

EVERSON RAMOS BURLA

**AVALIAÇÃO TÉCNICA E ECONÔMICA DO “HARVESTER”
NA COLHEITA DO EUCALIPTO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2008

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

B961a
2008

Burla, Everson Ramos, 1961-
Avaliação técnica e econômica do “harvester” na
colheita do eucalipto / Everson Ramos Burla. – Viçosa,
MG, 2008.

xv, 62f.: il. (algumas col.) ; 29cm.

Orientador: Haroldo Carlos Fernandes.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de
Viçosa.

Referências bibliográficas: f. 58-62.

1. Máquinas agrícolas. 2. Eucalipto - Colheita – Equi-
pamento e acessórios. I. Universidade Federal de Viçosa.
II. Título.

CDD 22.ed. 631.372

EVERSON RAMOS BURLA

**AVALIAÇÃO TÉCNICA E ECONÔMICA DO “HARVESTER”
NA COLHEITA DO EUCALIPTO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Aprovada: 4 de abril de 2008.

Prof. Mauri Martins Teixeira

Prof. Carlos Cardoso Machado
(Co-Orientador)

Prof. Hélio Garcia Leite

Prof. Pedro Hurtado de Mendoza Borges

Prof. Haroldo Carlos Fernandes
(Orientador)

A Deus.

Aos meus pais, a quem devo tudo que sou.

À minha esposa e filhos, fonte de carinho e compreensão nos momentos ausentes.

A todos que me ajudaram, de alguma forma, na execução deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Viçosa, pela realização do Curso.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, pela oportunidade do Curso.

Ao Professor Haroldo Carlos Fernandes, pela orientação e pelo estímulo.

Ao Professor Hélio Garcia Leite, pela orientação nas análises estatísticas e pelo entusiasmo com o trabalho.

Aos Professores Carlos Cardoso Machado, Amaury Paulo de Souza e Luciano José Minette, pelo apoio durante o curso e pelas sugestões.

À CENIBRA S/A, nas pessoas dos senhores Robinson Félix e Gilberto Garcia, pela minha liberação para o desenvolvimento deste trabalho, e ao Germano Aguiar Vieira e Mário Eugênio Lobato Winter, pelo apoio para a execução dos trabalhos de campo.

Ao Engenheiro Florestal Abílio Donizetti de Moraes Filho, pelo apoio na coleta de dados e pelas observações de campo.

Ao Engenheiro Florestal Fabiano Lourenço dos Santos, pelo apoio nas análises estatísticas.

Ao Técnico Agrícola Walteli Souza Guerra e aos operadores de máquina, pela colaboração, o que tornou mais fácil a realização deste trabalho.

Aos meus professores e amigos de pós-graduação do Departamento de Engenharia Agrícola, pela excelente convivência no decorrer do curso e pela ajuda nos momentos difíceis.

A todos aqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

BIOGRAFIA

EVERSON RAMOS BURLA, filho de Osvaldo Burla e Mariland Ramos Burla, nasceu em Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro, em 07 de março de 1961.

Em dezembro de 1981, concluiu o ensino médio no Colégio Bittencourt, em Campos dos Goytacazes, RJ.

Em dezembro de 1986, graduou-se em Engenharia Florestal pela Universidade Federal de Rural do Rio de Janeiro.

Em dezembro de 2000, especializou-se em Engenharia de Segurança do Trabalho pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais.

Em maio de 2000, especializou-se em Tecnologia em Celulose e Papel, pela Universidade Federal de Viçosa.

Tem atuado como engenheiro florestal desde abril de 1987, passando pelas empresas CENIBRA S/A, V&M Florestal Ltda.; atualmente, é Gerente de Operações Florestais da SATIPEL FLORESTAL Ltda.

Em agosto de 2005, ingressou no Programa de Pós-Graduação, em nível de Mestrado, em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, submetendo-se à defesa da tese em abril de 2008,

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE TABELAS	ix
LISTA DE FIGURAS	x
RESUMO	xii
ABSTRACT	xiv
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	4
2.1. Importância do setor florestal brasileiro	4
2.2. Conceitos básicos sobre colheita florestal	4
2.3. A evolução da colheita florestal	7
2.4. Sistemas mecanizados de colheita florestal	9
2.5. Colhedora florestal “Harvester”	11
2.6. Principais fatores que influenciam a produtividade	14
2.6.1. Diâmetro das árvores a serem colhidas (DAP)	15
2.6.2. Volume individual das árvores (V_i)	16
2.6.3. Volume de madeira por hectare (V_{ha})	17
2.6.4. Declividade do terreno (D)	17
2.6.5. Densidade de plantio ($N_{árv}$)	17
2.6.6. Largura do eito de trabalho	18
2.6.7. Altura das árvores (h).....	19

	Página
2.6.8. Tamanho das toras	19
2.6.9. Operador	20
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	21
3.1. Caracterização da área de estudo	21
3.2. Descrição da máquina colhedora florestal “Harvester”	21
3.3. Seqüência de trabalho da máquina no campo.....	22
3.4. Descrição do ciclo operacional da máquina.....	24
3.5. Quantificação do rendimento operacional.....	26
3.6. Custo operacional da máquina	26
3.6.1. Custos fixos	26
3.6.2. Custos variáveis.....	27
3.6.3. Determinação dos custos de colheita	29
3.7. Delineamento de amostragem	29
3.8. Unidades de amostragem	31
3.9. Características mensuradas	31
3.10. Determinação da declividade das parcelas (D).....	31
3.11. Determinação do diâmetro das árvores (DAP)	32
3.12. Determinação da altura das árvores (h).....	32
3.13. Determinação do volume das parcelas.....	32
3.13.1. Determinação das alturas	32
3.13.2. Determinação dos volumes individuais das árvores	33
3.14. Análise estatística dos dados.....	34
3.15. Predição do rendimento da máquina	34
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	36
4.1. Estudo de tempo e movimento	37
4.2. Estatística descritiva	40
4.3. Análise da influência dos fatores no rendimento.....	43
4.3.1. Diâmetro (DAP).....	43
4.3.2. Volume individual das árvores (V_i)	44
4.3.3. Volume de madeira por hectare (V_{ha})	44
4.3.4. Declividade do terreno (D)	46
4.3.5. Densidade de plantio ($N_{\text{árv}}$).....	47

	Página
4.3.6. Largura do eito de trabalho	47
4.3.7. Altura das árvores (h).....	48
4.3.8. Tamanho das toras	48
4.3.9. Operador	49
4.4. Estimação do rendimento do “harvester”	49
4.5. Custos operacionais	50
4.6. Exemplos de uso do modelo	52
4.6.1. Escolhendo um sistema de colheita florestal	52
4.6.2. Planejando uma colheita florestal	54
5. CONCLUSÕES	56
6. RECOMENDAÇÕES	57
7. REFERÊNCIAS	58

LISTA DE TABELAS

	Página
1. Equações ajustadas por projeto.....	33
2. Total de parcelas por classe de produtividade e relevo	36
3. Inventário das parcelas em diferentes condições de declividade e produtividade florestal.....	37
4. Custos operacionais do “Harvester”.....	52
5. Custo de produção com “Harvester” em floresta de eucalipto com $280 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$	53
6. Custo de produção com “Harvester” em uma floresta de eucalipto com árvores de volume individual médio de $0,20 \text{ m}^3$	54
7. Custo de produção com “Harvester” em floresta de eucalipto situada num terreno com inclinação de 15 graus	54

LISTA DE FIGURAS

	Página
1. Vista frontal e lateral do “Harvester” John Deere, modelo 1270 D	22
2. “Harvester” John Deere, modelo 1270 D	22
3. Posicionamento do “Harvester” no eito de trabalho para colheita do eucalipto	23
4. “Harvester” realizando colheita de eucalipto em terreno inclinado	24
5. Detalhes do cabeçote do “Harvester”	25
6. Área de colheita de eucalipto com “Harvester”	30
7. Etapas da colheita de árvores de eucalipto pela máquina “Harvester”	38
8. Etapas de trabalho do “Harvester” na colheita do eucalipto por classes de declividade do terreno.....	38
9. Etapas de trabalho do “Harvester” na colheita do eucalipto por classes de produção da floresta	39
10. Rendimento ($m^3 h^{-1}$) do “Harvester” na colheita do eucalipto em diferentes classes de produtividade florestal e declividade do terreno	41
11. Rendimento (árvores h^{-1}) do “Harvester” na colheita do eucalipto em diferentes classes de produtividade florestal e declividade do terreno	41

	Página
12. Rendimento (árvores h ⁻¹) do “Harvester” na colheita do eucalipto em função das condições de relevo e da produção florestal	43
13. Rendimento (m ³ h ⁻¹) do “Harvester” na colheita do eucalipto, em função das condições de relevo e produção florestal	43
14. Rendimento do “Harvester” na colheita do eucalipto em função do DAP	44
15. Rendimento do “Harvester” na colheita do eucalipto, em função do volume individual das árvores	45
16. Rendimento do “Harvester” na colheita do eucalipto, em função do volume de madeira por hectare	45
17. Rendimento do “Harvester” na colheita do eucalipto, em função da declividade do terreno	46
18. Detalhe da vala formada pelo “Harvester” em inclinação a partir de 25 graus.....	47
19. Rendimento do “Harvester” na colheita do eucalipto, em função da densidade de plantio.....	48
20. Rendimento do “Harvester” na colheita do eucalipto, em função da altura das árvores	49
21. Distribuição de freqüência dos resíduos da regressão	51
22. Rendimento observado x estimado.....	51
23. Seqüência de mapas temáticos para obtenção de mapa de colheita florestal, em função dos custos de cada sistema	55

RESUMO

BURLA, Everson Ramos, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, abril de 2008. **Avaliação técnica e econômica do “Harvester” na colheita do eucalipto.** Orientador: Haroldo Carlos Fernandes. Co-Orientadores: Carlos Cardoso Machado e Luciano José Minette.

Este estudo foi conduzido em povoamentos de eucalipto de uma empresa florestal situada no Estado de Minas Gerais, com o objetivo de avaliar técnica e economicamente a máquina colhedora de árvores “Harvester” em diferentes condições de declividade do terreno e produtividade florestal. A análise técnica consistiu de um estudo de tempo e movimentos, com o objetivo de identificar os elementos do ciclo operacional da máquina, bem como suas variações em função da declividade do terreno e da produtividade florestal. A análise econômica consistiu na determinação dos custos operacionais. A declividade do terreno foi estratificada em plana, ondulada e acidentada, enquanto a produtividade florestal, em baixa, média e alta. Foi utilizada a amostragem casual simples em nove diferentes situações, relacionando-se a declividade e a produtividade florestal. Foram instaladas parcelas em cada situação e coletados dados das árvores na parcela, o que permitiu estimar o volume individual das árvores, o número de árvores por hectare e o volume total de madeira por hectare. Também em cada parcela foi determinado o tempo gasto para a máquina processar cada

parcela e calculado o rendimento em cada situação. De acordo com os resultados, concluiu-se que o rendimento diminui com o aumento da declividade e aumenta com o incremento do volume individual das árvores até um ponto máximo, a partir do qual tende a diminuir. Determinaram-se um modelo estatístico para predição do rendimento operacional da máquina que contemplou as variáveis, o volume individual das árvores, a declividade do terreno e o volume total por hectare. Com esse modelo foi possível estimar o rendimento e, por conseguinte, o custo de produção com a máquina em diferentes situações, o que permite decidir ou não pela colheita com “Harvester”.

ABSTRACT

BURLA, Everson Ramos, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, April of 2008. **Technical and economic evaluation of a “harvester” in eucalyptus timber cutting.** Adviser: Haroldo Carlos Fernandes. Co-Advisers: Carlos Cardoso Machado and Luciano José Minette.

This study was conducted on an eucalypt population belonging to a Minas Gerais state forestry company, with the objective to evaluate technically and economically a harvester machine in different terrain slope and forestry productivity. The technical analysis consisted in the study of times and movements objecting to identify the operational cycle elements of the machine, as well as it's variations due to the terrain and forest productivity. The economical analysis consisted in determining the operational costs. The terrain slope was stratified in flat, wavy and rough and the forest was divided in low, medium and high productivities. The simple casual sample was used in nine different situations related to slope and forest productivity. In each situation were installed plots from witch data related to the trees were collected, allowing to estimate the individual tree volume, the density per hectare and the total wood volume per hectare. Also in each plot was determined the time spent for the harvester to process each plot and calculated it's yield for every situation. According to the results, it's possible to conclude that the machine's yield decreases with the increase of

the slope, and increases with the increase of the individual tree volume until a maximum point, from which it tends to decrease. A statistical model was elaborated to predict the operational yield of the harvester machine contemplating the variables individual tree volume, terrain slope and the total volume per hectare. With this model was possible to estimate the operational yield and consequently the production cost with the harvester machine in different situations, allowing to or not to choose to harvest forest with this machine.

1. INTRODUÇÃO

Com uma área de 528.383 milhões de hectares de florestas nativas ricas em biodiversidade e de 5,511 milhões de hectares de reflorestamento, sendo 3,549 milhões com espécies de *Eucalyptus* sp., 1.824 milhões com *Pinus* sp. e 138 mil hectares com outras espécies, o setor florestal brasileiro tem como seus principais produtos, entre outros, madeira roliça, serrados, painéis, chapas de fibras, laminados, carvão e celulose.

Por possuir um imenso território, o Brasil detém grande parte dos recursos naturais mundiais, o que contribui para fazê-lo destaque nesse setor em nível político internacional, gerando diversos empregos e aumentando o faturamento do País.

Dentro desse setor, uma das atividades consideradas mais importantes é a colheita florestal, visto ser a mais onerosa em termos de custo de produção. A colheita florestal representa a operação final de um ciclo de produção florestal, na qual são obtidos os produtos mais valiosos, constituindo um dos fatores que determinam a rentabilidade florestal. Essa atividade é a que também mais sofre o processo de mecanização. A colheita florestal representa 50%, ou mais, do total dos custos finais da madeira posta na indústria.

Faz-se, portanto, necessária a adoção ou desenvolvimento de técnicas que tornem a colheita mais racional, visando ao maior aproveitamento do material lenhoso e à redução dos custos de produção. Entre essas novas técnicas, a mecanização das atividades de colheita vem

ganhando destaque nos últimos anos, por proporcionar vantagens em relação aos métodos utilizados até o momento.

O aumento da demanda por produtos florestais, a necessidade de maior rendimento das operações, a escassez da mão-de-obra, o aumento dos custos sociais e a abertura do mercado às importações de máquinas de alta tecnologia culminaram numa intensificação da mecanização do setor florestal, tornando-a uma peça importante na busca do aumento da produtividade e do controle mais efetivo dos custos, além do incremento da produtividade das operações de colheita e da diminuição na participação do homem no processo produtivo.

Na utilização da mecanização para colheita de madeira, deve-se considerar que diversos fatores relacionados às características das árvores, ao maciço florestal e ao tipo de terreno, somados aos relacionados à habilidade do operador e a especificações técnicas das máquinas e equipamentos, interferem na capacidade operacional das máquinas e, por consequência, no custo final da madeira processada. O conhecimento da influência desses fatores, tanto isoladamente quanto a interação entre eles, é extremamente necessário para que o usuário possa decidir pelo melhor sistema e como conseguir plena capacidade operacional do sistema escolhido. Ao se adotar informação oriunda de outros países em diferentes condições de trabalho no que se refere aos padrões da floresta, clima, método de trabalho, formação do operador etc., pode haver decisões equivocadas ou implantar sistemas inadequados ao uso desejado. Portanto, fica clara a necessidade de realizar estudos específicos para as condições brasileiras.

Não há evidências, na literatura, de que as empresas florestais brasileiras que importaram, ou importam, máquinas especializadas para colheita de madeira, principalmente as que atuam em condições mais desfavoráveis em relação à topografia, tenham informações precisas sobre em quais situações as máquinas têm sua capacidade produtiva maximizada, considerando-se aspectos técnicos e econômicos. O que comumente se observa nesses casos é usar a máquina em toda a sua capacidade de rampa, atuando em elevadas inclinações, e não levar em conta as características do maciço florestal, por vezes atuando em áreas de baixo volume individual, o que aumenta os custos de produção.

A grande preocupação que deve nortear a atividade de colheita de madeira com “Harvesters” é a variação e sustentabilidade do rendimento da máquina nas diferentes condições florestais da empresa, principalmente no que diz respeito ao relevo e à produtividade florestal.

Para que se obtenha a maior eficiência possível de um sistema de colheita de madeira, o levantamento das condições encontradas no ambiente de trabalho é fundamental.

Dispondo do conhecimento sobre a melhor condição de aplicação da máquina e, ou, equipamento na colheita da madeira, a empresa pode refinar seu planejamento operacional e dimensionar recursos suficientes para realizar esta com a melhor técnica e menor custo, seguramente aumentando sua competitividade no setor e seguramente prolongando a vida útil de suas máquinas. Dessa forma, o efeito de cada uma das variáveis presentes na floresta que afetam o desempenho do “Harvester”, bem como a interação entre elas, deve ser conhecido e dimensionado através de ferramentas matemáticas que permitam uma previsão antecipada do resultado da colheita de madeira com “Harvester” em determinada situação florestal.

O objetivo principal deste trabalho foi, assim, avaliar técnica e economicamente o “Harvester” na colheita florestal de madeira de eucalipto em diferentes condições de topografia e produtividade florestal.

Especificamente, pretendeu-se:

- Analisar os elementos do ciclo de trabalho do “Harvester”.
- Avaliar o rendimento e o custo operacional do “Harvester”.
- Determinar a influência da declividade do terreno e de características da floresta (volume individual e volume por hectare) no rendimento do “Harvester” e no custo por m³ de madeira cortada e processada.
- Desenvolver um modelo estatístico que possibilite prever o rendimento da máquina.

O modelo ajustado poderá ser usado como uma ferramenta de decisão, pois através dele o usuário estimará o rendimento e o custo operacional em uma situação florestal, podendo decidir antecipadamente, caso seja possível, pela colheita com o “Harvester” ou por outra alternativa mais adequada.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Importância do setor florestal brasileiro

O setor florestal se destaca como importante e relevante para o Brasil em diversas áreas. Do ponto de vista econômico, o setor florestal brasileiro tem sido responsável, anualmente, pela formação econômica do País, por aproximadamente 4% do Produto Interno Bruto (PIB), gerando 680.000 empregos diretos e 1,722 mil empregos indiretos, US\$ 458 milhões em arrecadação de impostos e US\$ 7,7 bilhões em divisas de exportações (ABRAF, 2007). Contribuiu também para a melhoria da qualidade de vida, através da manutenção dos recursos hídricos, edáficos e da qualidade do ar (SOBRINHO, 1995).

Pelos aspectos citados, entre outros, notam-se a importância do setor florestal e a necessidade de estudos que visem contribuir para o seu desenvolvimento, aumentando a produtividade e reduzindo os custos das atividades florestais, tornando, assim, o setor moderno e competitivo, como exige o mercado atual, altamente globalizado.

2.2. Conceitos básicos sobre colheita florestal

Conway (1976) definiu colheita florestal como “o trabalho executado desde o preparo das árvores para o abate até o transporte para o local de

uso final. Dependendo da situação, a operação de colheita envolve também o planejamento da operação, a medição, o recebimento no pátio da indústria e a comercialização da madeira”. Existem vários métodos e sistemas de colheita e processamento de madeira no campo, segundo a espécie florestal, idade do povoamento, finalidade a que se destina o produto, condições gerais da área de colheita e, portanto, o sistema de colheita e processamento a ser utilizado será uma função de um conjunto de fatores condicionantes. Para cada grupo de condições específicas certamente existem um método e um sistema de colheita mais indicado a serem selecionados para que se proceda à colheita e ao beneficiamento da madeira (SILVA et al., 2003).

Segundo Tanaka (1986), a colheita florestal é um conjunto de operações realizadas no maciço florestal, visando preparar e transportar a madeira até o seu local de utilização, empregando-se técnicas e padrões estabelecidos e tendo por finalidade transformá-la em produto final.

A colheita florestal pode ser interpretada como um sistema integrado por subsistemas de aproveitamento de madeira. Entende-se por sistema um conjunto de operações que devem estar perfeitamente integradas e organizadas entre si, de modo que permita fluxo constante de madeira, evitando-se pontos de estrangulamento e levando os equipamentos à sua máxima utilização (SALMERON, 1981).

A colheita florestal é um conjunto de operações que visa cortar e extrair árvores do local de derrubada até as margens das estradas ou cursos d’água (MACHADO, 2002). É uma atividade complexa, dada a ocorrência de vários fenômenos climáticos, biológicos e relacionados ao sistema homem-máquina que podem afetar a produtividade das máquinas e, conseqüentemente, os custos e a produção.

A produtividade de uma máquina de colheita de madeira irá depender de diversos fatores dos quais se destacam: extensão da área de trabalho; aspectos climáticos; capacidade de suporte do terreno; relevo; características das árvores; características da floresta e do sistema de colheita; e capacitação do operador (SEIXAS, 1998; MALINOVSKI et al., 2002).

É necessário, dessa forma, um planejamento detalhado das operações para que se possam abordar os fatores que interferem nessa atividade, buscando antecipar os problemas que normalmente a afeta, minimizando, assim, os custos envolvidos nas operações de colheita florestal (VALVERDE, 1995). Áreas acidentadas e condições topográficas desfavoráveis exigem um nível de planejamento ainda mais detalhado, bem como o desenvolvimento de máquinas e equipamentos específicos para a colheita de suas florestas, visando minimizar os custos, diminuir a necessidade de mão-de-obra não qualificada e aumentar a produtividade para assegurar o abastecimento da indústria (LEITE; LIMA, 2002). Conforme Akay et al. (2004), os sistemas de colheita escolhidos precisam estar adequados às características da floresta, tipos de máquinas e intensidade das operações de colheita.

A colheita florestal compreendida em suas três atividades básicas, ou seja, corte, extração e transporte, segundo Tanaka (1986) apresenta-se como o item de maior custo das atividades, podendo representar, aproximadamente, 80% do custo do metro cúbico de formação da floresta em condições de corte.

No Brasil, como afirmaram Machado e Lopes (2000), a colheita e o transporte florestal são responsáveis por mais da metade do custo final da madeira colocada no centro consumidor. A seleção de máquinas e equipamentos e o desenvolvimento de sistemas operacionais constituem o grande desafio para a redução dos custos operacionais de colheita e transporte florestal.

O custo operacional de uma máquina, segundo Harry et al. (1991), é o somatório de todos os custos resultantes de sua aquisição e operação. O seu conhecimento é uma etapa de fundamental importância para o planejamento e o controle de sua utilização. A variação desse custo é influenciada, principalmente, pela eficiência operacional e pela jornada de trabalho.

A redução nos custos da colheita é, segundo Rezende et al. (1997), vital para qualquer empresa. É uma análise detalhada, e por partes, dos custos dos diferentes métodos de colheita tem papel importante para o

entendimento destes, além de facilitar os estudos com o objetivo de reduzi-los.

2.3. A evolução da colheita florestal

Segundo Moreira (2000), os primeiros sistemas de colheita no Brasil eram os manuais, usados em sua maioria na exploração de florestas nativas, sem preocupação com a racionalização e produtividade das atividades. Atualmente, essa forma de produção ainda é utilizada, embora em pequena escala, geralmente na obtenção de madeira para uso doméstico.

A primeira ferramenta utilizada no abate de árvores foi o machado. Segundo Machado (1981), essa ferramenta era empregada em diversos setores florestais, sendo na década de 1940 utilizado em 100% das explorações tropicais de menor desenvolvimento; em 50%, na América do Norte, em madeiras destinadas à polpa e, em 35%, na produção de toras para serraria. A colheita de florestas plantadas no Brasil teve sua tecnologia originada da colheita de florestas nativas, cuja tecnologia, inapropriada, foi gradativamente modificada e trocada por outras alternativas (HAKKILA et al., 1992).

No início das atividades de reflorestamento no Brasil, poucas empresas utilizavam a mecanização em algumas etapas da colheita florestal. Vários fatores conduziam à adoção do trabalho manual de colheita: mão-de-obra abundante e barata, topografia desfavorável, falta de máquinas e equipamentos no mercado interno e falta de motivação do parque industrial nacional para fabricar máquinas e equipamentos (FERNANDES; TIBÚRCIO, 1987; MENDO, 1991).

Com o aumento da demanda por madeira e a redução da disponibilidade de mão-de-obra, assim como a maior competição por essa mão-de-obra, principalmente nas regiões mais industrializadas, bem como o aumento do seu custo (salários e encargos sociais), diversas empresas passaram a procurar sistemas de colheita alternativos (MOREIRA, 1998).

Nesse contexto, foi introduzida no Brasil a motosserra, que, segundo Pires (1996), foi a máquina que revolucionou a colheita florestal, uma vez

que permitiu avanço tecnológico determinante nas operações de corte florestal.

De acordo Valverde (1995) e Sales (1981), o processo de modernização das operações teve início na década de 1970, quando começou a produção de maquinário leve e de porte médio, guias, para fins florestais, e de lá para cá a indústria tem fornecido vários tipos de máquinas e equipamentos ao setor florestal.

Rocha Filho (1993) afirmou que os sistemas de colheita manual e semimecanizado estão praticamente esgotados no que diz respeito à possibilidade de ganhos na produtividade.

Segundo Santos (1995), a introdução de máquinas e equipamentos que substituem a motosserra e o machado possibilitou o aumento da produtividade das operações de colheita, minimizando a participação do homem no processo produtivo.

De acordo com Fontes (1996), as principais causas da crescente mecanização desta atividade são a busca do aumento da produtividade e a necessidade de redução dos custos de produção. Entretanto, esse processo de mecanização requer investimentos iniciais muito altos e, dependendo da forma de condução do sistema, pode haver grande desvalorização do produto final.

Dada a grande quantidade de máquinas e equipamentos de corte e extração disponíveis no mercado, as empresas podem formar vários conjuntos de colheita aptos para serem empregados, cabendo a cada empresa optar por aquele que seja mais adequado às suas peculiaridades (JACOVINE et al., 2001).

A mecanização dos processos de colheita e transporte florestal intensificou-se no Brasil a partir do início da década de 1990. Isso se deu com a abertura do mercado brasileiro à importação de máquinas e equipamentos já desenvolvidos e aprimorados em países com maior tradição na colheita florestal mecanizada (BRAMUCCI, 2001).

Desde então, esse processo vem-se mostrando irreversível no Brasil, principalmente em virtude da redução da dependência de mão-de-obra, melhoria das condições de trabalho, redução do custo final da madeira posta

no pátio da fábrica e da necessidade, por parte das indústrias, de um fornecimento regular e em quantidades cada vez maiores de madeira.

As atividades florestais passaram a ser mais bem estudadas, pois deixavam de ter caráter simplesmente extrativista e passavam a ser vistas como atividades comerciais que deveriam ser mais bem planejadas, utilizando-se de técnicas eficazes que proporcionassem bom rendimento na sua execução.

Apesar de poucos estudos realizados no Brasil a respeito desse tipo de operação, diversas empresas nacionais vêm obtendo sucesso na implementação de sistemas mecanizados de colheita de madeira.

Entre as atividades florestais, a colheita florestal, por ser a atividade que mais onera o custo da produção de madeira no Brasil (TANAKA, 1986; REZENDE et al., 1983; BAGIO; STÖHR, 1978), merece atenção especial das empresas, de forma que suas operações sejam otimizadas e a melhoria da qualidade, alcançada em todas as etapas do processo, de forma contínua.

2.4. Sistemas mecanizados de colheita florestal

Para Wadouski (1998), a mecanização da colheita de madeira, embora não seja a única forma de racionalização e controle da evolução dos custos, pode proporcionar reduções drásticas em prazos relativamente curtos, tendo um lugar de elevada importância nos esforços para o aumento da produtividade e humanização do trabalho florestal. Existem vários sistemas de colheita de madeira que variam de empresa para empresa, dependendo da topografia, do rendimento volumétrico dos povoamentos, do tipo de povoamento, do uso final da madeira, das máquinas, dos equipamentos e dos recursos disponíveis (FIEDLER, 1995).

Os sistemas de colheita mecanizada no Brasil podem ser agrupados em dois grandes grupos: a) sistemas de toras curtas, em que todo o processamento da madeira é feito no canteiro de corte; e b) sistemas de "toras longas", em que a árvore derrubada é eventualmente desganhada no local de abate e a madeira, posteriormente desdobrada à margem dos carregadores (SEIXAS, 1998).

A seleção de máquinas e equipamentos e o desenvolvimento de sistemas operacionais constituem o grande desafio para a redução dos custos e da dependência de mão-de-obra nas operações de colheita e transporte florestal (DURATEX, 1999). A escolha do sistema a ser empregado varia em função de vários fatores, como topografia do terreno, declividade, solo, clima, comprimento da madeira, incremento da floresta e uso da madeira, entre outros, mas a sua seleção deve ser baseada em uma criteriosa análise técnica e econômica (MACHADO, 1985).

A mecanização das atividades de colheita passou a ser mais estudada, pois apresentava potencial de aumentar a produtividade, reduzindo custos e melhorando as condições de trabalho (MOREIRA, 1998).

De acordo com Mendonça Filho (1987), os equipamentos de abate totalmente mecanizados são ferramentas de valor inestimável para os técnicos da área de exploração florestal, sendo a produtividade alcançada por esses tipos de equipamentos, sejam de função simples ou múltipla, como os processadores, muito superior à dos métodos convencionais de abate de árvores (os do tipo manual e os do tipo parcialmente mecanizado).

Entre as máquinas mais utilizadas atualmente, encontram-se os “Feller-Bunchers” e “Harvesters”, utilizados no corte florestal, e os “Skidders” e “Forwarders”, empregados na extração.

Algumas novas máquinas estão sendo introduzidas para atender a necessidades específicas em florestas conduzidas, por exemplo máquinas para traçamento das árvores em toras (garras traçadoras, processadores, slingshots), para baldeio em terrenos íngremes (cabos aéreos, guinchos) etc.

Na escolha do tipo de colheita mecanizada, devem-se levar em consideração variáveis como a experiência e habilidade da mão-de-obra, a espécie florestal, o produto primário, a distância de arraste e o transporte, o desempenho da máquina ou equipamento, o capital requerido e a característica do terreno. A falta de consideração de algumas dessas variáveis resultará em problemas operacionais e ineficiência (CONWAY, 1976; SALMERON, 1980; MACHADO, 1984).

O processo de mecanização com a utilização de máquinas de última geração, segundo Paccola (2003), teve início nos anos de 1990, e hoje

muitas empresas já dominam parte desse processo. Méritos devem ser atribuídos a todos que, de forma muito rápida, conseguiram introduzir essa tecnologia nas empresas. Os ganhos foram muitos, pois essas máquinas permitem trabalho ininterrupto e fornecem altas produções. Agora, com a segunda geração de máquinas (máquinas – a maioria importada – específicas para uso florestal, como os “Harvesters”) em operação, percebe-se que é necessário extrair melhores resultados das operações. Nesse sentido, todas as atividades envolvidas estão sempre sendo analisadas.

Segundo Santos (1995), a mecanização florestal intensiva é irreversível, e a velocidade de concretização dessa tendência será determinada por diversos fatores, como: política econômica e industrial, custo e disponibilidade de mão-de-obra e custo dos equipamentos florestais.

2.5. Colhedora florestal “Harvester”

Em diversos sistemas de “toras curtas”, o “Harvester” é a principal máquina utilizada na derrubada e processamento, o que consiste, em alguns casos, no descascamento das árvores, no desgalhamento e no corte em toras de comprimento predeterminado (traçamento), deixando-se as toras agrupadas e prontas para serem retiradas da área de colheita.

Trata-se de uma máquina autopropelida, constituída por um conjunto motriz de alta mobilidade dentro da floresta e boa estabilidade, um braço hidráulico e um cabeçote processador (AMABILINI, 1991). É composta da unidade de potência (trator), lança telescópica e unidade processadora (SILVEIRA, 2001). É uma máquina que pode executar, simultaneamente, as operações de derrubada, desgalhamento, descascamento, traçamento e empilhamento da madeira (MACHADO, 2002). Esse trator tem sido muito utilizado em povoamentos florestais de alta produtividade (LEITE; LIMA, 2002).

Os “Harvesters” são máquinas de avançada tecnologia e muito bem aceitas pela capacidade que possuem de operar em condições variadas e em situações adversas. A situação ideal de operação é encontrada em florestas com árvores de volume entre 0,25 e 0,35 m³ por árvore, em espaçamentos abertos (por exemplo, 3 x 3 m), não sendo indicado o uso

dessas máquinas para corte em florestas com produções abaixo de $150 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$. São máquinas adequadas para operações com toras desde 2,0 até 6,0 m. de comprimento.

Diversos parâmetros podem influenciar a produtividade dos “Harvesters”, sendo os mais importantes: a) volume médio das árvores, b) variabilidade das dimensões das árvores, c) declividade da área, d) comprimento de seccionamento das toras e e) eficiência do operador. Em geral, quanto melhor floresta em volume individual das árvores e por hectare, maior o comprimento das toras, mais habilidoso o operador e maior o rendimento da máquina. Em geral, os “Harvesters” produzem de 15 a $22 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$. Vale ressaltar que nas produtividades citadas estão incluídas operações de corte, desgalhamento, seccionamento ou traçamento e também descascamento.

Em florestas de baixa qualidade (árvores entre $0,10$ e $0,15 \text{ m}^3$ cada uma, ou menos), a produtividade cai para cerca de 8 a $12 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, completamente inadequada para os investimentos com as máquinas. A operação de descascamento diminui a produtividade de um “Harvester” em 10 a 30%. Quando as árvores são volumosas, com $0,30$ a $0,40 \text{ m}^3$ cada, o descascamento onera a produtividade em apenas 10 a 15%. Por essas e outras razões é que a mecanização com “Harvesters” é mais viável em florestas clonais produtivas, com espaçamentos mais abertos. Além disso, sabe-se que a operação é muito afetada pelo comprimento das toras. Quanto maior a tora, maior a sua produtividade; quando curta (2,0 a 2,5 m.), a operação perde 20 a 30% de produtividade em relação a toras longas (5,5 a 6,0 m). Há empresas que optam por comprimentos intermediários (3,5 m.) e outras, por comprimentos variáveis, para otimizar o manuseio e as operações subsequentes (FOELKEL, 2006).

Na Europa e América do Norte, o “Harvester” é usado em corte seletivo ou desbaste, ou seja, trafega dentro dos maciços florestais cortando apenas algumas árvores pré-selecionadas. Essas áreas florestais, mesmo que tenham tido algum tipo de plantio, têm distribuição desordenada das árvores em termos de espaço. Quase sempre o traçamento das árvores em toras é feito em diversos tamanhos, para atender a diferentes usos (serraria, produção de polpa, energia etc.). No Brasil, os “Harvesters” têm sido usados

em corte raso, ou seja, corte de todas as árvores da floresta, e esta tem sido plantada em espaçamentos ordenados. O traçamento das árvores é feito num único tamanho de toras. Tais fatos proporcionam condições para resultados operacionais bastante distintos.

Uma grande preocupação que deve nortear a atividade da colheita de madeira com “Harvesters” é a variação e sustentabilidade do rendimento da máquina nas diferentes condições florestais da empresa. Dispondo do conhecimento sobre a melhor condição de aplicação da máquina na colheita, a empresa pode refinar seu planejamento operacional e dimensionar recursos suficientes para realizar esse serviço com a melhor técnica e o menor custo, aumentando sua competitividade no setor e prolongando a vida útil de suas máquinas.

Nota-se na literatura uma clara deficiência de informações sobre o grau de influência dos diversos fatores que afetam a capacidade produtiva do “harvester” na operação de colheita florestal mecanizada da forma como é feita no Brasil. Assim, torna-se necessária a realização de um estudo que leve em consideração as nossas condições de trabalho. Tais informações, quando disponibilizadas, permitirão um planejamento mais adequado dessas operações por parte das empresas florestais, reduzindo os custos e, conseqüentemente, aumentando a competitividade (BRAMUCCI, 2001).

O efeito de cada um dos fatores presentes na floresta que afetam o desempenho do “Harvester”, bem como a interação entre eles, deve, dessa forma, ser mais bem conhecido e dimensionado através de ferramentas matemáticas que permitam uma previsão antecipada do resultado da colheita de madeira com essa máquina em determinada situação florestal.

Akay et al. (2004) citaram que as equações de regressão, geralmente baseadas em estudos de dados, são usadas para expressar a produtividade da máquina. Essas equações oferecem um efetivo guia para os administradores da colheita para estimar os custos de produção dos equipamentos e desenvolver um eficiente planejamento de custos de colheita.

2.6. Principais fatores que influenciam a produtividade

A utilização de sistemas mecanizados para colheita de madeira é afetada por diversas variáveis que interferem na capacidade operacional das máquinas e, conseqüentemente, no custo final da madeira. No Brasil, existem ainda poucos dados a respeito da real influência dessas variáveis e da capacidade produtiva que se pode esperar das máquinas em determinadas condições de trabalho. As estimativas de produtividade e custo baseadas em dados fornecidos pelos fabricantes, ou obtidas em trabalhos realizados em outros países, mostram-se bastante frágeis, uma vez que reflete dados obtidos em condições totalmente diversas, no que diz respeito ao sistema silvicultural, clima e formação profissional do operador, ficando clara a necessidade da realização de estudos específicos para as condições brasileiras (BRAMUCCI, 2001).

Por trabalhar em regime de campo, a capacidade produtiva das máquinas e equipamentos é fortemente influenciada por um grande número de fatores ambientais e técnicos. Os principais fatores que influenciam a colheita de madeira são: o clima (chuva e ventos), a capacidade de suporte do terreno, topografia, características das árvores quanto ao diâmetro, tamanho dos galhos e da copa, peso e qualidade da madeira (SEIXAS,1998). Outros fatores como as habilidades do operador e o espaçamento de plantio também podem interferir a produtividade.

Numa avaliação de “Harvesters” atuando em florestas de eucalipto no Brasil, concluiu-se que o volume médio das árvores foi a variável que melhor explicou, isoladamente, as produtividades alcançadas pelos “Harvesters”. As outras variáveis de destaque foram: diâmetro à altura do peito (DAP) médio, altura média e volume por hectare. O volume médio por árvore representou 55%, em média, da variação da capacidade produtiva do “Harvester”, e todas as variáveis consideradas em conjunto representaram aproximadamente 80% da capacidade produtiva da máquina (BRAMUCCI, 2001).

Após a introdução dessas máquinas no Brasil, especialmente em condições de terreno ondulado, o resultado da real influência de fatores

relacionados com a declividade do terreno, características das árvores e da floresta, ainda não foi avaliado.

2.6.1. Diâmetro das árvores a serem colhidas (*DAP*)

O diâmetro médio das árvores a 1,3 m de altura, correspondente ao diâmetro à altura do peito (*DAP*), é citado na literatura (ELIASSON, 1999; GINGRAS, 1988) como um dos fatores que influenciam fortemente a produtividade de equipamentos de colheita florestal. Holtzscher e Lanford (1997), estudando o efeito do *DAP* sobre custo e produtividade da colheita mecanizada, encontraram alta correlação entre tais fatores, de modo que, à medida que crescia o diâmetro médio das árvores, aumentava a produtividade do sistema e, conseqüentemente, caíam os custos operacionais. Bramucci (2001) identificou que ocorre aumento da produtividade em função do incremento do *DAP* até aproximadamente 24 cm, notando-se forte tendência de queda nas produtividades a partir desse valor. Esse comportamento indica que, em média, os cabeçotes processadores utilizados são mais adequados para trabalhar com árvores até 24 cm de *DAP*. Seria importante que esse tipo de informação fizesse parte das especificações dos cabeçotes processadores, em que geralmente consta apenas o diâmetro máximo de corte, que dificilmente é alcançado em plantios comerciais.

Construindo um modelo matemático para simulação de colheita florestal com "Harvester", Eliasson (1999) observou que os tempos gastos com corte, derrubada e processamento crescem proporcionalmente ao diâmetro (*DAP*) das árvores. No entanto, a capacidade produtiva em volume de madeira por hora cresce proporcionalmente ao aumento do volume individual das árvores derrubadas.

Resumindo a produtividade de uma máquina colhedora de árvores "Harvester", haverá aumento com o incremento do diâmetro (*DAP*) até que este atinja valores tais que a máquina não disponha de forças mecânica e hidráulica suficientes para continuar o processamento.

2.6.2. Volume individual das árvores (V_i)

Segundo a literatura consultada (SANTOS; MACHADO, 1995; HOLTZSCHER; LANFORD, 1997), o volume por árvore é a variável de influência que mais explica as variações nas produtividades obtidas pelos “Harvesters”.

Segundo Akay et al. (2004), a produtividade do “Harvester” está muito relacionada ao tamanho da árvore. Conforme aumenta o volume desta, aumenta também a produtividade, desde que o tempo de processamento para árvores maiores ou menores seja igual.

Em estudos do “Forest Engineering Institute of Canada” (FERIC) sobre o desempenho de “Harvesters” e processadores mecânicos, Richardson e Makkonen (1994) concluíram que o fator que mais afetava a capacidade produtiva de ambas as máquinas era o volume médio por árvore, seguido pela razão entre o número de árvores comerciais e não-comerciais por hectare e também pelo tempo de experiência do operador.

Estudando a utilização de processadores mecânicos na operação de desgalhamento e toragem de eucalipto, Santos e Machado (1995) observaram que a capacidade produtiva do equipamento crescia à medida que aumentava o volume por árvore até atingir um ponto máximo, com um volume por árvore de $0,34 \text{ m}^3$, decrescendo após esse valor.

De modo geral, a produtividade do corte mecanizado é muito influenciada pelo volume individual da árvore, de maneira que o rendimento da colheita acompanha proporcionalmente o volume individual das árvores, quando este está entre $0,08$ e $0,15 \text{ m}^3$ com casca (DURATEX, 1999).

Avaliando a performance de um “Harvester” TIMBCO T425 equipado com cabeçote ULTIMATE 5600, Huyler e Ledoux (1999) observaram que a capacidade produtiva da máquina, em volume de madeira, crescia proporcionalmente ao volume de madeira por árvore, e o custo por unidade de volume seguia a tendência inversa.

Bulley (1999), estudando em floresta de regeneração natural o efeito do tamanho das árvores sobre a produtividade de dois modelos de “Harvesters” (Timberjack 608 e Rocan-T), concluiu que o tamanho das

árvores influencia a capacidade produtiva dos “Harvesters”, e, quanto maior o volume, maior a produtividade.

Construindo um modelo estatístico para simulação de colheita florestal com "Harvester", Eliasson (1999) observou que a capacidade produtiva em volume de madeira por hora cresce proporcionalmente ao aumento do volume individual das árvores derrubadas.

2.6.3. Volume de madeira por hectare (V_{ha})

O volume total de madeira por hectare (V_{ha}) está fortemente relacionado ao aumento do volume individual das árvores. Em razão disso, é natural que seja encontrada uma influência dessa variável sobre a produtividade dos “Harvesters” (BRAMUCCI, 2001). Esse autor encontrou comportamentos das curvas de regressão bastante semelhantes entre aquela com o rendimento em função dos volumes individuais das árvores e aquela com o volume por hectare, porém com coeficientes de determinação menores na segunda, possivelmente porque o volume por hectare engloba, além do volume das árvores, a densidade da floresta, o que torna a relação menos direta.

2.6.4. Declividade do terreno (D)

Stampfer et al. (1999), estudando a influência do volume da árvore e da inclinação do terreno sobre a produtividade de um “Harvester” de esteiras, concluíram que a produtividade diminui com o aumento da inclinação do terreno.

Segundo Akay et al. (2004), em condições de maior declive o “Harvester” pode aumentar o tempo de processamento por árvore e, por conseguinte, diminuir a produtividade.

2.6.5. Densidade de plantio ($N_{\text{árv}}$)

Bulley (1999), estudando em floresta de regeneração natural o efeito da densidade da floresta sobre a produtividade de dois modelos de “Harvesters” (Timberjack 608 e Rocan-T) e de “Forwarders” (Timberjack

1210 e Rottne Rapid 6WD), não encontrou influência significativa da densidade populacional sobre o rendimento do “Harvester”.

Construindo um modelo estatístico para simulação de colheita florestal com "Harvester", Eliasson (1999) observou que o tempo gasto por esse trator para se mover para a derrubada da árvore praticamente não se altera em função do aumento da distância entre as árvores. Tal informação indica que a densidade de plantio teria pouca influência sobre a produtividade da máquina.

Bramucci (2001) citou que o aumento da densidade da floresta implica diretamente redução do volume individual das árvores, que por sua vez resulta numa queda considerável na capacidade produtiva dos “Harvesters”. Essa diminuição da capacidade de produção dos “Harvesters” com o aumento da densidade de plantio também pode ser atribuída à maior dificuldade de movimentação dos equipamentos e de arrançamento das árvores derrubadas. Esse tipo de comportamento deve ser levado em conta na ocasião do planejamento do plantio, ressaltando-se que, do ponto de vista da produtividade dos equipamentos de colheita, a faixa ideal estaria entre 800 e 1.200 árvores/ha.

2.6.6. Largura do eito de trabalho

A largura do eito de trabalho, quando se trabalha em corte raso, ou seja, colhendo todas as árvores do talhão, pode vir a interferir na produtividade em função das características do equipamento (alcance da grua, giro etc.), porém esse problema deve ser eliminado através da identificação da largura ideal para cada situação de trabalho e equipamento.

Tibúrcio et al. (1995), avaliando diferentes sistemas de corte, processamento e baldeio de *Eucalyptus grandis* de 5,7 anos, obtiveram com o “Harvester” uma produtividade de 23,6 m³ ha⁻¹, trabalhando com três linhas de plantio simultaneamente, e 25 m³ ha⁻¹, com cinco linhas de plantio.

2.6.7. Altura das árvores (h)

Esta variável não é citada como um dos fatores mais significativos que influenciam a produtividade da máquina. Notadamente no Brasil, com a introdução de plantios clonais, em que o material genético idêntico faz que as árvores tenham suas características bastante homogêneas, esse fator terá menos influência, tendo sua participação, se significativa, atrelada ao volume individual de cada árvore.

Bramucci (2001) citou que, em relação à altura das árvores, existe a tendência de estabilização da produtividade a partir de 40 m, provavelmente porque o aumento em altura não implica ultrapassar os limites operacionais das máquinas, que estão mais diretamente ligados ao diâmetro.

2.6.8. Tamanho das toras

Salmeron e Ribeiro (1997), comparando a capacidade produtiva de “Harvesters” em declividades de até 65% e trabalhando com comprimentos de toras de 2,2 e 5,7 m, obtiveram produtividades de 13,39 e 19,17 m³ ha⁻¹, respectivamente.

Spinelli et al. (2002), estudando o rendimento do “Harvester” processando toras de 2 e 4 m, concluíram que a produtividade é maior quanto maior é o comprimento das toras processadas.

Em seu estudo, Andrade (1998) verificou que o custo da colheita no sistema de toras de 2,40 m foi 3,90% maior que no sistema de 5,50 m e que este sistema tem potencial de ganho muito superior ao de 2,40 m, uma vez que a empresa estava iniciando novo sistema.

Segundo a Duratex (1997), a mecanização das operações de colheita e transporte passa necessariamente pelo aumento do comprimento da madeira, pois aquelas com comprimento de até 2,50 m elevam os custos operacionais. Estudos indicaram que a colheita de madeira de 6,0 m apresenta os melhores rendimentos operacionais e os menores custos de produção

Machado e Lopes (2000) concluíram que o comprimento da madeira influenciou significativamente a produtividade e o custo da madeira processada.

2.6.9. Operador

Bramucci (2001), para verificar a influência do tempo de experiência do operador sobre a produtividade da máquina, confrontou o número de horas trabalhadas em “Harvesters” para cada operador com as respectivas produtividades. Ele verificou tendência de aumento da produtividade com o incremento do número de horas, porém com efeito relativamente pequeno. Esse pequeno efeito era esperado, pois, segundo Parker et al. (1996), o grande aumento na produtividade do operador de “Harvester” ocorre nos primeiros 30 dias de trabalho.

Richardson e Makkonen (1994) concluíram que, quanto maior o tempo de experiência do operador, maior a produtividade atingida, alcançando incremento de 45% após dois anos de experiência.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Caracterização da área de estudo

Este trabalho foi realizado em áreas de operação de colheita florestal pertencentes à empresa Celulose Nipo-Brasileira S.A., produtora de celulose, cujos povoamentos florestais, objetos deste estudo, encontram-se localizados no centro-nordeste mineiro, nas cidades de Divinolândia de Minas, Sabinópolis e Guanhães, entre os paralelos 22°55' de latitude sul e 48°50' de longitude oeste.

As áreas de coleta de dados são caracterizadas pela topografia montanhosa, altitudes variando de 600 a 800 m, clima subtropical úmido e precipitação média anual de 1.200 mm, sendo o período chuvoso de novembro a janeiro e o período seco, de julho a setembro. Na região predomina o solo do tipo Latossolo Vermelho-Amarelo.

3.2. Descrição da máquina colhedora florestal “Harvester”

Foi utilizado um “Harvester”, marca John Deere, modelo 1270 D, tração 6 x 6, equipado com pneus e motor de 160 kW em regime de 1.400 a 2.000 rpm, com um cabeçote de corte modelo 762 C (Figuras 1 e 2).



Figura 1 – Vista frontal e lateral do “Harvester” John Deere, modelo 1270 D.



Figura 2 – “Harvester” John Deere, modelo 1270 D.

3.3. Seqüência de trabalho da máquina no campo

A máquina foi utilizada no sistema de toras curtas, executando as atividades de corte, descasque, desgalhamento e seccionamento das árvores. As toras foram cortadas com 4,40 m de comprimento, com um

diâmetro mínimo de 4 cm na ponta mais fina e até um diâmetro máximo de 45 cm. na ponta mais grossa, segundo o fabricante do cabeçote. A seqüência de trabalho foi: posicionar o cabeçote, segurar a árvore, realizar o corte e direcionar a queda da árvore e todo o processamento da árvore à esquerda da máquina. A máquina deslocava-se no local de trabalho, conforme ilustrado na Figura 3, sendo o eito de trabalho composto de quatro fileiras de árvores. A madeira, após o processamento, foi depositada à esquerda do sentido de deslocamento da máquina.

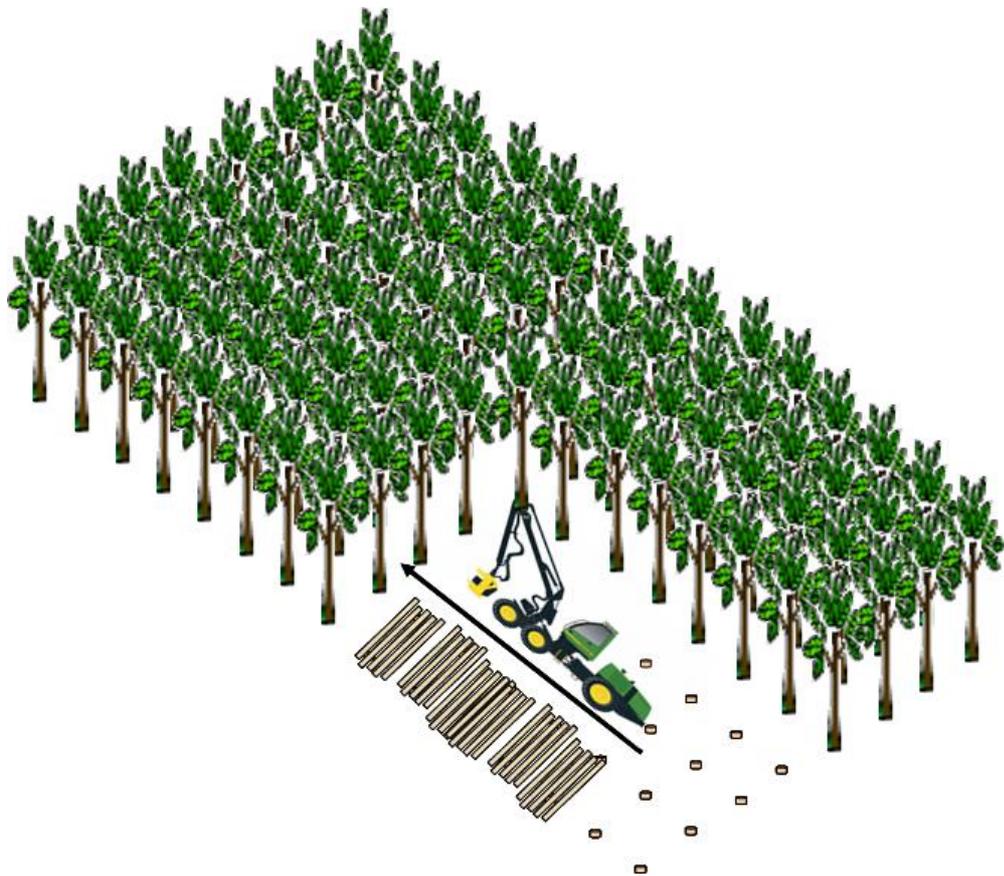


Figura 3 – Posicionamento do “Harvester” no eito de trabalho para colheita do eucalipto.

A Figura 4 ilustra um detalhe do “Harvester” em operação na colheita de eucalipto, em terreno inclinado, no momento em que realiza o traçamento da árvore.



Figura 4 – “Harvester” realizando colheita de eucalipto em terreno inclinado.

3.4. Descrição do ciclo operacional da máquina

O estudo de tempo e movimentos tem por finalidade dividir e quantificar o tempo gasto em cada atividade realizada pela colhedora. As observações foram feitas durante o trabalho em toda a parcela, em intervalos de 15 seg. As atividades foram divididas em deslocamento, posicionamento do cabeçote, corte, tombamento, descasque, toragem, pausa técnica e pausa comum, descritos a seguir:

Deslocamento: quando no exato momento da observação a máquina estivesse com seus pneus em movimento, independentemente da realização de outra função.

Posicionamento do cabeçote: todos os movimentos que a máquina realizou com a grua, entre o término do processamento de uma árvore até o seu posicionamento na árvore seguinte.

Corte: o tempo após o fechamento das garras do cabeçote na árvore e o tempo de acionamento do sabre para a derrubada.

Tombamento: o tempo gasto após o corte até o momento em que a árvore toca o solo.

Descascamento: o tempo gasto no deslocamento da árvore entre um ponto de toragem e outro, quando a árvore está sendo descascada e desgalhada, precisando de acionamento dos rolos de tração.

Traçamento: o momento que a árvore estava parada no ponto para traçamento aguardando ou durante o acionamento do sabre.

Pausa técnica: tempo gasto em atividades secundárias não relacionadas diretamente com a produção, como: troca de corrente, ajustes no equipamento, pausa para comunicação via rádio, trocas de mangueiras e afins.

Pausa comum: tempo gasto em atividades pessoais, como: refeição, necessidades fisiológicas, cigarros e afins.

Pelo fato de o número de observações do estudo de tempo e movimentos variar em cada parcela, realizou-se o cálculo do percentual gasto em cada etapa da atividade. Através deste estudo de tempo, foi possível comparar o tempo parcial gasto em cada etapa da atividade da colhedora.

Na Figura 5, apresenta-se um cabeçote no momento em que ele está posicionado na árvore e pronto para efetuar o corte e derrubada, bem como o momento subsequente à derrubada, quando se inicia a operação de descascamento, desgalhamento e traçamento.



Figura 5 – Detalhes do cabeçote do “Harvester”.

3.5. Quantificação do rendimento operacional

Foi cronometrado o tempo gasto pelo “Harvester” para processar cada parcela, sendo o tempo iniciado no momento em que o cabeçote era posicionado na primeira árvore e encerrado após processar a última tora da última árvore da parcela. No início de cada parcela havia pequena pausa no ritmo de trabalho, entre 30 e 60 seg, para ativação do contador de volume e do número de árvores do programa Timbermatic 300, instalado no computador da máquina para a mensuração do volume cortado.

Através desse programa, foram armazenados e coletados o volume (sem casca) e o número de árvores colhidas em cada parcela, obtendo-se o volume por árvore. Esses dados foram comparados com os valores encontrados no inventário apenas para checagem da eficiência do sistema, pois os dados medidos no inventário das parcelas é que foram usados nas análises.

Diante do volume cortado, do número de árvores e do tempo gasto em cada parcela, calcularam-se o volume e número de árvores cortadas por hora efetiva de trabalho em cada parcela e em cada situação.

3.6. Custo operacional da máquina

Na determinação dos custos operacionais, os custos fixos (depreciação e juros) foram estimados pela metodologia proposta pela FAO, segundo Machado e Malinovski (1988). Os custos variáveis foram calculados a partir de premissas e usando metodologia citada por Birro et al. (2002).

3.6.1. Custos fixos

a) Juros

Os juros ($J = \text{US\$ ha}^{-1}$) foram calculados pela aplicação de uma taxa de juros ao investimento:

$$J = \frac{(Ca \times i \times f)}{Vu} \quad \text{eq. (1)}$$

em que:

C_a = custo de aquisição da máquina (US\$);

i = taxa anual de juros (%);

f = fator de correção; e

V_u = vida útil da máquina (horas).

Para efeito de cálculo, foram considerados:

C_a = US\$ 485.714,29;

i = 12% a.a.;

f = 0,6 (correção para juros compostos); e

V_u = 18.000 h.

b) Depreciação

O método de depreciação usado foi o linear, em que o valor depreciável é obtido ao se subtrair do valor de aquisição da máquina seu valor residual ($D = \text{US\$ ha}^{-1}$). Dividindo o valor depreciável pela vida útil estimada, obtém-se a quota de depreciação a ser deduzida anualmente:

$$D = \frac{(C_a - V_r)}{V_u} \quad \text{eq. (2)}$$

em que:

C_a = custo de aquisição da máquina (US\$);

V_r = valor residual (US\$); e

V_u = vida útil (horas).

Para efeito de cálculo, foi considerado:

V_r = 20% de C_a .

3.6.2. Custos variáveis

a) Mão-de-obra dos operadores

Os custos de mão-de-obra foram calculados pela seguinte fórmula:

$$MDO = \left[\frac{Sop \times Es}{HTM} \right] \quad \text{eq. (3)}$$

em que:

MDO = custo de mão-de-obra por hora efetiva (US\$ h⁻¹);

Sop = somatório dos salários mensais dos operadores (US\$);

Es = taxa de encargos sociais (%); e

HTM = horas efetivas trabalhadas no mês (h).

b) Manutenção e peças

b.1) Manutenção

Os custos de manutenção por hora trabalhada foram determinados pela fórmula a seguir:

$$Man = \frac{(Sof \times Es) + Off}{HTM} \quad \text{eq. (4)}$$

em que:

Man = custo de manutenção por hora efetiva (US\$ h⁻¹);

Sof = somas dos salários mensais dos mecânicos (US\$);

Es = taxa de encargos sociais (%);

Off = despesas diversas de oficina e serviços de terceiros (US\$); e

HTM = horas efetivas trabalhadas no mês (h).

b.2) Peças de reposição

As despesas com peças foram assim determinadas:

$$Peças = Comb \times fp \quad \text{eq. (5)}$$

em que:

$Peças$ = custo das peças (US\$);

$Comb$ = custo do combustível (US\$); e

fp = fator de relação histórico (0,5).

c) Combustível e lubrificantes

c.1) Combustível

Os gastos com combustível foram determinados pela seguinte fórmula:

$$Comb = Cmm \times Pu \quad \text{eq. (6)}$$

em que:

Comb = custo com combustível por hora efetiva (US\$ h⁻¹);

Cmm = consumo médio horário da máquina (L h⁻¹); e

Pu = preço por litro de combustível (US\$ L⁻¹).

c.2) Lubrificantes

A fórmula a seguir foi usada para obtenção dos gastos com lubrificantes, graxas e óleos hidráulicos:

$$OHL = Comb \times f \quad \text{eq. (7)}$$

em que:

OHL = custo de óleos hidráulicos, graxas e lubrificantes (US\$);

Comb = custo com combustível por hora efetiva (US\$ h⁻¹); e

f = fator de relação histórico (0,25).

3.6.3. Determinação dos custos de colheita

Os custos de extração foram obtidos pela seguinte fórmula:

$$CE = \frac{(J + D + MDO + Man + Peças + Comb + OHL)}{Prod} \quad \text{eq. (8)}$$

em que:

CE = custo de colheita (US\$ m⁻³);

J = custo com juros (US\$ h⁻¹);

D = custo de depreciação (US\$ h⁻¹);

MDO = custo com mão-de-obra (US\$ h⁻¹);

Peças = custos com peças (US\$ h⁻¹);

Comb = custos com combustível (US\$ h⁻¹);

OHL = custos com lubrificantes, graxas e óleo hidráulico (US\$ h⁻¹); e

Prod = produtividade (m³ h⁻¹).

3.7. Delineamento de amostragem

Foi utilizada a amostragem casual simples em nove diferentes situações, relacionando produção da floresta com declividade. As classes de

declividade foram divididas em *plano* até 10 graus, *ondulado* entre 10,1 e 20 graus e *acidentado* acima de 20,1 graus. As classes de produção por hectare foram divididas em *baixa* abaixo de 210 m³ha⁻¹, *média* entre 211 e 320 m³ha⁻¹ e *alta* acima de 321 m³ha⁻¹.

A definição das classes de produtividade foi estabelecida em função de solicitação da empresa que colaborou neste estudo. As classes de declividade foram estabelecidas, também por solicitação da empresa, mas em função do preparo do solo mecanizado que atingia até 20 graus; acima dessa inclinação, não havia mecanização de preparo do solo.

Para que as classes de produtividade pudessem ser devidamente representadas, a empresa disponibilizou o projeto Babilônia II, com idade inferior a 4 anos para a classe de até 210 m³ha⁻¹; os projetos Borges, Guará, Corrente Canoa e Aeroporto, com idade entre 6 e 8 anos para a classe entre 211 e 320 m³ha⁻¹; e o projeto Três Morros, com idade superior a 15 anos para a classe com mais de 320 m³ha⁻¹.

A Figura 6 ilustra uma área típica de colheita de eucalipto com “Harvesters” na região onde este estudo foi realizado.



Figura 6 – Área de colheita de eucalipto com “Harvester”.

3.8. Unidades de amostragem

Para a realização deste trabalho foram coletados dados nas nove situações diferentes, com dois fatores de influência, declividade do terreno e produtividade da floresta, sendo cada fator dividido em três classes.

Cada unidade de amostragem (parcela) foi constituída de uma parcela retangular demarcada em campo contendo 100 covas, dispostas em quatro linhas de 25 covas cada uma. As falhas de plantio, árvores mortas e árvores quebradas também foram quantificadas. As árvores bifurcadas foram consideradas uma única árvore.

Foram também utilizados para efeito de comparação a altura média, o diâmetro médio, o volume por árvore, o número de fustes por hectare e a porcentagem de sobrevivência.

3.9. Características mensuradas

Nas unidades de amostragem:

- Diâmetro médio das árvores (*DAP*), em cm;
- Altura média das árvores (*h*), em m;
- Número de fustes por ha ($N_{\text{árv}}$);
- Declividade do terreno (*D*), em graus;
- Tempo para processamento de todas as árvores da unidade de amostragem, em segundos.

Na máquina (computador):

- Número de fustes derrubados em cada unidade de amostragem; e
- Volume colhido em cada parcela, em m³.

3.10. Determinação da declividade das parcelas (*D*)

Para a classificação das parcelas foi medida a declividade do terreno em graus, do início ao fim de cada parcela, ou seja, entre a primeira e a última árvore da primeira fileira. Para essas medidas, foi utilizado um hipsômetro.

3.11. Determinação do diâmetro das árvores (*DAP*)

A mensuração do diâmetro a 1,3 m de altura (*DAP*) foi composta pela média de duas medidas perpendiculares, realizada com uma suta milimetrada; uma medida com o operador se posicionando na parte inferior da encosta e outra na parte superior.

3.12. Determinação da altura das árvores (*h*)

Foi realizado com um suunto, devendo o observador ficar a uma distância mínima de 25 m e no máximo três graus de declividade em relação à árvore que estava sendo medida.

3.13. Determinação do volume das parcelas

Foi realizado o inventário de todas as parcelas, sendo medidos o *DAP* de todas as árvores da parcela e a altura das árvores em uma das linhas. As alturas foram estimadas por meio da regressão, conforme detalhado a seguir.

3.13.1. Determinação das alturas

Sabendo do elevado número de árvores a serem colhidas e considerando tratar-se de plantios de florestas clonais, optou-se por medir as alturas das árvores presentes na primeira fileira da esquerda para a direita, em cada parcela e em cada situação, bem como estimar as alturas das demais árvores por meio de regressão.

Para cada projeto foram testados os modelos Richards, Weibull, Logística, Gompertz e MMF. Os ajustes foram feitos pelo método Livenberg-Marquard, disponível no software Curve Expert versão 1.3. Entre os modelos testados, foram selecionados os que apresentavam melhor análise gráfica e maior coeficiente de correlação.

Tabela 1 – Equações ajustadas por projeto

Projetos	Anos	Equação	R ²
Babilônia	4	$H = \frac{23,783832}{(1 + e^{3,6740043 - 0,34136827 * DAP})^{0,386951}}$	0,792
Borges/Guará/ Corrente Canoa/ Aeroporto	6 a 8	$H = 40,749191 - 51,846423.e^{-0,14862998 * DAP^{0,78379043}}$	0,838
Três Morros	15	$H = 40,749191 - 51,846423.e^{-0,14862998 * DAP^{0,78379043}}$	0,964

3.13.2. Determinação dos volumes individuais das árvores

De posse dos diâmetros e alturas das árvores, os volumes individuais foram obtidos utilizando-se as equações volumétricas específicas (eqs. 12 e 13), disponíveis na empresa florestal, para os locais onde as parcelas foram instaladas. O volume da parcela foi encontrado pela soma dos volumes individuais das árvores nela presentes.

Para as regiões de Sabinópolis e Guanhães (onde estão os projetos Babilônia, Corrente Canoa, Aeroporto e Três Morros), a equação volumétrica é:

$$V_{sc} = \exp(-10,998616 + 1,727995 * \ln(DAP) + 1,416115 * \ln(H)) \quad \text{eq. (12)}$$

$$\bar{R}^2 = 0,997; s_{xy} = 0,0600$$

e, para a região de Divinolândia (onde estão os projetos Borges e Guará), a equação volumétrica é:

$$V_{sc} = \exp(-10,812496 + 1,794359 * \ln(DAP) + 1,302836 * \ln(H)) \quad \text{eq. (13)}$$

$$\bar{R}^2 = 0,996; s_{xy} = 0,0621$$

em que:

V_{sc} – volume de madeira em m^3 sem casca;

DAP = diâmetro a 1,3 m de altura em cm; e

H = altura total da árvore em m.

3.14. Análise estatística dos dados

Utilizou-se a amostragem casual simples em cada uma das nove situações definidas anteriormente. Em cada estrato foi instalada uma amostra-piloto com 10 parcelas. De posse dos dados de rendimento da máquina em cada parcela, a amostra definitiva por estrato (quantidade de parcelas) foi determinada utilizando-se o estimador.

$$n = \frac{t^2 \cdot CV^2}{e^2} \quad \text{eq. (14)}$$

em que:

n = número de parcelas necessárias;

t = valor da estatística t para 95% de probabilidade;

CV = coeficiente de variação da amostra-piloto; e

e = erro de amostragem admissível (10%).

Foram utilizadas também análises estatísticas descritivas, visando complementar a interpretação dos resultados. Para esse propósito, foram utilizadas as ferramentas estatísticas disponíveis no software Statistica V 8.0.

3.15. Predição do rendimento da máquina

A equação para predição do rendimento do “Harvester” foi elaborado, utilizando-se as variáveis volume por árvore (V_i), volume por hectare (V_{ha}) e declividade (D). Algumas variáveis (diâmetro das árvores (DAP), altura das árvores (h) e número de fustes por ha ($N_{árv}$)) não foram consideradas por estarem implícitas no volume por árvore (V_i), as duas primeiras, e no volume por ha (V_{ha}), a seguinte.

Na elaboração do modelo foram avaliadas, também, as possíveis relações entre as variáveis, bem como utilizados os softwares Statistica V 7.0 e Curve Expert V 3.0. Foram consideradas na avaliação do modelo as estatísticas de ajustes de regressões e a validação do modelo.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram avaliadas 122 parcelas, totalizando 12.200 covas, com uma sobrevivência média de 89%. Foram medidas, aproximadamente, 10.858 árvores. A Tabela 2 apresenta o número de parcelas consideradas para cada uma das nove situações avaliadas.

Tabela 2 – Total de parcelas por classe de produtividade e relevo

Total de Parcelas	Relevo Plano	Relevo Ondulado	Relevo Acidentado
Baixa Produtividade	10	13	11
Média Produtividade	16	18	11
Alta Produtividade	21	11	10

Os resultados do inventário, percentual de sobrevivência, diâmetro médio, altura média, volume da parcela e densidade média de plantio estão demonstrados na Tabela 3.

Tabela 3 – Inventário das parcelas em diferentes condições de declividade e produtividade florestal

SITUAÇÃO (Decliv. e Prod.)	SOBREVIVÊNCIA		DAP		ALTURA		VOL. PARCELA		DENSIDADE	
	Média (%)	C.V. (%)	Médio (cm)	C.V. (%)	Média (m)	C.V. (%)	Médio (m³)	C.V. (%)	Média (ár/ha)	C.V. (%)
Baixa e Plano	96,00	3,80	14,08	2,67	20,98	2,25	12,04	4,37	1000	0,00
Baixa e Ondulado	99,31	1,90	15,04	2,67	21,93	2,72	14,63	3,10	1018	6,53
Baixa e Acidentado	80,73	10,64	14,78	3,22	24,81	3,16	15,80	10,67	1148	2,32
Media e Plano	87,06	5,73	17,40	4,06	27,19	4,60	24,01	9,28	1082	9,60
Média e Ondulado	91,39	6,24	16,15	3,69	26,01	3,80	21,90	14,04	1241	3,41
Media e Acidentado	87,82	11,46	16,89	6,51	26,38	5,43	22,76	12,89	1117	5,49
Alta e Plano	89,67	6,00	18,16	3,25	28,20	3,31	27,47	9,85	1180	5,52
Alta e Ondulado	91,45	4,30	17,31	3,83	27,49	2,82	25,03	8,18	1218	2,91
Alta e Acidentado	74,60	7,77	17,25	4,60	27,81	3,41	29,22	8,12	1666	0,00

4.1. Estudo de tempo e movimento

Através do estudo de tempo e movimento, foi possível determinar o porcentual parcial gasto em cada atividade. Através deste estudo, foi possível determinar o tempo gasto em cada etapa do processo, podendo, assim, aperfeiçoá-las e, conseqüentemente, aumentar a produção do conjunto operador-máquina.

Os resultados do estudo de tempo e movimento foram demonstrados em porcentagem, devido ao fato de o tempo total de coleta diferir em cada parcela. O tempo médio para processamento das parcelas foi de 49,14 min, o tempo mínimo apresentando 36,87 e o máximo 65,73, com um coeficiente de variação de 14,2. O erro entre o número de observações esperadas e as observadas foi de 1,1%. Na Figura 7, apresenta-se a média geral do porcentual de tempo em cada etapa do processamento das árvores.

Para visualizar a provável influência da declividade do terreno e da produção florestal nos porcentuais de tempo de cada etapa da atividade, agruparam-se os dados em classes de relevo e produção.

Na Figura 8, evidencia-se a influência da declividade no tempo gasto nas etapas do processamento das árvores. Observa-se nessa figura que, quando agrupadas as classes de declividade, o tempo gasto para deslocamento aumenta cerca de 100%, indicando a resistência oferecida pela declividade do terreno ao deslocamento da máquina. Nas demais etapas não existem grandes variações.

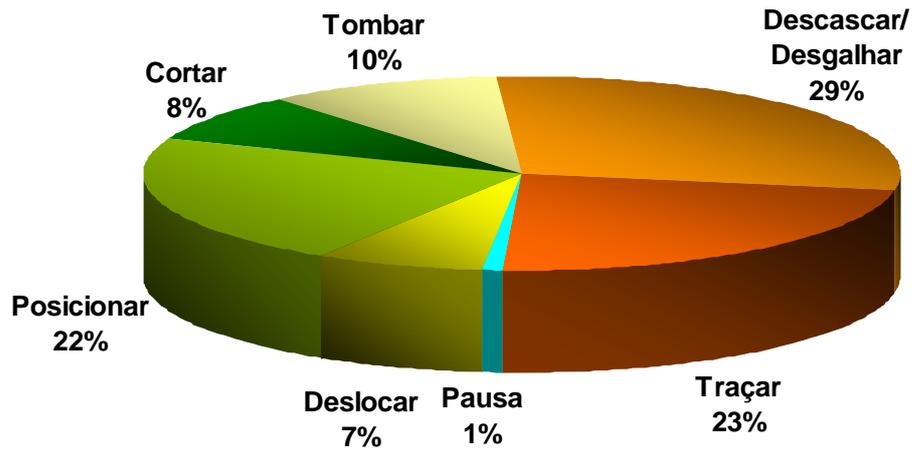


Figura 7 – Etapas da colheita de árvores de eucalipto pela máquina “Harvester”.

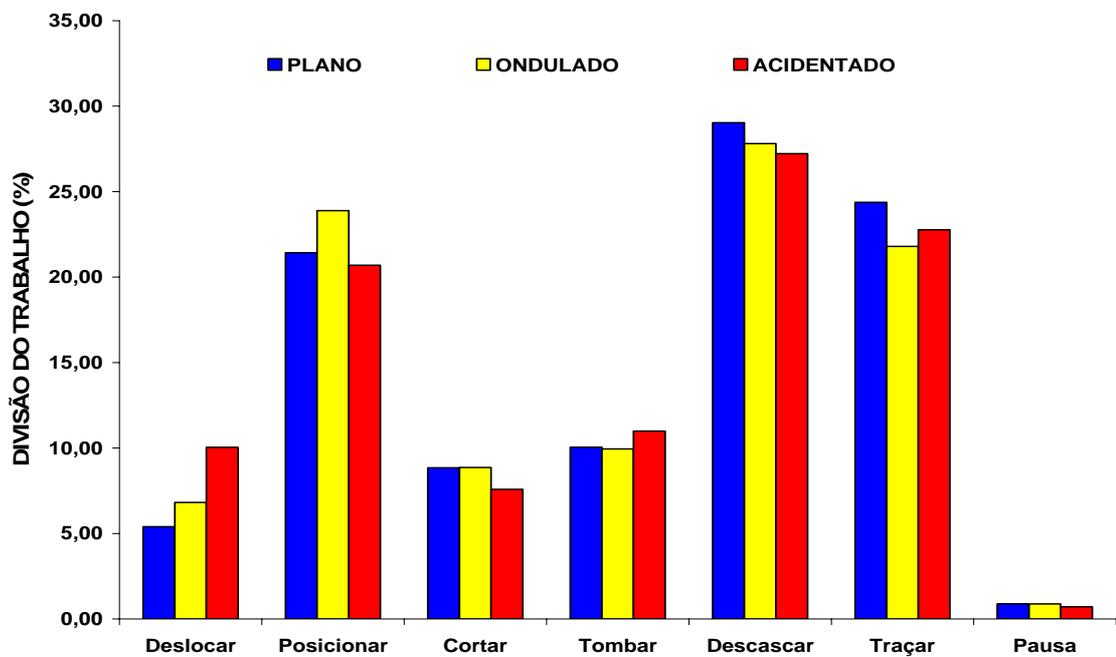


Figura 8 – Etapas de trabalho do “Harvester” na colheita do eucalipto por classes de declividade do terreno.

Na Figura 9, demonstra-se o agrupamento dos dados por classe de produção. O tempo de posicionamento do cabeçote diminui conforme aumenta o volume por hectare, pois o operador tem mais facilidade de posicionar o cabeçote em árvores mais grossas. O tempo despendido com o descasque aumenta com o incremento do volume da floresta, em razão da presença de galhos de maior diâmetro e da maior dificuldade na movimentação dos rolos devido ao aumento do peso das árvores.

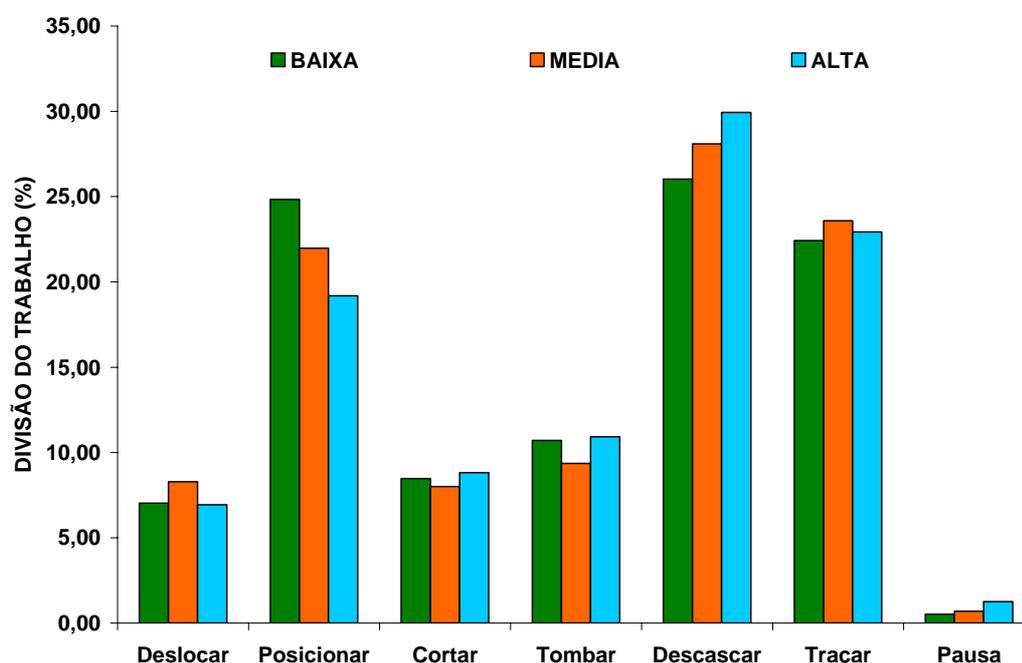


Figura 9 – Etapas de trabalho do “Harvester” na colheita do eucalipto por classes de produção da floresta.

Através do estudo de tempo, constatou-se que as atividades de descasque, traçamento e posicionamento do cabeçote representaram 28,3%, 23,1% e 22,0%, respectivamente, totalizando 73,4%. Esses dados são de suma importância para aumentar a produtividade dos equipamentos.

O ganho de produtividade no descascamento está diretamente relacionado à velocidade dos rolos de tração do cabeçote de corte, além das características naturais da árvore, como a qualidade da desrama natural e a homogeneidade dos fustes.

Já o ganho de produtividade no traçamento está relacionado com a velocidade de giro da corrente e com a qualidade da afiação.

Com relação ao posicionamento do cabeçote, pode-se dizer que o volume individual das árvores é o principal fator de influência. A experiência e habilidade do operador também podem influenciar o dispêndio de tempo entre uma árvore e outra.

Havia uma dúvida se a máquina ao chegar ao final do eito, na parte superior de uma encosta, deveria descê-la derrubando árvores ou se deslocar até a base e reiniciar a derrubada subindo a encosta. A partir deste estudo, em que se constatou que o tempo gasto com o deslocamento da colhedora, cerca de 7% do tempo total, não causava grande impacto no ciclo da atividade, preocupações com um eventual retorno para iniciar um novo eito são desnecessárias. Não foram considerados aspectos de segurança da operação que devem ser analisados para cada situação.

4.2. Estatística descritiva

O tempo médio entre todas as nove situações para processar uma parcela de 100 árvores foi de 49,14 min. As parcelas analisadas apresentaram um volume médio de 23,01 m³, com base no volume fornecido pelo Timbermatic 300 (software disponível no computador de bordo que armazena e acumula todas as informações das árvores processadas, podendo informar número de toras produzidas, volume processado, número de árvores derrubadas etc.). O rendimento médio foi de 108,85 árvores e 28,00 m³ de madeira sem casca por hora efetiva de trabalho.

Na Figura 10, observa-se que o rendimento, em metros cúbicos processados por hora, aumentou com o volume por hectare e diminuiu com o aumento da declividade do terreno, exceto nas florestas de baixa produtividade, onde esse comportamento não se repetiu devido ao incremento do volume médio da parcela, conforme apresentado na Tabela 3. Nas florestas de alta produtividade, mas situadas em terrenos mais acidentados, há uma queda acentuada no rendimento devido a restrições de estabilidade da máquina e também de força da máquina para sustentar o processamento de árvores de maior porte, portanto mais pesadas.

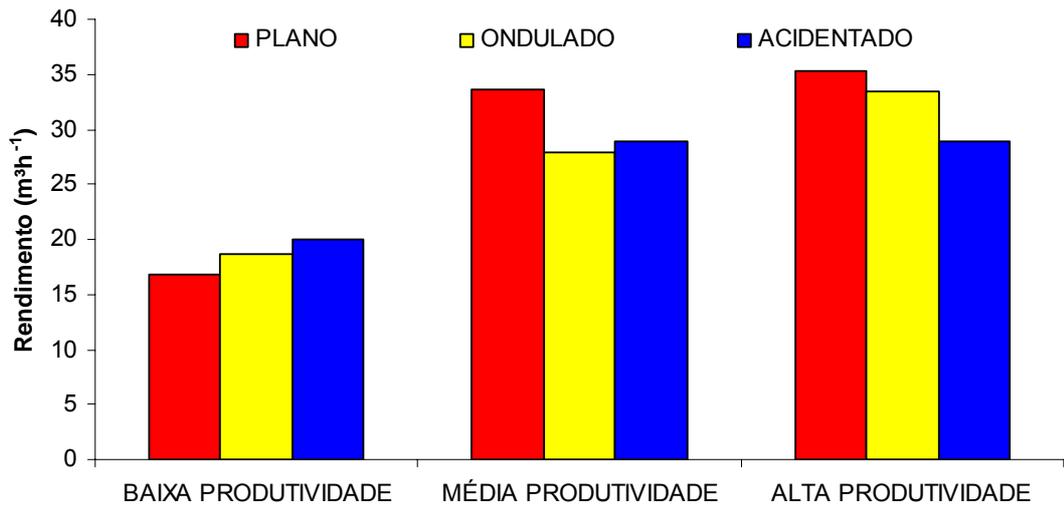


Figura 10 – Rendimento ($\text{m}^3 \text{h}^{-1}$) do “Harvester” na colheita do eucalipto em diferentes classes de produtividade florestal e declividade do terreno.

A Figura 11 ilustra a diminuição do número de árvores processadas por hora à medida que aumentam a inclinação do terreno e a produtividade da floresta. Essa diminuição é mais marcante nas florestas de baixa produtividade.

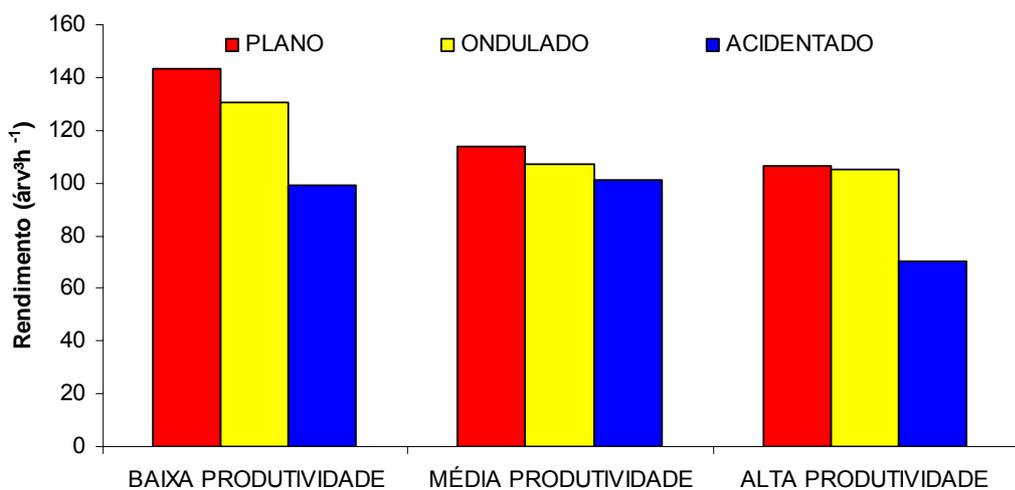


Figura 11 – Rendimento (árvores h^{-1}) do “Harvester” na colheita do eucalipto em diferentes classes de produtividade florestal e declividade do terreno.

Analisando as Figuras 10 e 11, observou-se que, nos terrenos planos com florestas de baixa produtividade, o número de árvores processadas por hora foi mais alto (Figura 11), mas isso não resultou em maior produção de madeira (Figura 10), devido ao baixo volume individual das árvores, mas também apontou que a máquina teria capacidade para processar maior número de árvores por hora nas demais condições de terreno e produtividade florestal. Isso não ocorreu nas áreas de terrenos ondulados e acidentados com florestas de média ou alta produtividade, e o número de árvores processadas por hora foi menor que o alcançado nas áreas planas, tendo o maior volume individual das árvores compensado a perda, levando a uma relação entre o número de árvores processadas e a produção de madeira quase direta. Isso pode indicar que a máquina estaria trabalhando no seu limite técnico, sofrendo a influência do peso da árvore, diminuindo, assim, o rendimento.

Agrupando os dados em cada situação de inclinação do terreno ou produtividade das florestas, podem-se visualizar mais facilmente os efeitos individuais de cada situação sobre o rendimento em árvores por hora e metros cúbicos por hora.

Na Figura 12, observa-se que o rendimento em número de árvores processadas diminui com o aumento da declividade do terreno e com o da produção da floresta, pois o incremento do volume individual elevou o peso das árvores e, por conseguinte, dificultou ainda mais o processamento. A interação do aumento da inclinação do terreno, aliado ao incremento das dimensões da árvore, faz que o operador sinta desconforto e passe a operar de maneira mais cuidadosa, diminuindo o rendimento.

Pela Figura 13, observa-se que o rendimento em volume ($m^3 \text{ hora}^{-1}$) de madeira processada sofre suave redução com o aumento da declividade do terreno. No entanto, esse rendimento aumenta acentuadamente com o crescimento da produtividade da floresta, pois as árvores apresentam maior volume individual, compensando a queda no rendimento em número de árvores processadas por hora.

A interação das duas situações, relevo acidentado e alta produtividade da floresta, pode levar a uma diminuição do rendimento em volume por hora, indicando que haveria um limite para viabilizar uma operação sob os aspectos técnico e econômico.

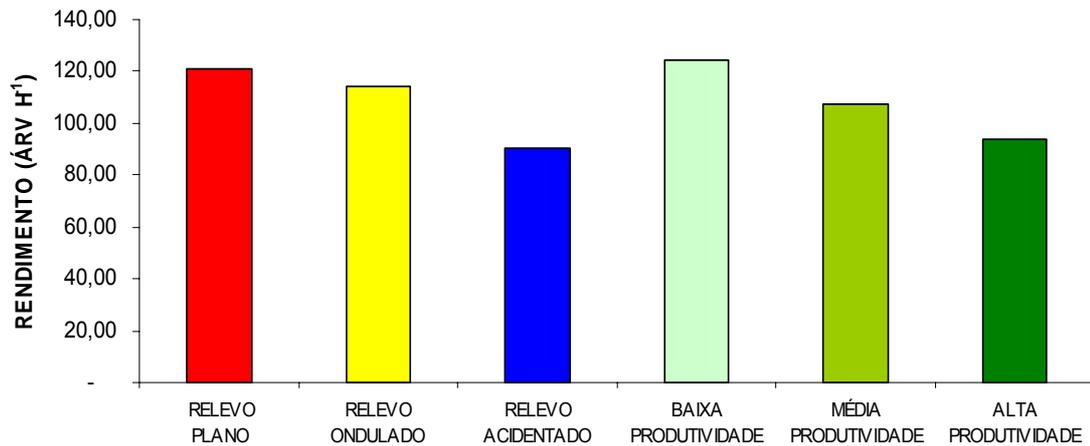


Figura 12 – Rendimento (árvores h⁻¹) do “Harvester” na colheita do eucalipto em função das condições de relevo e da produção florestal.

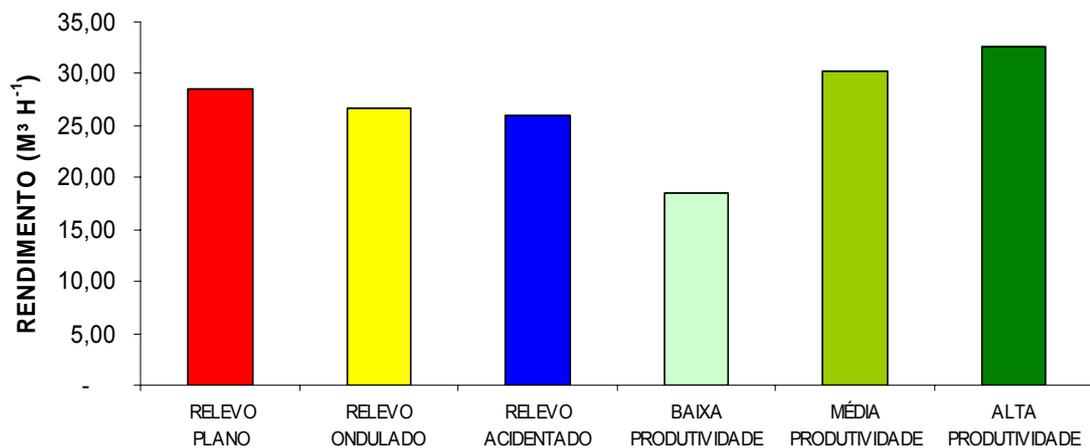


Figura 13 – Rendimento (m³ h⁻¹) do “Harvester” na colheita do eucalipto, em função das condições de relevo e produção florestal.

4.3. Análise da influência dos fatores no rendimento

4.3.1. Diâmetro (*DAP*)

Analisando isoladamente o *DAP* a 1,3 m de altura (*dap*), observou-se que o comportamento fica dentro do esperado e citado na literatura consultada, em que o rendimento cresce com o aumento do *DAP* (Figura 14). É interessante verificar que não houve decréscimo, indicando que a máquina não chegou ao seu limite de trabalho.

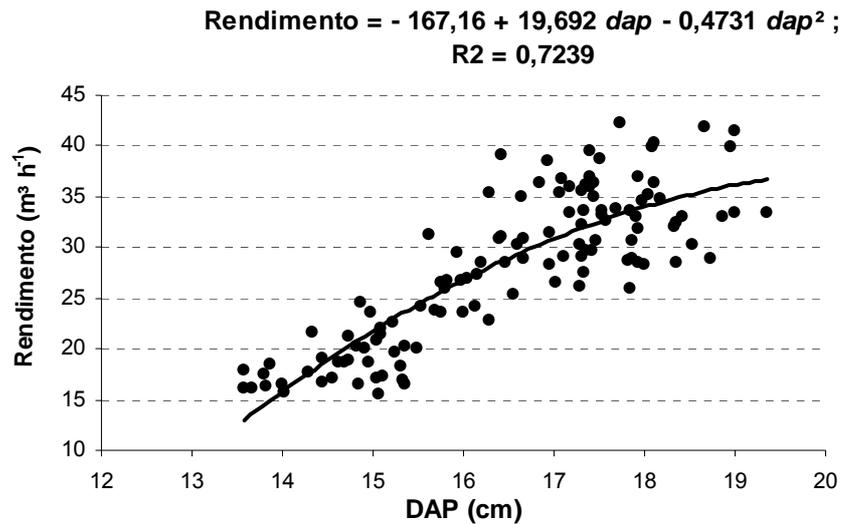


Figura 14 – Rendimento do “Harvester” na colheita do eucalipto em função do DAP.

4.3.2. Volume individual das árvores (V_i)

A variação do rendimento em relação ao volume individual das árvores (V_i) evidenciou a curva característica dessa relação (Figura 15), com aumento do rendimento proporcional ao volume das árvores até um ponto de máximo, a partir do qual começa a cair, indicando que as árvores atingiram um tamanho tal que dificultava o trabalho da máquina, ou seja, esta chegou ao seu limite. A partir desse ponto, o processamento é mais demorado, diminuindo o rendimento. Seguramente, esse fator influenciou o rendimento da máquina.

4.3.3. Volume de madeira por hectare (V_{ha})

Igualmente ao volume individual, a curva que expressa o rendimento em função do volume de madeira por hectare (V_{ha}) (Figura 16) apresentou sua forma tradicional, com o rendimento aumentando junto com o incremento da produtividade florestal até atingir um ponto máximo e começar a decair, pelas mesmas razões expostas anteriormente.

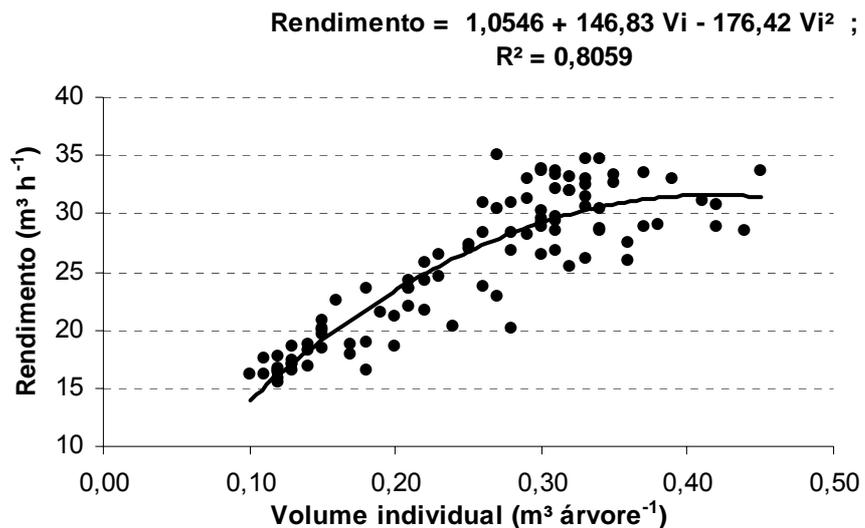


Figura 15 – Rendimento do “Harvester” na colheita do eucalipto, em função do volume individual das árvores.

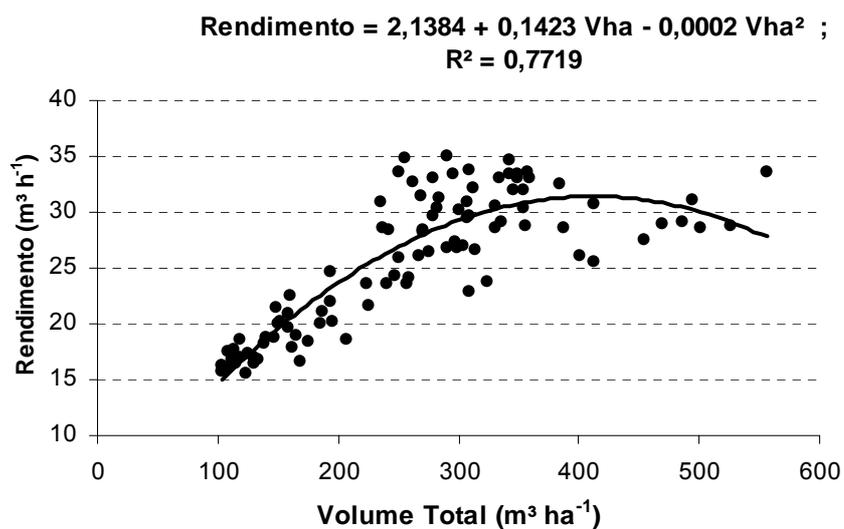


Figura 16 – Rendimento do “Harvester” na colheita do eucalipto, em função do volume de madeira por hectare.

4.3.4. Declividade do terreno (*D*)

Outra relação que se comportou dentro do esperado foi a variação do rendimento em função da declividade do terreno (Figura 17). O rendimento cai à medida que a declividade do terreno aumenta. Apesar de pouco significativo quando analisado isoladamente ($R^2=0,18$), ainda assim a queda do rendimento é muito significativa, chegando a 29%, o que implica expressivo aumento dos custos de produção.

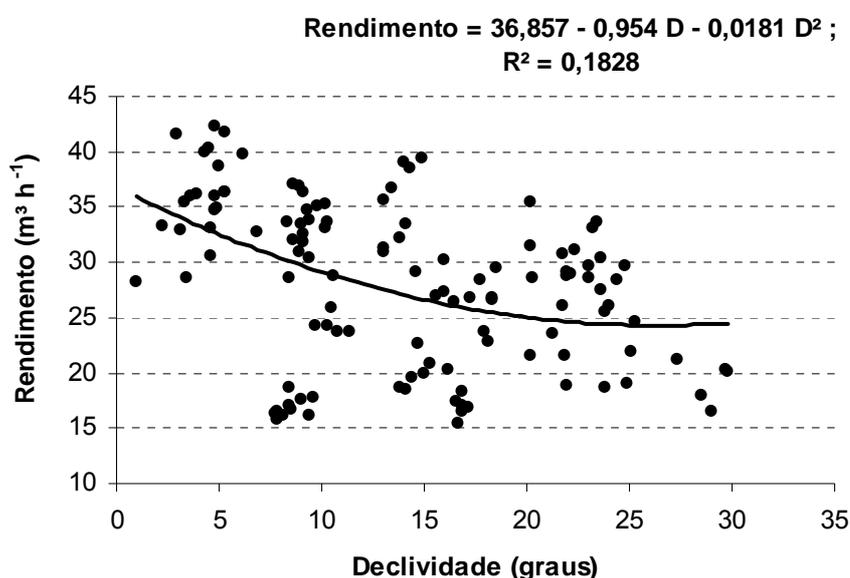


Figura 17 – Rendimento do “Harvester” na colheita do eucalipto, em função da declividade do terreno.

No campo, nas condições locais, em nenhuma condição de solo, e mesmo com total ausência de pluviosidade, a máquina não conseguiu subir em declividade superior a 25 graus. A partir dessa declividade, o trator perdeu atrito com o solo e provocou a formação de valas até o ponto de encostar o assoalho no chão, conforme a Figura 18. A máquina operou normalmente descendo encostas de 30 graus.



Figura 18 – Detalhe da vaca formada pelo “Harvester” em inclinação a partir de 25 graus.

4.3.5. Densidade de plantio ($N_{\text{árv}}$)

Não se identificou nenhuma relação entre a quantidade de árvores por hectare e o rendimento (Figura 19). Isso já é citado na literatura, segundo a qual o “Harvester” atua em populações entre 800 e 1.200 árvores ha^{-1} , sem sofrer interferência significativa no rendimento. Isso também é explicado pela agilidade da máquina em movimentar a grua, gastando um mínimo de tempo para pegar uma árvore para abate após concluir o processamento da anterior.

4.3.6. Largura do eito de trabalho

Este fator não interferiu na avaliação, pois todos os eitos tinham quatro linhas de plantio com 3 m entre linhas, totalizando uma largura constante de 12 m. A variação na densidade de plantio se deveu ao fato de que havia espaçamentos diferentes entre plantas (2,0 m, 2,5 m, 2,75 m, 3,0 m e 3,3 m), mas, como a máquina tem limite de alcance de 9,30 m, essa variação não impactou, pois o tempo de movimento da grua é muito rápido.

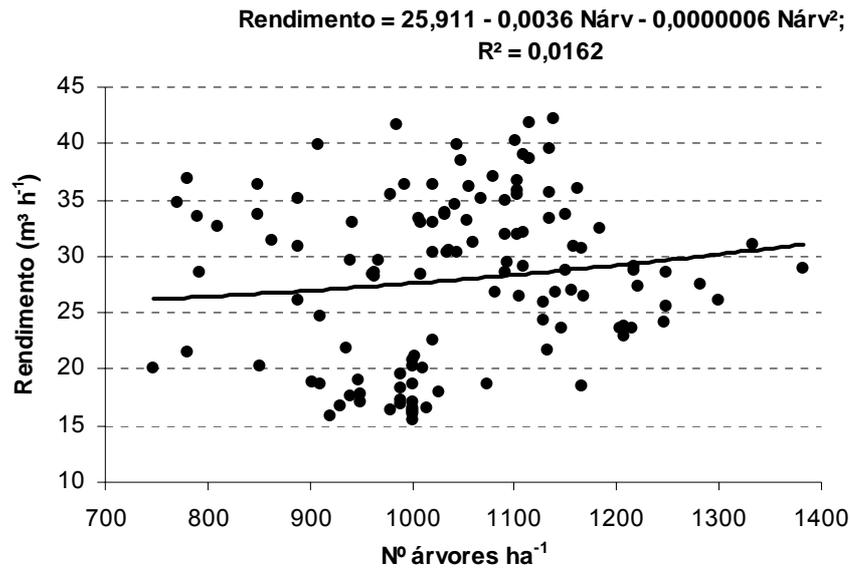


Figura 19 – Rendimento do “Harvester” na colheita do eucalipto, em função da densidade de plantio.

4.3.7. Altura das árvores (*h*)

A variação do rendimento em função da altura das árvores (Figura 20) teve comportamento observado quase que idêntico em função do *DAP*, o que era esperado. Ambos indicam que a máquina não chegou ao seu limite máximo em cada variável, porém a interação dos dois fatores (volume individual da árvore) fez que houvesse um ponto de queda a partir de determinado valor (Figura 15).

4.3.8. Tamanho das toras

Este fator não interferiu na avaliação, pois todas as toras foram processadas com 440 cm de comprimento.

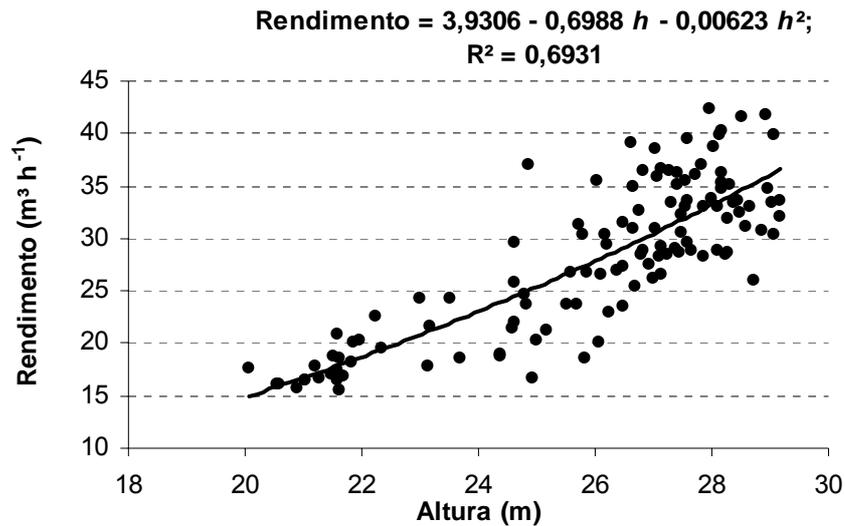


Figura 20 – Rendimento do “Harvester” na colheita do eucalipto, em função da altura das árvores.

4.3.9. Operador

Foram selecionados três operadores (A, B e C), que apresentavam resultados semelhantes em termos de produtividade, praticamente com o mesmo tempo de operação e o mesmo nível de habilidade. Ao final do período de avaliação, o operador A teve um rendimento médio de 29,78 m³ h⁻¹, o operador B 28,50 m³ h⁻¹ e o operador C 27,37 m³ h⁻¹. Como os três atuavam em condições iguais e por períodos de tempo similares, esse fator não interferiu no resultado do modelo.

4.4. Estimação do rendimento do “harvester”

Para estimar o rendimento da máquina na colheita do eucalipto, entre as várias possibilidades o modelo que melhor se adequou, em função de diferentes condições de declividade e produtividade florestal, é o representado abaixo:

$$\ln(R) = \beta_0 + \beta_1(D) + \beta_2 \ln(V_i) + \beta_3 \ln(V_{ha}) + \varepsilon \quad \text{eq. (15)}$$

em que:

R = rendimento do harvester ($m^3 h^{-1}$);

V_i = volume individual ($m^3 \text{ árvore}^{-1}$);

V_{ha} = volume total ($m^3 ha^{-1}$);

D = declividade do terreno (graus);

Ln = logaritmo neperiano;

β_i = parâmetros do modelo; e

ε = erro aleatório.

O ajuste deste modelo resultou na seguinte equação:

$$R = e^{4,459649 - 0,010902^{**}(D) + 0,640911^{**} Ln(V_i) - 0,0021964^{ns} Ln(V_{ha})} \quad \text{eq. (15)}$$

$$\bar{R}^2 = 0,877; s_{xy} = 0,0831$$

O parâmetro associado à variável volume ha^{-1} foi não-significativo, indicando a possibilidade de sua retirada do modelo. No entanto, com base na análise de resíduos optou-se por manter essa variável. O gráfico de resíduo com a equação completa é apresentado na Figura 21; não foi observado viés na distribuição dos resíduos.

4.5. Custos operacionais

Na Tabela 4, apresentam-se os custos operacionais calculados com base nos parâmetros estabelecidos. Quanto aos parâmetros propostos, o custo operacional do “Harvester” ficou em US\$130,29 por hora trabalhada, valor adequado quando comparado com os dos custos praticados no setor florestal.

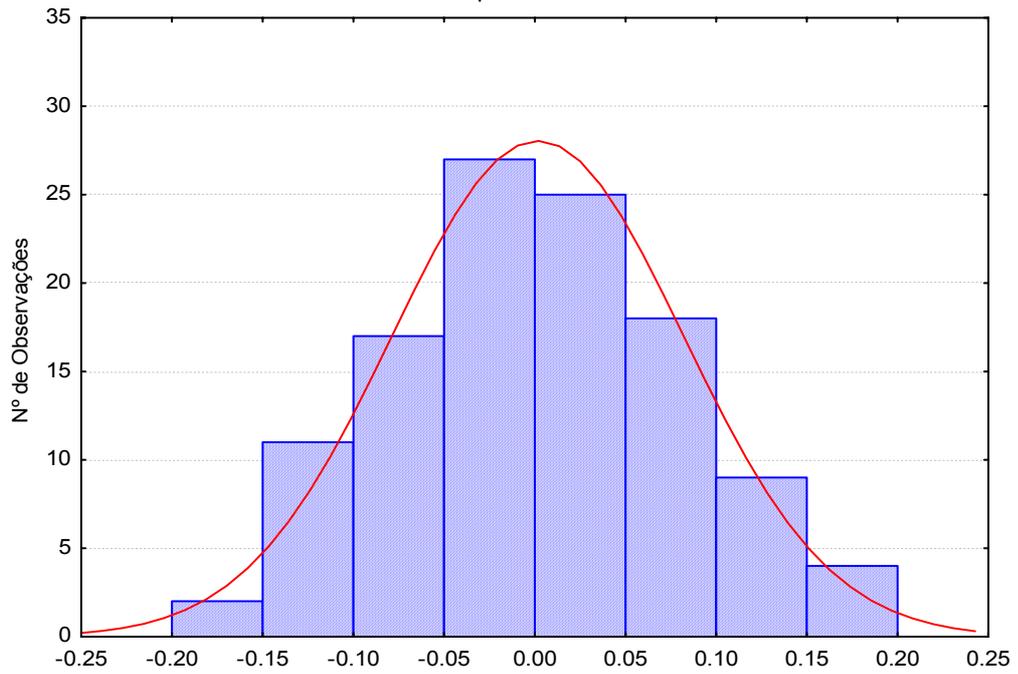


Figura 21 – Distribuição de freqüência dos resíduos da regressão.

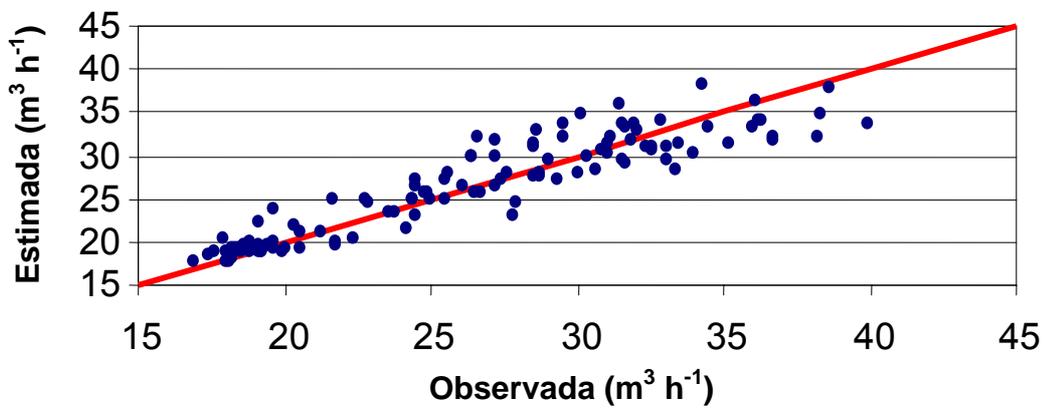


Figura 22 – Rendimento observado x estimado.

Tabela 4 – Custos operacionais do “Harvester”

CUSTOS FIXOS		FÓRMULAS	R\$	41,18	\$23,53
Juros		$J = (Va \cdot i \cdot f) / Vu$	J	R\$ 3,40	\$1,94
Depreciação		$D = (Va - Vr) / Vu$	D	R\$ 37,78	\$21,59
Valor de Aquisição			Va	R\$ 850.000,00	\$485.714,29
Taxa de juros (% a.a.)			i	0,12	0,12
Fator de correção			f	0,60	0,60
Via Útil (em horas)			Vu	18.000,00	18.000,00
Valor Residual	20%		Vr	R\$ 170.000,00	\$97.142,86
CUSTOS VARIÁVEIS			R\$	186,83	\$106,76
Operadores		$MDO = (Sop \cdot Es) / HTM$	MDO	R\$ 28,29	\$16,16
Soma salários mensais operadores			Sop	R\$ 4.500,00	\$2.571,43
Encargos Sociais (120%)	120%		Es	R\$ 5.400,00	\$3.085,71
Horas efetivas trabalhadas mensais			HTM	420,00	420,00
Manutenção		$Man = ((Sof \cdot Es) + Off) / HTM$	Man	R\$ 61,35	\$35,06
Soma salários mensais mecânicos			Sof	R\$ 4.500,00	\$2.571,43
Encargos Sociais (120%)			Es	R\$ 5.400,00	\$3.085,71
Despesas de oficina		$Off = D \cdot HTM$	Off	R\$ 15.866,67	\$9.066,67
Peças		$Peças = Comb \cdot Fp$	Peças	R\$ 48,60	\$27,77
Fator de relação histórico			Fp	1,50	
Gastos com combustível		$Comb = Cmm \cdot Pu$	Comb	R\$ 32,40	\$18,51
Consumo médio horário			Cmm	18,00	
Preço por litro			Pu	R\$ 1,80	1,03
Gastos com óleos hidráulicos		$OHL = Comb \cdot f$	OHL	R\$ 16,20	\$9,26
fator de relação histórico			Fp	0,50	
CUSTO HORÁRIO		$CH = (J + D + MDO + Man + Peças + Comb + OHL)$	R\$ h⁻¹	228,01	\$130,29
			Taxa de câmbio	R\$ 1,75	\$1,00

4.6. Exemplos de uso do modelo

4.6.1. Escolhendo um sistema de colheita florestal

A empresa citada podia escolher entre adotar o sistema CTL (cut-to-length), com o “Harvester” derrubando e processando as árvores em toras com 4,40 m de comprimento e “Forwarder” para baldeio das toras, ou o sistema full-tree com “Feller-Bunchers” para derrubada das árvores e desgalhamento manual e “Skidders” para arraste dos fustes do talhão até as margens das estradas e desdobraimento na estrada com garras traçadoras.

Considerando que, segundo a empresa, no sistema full-tree o custo de produção de madeira sem casca é da ordem de US\$ 9,14 m⁻³ e que o custo do baldeio com “Forwarder” no sistema CTL é de US\$ 3,77 m⁻³, a opção pelo sistema CTL só se justifica se o custo do metro cúbico de madeira sem casca processada pelo “Harvester” não ultrapassar o valor de US\$ 5,37 m⁻³. Isso significa que o “Harvester” deveria ter rendimento igual ou superior a 24,26 m³ h⁻¹.

Em que condições, portanto, o “Harvester” poderia ser adotado?

Como o modelo possui três variáveis, optando-se por fixar o volume por hectare num valor de $280 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, o resultado é apresentado na Tabela 5. Nessa tabela, percebe-se que para determinado volume individual a declividade é que limitará o uso da máquina; no entanto, para determinada inclinação o uso estará condicionado ao volume das árvores daquele local.

Tabela 5 – Custo de produção com “Harvester” em floresta de eucalipto com $280 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$

CUSTO (\$ M^3)	DECLIVIDADE em graus									
	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27
Vi ($\text{m}^3 \text{ árv}^{-1}$)										
0,15	5,75	5,94	6,14	6,35	6,56	6,78	7,00	7,23	7,47	7,72
0,16	5,52	5,70	5,89	6,09	6,29	6,50	6,72	6,94	7,17	7,41
0,17	5,31	5,49	5,67	5,86	6,05	6,25	6,46	6,68	6,90	7,13
0,18	5,12	5,29	5,46	5,65	5,83	6,03	6,23	6,44	6,65	6,87
0,19	4,94	5,11	5,28	5,45	5,64	5,82	6,02	6,22	6,42	6,64
0,2	4,78	4,94	5,11	5,28	5,45	5,63	5,82	6,02	6,22	6,42
0,21	4,64	4,79	4,95	5,12	5,29	5,46	5,64	5,83	6,02	6,22
0,22	4,50	4,65	4,81	4,97	5,13	5,30	5,48	5,66	5,85	6,04
0,23	4,37	4,52	4,67	4,83	4,99	5,15	5,32	5,50	5,68	5,87
0,24	4,26	4,40	4,54	4,70	4,85	5,01	5,18	5,35	5,53	5,71
0,25	4,15	4,28	4,43	4,57	4,73	4,88	5,05	5,21	5,39	5,57
0,26	4,04	4,18	4,32	4,46	4,61	4,76	4,92	5,08	5,25	5,43
0,27	3,95	4,08	4,21	4,35	4,50	4,65	4,80	4,96	5,13	5,30
0,28	3,86	3,98	4,12	4,25	4,40	4,54	4,69	4,85	5,01	5,18
0,29	3,77	3,90	4,03	4,16	4,30	4,44	4,59	4,74	4,90	5,06
0,30	3,69	3,81	3,94	4,07	4,21	4,35	4,49	4,64	4,79	4,95
0,31	3,61	3,73	3,86	3,99	4,12	4,25	4,40	4,54	4,69	4,85
0,32	3,54	3,66	3,78	3,91	4,03	4,17	4,31	4,45	4,60	4,75

Outra opção seria considerar que determinado talhão tivesse volume individual médio de $0,20 \text{ m}^3 \text{ árvore}^{-1}$. Nesse caso, o resultado apresentado na Tabela 6 indica a inviabilidade de se ultrapassarem mais ou menos nove graus de declividade.

Mais uma opção é considerar a declividade média de um talhão e estimar os custos em função da produtividade florestal e do volume individual das árvores. O resultado apresentado na Tabela 7 indica a viabilidade de se colher somente em áreas com volume individual superior a $0,22 \text{ m}^3 \text{ árvore}^{-1}$, independentemente da declividade.

Tabela 6 – Custo de produção com ‘Harvester’ em uma floresta de eucalipto com árvores de volume individual médio de 0,20 m³

CUSTO (\$ M ⁻³)	DECLIVIDADE em graus									
	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27
Vi (m ³ ha ⁻¹)										
100	4,68	4,83	4,99	5,16	5,33	5,51	5,69	5,88	6,08	6,28
125	4,70	4,86	5,02	5,19	5,36	5,54	5,72	5,91	6,11	6,31
150	4,72	4,88	5,04	5,21	5,38	5,56	5,74	5,93	6,13	6,33
175	4,74	4,89	5,06	5,22	5,40	5,58	5,76	5,95	6,15	6,36
200	4,75	4,91	5,07	5,24	5,41	5,59	5,78	5,97	6,17	6,37
225	4,76	4,92	5,08	5,25	5,43	5,61	5,79	5,99	6,19	6,39
250	4,77	4,93	5,10	5,26	5,44	5,62	5,81	6,00	6,20	6,41
275	4,78	4,94	5,11	5,28	5,45	5,63	5,82	6,01	6,21	6,42
300	4,79	4,95	5,12	5,29	5,46	5,64	5,83	6,02	6,22	6,43
325	4,80	4,96	5,12	5,30	5,47	5,65	5,84	6,04	6,24	6,44

Tabela 7 – Custo de produção com “Harvester” em floresta de eucalipto situada num terreno com inclinação de 15 graus

CUSTO (\$ M ⁻³)	VOLUME POR HECTARE (m ³ ha ⁻¹)									
	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325
Vi (m ³ árv ⁻¹)										
0,15	6,62	6,66	6,68	6,71	6,73	6,74	6,76	6,77	6,79	6,80
0,16	6,36	6,39	6,41	6,43	6,45	6,47	6,48	6,50	6,51	6,52
0,17	6,11	6,14	6,17	6,19	6,21	6,22	6,24	6,25	6,26	6,27
0,18	5,89	5,92	5,95	5,97	5,98	6,00	6,01	6,03	6,04	6,05
0,19	5,69	5,72	5,74	5,76	5,78	5,80	5,81	5,82	5,83	5,84
0,2	5,51	5,54	5,56	5,58	5,59	5,61	5,62	5,63	5,64	5,65
0,21	5,34	5,37	5,39	5,41	5,42	5,44	5,45	5,46	5,47	5,48
0,22	5,18	5,21	5,23	5,25	5,26	5,28	5,29	5,30	5,31	5,32
0,23	5,04	5,06	5,08	5,10	5,11	5,13	5,14	5,15	5,16	5,17
0,24	4,90	4,93	4,94	4,96	4,98	4,99	5,00	5,01	5,02	5,03
0,25	4,77	4,80	4,82	4,83	4,85	4,86	4,87	4,88	4,89	4,90
0,26	4,66	4,68	4,70	4,71	4,73	4,74	4,75	4,76	4,77	4,78
0,27	4,54	4,57	4,59	4,60	4,61	4,63	4,64	4,65	4,66	4,66
0,28	4,44	4,46	4,48	4,49	4,51	4,52	4,53	4,54	4,55	4,56
0,29	4,34	4,36	4,38	4,40	4,41	4,42	4,43	4,44	4,45	4,46
0,30	4,25	4,27	4,29	4,30	4,31	4,32	4,33	4,34	4,35	4,36
0,31	4,16	4,18	4,20	4,21	4,22	4,23	4,24	4,25	4,26	4,27
0,32	4,08	4,10	4,11	4,13	4,14	4,15	4,16	4,17	4,18	4,18

4.6.2. Planejando uma colheita florestal

Dispondo a empresa das informações que possibilitem a edição de mapas temáticos da topografia, do volume individual médio das árvores em determinada área e de produtividade florestal por hectare, o uso do modelo

pode gerar um mapa de rendimento e, por conseguinte, de custos de colheita florestal com o “Harvester”, identificando as áreas que apresentam custos superiores ao definido (Figura 23).

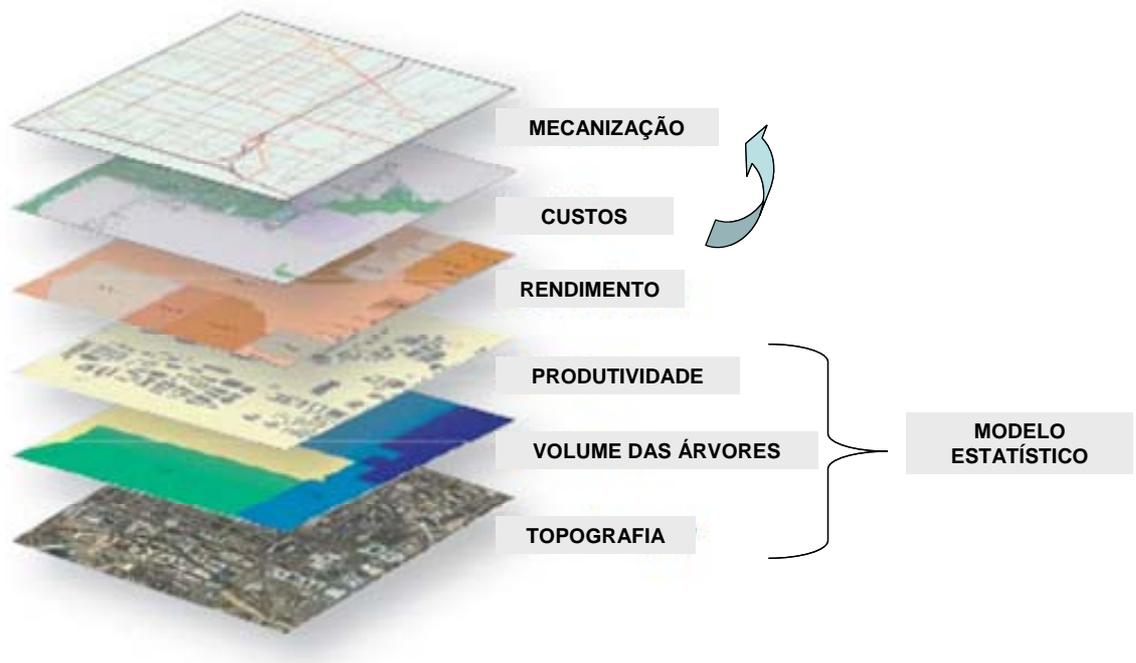


Figura 23 – Seqüência de mapas temáticos para obtenção de mapa de colheita florestal, em função dos custos de cada sistema.

5. CONCLUSÕES

Nas condições em que o experimento foi conduzido, as principais conclusões foram as seguintes:

- O volume individual das árvores e a declividade do terreno são os fatores que mais influenciam o rendimento operacional da máquina “Harvester” na colheita de florestas de eucalipto.
- A equação ajustada estimou, com precisão, o rendimento operacional do “Harvester” em dada condição de volume individual, declividade do terreno e volume por hectare.
- Não foi possível operar a máquina em terrenos com declividades superiores a 25 graus.
- A máquina avaliada não teve condições de processar árvores com volumes individuais superiores a 0,35 m³ em terrenos com declividade superior a 20 graus.
- O deslocamento entre árvores não afetou significativamente o rendimento da máquina

6. RECOMENDAÇÕES

- Realizar novos estudos para avaliar os efeitos que as características do terreno e das florestas causam sobre o rendimento de outras máquinas florestais.
- Repetir trabalhos semelhantes com um “Harvester” de maior porte, visando verificar a real adequação do modelo.

7. REFERÊNCIAS

ABRAF. **Anuário Estatístico da ABRAF**: ano base 2006/ABRAF. Brasília, 2007. 80 p.

AKAY, A.E.; ERDA, O.; SESSIONS, J. Determining productivity of mechanized harvesting machines. **Journal of Applied Sciences**, v. 4, n.1, p. 100-105, 2004.

AMABILINI, V.D. Utilização do Harvester na exploração florestal. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE EXPLORAÇÃO E TRANSPORTE FLORESTAL, 1991, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte, 1991. p. 349-364.

ANDRADE, S.C. **Avaliação técnica, social, econômica e ambiental de dois subsistemas de colheita florestal no Litoral Norte da Bahia**. Viçosa, MG: UFV, 1998. 125 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

BAGIO, A. J.; STOHR, G. W. D. Resultados preliminares de um levantamento dos sistemas de exploração usados em florestas implantadas no sul do Brasil. **Revista Floresta**, v. 9, n. 2, p. 76-96, 1978.

BRAMUCCI, M. **Determinação e quantificação de fatores de influência sobre a produtividade de "harvesters" na colheita de madeira**. Piracicaba, SP: 2001. 50 f. Dissertação (Mestrado).

BULLEY, B. Effect of tree size and stand density on harvester and forwarder productivity in commercial thinning. **Feric Technical Note**, n. 292, p.1-8, jul. 1999.

CONWAY, S. **Logging practices**; principles of timber harvesting systems. São Francisco: Miller Freeman, 1976. 416 p.

DURATEX, Equipe técnica. Colheita da madeira em Florestas com Baixo Volume por Árvore. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE COLHEITA E TRANSPORTE FLORESTAL, 4., 1999, Campinas. **Anais...** Campinas, SP: Sociedade de Investigações Florestais, 1999. p. 54-72.

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

FERNANDES, I.M.; TIBÚRCIO, V.C.S. A utilização do alto grau de mecanização em subsistemas de exploração florestal de Pinus spp. In: SIMPÓSIO SOBRE EXPLORAÇÃO, TRANSPORTE, ERGONOMIA E SEGURANÇA EM REFLORESTAMENTOS, 1997, Curitiba. **Anais...** Curitiba: FUPEF, 1987. p.144-148.

FIEDLER, N. C. **Avaliação ergonômica de máquinas utilizadas na colheita de madeira**. Viçosa, MG: UFV, 1995. 126 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, 1995.

FOELKEL, C. **Casca da árvore do eucalipto**. Disponível em: <www.eucalyptus.com.br>. Acesso em: 16 mar. 2006.

FONTES, J. M. **Desenvolvimento de um sistema informatizado para planejamento e controle de manutenção em máquinas florestais: SIPLAM**. Viçosa, MG: UFV, 1996. 134 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

GINGRAS, J.F. The effects of site and stand factors on feller-buncher performance.. **Feric Technical Report**, n. 84, p.1-18, nov. 1988.

HAKKILA, P.; MALINOVSKI, J.R.; SIREN, M. Tendências atuais e perspectivas futuras dos subsistemas de extração florestal. In: SEMINÁRIO DE ATUALIZAÇÃO SOBRE SISTEMAS DE EXPLORAÇÃO, 7., 1992, Curitiba. **Anais...** Curitiba: FUPEF, 1992. p. 172-193.

HARRY, G.G.; FONTES, J. M.; MACHADO, C.C.; SANTOS, S. L. Análise dos efeitos da eficiência no custo operacional de máquinas florestais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE EXPLORAÇÃO E TRANSPORTE FLORESTAL, 1., 1991, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: UFV/SIF, 1991.

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

HUYLER, N.K.; LEDOUX, C.B. Performance of a cut-to-length harvester in a single-tree and group-selection cut. **USDA Forest Service NE Research Paper**, n. 711, p. 1-6, nov. 1999.

JACOVINE, L. A. G. et al. Avaliação da perda de madeira em cinco subsistemas de colheita florestal. **Revista Árvore**, v. 25, n. 4, p. 463-470, 2001.

LEITE, A.M.P.; LIMA, J.S.S. Mecanização. In: **Colheita Florestal**. Viçosa, MG: Editora UFV, 2002. 600 p.

MACHADO, C. C.; LOPES, E. S. Análise da influência do comprimento de toras de eucalipto na produtividade e custo da colheita e transporte florestal. **Revista Cerne**, v. 6, n. 2, p. 124-129, 2000.

MACHADO, C.C. **Planejamento e controle de custos na exploração florestal**. Viçosa, MG: UFV, Impr. Univ., 1984. 138 p.

MACHADO, C. C.; MALINOVSKI, J. R. **Ciência do trabalho florestal**. Viçosa, MG: UFV, Impr. Univ., 1988. 65 p.

MACHADO, C.C. **Exploração florestal**. 2. ed. Viçosa, MG: UFV, Impr. Univ., 1981. 15 p.

MACHADO, C.C. **Exploração florestal: V parte**. Viçosa, MG: UFV, Impr. Univ., 1985. 15 p.

MACHADO, C.C. O setor florestal brasileiro. In: MACHADO, C.C. (Ed.). **Colheita florestal**. Viçosa, MG: UFV, 2002. 468 p.

MALINOVSKI, J.R.; CAMARGO, C.M.S.; MALINOVSKI, R.A. Sistemas. In: MACHADO, C.C. (Ed.). **Colheita florestal**. Viçosa, MG: UFV, 2002. Cap. 6, p. 145-67.

MENDO, J.L.L. Desenvolvimento de máquinas utilizáveis na exploração florestal. In: SIMPÓSIO SOBRE EXPLORAÇÃO, TRANSPORTE, ERGONOMIA E SEGURANÇA EM REFLORESTAMENTOS, 2., 1991, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: 1991. p. 53-56.

MENDONÇA FILHO, W.F. Abate de árvores totalmente mecanizado. In: SIMPÓSIO SOBRE EXPLORAÇÃO, TRANSPORTE, ERGONOMIA E SEGURANÇA EM REFLORESTAMENTOS, 1987, Curitiba. **Anais...** Curitiba: FUPEF, 1987. p. 361-385.

MOREIRA, F. M. T. **Análise técnica e econômica de subsistemas de colheita de madeira de eucalipto em terceira rotação**. Viçosa, MG: UFV, 2000. 148 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

MOREIRA, F.M.T. **Mecanização das atividades de colheita florestal**. Viçosa, MG: UFV, 1998. 25 f. Monografia (Exigência para conclusão do curso de Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

PACCOLA, J. E. Desafios da manutenção mecânica frente às inovações tecnológicas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE COLHEITA E TRANSPORTE FLORESTAL, 6., 2003, Belo Horizonte. **Anais...** Belo-Horizonte: UFV/SIF, 2003. p. 267-179.

PIRES, B.M. **Evolução dos subsistemas de corte em florestas plantadas**. Viçosa, MG: UFV, 1996. 25 f. Monografia (Exigência para conclusão do curso de Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

REZENDE, J.L.; FIEDLER, N.C.; MELLO, J.M.; SOUZA, A.P. **Análise técnica e de custos de métodos de colheita e transporte florestal**. Lavras, MG: UFLA, 1997. 50 p. (Boletim Agropecuário, 22).

RICHARDSON, R.; MAKKONEN, I. The performance of cut-to-length systems in Eastern Canada. **FERIC Technical Report**, n. 109, p. 1-16, Nov. 1994.

ROCHA FILHO, H. **Análise de fatores que afetam o desempenho e custo de extração de madeira de eucalipto com caminhão autocarregável**. Viçosa, MG: UFV, 1993. 108 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

SALES, F. O setor florestal avança para a mecanização. **Silvicultura**, v. 6, n. 19, p. 20-30, 1981.

SALMERON, A.; RIBEIRO, R.S. Colheita mecanizada de eucaliptos em regiões acidentadas. In: SEMINÁRIO DE ATUALIZAÇÃO SOBRE SISTEMAS DE COLHEITA E TRANSPORTE FLORESTAL, 10., 1997, Curitiba. 1997. **Anais...** Curitiba: UFPr, FUPEF, 1997. p. 165-181.

SALMERON, A. **A mecanização da exploração florestal**. Piracicaba, SP: IPEF, 1980. (Circular Técnico, 88).

SALMERON, A. Exploração florestal. In: INSTITUTO BRASILEIRO DE DESENVOLVIMENTO FLORESTAL: Formação, manejo e exploração de florestas com rápido crescimento. Brasília, 1981. p. 83-123.

SANTOS, S. L. M. **Alocação ótima de máquinas na colheita de madeira**. Viçosa, MG: UFV, 1995. 99 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

SANTOS, S.L.M.; MACHADO, C.C. Análise técnico-econômica da processamento de madeira de eucalipto em áreas planas, utilizando o processador. **Revista Árvore**, v. 19, n. 3, p. 346-57, 1995.

SEIXAS, F. **Mecanização e exploração florestal**. Piracicaba, SP: LCF/ESALQ/USP, 1998. 130 p. (Apostila de Colheita Florestal).

SILVEIRA, G. M. da. **Os cuidados com o trator**. Viçosa, MG: Aprenda Fácil, 2001. 312 p. (Série Mecanização, 1).

SOBRINHO, V.F. A importância do Brasil no mercado internacional de madeira e derivados. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE COLHEITA E TRANSPORTE FLORESTAL, 2., 1995, Salvador. **Anais...** Salvador: SIF, 1995. p. 52-63.

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**, v. 52, n. 1, p. 67-77, jan. 2002.

STAMPFER, K.; LOSCHEK, J. Harvester operations increase productivity of cable extraction systems. **Österreichische Forstzeitung (Arbeit im Wald)**, v. 110, n. 2, p. 4-6, 1999.

TANAKA, O. P. Exploração e transporte da cultura do eucalipto. **Informe Agropecuário**, n. 141, p. 24-30, 1986.

TIBURCIO, V.C.S.; SENE, J.M.; CONDI, L.G.B. Colheita mecanizada: Avaliação do harvester e forwarder. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE COLHEITA E TRANSPORTE FLORESTAL, 2., Campinas, 1995. **Anais...** Viçosa, MG: SIF/UFV, 1995. p. 205-221.

VALVERDE, S. R. **Análise técnica e econômica do sistema de colheita de árvores inteiras em povoamentos de eucalipto**. Viçosa, MG: UFV, 1995. 123 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

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