

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CENTRO-OESTE, UNICENTRO-PR

**ANÁLISE OPERACIONAL E CUSTOS DE SISTEMAS
DE COLHEITA DE MADEIRA EM POVOAMENTOS
DE EUCALIPTO**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

DIEGO DE OLIVEIRA

IRATI-PR

2013

DIEGO DE OLIVEIRA

**ANÁLISE OPERACIONAL E CUSTOS DE SISTEMAS DE COLHEITA DE
MADEIRA EM POVOAMENTOS DE EUCALIPTO**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Centro-Oeste, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, área de concentração em Colheita Florestal, para a obtenção do título de Mestre.

Prof. Dr. Eduardo da Silva Lopes

Orientador

Prof. Dr. Gabriel de Magalhães Miranda

Co-orientador

IRATI-PR

2013

Catálogo na Fonte
Biblioteca da UNICENTRO

O48a OLIVEIRA, Diego de
Análise operacional e custos de sistemas de colheita de madeira em povoamentos de eucalipto / Diego de Oliveira. -- Irati, PR : [s.n], 2013. 101f.

Dissertação (Mestrado) – área de concentração em Colheita Florestal – Universidade Estadual do Centro - Oeste, PR.
Orientador: Prof^o. Dr^o. Eduardo da Silva Lopes
Coorientador: Prof^o. Dr^o. Gabriel de Magalhães Miranda

1. ENGENHARIA FLORESTAL. 2. ESTUDO – TEMPO E MOVIMENTO. 3. MECANIZAÇÃO. I. LOPES, EDUARDO DA SILVA. II. MIRANDA, GABRIEL DE MAGALHÃES. III. TÍTULO

CDD 20^a ed. 583.42

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTO SENSU* EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

PARECER

Defesa Nº 58

A Banca Examinadora instituída pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Ciências Florestais, do Setor de Ciências Agrárias e Ambientais, da Universidade Estadual do Centro-Oeste, Campus de Irati, após arguir o mestrando **Diego de Oliveira** em relação ao seu trabalho de dissertação intitulado "ANÁLISE OPERACIONAL E CUSTOS DE SISTEMAS DE COLHEITA DE MADEIRA EM POVOAMENTOS DE EUCALIPTO", é de parecer favorável à APROVAÇÃO do estudante, habilitando-o ao título de **Mestre em Ciências Florestais**, Área de Concentração em Manejo Sustentável de Recursos Florestais.

Irati-PR, 1º de novembro de 2013.




Nilton Cesar Fiedler

Dr. Nilton Cesar Fiedler
Universidade Federal do Espírito Santo
Primeiro Examinador



Jean Alberto Sampietro

Dr. Jean Alberto Sampietro
Universidade do Estado de Santa Catarina
Segundo Examinador



Eduardo da Silva Lopes

Dr. Eduardo da Silva Lopes
Universidade Estadual do Centro-Oeste
Orientador e Presidente da Banca Examinadora

À

Deus,

AGRADEÇO.

Aos meus queridos e amados pais Aristoteles de Oliveira e Lygia Rafael da Silva Oliveira e aos meus sempre companheiros irmãos Juliane de Oliveira, Daniel de Oliveira, Cesar Ricardo de Oliveira e Roseli de Almeida dos Santos.

DEDICO.

AGRADECIMENTOS

Sempre a Deus que ilumina e abençoa o meu caminho.

À Universidade Estadual do Centro-Oeste, ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e ao Departamento de Engenharia Florestal, pelo acolhimento e possibilidade de realização deste trabalho;

Ao Prof. Dr. Eduardo da Silva Lopes, pela valiosa orientação, amizade, estímulo, paciência, confiança e compreensão no desenvolvimento e conclusão deste trabalho;

Ao Prof. Dr. Gabriel de Magalhães Miranda pela co-orientação, amizade e confiança;

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais: Dr. Afonso Figueiredo Filho, Dr. Everton Hillig, Dr. Flávio Garcia e Dr^a. Kátia Cyrene Lombardi pelas sugestões e ensinamentos durante o curso;

Aos professores da Banca examinadora: Dr^a. Andrea Nogueira Dias, Prof. Dr. Nilton César Fiedler e ao amigo e Professor Dr. Jean Alberto Sampietro pelas importantes sugestões em todo o trabalho.

À Klabin S.A. pelo grande apoio, interesse e concessão de suas áreas, permitindo que este trabalho pudesse ser realizado, permitindo também a participação nas diversas aulas do programa de graduação.

Ao Engenheiro Florestal Cassiano Ricardo Schneider e ao Sinval Barbosa Teixeira pela compreensão e apoio durante todo o curso.

Aos grandes amigos e colegas de Graduação Gabriel Antonio Nadolny e Rafael Henrique da Silva pela dedicação, apoio, colaboração, amizade incondicional e pelos momentos de descontração que estimularam mesmo nas horas difíceis;

Aos acadêmicos e amigos Carlos Henrique Fonseca Drinko, Carlos César Cavassin Diniz e Maicon Antonio Mosquer Veronez pelo auxílio na coleta de dados e nas análises laboratoriais;

À minha família, e em especial ao meu pai Aristoteles de Oliveira e minha mãe Lygia R. da Silva Oliveira pelo apoio incondicional durante o curso e também por todos os ensinamentos de vida.

À minha namorada Flavia Thais de Oliveira, que apoiou e incentivou nos momentos mais difíceis;

Enfim, a todos que colaboraram de alguma forma para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVOS.....	3
3. REFERENCIAL TEÓRICO.....	4
3.1. Importância do setor florestal.....	4
3.2. Colheita de madeira.....	5
3.2.1. Conceito.....	5
3.2.2. Principais máquinas e equipamentos.....	6
3.2.3. Sistemas de colheita de madeira.....	10
3.3. Análise de sistemas de colheita de madeira.....	12
3.4. Variáveis de influência na colheita de madeira.....	13
3.5. Estudo de tempos e movimentos.....	15
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	18
4.1. Caracterização da área de estudo.....	18
4.2. Características operacionais da área de estudo.....	19
4.3. Sistemas de colheita de madeira avaliados.....	19
4.4. Procedimento amostral.....	21
4.5. Análise operacional.....	21
4.6. Análise de custos.....	24
4.6.1. Custos operacionais.....	25
4.6.2. Custo de produção.....	28
4.6.3. Análise de sensibilidade.....	29
4.6.4. Custo de produção total dos sistemas de colheita de madeira.....	29
4.7. Análises estatísticas.....	29
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	32
5.1. Sistema de colheita de madeira de toras longas.....	32
5.1.1 Análise operacional e de custos do trator florestal <i>harvester</i>	32
5.1.1.1. Elementos do ciclo operacional.....	32
5.1.1.2. Disponibilidade mecânica e técnica, eficiência operacional e produtividade...	36
5.1.1.3. Estimativa de produtividade.....	37
5.1.1.4. Consumo específico e rendimento energético.....	40
5.1.1.5. Custos operacionais e de produção.....	40
5.1.2. Análise operacional e de custos do trator florestal <i>forwarder</i>	43
5.1.2.1. Elementos do ciclo operacional.....	43
5.1.2.2. Disponibilidade mecânica e técnica, eficiência operacional e produtividade...	48

5.1.2.3. Estimativa da produtividade	50
5.1.2.4. Consumo específico e rendimento energético	53
5.1.2.5. Custos operacionais e de produção	53
5.2. Sistema de colheita de madeira de árvores inteiras	55
5.2.1. Análise operacional e de custos do trator florestal <i>feller buncher</i>	56
5.2.1.1. Elementos do ciclo operacional	56
5.2.1.2. Disponibilidade mecânica e técnica, eficiência operacional e produtividade ...	58
5.2.1.3. Estimativa de produtividade	59
5.2.1.4. Consumo específico e rendimento energético	61
5.2.1.5. Custos operacionais e de produção	62
5.2.2. Análise operacional e de custos do trator florestal <i>skidder</i>	64
5.2.2.1. Elementos do ciclo operacional	64
5.2.2.2. Disponibilidade mecânica e técnica, eficiência operacional e produtividade ...	68
5.2.2.3. Estimativa da produtividade	69
5.2.2.4. Consumo específico e rendimento energético	73
5.2.2.5. Custos operacionais e de produção	73
5.2.3. Análise operacional e de custos do Processador Florestal <i>harvester</i>	76
5.2.3.1. Elementos do ciclo operacional	76
5.2.3.2. Disponibilidade mecânica e técnica, eficiência operacional e produtividade ...	79
5.2.3.3. Estimativa da produtividade	79
5.2.3.4. Consumo específico e rendimento energético	81
5.2.3.5. Custos operacionais e de produção	81
5.3. Disponibilidade mecânica e técnica, eficiência operacional, consumo de específico de combustível, rendimento energético, produtividade e custos dos sistemas de colheita de madeira	83
5.3.1. Análise econômica de sensibilidade	86
6. CONCLUSÕES	92
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	94
8. ANEXOS	101

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Características do povoamento florestal.....	19
Tabela 2. Características das máquinas e implementos dos sistemas de colheita de madeira avaliados.....	20
Tabela 3. Atividades das máquinas componentes do sistema de toras longas.....	22
Tabela 4. Atividades das máquinas componentes do sistema de árvores inteiras.....	22
Tabela 5. Variáveis independentes utilizadas nas equações para estimativa da produtividade.....	30
Tabela 6. Estatística descritiva para as variáveis de produtividade efetiva (PROD), volume médio por ciclo (VMC) e tempo médio do ciclo (TMC) do trator florestal <i>harvester</i> no sistema de toras longas.....	38
Tabela 7. Custos fixos e variáveis do <i>harvester</i> no sistema de colheita de toras longas.....	40
Tabela 8. Tempo médio (minutos) dos elementos do ciclo operacional do <i>forwarder</i> no sistema de colheita de toras longas nas diferentes classes de distância de extração.....	48
Tabela 9. Estatística descritiva para as variáveis de produtividade (PROD), distância de extração (DE), volume médio por ciclo (VMC) e tempo médio do ciclo (TMC) do <i>forwarder</i> no sistema de toras longas.....	50
Tabela 10. Custos fixos e variáveis do <i>forwarder</i> no sistema de colheita de toras longas.....	53
Tabela 11. Estatística descritiva para as variáveis de produtividade efetiva (PROD), volume médio por ciclo (VMC) e tempo médio do ciclo (TMC) do <i>feller buncher</i> no sistema de árvores inteiras.....	59
Tabela 12. Custos fixos e variáveis do <i>feller buncher</i> no sistema de colheita de árvores inteiras.....	62
Tabela 13. Tempo médio (minutos) dos elementos do ciclo operacional do <i>skidder</i> no sistema de colheita de árvores inteiras nas diferentes classes de distância de extração.....	68
Tabela 14. Estatística descritiva para as variáveis de produtividade (PROD), distância de extração (DE), volume médio por ciclo (VMC) e tempo médio do ciclo (TMC) do <i>skidder</i> no sistema de árvores inteiras.....	70
Tabela 15. Custos fixos e variáveis do <i>skidder</i> do sistema de colheita de árvores inteiras.....	74
Tabela 16. Estatística descritiva para as variáveis de produtividade efetiva (PROD), volume individual (VID) e tempo de processamento individual (TPI) do Processador Florestal <i>harvester</i> no sistema de colheita de árvores inteiras.....	79
Tabela 17. Custos fixos e variáveis do Processador Florestal <i>harvester</i> no sistema de árvores inteiras.....	82
Tabela 18. Disponibilidade mecânica, disponibilidade técnica e eficiência operacional das máquinas componentes dos sistemas de colheita de madeira avaliados.....	83
Tabela 19. Consumo horário de combustível, consumo específico de combustível e rendimento energético das máquinas componentes dos sistemas de colheita de madeira avaliados.....	84

Tabela 20. Produtividade média efetiva, custo operacional e custo de produção dos sistemas de colheita de madeira avaliados.	85
Tabela 21. Custo de produção dos sistemas de colheita de madeira avaliados para diferentes condições de produtividade, custo de manutenção corretiva e depreciação simulados.	90

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de localização da área de estudo.	18
Figura 2. Distribuição percentual do ciclo operacional do <i>harvester</i> no sistema de colheita de toras longas.	32
Figura 3. Distribuição percentual dos tempos efetivos do ciclo operacional do <i>harvester</i> no sistema de colheita de toras longas.	33
Figura 4. Distribuição percentual das interrupções do <i>harvester</i> no sistema de colheita de toras longas.	34
Figura 5. Variação da produtividade efetiva do <i>harvester</i> em função do tempo do ciclo operacional.	38
Figura 6. Variação da produtividade estimada em função do tempo do ciclo e volume médio do ciclo para o <i>harvester</i> no sistema de colheita de toras longas.	39
Figura 7. Distribuição percentual dos componentes do custo operacional do <i>harvester</i> no sistema de colheita de toras longas.	42
Figura 8. Distribuição percentual do ciclo operacional total <i>forwarder</i> no sistema de colheita de toras longas.	43
Figura 9. Distribuição percentual dos tempos efetivos do <i>forwarder</i> no sistema de colheita de toras longas;	44
Figura 10. Distribuição percentual das interrupções do <i>forwarder</i> no sistema de colheita de toras longas.	45
Figura 11. Tempos médios consumidos pelo <i>forwarder</i> no sistema de colheita de toras longas nas diferentes classes de distância de extração;	47
Figura 12. Produtividade efetiva e tempo do ciclo operacional do <i>forwarder</i> no sistema de colheita de toras longas em função de diferentes classes de extração.	49
Figura 13. Variação da produtividade efetiva do <i>forwarder</i> em função da distância de extração.	50
Figura 14. Variação da produtividade estimada em função do tempo do ciclo e volume médio do ciclo para o <i>forwarder</i> no sistema de colheita de toras longas para uma distância de extração de 50 m.	51
Figura 15. Variação da produtividade estimada em função do tempo do ciclo e volume médio do ciclo para o <i>forwarder</i> no sistema de colheita de toras longas para uma distância de extração de 150 m.	52
Figura 16. Variação da produtividade estimada em função do tempo do ciclo e volume médio do ciclo para o <i>forwarder</i> no sistema de colheita de toras longas para uma distância de extração de 250 m.	52
Figura 17. Distribuição percentual dos componentes do custo operacional do <i>forwarder</i> no sistema de colheita de toras longas.	54
Figura 18. Custo de produção e produtividade do <i>forwarder</i> no sistema de colheita de toras longas em função da distância de extração.	55

Figura 19. Distribuição percentual do ciclo operacional do <i>feller buncher</i> no sistema de colheita de árvores inteiras.	56
Figura 20. Distribuição dos tempos percentuais efetivos do <i>feller buncher</i> no sistema de colheita de árvores inteiras;	57
Figura 21. Distribuição percentual das interrupções do <i>feller buncher</i> no sistema de colheita de árvores inteiras.	57
Figura 22. Variação da produtividade efetiva do <i>feller buncher</i> em função do volume do ciclo.	60
Figura 23. Variação da produtividade estimada em função do tempo do ciclo e volume médio do ciclo para o <i>feller buncher</i> no sistema de colheita de árvores inteiras.	61
Figura 24. Distribuição percentual dos componentes do custo operacional do <i>feller buncher</i> no sistema de colheita de árvores inteiras.	63
Figura 25. Distribuição percentual do ciclo operacional do <i>skidder</i> no sistema de colheita de árvores inteiras.	64
Figura 26. Distribuição dos tempos percentuais efetivos do <i>skidder</i> no sistema de colheita de árvores inteiras.	65
Figura 27. Distribuição percentual das interrupções do <i>skidder</i> no sistema de colheita de árvores inteiras.	66
Figura 28. Tempos médios consumidos pelo <i>skidder</i> no sistema de colheita de árvores inteiras nas diferentes classes de distância de extração;	67
Figura 29. Produtividade efetiva e tempo do ciclo operacional do <i>skidder</i> no sistema de colheita de árvores inteiras em função de diferentes classes de extração.	69
Figura 30. Variação da produtividade efetiva do <i>skidder</i> em função da distância de extração.	70
Figura 31. Variação da produtividade estimada em função do tempo do ciclo e volume médio do ciclo para o <i>skidder</i> no sistema de colheita de árvores inteiras para uma distância de extração de 50 m.	71
Figura 32. Variação da produtividade estimada em função do tempo do ciclo e volume médio do ciclo para o <i>skidder</i> no sistema de colheita de árvores inteiras para uma distância de extração de 150 m.	72
Figura 33. Variação da produtividade estimada em função do tempo do ciclo e volume médio do ciclo para o <i>skidder</i> no sistema de colheita de árvores inteiras para uma distância de extração de 250 m.	72
Figura 34. Distribuição percentual dos componentes do custo operacional do <i>skidder</i> no sistema de colheita de árvores inteiras.	75
Figura 35. Custo de produção e produtividade do <i>skidder</i> no sistema de colheita de árvores inteiras em função da distância de extração.	75
Figura 36. Distribuição percentual do ciclo operacional do Processador Florestal <i>harvester</i> no sistema de colheita de árvores inteiras.	76
Figura 37. Distribuição dos tempos percentuais efetivos do Processador Florestal <i>harvester</i> no sistema de colheita de árvores inteiras.	77

Figura 38. Distribuição percentual das interrupções do Processador Florestal <i>harvester</i> no sistema de colheita de árvores inteiras.	78
Figura 39. Variação da produtividade efetiva do Processador Florestal <i>harvester</i> em função do volume médio individual do ciclo.	80
Figura 40. Variação da produtividade estimada em função do tempo de processamento individual e volume individual para o Processador Florestal <i>harvester</i> no sistema de colheita de árvores inteiras.	81
Figura 41. Distribuição percentual dos componentes do custo operacional do Processador Florestal <i>harvester</i> no sistema de colheita de árvores inteiras.	82
Figura 42. Variação do custo de produção do <i>harvester</i> no sistema de colheita de toras longas em função da produtividade, custo de manutenção corretiva e depreciação.	86
Figura 43. Variação do custo de produção do <i>forwarder</i> no sistema de colheita de toras longas em função da produtividade, custo de manutenção corretiva e depreciação.	87
Figura 44. Variação do custo de produção do <i>feller buncher</i> no sistema de colheita de árvores inteiras em função da produtividade, custo de manutenção corretiva e depreciação.	88
Figura 45. Variação do custo de produção do <i>skidder</i> no sistema de colheita de árvores inteiras em função da produtividade, custo de manutenção corretiva e depreciação.	89
Figura 46. Variação do custo de produção do Processador Florestal <i>harvester</i> no sistema de colheita de árvores inteiras em função da produtividade, custo de manutenção corretiva e depreciação.	89

RESUMO

Diego de Oliveira. Análise Operacional e Custos de Sistemas de Colheita de Madeira em Povoamentos de Eucalipto.

Este trabalho objetivou realizar uma análise operacional e de custos de dois sistemas de colheita mecanizada de madeira em povoamentos de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden. Os dados foram coletados em áreas da empresa Klabin S/A, localizadas no município de Telêmaco Borba, Estado do Paraná. Foram avaliados o sistema de colheita de toras longas composto por *harvester Caterpillar 320D FM* com cabeçote *Log Max 7000C* e *forwarder Valmet 890.3*; e o de árvores inteiras composto por *feller buncher Tigercat L870C* com cabeçote *Tigercat ST 5702*, *skidder Tigercat 635C* e processador *harvester John Deere 903J* com cabeçote *Waratah HTH622B*. A análise operacional foi realizada por meio de estudos de tempos e movimentos, sendo avaliados os elementos do ciclo operacional e determinada a produtividade, eficiência operacional, disponibilidade mecânica e técnica, consumo específico de combustível e rendimento energético das máquinas empregadas nos sistemas de colheita. A análise de custos foi realizada através da determinação dos custos operacionais, pelo método contábil, dos custos de produção das máquinas e dos sistemas, e da análise sensibilidade dos fatores mais relevantes. Os resultados mostraram que as interrupções corresponderam por maior parte do tempo despendido nas operações, ocasionadas, principalmente, devido a paradas por manutenção corretiva e, conseqüentemente, afetando a disponibilidade mecânica e técnica e a eficiência operacional. No sistema de toras longas, a produtividade média efetiva do *harvester* e do *forwarder* foi de 31,8 e 33,2 m³cc he⁻¹, o consumo específico de combustível foi de 167,9 e 71,2 g kW⁻¹ he⁻¹ e o rendimento energético foi de 5,3 e 2,3 g kW⁻¹ m³cc, respectivamente. No sistema de árvores inteiras, a produtividade média efetiva do *feller buncher*, do *skidder* e do processador *harvester* foi de 87,0, 119,2,4 e 33,6 m³cc he⁻¹, o consumo específico de combustível foi de 143,0, 151,8 e 117,0 g kW⁻¹ he⁻¹ e o rendimento energético foi de 1,6, 1,3 e 3,5 g kW⁻¹ m³cc, respectivamente. Em ambos sistemas, a produtividade pode ser estimada empregando as variáveis volume e tempo do ciclo, e sobretudo a distância de extração no caso das máquinas de extração. Em geral, o sistema de colheita de toras longas apresentou maior viabilidade operacional e econômica, sugerindo adoção desse sistema nas condições avaliadas.

Palavras-Chave: colheita mecanizada de madeira, eucalipto, estudo de tempos e movimentos.

ABSTRACT

Diego de Oliveira. Operational Analysis and Costs of Logging Systems in Eucalyptus Stands.

This study aimed to conduct an operational analysis and costs of two mechanized logging systems in *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden stands. The data were collected in areas of the company Klabin S/A, located in Telêmaco Borba, Parana State, Brazil. Were evaluated the Tree-length logging system composed by harvester Caterpillar 320D FM with headstock Log Max 7000C e forwarder Valmet 890.3; and the full-tree system composed by feller buncher Tigercat L870C with headstock Tigercat ST 5702, skidder Tigercat 635C e processor harvester John Deere 903J with headstock Waratah HTH622B. The operational analysis was performed using time and motion studies, being evaluated the elements of operating cycle and determined productivity, operational efficiency, mechanical and technical availability, specific fuel consumption and energy consumption rate of employed machines in logging systems. The costs analysis was performed by determining the operating cost, by the accounting method, cost of production of machines and evaluated systems, and sensibility analysis of the most relevant factors. The results showed that for machines of both logging systems, interruptions accounted for most of the time spent on the operations, occasioned mainly due to stops for corrective maintenance and, consequently, affecting the mechanical and technical availability and operational efficiency. In Tree-length system, the average effective productivity of *harvester* and *forwarder* was 31.8 and 33.2 m³cc he⁻¹, the specific fuel consumption was 167.9 and 71.2 g kW⁻¹ he⁻¹ and the energy consumption rate was 5.3 and 2.3 g kW⁻¹ m³cc, respectively. In the full-tree system, the average effective productivity of *feller buncher*, *skidder* and Forestry Processor *harvester* was 87.0, 119.2 and 33.6 m³cc he⁻¹, the specific fuel consumption was 143.0, 151.8 and 117.0 g kW⁻¹ he⁻¹ and the energy consumption rate was 1.6, 1.3 and 3.5 g kW⁻¹ m³cc, respectively. In both systems, the productivity can be estimated by employing variables volume and cycle time, and especially by the variable extraction distance in the case of extraction machines. In general, the Tree-length logging system showed operational and economic viability, suggesting the adoption of this system for the evaluated conditions.

Keywords: Mechanized logging, eucalyptus, time and motion study.

1. INTRODUÇÃO

O setor de florestas plantadas no Brasil vem passando por uma significativa expansão, havendo a tendência do uso cada vez maior de diferentes gêneros de *Eucalyptus* para a produção de múltiplos produtos madeireiros. Este cenário implica na necessidade do aperfeiçoamento das técnicas e operações de suprimento de madeira visando atingir de altos índices de rendimento e produção, melhoria dos processos produtivos, maior segurança do trabalho, desenvolvimento sustentável, responsabilidade ambiental e social.

Dentre as etapas de produção florestal, a colheita de madeira é a etapa mais importante economicamente devido sua elevada participação no custo final do produto e, conseqüentemente dos riscos de perdas envolvidos, sendo responsável por mais de 50% do custo final da madeira posta na indústria. Portanto, em função dessa onerosidade, justifica-se a análise dos fatores técnicos, econômicos, ambientais, ergonômicos e sociais que interferem na forma de execução das operações (LOPES, 2001; MACHADO *et al.*, 2008).

Nesse sentido, o uso de novas tecnologias como a mecanização das operações de colheita tem visado garantir ao empreendimento maior segurança, produtividade e competitividade em comparação à operações manuais e semimecanizadas. Entretanto, para alcançar tais objetivos é necessário que as atividades da colheita da madeira sejam otimizadas, por meio de melhorias na qualidade do produto e serviço, redução das perdas produtivas, melhorias na eficiência das máquinas, maximização da produtividade e minimização dos custos de produção (REZENDE *et al.*, 1997).

Em função disso, boa parte das empresas tem demonstrado preocupação na definição do melhor modelo de colheita de madeira para uso nestas condições, uma vez que os sistemas de colheita devem ser balanceados com base nas características da floresta, tipo de máquinas a serem empregadas e intensidade das operações de colheita, refletindo na eficiência operacional, produtividade, sustentabilidade e retorno financeiro (AKAY *et al.*, 2004; ROBERT, 2013).

Para Fernandes *et al.* (2009), a análise operacional dos sistemas de colheita de madeira, independentemente do grau de mecanização utilizado é uma ferramenta fundamental para correções e alterações no processo de produção, visando à racionalização e otimização dos recursos utilizados, tratando-se ainda, de um instrumento indispensável na comparação de diferentes equipamentos, métodos ou sistemas de trabalho.

Porém, no Brasil ainda existem poucos dados a respeito da capacidade produtiva das máquinas e equipamentos nas diversas condições de trabalho existentes. As estimativas de produtividade e de custos baseados em dados fornecidos pelos fabricantes ou obtidos em trabalhos realizados em outros países são pouco confiáveis, uma vez que são dados obtidos em condições diversas no que diz respeito ao sistema silvicultural, ao clima e à formação profissional do operador (BRAMUCCI, 2001). Portanto, é evidente a necessidade de dados específicos das condições de trabalho dentro da realidade brasileira.

Visando selecionar qual sistema de colheita de madeira é mais adequado para cada situação, as empresas do setor florestal vêm manifestando o interesse na identificação e quantificação da produtividade, eficiência operacional, custos operacionais e de variáveis que interferem nas operações.

Assim, torna-se necessário a realização de estudos para analisar operacionalmente diferentes sistemas de colheita de madeira, e buscar melhor entendimento das relações entre as variáveis que explicam esse processo, possibilitando subsidiar o planejamento e a tomada de decisão para a execução das operações da colheita florestal de forma eficiente e economicamente viável.

2. OBJETIVOS

Esta pesquisa objetivou realizar uma análise operacional e de custos de dois sistemas de colheita de madeira em povoamentos de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden, de forma a subsidiar o planejamento de operações mecanizadas e o melhorar a utilização dos recursos disponíveis.

Especificamente objetivou-se:

- a) Analisar os elementos do ciclo operacional das máquinas e as interrupções operacionais e não operacionais em ambos os sistemas de colheita da madeira;
- b) Determinar a produtividade, a disponibilidade mecânica, a disponibilidade técnica, a eficiência operacional, o consumo específico de combustível e o rendimento energético das máquinas em ambos os sistemas de colheita de madeira;
- c) Avaliar a influência de variáveis que interferem na produtividade das máquinas por meio do ajuste de equações matemáticas;
- d) Determinar e analisar a composição dos custos operacionais e de produção das máquinas em ambos os sistemas de colheita de madeira; e
- e) Verificar o grau de variação do custo de produção em função dos fatores que mais afetam esse indicador de viabilidade econômica.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1. Importância do setor florestal

O setor florestal se destaca como importante e relevante para a economia e a sociedade brasileira, contribuindo com uma parcela importante para a geração de produtos, tributos, divisas, empregos e renda, além de ser um setor estratégico no fornecimento de matéria-prima para o desenvolvimento da indústria de base florestal.

O potencial florestal brasileiro é enorme, segundo ABRAF (2013), a área ocupada pelos plantios florestais dos gêneros *Eucalyptus* e *Pinus* no Brasil totalizou, em 2012, em torno de 6,66 milhões de hectares, sendo 76,6% correspondente à área de plantios de *Eucalyptus* e 23,4% de plantios de *Pinus*, com uma taxa média anual de crescimento de 2,2%. Já na região Sul do Brasil concentra 28,7% do total dos plantios com *Eucalyptus* e *Pinus*, sendo 11,5 % de total de *Eucalyptus* e 84,7% do total de *Pinus* plantado no Brasil. No entanto, ressalta-se que ocorre crescimento significativo nos últimos anos de plantios de *Eucalyptus*.

Nesse sentido, vem se buscando uma melhor eficiência na fabricação do produto final, seja celulose, papel, energia ou madeira serrada. No caso da celulose, o gênero *Eucalyptus* tem atraído boas vantagens econômicas e de produção. Além da vantagem comparativa do Brasil em relação aos demais países na produção de eucalipto, o tempo de corte varia em média de 6 a 7 anos, enquanto o *Pinus* de 11 a 12 anos. (REMADE, 2013).

Segundo Garay *et al.* (2004), a elevada utilização do eucalipto nos reflorestamentos tem ocorrido devido a sua diversidade de espécies, adaptabilidade em várias regiões e climas e seu potencial de produção, gerando assim a possibilidade de uso múltiplo da sua madeira.

Do ponto de vista econômico, o setor de florestas plantadas foi responsável em 2012, por um valor bruto de produção da ordem de R\$ 56,3 bilhões, valor 4,6 % superior em relação ao ano de 2011, sendo ainda responsável por R\$ 7,6 bilhões em arrecadação de tributos, representando 0,5% do total arrecado no país.

Do ponto de vista social, as atividades da cadeia produtiva do setor florestal promovem a geração de empregos e de renda, fixação de populações no campo e auxílio para a melhoria na qualidade de vida nas áreas rurais. Em 2012, o setor de florestas plantadas foi responsável por 4,4 milhões de postos de empregos, sendo 621,5 mil empregos diretos, 1,32

milhões de empregos indiretos e 2,4 milhões de empregos resultante do efeito-renda (ABRAF, 2013).

Do ponto de vista ambiental, as florestas plantadas se destacam como um dos principais recursos atuais no combate às causas das mudanças do clima, devido à sua alta capacidade de fixar o carbono atmosférico. A floresta plantada tem sido usada também para reabilitar ou proteger áreas degradadas afetadas pela erosão ou pelas atividades da pecuária extensiva com objetivo também de agregação de benefícios econômicos. Os benefícios ambientais compreendem ainda a melhoria da fertilidade do solo, a reciclagem de nutrientes e a proteção de bacias hidrográficas e da biodiversidade (PINTO JÚNIOR *et al.*, 2008).

Portanto, nota-se a importância do setor de florestas plantadas para o país e a necessidade de estudos que visem contribuir para o seu desenvolvimento, aumentando a produtividade e reduzindo os custos das atividades florestais, especialmente a colheita de madeira que é responsável por significativa parcela dos custos de produção, tornando assim o setor moderno e competitivo, como exige o mercado atual altamente globalizado.

3.2. Colheita de madeira

3.2.1. Conceito

A colheita de madeira é um conjunto de operações realizadas no maciço florestal, visando preparar e transportar a madeira até o seu local de utilização, mediante o emprego de técnicas e padrões estabelecidos, tendo por finalidade transformá-la em produto final (TANAKA, 1986). Já Conway (1976) definiu colheita de madeira como o trabalho executado desde o preparo das árvores para a derrubada até o transporte para o local de uso final. Dependendo da situação, a colheita de madeira envolve o planejamento da operação, a medição, o recebimento no pátio da indústria e a comercialização da madeira.

Conceitualmente, a colheita de madeira é composta de duas atividades básicas ou etapas que são o corte e a extração. Dependendo do grau de mecanização e das máquinas e equipamentos utilizados, o corte pode ser realizado totalmente no interior do talhão, podendo as árvores serem ou não processadas na margem das estradas ou pátio intermediário. A extração é responsável pela remoção da madeira do interior para a margem do talhão ou pátio intermediário (MACHADO *et al.*, 2008).

É importante ressaltar que a colheita de madeira representa a operação final de um ciclo de produção florestal, onde são obtidos os produtos mais valiosos, constituindo, portanto um dos fatores que determinam a rentabilidade do negócio (ARCE *et al.*, 2004), e por isso, justifica-se como a etapa mais importante do ponto de vista econômico, devido os riscos de perdas envolvidos e sua elevada participação no custo final do produto, sendo responsável por mais de 50% do custo final da madeira posta na indústria (MACHADO *et al.*, 2008).

Além das definições e conjecturas supracitadas, a colheita de madeira pode ainda ser interpretada como um sistema integrado por subsistemas de aproveitamento. Entende-se por sistema um conjunto de operações que podem ser realizadas num só local ou em locais distintos e que devem estar perfeitamente integradas e organizadas entre si, de modo a permitir o fluxo constante de madeira, evitando-se pontos de estrangulamento e levando os equipamentos à sua máxima utilização (SALMERON, 1981). Deve-se salientar que todas as etapas são influenciadas por diversos fatores técnicos, ambientais, ergonômicos e sociais que interferem na forma de execução das operações (LOPES, 2001).

3.2.2. Principais máquinas e equipamentos

O processo de evolução da mecanização das operações de colheita de madeira no Brasil iniciou-se na década de 1960, sendo marcado pelo uso de equipamentos adaptados dos setores agrícolas e industriais, bem como pelo amplo emprego de sistemas manuais e semimecanizados devido à falta de alternativas e à grande disponibilidade de mão-de-obra. Neste período, houve um significativo emprego de motosserras, tratores agrícolas com guincho e gruas para o carregamento. Somente na década de 80 é que a mecanização florestal começou a tomar impulso, com o início do uso dos tratores para o corte de árvores, como *feller bunchers* de tesoura e de sabre para o corte, e tratores adaptados para o arraste de árvores, como os *Mini-skidders* (MACHADO, 1994; MACHADO *et al.*, 2008).

Entretanto, o grande salto rumo à modernização da colheita de madeira ocorreu a partir do início da década de 1990, com a abertura do mercado brasileiro à importação. Nesta época, muitas empresas fabricantes nacionais e internacionais disponibilizaram máquinas e equipamentos de alta tecnologia e produtividade, originadas dos países escandinavos e norte-americanos. Neste período, surgiram então os *harvester*, *forwarder*, *skidder*, processadores e carregadores florestais, que trouxeram vários benefícios às empresas florestais, como redução da dependência por mão de obra, melhoria das condições de trabalho, fornecimento regular e

crecente de madeira, aumento de produtividade e redução de custos de produção (MACHADO, 1994; MACHADO *et al.*, 2008).

Além disso, no processo de evolução e desenvolvimento tecnológico aplicado à colheita de madeira, devem-se destacar os avanços ocorridos na indústria de máquinas e equipamentos, que passou a disponibilizar modelos cada vez mais produtivos, confiáveis, automatizados e ambientalmente adequados. Além disso, os processos inerentes à manutenção preditiva e preventiva e os sistemas informatizados de planejamento e controle das operações têm contribuído para o sucesso da colheita de madeira (LOPES, 2001).

Entretanto, apesar do grande avanço tecnológico das máquinas e equipamentos de colheita de madeira existente nas empresas florestais brasileiras e os significativos ganhos de produtividade e redução de custos, ainda há a necessidade de novos estudos para melhor entendimento e otimização das operações florestais. Uma vez que no processo de gestão das operações ainda existem diversos problemas operacionais que necessitam ser resolvidos, para que cada vez ocorra aumento de produtividade, redução de custos, melhoria na qualidade, minimização de impactos ambientais e a sustentabilidade da produção florestal.

Tal afirmação é confirmada por Machado *et al.* (2008), que cita que nas maiores empresas produtoras de madeira do Brasil são utilizadas as mais modernas tecnologias para a colheita de madeira. Porém, para dar continuidade ao emprego dessas tecnologias, ainda existem certas lacunas que necessitam ser preenchidas e alguns parâmetros que precisam de melhor balizamento para que se concretize o desenvolvimento sustentável da área florestal. Além disso, segundo o mesmo autor, o setor de colheita de madeira apresenta uma grande variedade de máquinas e equipamentos disponíveis com múltiplos propósitos nas diversas atividades que o compõem, sendo as principais:

a) *Harvester*

O colhedor florestal *harvester* pode executar, simultaneamente, as operações de derrubada, desgalhamento, traçamento, descascamento e pré-extração por meio do enleiramento ou empilhamento da madeira. O *harvester* é composto por uma máquina base de pneus ou esteira, uma grua e um cabeçote. No caso de *one grip harvester*, o cabeçote derruba, desgalha e traça, e, em se tratando de *two grip harvester*, o cabeçote somente derruba, sendo o desgalhamento e o traçamento feitos em implementos localizados sobre o eixo traseiro da máquina-base (MALINOVSKI; MALINOVSKI, 1998).

Atualmente as principais marcas que concorrem no mercado de *harvesters* no Brasil são: Komatsu Forest, John Deere, Tigercat e Caterpillar. O *harvester* dependendo da atividade que se destina pode possuir configurações de material rodante com esteira ou pneus, sendo que na configuração de pneu podemos ter a existência de máquinas nos seguintes tipos de trações 4x4, 6x6 ou 8x8. A potência nominal pode variar de 157 a 300 hp, com um peso operacional entre 24,0 a 35,6 t. O cabeçote *harvester* vem ainda com um sistema informatizado de mensuração e sistema para corte programado de sortimentos. Pode ainda vir com configurada para descascar ou não madeira com mais ou menos “facas” para esse fim (MACHADO *et al.*, 2008).

b) *Feller buncher*

O *feller buncher* é um trator florestal derrubador-acumulador, podendo ser de pneus ou esteira com cabeçote que realiza a derrubada e o empilhamento de árvores com garra invertida. Os implementos de corte podem ser três: sabre, tesoura e disco.

No mercado atual de máquinas temos várias versões e denominações de *Feller*. Quanto ao rodado pode ser de pneus ou esteira, sendo mais comum este último devido à necessidade de maior estabilidade na operação de derrubada. O trator *feller buncher* é caracterizado por efetuar a derrubada de árvores e, também, acumular e tombar (bascular) mais de uma árvore em cada ciclo operacional.

c) *Skidder*

O *skidder* é um trator florestal articulado que realiza o arraste das árvores do interior até a margem do talhão ou pátio intermediário, podendo o material rodante ser de pneus, semiesteiras ou esteiras. O conjunto de tração do trator pode ser de 4x4 ou 6x6. Alguns modelos são adaptados com uma garra telescópica invertida sobre o rodado traseiro, acionada pelo sistema hidráulico, ou sistema de cabos de aço para o arraste de árvores inteiras ou fustes. Na parte frontal apresenta uma lâmina que auxilia no nivelamento de pilhas toras e na limpeza de vias de acesso. A potência do trator varia de 134 a 230 hp e o peso operacional entre 10 e 16 t.

d) Forwarder

O *forwarder* é um trator florestal autocarregável articulado que realiza a extração da madeira do interior do talhão na forma de “baldeio” até a margem ou pátio intermediário. Pode ser equipado com rodados de pneus em eixos *tandem* ou esteiras com tração 4x4, 6x6 ou 8x8, possuindo chassi articulado, que possibilita a diminuição do raio de giro nas manobras dentro do talhão. A máquina também equipada com uma plataforma de carga e uma grua hidráulica para realizar o carregamento da madeira processada para o baldeio, sendo a capacidade de abertura da grua variável de 0,35 a 1,00 m², alcance de 6,85 a 7,8 m e capacidade de carga de 10 a 19 t. A potência do trator varia de 134 a 204 hp.

e) Demais máquinas e inovações tecnológicas

Além das máquinas supracitadas anteriormente, existem diversas outras máquinas e tecnologias desenvolvidas visando novas alternativas de produção, incremento da produtividade, ainda melhores condições de trabalho, redução da mão de obra e aumento da competitividade (MACHADO *et al.*, 2008; LIMA e LEITE, 2008).

O *slingshot* é um trator florestal que reúne as características do *feller buncher* e do *harvester*, sendo capaz de derrubar e processar várias árvores ao mesmo tempo (MACHADO *et al.*, 2008). Em geral, o *slingshot* tem o emprego em povoamentos de baixa produtividade e/ou em sistema de manejo florestal de talhadia (LIMA e LEITE, 2008).

O *feller-skidder* é um trator florestal que reúne as características do *feller buncher* e do *skidder*, uma vez que é capaz de derrubar e acumular várias árvores juntas e, posteriormente, arrastar o feixe de árvores até a margem do talhão com uma grua hidráulica sobre a estrutura traseiro do próprio trator (LIMA e LEITE, 2008).

O *harvester-forwarder* ou *harwarder* é um trator florestal que foi desenvolvido com o intuito de otimizar as operações de colheita no sistema de toras curtas, pois pode realizar a operação de derrubada e processamento individual de árvores e, posteriormente, extrair a toras em forma de “baldeio” sobre uma estrutura móvel montada em outro eixo (HÄSELER, 2008; ROBERT, 2013). Esse equipamento vem sendo testado, principalmente, em operações de desbaste e também solos com baixa capacidade de suporte, uma vez que a intensidade de tráfego é reduzida (HÄSELER, 2008).

O *Dual Harwarder* é um trator florestal proveniente das últimas inovações tecnológicas. Esse trator trata-se de um equipamento que, em pouco minutos, uma única máquina pode ser configurada para trabalhar como *harvester* ou *forwarder*, sendo indicado para ocasiões onde se deseja maiores cuidados aos tratos silviculturais no desbaste, visando menores danos às árvores remanescentes e ao solo (ROBERT, 2013).

Outra inovação tecnológica é o trator florestal *walk machine*, que apresenta-se com um *harvester* capaz de se adaptar automaticamente à condição de relevo da floresta por meio da mobilidade com uso de suas seis “patas” articuladas. Objetivou-se desenvolver este equipamento, principalmente, visando a melhor estabilidade possível de funcionamento e com o mínimo de impacto sobre o solo (MACHADO *et al.*, 2008).

Ainda, dentre as diversas inovações no setor, destaca-se que vem sendo testados equipamentos controlados remotamente para realizar as operações de colheita. No caso da atividade de corte, um exemplo é o *Gremio AB harvester besten*, que é uma máquina composta por um chassi com tração nos seis rodados que são recobertos com semiesteiras, equipado com um cabeçote processador, sem cabine e sem operador (SEIXAS, 2010). Para a atividade de extração, tem-se como exemplo o *Konrad Pully*, que é uma máquina que pode ter configurações de quatro, seis ou oito rodados, havendo modelos adaptados para a extração por “arraste” ou por “baldeio”, sendo uma possível alternativa para operações de colheita de madeira em condições de declividades acentuadas onde máquinas convencionais não tem acesso (COLHEITA DE MADEIRA, 2013).

3.2.3. Sistemas de colheita de madeira

Atualmente existem vários sistemas de colheita de madeira, que variam conforme as condições do relevo, tipo e rendimento volumétrico dos povoamentos, uso final da madeira, regime de manejo utilizado, sortimento da madeira, máquinas e equipamentos, e recursos financeiros disponíveis.

Para Machado *et al.* (2008), sistema de colheita de madeira é definido como um conjunto de atividades integradas, que tem como objetivo comum o fornecimento constante e regular de madeira para a indústria.

No Brasil, os principais sistemas de colheita de madeira utilizados pela maioria das empresas florestais podem ser agrupados em três grandes grupos: a) sistemas de toras curtas

(*cut-to-length*); b) sistemas de toras longas ou fuste (*Tree-length*) e; c) sistema de árvores inteiras (*full-tree*) (SEIXAS, 2008).

Segundo a FAO (1978) e Malinovski e Malinovski (1998), os sistemas de colheita podem ser classificados quanto ao comprimento das toras e à forma como são extraídas até o local de processamento. Machado e Castro (1985), Malinovski e Malinovski (1998), Machado *et al.* (2008) e Malinovski *et al.* (2008) propuseram a seguinte classificação de sistemas de colheita da madeira:

a) Toras curtas (*cut-to-length*)

Neste sistema, todas as operações do corte (derrubada, desgalhamento, destopamento, descarregamento e pré-extração) são realizadas no interior do talhão, sendo em seguida, a madeira extraída para a margem da estrada ou pátio intermediário, em forma de toras com comprimento de até seis metros (MACHADO *et al.*, 2008). Este sistema, quando mecanizado, é composto, basicamente, por duas máquinas: *harvester* e *forwarder*, onde a primeira realiza o corte e processamento das árvores e a segunda, realiza a extração da madeira na forma de baldeio para a margem do talhão ou pátio intermediário.

O sistema de toras curtas possui vantagem devido a um menor impacto ambiental, em termos de exportação de nutrientes e compactação do solo (MALINOVSKI *et al.*, 2008). Também deve-se destacar que esse sistema é muito utilizado quando o volume médio das árvores é inferior a $0,5 \text{ m}^3$, pois o manuseio das toras é facilitado, além de sua maior eficiência nas operações de desbaste. Entretanto, possui algumas desvantagens em relação à dificuldade de realização das operações em terrenos com declividades mais acentuadas, e também quanto ao aproveitamento da biomassa residual da colheita como fonte energética e maiores custos operacionais em função do maior manuseio da madeira (MACHADO, 1989).

b) Toras longas ou fuste (*Tree-length*)

Neste sistema, a árvore é derrubada e semiprocessada (desgalhada e destopada) no interior do talhão, sendo em seguida, o fuste arrastado para a margem do talhão, carreador ou pátio intermediário, onde então é realizado o processamento final por meio do traçamento e empilhamento da madeira.

As maiores vantagens deste sistema é a permanência de nutrientes na área florestal, o melhor desempenho das máquinas em condições topográficas desfavoráveis, maior eficiência quando o volume médio das árvores é maior que 0,5 m³ e maior produtividade comparada ao sistema de toras curtas. Porém, as maiores limitações são a necessidade de um planejamento mais criterioso das operações, evitando pontos de estrangulamento e dificuldade no aproveitamento da biomassa residual da colheita (MACHADO, 1989).

c) Árvores inteiras (*full-tree*)

Neste sistema, a árvore é apenas derrubada no interior do talhão, sendo em seguida, extraída para a margem do talhão, carreador ou pátio intermediário, onde é realizado o processamento completo da madeira (desgalhamento, destopamento, traçamento e empilhamento). O sistema, quando mecanizado, geralmente, é composto, basicamente, pelas máquinas: *feller buncher*, *skidder* e processador Florestal, onde a primeira realiza a derrubada das árvores, a segunda a extração das árvores na forma de arraste e a última o processamento final da madeira.

As principais vantagens deste sistema é a possibilidade de deixar a área livre de resíduos, diminuindo os riscos de incêndios, facilitando o preparo do solo; o aproveitamento da biomassa residual como fonte energética, considerando que o material vegetal fica agrupado na margem do talhão; a facilidade de execução em condições topográficas desfavoráveis; e a maior produtividade em comparação aos sistemas anteriormente citados (MACHADO, 1989).

No entanto, esse sistema de colheita exige um eficiente planejamento das operações, podendo causar maiores danos ao ambiente, principalmente em termos de compactação do solo, ocasionados pelo arraste das árvores diretamente sobre o terreno e o emprego de máquinas de grande porte, além de riscos maiores de erosão e exportação de nutrientes (MALINOVSKI *et al.*, 2008).

3.3. Análise de sistemas de colheita de madeira

A seleção de máquinas e equipamentos, o desenvolvimento e a análise de sistemas de colheita de madeira constituem um grande desafio para o aumento de produtividade, redução dos custos e execução das operações de forma ambientalmente correta. Segundo Machado

(1994), os princípios básicos da análise de sistemas são comparar máquinas e métodos convencionais e desenvolver novos métodos, máquinas e equipamentos para a colheita de madeira. Entretanto, essa análise depende de certas condições, como dados do terreno, distância de extração, custos operacionais, espécie florestal, dimensões das árvores, época do ano, mão de obra, condições climáticas, recursos físicos e financeiros.

Uma das técnicas utilizadas no planejamento e na otimização das atividades de colheita de madeira é o estudo de tempos e movimentos (MOREIRA, 2000), que tem o objetivo básico de determinar o tempo necessário para a realização de uma atividade definida, estabelecida por método racional e executada em cadência normal por uma pessoa qualificada e habituada a determinada técnica (BARNES, 1977).

O estudo de tempos e movimentos é uma técnica muito importante na seleção, análise e desenvolvimento de sistemas de colheita de madeira, permitindo ao gestor da operação conhecer as produtividades, eficiências reais das diferentes máquinas, bem como os fatores que estão contribuindo para as interrupções do trabalho (ANDRADE, 1998).

3.4. Variáveis de influência na colheita de madeira

A utilização de sistemas mecanizados na colheita de madeira é afetada por diversas variáveis que interferem na capacidade operacional das máquinas, e conseqüentemente, no custo final da madeira. No Brasil, ainda existem poucos dados sobre a influência dessas variáveis e da capacidade produtiva esperada das máquinas em determinadas condições de trabalho.

Bramucci e Seixas (2002) mencionam que as estimativas de produtividade e de custo baseada em dados fornecidos pelos fabricantes ou obtidas em trabalhos realizados em outros países mostram-se bastante frágeis, pois os dados refletem condições diversas, mostrando a necessidade da realização de estudos específicos em condições específicas.

Segundo Seixas (1998), a capacidade produtiva das máquinas é fortemente influenciada por um grande número de fatores que influenciam a colheita de madeira dentre os quais cita-se: condições climáticas, capacidade de suporte do solo, relevo, características do povoamento (espécie, idade, diâmetro, volume individual, tamanho dos galhos e copa, peso e qualidade da madeira). Burla (2008) cita ainda outros fatores como a habilidade do operador, o espaçamento de plantio e a distância de extração.

Outro fator que influencia significativamente a produtividade das máquinas de colheita de madeira é o diâmetro médio das árvores. Holtzschler e Lanford (1997), estudando o efeito do diâmetro à altura do peito (DAP) sobre a produtividade e o custo da colheita mecanizada, encontraram alta correlação do DAP com a produtividade e o custo, sendo que, à medida que crescia o diâmetro médio das árvores, aumentava a produtividade das máquinas nos sistemas de colheita e, conseqüentemente, reduziam-se os custos operacionais. Já Bramucci e Seixas (2002) identificaram um aumento da produtividade das máquinas em função do aumento do DAP até aproximadamente 24 cm, notando-se uma forte tendência de queda a partir desse valor.

O volume individual das árvores é outra variável de influência relacionada às variações nas produtividades obtidas pelos *harvesters* (BRAMUCCI e SEIXAS, 2002). Para Akay *et al.* (2004), a produtividade está muito relacionada ao tamanho da árvore, sendo que conforme aumenta o volume da árvore, aumenta-se a produtividade, porém, desde que o tempo de processamento seja o mesmo. Isso foi comprovado por Moreira (2000) que analisou diversos sistemas de colheita de madeira e verificou uma tendência de aumento na produtividade das máquinas com o aumento do volume médio das árvores.

Segundo Duratex (1999), de um modo geral, a produtividade do corte mecanizado é muito influenciada pelo volume individual da árvore, de modo que o rendimento da colheita acompanha proporcionalmente o volume de madeira por árvore, enquanto que o custo por unidade de volume segue uma tendência inversa.

Construindo um modelo matemático para simulação de colheita de madeira com *harvester*, Eliasson (1999) observou que a capacidade produtiva em volume de madeira por hora cresceu proporcionalmente com o aumento do volume individual das árvores derrubadas. Já Santos e Machado (1995), estudando os processadores mecânicos nas operações de desgalhamento e traçamento de eucalipto, observaram que a capacidade produtiva das máquinas cresceram à medida que aumentou o volume por árvore até atingir um ponto máximo, com volume de 0,34 m³ e decrescendo a partir desse valor.

Stampfer *et al.* (1999) citado por Burla (2008) estudando a influência do volume individual da árvore e da inclinação do terreno sobre a produtividade de um *harvester* de esteiras, concluiu que a produtividade diminuiu com o aumento da inclinação do terreno. Já Akay *et al.* (2004) diz que em condições de maior declive, o *harvester* pode aumentar o tempo de processamento por árvore, por conseguinte diminuir a sua produtividade.

Por outro lado, Santos e Machado (1995) avaliaram o “baldeio” realizado por um *forwarder* e concluíram que o tempo de carregamento foi a única atividade afetada pelo aumento no volume por árvore, com conseqüente aumento da produtividade. Uma equação de regressão foi desenvolvida para estimar a produtividade desta máquina a partir das variáveis “distância média de extração” (DME) e “volume por árvore”, com coeficiente de determinação (R^2) de 94%. Já Richardson e Makkonen (1994) afirmaram que as variáveis de influência na produtividade do *forwarder* foram a distância de extração, a experiência do operador, a capacidade da grua, o volume das toras e o tamanho das pilhas.

No caso do sistema de árvores inteiras, o volume de madeira por hectare foi a principal variável de influência na operação de corte das árvores com o *feller buncher*, apresentando ainda melhor desempenho em talhões de maior densidade de árvores (VALVERDE, 1995). O mesmo autor verificou ainda que, quanto menor o volume de madeira por hectare, maior foi o tempo consumido pela máquina na execução do corte, afetando negativamente a produtividade e gerando maior custo de produção.

Freitas (2005) observou que, os fatores que mais afetaram a produtividade do *skidder* foram o volume de madeira por hectare e a distância de arraste, sendo que as maiores produtividades e os menores custos ocorreram nas menores distâncias de extração. Já Birro (2002) verificou que, a produtividade foi mais afetada pela distância de arraste do que pela declividade, além de constatar que, a velocidade de deslocamento da máquina não foi afetada pelo aumento da declividade.

3.5. Estudo de tempos e movimentos

O estudo de tempos e movimento é o estudo sistemático dos sistemas de trabalho com os objetivos de desenvolver o sistema e o método preferido, usualmente aquele de menor custo, padronizar esse sistema e método, determinar o tempo gasto por uma pessoa qualificada e devidamente treinada, trabalhando num ritmo normal, para executar uma tarefa ou operação específica; e orientar o treinamento do trabalhador no método preferido (BARNES, 1977).

Por isso o estudo de tempos e movimentos é uma técnica muito importante no desenvolvimento e análise operacional de sistemas de colheita de madeira, pois o tempo consumido por cada um dos elementos do ciclo permite a organização do trabalho, com o objetivo de otimizar o sistema operacional com o mínimo de tempos improdutivo; deduzir a

produtividade e o custo por unidade produzida em relação a fatores relevantes (SEIXAS *et al.*, 2004).

Na realização do estudo de tempos e movimentos devem ser considerados os equipamentos e o desenvolvimento de processos adequados para cada caso específico. Também devem ser consideradas a avaliação do ritmo, a determinação das tolerâncias e do tempo padrão para a execução das tarefas e, a diferença entre a operação manual e a mecanizada. A avaliação preliminar da utilização de tempos, tais como tempos pré-determinados e, tempos padrão a partir de tempos elementares são fundamentais para que possam ser identificados os sistemas e determinadas as matrizes, ferramentas e fórmulas a serem utilizadas (BARNES, 1977).

O método do estudo de tempo pode ser subdividido em análise e síntese. A análise é a pesquisa do decurso do trabalho na sua situação atual, ou seja, como ele acontece na prática, ocorrendo intervenções na estruturação do sistema de trabalho. Por outro lado, a síntese compreende a elaboração de um processo a ser atingido em situação futura, ou seja, é a pesquisa do decurso do trabalho previamente estruturada com a finalidade de, por exemplo, aumentar os rendimentos, melhorar as condições de trabalho, aperfeiçoar o aproveitamento das capacidades de trabalho da mão de obra ou máquinas.

Normalmente, são necessárias várias repetições de análise e síntese, utilizando as informações obtidas na pesquisa anterior, até encontrar, sob condições normais de trabalho, o decurso ótimo (FENNER, 2002).

Existem basicamente três métodos de cronometragem para a realização do estudo de tempos e movimentos, conforme Barnes (1977):

a) Método de tempo contínuo

Neste método, a medição do tempo ocorre sem a detenção do cronômetro, sendo a leitura realizada no ponto de medição e a anotação do tempo conforme indicado no cronômetro. O tempo do elemento é obtido posteriormente por subtração, sendo indicado quando existe a necessidade de identificação do elemento de determinado ciclo.

b) Método de tempo individual

O cronômetro é detido em cada ponto de medição, sendo que após cada medição, os ponteiros voltam imediatamente para a posição zero.

Neste método não é necessário fazer subtrações e o tempo do elemento é obtido diretamente, diminuindo a incidência de erros de transcrição ou de análise, porém, exige maior concentração do utilizador do método, sendo maior a onerosidade na coleta de dados.

c) Método multimomento

Neste método de cronometragem, o cronômetro gira continuamente, não sendo medidos os tempos dos elementos do ciclo de trabalho, mas a frequência que eles ocorrem, em intervalos de tempo previamente fixados. Não é recomendado quando alguns elementos correspondem a uma pequena fração do tempo, incitando em maior erro na transcrição da frequência dos elementos.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Caracterização da área de estudo

A pesquisa foi desenvolvida em povoamentos da empresa Klabin S.A., localizados no município de Telêmaco Borba, região dos Campos Gerais, Estado do Paraná, entre os paralelos de latitude 24°19'26'' Sul e longitude 50°36'57'' Oeste, com uma altitude média de 750 m (Figura 1).

O clima da região, segundo a classificação de KÖPPEN é definido como uma transição entre Cfa e Cfb, subtropical úmido, com calor moderado, verões quentes e úmidos e inverno frio, sendo a temperatura média do mês mais frio de 16,3 °C e a temperatura média do mês mais quente de 23,2 °C, com chuvas regulares e precipitação média anual entre 1478 a 1700 mm (TREWARTHA e HORN, 1980; BARBOSA *et al.*, 2007).

Em relação à geologia, o material de origem da região é predominantemente resultante do intemperismo e retrabalhamento de litologias referentes às formações Rio Bonito, Itataré e Diques de Diabásio (EMBRAPA/IAPAR, 1984). O solo que predomina nas áreas de estudo, de acordo com informações da empresa, é o Latossolo Vermelho-Escuro de textura argilosa.

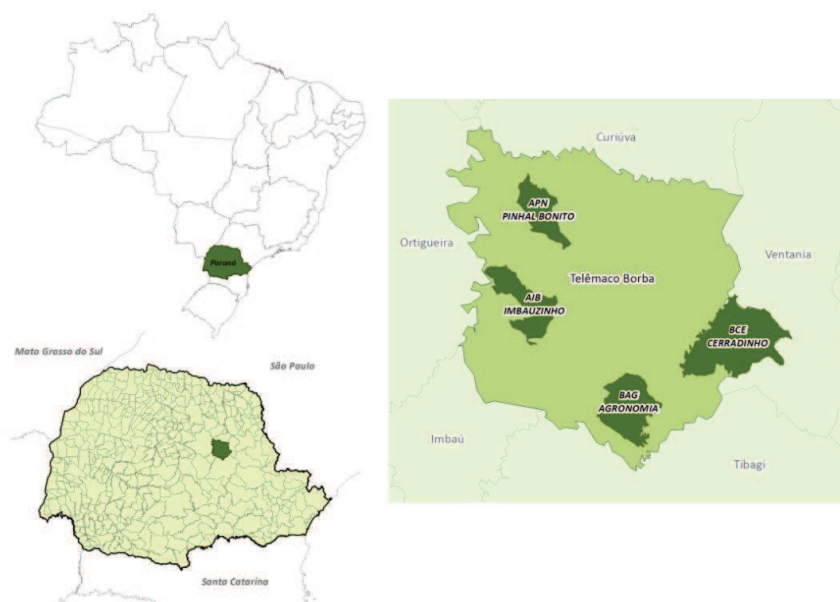


Figura 1. Mapa de localização da área de estudo.

4.2. Características operacionais da área de estudo.

O regime de manejo adotado pela empresa foi o corte raso, sem desbastes em períodos anteriores, cuja madeira era utilizada para fins de produção de papel e celulose. Os operadores que participaram do estudo nos dois sistemas de colheita tinham o mesmo nível de experiência em operação de máquinas de colheita de madeira.

O relevo foi considerado constante, sendo o estudo realizado em áreas com relevo plano e suave ondulado, com declividade média de 6%. A distância de extração percorrida pelas máquinas de extração em ambos os sistemas de colheita foi estratificada em cinco níveis: $d \leq 50$ m; $50 < d \leq 100$ m; $100 < d \leq 150$ m; $150 < d \leq 200$ m e; $d > 200$ m. A área média dos talhões trabalhados na empresa era de 7 hectares.

Os dados referentes às características dendrométricas do povoamento florestal da área de estudo estão discriminados na Tabela 1.

Tabela 1. Características do povoamento florestal.

Espécie	<i>Eucalyptus grandis</i> Hill ex. Maiden
Idade de corte (anos)	7
Espaçamento (m)	2,5 x 2,5
Área basal ($\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$)	$38,0 \pm 3,34$
DAP médio (cm)	$19,2 \pm 1,94$
Altura média (m)	$27,6 \pm 2,20$
Volume médio individual (m^3)	$0,36 \pm 0,04$
Volume médio ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$)	$430 \pm 59,40$

±: desvio padrão.






4.3. Sistemas de colheita de madeira avaliados

Foram estudados os sistemas de colheita de toras longas (*Tree-length*) e árvores inteiras (*full-tree*). O sistema de toras longas foi composto por um *harvester* que realizava a derrubada das árvores em eitos de cinco linhas e o seu processamento em toras com 7,2 m de comprimento. Em seguida, o *forwarder* realizava a extração da madeira em forma de “baldeio” somente de um lado do eito, do interior para a margem do talhão.

O sistema de árvores inteiras foi composto por um *feller buncher*, que realizava a derrubada das árvores em eitos de quatro linhas e o posterior empilhamento das árvores em feixes. Em seguida, o *skidder* realizava o arraste das árvores do interior até a margem do talhão, e por fim, *harvester* realizava o processamento (desgalhamento, traçamento e empilhamento) final da madeira em toras de 7,2 m de comprimento.

As características das máquinas e implementos estudados estão descritos na Tabela 2.

Tabela 2. Características das máquinas e implementos dos sistemas de colheita de madeira avaliados.

Sistema de colheita de toras longas		
Atividade	Máquina	Especificações e características
Derrubada e processamento	<p><i>Harvester</i> (Horímetro: 3.400 h)</p> 	<p>Máquina-base: Marca <i>Caterpillar</i>, modelo 320D FM, motor <i>Caterpillar</i> C6.4 ACERT (diesel), potência nominal de 157 hp / 117 kW, peso operacional de 26,9 t (sem cabeçote), material rodante de esteiras reforçadas com dimensões de 0,70 m de largura por 4,56 m de comprimento e distância entre rodados de 1,90 m.</p> <p>Implemento: Cabeçote marca <i>Log Max</i>, modelo 7000C, peso operacional de 1,62 t, diâmetro máximo de corte de 750 mm, equipado com quatro facas de desgalhamento.</p>
Baldeio	<p><i>Forwarder</i> (Horímetro: 17.200 h)</p> 	<p>Marca <i>Valmet</i>, modelo 890.3, motor <i>Valmet</i> 74 CTA (diesel), potência nominal de 204 hp / 150 kW, peso operacional de 19,1 t, rodados de pneus (dianteiros de 700/70x34 e traseiros de 650/65x26,5), tração 8 x 8, distância entre rodados de 1,70 m, compartimento de carga com capacidade bruta de 18,0 t, área de 5,6 a 6,0 m², grua com alcance máximo de 7,50 m de distância horizontal e 8,5 m de altura.</p>
Sistema de colheita de árvores inteiras		
Atividade	Máquina	Especificações e características
Derrubada e empilhamento	<p><i>Feller buncher</i> (Horímetro: 16.700 h)</p> 	<p>Máquina-base: Marca <i>Tigercat</i>, modelo L870 C, motor <i>Cummin</i> QSL9 Tier III (diesel), potência nominal de 300 hp / 224 kW, peso operacional de 35,6 t (sem cabeçote), material rodante de esteiras com nivelamento com dimensões de 0,60 m de largura por 4,58 m de comprimento.</p> <p>Implemento: Cabeçote marca <i>Tigercat</i>, modelo ST 5702, peso operacional de 2,625 t, diâmetro máximo de corte de 585 mm, área útil de corte de 0,5 m², capacidade de carga 3,2 t, diâmetro do disco de 1,45 m, velocidade do disco de 1150 rpm e 18 dentes de corte.</p>
Arraste	<p><i>Skidder</i> (Horímetro: 19.900 h)</p> 	<p>Marca <i>Tigercat</i>, modelo 635C, motor <i>Cummins</i> QSC8.3 Tier III (diesel), potência nominal de 250 hp / 180 kW, peso operacional de 22,7 t, rodados de pneus (dianteiros de 30,5x32 e traseiros de 28Lx26) recobertos com semiesteiras da marca <i>Eco Wheel Track</i>, tração 6 x 6 e garra com área útil de 1,95 m².</p>
Processamento	<p><i>Harvester</i> (Horímetro: 10.600 h)</p> 	<p>Máquina-base: Marca <i>John Deere</i>, modelo 903J, motor <i>John Deere</i> 6081H, Tier II (diesel), potência nominal de 294 hp / 219 kW, peso operacional de 31,2 t (sem cabeçote), material rodante de esteiras com dimensões de 0,60 m de largura por 4,69 m de comprimento e distância entre rodados de 1,95 m.</p> <p>Implemento: Cabeçote marca <i>Waratah</i>, modelo HTH622B, peso operacional de 2,12 t, diâmetro máximo de corte de 750 mm, com quatro facas de desgalhamento</p>

4.4. Procedimento amostral

A horizonte de amostragem foi determinada utilizando-se a metodologia proposta por Barnes (1977), por meio da realização de um estudo piloto. Após o estudo piloto, foi calculado o número mínimo de observações do ciclo operacional das máquinas componentes de cada sistema de colheita, de forma a proporcionar um erro de amostragem máximo de 5%, por meio da expressão 1:

$$n \geq \frac{t^2 + CV^2}{E^2} \quad (1)$$

em que: n = número mínimo de ciclos necessários; t = valor de t, para o nível de probabilidade desejado e (n-1) graus de liberdade; CV = coeficiente de variação, em porcentagem e; E = erro admissível, em porcentagem.

Em seguida, em função do número de observações necessárias e levando em consideração as faixas de trabalho das máquinas de corte utilizadas pela empresa definiu-se o número mínimo de ciclos estudados em cada máquina dentro dos sistemas de colheita de madeira avaliados. Os dados foram coletados no período de janeiro a abril de 2012.

4.5. Análise operacional

A análise operacional foi realizada a partir de um estudo de tempos e movimentos, determinando-se a disponibilidade mecânica, a disponibilidade técnica, a eficiência operacional, a produtividade, o consumo específico de combustível e o rendimento energético das máquinas componentes dos sistemas de colheita de madeira.

Para a realização do estudo de tempos e movimentos, as operações das máquinas em ambos os sistemas de colheita foram subdivididas em fases do ciclo operacional. Foi utilizado o método de cronometragem de tempo contínuo, com uso de um cronômetro digital centesimal e formulários específicos para registro dos dados. De posse dos resultados, determinaram-se ainda os tempos consumidos em cada fase da operação, as interrupções operacionais com suas respectivas causas.

Nas Tabelas 3 e 4 são apresentadas a descrição das operações parciais das máquinas componentes dos sistemas de colheita de madeira de toras longas e árvores inteiras, respectivamente.

Tabela 3. Atividades das máquinas componentes do sistema de toras longas.

Máquina	Fases do ciclo	Descrição
<i>Harvester</i>	Derrubada	Tempo consumido pela máquina na derrubada e tombamento da árvore.
	Processamento	Tempo consumido pela máquina no processamento da árvore.
	Deslocamento	Tempo consumido pela máquina no deslocamento até a árvore a ser cortada.
	Interrupções	Tempo referente às paradas da máquina por motivos diversos.
<i>Forwarder</i>	Viagem vazio	Tempo consumido pela máquina no deslocamento da estrada até o interior do talhão, próximo a pilha de madeira.
	Carregamento	Tempo consumido pela máquina no carregamento das toras no interior do talhão.
	Viagem carregado	Tempo consumido pela máquina no deslocamento do interior até a margem do talhão.
	Descarregamento	Tempo consumido pela máquina no descarregamento das toras na margem do talhão.
	Interrupções	Tempo referente às paradas da máquina por motivos diversos.

Tabela 4. Atividades das máquinas componentes do sistema de árvores inteiras.

Máquina	Fases do ciclo	Descrição
<i>Feller buncher</i>	Derrubada e empilhamento	Tempo consumido pela máquina na derrubada e empilhamento da árvore.
	Deslocamento	Tempo consumido pela máquina no deslocamento até a árvore a ser cortada.
	Interrupções	Tempo referente às paradas da máquina por motivos diversos.
<i>Skidder</i>	Viagem vazio	Tempo consumido pela máquina no deslocamento da margem até o interior do talhão, próximo ao feixe de árvores.
	Manobra e carregamento	Tempo consumido pela máquina na manobra e carregamento dos feixes de árvores.
	Viagem carregado	Tempo consumido pela máquina no arraste das árvores do interior até a margem do talhão.
	Descarregamento e manobra	Tempo consumido pela máquina no descarregamento dos feixes de árvores.
	Interrupções	Tempo referente às paradas da máquina por motivos diversos.
Processador Florestal <i>Harvester</i>	Processamento	Tempo consumido pela máquina no processamento das árvores.
	Deslocamento	Tempo consumido pela máquina no deslocamento durante o processamento.
	Interrupções	Tempo referente às paradas da máquina por motivos diversos.

a) Disponibilidade mecânica

A disponibilidade mecânica é definida como sendo a percentagem do tempo de serviço programado em que a máquina está mecanicamente apta a realizar trabalho produtivo, desconsiderando-se o tempo em que a máquina está em manutenção preventiva e/ou corretiva (BIRRO *et al.*, 2002; CANTO, 2003). O cálculo foi obtido pela expressão 2:

$$DM = \frac{TP - TM}{TP} \times 100 \quad (2)$$

Em que, DM = grau de disponibilidade mecânica (%); TP = tempo programado para o trabalho (horas) e; TM = tempo de permanência em manutenção (horas).

b) Disponibilidade técnica

A disponibilidade técnica é definida como sendo a percentagem do tempo de serviço programado em que a máquina está tecnicamente apta a realizar trabalho produtivo, desconsiderando-se o tempo em que a máquina está em paradas técnicas. O cálculo foi obtido pela expressão 3:

$$DT = \frac{TP - TT}{TP} \times 100 \quad (3)$$

Em que, DM = grau de disponibilidade técnica (%); TP = tempo programado para o trabalho (horas) e; TM = tempo em paradas técnicas (horas).

c) Eficiência operacional

A eficiência operacional é a percentagem do tempo efetivamente trabalhado em relação ao tempo total programado para o trabalho (BIRRO, 2002), sendo determinada pela expressão 4:

$$EO = \frac{TE}{(TE + TI)} \times 100 \quad (4)$$

em que: EO = eficiência operacional (%); TE = tempo de trabalho efetivo (hora) e; TI = tempo de interrupções operacionais e não-operacionais (hora).

d) Produtividade

A determinação da produtividade de cada máquina componente dos sistemas de colheita da madeira foi obtida por meio do volume médio individual das árvores, fornecido

pelo inventário da empresa, sendo o seu valor multiplicado pelo número total de árvores cortadas, extraídas e processadas, obtendo-se assim, o volume total, que posteriormente foi dividido pelas horas efetivamente trabalhadas, conforme a expressão 5, sugerida por Minette *et al.* (2004):

$$Pr = \frac{N \times V}{he} \quad (5)$$

em que: Pr = produtividade (m³cc he⁻¹); N = número total de árvores derrubadas, extraídas ou processadas; V = volume médio por árvore com casca (m³cc) e; he = horas efetivas de trabalho.

e) Consumo específico de combustível

O consumo específico de combustível expressa o consumo de combustível por unidade de potência nominal do trator, tendo sido calculado para cada máquina de ambos sistemas de colheita, conforme expressão 6:

$$CE = \frac{D \times C}{Pt} \quad (6)$$

em que: CE = consumo específico de combustível (g kW⁻¹ he⁻¹); D = densidade do combustível (g L⁻¹), sendo considerado 0,85 g L⁻¹ para diesel, conforme Agarwal (2007); C = consumo de combustível por hora efetiva (L he⁻¹) e; Pt = potência nominal do trator (kW).

f) Rendimento energético

O rendimento energético foi obtido pela razão entre consumo específico de combustível e produtividade de cada máquina em ambos os sistemas, conforme expressão 7:

$$RE = \frac{CE}{Pr} \quad (7)$$

em que: RE = rendimento energético (g kW⁻¹ m⁻³cc); CE = consumo específico de combustível (g kW⁻¹ he⁻¹) e; Pr = produtividade (m³cc he⁻¹).

4.6. Análise de custos

A avaliação dos custos foi baseada na diferença do custo operacional das máquinas e do custo de produção, em ambos os sistemas de colheita de madeira.

4.6.1. Custos operacionais

O cálculo dos custos operacionais das máquinas foi realizado por meio do método contábil, com uso de valores estimados e reais. Os custos fixos (depreciação, juros e seguros) foram estimados pela metodologia proposta pela FAO/ECE/KWF segundo Machado e Malinovski (1998) e por meio de informações obtidas no mercado. Para os custos variáveis (combustíveis, lubrificantes e graxas, óleo hidráulico, pneus, manutenção e reparos) e de pessoal (salário, encargos sociais e transporte) foram utilizados os dados fornecidos pela empresa e dados obtidos em campo.

a) Custos fixos

Foram considerados custos fixos aqueles que não variam com as horas de operação, isto é, não sofrem alterações devido ao uso da máquina. São os custos que ocorrem, independentemente se a máquina estiver ou não em operação. Os custos fixos foram compostos pelos custos de depreciação, custo de pessoal operacional, juros e seguros.

Depreciação

A depreciação foi considerada como o meio de se recuperar o investimento original em uma máquina, na medida em que ocorre o seu envelhecimento ou obsolescência. A inclusão deste valor no custo operacional representa a continuação de um capital de reserva para a aquisição de uma nova máquina.

Foi utilizado o método de cálculo da depreciação linear, em que o valor depreciável é obtido ao se subtrair do valor de aquisição da máquina mais implemento pelo seu valor residual, então, posteriormente, divide-se o valor depreciável pela vida útil estimada e horas efetivas de uso anuais, conforme as expressões 8 e 9:

$$DP = \frac{Va - Vr}{N \times He} \quad (8)$$

em que: DP = depreciação linear da máquina (R\$ he⁻¹); Va = valor de aquisição da máquina + implemento (R\$); Vr = valor residual ou de revenda da máquina + implemento (R\$); N = vida útil estimada (anos) e; He = horas efetivas de uso anual (horas). Para efeito de cálculo, considerou-se Vr = 20 % de Va.

$$HE = \frac{Nd \times d \times Nt (100 - TD)}{100} \quad (9)$$

em que: He = horas efetivas de trabalho por ano (horas); Nd = número de dias trabalhados por ano; d = duração do turno de trabalho (horas); Nt = número de turnos de trabalho por dia e; TD = demoras e dias improdutivos (%).

Juros e seguros

Os juros foram calculados pela aplicação de uma taxa de juros ao investimento médio anual (IMA), que corresponde ao custo de oportunidade que seria aplicado ao capital.

O seguro foi considerado como o custo que os proprietários incorrem devido ao uso ou posse de sua máquina, bem como em razão dos constantes prejuízos a que elas estão expostas durante o trabalho. Foi considerado uma taxa real de juros de 8% a.a e uma taxa de seguros de 2% a.a., totalizando 10% a.a.

O cálculo dos juros e seguros foi feito pelas expressões 10 e 11:

$$JS = \frac{IMAx i}{He} \quad (10)$$

em que: JS = custos de juros e seguros (R\$ he⁻¹); IMA = investimento médio anual (R\$); i = taxa de juros e seguros (%); He = horas efetivas de trabalho anual (horas).

$$IMA = \frac{(Va - Vr) \times (N + 1)}{2 \times N} + Vr \quad (11)$$

em que: IMA = investimento médio anual (R\$); Va = valor de aquisição da máquina + implemento (R\$); Vr = valor residual ou de revenda da máquina + implemento (R\$); N = vida útil estimada (anos).

Custos de pessoal operacional

Foram considerados os custos de pessoal operacional aqueles relacionados com salários mais benefícios e encargos sociais divididos pelas respectivas quantidades de horas trabalhadas. Considerou-se um salário mensal médio da região de R\$ 1.535,00 e encargos sociais de 112,4% sobre o salário, sendo 76,0% de encargos obrigatórios previstos em lei

(INSS, FGTS, 13º Salário, férias, etc.) e 36,4% de benefícios (plano de saúde, vale transporte, cesta de alimentos, etc.).

b) Custos variáveis

Foram considerados custos variáveis aqueles que estão diretamente relacionados com a frequência de uso da máquina, isto é, incidem de acordo com a quantidade produzida ou com o uso da máquina. Compõem os custos variáveis os custos com combustível, lubrificantes e graxas, óleo hidráulico, material rodante (pneus, esteiras e semiesteiras), manutenção corretiva e preventiva, e transporte de máquinas.

Combustível

Os custos com combustível são referentes ao consumo de óleo diesel pelas máquinas, sendo calculados de acordo com a expressão 12:

$$CC = P_u \times C \quad (12)$$

em que: CC = custo com combustível (R\$ he^{-1}); P_u = preço de um litro de óleo diesel (R\$/L) e; C = consumo de óleo diesel por hora efetiva (L he^{-1}).

Salienta-se que para o estudo foi usado um valor de R\$ 1,70 por litro de combustível para ambos os sistemas de colheita.

Lubrificantes e graxas

Os custos com lubrificantes e graxas foram calculados considerando como sendo 10% dos custos com combustíveis utilizados pela empresa, conforme a expressão 13:

$$CLG = ILG \times CC \quad (13)$$

em que: CLG = custo com lubrificantes e graxas (R\$ he^{-1}); ILG = índice de custos com lubrificantes e graxas (10% dos custos com combustíveis) e; CC = custos com combustíveis (R\$ he^{-1}).

Óleo hidráulico

Os custos com óleo hidráulico pelas máquinas foram obtidos conforme a taxa de consumo de acordo com dados da empresa, que são embutidos junto aos custos com lubrificantes e graxas.

Material rodante

Os custos com material rodante (pneus, esteiras e semiesteiras) das máquinas foi calculado de acordo com a expressão 14:

$$CP = \frac{Nr \times Vr}{Hr} \quad (14)$$

em que: CP = custo dos rodados (R\$ he⁻¹); Vr = valor de um pneu, esteira ou semiesteira da máquina (R\$); Nr = número de rodados (pneus ou semiesteira) da máquina e; Hr = vida útil de um pneu, esteira ou semiesteira, em horas efetivas (he).

Manutenção

Os custos com manutenção referiram-se aos custos com manutenção corretiva e preventiva, sendo obtidos a partir de dados históricos fornecidos pela empresa.

c) Custos administrativos

Foram considerados os custos de administração aqueles relacionados com os trabalhos de escritório e supervisão das operações de campo, sendo obtidos na empresa, em valores mensais e divididos pela quantidade de horas trabalhadas. Considerou-se no cálculo o percentual de 5% sobre o somatório de custos fixos e variáveis.

d) Custo operacional total

O custo operacional total para as máquinas em cada sistema de colheita foi calculado considerando o somatório de custos fixos, variáveis, pessoal operacional e administrativo.

4.6.2. Custo de produção

O cálculo do custo de produção foi realizado pela divisão dos custos operacionais (R\$ he⁻¹) pela produtividade (m³cc he⁻¹) de cada máquina componente de ambos os sistemas de colheita avaliados.

4.6.3. Análise de sensibilidade

A análise de sensibilidade foi realizada visando determinar o grau de variação dos indicadores de viabilidade econômica diante de alterações nas variáveis mais relevantes de um projeto. Nesse caso, foi analisada a variação da produtividade, a manutenção corretiva e a depreciação sobre o custo de produção das máquinas dos sistemas avaliados, sendo considerada uma variação de 30% para mais ou para menos de cada variável.

4.6.4. Custo de produção total dos sistemas de colheita de madeira

Os custos de produção total referiram-se ao somatório dos custos de produção de cada máquina componente em ambos os sistemas de colheita de madeira, conforme as expressões 15 e 16:

$$CPS_{TL} = CP_{hw} + CP_{fw} \quad (15)$$

$$CPS_{AI} = CP_{fb} + CP_{sk} + CP_{pr} \quad (16)$$

em que: CPS_{TL} = custo total de produção do sistema de colheita de toras longas ($R\$ m^{-3}cc$); CP_{hw} = custo de produção do corte com o harvester ($R\$ m^{-3}cc$); CP_{fw} = custo de produção da extração com o forwarder ($R\$ m^{-3}cc$); CPS_{AI} = custo total de produção do sistema de colheita de árvores inteiras ($R\$ m^{-3}cc$); CP_{fb} = custo de produção do corte com o feller buncher ($R\$ m^{-3}cc$); CP_{sk} = custo de produção do arraste com o skidder ($R\$ m^{-3}cc$) e; CP_{pr} = custo de produção do processamento com o harvester ($R\$ m^{-3}cc$).

4.7. Análises estatísticas

O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado, sendo realizada análise de variância para as variáveis de tempo do ciclo operacional e produtividade para as máquinas de extração de madeira (*forwarder* e *skidder*). Considerou-se como tratamentos as diferentes classes de distâncias de extração. Porém, ressalta-se que antes da análise de variância, os valores das variáveis supramencionadas foram submetidos ao teste de Bartlett, para verificação da homogeneidade das variâncias, e, então, havendo significância na análise de variância, procedeu-se com a comparação de médias pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Além disso, foram efetuadas análises de regressão linear múltipla para verificar a relação entre a variável dependente produtividade e variáveis independentes (fatores de influência mais relevantes das máquinas), conforme apresentado na Tabela 5. As equações ajustadas foram avaliadas por meio do coeficiente de determinação (R^2) (DRAPER e SMITH, 1981) e erro padrão da estimativa absoluto (Syx) e em percentagem (Syx%).

Tabela 5. Variáveis independentes utilizadas nas equações para estimativa da produtividade.

Variáveis independentes						
Sistema de colheita	Equipamento	Volume individual (m^3)	Tempo de processamento individual (s)	Distância média de extração (m)	Volume médio do ciclo ($m^3cc\ he^{-1}$)	Tempo do ciclo (min)
Toras longas	<i>Harvester</i>				X	X
	<i>Forwarder</i>			X	X	X
Árvores Inteiras	<i>Feller buncher</i>				X	X
	<i>Skidder</i>			X	X	X
	Processador <i>harvester</i>	X	X			

Para a estimativa da produtividade das máquinas no sistema de colheita de toras longas foram ajustadas os seguintes modelos de regressão linear múltipla:

a) *Harvester*

$$PROD = a + b VMC + c TMC \quad (17)$$

em que: *PROD* = produtividade efetiva estimada do equipamento ($m^3cc\ he^{-1}$); *VMC* = volume médio do ciclo (m^3cc); *TMC* = tempo médio do ciclo operacional (min) e; *a*, *b* e *c* = parâmetros de ajuste do modelo.

b) *Forwarder*

$$PROD = a + b DE + c TMC + d VMC \quad (18)$$

em que: *PROD* = produtividade efetiva estimada do equipamento ($m^3cc\ he^{-1}$); *DE* = distância de extração (m); *VMC* = volume médio do ciclo (m^3cc); *TMC* = tempo médio do ciclo operacional (min) e; *a*, *b*, *c* e *d* = parâmetros de ajuste do modelo.

Para a estimativa da produtividade das máquinas do sistema de colheita de árvores inteiras, foram ajustados os seguintes modelos de regressão linear múltipla:

a) *Feller buncher*

$$\text{PROD} = a + b \text{VMC} + c \text{TMC} \quad (60) \quad (19)$$

em que: *PROD* = produtividade efetiva estimada do equipamento ($m^3cc \text{he}^{-1}$); *VMC* = volume médio do ciclo (m^3cc); *TMC* = tempo médio do ciclo operacional (min) e; *a*, *b* e *c* = parâmetros de ajuste do modelo.

b) *Skidder*

$$\text{PROD} = a + b \text{DE} + c \text{TMC} + d \text{VMC} \quad (20)$$

em que: *PROD* = produtividade efetiva estimada do equipamento ($m^3cc \text{he}^{-1}$); *DE* = distância de extração (m); *VMC* = volume médio do ciclo (m^3cc); *TMC* = tempo médio do ciclo operacional (min) e; *a*, *b*, *c* e *d* = parâmetros de ajuste do modelo.

c) *Processador Florestal harvester*

$$\text{PROD} = a + b \text{TPI} (60) + c \text{VID} \quad (21)$$

em que: *PROD* = produtividade efetiva estimada do equipamento ($m^3cc \text{he}^{-1}$); *VMC* = volume médio individual (m^3cc); *TMC* = tempo de processamento individual (min) e; *a*, *b* e *c* = parâmetros de ajuste do modelo.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Sistema de colheita de madeira de toras longas

Para o trator florestal *harvester* no sistema de colheita de toras longas foi avaliado um total de 2.438 ciclos operacionais, referentes ao ciclo do corte de uma árvore individual, sendo que o número mínimo de observações necessário foi de 357, considerando um erro de amostragem admissível de 5%. Já para o trator florestal *forwarder* foi avaliado um total de 111 ciclos operacionais, referente ao ciclo de extração das toras, sendo que o número mínimo de observações necessárias foi de 76 ciclos.

5.1.1 Análise operacional e de custos do trator florestal *harvester*

5.1.1.1. Elementos do ciclo operacional

Por meio do estudo de tempos e movimentos, determinou-se o tempo percentual consumido em cada elemento do ciclo operacional do *harvester* (Figura 2). É importante ressaltar que os resultados foram apresentados em porcentagem, uma vez que o tempo total de coleta dos dados diferiu para cada máquina em cada sistema de colheita de madeira.

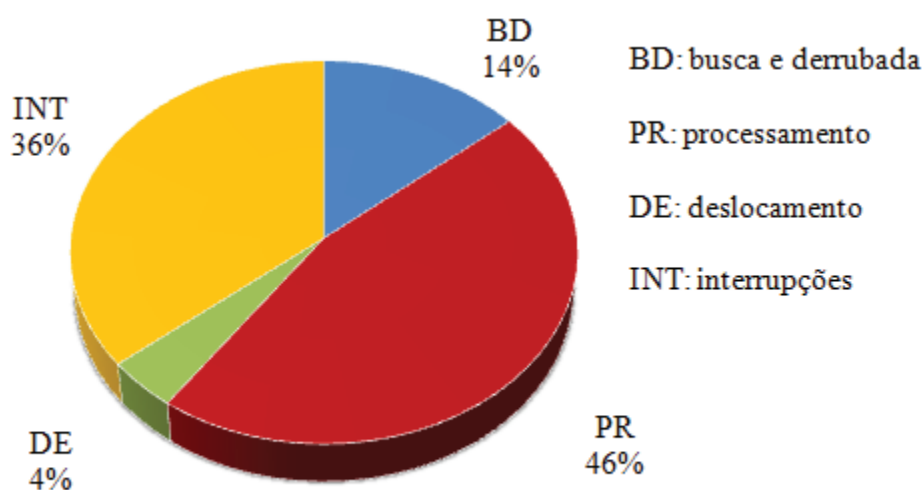


Figura 2. Distribuição percentual do ciclo operacional do *harvester* no sistema de colheita de toras longas.

Como pode ser visto, o elemento que consumiu o maior tempo foi o processamento da árvore (46%), seguido pelas interrupções (36%), busca e derrubada (14%) e deslocamento entre árvores (4%) (Figura 2). O maior tempo consumido no processamento foi devido ao fato dessa etapa envolver sub atividades (desgalhamento, destopamento, traçamento e enleiramento das toras nos eitos de corte), situação que demandou mais tempo de execução comparado aos demais elementos do ciclo operacional. Tais resultados foram semelhantes aos relatados por Lopes *et al.* (2007), Burla (2008), Martins *et al.* (2009) e Bertin (2010), que também observaram este comportamento em seus resultados.

O menor tempo requerido pelos elementos busca e derrubada e deslocamento podem ser atribuídos, em parte, pelo menor espaçamento do plantio e à maior densidade do povoamento, que contribuiu para que a máquina pudesse realizar o corte de um maior número de árvores a partir de uma única posição. Este comportamento também foi justificado por Akay *et al* (2004) e Pereira (2011), que afirmam que a densidade do povoamento é um dos fatores de maior influência no tempo do ciclo operacional, pois quanto maior a densidade do povoamento, menor é o tempo consumido no deslocamento para buscar e derrubar árvores.

Na Figura 3 é mostrado a distribuição percentual do ciclo efetivo de corte com o trator florestal *harvester*, desconsiderando o tempo de interrupções. Como pode ser visto, percebe-se o elevado tempo gasto com processamento das árvores, pois correspondeu a 72% do tempo total efetivo, ficando mais uma vez evidente o maior tempo consumido por esse elemento, que despendeu em média 0,36 minutos por árvore.

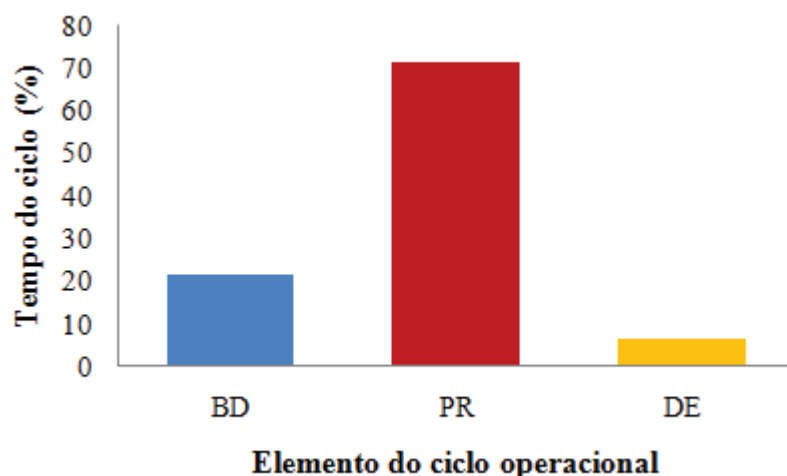


Figura 3. Distribuição percentual dos tempos efetivos do ciclo operacional do harvester no sistema de colheita de toras longas. BD: busca e derrubada; PR: processamento; DE: deslocamento.

Ressalta-se também, que parte do tempo despendido no processamento foi devido o *harvester* tentar maximizar o tamanho da pilha de madeira na intenção de otimizar a operação de extração florestal com o *forwarder*. Sendo isso relacionado à altura média das árvores, que geravam em média somente três toras com comprimento de 7,20 metros, tornando-se necessário uma quantidade maior de árvores para maximizar as pilhas e assim aumentar a produção do *forwarder*.

Burla (2008), avaliando a atividade de corte com *harvester* em diferentes condições de declividade e volume por área, relatou que as subetapas de descascamento, desgalhamento e processamento corresponderam a 52% do tempo total do ciclo operacional. Já Martins *et al.* (2009) também avaliando a atividade de corte com *harvester* em diferentes espaçamentos e arranjos de plantio em povoamentos de eucalipto, relatou que a atividade de traçamento correspondeu a 41,4%, enquanto o descascamento e desgalhamento a 30% do tempo total do ciclo operacional, perfazendo um total de 71,4% do ciclo operacional.

As interrupções (Figura 4) tiveram influência considerável no tempo do ciclo operacional da máquina, comprometendo a produtividade do processo como um todo, haja visto que representou 36% do tempo total operacional (Figura 2). Tais resultados estão acima dos valores observados por Lopes *et al.* (2007) para corte de floresta de *Pinus taeda* L. (19,7%;) e por Bertin (2010) para o corte de florestas de *Eucalyptus grandis* (9,1%).

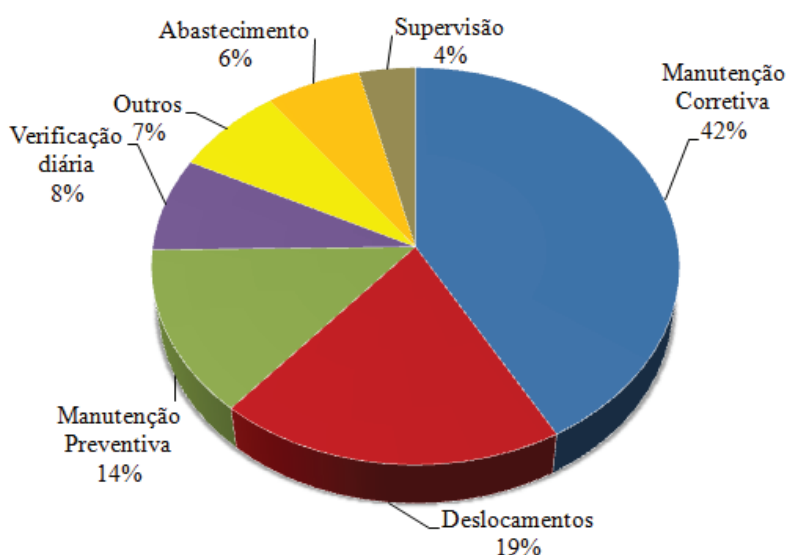


Figura 4. Distribuição percentual das interrupções do *harvester* no sistema de colheita de toras longas.

Esse valor relativamente alto de interrupções pode ser atribuído, em maior parte, devido a paradas por manutenção corretiva da máquina, que representaram 42% do tempo total de interrupções (Figura 4).

Na manutenção corretiva, a atividade que mais consumiu tempo foi a manutenção do sistema de corte do cabeçote, onde o tempo gasto com manutenção de correntes e sabre foi de 45% do tempo total. Durante o estudo percebeu-se a dificuldade de estoques adequados de peças de reposição em campo, acarretando em atraso nas trocas de correntes, e, por conseguinte, afetando a disponibilidade mecânica e a eficiência operacional da máquina. Porém, deve-se enfatizar que esta atividade é uma rotina diária dentro da operação e um problema de fácil solução.

Outro tipo de manutenção que resultou em considerável tempo despendido foi a correção de vazamentos ocorridos nos sistemas hidráulicos da máquina, principalmente no interior do compartimento do motor, contribuindo com 30% do tempo total em manutenção corretiva.

Por fim, também percebeu-se que grande parte dos problemas com correção de vazamentos hidráulicos foi em função do rompimento de mangueiras hidráulicas do cabeçote, mostrando a necessidade do desenvolvimento de máquinas com sistemas de proteção de mangueiras mais eficientes e a oferta de treinamentos de formação e aperfeiçoamento de forma regular aos operadores e mecânicos de máquinas.

É importante ressaltar que a necessidade de treinamento mais intensivo, pode ser justificado quando percebe-se que mais de 21% das manutenções ocorreram devido a erros operacionais e a falta de manutenção preventiva mais eficiente, sendo que algumas ocorrências poderiam ser evitadas caso os operadores tivessem conhecimento e pudessem realizar pequenos reparos na máquina.

Nota-se que a manutenção preventiva contribuiu em 14% para o aumento do tempo das interrupções. Durante o estudo observou-se que a manutenção preventiva mais comum foi a lavagem e lubrificação do cabeçote, seguido pela manutenção preventiva sistemática realizada em função da quantidade de horas trabalhadas. É importante ressaltar que em nenhum momento foi verificado a existência de reapertos aos diversos sistemas que compõe a máquina, podendo ter contribuído para um maior desgaste e quebra da máquina. A manutenção preventiva realizada de forma adequada pode, além de manter a confiabilidade, reduzir de forma significativa os custos com manutenção.

O deslocamento da máquina (19%) também foi um dos principais fatores que influenciou o tempo de trabalho efetivo. Foi observado que boa parte do deslocamento ocorria devido à necessidade de abastecimento de combustível na máquina. Por mais que isso ocorresse durante as trocas de turno, verificou-se uma grande quantidade de deslocamentos devido a essa situação. Sendo assim, sugere-se estudos para a confecção de tanques de combustíveis com maior capacidade, sistema de abastecimento com maior rapidez e planejamento do atendimento do comboio às máquinas, de forma a contribuir com a redução do tempo perdido com abastecimento.

Outra situação que colaborou para o excesso de deslocamentos foi a existência de pequenas unidades de colheita (talhões) na área de estudo, o que gerou muito deslocamento da máquina entre o início e fim do local de colheita. É importante lembrar que o excesso de deslocamentos da máquina, além de resultar em perdas produtivas significativas, também contribui com o maior desgaste e necessidade de trocas antecipadas de material rodante, aumentando, conseqüentemente, os custos operacionais.

Ainda, verificou-se que as interrupções com abastecimento (6%) e verificação diária (8%) não afetaram de forma significativa as interrupções da máquina, pois tais atividades ocorriam durante as trocas de turno dos operadores.

5.1.1.2. Disponibilidade mecânica e técnica, eficiência operacional e produtividade

Durante o período do estudo, verificou-se que a disponibilidade mecânica do trator florestal *harvester*, que se refere à aptidão da máquina para se encontrar em perfeitas condições de trabalho (CANTO, 2003), foi de 80,1 %, estando abaixo do valor encontrado por Silva et al. (2010) que foi em média de 90,3%, e por Simões e Fenner (2010a) que foi em média de 90,4%.

Deve-se ressaltar que, dentre as interrupções observadas, 16% foram relacionadas à operação e 19,1 % referentes às paradas por manutenção mecânica, mostrando assim, que o aumento da disponibilidade mecânica é de fundamental importância para a obtenção de maior produtividade. Para tanto, a medição e o controle do desempenho operacional de máquinas florestais são fundamentais para controlar e auxiliar na tomada de decisões, do nível estratégico ao operacional (PELOIA e MILAN, 2010).

Em função da baixa disponibilidade mecânica e técnica, encontrou-se uma eficiência operacional média de apenas 64,1%, estando abaixo do recomendado por Machado (1989), que sugere que os valores não sejam inferiores a 70%. Este valor pode ser justificado em função das frequentes interrupções, principalmente, para ações de manutenção corretiva, conforme discutido anteriormente. Além disso, é importante salientar que a eficiência operacional depende do nível de treinamento recebido pelo operador, da experiência na função, da melhor adaptação da máquina ao operador e, principalmente, da quantidade de perda ou impedimento de trabalho através de paradas (CANTO, 2003).

A produtividade efetiva média por hora de trabalho do trator florestal *harvester* na execução de corte, considerando uma eficiência operacional de 64,1%, foi de 31,8 m³cc he⁻¹. Burla (2008) em estudo de corte de florestas de eucalipto reportou valor de 28,0 m³sc he⁻¹, sendo que o menor valor pode ser o fato da máquina também ter realizado o descascamento de toras e pelo menor comprimento processado (4,4 m), demandando assim, maior tempo do ciclo operacional que diminuiu o valor de produtividade da operação. Já Bertin (2010) estudando o corte de florestas de *Eucalyptus grandis* com o *harvester*, encontrou um valor 41,6 m³sc he⁻¹, que pode ser explicado devido à eficiência operacional da máquina.

Portanto, fica evidente a possibilidade da máquina aumentar a produtividade. Para tal, é necessário aumentar a sua eficiência operacional, por meio de adoção de algumas medidas, como maior eficiência da manutenção mecânica, planejamento operacional que reduza os tempos de deslocamentos da máquina e intensificação das verificações diárias e abastecimento durante as trocas de turno.

5.1.1.3. Estimativa de produtividade

Por meio da análise dos valores da estatística descritiva (Tabela 6) e seguindo os preceitos citados por Gomes e Garcia (2002) que citam que a variabilidade de um atributo pode ser classificada através dos valores de coeficiente de variação (CV) como baixo ($\leq 10\%$), médio (10% – 20%), alto (20% – 30%) e muito alto ($> 30\%$), observa-se que a variável produtividade efetiva (PROD) do *harvester* apresentou um coeficiente de variação (38,67%) considerado muito alto e grande amplitude de valores, porém, considerado normal devido às características da operação. A variável volume médio do ciclo (VMC) teve baixa variação e dispersão em seus valores. Enquanto o tempo médio do ciclo (TMC) apresentou variação muito alta e grande amplitude de valores.

A variabilidade nos valores da produtividade e tempo médio do ciclo operacional do *harvester* ocorreu, principalmente, em função dos tempos de deslocamentos da máquina entre árvores. Operacionalmente, observou-se que não existiu deslocamento em todos os ciclos, pois muitas vezes, a máquina completava um ciclo operacional sem se deslocar, resultando assim numa variação maior no tempo total do ciclo que foi a principal variável de interferência na produtividade, como pode ser visto na Figura 5, que demonstra variação dos valores de produtividade estimada em função do tempo médio do ciclo.

Tabela 6. Estatística descritiva para as variáveis de produtividade efetiva (PROD), volume médio por ciclo (VMC) e tempo médio do ciclo (TMC) do trator florestal *harvester* no sistema de toras longas.

Variável	Média	Desvio padrão	CV (%)	Mediana	Máximo	Mínimo
PROD (m ³ cc he ⁻¹)	31,76	12,28	38,67	29,24	97,47	8,66
VMC (m ³ cc)	0,36	0,02	5,81	0,35	0,39	0,33
TMC (min)	0,49	0,16	33,66	0,48	1,52	0,15

CV: coeficiente de variação.

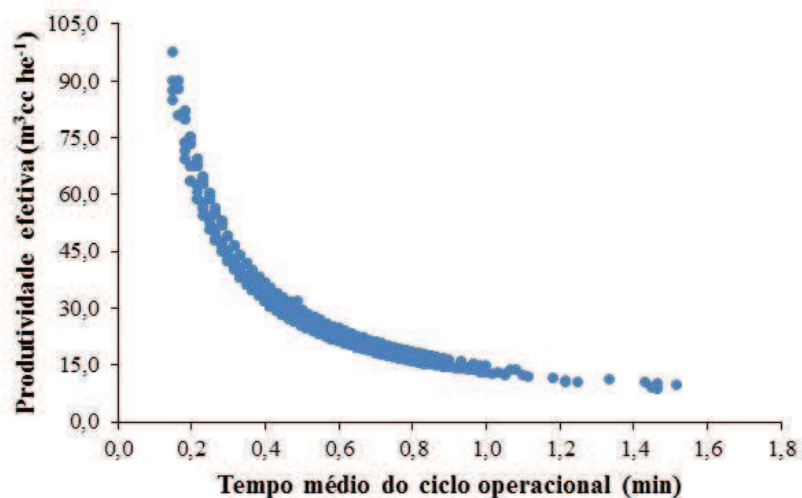


Figura 5. Variação da produtividade efetiva do *harvester* em função do tempo do ciclo operacional.

Com os valores, pode-se, então, ajustar um modelo de regressão linear múltipla, resultando na equação para estimativa da produtividade efetiva do *harvester*:

$$\text{PROD} = 30,9521 + 81,6166 \text{ VMC} - 59,9175 \text{ TMC} \quad (22)$$

$$R^2 = 0,86; \text{Syx} = 3,93 \text{ m}^3\text{cc he}^{-1}; \text{Syx}\% = 13,37$$

em que: *PROD* = produtividade efetiva estimada ($\text{m}^3\text{cc he}^{-1}$); *VMC* = volume médio do ciclo (m^3cc); *TMC* = tempo médio do ciclo operacional (min); R^2 = coeficiente de determinação; *Syx* = erro padrão da estimativa absoluto ($\text{m}^3\text{cc he}^{-1}$) e; *Syx%* = erro padrão da estimativa percentual (%).

As variáveis independentes VMC e TMC explicaram, em conjunto, 86% da variação dos valores de produtividade do *harvester*, com um erro padrão da estimativa absoluto de $3,93 \text{ m}^3\text{cc he}^{-1}$ e percentual de 13,37%. Aplicando-se a equação, como demonstra a Figura 6, é possível observar que com o aumento do tempo do ciclo e diminuição do volume produzido, a produtividade diminui acentuadamente.

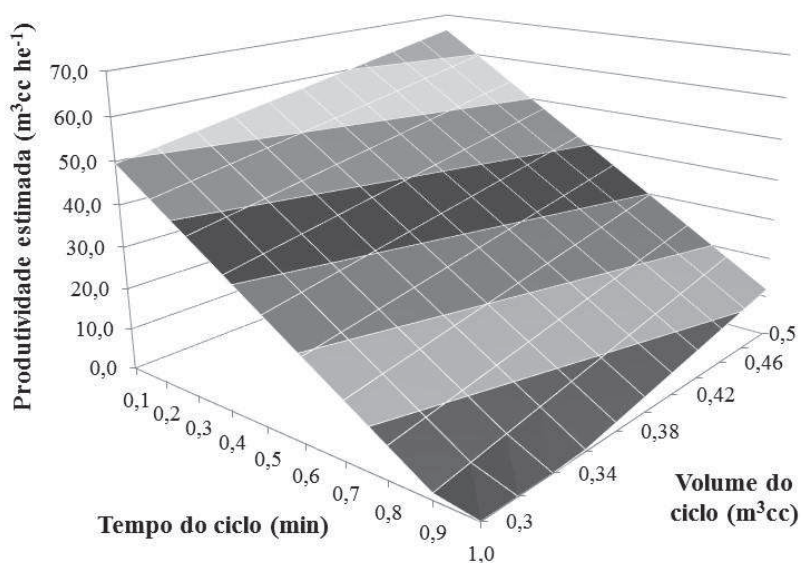


Figura 6. Variação da produtividade estimada em função do tempo do ciclo e volume médio do ciclo para o *harvester* no sistema de colheita de toras longas.

A principal variável de influência na produtividade do *harvester* foi o tempo do ciclo, que explicou sozinha explicou 71,3% da variação, sendo que esta variou em função do tempo de deslocamento gerado entre o corte de cada árvore, que por sua vez, foi influenciado diretamente pelo espaçamento da floresta estudada.

Em geral, a equação ajustada permitiu analisar melhor a variação da produtividade do *harvester*, porém, deve-se ter cautela no emprego da equação ajustada, limitando-a somente para as condições estudadas.

5.1.1.4. Consumo específico e rendimento energético

A avaliação do consumo de combustível é básico para que se conheça a eficiência real com que o motor transforma a energia química do combustível em trabalho útil. O consumo horário de combustível usado pelo trator florestal *harvester* foi de 23,0 L he⁻¹, resultando em um consumo específico em torno de 167,90 g kW⁻¹ he⁻¹, enquanto, o rendimento energético da atividade de corte de madeira foi de 5,3 g kW⁻¹ m³cc. Simões *et al.* (2010) estudando um *harvester* com potência nominal de 103 kW na colheita de eucalipto apresentou rendimento energético médio similar de 5,4 g kW⁻¹ m³cc em seus resultados e um pior consumo específicos 194,80 g kW⁻¹ he⁻¹.

5.1.1.5. Custos operacionais e de produção

Os custos fixos corresponderam a 37,6% do custo operacional, contribuído principalmente, pelo custo com pessoal operacional (44,3%) que correspondeu a R\$ 31,9 por hora efetiva de trabalho, estando incluso os custos com salários e encargos (12,4%), transporte de funcionários (3,1%) e refeições (1,1%) (Tabela 7).

Tabela 7. Custos fixos e variáveis do *harvester* no sistema de colheita de toras longas.

Item de Custo		Valor (R\$ he ⁻¹)	Valor parcial (%)	Valor total (%)
Fixo	Depreciação	29,3	40,7	37,6
	Pessoal operacional	31,9	44,3	
	Juros e seguros	10,8	15,0	
Variável	Combustível	39,1	35,4	57,7
	Lubrificantes e graxas	2,4	22,2	
	Óleo hidráulico	3,0	2,7	
	Material rodante	5,1	4,6	
	Manutenção corretiva	48,8	44,1	
	Manutenção preventiva	12,2	11,0	
Administração		9,13		4,8
Total		191,7		100,0

O custo com salários e encargos correspondeu a R\$ 23,85 por hora, sendo 52,9% relacionados aos encargos sociais e benefícios, que pode variar com as características de cada empresa e região de atuação. O transporte de funcionários era realizado por empresa prestadora de serviços, sendo que o custo foi formado por uma diária fixa mais o total de quilômetros rodados durante o mês, estando, portanto, o custo de transporte relacionado diretamente com a distância média do módulo de colheita a cidade de origem dos trabalhadores.

A depreciação (40,7%) foi resultado do alto valor de aquisição da máquina. É importante ressaltar que o custo de depreciação pode ser ainda maior, dependendo da quantidade de horas trabalhadas em cada mês. A depreciação também é reflexo do passar dos anos, pois, a máquina vai se tornando obsoleta devido ao atraso da tecnologia embarcada.

Em semelhança foi o impacto dos juros e seguros (15,0%) sobre o custo fixo, pois quanto maior o tempo em anos de uso da máquina, para alcançar o a vida útil em horas, maior é o tempo para o retorno do investimento aplicado.

Os custos variáveis foram aqueles que mais oneraram o custo operacional da máquina, representando 57,7% do total. Observa-se que o maior custo variável foi o de manutenção corretiva (25%) perfazendo um custo de R\$ 48,80 por hora efetiva de trabalho (Figura 7). Em seguida o maior custo foi de combustível (23%), estando diretamente relacionado à baixa eficiência do motor, que gerou um consumo específico de $167,9 \text{ g kW}^{-1} \text{ h}^{-1}$. Para Fernandes e Leite (2001), o custo com combustível, corresponde a um dos principais itens formadores do custo operacional da máquina, bem como constitui indicativo da eficiência do processo de conversão de energia do sistema mecanizado na operação de colheita.

Os custos de lubrificantes e graxas (1,3%) e óleo hidráulico (1,6%) estão relacionados diretamente ao custo de manutenção preventiva (6,4%), a soma desses custos gerou um total de R\$ 17,60 por hora. É importante ressaltar que o custo de manutenção preventiva foi gerado pelos serviços especializados, incluindo óleos e peças consumidos nas revisões programadas (manutenção preventiva sistemática). Muitas empresas vêm conseguindo grandes ganhos econômicos com investimento em desenvolvimento de máquinas com sistemas de filtragem de óleo hidráulico e também em rotinas de análise de óleos (manutenção preditiva), aumentando o tempo entre as revisões programadas e resultando em redução dos custos de manutenção preventiva e corretiva.

O custo de material rodante foi de R\$ 5,08 por hora de trabalho, correspondendo a (2,7%) do custo total da atividade do corte de madeira (Figura 7). Ressalta-se que o aumento ou diminuição desse custo está relacionado a dois fatores importantes que são: manutenção preventiva e planejamento operacional. A manutenção preventiva inadequada, ou seja, sem verificações e reapertos ao sistema rodante da máquina, resulta em desgaste prematuro. Por isso, um planejamento operacional eficiente traz redução da quantidade de deslocamentos entre os talhões de colheita de madeira, reduzindo assim, o custo em função da diminuição do uso do sistema, percebendo assim, nos resultados do trator florestal *harvester* uma preocupação, já que em 19% do seu tempo de trabalho, o mesmo encontrava-se em deslocamento, o que pode vir a antecipar a troca do material rodante da máquina.

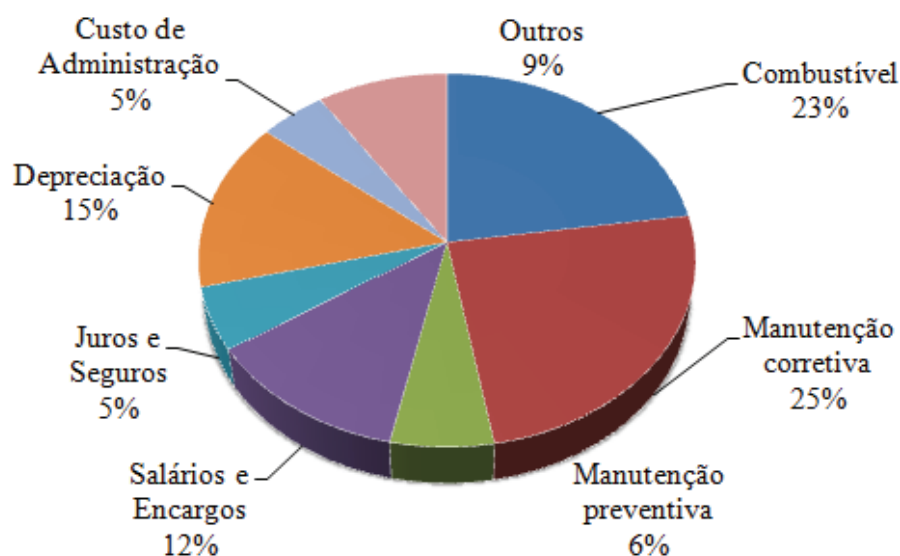


Figura 7. Distribuição percentual dos componentes do custo operacional do *harvester* no sistema de colheita de toras longas

Como o custo operacional de uma máquina é somatório de todos os custos resultantes de sua aquisição e operação, neste estudo chegou-se a um custo operacional total de R\$ 191,7 por hora efetiva de trabalho.

De acordo com Silva *et al.* (2004), é essencial a análise de custos aliadas a análise de produtividade como forma de planejar a produção, dessa forma, pode-se visar a minimização dos custos e a maximização do rendimento das atividades, tornado, assim, o projeto viável tanto técnica quanto economicamente.

Sendo assim, a partir da produtividade efetiva de $31,8 \text{ m}^3\text{cc he}^{-1}$ e um custo operacional absoluto de R\$ 191,7 por hora efetiva de trabalho, obteve-se um custo de produção do trator florestal *harvester* de R\$ 6,04 por m^3cc , estando próximo do valor encontrado por Silva *et al.* (2010) que foi de R\$ 5,99 por m^3cc .

5.1.2. Análise operacional e de custos do trator florestal *forwarder*

5.1.2.1. Elementos do ciclo operacional

Dentre as atividades do ciclo operacional (Figura 8), aquela que demandou o maior tempo foi o carregamento com 25% do tempo total, seguido pelo descarregamento com 19%, enquanto a viagem vazio e viagem carregado ocuparam 15% e 14% do tempo do ciclo operacional, respectivamente. Já as interrupções operacionais e não operacionais ocuparam 26% do tempo total de trabalho.

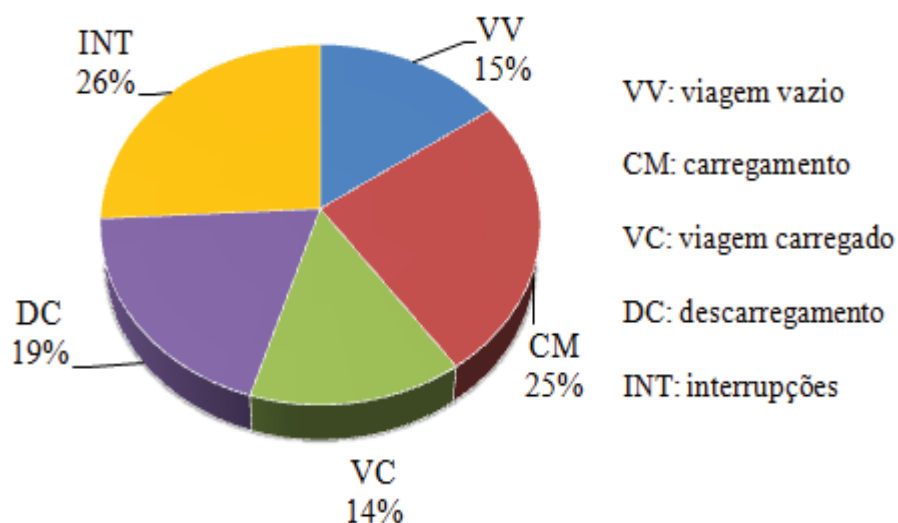


Figura 8. Distribuição percentual do ciclo operacional total *forwarder* no sistema de colheita de toras longas.

Ao desconsiderar o tempo do elemento interrupções, verificou-se um aumento na diferença entre o tempo despendido pelo elemento carregamento em relação aos demais (Figura 9). Tal resultado, está em concordância com os resultados obtidos por diversos autores. Minette *et al.* (2004) avaliando a atividade de “baldeio” de toras por um *forwarder*

em diferentes subsistemas de colheita, verificou que o carregamento e descarregamento ocuparam juntos em torno de 56% do tempo total.

Bantel (2006) e Simões e Fenner (2010b) também observaram que o carregamento e descarregamento foram responsáveis pela maior parte do tempo do ciclo operacional do *forwarder*. O primeiro autor, avaliando o “baldeio” de toras de eucalipto em florestas de primeira e segunda rotação, relatou valores de próximos de 45% para o elemento carregamento. Enquanto o segundo autor, avaliando o “baldeio” de toras de *Eucalyptus grandis* em primeiro corte, relataram que o carregamento e descarregamento consumiram 51% e 28% do tempo do ciclo, respectivamente.

É importante ressaltar que tal resultado obtido nesse trabalho está também em concordância com a afirmação de Seixas (2008), que cita que as operações de carregamento e descarregamento interferem diretamente no ciclo operacional do *forwarder*, pois a máquina passa a maior parte do tempo na forma passiva, ou seja, realizando o carregamento e descarregamento da madeira.

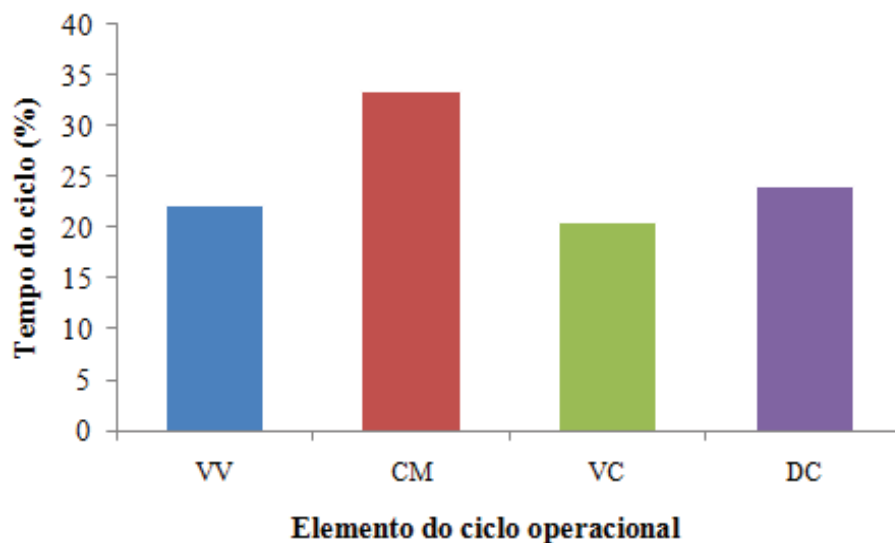


Figura 9. Distribuição percentual dos tempos efetivos do forwarder no sistema de colheita de toras longas; VV: viagem vazio; CM: carregamento; VC: viagem carregado; DC: descarregamento.

Portanto, fica evidente a necessidade do estabelecimento de medidas para a otimização dessas fases da operação de “baldeio”, como o maior treinamento dos operadores; uso de guas hidráulicas de maior alcance; garras apropriadas às características da madeira em

termos de comprimento e peso; e planejamento eficiente das operações, como a formação de pilhas de toras com volumes que se aproximam à capacidade da garra ou múltiplos dessa capacidade.

Além disso, a adoção de tais medidas poderá contribuir para a redução dos tempos de carregamento e descarregamento e, conseqüentemente, do ciclo operacional total, aumentando a eficiência operacional da máquina na extração florestal (OLIVEIRA *et al.*, 2009).

Por fim, os elementos viagem vazio e carregado tiveram uma menor participação relativa no tempo total do ciclo operacional, estando na ordem de 22 e 20%, respectivamente (Figura 9), sendo que tais elementos são influenciados principalmente pela distância de extração, afetando diretamente no aumento do tempo total do ciclo operacional.

Com relação às interrupções operacionais do trator florestal *forwarder*, verifica-se que o valor encontrado (26%) foi considerado relativamente elevado, acarretando em uma eficiência operacional média de 74%, acima aos observados por Simões e Fenner (2010b) que foi de 17,8% e por Linhares *et al.* (2012) que foi em média de 15,3%.

A figura 10 apresenta a distribuição percentual das interrupções do *Forwarder*.

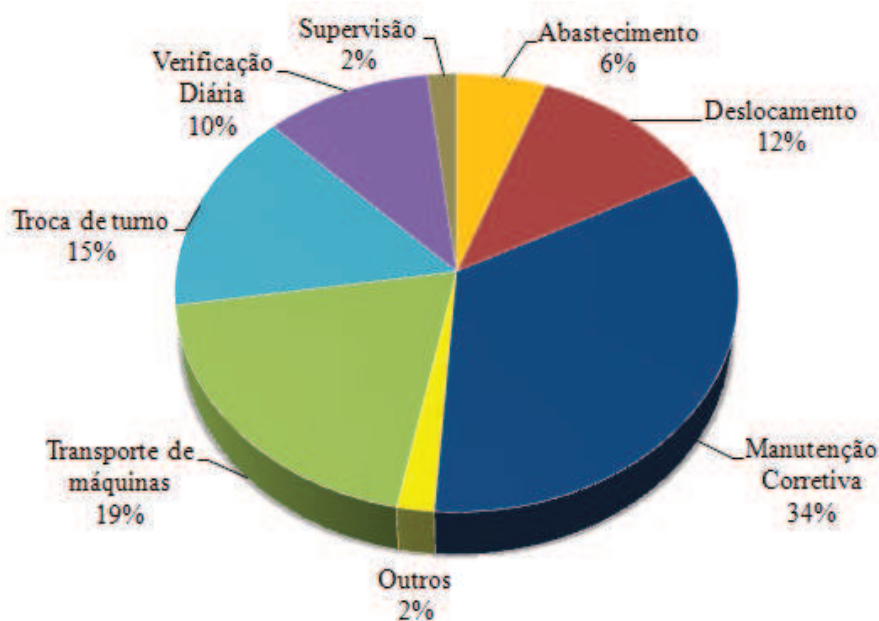


Figura 10. Distribuição percentual das interrupções do *forwarder* no sistema de colheita de toras longas.

O elevado tempo de interrupções pode ser atribuído, principalmente, devido às paradas para realização de manutenções corretivas do equipamento (Figura 10), que contribuiu com 34% do tempo total de interrupções.

Foi possível observar que manutenção no sistema elétrico do equipamento (47%) foi a principal causa das manutenções corretivas realizadas, seguido pelas soldas em fueiros (26%) e troca de mangueiras (17%). Durante o estudo notou-se que o elevado tempo de manutenção elétrica foi devido à demora do diagnóstico do problema, mostrando a demanda cada vez mais de profissionais especializados e treinados nas características específicas de cada máquina.

A necessidade de soldas resultou principalmente de batidas da garra nos fueiros, sugerindo, que existem oportunidades de melhorias significativas na eficiência operacional e nos custos de produção com a oferta de treinamentos operacionais mais intensos e específicos para cada máquina. Linhares *et al.* (2012), citam que investir em manutenção preventiva juntamente com inspeções, são medidas necessárias para se reduzir as paradas corretivas, que são indesejáveis, por não apresentarem previsibilidade e onerar os custos. Por isso, os mesmos citam também, que o planejamento das manutenções é fundamental para aumentar a eficiência e, conseqüentemente, a produtividade de máquinas florestais em geral, uma vez que estas máquinas trabalham em locais isolados, distantes e, ainda, geralmente, durante três turnos diários.

Com relação ao transporte de máquinas, este contribuiu com 19% das interrupções, ocorrendo em função da necessidade de mudanças do módulo de colheita entre regiões florestais, dado às diferentes demandas de produção de madeira. Ressalta-se ainda que, além de perdas de eficiência, também houve aumento dos custos operacionais a partir destas mudanças, mostrando como o planejamento eficiente interfere nos resultados da operação.

A troca de turnos (15%), os deslocamentos (12%) e as verificações diárias (10%) contribuíram com um total de 37% das interrupções totais. Observou-se que nas trocas de turno se perdia um tempo significativa com atrasos no transporte de funcionários do próximo turno. Além disso, percebeu-se a existência muitas vezes de conversas desnecessárias entre os operadores, resultando ainda mais em ineficiência.

Os deslocamentos ocorriam principalmente entre os talhões a serem baldeados, no entanto, também se observou a existência de deslocamentos da máquina até o local para realização das refeições.

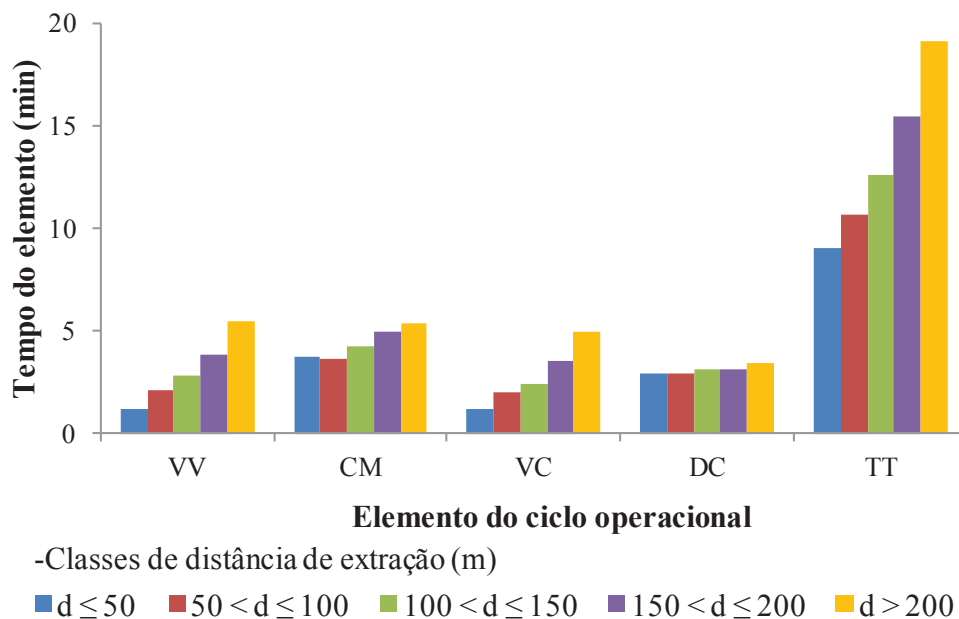


Figura 11. Tempos médios consumidos pelo forwarder no sistema de colheita de toras longas nas diferentes classes de distância de extração; VV: viagem vazio; CM: carregamento; VC: viagem carregado; DC: descarregamento e; TT: tempo total do ciclo.

Como pode ser visto na Figura 11, os elementos viagem carregado e vazio foram diretamente influenciados pela distância de extração, ficando evidente que, independente da distância de extração, o tempo de carregamento e descarregamento foram semelhantes entre si, principalmente nas classes de distâncias mais próximos.

Tal comportamento pode ser comprovado comparando-se os valores dos elementos do ciclo operacional do *forwarder* nas diferentes classes de distância de extração (Tabela 8).

Entre as classes de distância de $50 < d \leq 100$ e $100 < d \leq 150$ não houve diferença significativa em relação ao elemento viagem vazio. Para o elemento carregamento, verificou-se que houve uma diferença significativa no tempo de carregamento somente entre as menores e maiores distâncias de extração, deve-se ainda ressaltar um aumento no tempo deste elemento nas maiores distâncias. Tal resultado pode ser atribuído ao fato dos operadores otimizarem a caixa de carga do equipamento com maior volume de madeira, situação que ocorreu, principalmente, nas maiores distâncias de extração.

No caso do elemento viagem carregado, as diferenças nos tempos foram semelhantes às constatadas para o elemento viagem vazio, sendo maior o tempo consumido devido ao aumento da distância de extração. Em relação ao elemento descarregamento verificou-se que

não houve diferença significativa entre os tempos dos elementos do ciclo devido à distância de extração

Tabela 8. Tempo médio (minutos) dos elementos do ciclo operacional do *forwarder* no sistema de colheita de toras longas nas diferentes classes de distância de extração.

Elemento	Classe de distância de extração (m)					Média
	$d \leq 50$	$50 < d \leq 100$	$100 < d \leq 150$	$150 < d \leq 200$	$d > 200$	
VV	1,22 d	2,14 c	2,79 c	3,86 b	5,46 a	3,09
CM	3,70 b	3,61 b	4,27 ab	4,93 a	5,31 a	4,36
VC	1,15 d	2,05 c	2,44 c	3,56 b	4,96 a	2,83
DC	2,85 a	2,90 a	3,15 a	3,16 a	3,44 a	3,10
TT	8,93 e	10,71 d	12,60 c	15,52 b	19,18 a	13,39

Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância; VV: viagem vazio; CM: carregamento; VC: viagem carregado; DC: descarregamento e; TT: tempo total efetivo do ciclo.

Por fim, para o tempo total efetivo da operação de extração, constatou-se haver uma diferença significativa com a distância de extração, mostrando a sua influência no tempo do ciclo operacional do trator florestal *forwarder*.

5.1.2.2. Disponibilidade mecânica e técnica, eficiência operacional e produtividade

As disponibilidades mecânicas e técnicas do *forwarder* foram em média de 91,2% e 83,9% respectivamente. Nota-se que a disponibilidade mecânica pode ser considerada alta, pois, encontrou-se acima do valor relatado por Oliveira *et al.* (2009) e Simões e Fenner (2010b), e pouco abaixo do valor observado por Linhares *et al.* (2012).

Analisando somente as interrupções (Figura 10), podemos observar que ao compararmos a manutenção mecânica em relação às outras formas de paradas, nota-se que a manutenção mecânica correspondeu a 34% das principais perdas operacionais. No entanto, quando separado da disponibilidade mecânica e técnica, observamos uma perda de apenas 8,8% em relação ao tempo total, enquanto as demais interrupções colaboraram com 17,1% da ineficiência total. Nesse sentido, aumentar a disponibilidade técnica de uma máquina, de modo a se obter maior produtividade das operações.

A eficiência operacional média foi de 74%, estando acima de 70% que é recomendado por Machado (1989), porém, abaixo dos resultados de Simões e Fenner (2010b) e Linhares *et al.* (2012), que em ambos os casos foram de 82%.

Para um comprimento de toras de 7,2 metros e uma eficiência operacional média do trator florestal *forwarder* de 74,1%, obteve-se uma produtividade média de 33,2 m³cc he⁻¹. Machado e Lopes (2000), estudando extração de madeira de eucaliptos com comprimento de 5 e 6 metros, obteve produtividade do *forwarder* de 24,1 e 28,6 m³sc he⁻¹, respectivamente, demonstrando, assim, a influência do comprimento da madeira na produtividade e de outros fatores que também afetam a produtividade operacional desta máquina (MINETTE *et al.*, 2004; OLIVEIRA *et al.*, 2009).

É possível observar na Figura 12, que a produtividade média do *forwarder* reduziu em 51,2% entre a menor e maior distância de extração, acarretando no aumento em 118% no tempo total do ciclo operacional para as mesmas distâncias, situação que pode ser explicado pela baixa velocidade desenvolvida pela máquina. Por outro lado, nota-se aumento de 5% no volume médio de cada ciclo operacional, não condicionando em diferença significativa na produtividade do equipamento.

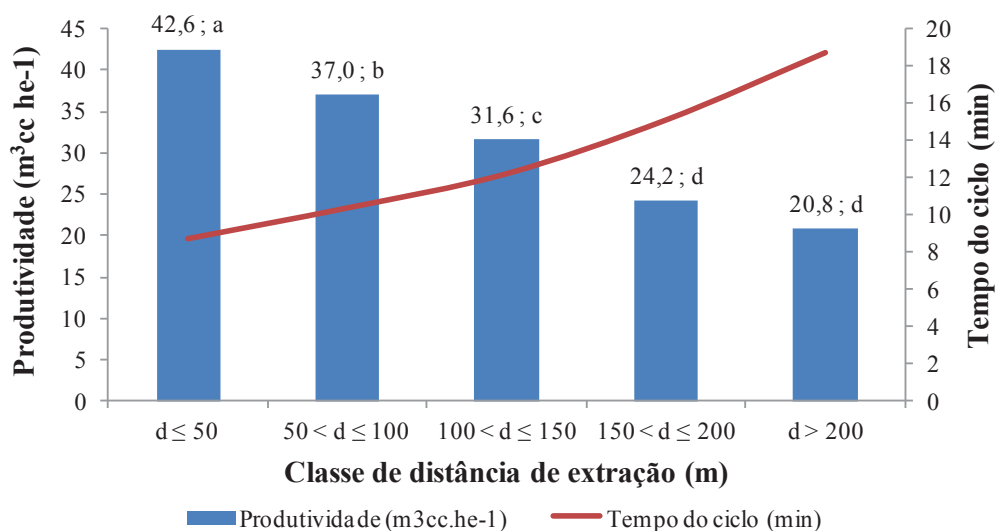


Figura 12. Produtividade efetiva e tempo do ciclo operacional do forwarder no sistema de colheita de toras longas em função de diferentes classes de extração. Barras verticais com médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

5.1.2.3. Estimativa da produtividade

Analisando o comportamento das variáveis de produtividade (PROD), distância de extração (DE), volume médio por ciclo (VMC) e tempo médio do ciclo (TMC) (Tabela 9), observa-se no caso da PROD, como explicado anteriormente, a variação se deveu em função da influência da DE, sendo esperada e intrínseca à operação (Figura 13).

Tabela 9. Estatística descritiva para as variáveis de produtividade (PROD), distância de extração (DE), volume médio por ciclo (VMC) e tempo médio do ciclo (TMC) do *forwarder* no sistema de toras longas.

Variável	Média	Desvio padrão	CV (%)	Mediana	Máximo	Mínimo
PROD (m ³ cc he ⁻¹)	33,2	9,76	29,38	33,06	58,13	14,28
DE (m)	130,18	65,81	50,55	100,00	250,00	50,00
VMC (m ³ cc)	8,39	1,48	17,69	8,47	12,74	1,95
TMC (min)	13,39	3,70	29,99	11,53	22,32	2,92

CV: coeficiente de variação.

O TMC, da mesma forma que a PROD, variou em função da DE. Enquanto o VMC, embora o CV não tenha sido alto, sua amplitude e variação de valores também pode-se dever em função de que em distância maiores tenha havido a necessidade de otimizar a carga baldeada, para transportar o máximo de carga compatível com a capacidade do *forwarder* e, assim, havendo influência da distância de extração sobre os valores.

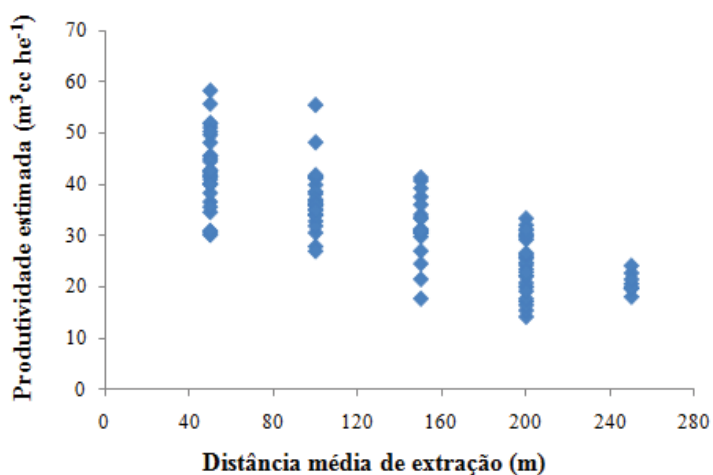


Figura 13. Variação da produtividade efetiva do *forwarder* em função da distância de extração.

Em prosseguimento, com os valores obtidos, ajustou-se um modelo de regressão linear múltipla, resultando na equação para estimativa da produtividade efetiva do *forwarder*:

$$\text{PROD} = 29,9992 - 0,01605 \text{ DE} - 1,9505 \text{ TMC} + 3,3460 \text{ VMC} \quad (23)$$
$$R^2 = 0,95; \text{ Syx} = 1,91 \text{ m}^3\text{cc he}^{-1}; \text{ Syx}\% = 5,75$$

em que: *PROD* = produtividade efetiva estimada ($\text{m}^3\text{cc he}^{-1}$); *DE*: distância de extração (m); *VMC* = volume médio do ciclo (m^3cc); *TMC* = tempo médio do ciclo operacional (min); R^2 = coeficiente de determinação; *Syx* = erro padrão da estimativa absoluto ($\text{m}^3\text{cc he}^{-1}$) e; *Syx%* = erro padrão da estimativa percentual (%).

Com o uso das três variáveis independentes citadas, pode se explicar por meio da equação de regressão cerca de 95% da variação da produtividade do *forwarder*, com um erro padrão da estimativa absoluto de $1,91 \text{ m}^3\text{cc he}^{-1}$ e percentual de 5,75%.

Para a aplicação da equação, optou-se por utilizar as variáveis TMC e VMC, uma vez que a variação da PROD em função da DE foi vista e discutida nos itens anteriores, então, foram adotadas três situações de DE: 50 m (Figura 14), 150 m (Figura 15) e 250 m (Figura 16). Conforme observado nas Figuras 14, 15 e 16, com o aumento do tempo do ciclo operacional e diminuição do volume transportado, a produtividade do trator florestal *forwarder* diminuiu acentuadamente, sendo mais evidente nas maiores distâncias de extração.

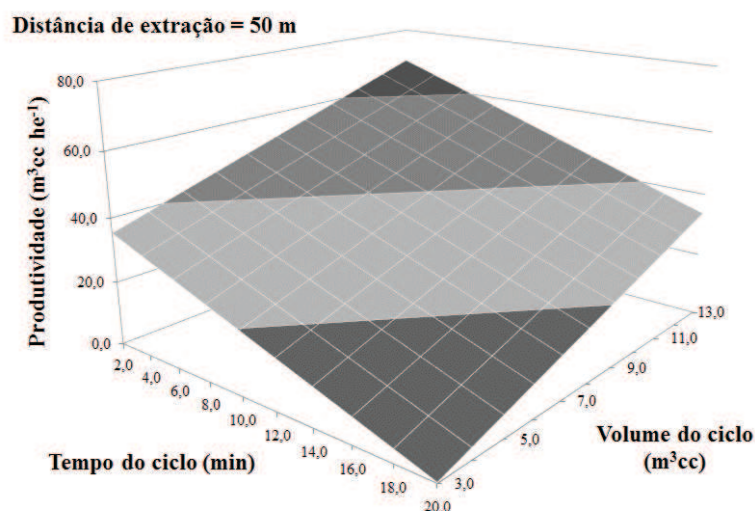


Figura 14. Variação da produtividade estimada em função do tempo do ciclo e volume médio do ciclo para o *forwarder* no sistema de colheita de toras longas para uma distância de extração de 50 m.

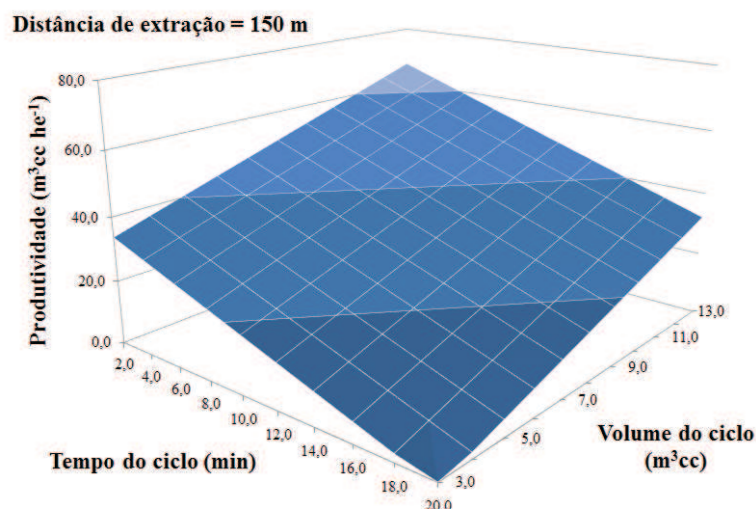


Figura 15. Variação da produtividade estimada em função do tempo do ciclo e volume médio do ciclo para o *forwarder* no sistema de colheita de toras longas para uma distância de extração de 150 m.

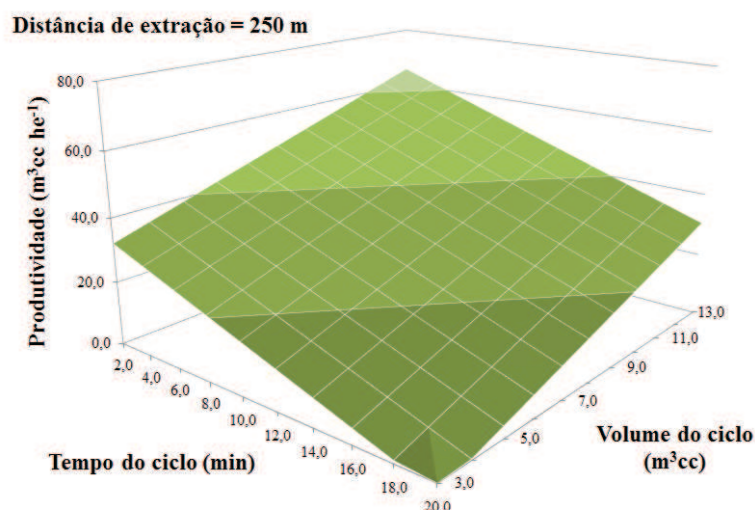


Figura 16. Variação da produtividade estimada em função do tempo do ciclo e volume médio do ciclo para o *forwarder* no sistema de colheita de toras longas para uma distância de extração de 250 m.

É importante ressaltar que o uso da equação para estimativa da produtividade do *forwarder* deve ser empregado com cautela, devendo ser utilizado somente em condições semelhantes à estudada. No entanto, a equação ajustada também permitiu melhor analisar a variação dos fatores que afetam a produtividade do *forwarder*, contribuindo para melhoria da compreensão e entendimento dos fatores envolvidos, auxiliando no planejamento de operações florestais.

5.1.2.4. Consumo específico e rendimento energético

O consumo horário de combustível do trator florestal *forwarder* foi de 12,5 L he⁻¹, resultando em um consumo específico em torno de 71,2 g kW⁻¹ he⁻¹, enquanto, o rendimento energético foi de 2,3 g kW⁻¹ m³cc. Oliveira *et al.* (2009) estudando o mesmo equipamento na extração de madeira de *Pinus* apresentou rendimento energético médio similar de 2,04 g kW⁻¹ m³cc e um melhor consumo específico de 62,33 g kW⁻¹ he⁻¹.

5.1.2.5. Custos operacionais e de produção

Na Tabela 10 é apresentado o resultado do custo percentual do trator florestal *forwarder*. Como pode ser visto, os custos fixos foram responsáveis por 46,2% do custo operacional total, enquanto, os custos variáveis, responderam pela maior parte do custo operacional da máquina, representando 49,1% do custo total.

Tabela 10. Custos fixos e variáveis do *forwarder* no sistema de colheita de toras longas.

Item de Custo		Valor (R\$ he ⁻¹)	Valor parcial (%)	Valor total (%)
Fixo	Depreciação	31,9	42,9	46,2
	Pessoal operacional	31,9	42,9	
	Juros e seguros	10,6	14,2	
Variável	Combustível	21,3	26,9	49,1
	Lubrificantes e graxas	2,4	3,1	
	Óleo hidráulico	1,5	1,9	
	Material rodante	5,1	6,4	
	Manutenção corretiva	36,6	46,3	
	Manutenção preventiva	12,2	15,4	
Administração		7,7		4,8
Total		161,1		100,0

Nota-se que o principal custo da máquina foi a manutenção corretiva, sendo 46,3% do custo variável total e 23% do custo total, podendo tal resultado ser atribuído principalmente ao total trabalhado de horas trabalhadas pela máquina (17.200 hora), mostrando a necessidade de estudos para a escolha do melhor momento para renovação da frota. Outro custo que afetou diretamente o custo variável foi o custo de combustível (21,3 R\$ he⁻¹), podendo o baixo

consumo de combustível ser atribuído às condições de relevo favorável, o que gerava menor uso da potência do motor.

O custo variável também ocorreu devido aos custos de manutenção preventiva (15,4%), óleo hidráulico (1,9%), lubrificantes e graxas (3,1%), ressaltando ainda que, a soma desses custos (R\$ 16,10) foi resultado em geral das revisões programadas. É possível observar também, que o consumo hidráulico pode ser considerado alto, quando comparado ao *harvester*, ocasionados por acidentes periódicos com rompimento de mangueiras, resultando em maior consumo e custo total variável (2,7%).

O custo com material rodante (pneus) foi de R\$ 5,10 por hora efetiva de trabalho, sendo este composto por 12% em manutenção de pneus e 88% de trocas necessárias durante a vida útil do equipamento.

Pode ainda observar-se que o custo de pessoal operacional correspondeu 42,9% do custo total fixo, gerando um custo total de R\$ 31,90 por hora efetiva de trabalho. Nota-se que muitas empresas vêm cada vez mais realizando estudos para redução de turnos de trabalho, dias totais de trabalho e até mesmo aumento de horas extras pontuais, buscando sempre a redução de custos, mantendo os mesmos índices de produção.

Na Figura 17 pode se observar que para o custo total operacional, os maiores custos totais foram à manutenção corretiva (23%) e à depreciação (20%), somando um total de 53% do custo operacional, sugerindo a necessidade de melhor planejamento das operações.

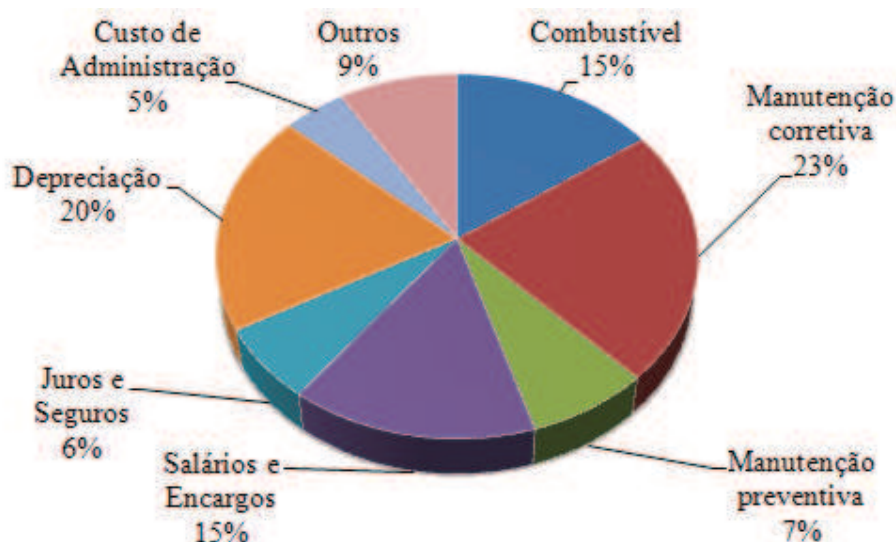


Figura 17. Distribuição percentual dos componentes do custo operacional do *forwarder* no sistema de colheita de toras longas.

Nota-se na Figura 18, que o custo de produção do *forwarder* é diretamente influenciado pela sua produtividade, sendo, por outro lado, variável conforme a distância de extração. Por essa razão, deve-se buscar estratégias para minimização os tempos ineficientes e aumento do trabalho efetivo da máquina.

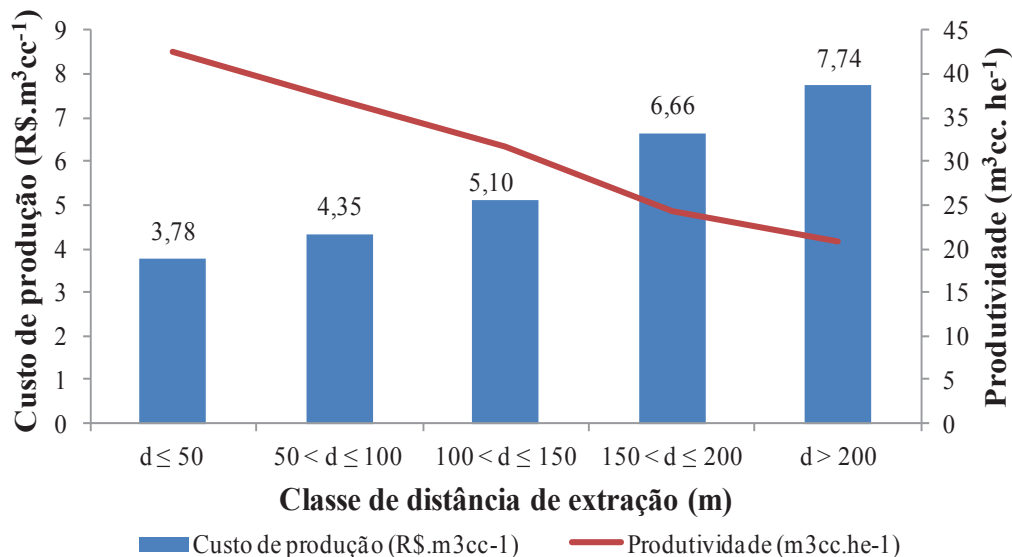


Figura 18. Custo de produção e produtividade do *forwarder* no sistema de colheita de toras longas em função da distância de extração.

Em relação ao custo de produção do trator florestal *forwarder*, a máquina chegou a um valor de R\$ 4,85 por metro cúbico de madeira com casca, sendo o valor inferior ao encontrado por Oliveira *et al.* (2009) em floresta de *Pinus* que em média foi de 6,84 R\$ m⁻³cc.

5.2. Sistema de colheita de madeira de árvores inteiras

Para o trator florestal *feller buncher* foi avaliado um total de 2.806 ciclos operacionais, sendo que o número mínimo de observações requeridas foi de 210, enquanto que para o trator florestal *skidder* foi avaliado um total de 479 ciclos operacionais, sendo que requeridas 151 observações, e para o Prrocessador Florestal *harvester* foi avaliado um total de 3.007 ciclos operacionais, sendo o número mínimo de observações requeridas de 542, considerando um erro de amostragem admissível de 5%.

5.2.1. Análise operacional e de custos do trator florestal *feller buncher*

5.2.1.1. Elementos do ciclo operacional

Na Figura 19 é mostrado a distribuição percentual do ciclo operacional do trator florestal *feller buncher* na execução do corte florestal. Como pode ser visto, o elemento que relativamente mais consumiu tempo foi a busca e derrubada com 52% do tempo total, seguido pelas interrupções com 32%, empilhamento das árvores em feixes com 9% e, por último, deslocamento no interior do talhão com 7%. Os resultados foram semelhantes aos relatados por Fiedler *et al.* (2008), Fernandes *et al.* (2009), Bertin (2010) e Pereira (2011).

O elevado tempo de busca e derrubada, de certa forma, foi esperado, pois em função da capacidade do cabeçote era necessário um maior número de deslocamentos, de forma a permitir o maior acúmulo de árvores para o corte, assim também visando otimizar a atividade posterior de extração de madeira pelo *skidder*.

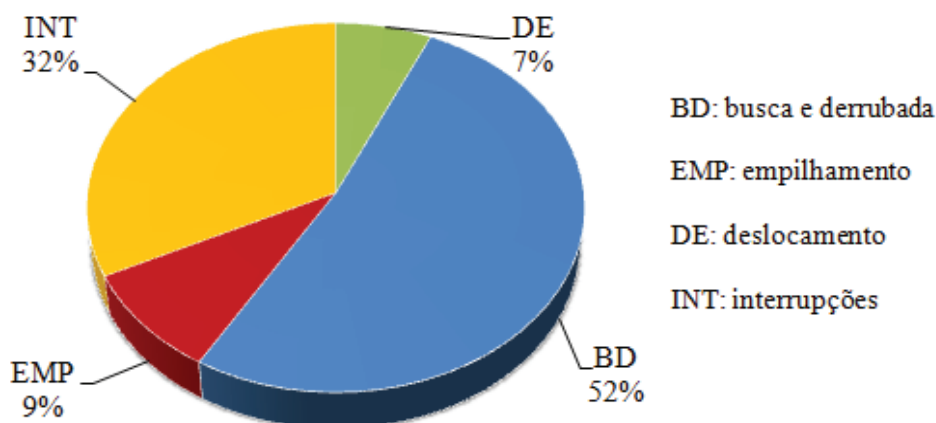


Figura 19. Distribuição percentual do ciclo operacional do *feller buncher* no sistema de colheita de árvores inteiras.

Ao desconsiderar o tempo do elemento interrupções, percebe-se de forma mais evidente a disparidade do tempo gasto pelo elemento busca e derrubada, que dependeu em média 0,54 minutos, em relação ao empilhamento e deslocamento (Figura 20), com tempo médio de 0,09 minutos.

Bertin (2010) estudando colheita em floresta de eucalipto verificou que somente a atividade de busca (movimento do cabeçote) resultou em maior tempo do ciclo operacional (45%) do que a atividade de pegar/derrubar árvores (23%).

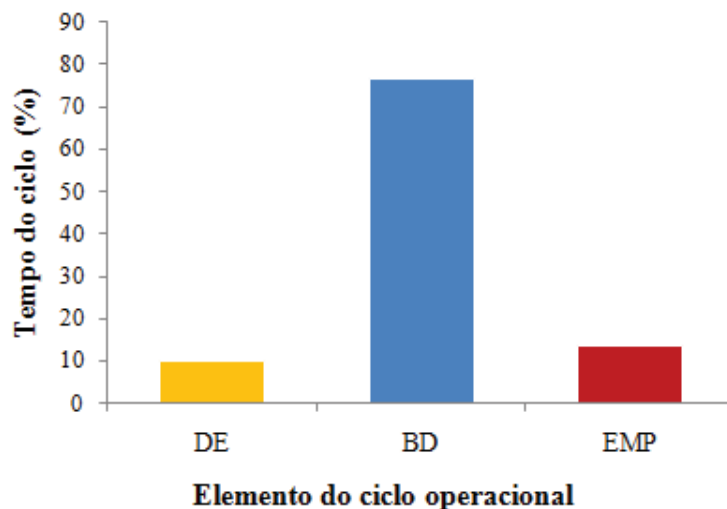


Figura 20. Distribuição dos tempos percentuais efetivos do feller buncher no sistema de colheita de árvores inteiras; DE: deslocamento; BD: busca e derrubada; EMP: empilhamento.

Na Figura 21 é apresentada a distribuição percentual das causas das interrupções operacionais do trator florestal *feller buncher*.

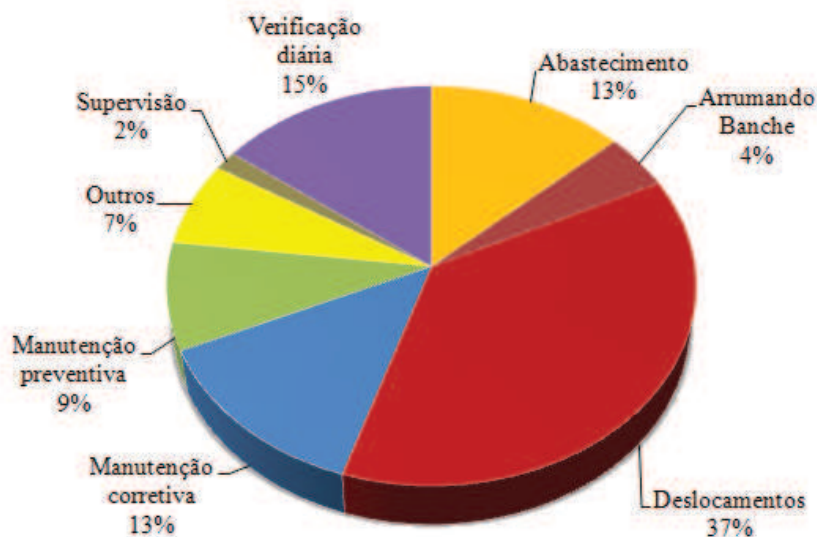


Figura 21. Distribuição percentual das interrupções do *feller buncher* no sistema de colheita de árvores inteiras.

Como pode ser observado, dentre as principais causas de interrupções ocorridas, cita-se o deslocamento entre talhões (37%), seguido pela manutenção corretiva (13%) e manutenção preventiva (9%).

Em função da alta produtividade do *feller buncher* e existência de talhões de pequena dimensão, a máquina necessitava se deslocar constantemente, acarretando com isso em grandes perdas de tempo, principalmente pelo fato do material rodante ser de esteira. Nesse sentido, sugere-se a necessidade de um melhor planejamento operacional, com objetivo de sequenciar os talhões a serem colhidos, minimizando as distâncias entre os talhões.

Além disso, pode ser observado que, devido ao seu alto consumo de combustível (38 L h^{-1}) o trator florestal *feller buncher* necessitava deslocar-se duas vezes ao dia para a realização de abastecimento, gerando assim, maiores tempos de deslocamentos e abastecimento (13%). Deste modo, também sugere-se estudos em relação ao desenvolvimento de tanques de combustíveis com maior capacidade e autonomia, gerando uma menor quantidade de paradas durante a atividade para o abastecimento.

5.2.1.2. Disponibilidade mecânica e técnica, eficiência operacional e produtividade

Embora a disponibilidade mecânica do equipamento avaliado tenha sido elevada (93,0%), a disponibilidade técnica foi relativamente baixa (74,8%), gerando uma baixa eficiência operacional (67,8%), justificando a produtividade obtida ($87,0 \text{ m}^3 \text{cc he}^{-1}$).

A baixa disponibilidade técnica foi resultado, principalmente, da quantidade de deslocamentos operacionais da máquina no decorrer da jornada de trabalho, que contribuiu com 12% do tempo total avaliado. Tal resultado, portanto, mostrou a importância do planejamento da atividade de corte de madeira, que muitas vezes é realizada por máquinas de grande porte e com deslocamentos lentos.

Como já mencionado, a produtividade média por hora de trabalho efetivo do trator *feller buncher* foi de $87,0 \text{ m}^3 \text{cc he}^{-1}$. Em comparação com os resultados de outros autores, o presente valor se encontrou abaixo do valor encontrado por Bertin (2010) para o corte de florestas de eucalipto, que foi de $107,3 \text{ m}^3 \text{cc he}^{-1}$; abaixo do valor relatado por Pereira (2011) para o corte de florestas de pinus, que foi de $103,8 \text{ m}^3 \text{cc he}^{-1}$; abaixo do valor encontrado por

Simões (2008) para o corte de eucalipto, que foi de 118,5 m³cc he⁻¹; e acima do valor reportado por Fiedler *et al.* (2008) e Rocha *et al.* (2009) para o corte de florestas de *Eucalyptus grandis*, que foi para ambos 47,3 m³cc he⁻¹.

É muito importante ressaltar que, com o corte médio de quatro árvores por ciclo e um tempo médio do ciclo de 41,6 segundos, a produtividade relativa horária da máquina foi de 130 m³cc he⁻¹, isto é o máximo que se pode chegar. Portanto, evidencia que a eficiência operacional interfere diretamente da produtividade e, desta maneira, se torna cada vez mais importante uma gestão com foco no resultado por meio de indicadores diários que auxiliem na rápida tomada de decisão.

5.2.1.3. Estimativa de produtividade

Como apresentado pela Tabela 11, observa-se que todas as variáveis apresentaram alto coeficiente de variação, conforme Gomes e Garcia (2002), e grande dispersão de valores.

Tabela 11. Estatística descritiva para as variáveis de produtividade efetiva (PROD), volume médio por ciclo (VMC) e tempo médio do ciclo (TMC) do *feller buncher* no sistema de árvores inteiras.

Variável	Média	Desvio padrão	CV (%)	Mediana	Máximo	Mínimo
PROD (m ³ cc he ⁻¹)	86,99	32,98	37,92	82,91	537,35	15,00
VMC (m ³ cc)	1,43	0,51	35,48	1,30	4,35	0,33
TMC (min)	0,69	0,20	28,64	0,67	1,90	0,13

CV: coeficiente de variação.

Pode se verificar também que a produtividade da máquina foi influenciada, principalmente, pelo volume do ciclo, uma vez que esta tendeu a aumentar conforme o aumento do volume de árvores cortadas por ciclo (Figura 22), entrando em concordância com as afirmações de Moreira (2000), Bramucci e Seixas (2002) e Akay *et al.* (2004).

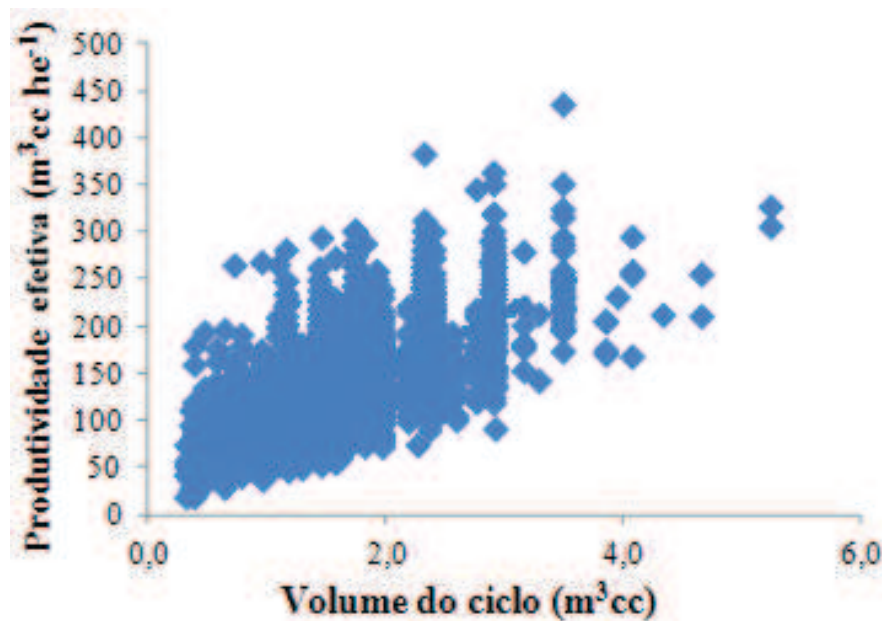


Figura 22. Variação da produtividade efetiva do *feller buncher* em função do volume do ciclo.

Em sequência, com os valores ajustou-se um modelo de regressão linear múltipla, chegando à equação para estimativa da produtividade efetiva do *feller buncher*:

$$\text{PROD} = 141,268 + 87,973 \text{ VMC} - 3,327 \text{ TMC} \quad (60) \quad (24)$$

$$R^2 = 0,91; \text{Syx} = 16,15 \text{ m}^3\text{cc he}^{-1}; \text{Syx}\% = 18,56$$

em que: *PROD* = produtividade efetiva estimada ($\text{m}^3\text{cc he}^{-1}$); *VMC* = volume médio do ciclo (m^3cc); *TMC* = tempo médio do ciclo operacional (min); R^2 = coeficiente de determinação; *Syx* = erro padrão da estimativa absoluto ($\text{m}^3\text{cc he}^{-1}$) e; *Syx%* = erro padrão da estimativa percentual (%).

Semelhantemente ao ocorrido para o *harvester* do sistema de toras longas, as variáveis independentes VMC e TMC, explicaram a maior parte da variação da produtividade do *feller buncher*, atingindo um coeficiente de determinação de 0,91, com erro padrão da estimativa absoluto e percentual de $16,15 \text{ m}^3\text{cc he}^{-1}$ e 18,56%, respectivamente. Tal resultado foi superior ao relatado por Pereira (2011), que utilizando as mesmas variáveis independentes para explicar a produtividade, chegou a um R^2 de 0,64 e *Syx* de $22,77 \text{ m}^3\text{cc he}^{-1}$. Já Fiedler *et al.* (2008) utilizando as variáveis distância de deslocamento total e volume como

independentes para explicar a variação da produtividade, chegaram a uma equação de regressão múltipla com R^2 de 0,53, não sendo informado o Syx.

Na aplicação da equação (Figura 23), verifica-se sensibilidade da produtividade em relação à variação das variáveis independentes, uma vez que com o aumento do tempo do ciclo e diminuição do volume produzido, a produtividade diminui acentuadamente, chegando a valores a de estagnação da produtividade. Como a equação ajustada demonstra, somente haveria produtividade expressiva em ciclo de elevado tempo caso o volume cortado por ciclo fosse superior cerca de $3 \text{ m}^3 \text{cc}$, indicando a necessidade de operações eficientes para obtenção de produtividade satisfatória.

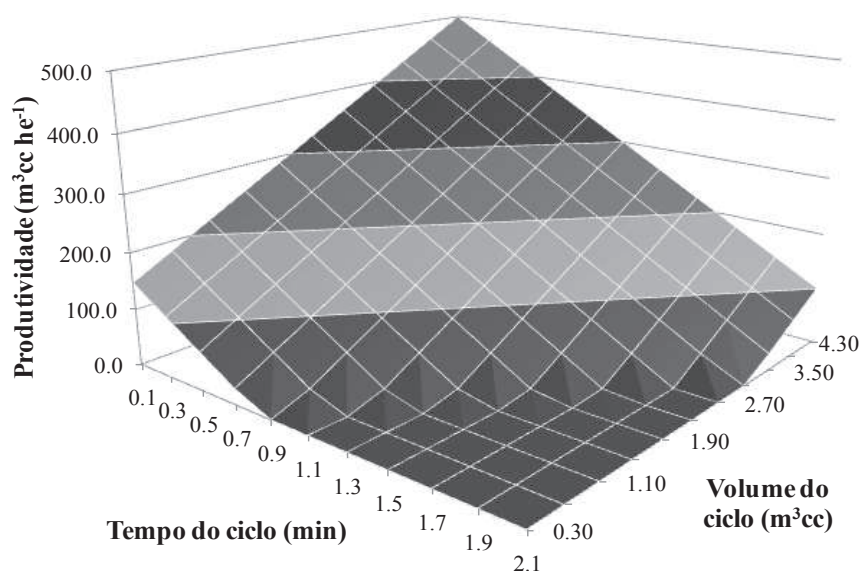


Figura 23. Variação da produtividade estimada em função do tempo do ciclo e volume médio do ciclo para o *feller buncher* no sistema de colheita de árvores inteiras.

5.2.1.4. Consumo específico e rendimento energético

O consumo de combustível do trator florestal *feller buncher* foi de $38,0 \text{ L he}^{-1}$, resultando em um consumo específico em torno de $143,0 \text{ g kW}^{-1} \text{ he}^{-1}$, enquanto, o rendimento energético da atividade de corte de madeira foi de $1,6 \text{ g kW}^{-1} \text{ m}^3 \text{cc}$. Apesar do valor de

consumo específico da máquina ter demonstrado aparente ineficiência do motor, o bom rendimento energético pode ser explicado pela sua elevada produtividade.

5.2.1.5. Custos operacionais e de produção

O custo operacional total do trator florestal *feller buncher* foi de R\$ 406,80, sendo que os custos fixos e variáveis corresponderam a 30,5% e 64,5% do custo total, respectivamente.

Na Tabela 12 pode ser verificado que a depreciação contribuiu com 56,6% do custo fixo, gerando um custo por hora de R\$ 70,49, que pode ser explicado pelo elevado valor de aquisição da máquina.

Tabela 12. Custos fixos e variáveis do *feller buncher* no sistema de colheita de árvores inteiras.

Item de Custo		Valor (R\$ he ⁻¹)	Valor parcial (%)	Valor total (%)
Fixo	Depreciação	70,5	56,6	30,5
	Pessoal operacional	33,7	27,1	
	Juros e seguros	20,3	16,3	
Variável	Combustível	63,8	24,2	64,5
	Lubrificantes e graxas	4,4	1,9	
	Óleo hidráulico	4,9	1,9	
	Material rodante	3,0	1,1	
	Manutenção corretiva	182,5	69,4	
	Manutenção preventiva	3,9	1,5	
Administração		19,4		5,0
Total		406,8		100,0

Além do custo de depreciação, o custo de pessoal operacional e juros e seguros resultaram em 27,1% e 16,3% do custo fixo total, respectivamente. Já o custo de pessoal gerou um custo de R\$ 33,71 por hora efetiva de trabalho, enquanto o custo de juros e seguros foi de R\$ 20,26 por hora.

Como pode ser visto, o custo variável total foi de R\$ 263,00 por hora efetiva de trabalho, sendo a manutenção mecânica (69,4%) a responsável pelo maior custo. Esse alto custo pode ser explicado em razão da máquina já estar próxima ao final de sua vida útil, com 17.600 horas de uso, por isso, tem maior demanda de reparos e consertos e, portanto, reforçando a necessidade de avaliação de troca da mesma.

O custo de combustível foi de 24,2%, resultado, principalmente, da ineficiência energética do equipamento em função da sua potência, enquanto o custo do material rodante com R\$ 3,00 do custo por hora efetiva do trabalho. Esse resultado mostra a importância da redução da quantidade de deslocamentos operacionais, pois além de gerar impacto direto na produtividade, também traz aumentos de custos operacionais pelo desgaste prematuro do material rodante.

Na Figura 24 é apresentada a distribuição percentual dos custos em função do custo total operacional. Como pode ser observado, o custo de manutenção mecânica contribuiu com 43% do custo total, seguido pelos custos de depreciação (17%) e combustível (15%).

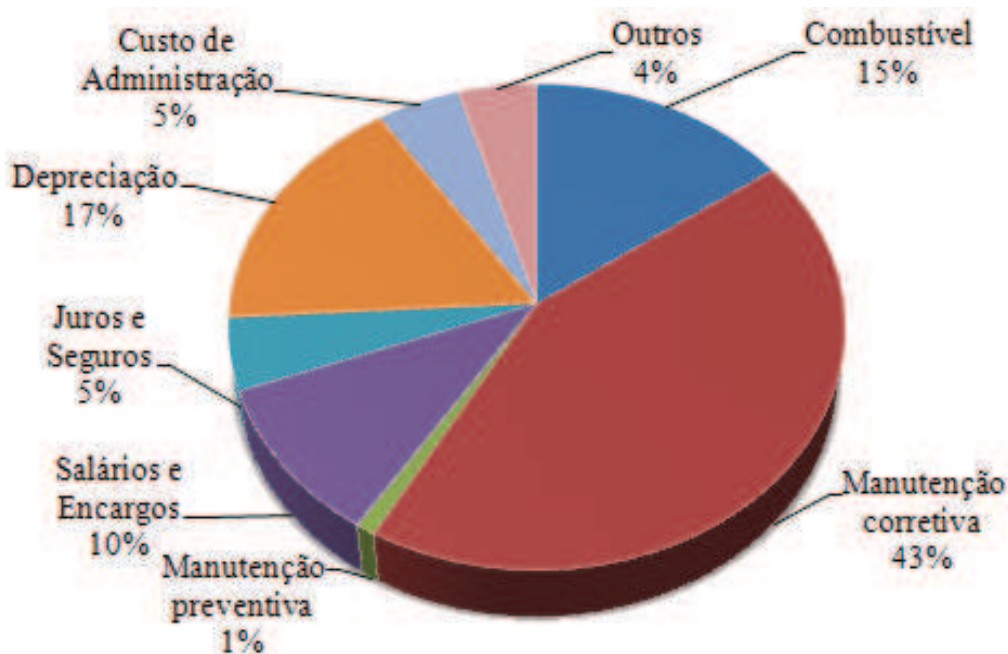


Figura 24. Distribuição percentual dos componentes do custo operacional do *feller buncher* no sistema de colheita de árvores inteiras.

O custo de produção do *feller buncher* foi de R\$ 4,68 por metro cúbico de madeira com casca, estando acima do valor encontrado por Pereira (2010) em florestas de *Pinus* que foi de 2,38 R\$ m⁻³cc, e abaixo do valor encontrado por Rocha *et al.* (2009) que foi de 10,32 R\$ m⁻³cc.

5.2.2. Análise operacional e de custos do trator florestal *skidder*

5.2.2.1. Elementos do ciclo operacional

Na Figura 25 é ilustrada a distribuição percentual do ciclo operacional do trator florestal *skidder* na operação de extração de madeira. Como pode ser visto, o elemento viagem carregado consumiu o maior tempo do ciclo operacional (29%), seguido das interrupções (27%), enquanto o carregamento, viagem vazio e descarregamento consumiram 15%, 13% e 16%, respectivamente.

É importante ressaltar que ao contrário do trator florestal *forwarder* no sistema de toras longas, que passa a maior parte do tempo de forma passiva no carregamento e descarregamento, o *skidder* passa a maior parte do ciclo operacional de forma ativa, ou seja, em viagem carregado e vazio. Tal comportamento e resultado estão relatados na literatura por diversos autores, KLUENDER *et al.*, 1997; BIRRO *et al.*, 2002; AKAY *et al.*, 2004; OLIVEIRA *et al.*, 2006; LOPES, 2007; BEHJOU *et al.*, 2008; FIEDLER *et al.*, 2008; LOPES *et al.*, 2009; PEREIRA, 2011), que também justificaram este resultado devido às condições da trilha de extração, relevo, presença de obstáculos como tocos e sub-bosque, dentre outros e, além da influência da distância de extração.

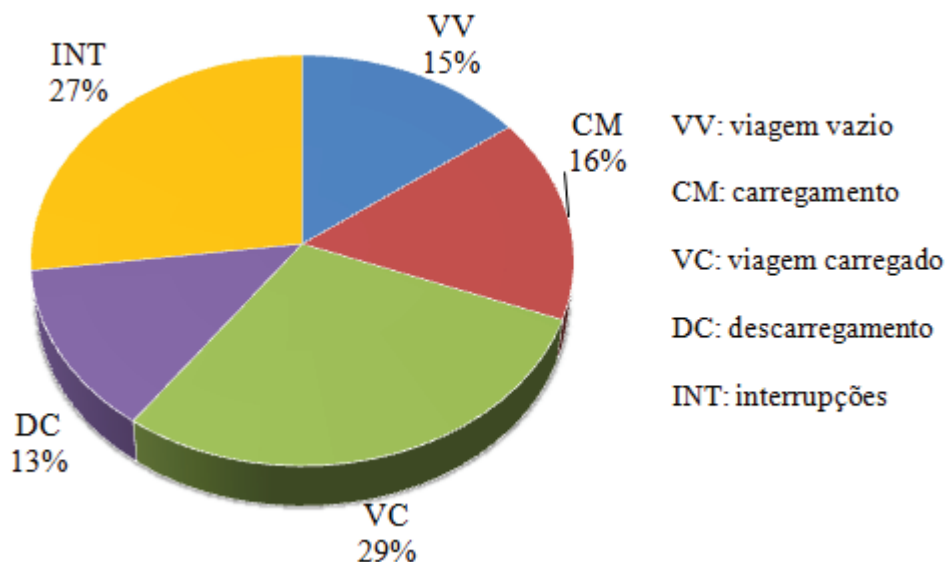


Figura 25. Distribuição percentual do ciclo operacional do *skidder* no sistema de colheita de árvores inteiras.

Após desconsiderarmos as interrupções, observa-se a maior participação do elemento viagem carregado na composição do tempo efetivo do ciclo operacional do *skidder* (Figura 26).

Os elementos carregamento e descarregamento tiveram juntos, uma menor participação relativa no tempo total do ciclo, na ordem de 22 e 18%, respectivamente.

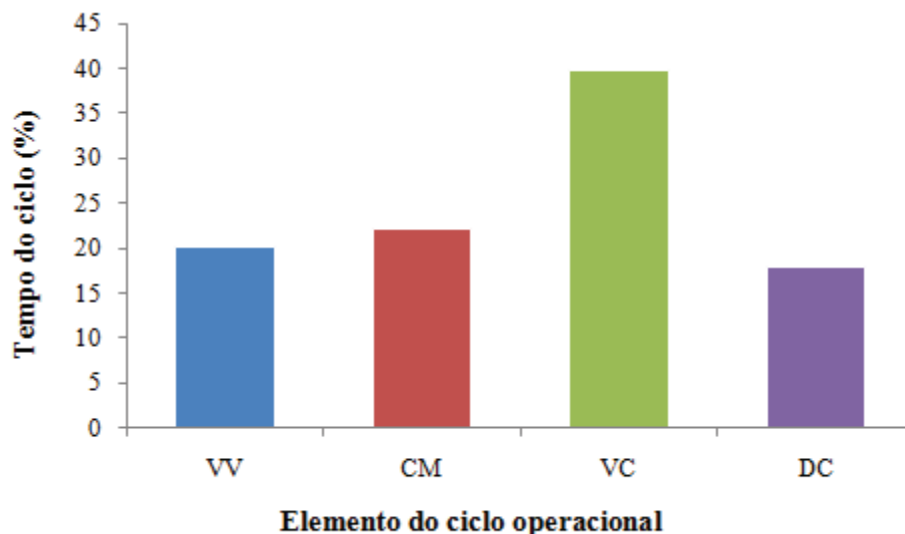


Figura 26. Distribuição dos tempos percentuais efetivos do skidder no sistema de colheita de árvores inteiras. VV: viagem vazio; CM: carregamento; VC: viagem carregado; DC: descarregamento.

Além disso, deve-se enfatizar que o elevado tempo do elemento carregamento está relacionado com a disposição dos feixes de árvores formados pelo *feller buncher*, onde muitas vezes não possuía um volume compatível com a garra do *skidder*. Por isso, no momento do arraste, a máquina necessitava juntar os feixes de árvores acarretando em um maior tempo de manobras.

As interrupções, que representaram 27% do tempo efetivo total do ciclo da máquina (Figura 27), ocorreram, principalmente, em função de paradas para manutenção corretiva (33%), semelhante ao relatado por Fiedler *et al.* (2008) e Rocha *et al.* (2009).

A segunda causa do elevado tempo de interrupções ocorreram em função de paradas para manutenção preventiva (27%). Porém, deve-se destacar que a manutenção preventiva, embora em determinados períodos consuma parte significativa do tempo da máquina, é

importante e necessária, pois, visa antecipar e prevenir maiores problemas mecânicos futuros, acarretando, conseqüentemente, na redução de custos e maior produtividade, diferentemente da manutenção corretiva, que é imprevisível e onerosa.

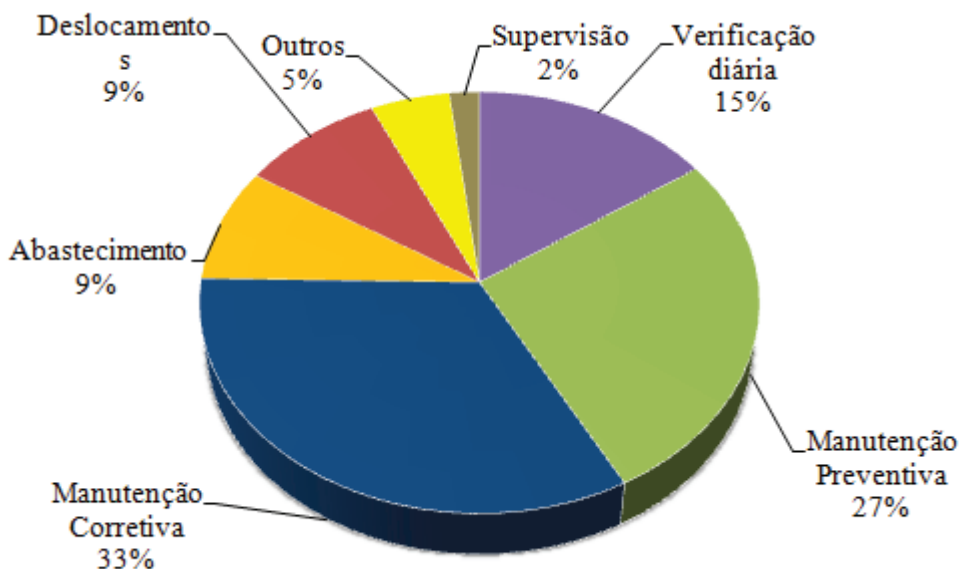


Figura 27. Distribuição percentual das interrupções do *skidder* no sistema de colheita de árvores inteiras

A verificação diária foi responsável por 15% das paradas *skidder*, sendo uma ação considerada padrão para a segurança do trabalho em muitas empresas. Entretanto, observou-se que na área estudada, tal ação às vezes não era realizada diariamente e não tinha um tempo estipulado para sua realização, situação que poderá comprometer a segurança e a operação da máquina no futuro.

Por fim, mesmo o *skidder* desenvolvendo uma velocidade média de deslocamento maior em relação às demais máquinas, ficou evidente a quantidade elevada de deslocamentos ocasionada na atividade extração da madeira, comprometendo 9% das interrupções.

Na Figura 28 é apresentado os tempos efetivos médios (minutos) de cada elemento do ciclo operacional do trator florestal *skidder*. O tempo de carregamento tendeu a aumentar com a distância de extração, como também ocorreu para o *forwarder*. Tal resultado pode explicado pela necessidade de otimizar a carga de madeira arrastada, de modo que a máquina possa transportar o máximo volume possível em cada ciclo operacional.

Pelos resultados obtidos, ficou evidente a influência da distância de extração no tempo dos elementos viagem vazio e viagem carregado, afetando diretamente a produtividade da máquina. Observa-se que a soma do percentual do tempo de viagem vazio mais viagem carregado (60%) variou na composição do ciclo operacional em função da distância. Nas primeiras duas classes de distância a soma dos dois elementos foi em torno de 52% do ciclo operacional, enquanto nas duas últimas classes a média foi em torno de 71% do tempo total do ciclo operacional do trator florestal *skidder*.

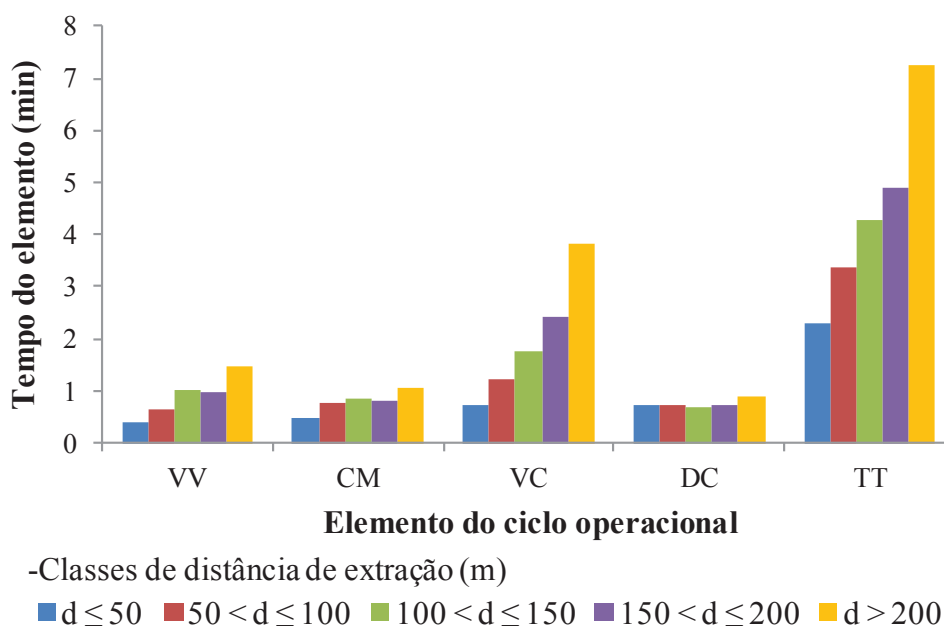


Figura 28. Tempos médios consumidos pelo skidder no sistema de colheita de árvores inteiras nas diferentes classes de distância de extração; VV: viagem vazio; CM: carregamento; VC: viagem carregado; DC: descarregamento e; TT: tempo total do ciclo.

Além disso, a distância de extração também influenciou o tempo médio de carregamento, pois muitas vezes, o *skidder* tentava otimizar a capacidade de carga da garra nas maiores distâncias de extração, enquanto no descarregamento, a distância de extração não apresentou influência no tempo requerido.

Na Tabela 13 é apresentado o tempo médio (em minutos) dos elementos do ciclo operacional do *skidder* nas diferentes classes de distância de extração.

De modo geral, os tempos elementos viagem vazio e carregado apresentaram diferenças significativas entre todas as distâncias de extração avaliadas. Já o tempo do elemento carregamento não apresentou diferença significativa entre as maiores e menores

classes de distância de extração. Para o elemento descarregamento, verificou-se que não houve diferença significativa no tempo entre as distâncias de extração. Por fim, o tempo total efetivo do ciclo, como consequência dos itens anteriores, exceto descarregamento, foi influenciado significativamente devido à distância de extração.

Tabela 13. Tempo médio (minutos) dos elementos do ciclo operacional do *skidder* no sistema de colheita de árvores inteiras nas diferentes classes de distância de extração.

Elemento	Classe de distância de extração (m)					Média
	$d \leq 50$	$50 < d \leq 100$	$100 < d \leq 150$	$150 < d \leq 200$	$d > 200$	
VV	0,41 d	0,65 c	1,00 b	0,97 b	1,45 a	0,90
CM	0,46 c	0,77 b	0,85 ab	0,79 ab	1,07 a	0,79
VC	0,71 e	1,23 d	1,74 c	2,42 b	3,83 a	1,99
DC	0,71 a	0,74 a	0,68 a	0,72 a	0,90 a	0,75
TT	2,29 e	3,39 d	4,27 c	4,91 b	7,26 a	4,42

Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância; VV: viagem vazio; CM: carregamento; VC: viagem carregado; DC: descarregamento e; TT: tempo efetivo total do ciclo.

Portanto, tal resultado comprova a influência da variável distância de extração nos tempos do ciclo operacional do *skidder*, especificamente em relação aos tempos de viagem vazio e carregado e carregamento, afetando, conseqüentemente, a produtividade da máquina e os custos de produção.

5.2.2.2. Disponibilidade mecânica e técnica, eficiência operacional e produtividade

As disponibilidades mecânicas e técnicas do *skidder* foram em média de 83,8%, e 89,2% respectivamente. A baixa disponibilidade mecânica pode ser atribuída ao elevado tempo consumido com interrupções para realização das manutenções corretiva e preventiva (Figura 24), estando abaixo do valor encontrado por Fiedler *et al.* (2008), Rocha *et al.* (2009) e Pereira (2011), que obtiveram valores próximos a 90%.

A eficiência operacional média foi 73%, estando acima de 70% que é recomendado por Machado (1989), entretanto, encontrando-se próximo aos resultados de Fiedler *et al.* (2008) e Rocha *et al.* (2009), e acima do resultado de Pereira (2011), que foi de 58%.

Pelos resultados obtidos, ficou evidente que a distância de extração influenciou diretamente a produtividade média por hora efetiva de trabalho do *skidder*, uma vez que quanto maior foi a distância de extração, menor foi a produtividade da máquina (Figura 29), entrando concordância com Birro *et al.* (2002), Akay *et al.* (2004), Oliveira *et al.* (2006), Lopes (2007), Behjou *et al.* (2008), Fiedler *et al.* (2008), Lopes *et al.* (2009), Rocha *et al.* (2009) e Pereira (2011).

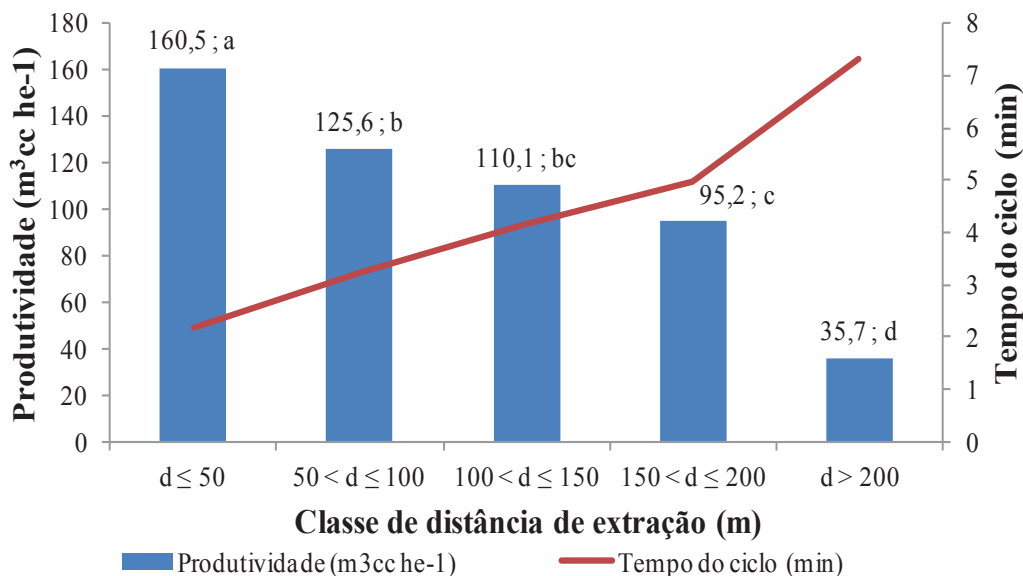


Figura 29. Produtividade efetiva e tempo do ciclo operacional do *skidder* no sistema de colheita de árvores inteiras em função de diferentes classes de extração. Barras verticais com médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Analisando estatisticamente os valores médios de produtividade efetiva nas diferentes classes de distância de extração, verifica-se que houve diferença significativa em relação a praticamente todas as distâncias de extração. Pode ser verificado que, a produtividade da maior classe de distância foi 78% inferior à produtividade da menor classe de distância. Tal fato deve-se, principalmente, ao aumento de 235% no tempo total do ciclo operacional para a maior classe de distância, mostrando haver grande sensibilidade da produtividade em relação à distância de extração.

5.2.2.3. Estimativa da produtividade

Por meio da estatística descritiva das variáveis de produtividade (PROD), distância de extração (DE), volume médio por ciclo (VMC) e tempo médio do ciclo (TMC) (Tabela 14),

verifica-se que todas as variáveis apresentaram coeficiente de variação muito alto, conforme Gomes e Garcia (2002), e grande amplitude de valores.

Tabela 14. Estatística descritiva para as variáveis de produtividade (PROD), distância de extração (DE), volume médio por ciclo (VMC) e tempo médio do ciclo (TMC) do *skidder* no sistema de árvores inteiras.

Variável	Média	Desvio padrão	CV (%)	Mediana	Máximo	Mínimo
PROD ($\text{m}^3\text{cc he}^{-1}$)	105,41	53,68	50,92	110,17	368,67	23,77
DE (m)	124,82	57,62	46,16	100,00	250,00	50,00
VMC (m^3cc)	8,93	2,96	33,13	8,76	17,24	2,90
TMC (min)	4,42	1,58	35,79	3,57	8,70	0,67

CV: coeficiente de variação.

No caso da PROD, a variação deveu-se em função da influência da DE (Figura 30). A variação da DE foi intrínseca à operação. Para o TMC, da mesma forma que ocorreu para a PROD, variou em função da DE. Enquanto para o VMC, sua amplitude e variação de valores também ocorreu em função de que nas maiores distância de extração, tenha havido a necessidade de otimizar a carga arrastada, em semelhança ao discutido para o *forwarder*.

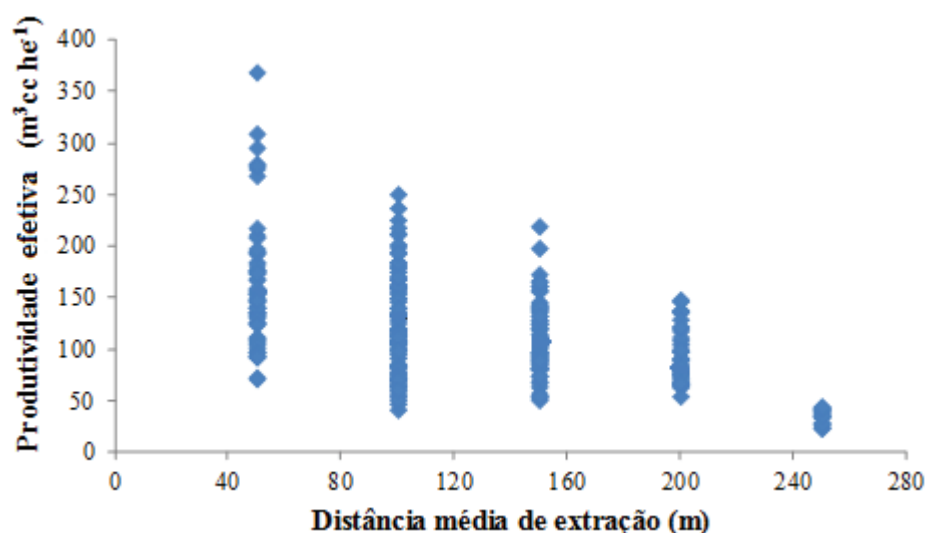


Figura 30. Variação da produtividade efetiva do *skidder* em função da distância de extração.

Como pode ser observado na equação 25, as três variáveis independentes utilizadas na análise, explicaram por meio da equação de regressão em torno de 82% da variação da produtividade do *skidder*, com um erro padrão da estimativa absoluto de 31,88 m³cc he⁻¹ e percentual de 30,24, sendo considerado alto. Pereira (2011) encontrou resultados semelhantes utilizando as mesmas variáveis para explicar a variação da produtividade, enquanto Fiedler *et al.* (2008) relataram que utilizando somente as variáveis DE e VMC, houve a explicação da variação de 58% da produtividade.

Sendo assim, com os valores obtidos, ajustou-se um modelo de regressão linear múltipla para estimativa da produtividade efetiva do *skidder*, que resultou na seguinte equação:

$$\text{PROD} = 170,1900 - 0,1016 \text{ DE} + 14,4845 \text{ VMC} - 35,1380 \text{ TMC} \quad (25)$$

$$R^2 = 0,82; \text{Syx} = 31,88 \text{ m}^3\text{cc he}^{-1}; \text{Syx}\% = 30,24$$

em que: *PROD* = produtividade efetiva estimada (m³cc he⁻¹); *DE*: distância de extração (m); *VMC* = volume médio do ciclo (m³cc); *TMC* = tempo médio do ciclo operacional (min); *R*² = coeficiente de determinação; *Syx* = erro padrão da estimativa absoluto (m³cc he⁻¹) e; *Syx*% = erro padrão da estimativa percentual (%).

Para a aplicação da equação, da mesma forma que para o *forwarder* do sistema de toras longas, optou-se por utilizar as variáveis TMC e VMC, adotando três situações de DE: 50 m (Figura 31), 150 m (Figura 32) e 250 m (Figura 33).

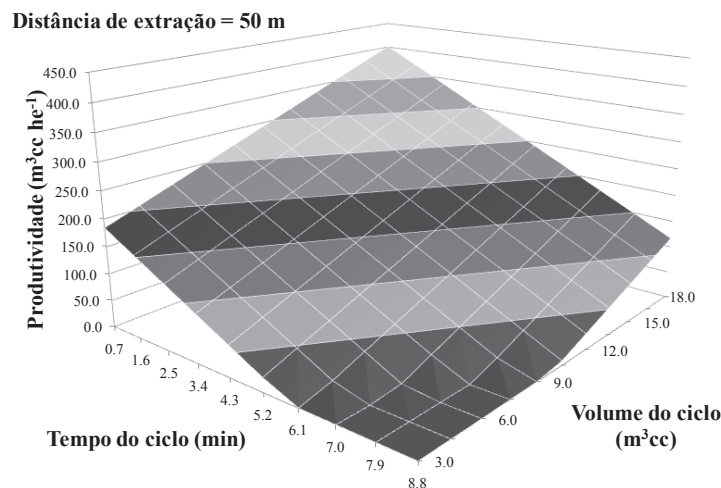


Figura 31. Variação da produtividade estimada em função do tempo do ciclo e volume médio do ciclo para o *skidder* no sistema de colheita de árvores inteiras para uma distância de extração de 50 m.

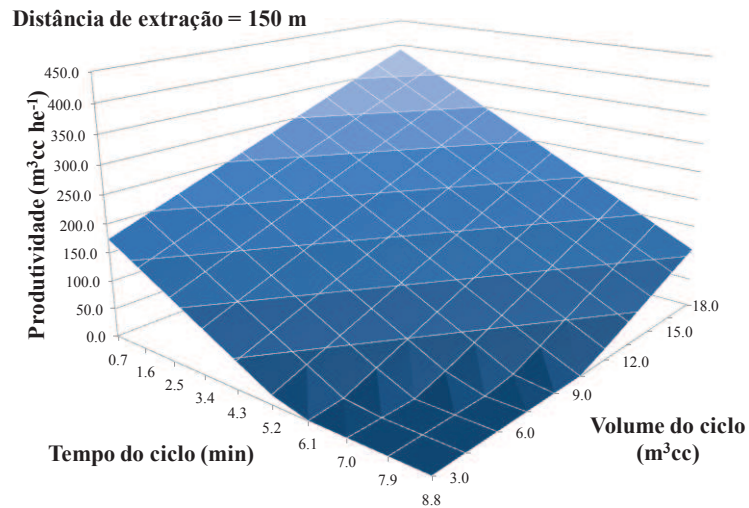


Figura 32. Variação da produtividade estimada em função do tempo do ciclo e volume médio do ciclo para o *skidder* no sistema de colheita de árvores inteiras para uma distância de extração de 150 m.

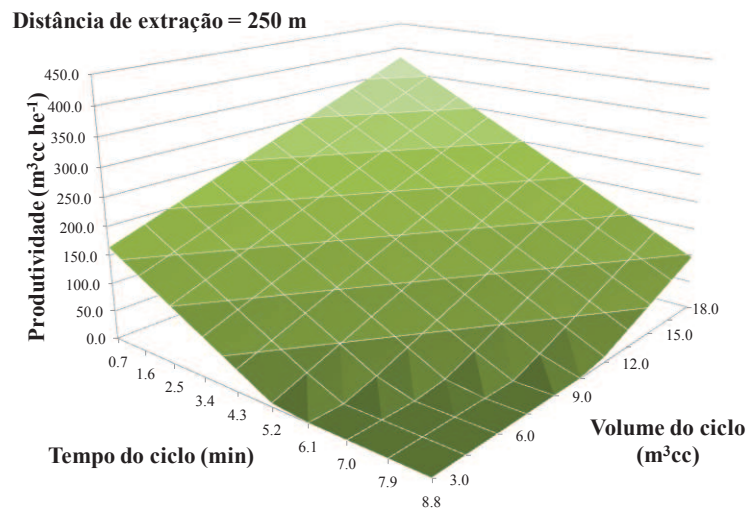


Figura 33. Variação da produtividade estimada em função do tempo do ciclo e volume médio do ciclo para o *skidder* no sistema de colheita de árvores inteiras para uma distância de extração de 250 m.

Observa-se que com o aumento do tempo do ciclo operacional e diminuição do volume arrastado, a produtividade diminuiu acentuadamente, o que ocorreu em maior magnitude quanto maior foi a distância de extração.

Em geral, deve-se ter cautela no emprego da equação ajustada para estimativa da produtividade do *skidder*, pois, embora o R^2 tenha sido alto, o Syx e $Syx\%$ foram altos, portanto, seu uso deve ser realizado somente para as condições estudadas.

5.2.2.4. Consumo específico e rendimento energético

O consumo de combustível realizado pelo trator florestal *skidder* foi de 32,0 L he^{-1} , resultando em um elevado consumo específico (151,8 g $kW^{-1} he^{-1}$), enquanto, o rendimento energético da atividade de extração de madeira foi de 1,3 g $kW^{-1} m^3cc$. Apesar do elevado consumo específico da máquina, ocasionado principalmente do uso do motor em alta rotação na maior parte do tempo, o bom rendimento energético pode ser explicado pela alta produtividade na execução da atividade.

5.2.2.5. Custos operacionais e de produção

Na Tabela 15 são apresentados os custos operacionais do trator florestal *skidder*. Como pode ser visto, o custo operacional foi de R\$ 281,30 por hora efetiva, sendo que os custos fixos corresponderam por 32,2% do custo operacional, os custos variáveis representaram 62,8% custo do total e os custos de administração chegaram a 5,0% do custo total operacional.

É possível notar que o custo de depreciação (55,7%) foi o que mais contribuiu na composição do custo fixo, justificado pelo alto valor de aquisição da máquina. Dentro do custo fixo, o custo de pessoal operacional e os juros e seguros, corresponderam juntos a 44,3% do custo fixo total.

Em relação ao custo variável, os custos com maiores impactos foram de manutenção corretiva (49,7%) e combustível (30,7%), gerando um custo total de R\$ 142,40 por hora efetiva de trabalho. Já o custo de manutenção corretiva pode ser explicado em função da alta quantidade de horas trabalhadas pela máquina, sendo recomendada a sua substituição em razão do mesmo estar próxima ao final de sua vida útil, com 19.900 horas de uso.

O elevado custo de combustível pode ser explicado em razão da maior potência do *skidder* e pelo fato da atividade de extração ser realizada de forma ativa, ou seja, com a máquina em viagem vazio ou carregado a maior parte do tempo, sendo necessário a utilização de alta rotação do motor, gerando maior consumo de combustível.

Tabela 15. Custos fixos e variáveis do *skidder* do sistema de colheita de árvores inteiras.

Item de Custo		Valor (R\$ he ⁻¹)	Valor parcial (%)	Valor total (%)
Fixo	Depreciação	50,6	55,7	32,2
	Pessoal operacional	26,9	29,5	
	Juros e seguros	13,4	14,7	
Variável	Combustível	54,4	30,7	62,8
	Lubrificantes e graxas	4,1	2,3	
	Óleo hidráulico	4,1	2,3	
	Material rodante	21,8	12,3	
	Manutenção corretiva	88,0	49,7	
	Manutenção preventiva	4,7	2,7	
Administração		13,4		5,0
Total		281,3		100,0

Outro custo operacional que pode ser destacado é o com material rodante (pneus), que ficou em torno de R\$ 21,80 por hora efetiva de trabalho, representando 12,3% do custo operacional variável. Este valor pode ser explicado pela alta quantidade de tocos e obstáculos durante a atividade de extração, resultando no desgaste prematuro dos pneus.

É importante destacar que muitas empresas têm utilizado correntes ou semiesteiras nos pneus, na busca de minimizar o seu desgaste e para obtenção de maior desempenho devido à redução de patinação dado à maior aderência dos pneus com o solo, resultando em maior produtividade e redução dos custos de produção.

Analisando a participação relativa dos componentes do custo operacional (Figura 34), verifica-se que a manutenção corretiva contribuiu de forma significativa no custo operacional do *skidder* (30%). Por isso, enfatiza-se a necessidade de intervenções com vistas a reduzir as práticas de manutenção corretiva, pois, embora sejam de difícil controle devido à imprevisibilidade, oneram consideravelmente os custos operacionais, comparado à manutenção preventiva, além de reduzir a eficiência operacional das máquinas.

O gasto com consumo de combustível (18%) e depreciação (17%) foram os outros componentes que mais contribuíram com o custo da operação do *skidder*, resultado também relatado por Pereira (2011). Os custos com lubrificantes, graxas, óleo hidráulico, manutenção de material rodante, refeições e transporte de funcionários representaram, por fim, outros custos operacionais, que contribuíram com 12% do custo total de operação da máquina.

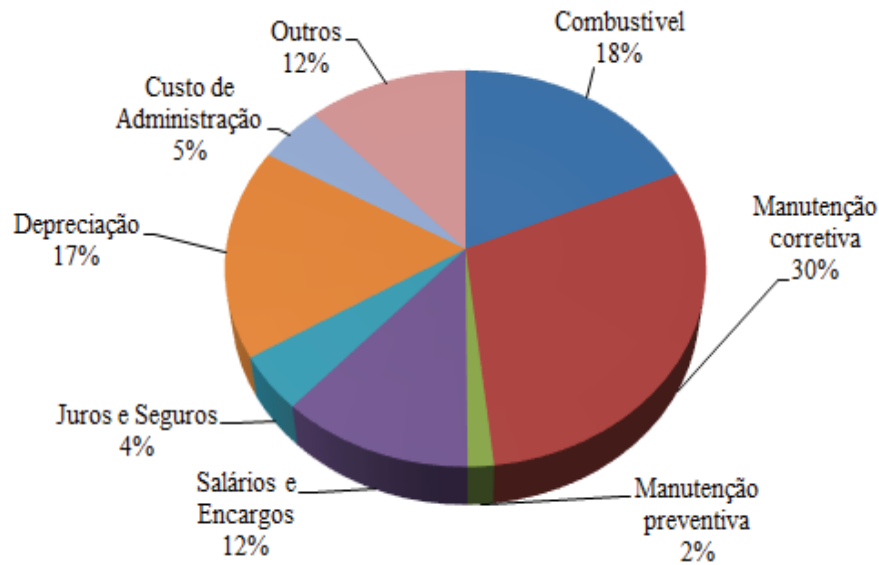


Figura 34. Distribuição percentual dos componentes do custo operacional do *skidder* no sistema de colheita de árvores inteiras.

O custo médio de produção *skidder* foi de R\$ 2,36 por metro cúbico de madeira com casca, estando abaixo do valor encontrado por Rocha *et al.* (2009) que em média foi de 4,29 R\$ m⁻³cc, e também abaixo do valor relatado por Pereira (2011) que foi em média de 4,57 R\$ m⁻³cc. No entanto, o custo de produção, em semelhança ao *forwarder* do sistema de toras longas, também foi influenciado pela produtividade, que por sua vez, variou em função da distância de extração (Figura 35).

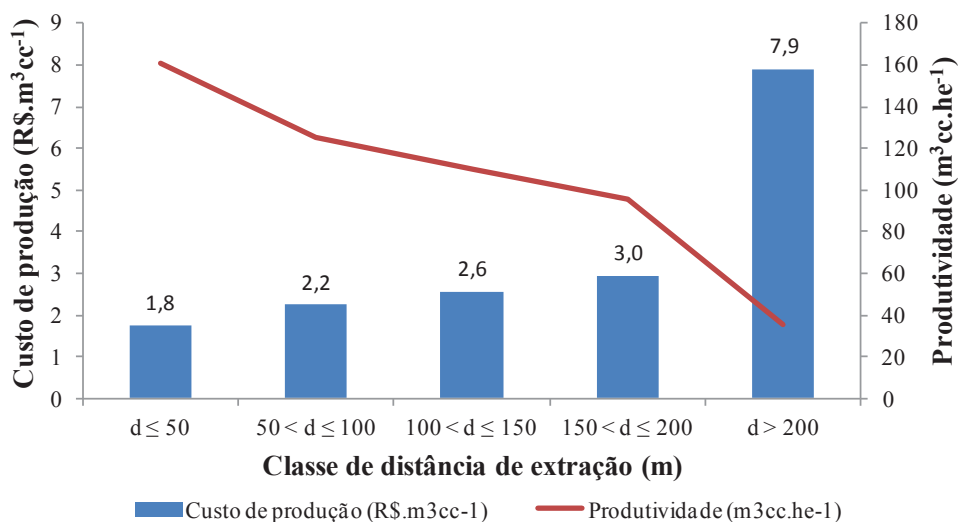


Figura 35. Custo de produção e produtividade do *skidder* no sistema de colheita de árvores inteiras em função da distância de extração.

Verifica-se que na maior classe de distância o custo de produção foi cerca de 330% superior comparado à menor classe de distância de extração, mostrando, portanto, a importância da busca de estratégias visando minimizar os tempos improdutivos para o aumento da produtividade e redução de custos de produção. Nesse sentido sugere-se um planejamento operacional eficiente que tenha como objetivo a diminuição da distância de extração nesse sistema de extração de madeira.

5.2.3. Análise operacional e de custos do Processador Florestal *harvester*

5.2.3.1. Elementos do ciclo operacional

Na Figura 36 é apresentada a distribuição percentual dos elementos do ciclo operacional do processador *harvester* na operação de processamento da madeira.

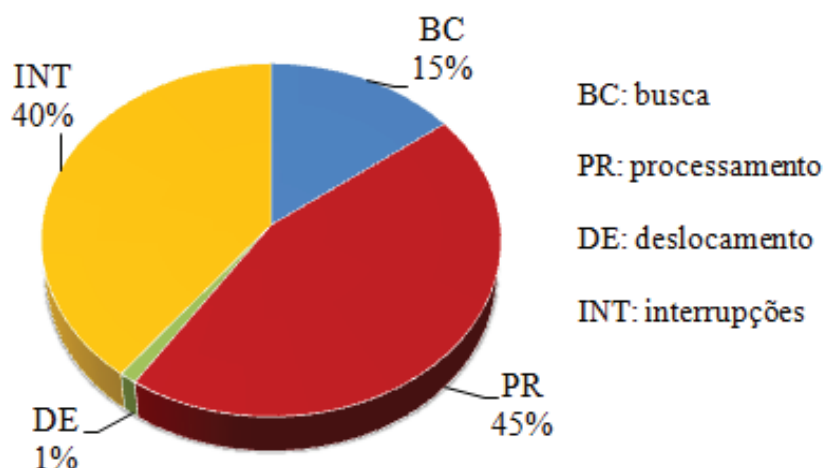


Figura 36. Distribuição percentual do ciclo operacional do Processador Florestal *harvester* no sistema de colheita de árvores inteiras.

Verifica-se que o processamento (45%), seguido das interrupções (40%) foram os elementos que mais demandaram tempo do ciclo operacional. O elemento busca junto ao deslocamento representaram em torno de 15% do tempo total.

Durante a realização do estudo, houve variação do percentual do ciclo operacional em função do volume médio individual das árvores, onde se observou que, quanto maior o volume individual, menor foi o tempo de processamento e maior o tempo de deslocamento da

máquina. Já o elemento busca não sofreu alteração em função do volume médio individual. Tal resultado pode ser explicado pelo fator de empilhamento e altura das pilhas de madeira, onde quanto maior foi o volume individual, mais rápido a máquina executava o processamento das árvores e movimentava-se para iniciar nova alimentação do cabeçote processador. Além disso, devido ao tamanho do cabeçote da máquina, houve maior dificuldade do processamento de árvores de menor dimensão, mostrando a necessidade da empresa buscar no mercado outra opção de cabeçote compatível com o menor volume médio individual das árvores.

A figura 37 apresenta o percentual de cada elemento do ciclo operacional retirando-se as interrupções.

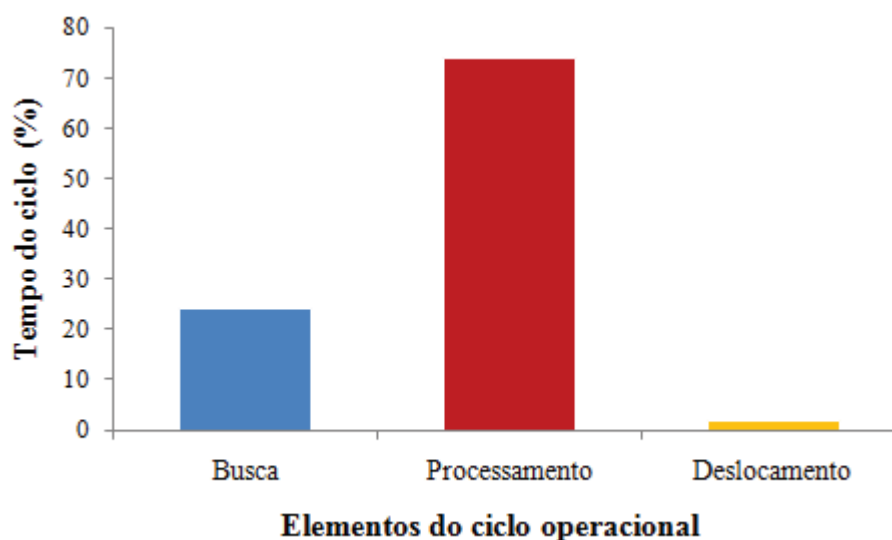


Figura 37. Distribuição dos tempos percentuais efetivos do Processador Florestal *harvester* no sistema de colheita de árvores inteiras.

Ao analisar a distribuição dos tempos efetivos do ciclo operacional do processador *harvester* (Figura 37), nota-se que em torno de 75% do tempo do ciclo foi utilizado para processar árvores, em média 0,37 minutos por árvore, enquanto em torno de 25% do tempo foi despendido na busca de árvores das pilhas de madeira, com tempo médio de 0,12 minutos (Anexo 3). Já os deslocamentos ocuparam apenas 2% do tempo total, sendo um resultado

esperado dado à característica da operação, onde normalmente a máquina executa o trabalho de forma estacionário a margem do talhão (PEREIRA, 2011).

Na distribuição dos tempos das interrupções (Figura 38), percebe-se novamente que as manutenções da máquina foram as maiores responsáveis pelas paradas, representando quase metade do tempo total das interrupções. Como pode ser visto, a maior parte da manutenção mecânica foi causada pela manutenção do sistema de corte da máquina, principalmente relacionado com as constantes trocas de correntes e sabres, seguido pelas trocas das mangueiras do sistema hidráulico do implemento.

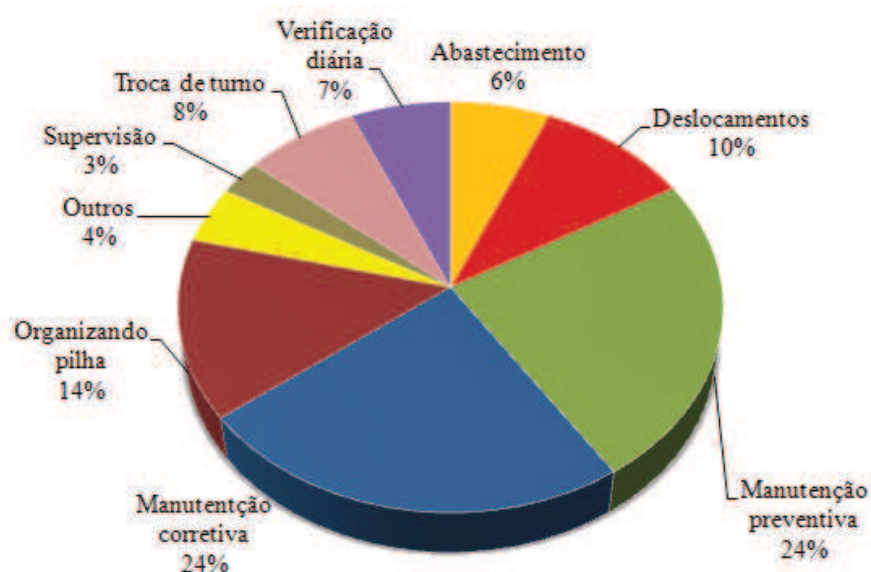


Figura 38. Distribuição percentual das interrupções do Processador Florestal *harvester* no sistema de colheita de árvores inteiras.

A organização das pilhas de madeira na margem do talhão (14%) e os deslocamentos da máquina (10%) também tiveram influência e causaram interrupções da operação. Foi possível notar que a organização das pilhas ocorria devido de necessidade de facilitar a operação subsequente de carregamento das toras para realização do transporte principal.

Em relação aos deslocamentos, verificou-se que tal interrupção ocorreu devido a alteração de local de processamento em função da necessidade de organização e formação de pilhas.

5.2.3.2. Disponibilidade mecânica e técnica, eficiência operacional e produtividade

A disponibilidade mecânica e técnica da máquina foi de 80,8% e 79,5%, respectivamente, acarretando em uma eficiência operacional média de 60,5%, ficando abaixo do valor de 70% recomendado por Machado (1989). Fato que de modo semelhante às outras máquinas, foi devido às frequentes interrupções da operação para realização de reparos e manutenções. Os resultados ficaram próximos aos citados por Pereira (2011), embora no estudo do autor o volume médio individual do povoamento tenha sido superior ao do presente estudo.

Para o processador *harvester*, a produtividade média por hora efetiva de trabalho foi de 33,6 m³cc, sendo que o baixo valor encontrado pode ser atribuído à baixa eficiência operacional.

5.2.3.3. Estimativa da produtividade

Todas as variáveis do processador *harvester* dispostas na Tabela 16 apresentaram coeficiente de variação considerado muito alto, conforme Gomes e Garcia (2002), tendo também grande amplitude de valores.

Tabela 16. Estatística descritiva para as variáveis de produtividade efetiva (PROD), volume individual (VID) e tempo de processamento individual (TPI) do Processador Florestal *harvester* no sistema de colheita de árvores inteiras.

Variável	Média	Desvio padrão	CV (%)	Mediana	Máximo	Mínimo
PROD (m ³ cc he ⁻¹)	33,58	16,72	49,80	30,47	234,42	7,09
VID (m ³ cc)	0,41	0,17	40,43	0,35	1,60	0,29
TPI (min)	0,49	0,17	34,52	0,37	1,62	0,13

CV: coeficiente de variação.

Em semelhança ao ocorrido para o trator *feller buncher*, também verificou-se que a produtividade da máquina foi influenciada, principalmente, pelo volume médio individual do ciclo, pois esta tendeu a aumentar em função de quanto maior foi o volume médio das árvores processadas por ciclo (Figura 39).

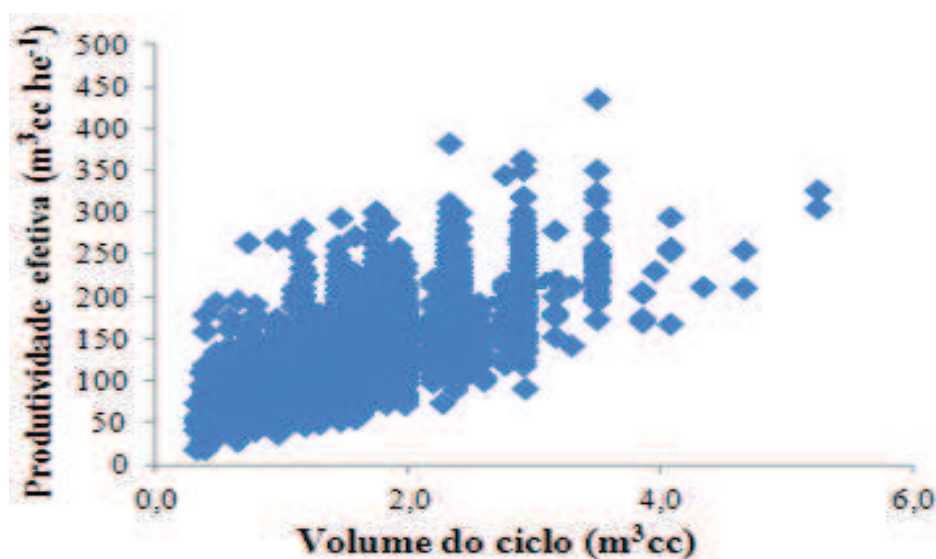


Figura 39. Variação da produtividade efetiva do Processador Florestal *harvester* em função do volume médio individual do ciclo.

Com os valores das variáveis anteriormente apresentadas, ajustou-se um modelo de regressão linear múltipla derivando seguinte na equação para estimativa da produtividade efetiva da máquina:

$$\text{PROD} = 50,371 - 1,512 \text{ TPI (60)} + 120,492 \text{ VID} \quad (26)$$

$$R^2 = 0,88; \text{ Syx} = 9,44 \text{ m}^3\text{cc he}^{-1}; \text{ Syx}\% = 28,11$$

em que: *PROD* = produtividade efetiva estimada ($\text{m}^3\text{cc he}^{-1}$); *VID* = volume médio individual do ciclo (m^3cc); *TPI* = tempo de processamento individual (min); R^2 = coeficiente de determinação; *Syx* = erro padrão da estimativa absoluto ($\text{m}^3\text{cc he}^{-1}$) e; *Syx%* = erro padrão da estimativa percentual (%).

A variação da produtividade do processador *harvester* pode ser explicada em torno de 88% pelas variáveis independentes *TPI* e *VID*, embora o *Syx* e o *Syx%* tenham apresentado valores considerados elevados. E em semelhança às máquinas anteriores, o aumento do tempo do processamento e diminuição do volume individual, conduz a diminuição da produtividade, sendo que ao contrário, com a redução do *TPI* e aumento da *VID*, a produtividade aumenta (Figura 40).

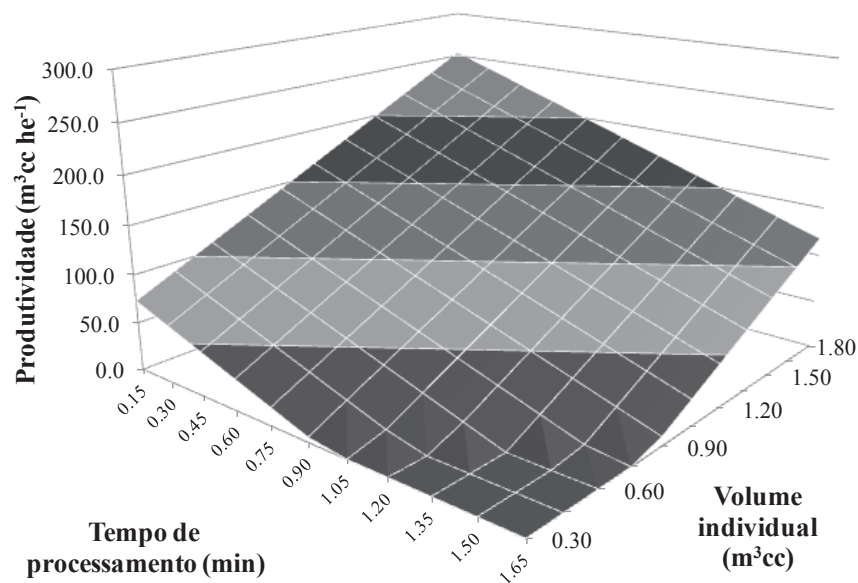


Figura 40. Variação da produtividade estimada em função do tempo de processamento individual e volume individual para o Processador Florestal *harvester* no sistema de colheita de árvores inteiras.

5.2.3.4. Consumo específico e rendimento energético

O consumo de combustível do processador *harvester* foi de 30,0 L he⁻¹, resultando em um consumo específico de 117,0 g kW⁻¹ he⁻¹, enquanto, o rendimento energético da operação de processamento foi considerado elevado, com valor em torno de 3,5 g kW⁻¹ m³cc. O consumo específico da máquina foi considerado satisfatório, podendo tal resultado ser explicado pela potência nominal, onde na operação de processamento da madeira, a máquina não utilizou o motor em alta rotação, gerando assim, um baixo consumo horário de combustível. Já o baixo rendimento energético foi afetado pela baixa produtividade na execução da operação.

5.2.3.5. Custos operacionais e de produção

Os custos fixos corresponderam a 42,0% do custo operacional (Tabela 17), enquanto os custos variáveis contribuíram com 53,0%, e o custo de administração ficou em torno de 5,0 % do custo total.

Tabela 17. Custos fixos e variáveis do Processador Florestal *harvester* no sistema de árvores inteiras.

Item de Custo		Valor (R\$ he ⁻¹)	Valor parcial (%)	Valor total (%)
Fixo	Depreciação	60,4	57,6	42,0
	Pessoal operacional	17,6	29,4	
	Juros e seguros	13,7	13,0	
Variável	Combustível	51,0	38,7	53,0
	Lubrificantes e graxas	6,7	5,1	
	Óleo hidráulico	6,7	5,1	
	Material rodante	3,0	2,3	
	Manutenção corretiva	60,0	45,6	
	Manutenção preventiva	4,3	3,3	
Administração		11,8		5,0
Total		235,1		100,0

Com a soma de todos os custos da máquina, obteve-se um custo operacional total para o processador *harvester* de R\$ 235,10 por hora efetiva de trabalho (Tabela 17).

Os custos com manutenção corretiva, depreciação e combustível foram aqueles que mais contribuíram com o custo operacional do processador *harvester* (Figura 41). Por isso, percebe-se que dentre tais custos, o único passível de redução imediata é a manutenção corretiva, embora com dificuldade devido à elevada vida útil da máquina, que estava com 10.600 horas de trabalho.



Figura 41. Distribuição percentual dos componentes do custo operacional do Processador Florestal *harvester* no sistema de colheita de árvores inteiras.

Sendo assim, obteve-se um custo de produção na operação de processamento da madeira com o processador *harvester* de R\$ 7,00 por metro cúbico de madeira com casca, estando acima do valor encontrado por Pereira (2011) que foi de 5,25 R\$ m⁻³cc e também sendo a máquina de maior custo de produção em comparação com as outras que compõe o sistema de colheita de árvores inteiras.

5.3. Disponibilidade mecânica e técnica, eficiência operacional, consumo de específico de combustível, rendimento energético, produtividade e custos dos sistemas de colheita de madeira

Na Tabela 18 são apresentados os resultados referentes à disponibilidade mecânica e técnica e a eficiência operacional para as máquinas componentes de ambos os sistemas de colheita da madeira.

Tabela 18. Disponibilidade mecânica, disponibilidade técnica e eficiência operacional das máquinas componentes dos sistemas de colheita de madeira avaliados.

Máquina	Disponibilidade mecânica (%)	Disponibilidade técnica (%)	Eficiência operacional (%)
Sistema de colheita de toras longas			
<i>Harvester</i>	80,1	84,0	64,1
<i>Forwarder</i>	91,2	83,9	74,0
Sistema de colheita de árvores inteiras			
<i>Feller Buncher</i>	93,0	74,8	67,8
<i>Skidder</i>	83,8	89,2	73,0
Processador <i>Harvester</i>	81,0	79,5	60,5

Verifica-se que no sistema de colheita de toras longas, o *forwarder* apresentou disponibilidade mecânica e eficiência operacional superior ao *harvester*. Enquanto no sistema de colheita de árvores inteiras, o *feller buncher* apresentou a maior disponibilidade mecânica, contudo, o *skidder* apresentou a maior disponibilidade técnica e eficiência operacional dentre as máquinas componentes deste sistema.

Em geral, os referidos atributos técnicos não diferiram consideravelmente entre os sistemas de colheita, sendo que somente as máquinas que realizam a operação de extração obtiveram eficiência operacional acima de 70%, que é o mínimo recomendado por Machado (1989). Esses resultados, para todas as máquinas, são reflexos do elevado tempo despendido

devido à paradas operacionais e não-operacionais, principalmente para ações de manutenção corretiva. Como já discutido, ressalta-se que é de fundamental importância aumentar e manter altos índices de eficiência operacional para que as máquinas apresentem alta produtividade, e isso somente se consegue por meio de adoção de medidas relacionadas ao aumento da eficiência da manutenção mecânica, melhoria do planejamento operacional para redução dos tempos de deslocamentos da máquina, intensificação das verificações diárias, abastecimento durante as trocas de turno e melhoria treinamento de operadores.

Destaca-se que entre as máquinas de ambos os sistemas, o processador *harvester* do sistema de árvores inteiras foi a que apresentou a menor eficiência operacional (60,5%), o que comprometeu a sua produtividade e de todo o sistema, repercutindo nos custos de produção.

Os valores médios de consumo horário e específico de combustível e o rendimento energético das máquinas de ambos os sistemas de colheita são apresentados na Tabela 19.

Tabela 19. Consumo horário de combustível, consumo específico de combustível e rendimento energético das máquinas componentes dos sistemas de colheita de madeira avaliados.

Equipamento	Consumo horário de combustível (L he ⁻¹)	Consumo específico de combustível (g kW ⁻¹ he ⁻¹)	Rendimento energético (g kW ⁻¹ m ³ cc)
Sistema de colheita de toras longas			
<i>Harvester</i>	23,0	167,9	5,3
<i>Forwarder</i>	12,5	71,2	2,3
Total			7,6
Sistema de colheita de árvores inteiras			
<i>Feller Buncher</i>	38,0	143,0	1,6
<i>Skidder</i>	32,0	151,8	1,3
Processador <i>Harvester</i>	30,0	117,0	3,5
Total			6,4

Como se pode ver, no sistema de colheita de toras longas, o *harvester* apresentou maior consumo horário e específico de combustível e, conseqüentemente, pior rendimento energético. No caso do sistema de colheita de árvores inteiras, o processador *harvester* apresentou menor consumo horário e específico de combustível, porém, pior rendimento energético em comparação ao *feller buncher* e *skidder*.

Comparando-se os sistemas, o consumo horário de combustível das máquinas do sistema de colheita de toras longas foi menor se comparado às máquinas do sistema de árvores inteiras. Porém, por outro lado, o sistema de colheita de árvores inteiras apresentou melhor rendimento energético, ou seja, demonstrou ter melhor aproveitamento do uso da energia em relação à produção, o que significa melhor eficiência energética.

É interessante observar que em ambos os sistemas, os *harvesters*, embora sendo de modelos diferentes e também trabalhando em funções diferentes, foram as máquinas em cada sistema que apresentarem pior desempenho relacionado ao rendimento energético, demonstrando a necessidade de melhorias no projeto dessas máquinas por parte dos fabricantes, visando melhoria do uso da energia.

Por fim, os valores referentes à produtividade média efetiva, custo operacional por hora efetiva de trabalho e custo de produção de ambos os sistemas de colheita de madeira avaliados são apresentados na Tabela 20.

Tabela 20. Produtividade média efetiva, custo operacional e custo de produção dos sistemas de colheita de madeira avaliados.

Equipamento	Produtividade (m³cc h⁻¹)	Custo operacional (R\$ h⁻¹)	Custo de produção (R\$ m⁻³cc)
Sistema de colheita de toras longas			
<i>Harvester</i>	31,8	191,70	6,04
<i>Forwarder</i>	33,2	161,09	4,85
	Total	352,79	10,88
Sistema de colheita de árvores inteiras			
<i>Feller Buncher</i>	87,0	406,83	4,68
<i>Skidder</i>	119,2	281,33	2,36
Processador <i>Harvester</i>	33,6	235,12	7,00
	Total	923,28	14,03

Pode se verificar, que o sistema de colheita de árvores inteiras apresentou pior desempenho quanto ao custo de produção em relação ao sistema de toras longas, ocasionado pelo elevado custo operacional das máquinas, principalmente na etapa de processamento devido à baixa eficiência do processado *harvester*, que onerou a operação deste sistema.

Assim fica evidente a necessidade de melhoria da produtividade das máquinas por meio da redução dos tempos improdutivo, bem como ficou evidente também, para o sistema de árvores inteiras, a necessidade de alocação de dois processadores *harvester*, de forma a equilibrar e otimizar o referido sistema de colheita da madeira.

5.3.1. Análise econômica de sensibilidade

De forma a identificar detalhadamente o sistema de colheita da madeira mais indicado para as situações estudadas, determinou-se o grau de variação dos custos de produção em função das variáveis mais relevantes que compuseram o custo total de ambos os sistemas de colheita da madeira, em semelhança ao realizado por Oliveira (2009) para três modelos de cabo aéreo utilizados na extração de madeira de povoamentos de *Pinus spp.*.

Como pode ser visto, de modo geral, os componentes que mais influenciaram o custo de produção das máquinas nos sistemas de colheita foram a manutenção corretiva, o combustível, a depreciação e a produtividade efetiva média. Em ambos os sistemas avaliados, esses custos foram variados para mais e para menos 30%, exceto o custo com combustível, pois, como salientado anteriormente, esse custo, embora corresponda a um dos principais itens formadores do custo operacional, constitui indicativo da eficiência do processo de conversão de energia do sistema mecanizado na operação de colheita, portanto, sendo inerente às atividades, e, por isso, tornando-se desnecessário o seu uso na análise de sensibilidade.

A Figura 42 apresenta a análise de sensibilidade para o trator florestal *Harvester*.

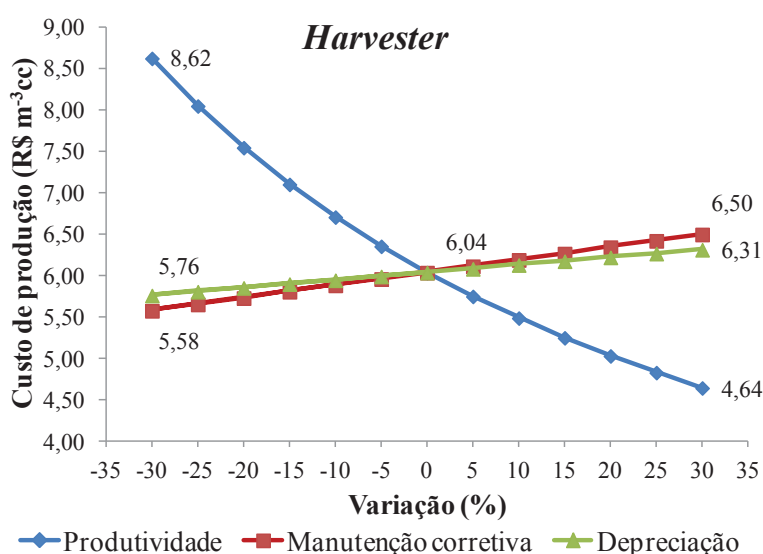


Figura 42. Variação do custo de produção do *harvester* no sistema de colheita de toras longas em função da produtividade, custo de manutenção corretiva e depreciação.

Por isso, partindo de um custo de produção de 6,05 R\$ m³cc, quando a produtividade aumenta em 30%, o custo de produção chega a um valor 4,62 R\$ m³cc. Por outro lado, diminuindo-se a produtividade em 30%, o custo de produção atinge um valor de 8,64 R\$ m³cc, ou seja, aumenta quase 50% em comparação com o custo de produção determinado.

Quando o custo de manutenção corretiva e depreciação são aumentados, verifica-se a tendência de aumento do custo de produção (Figura 42). Ao simular uma variação do custo de manutenção corretiva para mais e menos 30%, o custo de produção atinge um valor máximo de 6,50 R\$ m³cc e mínimo de 5,58 R\$ m³cc. Do mesmo modo, ao simular uma variação do custo de depreciação para mais e menos 30%, chega-se a um custo de produção máximo de 6,31 R\$ m³cc e mínimo de 5,76 R\$ m³cc.

Portanto, verifica-se que no caso do *harvester*, o fator produtividade foi o que influenciou a variação do custo de produção da máquina, seguido do custo com manutenção corretiva que foi mais determinante do que a depreciação.

Para o *forwarder* do sistema de colheita de toras longas, da mesma forma que o *harvester*, quando a produtividade aumenta, o custo de produção decresce (Figura 43).

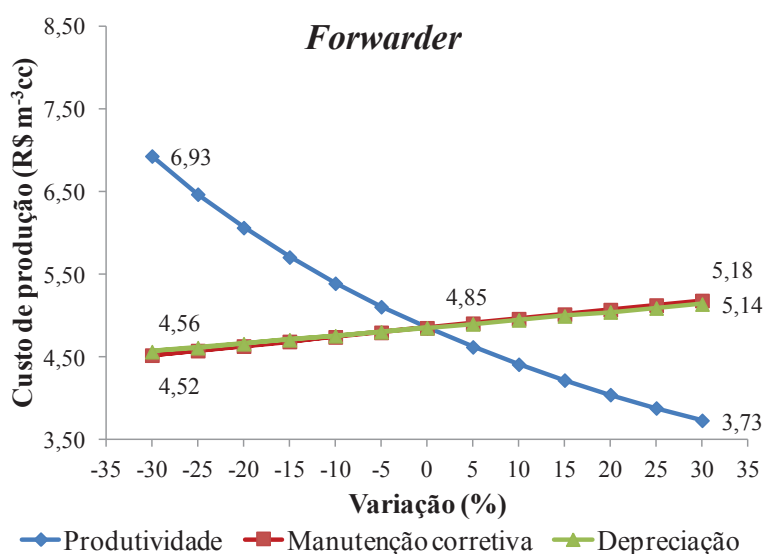


Figura 43. Variação do custo de produção do *forwarder* no sistema de colheita de toras longas em função da produtividade, custo de manutenção corretiva e depreciação.

Dessa maneira, tendo como base o custo de produção de 4,85 R\$ m³cc, quando a produtividade aumenta em 30%, o custo de produção atinge a um valor 3,73 R\$ m³cc; enquanto diminuindo-se a produtividade em 30%, o custo de produção chega a um valor de

6,93 R\$ m³cc, isto é, também quase aumenta 50% em comparação com o custo de produção real determinado.

Em relação a variação do custo de produção em função do custo de manutenção corretiva e depreciação, a tendência é semelhante ao também observado ao *harvester*, pois com o aumento desses custos, o custo de produção também aumenta, além de que também, verifica-se que o fator produtividade teve maior influência sobre a variação do custo de produção da máquina.

O custo de produção das máquinas no sistema de colheita de árvores inteiras apresentou comportamento semelhante ao observado para as máquinas do sistema de toras longas, como pode ver verificado nas Figuras 44, 45 e 46.

No caso do *feller buncher* (Figura 44), o custo de produção foi mais sensível em relação à produtividade, sendo o custo de produção mais sensível à variação do custo de manutenção corretiva do que o custo com depreciação.

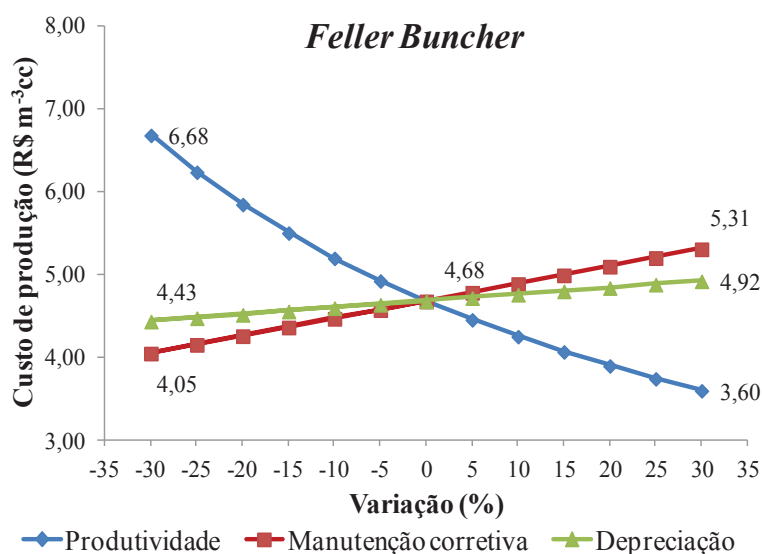


Figura 44. Variação do custo de produção do *feller buncher* no sistema de colheita de árvores inteiras em função da produtividade, custo de manutenção corretiva e depreciação.

Para o custo de produção do *skidder* isso também foi verificado (Figura 45), entretanto, a sensibilidade em relação ao custo com manutenção corretiva não difere acentuadamente em comparação ao custo com depreciação, como visto para o *feller buncher*.

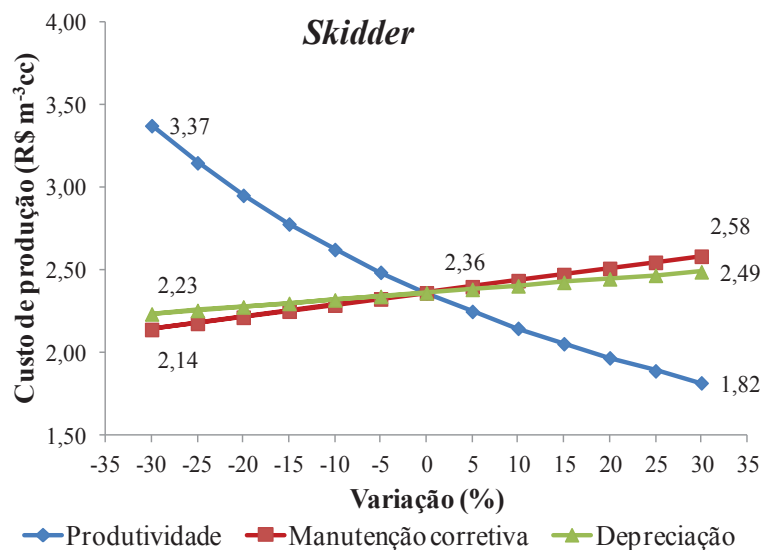


Figura 45. Variação do custo de produção do *skidder* no sistema de colheita de árvores inteiras em função da produtividade, custo de manutenção corretiva e depreciação.

Por último, para o custo de produção do Processador Florestal *harvester* (Figura 46), também é verificado grande sensibilidade conforme a variação da produtividade e quase não havendo diferenças entre a sensibilidade causada pela variação com os custos de manutenção corretiva e depreciação.

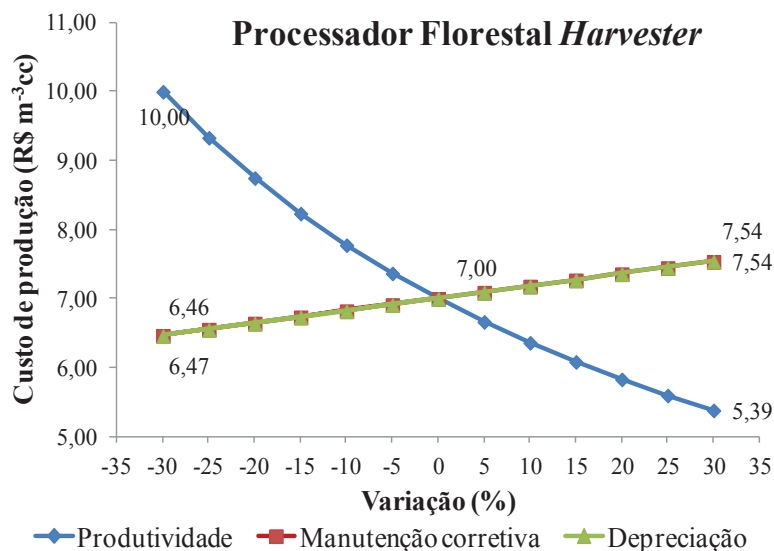


Figura 46. Variação do custo de produção do Processador Florestal *harvester* no sistema de colheita de árvores inteiras em função da produtividade, custo de manutenção corretiva e depreciação.

Na Tabela 19 estão resumidos os custos de produção de todas as máquinas com variação máxima e mínima de 30% dos fatores analisados, além de também demonstrar como ficaria o custo de produção de cada sistema de colheita em função de cada situação simulada.

Tabela 21. Custo de produção dos sistemas de colheita de madeira avaliados para diferentes condições de produtividade, custo de manutenção corretiva e depreciação simulados.

Custo de produção (R\$ m ⁻³ cc)							
Equipamento	Determinado	Simulação					
		Produtividade		Manutenção corretiva		Depreciação	
		- 30%	+ 30%	- 30%	+ 30%	- 30%	+ 30%
Sistema de colheita de toras curtas							
<i>Harvester</i>	6,0	8,6	4,6	5,6	6,5	5,8	6,3
<i>Forwarder</i>	4,9	6,9	3,7	4,5	5,2	4,6	5,1
Total	10,9	15,6	8,4	10,1	11,7	10,3	11,5
Sistema de colheita de árvores inteiras							
<i>Feller Buncher</i>	4,7	6,7	3,6	4,0	5,3	4,4	4,9
<i>Skidder</i>	2,4	3,4	1,8	2,1	2,6	2,2	2,5
Processador <i>Harvester</i>	7,0	10,0	5,4	6,5	7,5	6,5	7,5
Total	14,0	20,1	10,8	12,7	15,4	13,1	14,9

Nota-se que para ambos os sistemas de colheita, a variação da produtividade pode aumentar o custo de produção total do sistema em mais ou menos cerca de 50%. Já a variação do custo com manutenção corretiva e depreciação foram mais influentes sobre o custo de produção total do sistema de colheita de árvores inteiras do que o sistema de toras longas.

Em geral, economicamente a única condição em que o sistema de colheita de árvores inteiras traria um custo de produção próximo ao determinado do sistema de colheita de toras longas, é caso o referido sistema tivesse uma produtividade maior em 30% ou vice-versa.

Porém, deve-se ressaltar que as elevadas horas de uso das máquinas, principalmente no sistema de árvores inteiras, influenciaram diretamente os resultados, pois como visto, foi alta a porcentagem de interrupções, sobretudo para manutenção corretiva, o que acarretou em baixa eficiência operacional e, conseqüentemente, afetando a produtividade efetivas das máquinas que, por sua vez, influenciou os custos de produção.

Contudo, ainda é importante evidenciar que, no caso do sistema de árvores, o processador *harvester* foi a máquina causadora da maior parte da oneração do sistema. Portanto, alternativas devem ser buscadas visando com que esse sistema de torne economicamente mais viável. Outras máquinas, como garras traçadoras e *slashers*, podem ser estudadas como alternativas viáveis para a operação de processamento da madeira visando menor custo de produção.

Por outro lado, também deve-se considerar que a escolha de um sistema de colheita de madeira tem que ser baseada, além da viabilidade econômica, também na sua viabilidade ambiental, uma vez que diferentes composições de máquinas causam diferentes níveis de impactos ambientais devido às características das máquinas em si e também pela forma como a madeira é cortada, extraída e processada. Nesse sentido, comparando-se diferentes sistemas de colheita de madeira, de acordo com Fenner (2008), sistemas compostos por *feller buncher* e *skidder*, geralmente, causam impacto e alteram o solo de praticamente toda a área do talhão, sendo o solo trafegado pelo menos uma vez, enquanto em sistemas com *harvester* e *forwarder* o impacto é concentrado nos ramais de extração. Entretanto, conforme Dias Júnior *et al.* (2003), operações de colheita com *harvester* e *forwarder* podem causar maior degradação do solo e impactos ambientais; contudo, os impactos são sistemáticos, abrangendo posições definidas e menor área. Já os impactos com *feller buncher* e *skidder* não são sistemáticos, tendo distribuição aleatória e abrangendo maior área.

Ainda, dentro do viés ambiental, deve ser considerada a eficiência do sistema mecanizado de colheita em relação ao processo de conversão de energia para realização de trabalho e, dessa forma, gerando produção, ou seja, a eficiência energética. No presente caso, o sistema de colheita de toras longas apresentou ser uma alternativa inferior em termos de rendimento energético em comparação ao sistema de colheita árvores, havendo uma diferença em torno de 20% de rendimento energético entre os sistemas.

Por fim, observando o vieses econômico e ambiental, em geral, o sistema de colheita de toras longas apresentou maior viabilidade operacional para as condições avaliadas, sugerindo sua adoção, embora devam ser observadas as ressalvas citadas anteriormente.

6. CONCLUSÕES

De acordo com a análise e discussão dos resultados, conclui-se que:

– As interrupções foram responsáveis por grande ou maior parte do tempo total ciclo operacional das máquinas em ambos os sistemas de colheita de madeira, sendo ocasionadas, principalmente, devido às ações de manutenção corretiva, demonstrando a necessidade de planejamento eficiente das atividades, bem como do estabelecimento de medidas visando à otimização do ciclo operacional;

– No sistema de colheita de toras longas, a maior parte do tempo efetivo do ciclo operacional do *harvester* foi despendida pelo elemento de processamento da madeira que representou 72% do total. Para o *forwarder*, os elementos que mais demandaram tempo do ciclo efetivo foram o carregamento e o descarregamento, representando 33 e 24 % do tempo total, respectivamente, sendo o carregamento, assim como, os elementos viagem vazio e viagem carregado, influenciados pela distância de extração;

– No sistema de colheita de árvores inteiras, para o *feller buncher* a maior parte do seu tempo efetivo do ciclo operacional foi consumida pelo elemento busca e derrubada, que representou 76% do tempo total. Em relação ao *skidder*, o elemento viagem carregado foi responsável por despende maior parte do tempo efetivo do ciclo operacional, representando 40% do tempo, sendo este elemento, como também o elemento viagem vazio e carregamento, influenciados pela distância de extração;

– A produtividade efetiva do *harvester* e do *forwarder* do sistema de colheita de toras longas encontrou-se dentro da faixa de valores esperados de produtividade para essas máquinas, embora, a disponibilidade mecânica e a eficiência operacional não tenham sido altos, afetando, dessa forma a produtividade, sendo que o *forwarder*, também houve influência da distância de extração sobre a produtividade;

– Em relação à produtividade do sistema de árvores inteiras, considerações iguais ao do sistema de toras longas também podem ser dadas, sendo a produtividade do *skidder* influenciada pela distância de extração, igualmente ao *forwarder*;

– A produtividade das máquinas da atividade de corte de ambos os sistemas de colheita pode ser estimada em função do volume médio por ciclo e tempo médio do ciclo, sendo grande parte da variação da variável dependente explicada pelas variáveis independentes. Para as máquinas da atividade de extração, a produtividade também pode ser

estimada com uso das variáveis independentes volume e tempo médio do ciclo, além da variável distância de extração. Entretanto, sugere-se que as equações sejam somente utilizadas para as condições utilizadas;

– O consumo horário e específico de combustível das máquinas do sistema de colheita de toras longas foi menor se comparado às máquinas do sistema de árvores inteiras. Entretanto, o sistema de colheita de árvores inteiras apresentou melhor rendimento energético;

– Para ambos os sistemas de colheita avaliados, a maior parte dos custos operacionais das máquinas componentes foram devidos aos custos variáveis, os quais, em geral, tiveram oneração em função, principalmente, devido às atividades de manutenção corretiva e consumo de combustível;

– O custo operacional por hora efetiva de trabalho e a custo de produção por metro cúbico de madeira com casca do sistema de colheita de toras longas foi inferior em comparação ao sistema de colheita de árvores inteiras;

– A produtividade foi o fator que mais influenciou o custo de produção por metro cúbico de madeira com casca das máquinas de ambos os sistemas de colheita avaliados, sendo o custo com manutenção corretiva o segundo fator que mais influenciou o custo de produção;

– Em geral, o sistema de colheita de toras longas demonstrou maior viabilidade operacional e econômica, o que sugere sua adoção para colheita de povoamentos *Eucalyptus grandis*.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRAF. **Anuário Estatístico da ABRAF 2013**: ano base 2012/ABRAF. Brasília, 2013. 148p.
- AGARWAL, A.K. Biofuels (alcohols and biodiesel) applications as fuels for internal combustion engines. **Progress in energy and combustion science**. v. 33, n. 3, p. 233-271, 2007
- 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.
- ANDRADE, S.C. **Avaliação técnica, social, econômica e ambiental de dois subsistemas de colheita florestal no Litoral Norte da Bahia**. Viçosa: UFV, 1998. 125p. Dissertação (Mestrado em ciência florestal) - Universidade Federal de Viçosa.
- ARCE, J.E.; MACDONAGH, P.; FRIEDL, R.A. Geração de padrões ótimos de corte através de algoritmos de traçamento aplicados a fustes individuais. **Revista Árvore**, v.28, n.2, p.383-391, 2004.
- BANTEL, C. A. **Análise de extração de madeira de eucalipto com forwarder em floresta de primeira e segunda rotação**. Botucatu, 2006. 126 f. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista.
- BARBOSA, C.E.; BENATO, A.T.; CAVALHEIRO, A.L.; TOREZAN, J.M D. Diversity of Regenerating Plants in Reforestations with *Araucaria angustifolia* (Bertol.) O. Kuntze of 12, 22, 35, and 43 Years of Age in Parana State, Brazil. **Restoration Ecology**, Malden, v. 17, n. 1, p. 60-67, 2007.
- BARNES, R.M. **Estudos de movimentos e de tempos - projeto e medida do trabalho**. Tradução da 6 ed. Americana. São Paulo, Edgard Blucher. 1977. 635 p.
- BEHJOU, F.K.; MAJNOUNIAN, B.; NAMIRANIAN, M.; DVRAK, J. Time study and skidding capacity of the wheeled skidder Timberjack 450C in Caspian forests. **Journal of Forest Science**, v. 54, n. 4, p. 183-188, 2008.
- BERTIN, V.A.S. **Análise de dois modais de sistemas de colheita mecanizados de eucalipto em 1ª rotação**. Botucatu, SP: UNESP, 2010. 82 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Universidade Estadual Paulista – Faculdade de Ciência Agrônomicas, Botucatu.
- BIRRO, M.H.B. **Avaliação técnica e econômica da extração de madeira de eucalipto com “track-skidder” em região montanhosa**. Viçosa, MG: UFV, 2002. 29 f. (Dissertação de Mestrado em Ciência Florestal), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- BIRRO, M.H.B.; MACHADO, C.C.; SOUZA, A.P.; MINETTI, L.J. Avaliação técnica e econômica da extração de madeira de eucalipto com “track-skidder” em região montanhosa. **Revista Árvore**, v. 28, n. 2, p. 207-217, 2002.

BRAMUCCI, M.: **Determinação e quantificação de fatores de influência sobre a produtividade de “harvesters” na colheita de madeira**, Dissertação de Mestrado- ESALQ, Piracicaba, 2001.

BRAMUCCI, M; SEIXAS, F. Determinação e quantificação de fatores de influência sobre a produtividade de “harvesters” na colheita florestal. **Revista Scientia Forestalis**, Piracicaba, n.62, p.62-74, 2002.

BURLA, E. **Avaliação técnica e econômica do harvester na colheita e processamento de madeira em diferentes condições de declividade e produtividade florestal**. Viçosa, MG: UFV, 2008. 68 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

CANTO, J.L. **Avaliação de desempenho operacional de Harvester e Forwarder na colheita de *Pinus taeda***. 2003. 54f. Relatório de Estágio (Graduação em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003.

COLHEITA DE MADEIRA. **A extração de madeira com o *Pully da Konrad***. Disponível em: <<http://www.colheitademadeira.com.br/informativoInfo.asp?id=455>>. Acesso em 15 dez. 2013.

CONEGLIAN, A.; BATISTA, W.R.; HOKAMA. L.F.; SANTIAGO F.L.S.; FENNER. P.T. Avaliação do rendimento e custo operacional de forwarder na colheita de Eucalyptus em primeiro e segundo corte. **Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal**, v. 15, p. 13-24, 2010.

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

DIAS JÚNIOR, M.S.; LEITE, F.P.; WINTER, M.E.; PIRES, J.V.G. Avaliação quantitativa da sustentabilidade estrutural de um Latossolo Vermelho-Amarelo cultivado com eucalipto na região de Peçanha-MG. **Revista Árvore**, v.27, p.343-349, 2003.

DRAPER, N.R.; SMITH, H. **Applied regression analysis**. 2 ed. New York, John and Wiley, 1981. 407p.

DURATEX, Equipe Técnica. Colheita de madeira em florestas com baixo volume por árvore. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE COLHEITA E TRANSPORTE FLORESTAL, 4, 1999, Campinas. **Anais...** Campinas, SP: SIF, 1999. p.54-72.

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

EMBRAPA/IAPAR. **Levantamento de reconhecimento dos solos do estado do Paraná**. Londrina, PR: IAPAR, 1984. 412p.

FAO. **Logging and log transport in man-made forests in developing countries**. Roma: 1974. 90 p. (Forest Paper – FAO, 18).

FENNER, P.T. **Métodos de cronometragem e a obtenção de rendimentos para as atividades de colheita de madeira**. Botucatu: UNESP, Faculdade de Ciências Agrônomicas, 2002. 14p. (Notas de aula da Disciplina Exploração Florestal).

FENNER, P.T. Compactação do solo. In: MACHADO, C.C. (Ed.). **Colheita Florestal**. 2 ed. Viçosa, MG: UFV, 2008, p.375-396.

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

FERNANDES, H.C. *et al.* Avaliação das características técnica e econômica de um sistema de colheita florestal de árvores inteiras. **Revista Scientia Forestalis**, v. 37, n. 83, p. 225-232, 2009.

FIEDLER, N.C.; ROCHA, E.B.; LOPES, E.S. Análise da produtividade de um sistema de colheita de árvores inteiras no norte do Estado de Goiás. **Revista Floresta**, v. 38, p. 577-586, 2008.

FREITAS, K.E. **Análise técnica e econômica da colheita florestal mecanizada**. Viçosa, MG: UFV, 2005. 19 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal de Viçosa.

GARAY, I. *et al.* Evaluation of soil conditions in fast-growing plantations of Eucalyptus grandis and Acacia mangium in Brazil: a contribution to the study of sustainable land use. **Applied Soil Ecology**, v. 27, n. 2, p. 177-187, 2004.

GOMES, F.P., GARCIA, C.H. **Estatística aplicada a experimentos agronômicos e florestais**. Piracicaba: ESALQ, 2002. 309p.

HÄSELER, J. **Mechanisierte Nadelholzernte mit dem Harwarder Pensee Wisent Dual – Leistung, Kosten und Bestandpfleglichkeit**. VDM Verlag Dr. Müller Aktiengesellschaft & Co. KG. Saarbrücken, 2008.

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.

KLUENDER R.A. *et al.* Productivity of rubber-tired skidders in southern pine forests. **Forest Products Journal**, v. 47, n.1, p. 53–58, 1997.

LIMA, J.S.S.; LEITE, A.M.P. Mecanização. In: MACHADO, C.C. (Ed.). **Colheita florestal**. 2 ed. Viçosa, MG: UFV, 2008. 43-65.

LINHARES, M.; JÚNIOR, C.R.S.; CAMPOS, F.; YAMAJI, F.M. Eficiência e desempenho operacional de máquinas harvester e forwarder na colheita florestal. **Revista da Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 42, n. 2, p. 212-219, 2012.

LOPES, E. S. *et al.* Influência de alguns aspectos ergonômicos e sociais no planejamento da colheita florestal. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE COLHEITA E TRANSPORTE FLORESTAL, 4., 1999, Campinas. **Anais...** Viçosa, MG: Sociedade de Investigações Florestais, 1999. p.322-330.

LOPES, E.S. **Aplicação do programa SNAP III (Scheduling and Network Analysis Program) no planejamento da colheita e do transporte florestal.** Viçosa, MG: UFV, 2001. 150 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

LOPES, E.S.; CRUZINIANI, E.; DIAS, A.N.; FIEDLER, N.C. Avaliação técnica e econômica do corte de madeira de pinus com cabeçote *harvester* em diferentes condições operacionais. **Revista Floresta**, v. 37, n. 3, p. 305-313, 2007.

LOPES, S.E. **Análise técnica e econômica de um sistema de colheita florestal.** Viçosa, MG: UFV, 2007. 124 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

MACHADO, C.C. **Exploração florestal**, 6. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, Imprensa Universitária, 1989. 34 p.

MACHADO, C. C. **Planejamento e controle de custos na exploração florestal.** Viçosa: UFV; Imprensa Universitária, 1994. 138 p.

MACHADO, C.C.; CASTRO, P. S. **Exploração florestal**, 4. Viçosa: UFV, 1985. 32 p.

MACHADO, C. C.; MALINOVSKI, J. R. **Ciência do trabalho florestal.** Viçosa: UFV, Impr. Univ., 1988. 65 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.; SILVA, E.N.; PEREIRA, R.S. O setor florestal brasileiro e a colheita florestal. In: MACHADO, C.C. (Ed.). **Colheita florestal**. 2 ed. Viçosa, MG: UFV, 2008. p. 15-42.

MALINOVSKI, R.A.; MALINOVSKI, J.R. **Evolução dos sistemas de colheita de madeira para pinus na região sul do Brasil.** Curitiba: FUPEF, 1998, p. 83-87

MALINOVSKI, J.R.; CAMARGO, C.M.S.; MALINOVSKI, R.A.; MALINOVSKI, R.A. Sistemas. In: MACHADO, C.C. (Ed.). **Colheita florestal**. 2 ed. Viçosa, MG: UFV, 2008. p. 160-184.

MARTINS, R.J.; SEIXAS, F.; STAPE, J.L. Avaliação técnica e econômica de um *harvester* trabalhando em diferentes condições de espaçamento e arranjo de plantio em povoamento de eucalipto. **Revista Scientia Forestalis**, v. 37, n. 83, p. 253-263, 2009.

MINETTE, L.J.; MOREIRA, F.M.T.; SOUZA, A.P.; MACHADO, C.C.; SILVA, K.R. Análise técnica e econômica do forwarder em três subsistemas de colheita de florestas de eucalipto. **Revista Árvore**, v. 28, n. 1, p. 91-97, 2004.

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 Ciências Florestais). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

OLIVEIRA, D.; LOPES, E.S.; FIEDLER, N.C. Avaliação técnica e econômica do Forwarder em extração de toras de pinus. **Revista Scientia Forestalis**, v.37, n.84, p.525-533, 2009.

OLIVEIRA, R.J. **Avaliação técnica e econômica de cabos aéreos na colheita de pinus no município de Cerro Azul-PR**. Viçosa, MG: UFV, 2009. 67 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

OLIVEIRA, R.J.; MACHADO, C.C.; SOUZA, A.P.; LEITE, H.G. Avaliação técnica e econômica da extração de madeira de eucalipto com “clambunk skidder”. **Revista Árvore**, v. 39, n. 2, p. 267-275, 2006.

PELOIA, P. R.; MILAN, M. Proposta de um sistema de medição de desempenho aplicado à mecanização agrícola. **Revista da Engenharia Agrícola**, v. 30, n. 4, p. 681-691, 2010.

PEREIRA, A.L.N. **Avaliação de um sistema de colheita de *Pinus taeda* L. em diferentes produtividades do povoamento**. Irati, PR: UNICENTRO, 2011. 93 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestal). Universidade Estadual do Centro-Oeste, Irati.

PINTO JÚNIOR, J.E. *et al.* Eucalipto. In: ALBUQUERQUE, A.C.S.; SILVA, A.G. (Ed.). (Org.). **Agricultura Tropical: quatro décadas de inovações tecnológicas, institucionais e políticas**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2008, v. 1, p. 801-822.

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: UFLA, 1997. 50p. (Boletim Agropecuário, 22)

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

ROBERT, R. **Análise técnica e econômica de um sistema de colheita mecanizada em plantios de *Eucalyptus spp.* em duas condições de relevo acidentado**. Curitiba, PR: UFPR, 2013. 113 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

ROCHA, E.B.; FIEDLER, N.C.; ALVES, R.T. Produtividade e custos de um sistema de colheita de árvores inteiras. **Revista Cerne**, v. 15, n. 3, p. 372-381, 2009.

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.; MACHADO, C. C. Análise técnica-econômica do processamento de madeira de eucalipto em áreas planas, utilizando o processador. **Revista Árvore**, v. 19, n. 3, p. 346-357, 1995.

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

SEIXAS, F. Olho na terra. **Revista Cultivar Máquinas**, Pelotas, v.2, n.07, p.15–17, 2002.

SEIXAS, F. As inovações da colheita de madeira. **Revista Opiniões**, n. 20, p. 18, 2010.

SEIXAS, F.; BARBOSA, R.F.; RUMMER, R. Colheita de madeira de eucalipto. **Revista da Madeira**, Curitiba, n.82, 2004

SEIXAS, F.; OLIVEIRA JÚNIOR, E.D. Compactação do solo devido ao tráfego de máquinas de colheita de madeira. **Revista Scientia Forestalis**, n.60, p.73–87, 2001.

SEIXAS, F. Extração. In: MACHADO, C. C. (Coord.). **Colheita florestal**. 2. ed. Viçosa, MG: UFV, 2008. p. 97-142.

SILVA, C.B; SANT'ANNA, C.M; MINETTE, L.J. Avaliação ergonômica do “*feller-buncher*” utilizado na colheita de eucalipto. **Revista Cerne**, v.9, n.1, p.109-118, 2003.

SILVA, E.N. *et al.* Avaliação técnica e econômica do corte mecanizado de *Pinus sp.* com harvester. **Revista Árvore**, v.34, n.4, p.745-753, 2010.

SILVA, K.R.; MINETTI, L.J.; FIEDLER, N.C.; VENTUROLI, F.; MACHADO, E.G.B.; SOUZA, A.P. Custos e rendimentos operacionais de um plantio de eucalipto em região de cerrado. **Revista Árvore**, v.28, n.3, p.361-366, 2004.

SILVA, R.S.; FENNER P.T.; CATANEO, A.; DURATEX. Desempenho de máquinas florestais de colheita: derrubador-processador slingshot sobre as esteiras. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE COLHEITA E TRANSPORTE FLORESTAL, 6. 2003, Belo Horizonte. **Anais...** Viçosa, MG: UFV/SIF, 2003. p. 267-179.

SIMÕES, D. **Avaliação econômica de dois sistemas de colheita florestal mecanizada de eucalipto**. 2008. 105 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônomicas/Universidade Estadual Paulista, Botucatu, SP, 2008.

SIMÕES, D.; FENNER, P.T. Influência do relevo na produtividade e custos do *harvester*. **Revista Scientia Forestalis**, v. 38, n. 85, p. 107-114. 2010a.

SIMÕES, D.; FENNER, P.T. Avaliação técnica e econômica do *forwarder* na extração de madeira em povoamento de eucalipto de primeiro corte. **Revista Floresta**, v. 40, n. 4, p. 711-720. 2010b.

SIMÕES, D.; FENNER, P.T.; ESPERANCINI, M.S.T. Avaliação técnica e econômica da colheita de florestas de eucalipto com *harvester*. **Revista Scientia Forestalis**, v. 38, n. 88, p. 611-618. 2010.

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

TREWARTHA, G. T.; HORN, L. H. An introduction to climate. 5. ed. New York: McGraw-Hill, 1980. 416 p.

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.

8. ANEXOS

Anexo 1. Estatística descritiva dos valores de tempo (minutos) dos elementos do ciclo operacional do *harvester* do sistema de toras longas.

Elemento	Média	Desvio padrão	CV (%)	Mediana	Máximo	Mínimo
BD	0,11	0,05	43,46	0,10	0,48	0,03
PR	0,36	0,13	35,24	0,37	1,10	0,02
DE	0,13	0,06	49,97	0,12	0,55	0,03

CV: coeficiente de variação; BD: busca e derrubada; PR: processamento; DE: deslocamento.

Anexo 2. Estatística descritiva dos valores de tempo (minutos) dos elementos do ciclo operacional do *feller buncher* do sistema de árvores inteiras.

Elemento	Média	Desvio padrão	CV (%)	Mediana	Máximo	Mínimo
BD	0,54	0,17	31,92	0,52	1,78	0,02
EMP	0,09	0,04	44,19	0,08	0,42	0,02
DE	0,09	0,05	57,08	0,08	1,42	0,02

CV: coeficiente de variação; BD: busca e derrubada; EMP: empilhamento; DE: deslocamento.

Anexo 3. Estatística descritiva dos valores de tempo (minutos) dos elementos do ciclo operacional do processador Florestal *harvester* do sistema de árvores inteiras.

Elemento	Média	Desvio padrão	CV (%)	Mediana	Máximo	Mínimo
BC	0,12	0,11	93,12	0,10	4,12	0,02
PR	0,37	0,16	41,87	0,35	1,53	0,05
DE	0,16	0,18	112,16	0,08	1,13	0,02

CV: coeficiente de variação; BC: busca; PR: processamento; DE: deslocamento.