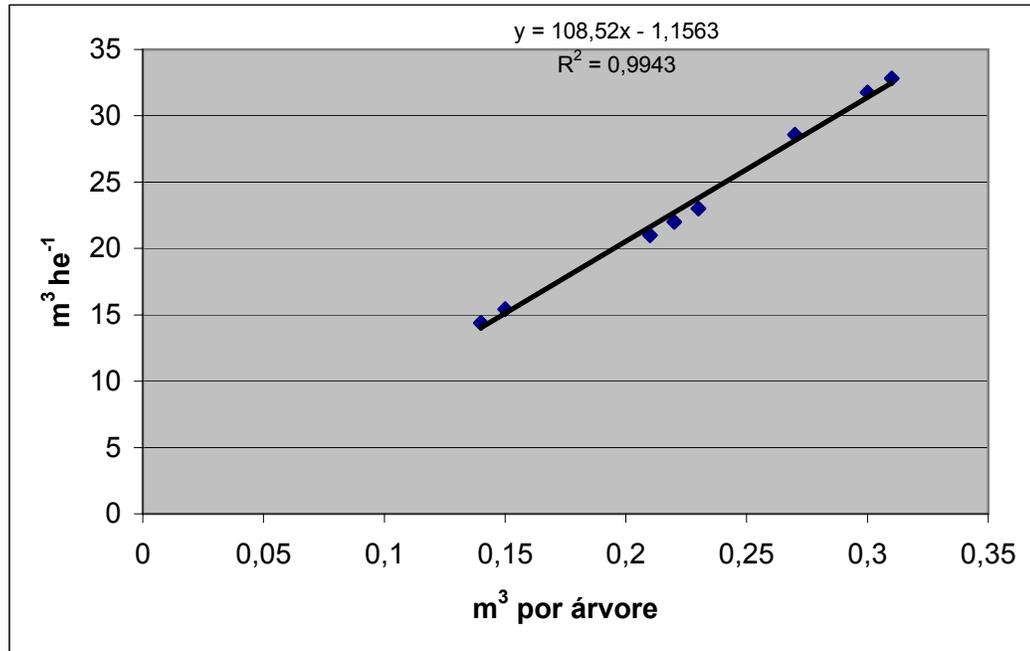


Figura 17 - Capacidade operacional efetiva da colhedora calculada do clone C041

Como aparece na Figura 17, quanto maior espaçamento maior o volume e portanto, maior capacidade operacional.

Para o clone C219 calcularam-se usando os valores calculados de Coe da colhedora florestal como amostra a tabela 18, (Utilizaram-se tempos médios simulados).

Tabela 18 - Capacidade operacional da colhedora florestal ($\text{m}^3 \text{he}^{-1}$) simulados e calculados com diferentes espaçamentos e arranjo, valores calculados para o Clone C219

Tratamentos	E	A	Volume	Coe
C219	($\text{m}^2 \text{árvore}^{-1}$)	(m x m)	$\text{M}^3 \text{árvore}^{-1}$	$\text{m}^3 \text{he}^{-1}$
1d	6,0	3,00 x 2,00	0,14	14,40
2d	6,0	6,00 x 1,00	0,14	14,40
3d	6,0	9,00 x 0,67	0,12	12,34
4d	10,5	3,00 x 3,50	0,24	24,00
5d	10,5	6,00 x 1,75	0,22	22,00
6d	10,5	9,00 x 1,17	0,19	19,00
7d	15,0	3,00 x 5,00	0,30	31,76
8d	15,0	6,00 x 2,50	0,29	30,70
9d	15,0	9,00 x 1,67	0,25	26,47

Comentários similares sobre a tabela se aplicam para a Coe simulada do clone C219, onde também predomina maior Coe em maior volume médio por árvore como expressa a Figura 18.

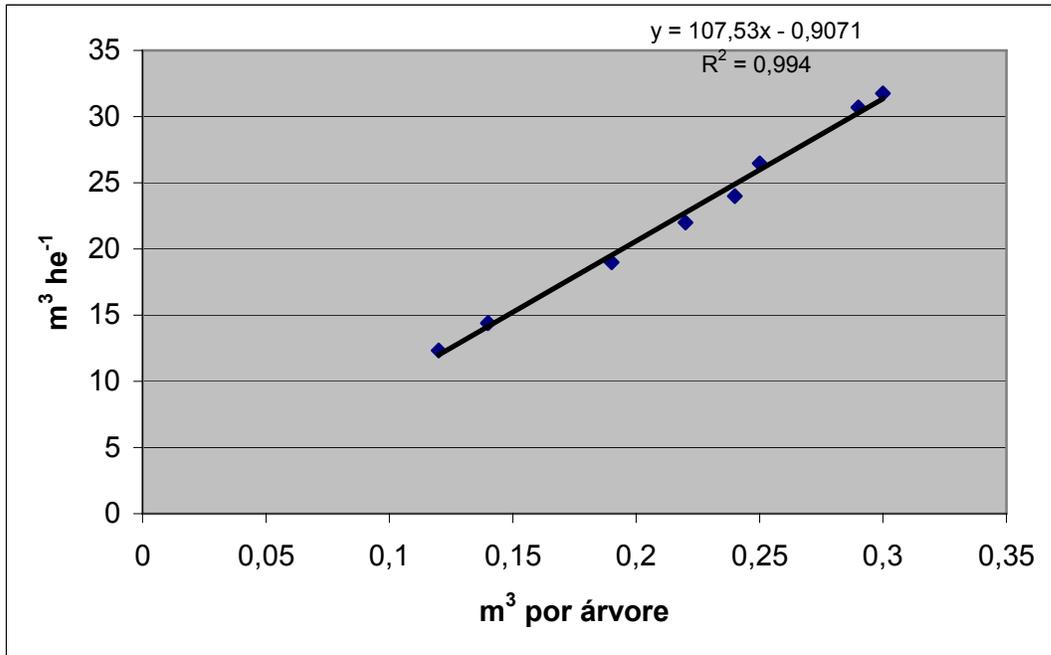


Figura 18 - Capacidade operacional efetiva da colhedora calculada do clone C219

Seguindo este raciocínio, calculou-se a relação existente entre a, capacidade operacional medida em metros cúbicos sólidos, por hora efetiva, 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 capacidade operacional e quando se fez a correlação resultou na eliminação da variável DAP por ter colinearidade com o volume medido em ($m^3 \text{arvore}^{-1}$).

Tabela 19 - Análise de regressão, variável dependente Capacidade operacional efetiva ($m^3 \text{he}^{-1}$), variável volume médio por árvore, passo 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

A variável volume médio é significativa no modelo.

Tabela 20 - Análise de regressão, variável dependente Capacidade operacional efetiva ($m^3 \text{he}^{-1}$), volume médio e espaçamento, passo 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

As variáveis, volume médio e espaçamento foram significativas no modelo.

Tabela 21 - Análise de regressão, variável dependente Capacidade operacional efetiva ($m^3 \text{he}^{-1}$), altura, espaçamento e volume médio, passo 3

Variável	Parâmetro estimado	Desvio Padrão	Tipo II	F	Pr>F
Intercepto	-6,11	2,41	7,95	6,45	0,0191
Espaçamento	0,97	0,131	68,06	55,17	<0,0001
Altura	0,358	0,133	8,895	7,21	0,0139
Volume médio	44,89	9,906	25,331	20,53	<0,0001

As variáveis volume médio, espaçamento e altura são significativas no modelo.

Tabela 22 - Resumo do modelo de regressão “stepwise”

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 aparece na tabela 22, a maior contribuição com a variável Capacidade operacional efetiva é a do volume médio por árvore, seguido da variável espaçamento, sendo a variável altura significativa no modelo, no entanto esse valor não chega a 1 %, sendo que a variável espaçamento explica 8,5 %. Nessa situação do trabalho é preferível manter os valores de predição do passo 2, resultando a regressão da produtividade estimada pela seguinte expressão:

$$\text{Coe } (m^3 \text{he}^{-1}) = - 0,063 + 0,706 \text{ espaçamento} + 68,849 \text{ volume médio.} \quad (18)$$

4.4 Resultados do Modelo Empírico da Capacidade Operacional

Em cada tratamento com diferentes E, A e E_i , a Coe da colhedora fica definida por os tempos e movimentos de cada situação espacial associada as variáveis dendrométricas. Um fator que também se considerou foi quantas vezes a colhedora entra por hectare, dado este que pode ser importante para diminuir compactação e planejar o seguinte reflorestamento.

Em base ao fluxograma, (Figura 16) se fez um programa de cálculo em planilha tipo Excel, para facilitar a predição da capacidade de colheita com as variáveis de espaçamento, arranjo, eito, DAP, volume médio, altura e número de entradas por hectare que se mostra no anexo. Com a seqüência de fases, aplicou-se uma serie de equações de tempo e movimento para estimar a capacidade operacional efetiva (Coe) em metros cúbicos por hora para os diferentes tratamentos, reais, os coletados em campo, e os simulados.

Para obter os tempos de colheita total, se começou o calculo (Equação 7) dos valores de tempo de giro da base da grua em função dos diferentes E, A e E_i , resumidos na tabela 23.

Tabela 23 - Tempos de giro da grua em diferentes E, A e Ei

E (m ² árvore ⁻¹)	A (m x m)	Ei (n)	Ângulo de giro da grua (graus)				Tempo (s)			
			10	40	70	-	0,5	2,0	3,5	-
6,0	3,00 x 2,00	3	10	40	70	-	0,5	2,0	3,5	-
		4	12	43	73	92	0,6	2,1	3,6	4,6
	6,00 x 1,00	2	5	80	-	-	0,2	4,0	-	-
		2	0	114	-	-	0	5,7	-	-
10,5	3,00 x 3,50	3	5	38	72	-	0,2	1,9	3,6	-
		4	5	38	72	89	0,2	1,9	3,6	4,4
	6,00 x 1,75	2	27	91	-	-	1,3	4,5	-	-
		2	11	117	-	-	0,5	5,8	-	-
15,0	3,00 x 5,00	3	18	52	86	-	0,9	2,6	4,3	-
		4	18	50	82	102	0,9	2,5	4,1	5,1
	6,00 x 2,50	2	31	91	-	-	1,5	4,5	-	-
		2	22	117	-	-	1,1	5,8	-	-

O tempo de aproximação do cabeçote a árvore foi determinado (Equação 8) constante, este valor foi de 2,5 s.

Em seqüência da colheita (Figura 16) o tempo de giro e ação de tensão do cabeçote sobre a árvore, também foi determinado (Equação 9) constante, este valor foi de 1,05 s, portanto a somatória de este dois tempos foi considerado o tempo total (3,55 s) de posicionamento do cabeçote para segurar a árvore. Os tempos de derruba foram medidos é os valores oscilaram entre 5 e 8 segundos, com maior freqüência 7 segundos, este valor foi escolhido para os cálculos de tempo de colheita. O tempo de descascamento-desgalhe foi calculado (Equação 11) que leva em conta, o comprimento da tora, altura comercial e velocidade periférica dos rolos de tração do cabeçote. O tempo de toragem foi calculado (Equação 12), que somado aos tempos anteriores e o tempo total por árvore, recomeçando o ciclo novamente em função do número de árvores por oito

de colheita. A quantidade de madeira colhida (Equação 16) em m^3 , chegando ao final em valores de Coe (Equação 17), chegar ao resultado que se resume nos gráficos 18,19,20 e 21.

Com base nos dados coletados no trabalho feito em Votorantim, Itapeva e simulados, calculou-se a Coe com o modelo empírico (anexo), Figura 18.

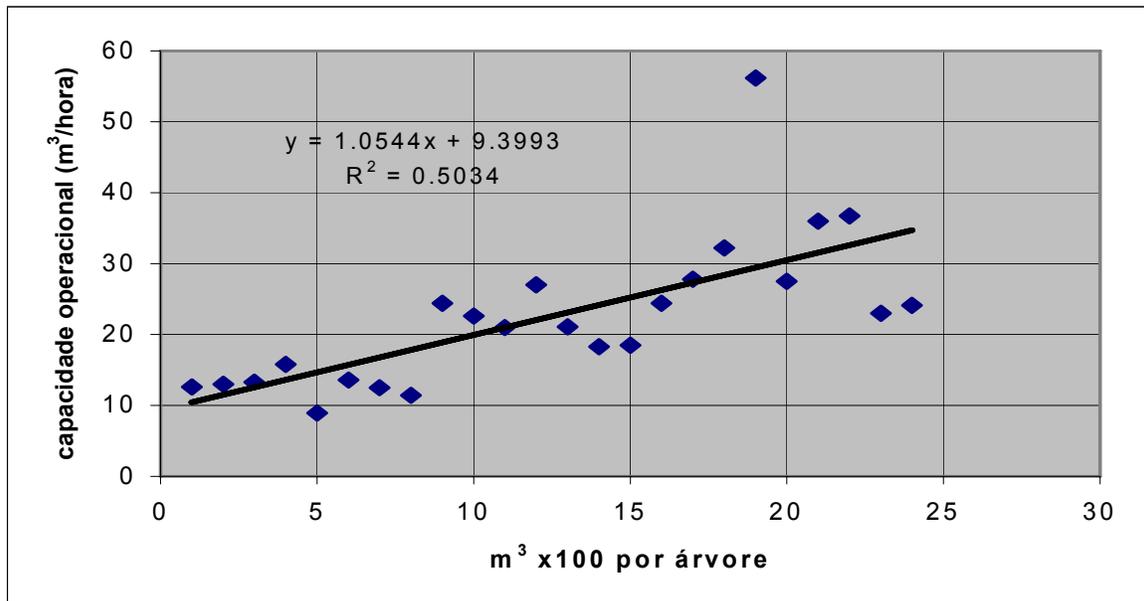


Figura 18 - Capacidade operacional calculada em função do volume médio por árvore

Como mostra a Figura 18, se se aplica o modelo empírico, a Coe da colhedora, é diretamente proporcional ao volume individual por árvore, por tanto se verifica que as variáveis: E, A e E_i , têm uma menor importância em forma direta.

A seguir foi procurada a incidência de estas variáveis. Observa-se a Figura 19 a relação entre a Coe e o E, por tanto há uma relação direta que demonstra que quanto maior o E, maior Coe da colhedora. Aqui a coincidência é que nos dados da tese de Silva (2002), os maiores E correspondem a um maior volume médio por árvore, entretanto dentro de um mesmo E há pequenas diferenças de capacidade operacional e que pode ser explicado pela variação dos dados coletados da variável volume médio. Sendo que o coeficiente de variação dos primeiros E de 5,0 e 10,0 m^2 é de 16,2 e 14,0 % respectivamente, no caso do espaçamento de 15,0 m^2 , o coeficiente de variação duplica os valores anteriores, expresso na dispersão de pontos, Figura 19.

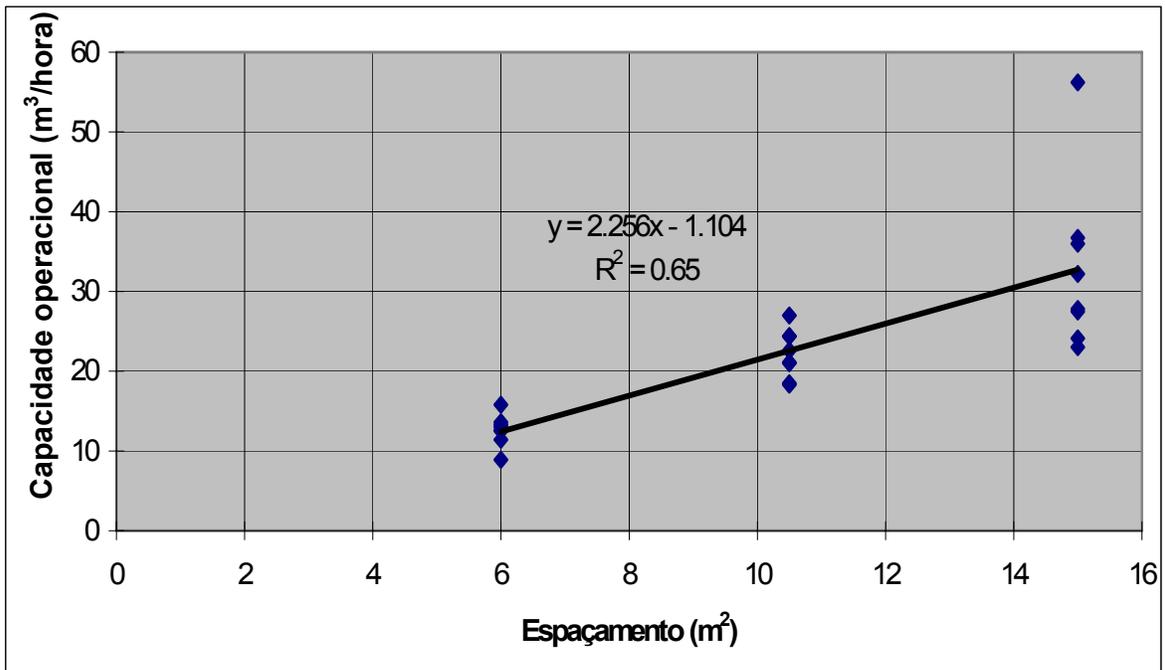


Figura 19 - Capacidade operacional efetiva calculada em função espaçamento

Calcula-se com o modelo empírico em planilha Excel (Anexo) com os valores da variável volume médio constante em diferentes E, A e Ei. A colhedora manterá a Coe, como aparece na figura 20.

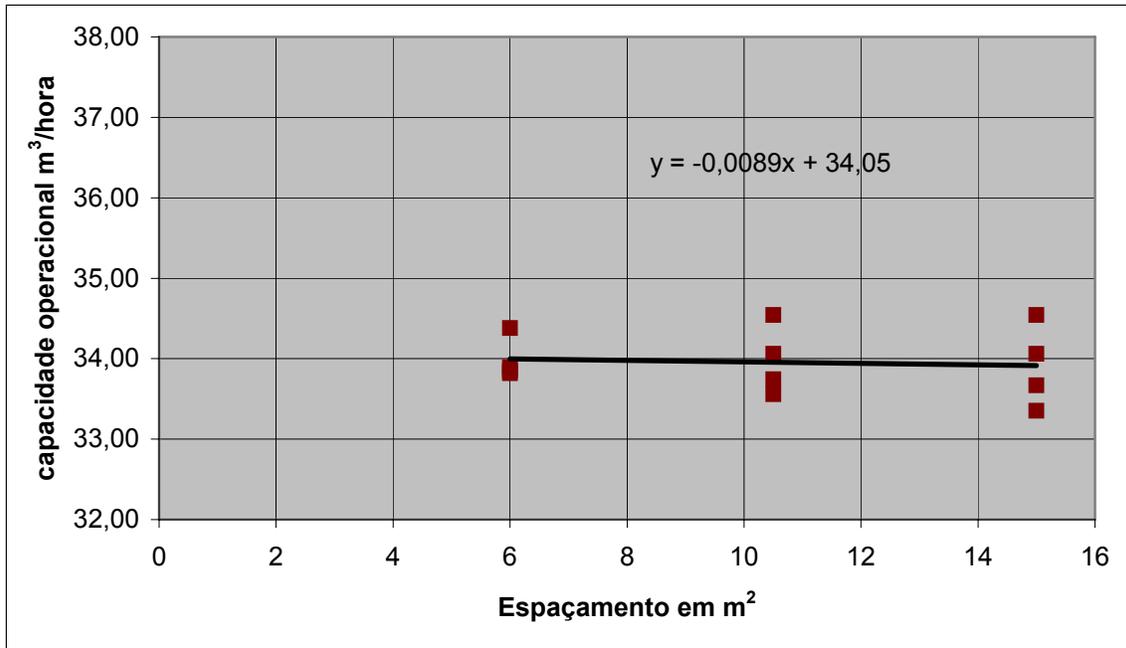


Figura 20 - Capacidade operacional efetiva calculada em função do espaçamento com volume médio por árvore constante

Novamente fica claro que a principal variável que explica a Coe da colhedora é o volume médio por árvore. O arranjo e eito, geram outros resultados no processo geral da floresta, como ser, tempo que leva a colhedora para colher árvores por unidade de superfície (ha), também em número de vezes que a colhedora entra em essa superfície, originando diferentes situações; dependendo do eito usado vai ter mais ou menos entradas por hectare; o lugar donde vai ficar a galhada e casca, o que gerara diferente manejo da implantação da futura floresta. Desde o ponto de vista do tempo este será maior em aqueles plantios que tenham menores E como expressa a Figura 21.

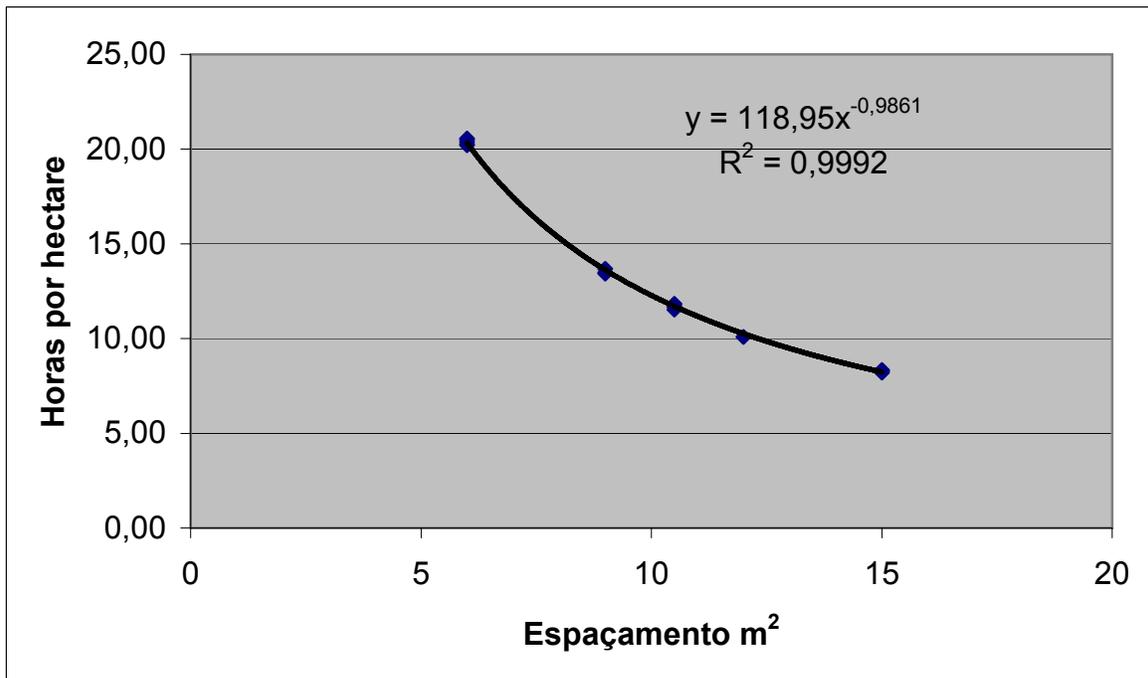


Figura 21 - Horas por hectare em função do espaçamento

As horas por hectares serão funções do: E, A e Ei, porque estas variáveis implicam diferentes quantidades de árvores por hectare, sendo que os menores valores de tempo relacionam - se com maiores E.

Há interesse em determinar o lugar final da galhada, casca e área compactada que são a origem do passo da colhedora e trator carregador. O número de vezes que a colhedora entra por hectare oscilou entre 5,56 a 11,11 para espaçamentos de 6,0 a 15,0 m². Esta análise abrange os diferentes eitos de colheita que logicamente demonstra que quanto maior eito, menor será o número de entradas por hectare com as implicações comentadas.

4.5 Resultados da Análise Econômica

Com o objetivo de quantificar o efeito do E e A no custo final da colheita, foram utilizados os dados calculados de Coe da colhedora obtidos das regiões de Votorantim e Itapeva, assim como os simulados na pesquisa feita por Silva (2005).

Os custos fixos e variáveis calculados foram de um total de 113,28 US\$.he⁻¹, representando em 68 % para os custos fixos e 32 % de custos variáveis. Na tabela 23 se apresentam os custos em US\$.he⁻¹ para os diferentes componentes.

Tabela 24 - Valores dos componentes de custos fixos e variáveis (US\$ he⁻¹)

FIXOS	US\$	VARIÁVEIS	US\$
Depreciação	31,0	Combustíveis	22,0
Juros	3,62	Lubrificantes	11,0
Seguro	0,08	Consertos, manutenção	35,0
Estrutura	1,9	Pneu, esteiras	5,0
		Sabre e corrente	1,0
		Mão de obra	4,0

Nos custos fixos o item mais importante é a depreciação (84 %), seguido pelos juros. Nos custos variáveis, o custo de conserto e manutenção representou aproximadamente 45 %, e o custo de mão de obra e lubrificantes 20 %.

No que refere a relação entre E e custos totais, fica expresso na Figura 22, que os plantios de eucalipto com E maiores têm custos de colheita menores.

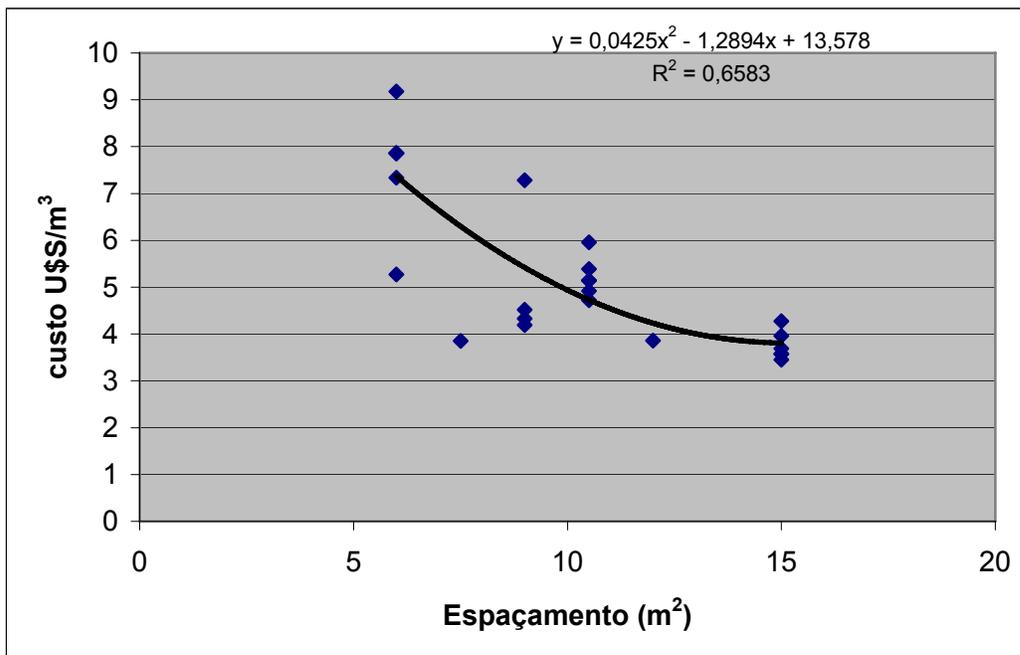


Figura 22 - Custo de colheita em função do espaçamento

Esta tendência de plantios com maior E resultam em árvores com maior volume médio que por sua vez significa menor custo de colheita, tendência verificada por, Bramucci e Seixas (2002) Holtzschler e Lanford (1997), Rezende (1983) entre outros.

5 CONCLUSÕES

O volume médio por árvore foi a variável que melhor explicou a capacidade operacional da colhedora florestal.

O espaçamento afetou em seguida a capacidade operacional da colhedora, sendo que com maiores espaçamentos, maior volume individual que, por sua vez, 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 podem ser utilizados como “reais” para este tipo de comparação, dado que os tratamentos usando o simulador seguem a mesma tendência que a colheita real, ou seja, a maior espaçamento, maior volume individual por árvore e por tanto maior capacidade operacional 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 colhedora o maior tempo do ciclo foi de descasque-desgalhe.

O modelo empírico apresentado pode ser uma ferramenta válida para predição de capacidade operacional do *harvester*.

REFERÊNCIAS

- ASSIS, R.L de; FERREIRA, M.M.; MORAIS, E.J. de; FERNANDES, L.A. Produção de biomassa de *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake sob diferentes espaçamentos na região de cerrado de Minas Gerais. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 23, n. 2, p. 151-156, 1999.
- ATHANASSIADIS, D.; WÄSTERLUND, I. Life cycle assessment of forestry machines. In: SEMINARIO DE ATUALIZAÇÃO SOBRE SISTEMAS DE COLHEITA DE MADEIRA E TRANSPORTE FLORESTAL, 10., 1998, Curitiba. **Anais...** Curitiba: UFPr; FUPEF 1998. p. 107-115.
- BARNES, R.M. **Estudo de movimentos e de tempos: projeto e medida do trabalho**. São Paulo: Edgard Blucher, 1977. 635 p.
- BRACELPA. **Relatório estatístico florestal**. Disponível em: <[http://www.ipef.br/estatísticas/tabelas/Bracelpa – relatório.Estatístico-Florestal-2003. Pdf](http://www.ipef.br/estatísticas/tabelas/Bracelpa%20-%20relatório.Estatístico-Florestal-2003.Pdf)>. Acesso em: 12 dez. 2004.
- 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, dez. 2002.
- COELHO RENSI, A.S.; MELLO, H.A.; SIMÕES, J.W. Comportamento de espécies de eucaliptos face ao espaçamento. **IPEF**, Piracicaba, n. 1, p. 29-55, 1970.
- CLUTTER, J.; FORSTON, J.; PIENAAR, L.; BRISTER, G.; BAILEY, R. **Timber management: a quantitative approach**. Malabar: Krieger Publ., 1992. 333 p.
- CHIES, D. **Influência do espaçamento sobre a qualidade e o rendimento da madeira serrada de *Pinus taeda* L.** 2005. 123 p. Tese (Mestrado em Ciências Florestais) - Setor Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.
- DAVIS, L.; JOHNSON, N. BETTINGER, P.; HOWARD T. **Forest management**. New York: McGraw-Hill, 2000. 816 p.
- ELIASSON, L. Simulation of thinning with a single-grip harvester. **Forest Science**, Washington, 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: SEMINARIO DE ATUALIZAÇÃO SOBRE SISTEMAS DE COLHEITA DE MADEIRA E TRANSPORTE FLORESTAL, 10., 1998, Curitiba. **Anais...** Curitiba: UFPr; FUPEF 1998. p. 85-94.

EVANS, J. Site and species selection - changing perspectives. **Forest Ecology and Management**, Melbourne, v. 21, n. 3/4, p.299-310, Nov. 1987.

EUFORES. Disponível em: <<http://www.eufores.com.uy/empresa/presentacion.php>>. Disponível em: 08 jun. 2004.

GARCIA, C.H.; CORRADINE, L.; ALVARENGA, S.F. **Comportamento florestal do *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* em diferentes espaçamentos**. Piracicaba: IPEF, 1991. 10 p. (IPEF. Circular Técnica, 179).

GINGRAS, J.F. A comparative trial of two shortwood systems in southwestern nova scotia. **FERIC, Field Note, Felling**, Point Claire, n. 23, p.1-2, Mar. 1994.

_____. Evaluation of logmax harvester heads in nova scotia. **FERIC, Field Note, Felling**, Point Claire, n. 26, p. 1-2, Oct. 1996.

HAROLDO, C.L.; LEITE, A.P.M. Proposta de uma metodologia para ensaio de máquinas colhedoras de madeira. In: SIMPOSIO BRASILEIRO SOBRE COLHEITA E TRANSPORTE FLORESTAL, 5., 2001, Porto Seguro. **Anais...** Viçosa: SIF; UFV, 2001. p. 227-239.

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, Mar. 1997.

HUNT, D. **Farm power and machinery management**. Ames: Iowa State University Press, 1979. 365 p.

INSTITUTO DE PESQUISAS E ESTUDOS FLORESTAIS. Disponível em: <<http://ipef/serviços/clipping>>. Acesso em: 18 mar. 2005.

LEITE, F.P.; BARROS, N.F.; De NOVAIS, R.; SANS, L.M.; FABRES, S. Crescimento de *Eucalyptus grandis* em diferentes densidades populacional. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 21, n. 3, p. 313-321, 1997.

LELES, P.S.; REIS, G.G.; REIS, G.F.; MORAIAS, E.J. Crescimento, produção e alocação de matéria seca de *Eucalyptus camaldulensis* e *E. pellita* sob diferentes espaçamentos na região de cerrado, M.G. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 59, p. 77-87, jun. 2001.

LIMA, J.S ; LEITE, A.M. Mecanização. In: MACHADO, C.C. **Colheita florestal**: Viçosa: UFV, 2002. p. 33-54.

MACHADO, C.C. **Colheita florestal**. Viçosa: UFV, 2002. 468 p.

- 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. Quebec: **FERIC Technical Note**, Quebec, n.155, p. 1-8, 1990.
- MALINOVSKI, J.R.; CAMARGO, C.; MALINOVSKI R. Sistemas. In: MACHADO, C.C. **Colheita florestal**: Viçosa: UFV, 2002. p. 145-164.
- MELLO, H.A.; COELHO, A.S.; NETTO, A.; SIMÕES, J.W.; BERGER, R.; COUTO, H.T.Z. A influência da espécie do espaçamento e da idade no custo de produção de madeira industrial. **IPEF**, Piracicaba, n. 5, p. 17-28, 1972.
- MIALHE, L.G. **Maquinas agrícolas**: ensaios e certificação. Piracicaba: FEALQ.1996. 722 p.
- MINETTE, L.J.; MOREIRA, F.M.T.; SOUZA de, A.P.; MACHADO, C.C.; SILVA, K.R. Análise técnica e econômica do Forwarder em três subsistemas de colheita de florestas de eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 28, n. 1, p. 91-97, 2004.
- MIRANDA, G.M.; SILVA, M.L.; MACHADO, C.C. Contribuição da casca na composição do custo de transporte da madeira de eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 26, n. 2, p. 145-148, 2002.
- MIRANDA, G.M.; SILVA, M.L.; LEITE, H.G.; MACHADO, C.C. Estimativa do custo de reposição dos nutrientes exportados pela casca da madeira em povoamentos de eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 26, n. 2, p. 149-154, 2002.
- MORA, A.L.; GARCIA, C.H. **A cultura do eucalipto no Brasil**. São Paulo: SBS, 2000. 112 p.
- OLIVERA NETO, S.N.; REIS, G.G. dos; REIS, M.G.F.; NEVES, J.C.L. Produção e distribuição de biomassa em *Eucalyptus camaldulensis* Dehn. em resposta a adubação e ao espaçamento. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 27, n. 1, p. 15-23, 2003.
- PARISE, D.; MALINOVSKI, J.R. Análise e reflexões sobre o desenvolvimento tecnológico da colheita florestal no Brasil. In: SEMINÁRIO DE ATUALIZAÇÃO SOBRE SISTEMAS DE COLHEITA DE MADEIRA E TRANSPORTE FLORESTAL, 12., 2002, Curitiba. **Anais...** Curitiba: GRAFIVEN, 2002. p. 78-109.
- PIMENTEL, A.; ISHII, C. J.; MORAES, C.E.; XAVIER J.G.; STOLF, M. Sem transformação não há solução. In: SIMPOSIO BRASILEIRO SOBRE COLHEITA E TRANSPORTE FLORESTAL, 4., 1999, Campinas. **Anais...** São Paulo: SIF, 1999. p. 111-119.

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. dos; MACHADO, C.C.; LEITE H.G. Análise técnico-econômica da extração de eucalipto em áreas planas, com o “Forwarder”. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 19, n. 2, p. 213-227, 1995.

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...** São Paulo: SIF, 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.

SEIXAS, F. **Mecanização e exploração florestal**: notas de aula. Piracicaba: ESALQ, LCF, 1998. 125 p.

SESSIONS, J. Cost control in logging and road construction. In: FAO. **Appropriate wood harvesting in plantation forest**. Rome, 1987. p. 95-134. (FAO. Forestry Paper, 78).

SILVA, C.R. da. **Efeito do espaçamento e arranjo de plantio na produtividade e uniformidade de clones de *Eucalyptus* na região nordeste do Estado de São Paulo**. 2005. 50 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais)- Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

SPINELLI, R.; OWENDE, P.M.O.; WARD, S.M. Productivity and cost of CTL harvesting of *Eucalyptus globulus* stands using excavator-based harvesters. **Forest Products Journal**, Madison, v. 52 n. 1, p. 67-75, 2002.

STAPE, J.L. **Utilização de delineamento sistemático tipo leque no estudo de espaçamentos florestais**. 1995 104 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais)- Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1995.

TARNOWSKI, C.B.; SCHNEIDER, P.R.; MACHADO, C.C. Produtividade e custos do processador trabalhando em povoamentos de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 9, n. 2, p 103-115, 1999.

VALVERDE, S.R.; MACHADO, C.C.; SOUZA, A.P. de; REZENDE, J.L.; ANTIQUERA, A.C. Análise técnica e econômica do corte de madeira com o trator florestal derrubador-amontoador (*feller-buncher*) no sistema de colheita florestal de árvores inteiras de eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 20, n. 2, p. 229-240, 1996.

VITAL, B.R.; DELLA LUCIA, R.M. Efeito do espaçamento na produção em peso e na qualidade da madeira de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla* aos 52 meses de idade. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 11, n. 2, p. 132-145, 1987.

WADOUSKI, L.H. Fatores determinantes da produtividade e dos custos na colheita da madeira. In: SEMINÁRIO DE ATUALIZAÇÃO SOBRE SISTEMAS DE COLHEITA DE MADEIRA E TRANSPORTE FLORESTAL, 10., 1998, Curitiba. **Anais...** Curitiba: UFPr; FUPEF 1998. p. 77-84.

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.

ANEXO

