

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CENTRO-OESTE, UNICENTRO-PR**

**AVALIAÇÃO DE UM SISTEMA DE COLHEITA DE  
*Pinus taeda* L. EM DIFERENTES PRODUTIVIDADES DO  
POVOAMENTO**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**ANDRÉ LEONARDO NASSER PEREIRA**

**IRATI - PR  
2011**

**ANDRÉ LEONARDO NASSER PEREIRA**

**AVALIAÇÃO DE UM SISTEMA DE COLHEITA DE *Pinus taeda* L. EM  
DIFERENTES PRODUTIVIDADES DO POVOAMENTO**

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

Prof. Dr. Eduardo da Silva Lopes  
Orientador

Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Andrea Nogueira Dias  
Co-orientador

IRATI - PR  
2011

Catálogo na Fonte  
Biblioteca da UNICENTRO

- P436a PEREIRA, André Leonardo Nasser  
Avaliação de um sistema de colheita de *Pinus taeda* L. em diferentes produtividades do povoamento / André Leonardo Nasser Pereira – Irati, PR, 2011.  
xiv, 77f.
- Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Estadual do Centro-Oeste, PR  
Orientador : Prof. Dr. Eduardo da Silva Lopes  
Co-Orientador : Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Andrea Nogueira Dias  
Banca examinadora: Angelo Márcio Pinto Leite, Ezer Dias de Oliveira Júnior, Eduardo da Silva Lopes
- Bibliografia
1. Engenharia Florestal – dissertação. 2. Colheita da madeira. 3. Estudo de tempos. 4. Análise econômica. 5. Produtividade.  
I. Título. II. Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais.
- CDD 585.2



# Universidade Estadual do Centro-Oeste

Reconhecida pelo Decreto Estadual nº 3.444, de 8 de agosto de 1997

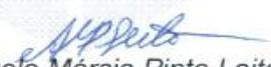
## PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTO SENSU* EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

### PARECER

Defesa Nº 21

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 **André Leonardo Nasser Pereira** em relação ao seu trabalho de dissertação intitulado "AVALIAÇÃO DE UM SISTEMA DE COLHEITA DE *Pinus taeda* L. EM DIFERENTES PRODUTIVIDADES DO POVOAMENTO", 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, 28 de fevereiro de 2011.



Dr. Angelo Márcio Pinto Leite

Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri  
Primeiro Examinador



Dr. Ezer Dias de Oliveira Júnior

Faculdade de Tecnologia  
Segundo Examinador



Dr. Eduardo da Silva Lopes

Universidade Estadual do Centro-Oeste  
Orientador e Presidente da Banca Examinadora

Home Page: <http://www.unicentro.br>

*Campus* Santa Cruz: Rua Pres. Zacarias 875 – Cx. Postal 3010 – Fone: (42) 3621-1000 – FAX: (42) 3621-1090 – CEP 85.015-430 – GUARAPUAVA – PR  
*Campus* CEDETEG: Rua Simeão Camargo Varela de Sá, 03 – Fone/FAX: (42) 3629-8100 – CEP 85.040-080 – GUARAPUAVA – PR  
*Campus* de Irati: PR 153 – Km 07 – Riozinho – Cx. Postal, 21 – Fone: (42) 3421-3000 – FAX: (42) 3421-3067 – CEP 84.500-000 – IRATI – PR

A  
DEUS,  
AGRADEÇO.

Aos meus queridos e amados pais Leilane Nasser Pereira e João Cezar Pereira, pelo grande apoio e imenso amor doado.  
À minha amada irmã Daniele Nasser Pereira, aos meus avós Leila Souto Nasser e João Nasser (*in memorian*), Elvira de Souza e João Pereira de Sousa (*in memorian*).

DEDICO.

## AGRADECIMENTOS

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;

À Fundação Araucária, pela concessão da bolsa de estudos;

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

À Prof. Dr<sup>a</sup>. Andrea Nogueira Dias, pela co-orientação, amizade e boa vontade, fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais: Dr. Afonso Figueiredo Filho, Dra. Kátia Cyrene Lombardi, Dr. Julio Eduardo Arce, Dr. Luciano Farinha Watzlawick, pelos valiosos ensinamentos no decorrer do curso.

À Flávia Buhler dos Santos, secretária do Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, pela atenção e amizade.

A toda minha família, em especial aos meus pais Leilane Nasser Pereira e João Cezar Pereira, os quais fizeram tudo ao seu alcance para me proporcionar uma formação pessoal e profissional, sem os quais isto não seria possível.

Aos grandes amigos e colegas de Graduação e Pós-Graduação Jean Alberto Sampietro e Rodrigo Lima, pelo fraterno apoio, dedicação e bons momentos de descontração desde o começo desta empreitada.

Ao amigo e colega de graduação Thiago Floriani Stepka, pela boa vontade e pelas valiosas e indispensáveis considerações.

Ao grande amigo e ex-colega de graduação Ruddy Marcondes Barbosa.

Aos acadêmicos de Eng. Florestal Diego de Oliveira e Rafael Henrique da Silva, pelo auxílio nas coletas e processamento dos dados.

## **BIOGRAFIA**

ANDRÉ LEONARDO NASSER PEREIRA, filho de Leilane Nasser Pereira e João Cezar Pereira, nascido no dia 12 de Junho de 1981 em Telêmaco Borba – PR.

Completo o ensino fundamental no Colégio Estadual Dr. Luiz Vieira no município de Telêmaco Borba-PR

Completo o ensino médio no Colégio Estadual Manoel Ribas também neste mesmo município.

Em Março de 2008 graduou-se em Engenharia Florestal pela Universidade Estadual do Centro Oeste.

Em Julho deste mesmo ano ingressou no Curso de Pós-Graduação em Ciências Florestais, nível de mestrado, área de concentração em Manejo Sustentável de Recursos Florestais, subárea de Colheita Florestal.

Em Fevereiro de 2010 iniciou sua atuação profissional como Trainee em colheita florestal na Battistella Florestal, situada no município de Rio Negrinho, SC.

Em Novembro deste mesmo ano foi contratado pela RIGESA Papel e Celulose empresa do grupo MEAD WESTVACO (MWV) assumindo o cargo de Engenheiro Florestal Regional atuando como Supervisor de Colheita Florestal.

## SUMÁRIO

|  |            |
|--|------------|
| <b>LISTA DE TABELAS .....</b>                                      | <b>ix</b>  |
| <b>LISTA DE FIGURAS .....</b>                                      | <b>x</b>   |
| <b>LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS.....</b>                       | <b>xii</b> |
| <b>RESUMO .....</b>  | <b>xiv</b> |
| <b>ABSTRACT .....</b>  | <b>xv</b>  |
| <b>1. INTRODUÇÃO.....</b>  | <b>1</b>   |
| <b>2. OBJETIVOS.....</b>   | <b>3</b>   |
| <b>3. REVISÃO DE LITERATURA .....</b>                              | <b>4</b>   |
| 3.1. Importância do setor florestal .....                          | 4          |
| 3.2. Colheita florestal .....                                      | 4          |
| 3.3. Sistemas de colheita de madeira.....                          | 5          |
| 3.4. Mecanização da colheita florestal .....                       | 7          |
| 3.5. Fatores de influência.....                                    | 10         |
| 3.6. Estudos de tempos e movimentos .....                          | 11         |
| <b>4. MATERIAL E MÉTODOS .....</b>                                 | <b>14</b>  |
| 4.1. Caracterização da área de estudo .....                        | 14         |
| 4.1.1. Plantio florestal.....                                      | 14         |
| 4.2. Sistema de colheita de madeira .....                          | 15         |
| 4.3. Amostragem e seleção das áreas de estudo .....                | 17         |
| 4.4. Análise técnica .....   | 18         |
| 4.4.1. Estudo de tempos e movimentos .....                         | 19         |
| 4.4.2. Determinação do Grau de Disponibilidade Mecânica (DM) ..... | 21         |
| 4.4.3. Determinação da Eficiência Operacional (EO) .....           | 21         |
| 4.4.4. Determinação da Produtividade Operacional (PR) .....        | 22         |
| 4.4.5. Determinação do Rendimento Energético (RE) .....            | 23         |
| 4.5. Análise econômica .....                                       | 23         |
| 4.5.1. Custos operacionais .....                                   | 23         |
| 4.5.1.1. Custos Fixos (CF) .....                                   | 23         |
| 4.5.1.2. Custos Variáveis (CV) .....                               | 25         |
| 4.5.1.3. Custo de Pessoal Operacional (CP) .....                   | 27         |
| 4.5.1.4. Custo de Administração (CAD) .....                        | 27         |
| 4.5.1.5. Custo Operacional Total (COT) .....                       | 28         |
| 4.5.2. Determinação do Custo de Produção (CPR) .....               | 28         |
| 4.5.3. Custo de Produção do Sistema de Colheita (CPSC).....        | 29         |
| 4.5.4. Rendimento Energético do Sistema de colheita (RET) .....    | 29         |
| 4.6. Fatores de influência na produtividade dos equipamentos ..... | 30         |

|   |           |
|---|-----------|
| 4.6.1. Espécie florestal.....   | 30        |
| 4.6.2. Volume médio por hectare .....                                       | 30        |
| 4.6.3. Volume médio por árvore .....  | 30        |
| 4.6.4. Solo .....   | 30        |
| 4.6.5. Relevo .....   | 31        |
| 4.6.6. Distância de extração .....  | 31        |
| 4.7. Análise estatística.....   | 31        |
| <b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>                                      | <b>34</b> |
| 5.1. Trator Florestal <i>Feller Buncher</i> .....                           | 34        |
| 5.1.1. Análise Técnica .....  | 34        |
| 5.1.1.1. Análise dos elementos do ciclo operacional.....                    | 34        |
| 5.1.1.2. Análise da produtividade e eficiência operacional .....            | 37        |
| 5.1.2. Análise Econômica .....  | 38        |
| 5.1.3. Estimativa da Produtividade.....                                     | 41        |
| 5.2. Trator Florestal <i>Skidder</i> .....                                  | 42        |
| 5.2.1. Análise Técnica .....  | 43        |
| 5.2.1.1. Análise dos elementos do ciclo operacional.....                    | 43        |
| 5.2.1.2. Análise da produtividade e eficiência operacional .....            | 48        |
| 5.2.2. Análise Econômica .....  | 52        |
| 5.2.3. Estimativa da Produtividade.....                                     | 55        |
| 5.3. Motosserra.....  | 56        |
| 5.3.1. Análise Técnica .....  | 56        |
| 5.3.1.1. Análise dos elementos do ciclo operacional.....                    | 56        |
| 5.3.1.2. Análise da produtividade e eficiência operacional .....            | 60        |
| 5.3.2. Análise Econômica .....  | 60        |
| 5.4. Trator Florestal <i>Harvester</i> .....                                | 63        |
| 5.4.1. Análise Técnica .....  | 63        |
| 5.4.1.1. Análise dos elementos do ciclo operacional.....                    | 63        |
| 5.4.1.2. Análise da produtividade e eficiência operacional .....            | 67        |
| 5.4.2. Análise Econômica .....  | 67        |
| 5.4.3. Estimativa da Produtividade.....                                     | 70        |
| 5.5. Custo de produção e rendimento energético do sistema de colheita ..... | 71        |
| <b>6. CONCLUSÕES .....</b>  | <b>73</b> |
| <b>7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>                                  | <b>74</b> |

## LISTA DE TABELAS

|  |    |
|--|----|
| Tabela 1. Sistema de colheita de madeira .....   | 15 |
| Tabela 2. Características técnicas das máquinas de colheita de madeira estudadas.....  | 16 |
| Tabela 3. Características técnicas dos implementos de colheita de madeira estudadas. ....  | 17 |
| Tabela 4. Características dos talhões selecionados.....  | 18 |
| Tabela 5. Variáveis independentes utilizadas nas equações de produtividade.....  | 32 |
| Tabela 6. Tempo médio dos elementos do ciclo operacional do <i>Feller Buncher</i> nas diferentes classes de produtividade do povoamento.....   | 37 |
| Tabela 7. Produtividade e eficiência operacional do <i>Feller Buncher</i> nas diferentes classes de produtividade do povoamento. ....  | 38 |
| Tabela 8. Custos fixos e variáveis do <i>Feller Buncher</i> . ....   | 39 |
| Tabela 9. Custo de produção e rendimento energético do <i>Feller Buncher</i> nas diferentes classes de produtividade do povoamento.....  | 40 |
| Tabela 10. Estatísticas e coeficientes dos modelos de produção ajustados para o <i>Feller Buncher</i> . ....   | 42 |
| Tabela 11. Número de ciclos operacionais observados e necessários no estudo do <i>Skidder</i> . ..   | 43 |
| Tabela 12. Tempo médio do ciclo operacional do <i>Skidder</i> nas diferentes classes de produtividade do povoamento. ....  | 47 |
| Tabela 13. Tempo médio (minutos) dos elementos deslocamento vazio e carregado do <i>Skidder</i> nas diferentes classes de produtividade do povoamento e distâncias de extração. .... | 47 |
| Tabela 14. Produtividade média do <i>Skidder</i> nas diferentes classes de produtividade do povoamento e distâncias de extração.....   | 51 |
| Tabela 15. Custos fixos e variáveis do <i>Skidder</i> . ....   | 52 |
| Tabela 16. Custos de produção e rendimento energético do <i>Skidder</i> nas diferentes classes de produtividade do povoamento e distâncias de extração.....                          | 54 |
| Tabela 17. Estatísticas e coeficientes dos modelos de produção ajustados para o <i>Skidder</i> . ....  | 55 |
| Tabela 18. Produtividade e eficiência operacional da motosserra nas diferentes classes de produtividade média do povoamento.....   | 60 |
| Tabela 19. Custos fixos e variáveis da motosserra. ....  | 61 |
| Tabela 20. Custo de produção e rendimento energético da motosserra.....  | 62 |
| Tabela 21. Tempo médio do ciclo operacional do <i>Harvester</i> nas diferentes classes de produtividade do povoamento. ....  | 66 |
| Tabela 22. Produtividade e eficiência operacional do <i>Harvester</i> nas diferentes classes de produtividade média do povoamento.....   | 67 |
| Tabela 23. Custos fixos e variáveis do <i>Harvester</i> . ....   | 68 |
| Tabela 24. Custo de produção e rendimento energético do <i>Harvester</i> . ....  | 69 |
| Tabela 25. Estatísticas e coeficientes dos modelos de produção ajustados para o <i>Harvester</i> . ..  | 71 |
| Tabela 26. Custo de produção e rendimento energético do sistema de colheita de madeira nas diferentes classes de produtividade do povoamento.....                                    | 72 |

## LISTA DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 1. Localização da região e área de estudo. ....   | 14 |
| Figura 2. Distribuição percentual do ciclo operacional do <i>Feller Buncher</i> nas diferentes classes de produtividade do povoamento. ....                      | 35 |
| Figura 3. Distribuição dos tempos percentuais efetivos do <i>Feller Buncher</i> nas diferentes classes de produtividade do povoamento. ....                      | 36 |
| Figura 4. Distribuição percentual das interrupções do <i>Feller Buncher</i> . ....   | 36 |
| Figura 5. Distribuição percentual dos componentes do custo operacional do <i>Feller Buncher</i> . ....   | 40 |
| Figura 6. Produtividade e custo de produção do <i>Feller Buncher</i> nas diferentes classes de produtividade do povoamento. ....                                 | 41 |
| Figura 7. Produtividade do <i>Feller Buncher</i> no corte em função do volume por ciclo. ....  | 42 |
| Figura 8. Distribuição percentual do ciclo operacional do <i>Skidder</i> nas diferentes classes de produtividade do povoamento. ....                             | 44 |
| Figura 9. Distribuição percentual dos tempos efetivos do ciclo operacional do <i>Skidder</i> nas diferentes classes de produtividade do povoamento. ....         | 45 |
| Figura 10. Tempos médios consumidos pelo <i>Skidder</i> nas diferentes classes de produtividade do povoamento e distâncias de extração. ....                     | 46 |
| Figura 11. Distribuição percentual das interrupções operacionais do <i>Skidder</i> nas diferentes classes de produtividade do povoamento. ....                   | 48 |
| Figura 12. Volume médio arrastado pelo <i>Skidder</i> por ciclo operacional nas diferentes classes de produtividade do povoamento e distâncias de extração. .... | 49 |
| Figura 13. Produtividade efetiva do <i>Skidder</i> nas diferentes classes de produtividade do povoamento e distâncias de extração. ....                          | 50 |
| Figura 14. Distribuição percentual dos componentes do custo operacional do <i>Skidder</i> . ....   | 53 |
| Figura 15. Comportamento da produtividade e custo do <i>Skidder</i> nas diferentes classes de produtividade do povoamento. ....                                  | 54 |
| Figura 16. Produtividade do <i>Skidder</i> na extração em função do volume por ciclo. ....   | 56 |
| DSG: Desgalhamento; INT: Interrupções. ....  | 57 |
| Figura 17. Distribuição percentual dos tempos dos elementos do ciclo operacional da motosserra nas diferentes classes de produtividade do povoamento. ....       | 57 |
| DSG: Desgalhamento; INT: Interrupções. ....  | 58 |
| Figura 18. Interrupções operacionais e não operacionais da motosserra nas diferentes classes de produtividade do povoamento. ....                                | 58 |
| Figura 19. Distribuição percentual das interrupções operacionais da motosserra nas diferentes classes de produtividade do povoamento. ....                       | 59 |
| Figura 20. Tempo médio de desgalhamento por árvore nas diferentes classes de produtividade do povoamento. ....   | 59 |
| Figura 21. Distribuição percentual dos custos operacionais da motosserra. ....   | 62 |
| Figura 22. Comportamento da produtividade e custo da motosserra nas diferentes classes de produtividade do povoamento. ....                                      | 63 |
| Figura 23. Distribuição percentual do ciclo operacional do <i>Harvester</i> nas diferentes classes de produtividade do povoamento. ....                          | 64 |
| Figura 24. Distribuição dos tempos percentuais efetivos do <i>Harvester</i> nas diferentes classes de produtividade do povoamento. ....                          | 65 |
| Figura 25. Distribuição percentual das interrupções operacionais do <i>Harvester</i> nas diferentes classes de produtividade do povoamento. ....                 | 66 |

|   |    |
|---|----|
| Figura 26. Distribuição percentual dos componentes do custo operacional do <i>Harvester</i> . ....                                | 68 |
| Figura 27. Comportamento da produtividade e custo do <i>Harvester</i> nas diferentes classes de produtividade do povoamento ..... | 70 |
| Figura 28. Produtividade do <i>Harvester</i> no processamento em função do volume individual da árvore.....                       | 71 |
| Figura 29. Custos da colheita de madeira nas diferentes classes de produtividade do povoamento. ....                              | 72 |

## LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

|                         |   |  |
|-------------------------|---|--|
| <b>%</b>                | - | percentual                               |
| <b>cm</b>               | - | centímetro                               |
| <b>mm</b>               | - | milímetro                                |
| <b>m</b>                | - | metro                                    |
| <b>m<sup>2</sup>/ha</b> | - | metro quadrado por hectare               |
| <b>ha</b>               | - | hectare                                  |
| <b>m<sup>3</sup></b>    | - | metro cúbico                             |
| <b>m<sup>3</sup>/ha</b> | - | metro cúbico por hectare                 |
| <b>Hp</b>               | - | <i>horse power</i>                       |
| <b>kW</b>               | - | kilowats                                 |
| <b>m<sup>2</sup></b>    | - | metro quadrado                           |
| <b>R<sup>2</sup> aj</b> | - | coeficiente de determinação ajustado     |
| <b>Syx %</b>            | - | erro padrão da estimativa em percentagem |
| <b>CV %</b>             | - | coeficiente de variação                  |
| <b>N</b>                | - | número de repetições                     |
| <b>S</b>                | - | sul                                      |
| <b>W</b>                | - | <i>west</i>                              |
| <b>CHa</b>              | - | cambissolo húmico aluminíco típico       |
| <b>RRh</b>              | - | neossolo regolítico húmico típico        |
| <b>o</b>                | - | graus                                    |
| <b>t</b>                | - | toneladas                                |
| <b>psi</b>              | - | libra por polegada quadrada              |
| <b>kPa</b>              | - | quilo pascal                             |
| <b>kg</b>               | - | quilograma                               |

|                                      |   |  |
|--------------------------------------|---|--|
| <b>cm<sup>3</sup></b>                | - | centímetro cúbico  |
| <b>RPM</b>                           | - | rotações por minuto  |
| <b>DAP</b>                           | - | diâmetro a altura de 1,3 m                                       |
| <b>a.a.</b>                          | - | ao ano   |
| <b>R\$</b>                           | - | reais  |
| <b>he</b>                            | - | horas efetivas   |
| <b>R\$ he<sup>-1</sup></b>           | - | reais por hora efetiva   |
| <b>L he<sup>-1</sup></b>             | - | litros por hora efetiva  |
| <b>m<sup>3</sup>/he<sup>-1</sup></b> | - | metro cúbico por hora efetiva                                    |
| <b>R\$ m<sup>-3</sup></b>            | - | reais por metro cúbico   |
| <b>g/kW*he</b>                       | - | gramas por kilowats por hora efetiva                             |
| <b>g/kW*m<sup>3</sup></b>            | - | gramas por kilowats por metro cúbico                             |
| <b>PMP I</b>                         | - | produtividade média do povoamento I (403,0 m <sup>3</sup> /ha)   |
| <b>PMP II</b>                        | - | produtividade média do povoamento II (550,0 m <sup>3</sup> /ha)  |
| <b>PMP III</b>                       | - | produtividade média do povoamento III (670,0 m <sup>3</sup> /ha) |
| <b>DV</b>                            | - | deslocamento vazio   |
| <b>CE</b>                            | - | corte e empilhamento   |
| <b>INT</b>                           | - | interrupções   |
| <b>INO</b>                           | - | interrupções não operacionais                                    |
| <b>MC</b>                            | - | manobra e carga  |
| <b>DC</b>                            | - | deslocamento carregado   |
| <b>MD</b>                            | - | manobra e descarga   |
| <b>PR</b>                            | - | processamento  |
| <b>DSG</b>                           | - | desgalhamento  |

## RESUMO

André Leonardo Nasser Pereira. Avaliação de um sistema de colheita de *Pinus taeda L.* em diferentes produtividades do povoamento.

Este trabalho teve por objetivo realizar uma análise técnica e econômica de um sistema de colheita de madeira de árvores inteiras em plantios florestais com diferentes produtividades, visando subsidiar o planejamento, aumento de produtividade e redução de custos. Devido às características operacionais da colheita de madeira e sua relevante participação nos custos de produção torna-se necessário o conhecimento da real capacidade produtiva, custos de produção e variáveis de influência no sistema de colheita de madeira. A análise técnica e econômica foi realizada por meio do estudo de tempos e movimentos, determinando os custos operacionais e de produção, produtividade e eficiência operacional dos equipamentos *Feller Buncher*, *Skidder*, Motosserra e *Harvester*, componentes do sistema e suas interrupções. A coleta dos dados foi realizada nas áreas de uma empresa localizada na região norte de Santa Catarina, em plantios de *Pinus taeda L.*, com Produtividade Média do Povoamento (PMP) de 403,0, 550,0 e 670,0 m<sup>3</sup>/ha, PMP I, PMP II e PMP III respectivamente. Avaliando os resultados encontrados, o maior custo do sistema de colheita ocorreu na classe PMP I; o *Harvester* foi o equipamento que apresentou maior custo de produção, sendo o volume médio individual seu principal fator de influência; o *Feller Buncher* isoladamente foi o equipamento que apresentou o melhor rendimento energético na classe PMP III; a motosserra, em todas as classes foi o equipamento que apresentou o menor rendimento energético. Para o sistema como um todo, o melhor rendimento energético ocorreu na classe PMP III. O volume individual teve maior influência na produtividade da motosserra em relação ao tempo de desgalhamento por árvore. A maior produtividade do *Skidder* ocorreu na classe PMP III e nas distâncias  $\leq 50$  metros, sendo a distância de arraste o fator de maior influência na produtividade do equipamento; o volume por hectare teve influência relevante na produtividade do *Feller Buncher* principalmente sobre o elemento do ciclo “deslocamento vazio”. Na avaliação dos modelos o maior valor encontrado de R<sup>2</sup> ajustado foi para o *Skidder* e o menor para o *Harvester*. Com relação ao erro padrão da estimativa, o que apresentou o menor erro foi o *Harvester* e o maior foi o *Feller Buncher*.

**Palavras-chave:** colheita da madeira, estudo de tempos, análise econômica, produtividade.

## ABSTRACT

Evaluation of a timber harvesting system on *Pinus taeda* L. with different plantation productivities.

This study aimed to perform a technical and economic analysis of a timber harvesting system in whole trees in forest plantations with different productivities and to support the planning, increased productivity and cost reduction. Due to operational characteristics of timber harvest and its participation in costs of production, it's needed the knowledge about the real productivity capability, costs of production and variables of influence in timber harvest system. We performed a technical and economic analysis through the study of time and motion, determining operational costs, productivity and operational efficiency of equipment *Feller Buncher*, *Skidder*, *Harvester* and system components and their interruptions. Data collection was performed in the areas of a company located in northern Santa Catarina in plantation of *Pinus taeda* L., with average productivity of settlement (APS) of 403.0, 550.0 and 670.0 m<sup>3</sup>/ha., (APS) I, II and III respectively. From the results it was observed that the highest cost of harvesting system productivity occurred in class ASP I; *Harvester* had the highest cost of production, and the average individual volume was its major influencing factor; alone the machine that showed the best energetic performance was *Feller Buncher* in class APS III; the chain saw, in all of classes, had the lowest energy efficiency. For the system as a whole the best energy productivity was in class ASP III. The individual volume had more influence on the productivity of the chainsaw over time for delimiting tree. The greatest productivity in *Skidder* occurred in class ASP III and at distances  $\leq 50$  m, being the distance to drag the most influential factor in the productivity of equipment; The volume per hectare had important influence on productivity for *Feller Buncher*, mainly about the element of empty displacement cycle. In the evaluation of the models, the highest value for adjusted R<sup>2</sup> was for *Skidder* and the lowest one was for *Harvester*. As regard to the estimative standard error, the lowest error was identified in *harvester* and the highest one was in *Feller Buncher*.

**Keywords:** timber harvesting, time study, economic analysis, performance

## 1. INTRODUÇÃO

O setor florestal era pouco expressivo dentro da economia brasileira até o final da década de 60, quando a indústria era incipiente e não possuía fontes seguras de abastecimento (MACHADO, 2008). Entretanto, no final da década de 60 com a criação da política governamental dos incentivos fiscais, que objetivou diminuir a exploração indiscriminada dos recursos florestais naturais por meio da implantação de florestas de rápido crescimento, o setor florestal tomou um impulso.

Neste período, o setor florestal atingiu um significativo nível de produtividade dos plantios, proporcionado pelas condições climáticas, de solo, disponibilidade de área, formação de mão-de-obra especializada e o desenvolvimento de novas tecnologias. Além disso, o setor florestal por meio de suas indústrias tem contribuído com a sociedade, colocando no mercado materiais imprescindíveis à população, como celulose, papel, madeira em tora e serrada, chapas, compensados, aglomerados e carvão.

Segundo a ABRAF (2010), as áreas de florestas plantadas com espécies dos gêneros *Eucalyptus* e *Pinus* no Brasil totalizaram, em 2009, 5,49 milhões de hectares. Existe uma tendência mundial de aumento do consumo de madeira, sendo que no Brasil, a taxa de crescimento anual deverá ser de 3,0%. Por isso, permanecendo essa tendência aumenta-se a importância de se ter um sistema de suprimento de madeira eficiente, que requeira alternativas de colheita de madeira que levem à sustentabilidade técnica, econômica e ambiental.

Dentro do setor florestal, a colheita de madeira é considerada uma das atividades mais importantes, visto ser a mais onerosa em termos de custo de produção, chegando a representar 50% ou mais dos custos totais da madeira posta na indústria (MACHADO, 1989). Além disso, é influenciada por diversos fatores do ponto de vista técnico, econômico, ambiental e social, que interferem diretamente no rendimento e no custo das operações (MACHADO, 2008; LOPES 2001; BAGIO E STOHR, 1978).

Para Arce *et al.* (2004), a colheita de madeira representa a operação final de um ciclo de produção florestal onde são obtidos os produtos mais valiosos constituindo um dos fatores que determinam a rentabilidade florestal.

O sistema de colheita de madeira compreende um conjunto de elementos e processos que envolvem a cadeia de produção e todas as atividades parciais, desde o corte até a madeira posta na indústria transformadora (MALINOVSKI *et al.* 2002). Apesar da existência de

diversos sistemas de colheita de madeira no que se refere à forma como a matéria prima é retirada do interior do talhão, no Brasil destaca-se basicamente os sistemas de colheita de madeira de toras curtas e de árvores inteiras. Cada um destes sistemas possui suas características de custos e uso de máquinas específicas para a execução das operações, que são influenciados pelo grau de mecanização e as condições locais. Na região Sul destaca-se o sistema de colheita de madeira de árvores inteiras, principalmente devido ao menor custo de produção, maior aproveitamento da biomassa e possibilidade de trabalho em terrenos planos e acidentados (MACHADO, 2008; MALINOVSKI *et al.* 2002).

De acordo com Moreira *et al.* (2004), Silva *et al.* (2003) e Bramucci e Seixas (2002), o aumento da demanda por produtos florestais, a necessidade de maior rendimento das operações, a escassez de mão de obra, o aumento dos custos sociais e a abertura do mercado às importações de máquinas de alta tecnologia, culminaram numa intensificação da mecanização das operações de colheita de madeira.

Entretanto, é importante destacar que os sistemas mecanizados de colheita de madeira são afetados por diversos fatores relacionados às características dos plantios florestais, características de terreno, habilidade do operador, especificações das máquinas, dentre outros, que interferem diretamente na capacidade operacional das máquinas e, conseqüentemente, no custo final da madeira. Além disso, de acordo com Simões (2008), a aquisição de máquinas depende de alto investimento financeiro, implicando na necessidade de definição de qual máquina ou conjunto de máquinas é mais apropriado para a realização das operações de forma racional, objetivando atingir o menor custo possível e sustentação em longo prazo.

No Brasil, devido à recente inserção das novas tecnologias na colheita de madeira, ainda existem poucas informações sobre a real capacidade produtiva das máquinas nas diversas condições de trabalho e as possíveis variáveis que interferem no rendimento das operações (MACHADO e LOPES, 2000). Por isso, o conhecimento da influência dos fatores que interferem nas operações de colheita de madeira, o conhecimento dos rendimentos operacionais e dos custos de produção das máquinas em diferentes situações operacionais é de fundamental importância para o setor florestal. Assim, as empresas poderão decidir pelo melhor sistema de colheita de madeira a ser utilizado e obter informações confiáveis que possam melhor subsidiar a tomada de decisões, possibilitando um planejamento eficiente das operações buscando a maximização dos rendimentos, minimização dos custos de produção e execução das operações com qualidade e forma ambientalmente correta.

## 2. OBJETIVOS

Este trabalho teve como objetivo geral, avaliar técnica e economicamente um sistema de colheita de madeira de árvores inteiras em plantios de *Pinus taeda* L. com diferentes produtividades do povoamento, visando subsidiar o planejamento das operações, aumento da produtividade dos equipamentos e a redução de custos.

Especificamente, objetivou-se:

- a) Analisar os elementos do ciclo operacional dos equipamentos componentes do sistema de colheita de madeira;
- b) Determinar a produtividade, a eficiência operacional e os custos operacionais e de produção dos equipamentos componentes do sistema de colheita de madeira;
- c) Avaliar a influência do volume total da floresta na produtividade e no custo de produção dos equipamentos componentes do sistema de colheita de madeira; e
- d) Ajustar modelos matemáticos para a estimativa da produtividade dos equipamentos em povoamentos com diferentes produtividades (volume total por hectare).

### **3. REVISÃO DE LITERATURA**

#### **3.1. Importância do setor florestal**

O setor florestal brasileiro destaca-se em relação a diversas áreas do setor produtivo. Do ponto de vista econômico tem sido responsável, anualmente, por aproximadamente 3,5% do Produto Interno Bruto (PIB), gerando 535.000 empregos diretos e 1,26 milhão empregos indiretos (ABRAF, 2010). Além disso, o setor florestal contribui na qualidade de vida da população e na melhoria do meio ambiente, por meio da manutenção dos recursos hídricos, edáficos e da qualidade do ar.

Segundo estimativa do Instituto Brasileiro de Planejamento Tributário (IBPT), o valor total de tributos arrecadados no Brasil, em 2008, foi da ordem de R\$ 1,06 trilhão, representando um crescimento de 14,8%, comparado ao ano de 2007, cuja arrecadação foi de R\$ 923,20 bilhões. Deste montante, a contribuição do setor de florestas plantadas do Brasil, na arrecadação de tributos durante o ano de 2008, foi de R\$ 8,82 bilhões, representando 0,83% de participação deste setor no total de impostos do Brasil (ABRAF, 2009).

Além disso, o Brasil é destaque por possuir a segunda maior cobertura florestal do mundo, tendo ainda desenvolvido tecnologias avançadas nos diversos setores, com destaque na área de colheita florestal e de transformação industrial (JUVENAL e MATTOS, 2002).

#### **3.2. Colheita florestal**

A colheita de madeira é um conjunto de operações realizadas no maciço florestal, visando preparar e extrair a madeira até o local de transporte, fazendo-se uso de técnicas e padrões estabelecidos com a finalidade de transformá-la em produto final (MACHADO 2008).

A colheita chega a representar 50% ou mais dos custos totais da madeira posta na indústria, sendo do ponto de vista econômico é a etapa mais importante do processo. É composta pelas etapas de corte (derrubada, desgalhamento, destopamento, traçamento e pré-extração), descascamento (quando executado no campo), extração e carregamento. De acordo com a situação, a operação de colheita de madeira envolve também o planejamento da

operação, a medição, o recebimento no pátio da indústria e a comercialização da madeira (TANAKA 1986).

São diversos os métodos e sistemas de colheita de madeira disponíveis, variando conforme a espécie florestal, a idade do povoamento, a finalidade do produto e as condições gerais da área a ser trabalhada, sendo que para cada grupo de condições específicas, certamente existem um método e um sistema de colheita mais indicado (SILVA *et al.*, 2003).

As etapas da colheita de madeira são:

**a) Corte:** é a primeira etapa e tem grande influência na realização das operações subsequentes, compreendendo a de derrubada, desgalhamento, destopamento, medição, traçamento e pré-extração (empilhamento ou enleiramento).

**b) Descascamento:** é a retirada da casca do tronco, realizado no campo ou na indústria, sendo considerada uma atividade opcional e podendo ou não fazer parte das atividades integrantes da colheita de madeira.

**c) Extração:** é a movimentação da madeira do local de corte até a beira do talhão ou estrada, carreador ou pátio intermediário. Pode ser feita por meio de arraste (contato total ou parcial da madeira com o solo), baldeio (transporte da madeira sobre uma plataforma), suspensão (por meio de cabos aéreos) e transporte direto (por meio de caminhão).

**d) Carregamento:** é o elo entre a extração e o transporte principal, sendo a operação responsável pela colocação de madeira sobre os veículos de transporte principal.

### 3.3. Sistemas de colheita de madeira

A palavra sistema sugere planejamento, método e ordem, compreendendo um grupo de componentes que estão interligados e contribuem para alcançar um objetivo comum (CONWAY, 1976). De acordo com Salmeron (1981), entende-se por sistema um conjunto de operações que devem estar perfeitamente integradas e organizadas entre si, de modo a permitir um fluxo constante de madeira, evitando-se pontos de estrangulamento e levando os equipamentos à sua máxima utilização. Para Machado (2008), sistema de colheita de madeira é definido como um grupo de atividades integradas, com o objetivo de fornecimento constante

de madeira para a indústria, variando conforme o relevo, o padrão da floresta, o sortimento e o objetivo da madeira além dos tipos de máquinas e equipamentos utilizados.

No Brasil destacam-se os seguintes sistemas:

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

Neste sistema a árvore é cortada e processada no interior do talhão, sendo que em seguida, a madeira é extraída para a margem do talhão, estrada, carreador ou pátio intermediário, na forma de toras com comprimento variando de 1 a 6 m, conforme o grau de mecanização. Segundo Malinovski (2007), o sistema de colheita de toras curtas 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 para a margem do talhão, na forma de baldeio.

Comparado com outros sistemas existentes, o sistema de toras curtas é aquele que causa o menor impacto ambiental, devido à baixa exportação de nutrientes e a menor compactação do solo (KELLOG e BETTINGER 1994; NURMINEN *et al.*). As maiores limitações deste sistema estão na maior dificuldade de realização das operações em terrenos com declividades mais acentuadas, da dificuldade quando do aproveitamento da biomassa residual da colheita e os maiores custos operacionais.

**b) Toras longas (tree-length)**

Neste sistema a árvore é cortada e semiprocessada (desgalhada e destopada) no local do corte e, em seguida, o fuste arrastado é para a margem do talhão, estrada, carreador ou pátio intermediário, onde é realizado o processamento final. A principal vantagem deste sistema, segundo Malinovski (1998), é o seu custo reduzido quando mecanizado, sendo bastante utilizado pelas empresas florestais da região Sul do Brasil. A limitação refere-se ao aproveitamento da biomassa residual da colheita, uma vez que toda a galhada permanece distribuída no interior do talhão.

**c) Árvores inteiras (full-tree)**

Neste sistema após o corte da árvore a mesma é extraída para a margem do talhão, carreador ou pátio intermediário, onde então é realizado o processamento completo (desgalhamento, destopamento, traçamento e empilhamento). As vantagens deste sistema, de

acordo com Malinovski *et al.* (2002), é a possibilidade de uso em terrenos planos e declivosos. Machado (1989) cita que este sistema deixa a área livre de resíduos, diminuindo os riscos de incêndios, facilitando o preparo do solo, além de possibilitar o aproveitamento da biomassa residual para a indústria, devido concentração dos resíduos na beira da estrada. Além disso, é importante ressaltar o maior rendimento operacional e menor custo de produção deste sistema de colheita, quando comparado aos demais. Entretanto, as maiores limitações referem-se à maior exigência de planejamento, para evitar “gargalos” no sistema pelas características de acúmulo de galhada na zona de operação, aumento da exportação de nutrientes do interior do talhão e necessidade de adotar um alto índice de mecanização (MALINOVSKI *et al.*, 2002).

### **3.4. Mecanização da colheita florestal**

A mecanização da colheita de madeira no Brasil teve início na década de 70, com a produção, em escala industrial, de equipamentos como as motosserras e as guas hidráulicas, caracterizando-se como método de colheita semimecanizada e intensificando-se até o início da década de 90 (BRAMUCCI e SEIXAS, 2002).

Rocha Filho (1993) afirmou que os sistemas de colheita manual e semimecanizado encontravam-se praticamente esgotados quanto à possibilidade de ganhos de produtividade. Em função disso e pela falta de mão de obra disponível, necessidade de melhorias nas condições ergonômicas e de segurança do trabalho, menores impactos ambientais e necessidade de um fornecimento regular de matéria-prima para a indústria, houve a necessidade de modernização da colheita de madeira, por meio da mecanização intensiva e adoção de novas tecnologias.

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

O processo de modernização da colheita de madeira ocorreu no início dos anos 90, com a abertura do mercado brasileiro à importação de máquinas de alta tecnologia (BRAMUCCI e SEIXAS, 2002). Naquela época, muitas empresas, fabricantes nacionais e internacionais, disponibilizaram máquinas e equipamentos de alta tecnologia e produtividade, originadas dos países escandinavos e norte-americanos. Segundo Lopes (2001), o avanço da

mecanização trouxe vários benefícios às empresas florestais, como redução da dependência de mão de obra, melhoria das condições de trabalho, fornecimento regular e em quantidade crescente de madeira, aumento de produtividade e redução de custos.

Apesar dos ganhos significativos de produtividade e redução de custos obtidos no período, em relação aos métodos manuais e semimecanizados, a mecanização das atividades de colheita de madeira passou a ser mais estudada, pois apresentava potencial de aumento de produtividade, redução dos custos, melhorias das condições de trabalho e redução de impactos no meio ambiente.

Dentro da colheita de madeira mecanizada, de acordo com Machado (2008) e Malinovski *et al.* (2002), os principais tratores florestais disponíveis no mercado brasileiro são:

#### **a) *Harvester***

É um trator florestal que realiza as operações de corte, desgalhamento, traçamento e empilhamento, composto por uma máquina, uma grua e um cabeçote, sendo automotriz e com a finalidade de cortar e processar as árvores dentro da floresta. Suas características principais são definidas por um conjunto-motriz de alta mobilidade e boa estabilidade. O conjunto rodante pode ser de pneus ou esteiras. Este trator pode ser concebido exclusivamente para aplicação florestal, bem como ser adaptado a partir da instalação do cabeçote processador *Harvester* em uma máquina básica de esteiras, denominada escavadeira hidráulica.

O cabeçote possui múltiplas funções, sendo acoplado no braço hidráulico, onde a sua altura e comprimento máximo são pontos importantes para a seleção de modelos aplicados a determinadas situações. O controle da máquina base é realizado por meio de pedais e sistemas automatizados de força e o controle do cabeçote de corte, braço hidráulico bem como o giro da máquina, é realizado por meio de *joysticks*, demandando o mínimo esforço do operador e proporcionando segurança, precisão e conforto. A potência varia de acordo com o modelo ficando entre 94 e 227 hp e o peso total entre 8,5 e 16,5 t.

#### **b) *Feller Buncher***

É um trator florestal que realiza as operações de corte, acumulação e empilhamento. As árvores cortadas são acumuladas em seu cabeçote para a posterior formação e empilhamento dos feixes de árvores sobre o terreno. Também foi desenvolvido para aplicação

florestal, podendo ainda ser adaptado a partir da instalação do cabeçote *Feller Buncher* em uma máquina básica de esteiras, denominada escavadeira hidráulica.

O cabeçote é uma peça de construção rígida, onde está localizado o sistema de corte, composto normalmente por um disco dentado e os braços acumuladores, que são acionados por um sistema hidráulico. O procedimento de corte consiste em fixar a árvore por meio de duas pinças e, em seguida, fazer o corte ao nível do solo. Esta seqüência pode ser alterada de acordo com o instrumento de corte do cabeçote. Após o corte, o braço acumulador é acionado para o acúmulo da árvore no cabeçote, reabrindo em seguida o braço e acionando o instrumento de corte para a nova operação, repetindo a operação por várias vezes, até atingir a capacidade de acumulação do cabeçote.

O *Feller Buncher* possui rodados de pneu, disponível com dois eixos motrizes e chassi articulado ou com rodados de esteiras. Seu peso pode atingir até 20 toneladas, enquanto a potência do motor pode chegar, dependendo de marca e modelo, à aproximadamente 270 hp.

#### **c) *Skidder***

É um trator florestal desenvolvido exclusivamente para o araste de árvores derrubadas, sendo articulado, com tração 4x4 ou 6X6 e equipado com rodados de pneus, esteiras ou semiesteiras montados sobre os pneus. Alguns modelos são adaptados com uma garra telescópica traseira, 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 toras e na limpeza de vias de acesso. A potência do trator varia de 134 hp a 230 hp e o peso entre 10 e 16 toneladas.

#### **d) *Forwarder***

É um trator florestal autocarregável, equipado com uma grua hidráulica e compartimento de carga, cuja capacidade de carga varia de 8 a 20 toneladas. É dotado de rodados de pneus em eixos *tandem* ou esteiras e, possui chassi articulado, que possibilita a diminuição do raio de giro nas manobras dentro do talhão. O carregamento e descarregamento são realizados por uma grua hidráulica com capacidade de carga que varia de 0,35 a 1,00 m<sup>2</sup> e alcance de 6,85 a 7,8 m. A potência do trator varia de 134 a 204 hp.

### 3.5. Fatores de influência

A colheita da madeira é de grande importância dentro do setor florestal, contribuindo com elevados custos no processo produtivo, além de ser influenciada por diversos fatores do ponto de vista técnico, econômico, ambiental, ergonômico e social, que interferem no rendimento e custo das operações (LOPES, 2001).

Entretanto, no Brasil, existem ainda poucos dados a respeito da real influência destes fatores e da capacidade produtiva das máquinas de colheita da madeira, que se pode esperar em diferentes condições de trabalho (BRAMUCCI e SEIXAS, 2002). As estimativas de produtividade e custos obtidos a partir dos fabricantes ou obtidos em trabalhos realizados em outros países mostram-se bastante frágeis, pois refletem dados obtidos em condições totalmente diversas, quanto ao sistema silvicultural, clima e formação profissional do operador, ficando clara a necessidade da realização de estudos específicos para as condições brasileiras.

Os principais fatores que influenciam a colheita de madeira são: o clima (precipitação, temperatura), a capacidade de suporte do terreno, relevo, características das árvores quanto ao diâmetro, tamanho dos galhos e da copa, peso e qualidade da madeira (SEIXAS, 1998). Outros fatores como as habilidades do operador, espaçamento de plantio e distância de extração, também podem interferir na produtividade (BURLA, 2008).

O volume total de madeira por hectare está fortemente relacionado ao aumento do volume individual das árvores. Em função disso, é natural que seja encontrada uma influência dessa variável sobre a produtividade das máquinas. Bramucci e Seixas (2002) encontraram comportamentos das curvas de regressão bastante semelhantes entre os volumes individuais das árvores e o volume por hectare.

Valverde (1995) constatou que a única variável que afetou diretamente o tempo de corte do *Feller Buncher* foi o volume de madeira por hectare. O autor verificou que, quanto menor o volume de madeira por hectare, menor foi o tempo consumido pela máquina para execução do corte, afetando negativamente a sua produtividade e gerando maior custo de produção. Já 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. Birro (2002) verificou que, a maior produtividade foi mais afetada pela distância de arraste do que

pela declividade, além de constatar que, a velocidade de deslocamento da máquina não foi significativamente afetada pelo aumento da declividade.

Segundo Bramucci e Seixas (2002), o volume médio das árvores foi a variável que melhor explicou individualmente a produtividade do *Harvester*, seguido pelas variáveis Dap médio, altura média das árvores e volume por hectare. Para Akay *et al.* (2004), a produtividade está muito relacionada ao tamanho da árvore, sendo que conforme aumenta o volume da árvore, aumenta a produtividade, desde que o tempo de processamento para as árvores seja igual.

No caso de sistemas de árvores inteiras, o volume de madeira por hectare foi a principal variável de influência na operação de corte de árvores com o *Feller Buncher* (VALVERDE, 1995). Já Moreira (2000) analisou diversos sistemas de colheita de madeira e verificou uma tendência de crescimento na produtividade com o aumento do volume médio por árvore. Segundo esse autor, todo e qualquer sistema de colheita a ser utilizado é influenciado por vários fatores. Portanto, a definição do melhor sistema de colheita a ser utilizado deve levar em consideração aquele que melhor possa se adequar às condições locais, buscando atingir a eficiência operacional e a redução dos custos de produção.

### **3.6. Estudos de tempos e movimentos**

O primeiro registro a respeito de estudos de tempos e movimentos remonta ao período entre 1881 e 1885, com Taylor e Gilbreth. Em meados de 1930, Mongenssen realizou a combinação do estudo de tempos com um procedimento sistemático de análise de operações, configurando-se no conceito moderno e utilizado nos dias atuais (BARNES, 1977).

Segundo Machado (1984), o estudo de tempos e movimentos tem grande influência na interação e na melhoria dos métodos operacionais e das condições de trabalho, permitindo a análise do processo produtivo e a relação homem-máquina. O controle da produção e os custos operacionais são essenciais na organização de um empreendimento, influenciando os rendimentos, as condições de trabalho e, o aproveitamento da mão de obra e do maquinário.

Para Barnes (1977), o estudo de tempos e movimentos auxilia no trabalho operacional e nos sistemas administrativos, possibilitando que sejam atingidos os objetivos da organização, resultando no aumento do rendimento operacional e induzindo maior satisfação do pessoal da produção. O estudo de tempos e movimentos pode ser empregado no

planejamento, controle e racionalização das operações, resultando em aumento de rentabilidade, que se manifesta por meio do aumento da produtividade ou pela redução dos custos de produção. O estudo de tempos e movimentos pode ainda ser utilizado no auxílio ao planejamento operacional.

Fenner (2002) afirmou que para atingir os objetivos na realização do estudo de tempos e movimentos é preciso conhecer os tempos parciais e totais necessários para desenvolver a atividade estudada, além dos rendimentos obtidos e os fatores que influenciam direta ou indiretamente no trabalho. Trata-se de levantar informações tais como, a incidência de perturbações, paradas, preparações, manutenção, falta de componentes, transportes, manuseios e outros. Os estudos são desenvolvidos para se otimizar o tempo total disponível de um sistema de forma a aumentar a capacidade em horas produtivas e de contrapartida reduzir as horas improdutivas, pois existem diferenças significativas entre as horas disponíveis para o trabalho e as horas efetivas trabalhadas.

Na realização do estudo de tempos e movimentos devem ser considerados os equipamentos e o desenvolvimento de processos adequados para cada caso específico. Deve ser considerada 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 dividido em análise e síntese. A análise é a pesquisa do decurso do trabalho na sua situação (estado atual), como ele acontece na prática, ocorrendo intervenções na estruturação do sistema de trabalho. 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).

Para Barnes (1977), existem basicamente três métodos de cronometragem para a realização do estudo de tempos e movimentos, que são:

**a) Método de tempo contínuo**

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 para a posição zero. Não é necessário fazer subtrações e o tempo do elemento é obtido diretamente, diminuindo a incidência de erros de transcrição ou de análise.

**c) Método multimomento**

O cronômetro gira continuamente, não sendo medidos os tempos dos elementos do ciclo de trabalho, mas a frequência, em intervalos de tempo previamente fixado. Não é recomendado quando alguns elementos correspondem a uma pequena fração do tempo.

## 4. MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1. Caracterização da área de estudo

A pesquisa foi conduzida em plantios florestais de uma empresa localizada na região Norte do Estado de Santa Catarina (Figura 1a). A região do estudo está situada entre os paralelos 26°42'52'' S e 49°29'00'' W, com uma altitude média de 530 m (Figura 1b). O clima característico da região, conforme classificação de Koppen é Cfb mesotérmico úmido, sem estações secas e com verões quentes e invernos rigorosos, temperatura média anual de 19,7 °C e precipitação média anual entre 1.600 a 1.700 mm (GAPLAN, 1986).

De acordo com informações obtidas na empresa, os solos das áreas de estudo são definidos como um Cambissolo Húmico Aluminíco típico (CHa), de textura franco-argilo-arenosa, com horizonte A húmico e um Neossolo Regolítico Húmico típico (RRh), de textura franco-argilo-arenosa, com horizonte A húmico, com relevo de plano a suave ondulado.

#### 4.1.1. Plantio florestal

Os plantios utilizados neste estudo são constituídos por *Pinus taeda* L. e o regime de manejo adotado é o corte raso realizado aos 35 anos de idade.



**Figura 1.** Localização da região e área de estudo.  
Fonte: *Google Earth* modificado (2010)

## 4.2. Sistema de colheita de madeira

É o de árvores inteiras (*full tree*), onde após a realização do corte, as árvores são retiradas do interior do talhão até a sua margem, para o posterior desgalhamento, destopamento e traçamento.

Na Tabela 1 pode-se, observar as atividades e descrição das máquinas do sistema de colheita de madeira avaliado.

**Tabela 1.** Sistema de colheita de madeira.

| Atividade     | Máquina   | Procedimento operacional  |
|---------------|---|---|
| Corte         | <br><b>Feller Buncher</b> | Foi realizada pelo <i>Feller Buncher</i> , que se deslocava em uma faixa de 5 metros, formando feixes de árvores sobre o terreno em um ângulo aproximadamente de 45° em relação ao alinhamento do plantio.                    |
| Arraste       | <br><b>Skidder</b>       | Foi realizado pelo <i>Skidder</i> , que se deslocava até os feixes de árvores, realizava a manobra, o engate dos fustes, o arraste e o descarregamento das árvores na beira do talhão, em uma distância máxima de 200 metros. |
| Desgalhamento | <br><b>Motosserra</b>    | Foi realizado na beira do talhão por um trabalhador florestal com uso de uma motosserra, executando a operação no sentido da base até a copa árvore.  |
| Traçamento    | <br><b>Harvester</b>     | Foi realizado na beira do talhão pelo <i>Harvester</i> , sendo as toras dispostas conforme o sortimento desejado.   |

Nas Tabelas 2 e 3 são apresentadas respectivamente, as características técnicas das máquinas e dos implementos utilizados no estudo.

**Tabela 2.** Características técnicas das máquinas de colheita de madeira estudadas.

| <b>Máquina</b>        | <b>Especificações Técnicas</b>   | <b>Horas Trabalhadas</b> |
|-----------------------|--|--------------------------|
| <i>Feller Buncher</i> | Marca <i>Caterpillar</i> , modelo 522, motor <i>Caterpillar</i> C9 ACERT (Diesel), potência nominal de 263 hp / 196,1 kW, rodados de esteiras e peso operacional de 30,4 toneladas.  | 5.697                    |
| <i>Skidder</i>        | Marca <i>Caterpillar</i> , modelo 545, motor <i>Caterpillar</i> 3306 DITA (Diesel), potência nominal de 225 hp, tração de 4X4, rodados de pneus (pressão de 42 psi/290 kPa) recobertos com semi-esteiras (marca <i>Eco Wheel Track</i> ) na parte dianteira, garra com área útil de 1,5 m <sup>2</sup> e peso operacional de até 18,2 toneladas. | 6.481                    |
| <i>Motosserra</i>     | Marca <i>Stihl</i> , modelo MS 381, 72,2 cm <sup>3</sup> de cilindrada, comprimento de corte do sabre 50 cm, corrente passo/tipo 3/8" rapid micro, peso (sem combustível, guia e corrente) 6,6 kg, potência 3,9 kW/5,3 CV, relação peso/potência 1,7 kg/kW.  | 154                      |
| <i>Harvester</i>      | Marca <i>Caterpillar</i> , modelo 320 C, motor <i>Caterpillar</i> 3066T (Diesel), potencia nominal de 138 hp, rodados de esteiras e peso operacional de 21,0 toneladas.  | 6.148                    |

**Tabela 3.** Características técnicas dos implementos de colheita de madeira estudadas.

| <b>Implemento</b>                 | <b>Especificações Técnicas</b>   | <b>Horas Trabalhadas</b> |
|-----------------------------------|--|--------------------------|
| Cabeçote<br><i>Feller Buncher</i> | Marca <i>Caterpillar</i> , modelo HF 201, altura 3.064 mm, largura 1.690mm, profundidade 1.750mm, área útil de corte de 4,6 m <sup>2</sup> , capacidade de carga 2.517kg, diâmetro do disco 1.448mm, velocidade do disco 1.175rpm, número de dentes de corte 16. | 5.697                    |
| Cabeçote<br><i>Harvester</i>      | Marca <i>Prentice</i> , modelo PD 57, peso 1.905 kg, diâmetro máximo de corte 660 mm, equipado com quatro facas de desgalhamento.  | 9.000                    |
| Cabeçote<br><i>Harvester</i>      | Marca <i>Logmax</i> , modelo LM 7000, peso 1.218 kg, diâmetro máximo de corte de 750 mm, equipado com quatro facas de desgalhamento.   | 4.000                    |

### 4.3. Amostragem e seleção das áreas de estudo

Inicialmente foi realizado um estudo piloto buscando definir o número mínimo de observações do ciclo operacional de cada máquina componente do sistema de colheita de madeira, de modo a proporcionar um erro de amostragem máximo de 5%, conforme metodologia proposta por Barnes (1977), por meio da expressão 1:

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

em que:

n = número mínimo de ciclos necessários;

t = valor de t, para o nível de probabilidade desejado em (n – 1) graus de liberdade;

CV = coeficiente de variação, em porcentagem; e

E = erro admissível, em porcentagem.

Em seguida, conhecendo-se o número de observações necessárias para cada máquina e levando-se em consideração a faixa de corte do *Feller Buncher*, definiu-se o tamanho mínimo da área a ser colhida, dentro de cada classe de produtividade de plantio.

A partir deste ponto, com base no plano de colheita de madeira da empresa durante o período de realização do estudo, foram selecionados talhões contemplando três classes de produtividade média do povoamento (PMP) por hectare, com o acompanhamento das operações de cada equipamento componente do sistema de colheita de madeira, procurando não interferir no sistema normal de trabalho da empresa.

As parcelas amostrais localizadas no interior dos talhões tinham área de três hectares cada uma, com declividade e distâncias de extração semelhantes. Na Tabela 4 são apresentadas as características dos talhões selecionados para realização deste estudo.

**Tabela 4.** Características dos talhões selecionados.

| <b>Característica</b>                     | <b>PMP I</b> | <b>PMP II</b> | <b>PMP III</b> |
|---|--------------|---------------|----------------|
| Idade de corte (anos)                     | 24,0         | 39,0          | 39,0           |
| Área basal (m <sup>2</sup> /ha)           | 29,05        | 44,36         | 45,36          |
| Número médio de árvores/hectare           | 333,0        | 410,0         | 416,0          |
| DAP médio (cm)                            | 34,62        | 36,57         | 36,42          |
| Altura média (m)                          | 28,34        | 29,52         | 29,45          |
| Volume médio individual (m <sup>3</sup> ) | 1,21         | 1,34          | 1,61           |
| Volume médio/hectare (m <sup>3</sup> /ha) | 403,0        | 550,0         | 670,0          |
| Declividade média do terreno (%)          | 7,0          | 8,0           | 8,0            |

#### **4.4. Análise técnica**

A análise técnica de cada equipamento componente do sistema de colheita de madeira foi realizada com base nos seguintes parâmetros:

#### 4.4.1. Estudo de tempos e movimentos

Foi realizado empregando-se o método de cronometragem de tempo contínuo caracterizado pela medição do tempo sem a detenção do cronômetro. A leitura do cronômetro foi feita no ponto de medição referente à atividade parcial recém concluída. No estudo foram utilizados, um cronômetro centesimal, prancheta e formulários de campo específicos, desenvolvidos para esta finalidade.

Para a realização do estudo de tempos e movimentos foi feita uma subdivisão do ciclo operacional de cada máquina componente do sistema de colheita, conforme descrição a seguir:

##### *a) Feller Buncher*

Os elementos considerados no ciclo operacional de corte desta máquina foram:

**Deslocamento Vazio (DV):** iniciava-se no momento em que, após completar o corte de um feixe de árvores, a máquina iniciava a movimentação em direção à árvore a ser cortada e terminava no momento em que a mesma parava, dando início à movimentação da grua e cabeçote.

**Corte e Empilhamento (CE):** iniciava-se no momento em que a grua e o cabeçote de corte eram acionados e direcionados à árvore a ser cortada e terminava quando o cabeçote de corte abria as pinças liberando a árvore ou o feixe de árvores em local previamente definido.

**Interrupções (INT):** foram registrados como interrupções todos os tempos em que, a máquina não estava realizando as atividades mencionadas.

##### *b) Skidder*

Os elementos considerados no ciclo operacional do arraste foram:

**Deslocamento Vazio (DV):** iniciava-se no momento em que a máquina começava o deslocamento da margem do talhão ou estaleiro, em direção ao interior do talhão onde se localizava os feixes de árvores e, terminava quando a máquina iniciava a manobra para o carregamento.

**Manobra e Carga (MC):** iniciava-se no momento em que a máquina começava a manobra, fazendo um giro de aproximadamente 45° a 180° em relação ao seu eixo de

deslocamento, preparando-se para a coleta do feixe de árvores, e terminava quando ocorria o fechamento da garra com a carga suspensa.

**Deslocamento Carregado (DC):** iniciava-se no momento em que a máquina começava a se deslocar com a carga parcialmente suspensa em direção à margem do talhão ou estaleiro, e terminava quando a mesma chegava próximo à margem do talhão ou estaleiro, posicionado para efetuar o descarregamento do feixe.

**Descarregamento e Manobra (DM):** iniciava-se no momento em que a garra hidráulica da máquina era aberta para a liberação do feixe de árvores e terminava quando, após realizar a manobra, a máquina iniciava o deslocamento em direção ao interior do talhão.

**Interrupções (INT):** foram registrados como interrupções todos os tempos em que a máquina não estava realizando as atividades mencionadas.

### *c) Motosserra*

Devido à dificuldade de realização do estudo com esta máquina, coletando os dados de todas as árvores existentes nas áreas amostrais optou-se, neste trabalho, por realizar uma avaliação por um determinado período de tempo. Sendo assim, foram coletados dados por um período de aproximadamente 16,6; 19,0 e 19,7 horas, equivalente a 299, 304 e 335 árvores processadas, dentro das PMP I, II e III, respectivamente.

Os elementos considerados no ciclo operacional desta máquina foram:

**Desgalhamento (DSG):** iniciava-se no momento em que o motosserrista deslocava-se em direção aos galhos a serem cortados e, terminava quando este interrompia o trabalho após finalizar o desgalhamento ou para a realização de pausas.

**Interrupções Operacionais (IOP):** foram registrados todos os tempos consumidos na atividade de desgalhamento, para realização da afiação de corrente, abastecimento e deslocamentos.

**Interrupções não Operacionais (INTO):** foram registrados todos os tempos consumidos com descanso, café, etc.

#### *d) Harvester*

Os elementos considerados no ciclo operacional do processamento com esta máquina foram:

**Deslocamento Vazio (DV):** iniciava-se no momento em que a máquina começava a se deslocar por um período superior a três segundos, com o objetivo de acessar o fuste a ser processado, e terminava quando ocorria a abertura dos braços do cabeçote para a realização do processamento.

**Processamento (PR):** iniciava-se no momento na abertura dos braços do cabeçote e terminava quando a última tora do fuste era processada, antes de iniciar um novo deslocamento ou processamento.

**Interrupções (INT):** foram registrados todos os tempos em que a máquina não estava realizando as atividades mencionadas.

#### **4.4.2. Determinação do Grau de Disponibilidade Mecânica (DM)**

A disponibilidade mecânica é a porcentagem do tempo de trabalho programado em que a máquina esteve mecanicamente apta a realizar o trabalho produtivo, desconsiderando o tempo em que a máquina estava em manutenção corretiva ou preventiva. Foi determinada pela expressão 2:

$$DM = \frac{TE}{(TE + TM)} \times 100 \quad (2)$$

em que:

DM = grau de disponibilidade mecânica (%);

TE = tempo de trabalho efetivo (hora); e

TM = tempo de manutenção (hora).

#### **4.4.3. Determinação da Eficiência Operacional (EO)**

A eficiência operacional é a porcentagem do tempo efetivamente trabalhado em relação ao tempo total programado para o trabalho, sendo determinada pela expressão 3:

$$EO = \frac{TE}{(TE + TI)} \times 100 \quad (3)$$

*em que:*

EO = eficiência operacional (%);

TE = tempo de trabalho efetivo (hora);

TI = tempo de interrupções (hora).

#### **4.4.4. Determinação da Produtividade Operacional (PR)**

A determinação da produtividade operacional foi feita mediante os dados de inventário fornecido pela empresa, onde se obteve o volume médio das árvores em cada classe de talhão estudado. Esse volume foi multiplicado pelo número de árvores cortadas, arrastadas, desganhadas e processadas pelas máquinas em cada ciclo operacional, e posteriormente, divididas pelas horas efetivamente trabalhadas, conforme a expressão 4:

$$PR = \frac{n \times V}{HE} \quad (4)$$

*em que:*

PR = produtividade (m<sup>3</sup>/he);

n = número de árvores cortadas, arrastadas, desganhadas e processadas em cada ciclo operacional;

V = volume médio individual das árvores (m<sup>3</sup>); e

HE = hora efetiva de trabalho (hora).

#### **4.4.5. Determinação do Rendimento Energético (RE)**

O rendimento energético foi obtido pela razão entre o consumo específico de combustível e a produtividade de cada máquina, determinado pela expressão 5:

$$RE = \frac{CE}{PR} \quad (5)$$

em que:

RE = rendimento energético (g/kW m<sup>3</sup>);

CE = consumo específico de combustível (g/kW he); e

PR = produtividade (m<sup>3</sup>/he).

#### **4.5. Análise econômica**

A análise econômica de cada equipamento componente do sistema de colheita de madeira foi realizada com base na determinação dos custos operacionais e de produção.

##### **4.5.1. Custos operacionais**

Os custos operacionais foram determinados por meio do método contábil, a partir de dados reais obtidos durante a coleta das informações e metodologias de cálculos utilizados pela empresa. Os custos operacionais englobaram o somatório dos custos fixos, custos variáveis, custo de pessoal operacional e custo de administração, conforme metodologia proposta por Miyata (1980) e Lopes (2001).

##### **4.5.1.1. Custos Fixos (CF)**

São aqueles que não variam com as horas de operação, ou seja, 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, juros e seguros.

### a) Depreciação (DP)

É o modo de se recuperar o investimento original em uma máquina, na medida em que ocorre o seu envelhecimento ou obsolescimento. A inclusão deste valor no custo operacional representa a continuação de um capital de reserva para a aquisição de uma nova máquina.

Para o cálculo da depreciação foi utilizado o método de depreciação linear, conforme a expressões 6 e 7:

$$DP = \frac{Va - Vr}{N \times He} \quad (6)$$

em que:

DP = depreciação linear da máquina (R\$/he);

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).

$$He = \frac{Nd * d * Nt(100 - TD)}{100} \quad (7)$$

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 (%).

## **b) Juros e Seguros (JS)**

Os juros foram calculados aplicando-se ao investimento médio anual (IMA) uma taxa de juros correspondente ao custo de oportunidade que seria aplicado ao capital. Já o seguro é 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.

Neste trabalho utilizou-se 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 8 e 9:

$$JS = \frac{IMA * i}{He} \quad (8)$$

em que:

JS = custos de juros e seguros (R\$/he);

IMA = investimento médio anual (R\$);

i = taxa de juros e seguros (%); e

He = horas efetivas de trabalho anual (horas).

$$IMA = \frac{(Va - Vr) * (N + 1)}{2 * N} + Vr \quad (9)$$

em que:

Va = valor de aquisição da máquina + implemento (R\$);

Vr = valor residual ou de revenda da máquina + implemento (R\$); e

N = vida útil estimada (anos).

### **4.5.1.2. Custos Variáveis (CV)**

São os custos diretamente ligados com a intensidade de uso da máquina, ou seja, ocorrem de acordo com a quantidade produzida ou com o uso da máquina. Fazem parte os custos com combustível, lubrificantes e graxas, óleo hidráulico, pneus e semi-esteiras, manutenção, transporte de máquinas e transporte de pessoal.

#### **a) Custo de Combustível (CC)**

É o custo referente ao consumo de óleo diesel, obtido a partir dos diários de campo durante a realização do estudo, sendo calculado pela expressão 10:

$$CC = P_u * C \quad (10)$$

em que:

CC = custo de combustível (R\$ he);

P<sub>u</sub> = preço de um litro de óleo diesel (R\$/L); e

C = consumo de óleo diesel por hora efetiva (L/he).

#### **b) Custo de Lubrificantes e Graxas (CLG)**

É o custo referente ao consumo de óleos lubrificantes e graxas. Foi considerado como sendo 10% dos custos com combustíveis utilizados pela empresa, calculado pela expressão 11:

$$CLG = ILG * CC \quad (11)$$

em que:

CLG = custo com lubrificantes e graxas (R\$ he);

ILG = índice de custos com lubrificantes e graxas (10% dos custos de combustíveis); e

CC = custos com combustíveis (R\$ he).

#### **c) Custo de Óleo Hidráulico (COH)**

É o custo referente ao consumo do óleo hidráulico pelo equipamento, sendo que neste trabalho, a taxa de consumo foi obtida junto à empresa e embutida no cálculo de consumo de lubrificantes e graxas.

#### **d) Custo de Pneus, Esteiras ou semi-esteiras (CP)**

É o custo referente aos gastos com pneus, esteiras ou semi-esteiras, de acordo com o sistema rodante da máquina, sendo calculado pela expressão 12:

$$CP = \frac{Nr * Vr}{Hr} \quad (12)$$

em que:

CP = custo dos rodados (R\$/he);

Vr = valor de um pneu, esteira ou semi-esteira da máquina (R\$);

Nr = número de rodados (pneus ou semi-esteira) da máquina; e

Hr = vida útil de um pneu, esteira ou semi-esteira, em horas efetivas (he).

#### **e) Custo de Manutenção e Reparos (CM)**

É o custo relacionado com a manutenção preventiva e corretiva da máquina. Este custo foi obtido a partir de dados históricos da empresa.

#### **4.5.1.3. Custo de Pessoal Operacional (CP)**

São os custos relacionados com salários diretos mais os custos de benefícios e encargos sociais (fundo de garantia, 13º salário, férias, seguros, alimentação, plano de saúde, vestuário e transporte de pessoal) e, foram obtidos na empresa, em valores mensais e divididos pelas respectivas quantidades de horas trabalhadas por mês.

#### **4.5.1.4. Custo de Administração (CAD)**

São custos relacionados com os trabalhos de escritório e supervisão das atividades de campo, sendo obtidos na empresa, em valores mensais e divididos pela quantidade de horas trabalhadas por mês. Foi utilizado no cálculo o percentual de 5% dos custos fixos, variáveis e de pessoal operacional.

#### 4.5.1.5. Custo Operacional Total (COT)

Este custo foi obtido pelo somatório dos custos fixos, variáveis, pessoal e de administração de cada máquina estudada, sendo calculado pela expressão 13:

$$COT = CF + CV + CP + CAD \quad (13)$$

em que:

COT = custo operacional total (R\$/he);

CF = custos fixos (R\$/he);

CV = custos variáveis (R\$/he);

CP = custo de pessoal operacional (R\$/he); e

CAD = custo de administração (R\$/he).

#### 4.5.2. Determinação do Custo de Produção (CPR)

O custo de produção dos equipamentos componentes do sistema de colheita foi obtido pela divisão dos custos operacionais (R\$ he<sup>-1</sup>) pela produtividade (m<sup>3</sup>/he<sup>-1</sup>), sendo calculado pela expressão 14:

$$CPR = \frac{COT}{PR} \quad (14)$$

em que:

CPR = custo de produção de máquina (R\$/m<sup>3</sup>);

COT = custo operacional total da máquina (R\$/he); e

PR = produtividade da máquina (m<sup>3</sup>/he).

#### 4.5.3. Custo de Produção do Sistema de Colheita (CPSC)

Este custo refere-se ao somatório dos custos de produção de cada máquina componente do sistema de colheita, incluindo as etapas de corte, extração, desgalhamento e processamento. Foi determinado por meio da expressão 15:

$$\text{CPSC} = \text{CPF B} + \text{CPSK} + \text{CPM} + \text{CPH} \quad (15)$$

em que:

CPSC = custo total de produção do sistema de colheita (R\$/m<sup>3</sup>);

CPF B = custo de produção do *Feller Buncher* (R\$/m<sup>3</sup>);

CPSK = custo de produção do *Skidder* (R\$/m<sup>3</sup>);

CPM = custo de produção da Motosserra (R\$/m<sup>3</sup>); e

CPH = custo de produção do *Harvester* (R\$/m<sup>3</sup>).

#### 4.5.4. Rendimento Energético do Sistema de colheita (RET)

Foi obtido pelo somatório dos rendimentos energéticos de cada máquina componente do sistema de colheita, por meio da expressão 16:

$$\text{RET} = \text{REFB} + \text{RESK} + \text{REMS} + \text{REH} \quad (16)$$

em que:

RET = rendimento energético do sistema de colheita (g kW<sup>-1</sup>/m<sup>3</sup>);

REFB = rendimento energético do *Feller Buncher* (g kW<sup>-1</sup>/m<sup>3</sup>);

RESK = rendimento energético do *Skidder* (g kW<sup>-1</sup>/m<sup>3</sup>);

REMS = rendimento energético da Motosserra (g kW<sup>-1</sup>/m<sup>3</sup>); e

REH = rendimento energético do *Harvester* (g kW<sup>-1</sup>/m<sup>3</sup>).

#### **4.6. Fatores de influência na produtividade dos equipamentos**

Durante a realização do estudo de tempos e movimentos foram analisados alguns possíveis fatores que poderiam interferir na produtividade e nos custos de cada equipamento componente do sistema de colheita de madeira.

##### **4.6.1. Espécie florestal**

Em toda a área estudada, a espécie florestal colhida foi o *Pinus taeda* L, sendo considerado como um fator constante.

##### **4.6.2. Volume médio por hectare**

Foi obtido por meio dos dados de inventário florestal fornecido pela empresa, expresso em  $\text{m}^3/\text{ha}^{-1}$  com casca. Este estudo considerou os seguintes volumes médios por hectare com casca nas áreas selecionadas:  $404 \text{ m}^3/\text{ha}^{-1}$  (PMP I),  $550 \text{ m}^3/\text{ha}^{-1}$  (PMP II) e  $710 \text{ m}^3/\text{ha}^{-1}$  (PMP III).

##### **4.6.3. Volume médio por árvore**

Foi obtido por meio dos dados de inventário florestal fornecido pela empresa, expresso em  $\text{m}^3/\text{arv}^{-1}$  com casca.

##### **4.6.4. Solo**

Os tipos de solos predominantes nas áreas de estudo foram o cambissolo húmico aluminoso típico e o Neossolo regolítico húmico típico, sendo considerados constantes por não interferirem diretamente nas operações de colheita de madeira.

#### **4.6.5. Relevo**

O relevo predominante nas áreas de estudo é plano a suave ondulado, com declividade média de 7,7%, sendo considerado constante.

#### **4.6.6. Distância de extração**

A distância de extração (DE) percorrida pelo *Skidder* do interior do talhão até a margem do talhão ou estaleiro foi estratificada em três classes:

PMP I –  $DE \leq 50$  m;

PMP II –  $50 < DE \leq 100$  m; e

PMP III –  $DE > 100$  m.

As classes de distâncias foram definidas em função da distância máxima de extração encontrada nas áreas de estudo, sendo delimitadas com auxílio de estacas e trena de 20 metros.

#### **4.7. Análise estatística**

Foi empregado o Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC), sendo considerados três tratamentos (diferentes PMP) e diferentes números de repetições (ciclos operacionais). Foram efetuadas análises de variância e quando necessário foi empregado o teste de *Tukey* ao nível de 95% de probabilidade para cada elemento parcial do ciclo operacional, bem como para comparar as produtividades, os custos de produção e os rendimentos energéticos de cada máquina componente do sistema de colheita.

Foram efetuadas análises de regressão para verificar a associação entre a variável dependente (produtividade) e as variáveis independentes (fatores de influência mais relevantes dos equipamentos), conforme apresentado na Tabela 5.

**Tabela 5.** Variáveis independentes utilizadas nas equações de produtividade.

| Variáveis independentes |  |   |                                      |   |                           |
|-------------------------|--|---|--------------------------------------|---|---------------------------|
| Equipamento             | Volume individual (VI) (m <sup>3</sup> ) | Tempo de processamento individual (TPI) (s) | Distância média de extração (DA) (m) | Volume médio do ciclo (DC) (m <sup>3</sup> he <sup>-1</sup> ) | Tempo do ciclo (TC) (min) |
| <i>Feller Buncher</i>   |  |   |                                      | X   | X                         |
| <i>Skidder</i>          |  |   | X                                    | X   | X                         |
| <i>Harvester</i>        | X  | X   |                                      |   |                           |

Para a avaliação estatística das equações foram utilizados os seguintes critérios: coeficiente de determinação ajustado ( $R^2$  aj), erro padrão da estimativa absoluto e em percentagem ( $S_{yx}$  e  $S_{yx}$  %), o valor de F e a análise gráfica dos resíduos, em percentagem.

**a) *Feller Buncher***

$$Y = \beta_0 + \beta_1 VC + \beta_2 TC \quad (18)$$

em que:

Y = produtividade do equipamento (m<sup>3</sup> he<sup>-1</sup>);

DC = volume do ciclo (m<sup>3</sup>);

TC = tempo do ciclo (min); e

$\beta_0, \beta_1$  e  $\beta_2$  = coeficientes.

**b) *Skidder***

$$Y = \beta_0 + \beta_1 VC + \beta_2 DA + \beta_3 TC \quad (19)$$

em que:

Y = produtividade do equipamento ( $\text{m}^3 \text{he}^{-1}$ );

DC = volume do ciclo ( $\text{m}^3$ );

DA = distancia média de extração (m);

TC = tempo do ciclo (min); e

$\beta_0, \beta_1, \beta_2$  e  $\beta_3$  = coeficientes.

*c) Harvester*

$$Y = \beta_0 + \beta_1 \text{VI} + \beta_2 \text{TPI} \quad (20)$$

*em que:*

Y = produtividade do equipamento ( $\text{m}^3 \text{he}^{-1}$ );

VI = volume individual ( $\text{m}^3$ );

TPI = tempo de processamento individual (s); e

$\beta_0, \beta_1$  e  $\beta_2$  = coeficientes.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1. Trator Florestal *Feller Buncher*

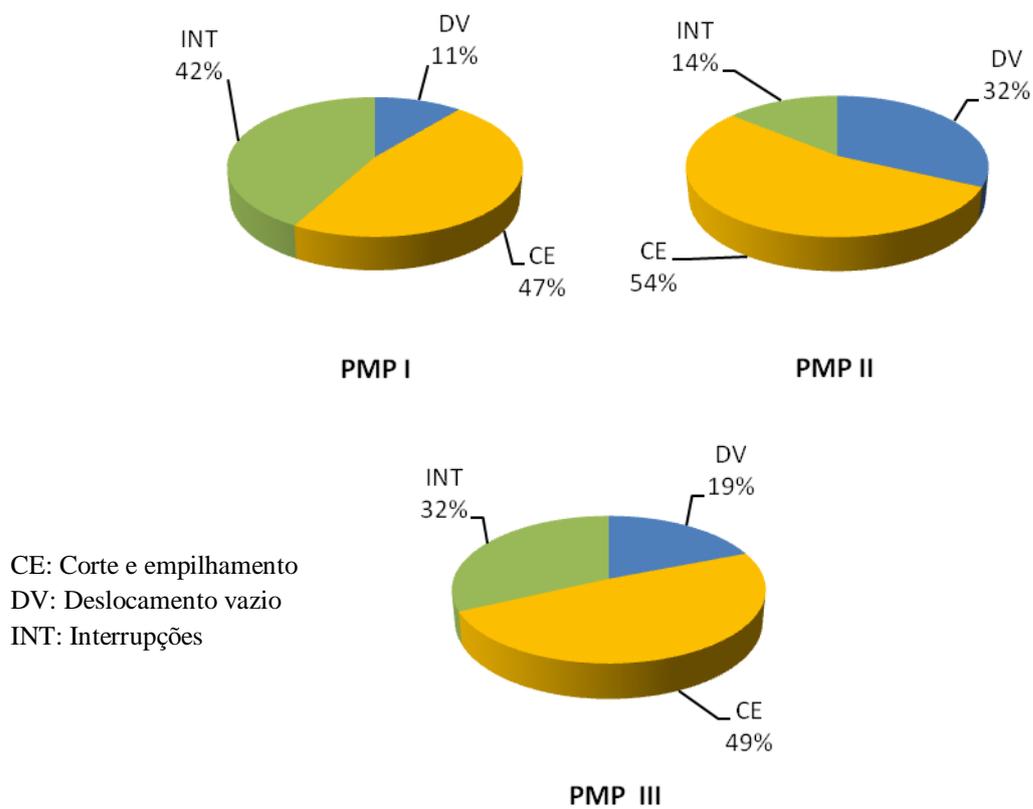
No estudo do *Feller Buncher* foi avaliado um total de 3.452 ciclos operacionais, sendo 999, 1.230 e 1.248 em PMP I, PMP II, e PMP III, respectivamente. Os ciclos operacionais foram considerados para o elemento parcial corte e empilhamento (CE), caracterizado pela busca, corte e empilhamento de cada árvore individualmente. O número de ciclos operacionais amostrais  $N$  requerido para o estudo foi de 437,1; 416,4 e 485,4 em PMP I, PMP II, e PMP III, respectivamente, considerando um erro de amostragem admissível de 5% ao nível de confiança de 95%.

#### 5.1.1. Análise Técnica

##### 5.1.1.1. Análise dos elementos do ciclo operacional

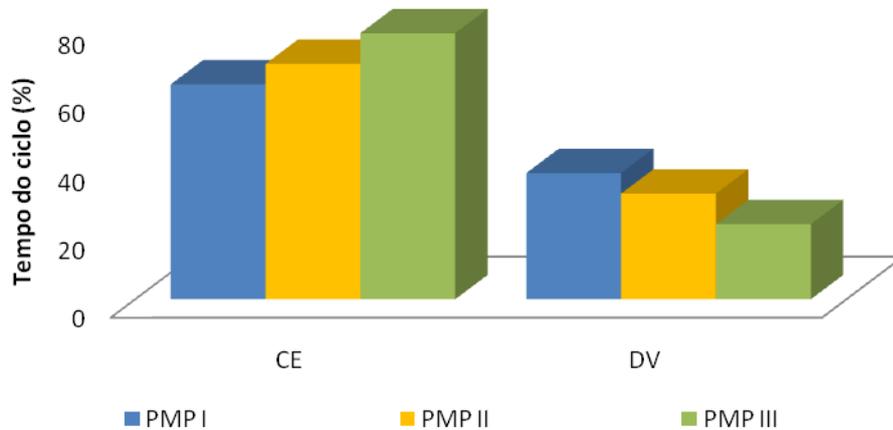
Por meio do estudo de tempos e movimentos foi possível determinar o percentual de tempo parcial gasto em cada elemento do ciclo operacional do *Feller Buncher* nas diferentes PMPs. Assim, pode-se a partir destes resultados, aperfeiçoar cada fase da atividade e, conseqüentemente, aumentar a produtividade e reduzir os custos de produção.

Conforme Figura 2, o tempo utilizado para o elemento parcial corte e empilhamento (CE), apesar de ser o maior com relação ao ciclo operacional total do *Feller Buncher*, torna-se baixo em relação ao tempo total disponível, devido ao elevado tempo de deslocamento da máquina no interior do talhão e pelas varias interrupções no trabalho. Tal fato deveu-se, principalmente pelo menor número de árvores existentes nas áreas estudadas, por se tratar de locais onde houve desbaste da floresta. Além disso, é importante ressaltar que, o maior volume individual das árvores impossibilitou o acúmulo de mais de uma árvore no cabeçote. Com isso, a máquina necessitava efetuar o corte de cada árvore individualmente e após, efetuar o agrupamento para o posterior arraste, ocasionando assim, um maior tempo deste elemento.



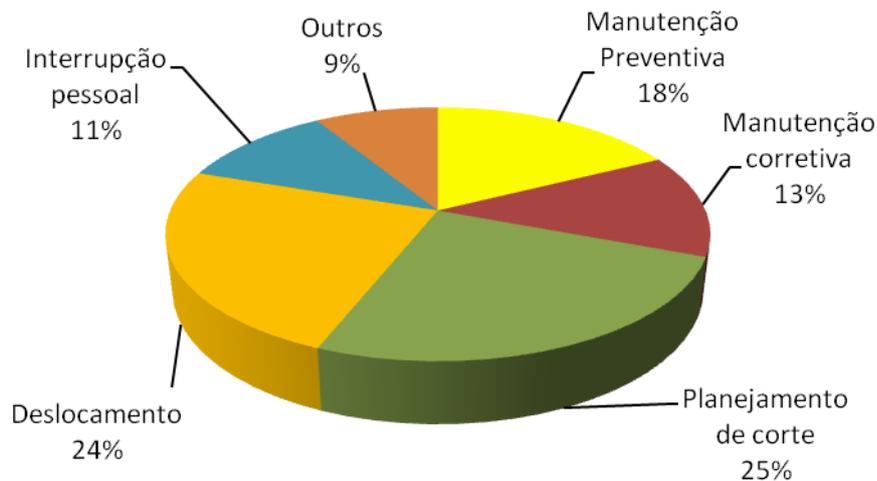
**Figura 2.** Distribuição percentual do ciclo operacional do *Feller Buncher* nas diferentes classes de produtividade do povoamento.

De acordo com a Figura 3, observa-se que, à medida que aumentou o volume da floresta, houve um aumento do elemento parcial corte e empilhamento dentro do ciclo operacional e redução do elemento parcial deslocamento. Tal fato possibilitou o maior acesso e alcance da máquina dentro do mesmo raio de ação para efetuar o corte e empilhamento das árvores e, conseqüentemente, uma menor necessidade de deslocamento vazio, resultando em uma maior produtividade do equipamento.



**Figura 3.** Distribuição dos tempos percentuais efetivos do *Feller Buncher* nas diferentes classes de produtividade do povoamento.

Na Figura 4 é mostrada a distribuição percentual média das interrupções do *Feller Buncher* nas diferentes PMPs. Como pode ser observado, o planejamento de corte da área contribuiu para o maior tempo percentual das interrupções. Isto se deveu ao fato do *Feller Buncher* ser a primeira máquina a entrar em operação no talhão, demandando maior atenção e reconhecimento prévio da área pelo operador, além de ter contribuído para o elevado tempo de deslocamento da máquina no interior do talhão e entre talhões.



**Figura 4.** Distribuição percentual das interrupções do *Feller Buncher*.

As manutenções preventivas e corretivas contribuíram juntas, com 31% das interrupções operacionais da máquina, ocasionadas pelas características da floresta, onde o elevado porte das árvores exigiu maior potência do equipamento, principalmente do cabeçote.

Na Tabela 6 são mostrados os tempos médios dos elementos parciais e total do ciclo operacional do *Feller Buncher* nas diferentes classes de Produtividade Média do Povoamento (PMPs). Como pode ser visto, o tempo médio do ciclo operacional diminuiu com o aumento da produtividade da floresta, ocasionado pelo maior número e volume individual das árvores existentes na área de estudo. Tal resultado evidencia que, o volume total de madeira por hectare está fortemente relacionado com o número e o volume individual das árvores, e em função disso, é natural que seja encontrada uma influência dessa variável sobre a produtividade do *Feller Buncher*.

É importante observar que, tanto no corte e empilhamento quanto no deslocamento vazio, os tempos dos elementos parciais apresentaram diferenças significativas entre a classe de PMP I em relação às demais. Tal resultado pode ser explicado pela menor quantidade (333) de árvores por hectare existente na classe de PMP I, quando comparado às demais PMP II e PMP III, com 410 e 416 árvores por hectare, respectivamente.

**Tabela 6.** Tempo médio dos elementos do ciclo operacional do *Feller Buncher* nas diferentes classes de produtividade do povoamento.

| PMP          | Tempo médio dos elementos do ciclo operacional (minuto) |        |        |        | Total |
|--------------|---|--------|--------|--------|-------|
|              | CE  |        | DV     |        |       |
|              | Média   | CV (%) | Média  | CV (%) |       |
| <b>I</b>     | 0,42 a  | 50     | 1,22 a | 58     | 1,64  |
| <b>II</b>    | 0,37 b  | 41     | 0,85 b | 51     | 1,22  |
| <b>III</b>   | 0,39 b  | 37     | 0,71 b | 41     | 1,11  |
| <b>Média</b> | 0,39  | 42     | 0,92   | 50     | 1,32  |

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente a 5% de significância pelo teste de *Tukey*.

### 5.1.1.2. Análise da produtividade e eficiência operacional

A produtividade média por hora efetiva de trabalho, ou seja, desconsiderando as interrupções do *Feller Buncher*, foi de 148,25 m<sup>3</sup>/h, enquanto a produtividade real foi de 103,77 m<sup>3</sup>/h, considerando uma eficiência operacional média de 70% (Tabela 7).

Como pode ser observado, houve diferença significativa na produtividade do *Feller Buncher* entre as classes de Produtividade Média do Povoamento (PMP) estudada, mostrando a influência do número de árvores e do volume médio na produtividade do equipamento. Simões (2008), analisando dois sistemas de colheita de eucalipto, observou para o *Feller Buncher*, uma produtividade média de 118,51 m<sup>3</sup> por hora trabalhada e uma eficiência operacional de 93% realizando o corte e empilhamento de árvores com DAP médio de 14 cm. Fiedler *et al.* (2008), analisando a produtividade de um sistema de árvores inteiras, constataram para o *Feller Buncher* uma produtividade média efetiva de 47,3 m<sup>3</sup>/hora e eficiência operacional de 35,6%, justificada pela grande quantidade de manutenções corretivas, devido ao equipamento estudado possuir um elevado número de horas de uso.

A disponibilidade mecânica do *Feller Buncher* foi de 91,6%, estando abaixo ao valor encontrado por Simões (2008) com 95,79% e acima do obtido por Fiedler *et al.* (2008), que obteve valor de apenas 47,1%.

**Tabela 7.** Produtividade e eficiência operacional do *Feller Buncher* nas diferentes classes de produtividade do povoamento.

| PMP          | Produtividade efetiva (m <sup>3</sup> /he) | Produtividade real (m <sup>3</sup> /h) | Eficiência operacional média (%) |
|--------------|--|--|----------------------------------|
| I            | 123,34 a                                   | 86,34 a                                | 70,0                             |
| II           | 145,52 b                                   | 101,86 b                               |                                  |
| III          | 175,89 c                                   | 123,12 c                               |                                  |
| <b>Média</b> | 148,25                                     | 103,77                                 |                                  |

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente a 5% de significância pelo teste de *Tukey*.

### 5.1.2. Análise Econômica

Na Tabela 8 são mostrados os valores médios dos custos fixos e variáveis obtidas para o *Feller Buncher* totalizando um custo operacional de R\$ 242,67 por hora trabalhada. É importante ressaltar que os custos fixos corresponderam a 33,7%, os custos variáveis a 51,7%, o custo de pessoal operacional a 9,5% e o custo de administração a 5,1% dos custos totais.

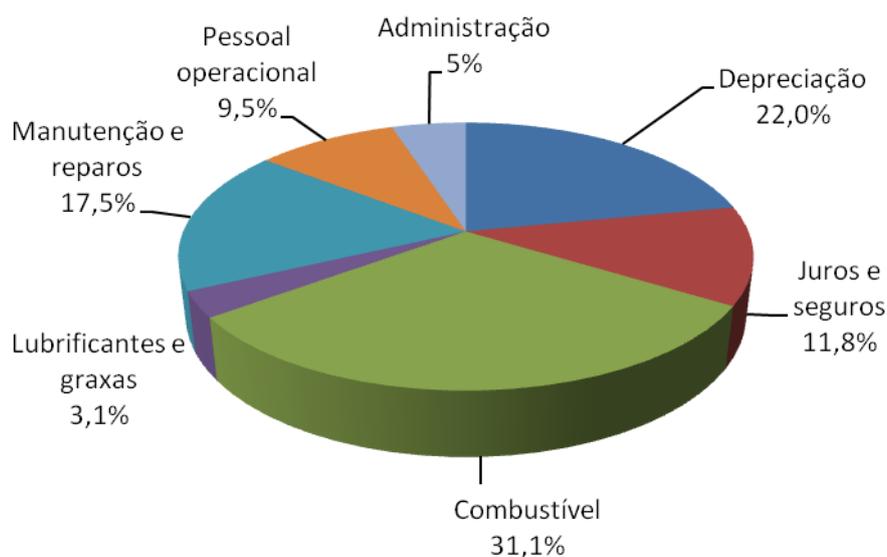
**Tabela 8.** Custos fixos e variáveis do *Feller Buncher*.

| <b>Item de Custo</b>       |                        | <b>Valor (R\$/hora)</b> | <b>Valor (%)</b> |
|----------------------------|------------------------|-------------------------|------------------|
| <b>Fixo</b>                | Depreciação            | 53,14                   | 33,8             |
|                            | Juros e seguros        | 28,74                   |                  |
| <b>Variável</b>            | Combustível            | 75,58                   | 51,7             |
|                            | Lubrificantes e graxas | 7,55                    |                  |
|                            | Manutenção e reparos   | 42,50                   |                  |
| <b>Pessoal operacional</b> |                        | 23,02                   | 9,5              |
| <b>Administração</b>       |                        | 12,13                   | 5,0              |
| <b>Total</b>               |                        | <b>242,67</b>           | <b>100,0</b>     |

Na Figura 5 são mostradas as participações percentuais dos custos fixos, variáveis, de pessoal e administração no custo operacional total do *Feller Buncher*.

Dentre esses custos fixos, destaca-se a depreciação do equipamento, com valor percentual de 22,0%, seguido pelos juros e seguros com 11,8%. Em relação aos custos variáveis destaca-se a alta participação do custo de combustível, devido à elevada exigência de potência do motor da máquina para a manutenção da rotação do disco de corte do cabeçote, situação também constatada por Simões (2008).

É importante ressaltar o baixo percentual dos custos de manutenção e reparos (17,5%), ocasionados pela baixa quantidade de horas trabalhadas pelo equipamento, diferente dos valores encontrados em estudos realizados por Moreira (2000), que encontrou 34,8%.



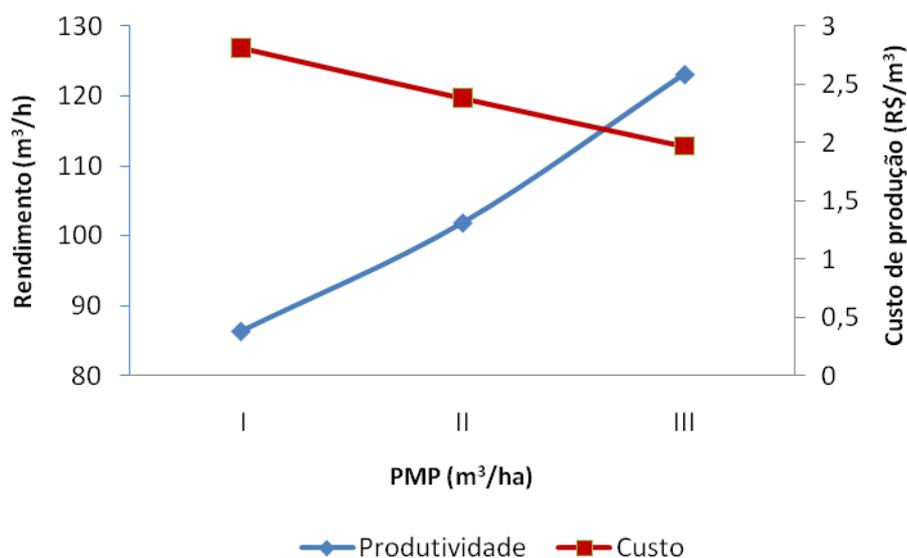
**Figura 5.** Distribuição percentual dos componentes do custo operacional do *Feller Buncher*.

Na Tabela 9 são mostrados o custo de produção e o rendimento energético do *Feller Buncher* nas diferentes classes estudadas (PMPs). Como pode ser observado, à medida que a produtividade do plantio aumentou, os valores do custo de produção e do rendimento energético tiveram tendência de diminuir, indicando que a produtividade do plantio devido à quantidade de árvores e ao volume individual destas árvores influenciou diretamente no custo de produção deste equipamento. Os valores médios do custo de produção e do rendimento energético do *Feller Buncher* estudado foram de R\$ 2,38/m<sup>3</sup> e 1,16 g/kW\* m<sup>3</sup>, respectivamente.

**Tabela 9.** Custo de produção e rendimento energético do *Feller Buncher* nas diferentes classes de produtividade do povoamento.

|   | PMP  |      |      | Média       |
|---|------|------|------|-------------|
|   | I    | II   | III  |             |
| <b>Custo de produção (R\$/m<sup>3</sup>)</b>      | 2,81 | 2,38 | 1,97 | <b>2,38</b> |
| <b>Rendimento energético (g/kW*m<sup>3</sup>)</b> | 1,32 | 1,19 | 0,99 | <b>1,16</b> |

À medida que a produtividade do plantio aumentou a produtividade do *Feller Buncher* também aumentou e os valores dos custos de produção diminuíram (Figura 6), demonstrando que a produtividade do plantio, representado pelas variáveis, número de árvores e volume individual das árvores influenciaram diretamente no custo deste equipamento. Valverde (1995) e Moreira (2000) encontraram o mesmo comportamento em seus estudos com esse equipamento, indicando que o *Feller Buncher* utilizado na operação de corte e empilhamento de árvores possui sensibilidade em relação às variações do volume médio por hectare.



**Figura 6.** Produtividade e custo de produção do *Feller Buncher* nas diferentes classes de produtividade do povoamento.

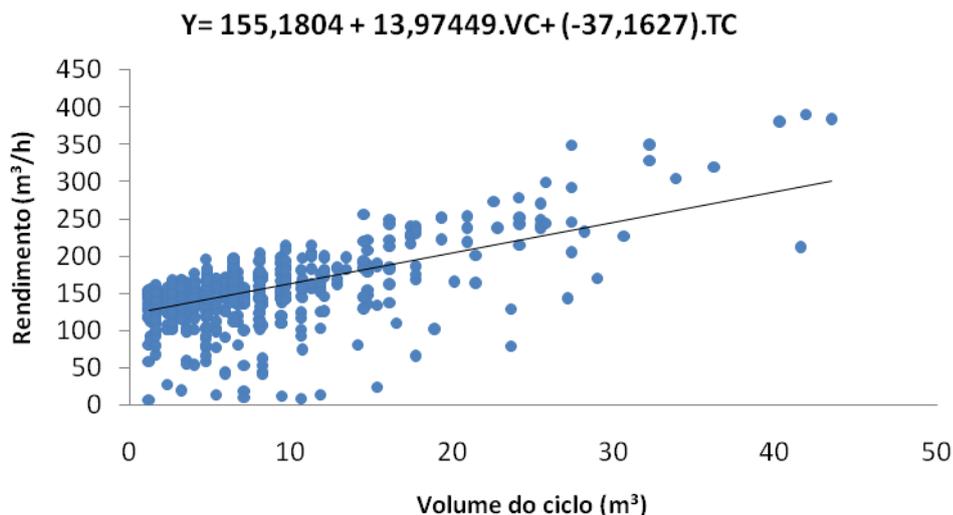
### 5.1.3. Estimativa da Produtividade

A análise de regressão para o modelo ajustado mostrou, que as variáveis independentes, volume e tempo do ciclo operacional, foram capazes de explicar em conjunto 64% do resultado da produtividade do *Feller Buncher*, com um erro de estimativa de 23% (Tabela 10 e Figura 7). Fiedler *et al.* (2008) encontraram coeficientes de determinação que chegaram a explicar de 53% a 92% da variável dependente na análise de um *Feller Buncher*,

cortando e empilhando uma faixa de trabalho de quatro linhas de plantio de eucalipto com volume médio individual de 0,166 m<sup>3</sup>.

**Tabela 10.** Estatísticas e coeficientes dos modelos de produção ajustados para o *Feller Buncher*.

| Estatística do modelo   |        |
|-------------------------|--------|
| Syx%                    | 22,77  |
| R <sup>2</sup>          | 0,64   |
| R <sup>2</sup> ajustado | 0,64   |
| $\beta_0$               | 155,18 |
| $\beta_1$               | 13,97  |
| $\beta_2$               | -37,16 |



**Figura 7.** Produtividade do *Feller Buncher* no corte em função do volume por ciclo.

## 5.2. Trator Florestal *Skidder*

O ciclo operacional do *Skidder* foi composto pelos elementos deslocamento vazio (DV); manobra e carga (MC); deslocamento carregado (DC) e manobra e descarga (MD). No estudo do *Skidder* em cada PMP foi avaliado um total de 1.053 ciclos operacionais.

Na Tabela 11 são mostrados os números de ciclos (N) operacionais observados e necessários em cada classe de distância, na respectiva PMP.

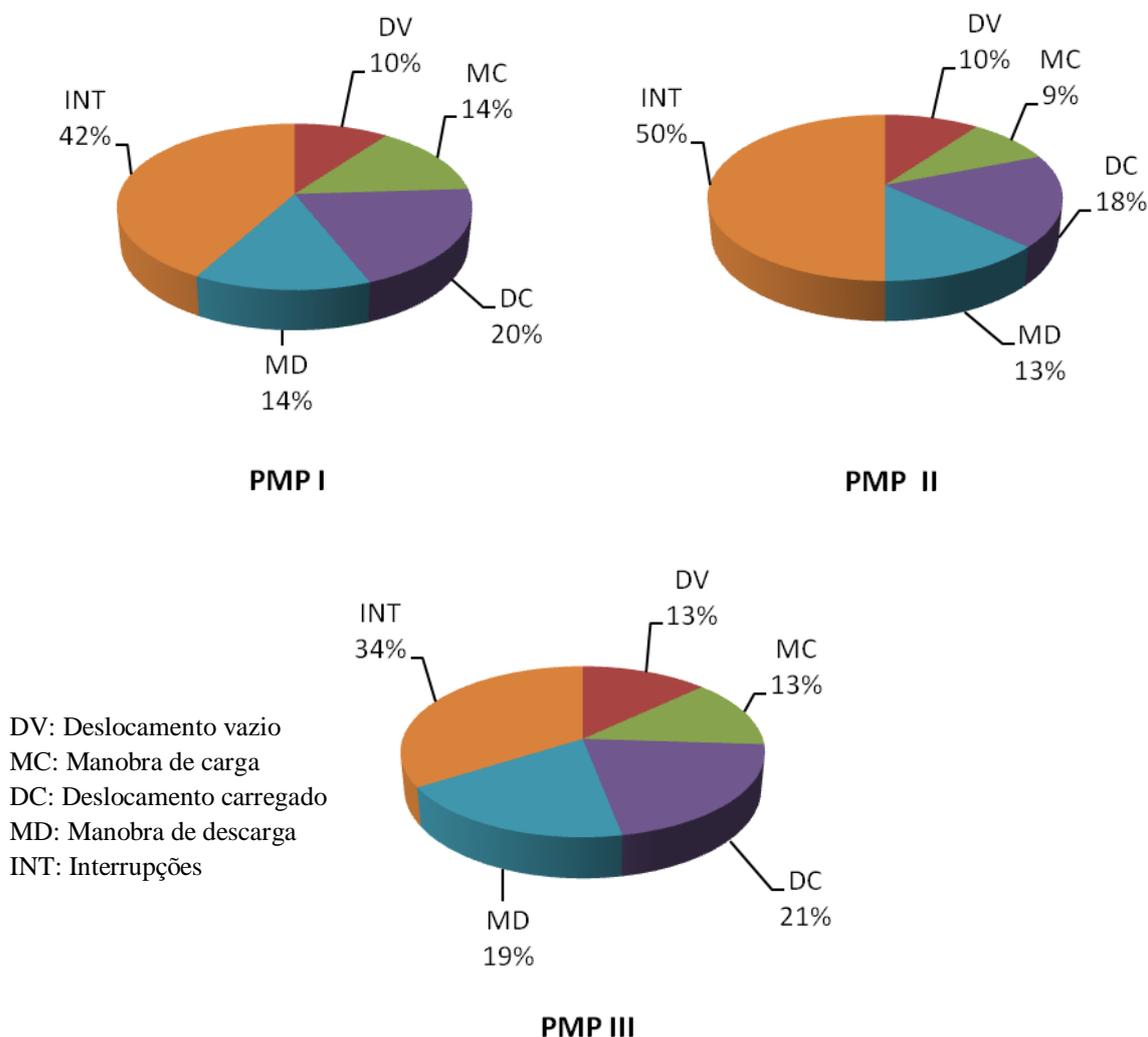
**Tabela 11.** Número de ciclos operacionais observados e necessários no estudo do *Skidder*.

| Classe de distância de extração (m) | PMP I  |         | PMP II |         | PMP III |         |
|-------------------------------------|--------|---------|--------|---------|---------|---------|
|                                     | N obs. | N Calc. | N obs. | N Calc. | N obs.  | N Calc. |
| DE ≤ 50                             | 123    | 110,72  | 244    | 236,23  | 188     | 165,89  |
| 50 < DE ≤ 100                       | 97     | 89,95   | 91     | 82,85   | 174     | 144,55  |
| DE > 100                            | 67     | 64,00   | 57     | 51,41   | 75      | 72,92   |
| Total                               | 287    | -       | 329    | -       | 437     | -       |

### 5.2.1. Análise Técnica

#### 5.2.1.1. Análise dos elementos do ciclo operacional

A constituição média dos elementos do ciclo operacional do *Skidder*, considerando todas as distâncias de extração para cada PMP é mostrada na Figura 8. Como pode ser observado, os elementos efetivos da operação de extração representaram baixa participação no tempo total do ciclo operacional, ocupando 58, 50 e 66% do tempo total para PMP I, II e III, respectivamente. Tal fato deveu-se principalmente aos elevados tempos ocasionados com as interrupções operacionais.

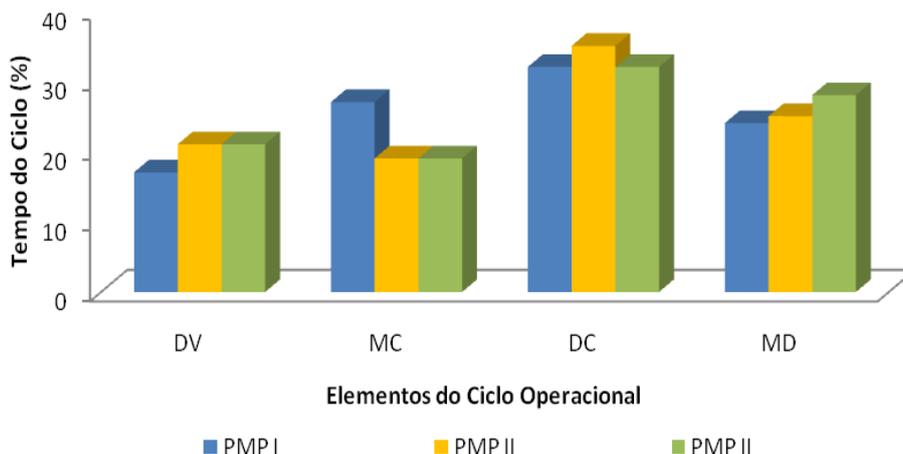


**Figura 8.** Distribuição percentual do ciclo operacional do *Skidder* nas diferentes classes de produtividade do povoamento.

Como pode ser observado na Figura 9, o elemento parcial que gastou a maior parte do tempo do ciclo operacional foi a deslocamento carregado, com 20, 18 e 21% do tempo total nas PMP I, II e III respectivamente, correspondendo a um tempo médio de 1,19 minutos.

É importante ressaltar que, o tempo de deslocamento, tanto carregado quanto vazio, é influenciado pela distância média a ser percorrida da margem do talhão até o feixe a ser arrastado, pelas condições da trilha, pela declividade do terreno e pela presença de obstáculos, como tocos e sub-bosque. Comparativamente a outros estudos verificou-se que, o baixo tempo do deslocamento carregado nas áreas estudadas, ocorreu devido à pequena distância de extração entre a margem da estrada e o feixe de árvores a serem arrastadas (75 metros). Além

disso, verificou-se que a máquina desenvolveu uma velocidade consideravelmente menor em relação ao deslocamento vazio, assumindo uma participação média de 33% do ciclo operacional.



**Figura 9.** Distribuição percentual dos tempos efetivos do ciclo operacional do *Skidder* nas diferentes classes de produtividade do povoamento.

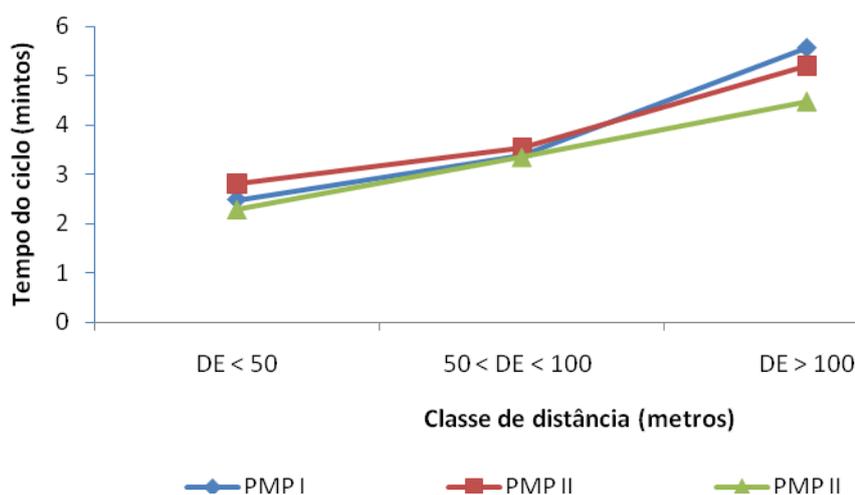
O elemento manobra e descarga vieram em seguida, demandando um tempo relativamente alto 14, 13 e 19% do tempo total nas PMP I, II e III respectivamente. Tal fato ocorreu devido às características dos talhões que possuíam espaço reduzido para a manobra do *Skidder* e descarregamento da madeira. Com isso, o equipamento necessitava agrupar as árvores em estaleiros mais altos e menos compridos. Outro fato observado que ocasionou o elevado tempo de manobra e descarga foi a baixa produtividade do processador *Harvester*, que não foi capaz de processar toda a madeira arrastada pelo *Skidder*, ocasionando com isso, o acúmulo de madeira na beira do talhão, comprometendo portando, o ciclo operacional desta máquina.

Nas Tabelas 12 e 13 são mostrados os tempos médios do ciclo operacional do *Skidder*, nas diferentes classes de Produtividade Média do Povoamento (PMP) e, os tempos médios (minutos) apenas dos elementos, deslocamento vazio e deslocamento carregado, nas diferentes classes de distância de extração e de produtividade de floresta, respectivamente.

Como pode ser visto, para as três classes de produtividade de floresta e distância de extração, o elemento parcial que mais demandou tempo foi o deslocamento carregado, com destaque na classe de produtividade II e distância superior a 100 m. Tal resultado deveu-se ao

fato do *Skidder* transportar um maior volume por ciclo nesta condição (Figura 12). Em seguida, destaca-se o tempo de manobra e carga em PMP I nas distâncias superiores a 100 m, principalmente devido à necessidade de se otimizar a carga, procurando transportar o volume máximo de carga compatível com a garra. Este comportamento também foi constatado por Lopes (2007), que encontrou valores mais significativos de deslocamentos e manobras de carga e descarga nas maiores distâncias de extração. O elemento deslocamento carregado foi o que sofreu maior influência nas diferentes PMPs, de maneira mais evidente em PMP I e PMP III, ocasionado pelo menor e maior volume individual das árvores, respectivamente.

Na Figura 10 são mostrados os tempos médios do ciclo operacional do *Skidder*, nas diferentes classes de distância de extração e de PMP da floresta. Constata-se que, o tempo total do ciclo operacional aumentou nas maiores distâncias de extração, mostrando a influência da distância no ciclo operacional da máquina. Na distância de extração acima de 100 m, o tempo do ciclo operacional deste equipamento foi maior em PMP I, ocasionado pelo menor número de árvores e volume individual das árvores e, por conseguinte, do feixe de árvores arrastados. Este resultado mostra que o volume de madeira por hectare afetou a produtividade do *Skidder*, principalmente nas maiores distâncias de extração.



**Figura 10.** Tempos médios consumidos pelo *Skidder* nas diferentes classes de produtividade do povoamento e distâncias de extração.

**Tabela 12.** Tempo médio do ciclo operacional do *Skidder* nas diferentes classes de produtividade do povoamento.

| PMP          | Tempo médio dos elementos do ciclo operacional (minutos) |        |        |        |          |        |        |        | INT  | Total |
|--------------|--|--------|--------|--------|----------|--------|--------|--------|------|-------|
|              | DV   |        | MC     |        | DC       |        | MD     |        |      |       |
|              | Média  | CV (%) | Média  | CV (%) | Média    | CV (%) | Média  | CV (%) |      |       |
| <b>I</b>     | 0,59 a   | 30     | 0,94 a | 45     | 1,10 a   | 34     | 0,81 a | 29     | 1,30 | 4,74  |
| <b>II</b>    | 0,69 b   | 43     | 0,66 b | 21     | 1,20 a b | 54     | 0,87 a | 50     | 3,59 | 7,01  |
| <b>III</b>   | 0,67 b   | 51     | 0,64 b | 34     | 1,28 b   | 28     | 0,93 a | 51     | 1,75 | 5,27  |
| <b>Média</b> | 0,65   | 41,33  | 0,74   | 33,33  | 1,19     | 38,66  | 0,87   | 43,33  | 2,21 | 5,67  |

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente a 5% de significância pelo teste de *Tukey*.

DV: Deslocamento Vazio; MC: Manobra de Carga; DC: Deslocamento Carregado; MD: Manobra de Descarga; INT: Interrupções

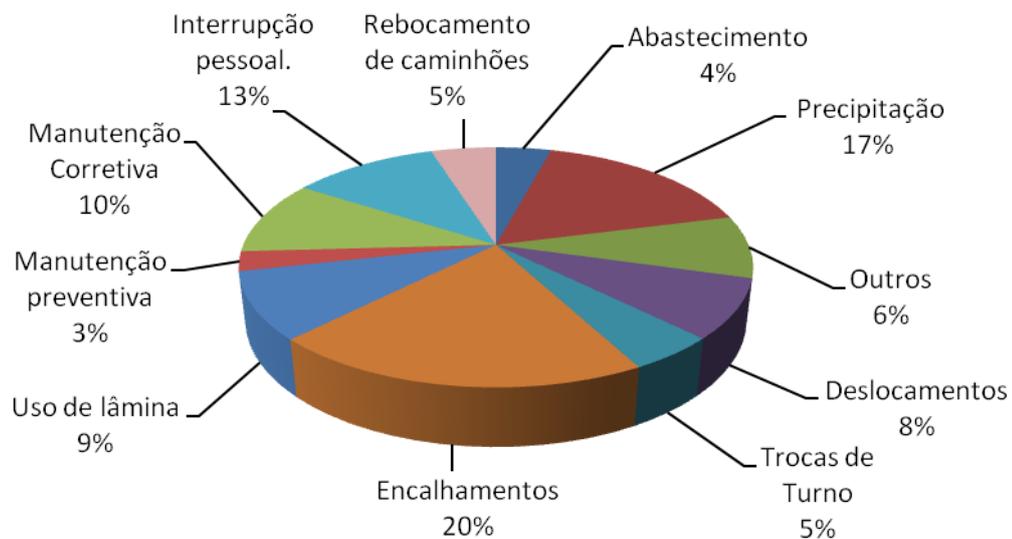
**Tabela 13.** Tempo médio (minutos) dos elementos deslocamento vazio e carregado do *Skidder* nas diferentes classes de produtividade do povoamento e distâncias de extração.

| PMP        | DV         |                |           |       | DC       |                |           |       |
|------------|------------|----------------|-----------|-------|----------|----------------|-----------|-------|
|            | DE ≤ 50m   | 50 < DE ≤ 100m | DE > 100m | Média | DE ≤ 50m | 50 < DE ≤ 100m | DE > 100m | Média |
| <b>I</b>   | 0,39 a c A | 0,54 a B       | 1,15 a C  | 0,69  | 0,51 a A | 1,10 a B       | 1,62 a C  | 1,70  |
| <b>II</b>  | 0,53 b A   | 0,73 b B       | 1,26 a C  | 0,84  | 0,71 b A | 1,18 a B       | 2,40 b C  | 1,43  |
| <b>III</b> | 0,42 c A   | 0,77 b B       | 1,18 a C  | 0,79  | 0,82 c A | 1,45 b B       | 1,99 a C  | 1,42  |

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem estatisticamente a 5% de significância pelo teste de *Tukey*

DV: Deslocamento Vazio; MC: Manobra de Carga; DC: Deslocamento Carregado; MD: Manobra de Descarga; INT: Interrupções

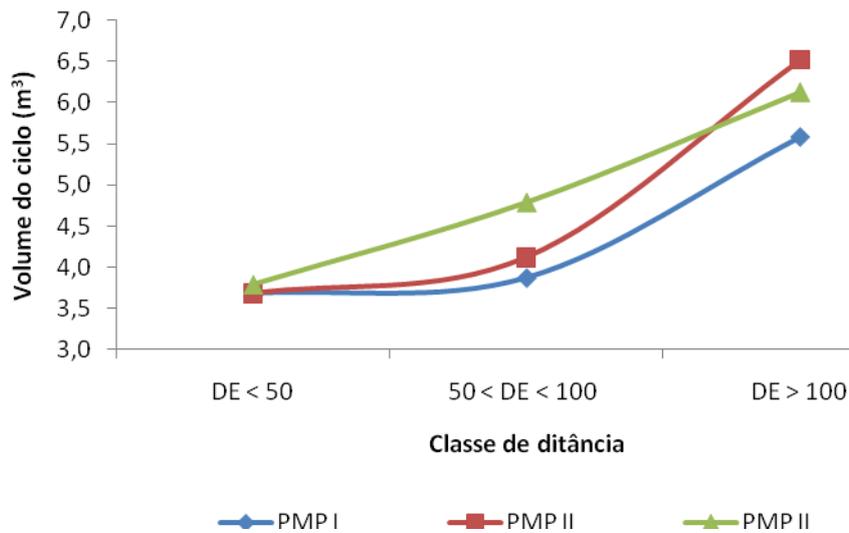
Na Figura 11 é mostrada a distribuição percentual das interrupções do *Skidder* nas diferentes PMPs da floresta. Os motivos climáticos (encalhamentos ou cancelamentos e ações de apoio, como laminação de superfícies e rebocamento de caminhões) contribuíram juntos, com 52% das interrupções totais. Em seguida destacaram-se os tempos consumidos com interrupção pessoal (13%) e manutenção corretiva (10%), ocasionados por paradas devido ao superaquecimento e controle de vazamentos do sistema hidráulico do equipamento.



**Figura 11.** Distribuição percentual das interrupções operacionais do *Skidder* nas diferentes classes de produtividade do povoamento.

### 5.2.1.2. Análise da produtividade e eficiência operacional

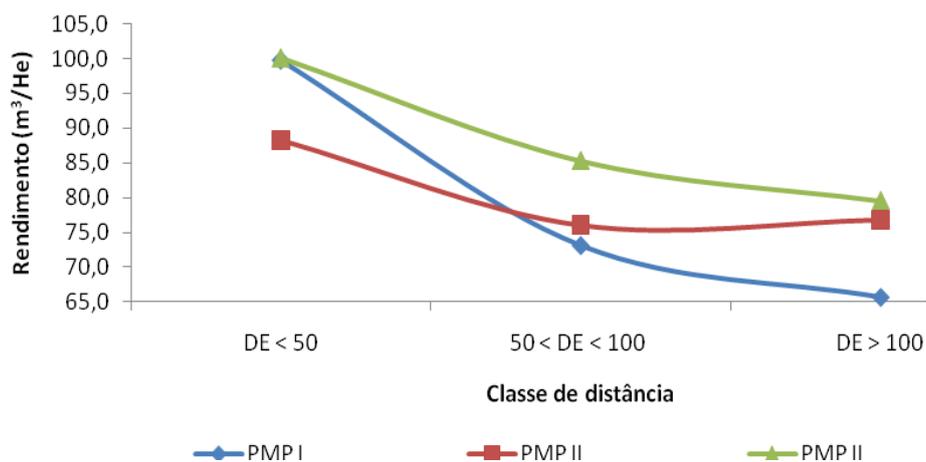
Na Figura 12 são mostrados os volumes médios dos feixes de árvores arrastados pelo *Skidder*, por ciclo operacional nas diferentes PMPs da floresta estudada. Verifica-se que na medida em que aumentou a distância de extração, houve um aumento no volume arrastado, com média de 6,0 m<sup>3</sup>/ciclo, ocasionado pela necessidade se otimizar o volume do feixe de árvores a ser arrastado pela máquina. Entretanto, destaca-se o menor volume arrastado em PMP I, em relação às demais, na maior distância de extração, fato esse ocasionado, principalmente, pelo menor volume médio individual das árvores encontradas nesta PMP.



**Figura 12.** Volume médio arrastado pelo *Skidder* por ciclo operacional nas diferentes classes de produtividade do povoamento e distâncias de extração.

De modo geral, a produtividade do *Skidder* decresceu com o aumento da distância de extração (Figura 13), ocasionado pelo maior tempo gasto no ciclo operacional. É importante ressaltar que, houve redução na produtividade do *Skidder* na maior distância de extração, mesmo o equipamento arrastando maior volume de madeira por ciclo operacional. Tal fato mostra que a produtividade do equipamento é mais sensível em relação à distância de extração que ao volume arrastado.

Verifica-se ainda que, houve um aumento na produtividade do *Skidder* com o incremento no volume de madeira do talhão, sendo mais evidente em PMP III. Tal fato foi ocasionado pelo maior volume individual das árvores e pelo maior volume dos feixes arrastados na maior distância de extração, mesmo tendo sido observado um maior tempo médio do ciclo operacional nesta condição.



**Figura 13.** Produtividade efetiva do *Skidder* nas diferentes classes de produtividade do povoamento e distâncias de extração.

Na Tabela 14 são mostrados os resultados da produtividade média do *Skidder* nas diferentes PMPs e classes de distância de extração. O *Skidder* apresentou uma produtividade efetiva médio de 79,31; 80,04; e 88,34 m<sup>3</sup>/hora para PMP I, II e III, respectivamente. Analisando em relação às classes de distância de extração ( $DE \leq 50m$ ;  $50 < DE \leq 100m$  e  $DE > 100m$ ), a produtividade média foi de 95,49; 78,19 e 74,00 m<sup>3</sup>/hora, respectivamente, considerando uma disponibilidade mecânica média de 90% e eficiência operacional média de 58%.

Fica evidente que, a baixa eficiência operacional obtida, que é produto da disponibilidade mecânica e eficiência técnica, foi ocasionada por problemas operacionais, necessitando, portanto, a implantação de um planejamento mais eficiente das operações, visando obtenção de maiores produtividades e redução dos custos de produção.

Para a produtividade do equipamento nas diferentes PMPs verificou-se variações na PMP II em relação à PMP III, nas distâncias  $DE \leq 50$ . Também se constatou diferença significativa nas distâncias  $50 < DE \leq 100m$  entre PMP I em relação à PMP III. Para a classe de distância  $DE > 100m$  não se constatou diferenças significativas de produtividade, a 5% de significância, pelo teste de *Tukey*. Para as classes de distância verificou-se diferença entre a classe de distância  $DE \leq 50$  com a relação as classes  $50 < DE \leq 100$  e  $DE > 100m$ . Para as outras PMPs também se verificou o mesmo comportamento.

**Tabela 14.** Produtividade média do *Skidder* nas diferentes classes de produtividade do povoamento e distâncias de extração.

| Classe de distância de extração (m) | Produtividade efetiva (m <sup>3</sup> /He) |        |             |        | Produtividade real (m <sup>3</sup> /h) |        |       | Eficiência operacional média (%) |        |         |
|-------------------------------------|--|--------|-------------|--------|--|--------|-------|----------------------------------|--------|---------|
|                                     | PMP I                                      | CV (%) | PMP II      | CV (%) | PMP III                                | CV (%) | PMP I |                                  | PMP II | PMP III |
| DE ≤ 50                             | 98,38 a AB                                 | 60,0   | 87,95 a B   | 53,0   | 100,16 a A                             | 49,0   | 57,06 | 51,10                            | 58,09  | 58,0    |
| 50 < DE ≤ 100                       | 73,94 b B                                  | 30,0   | 75,33 b AB  | 42,0   | 85,32 b A                              | 53,0   | 42,88 | 43,69                            | 49,48  |         |
| DE > 100                            | 65,62 b A                                  | 50,0   | 76,84 a b A | 40,0   | 79,56 b A                              | 50,0   | 38,05 | 44,56                            | 46,14  |         |
| <b>Média</b>                        | 79,31                                      | 46,7   | 80,04       | 45,0   | 88,34                                  | 50,7   | 45,99 | 46,45                            | 51,23  |         |

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem estatisticamente a 5% de significância pelo teste de *Tukey*.

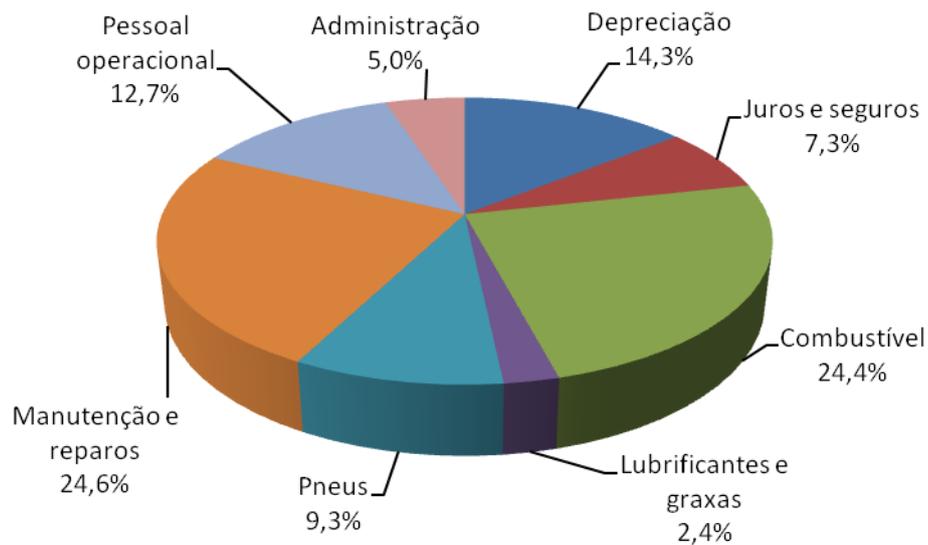
### 5.2.2. Análise Econômica

Na Tabela 15 são mostrados os valores médios dos custos fixos e variáveis, obtidos para o *Skidder*, totalizando um custo operacional total de R\$ 215,43 por hora trabalhada. É possível verificar que os custos fixos corresponderam a 21,6%, os custos variáveis a 60,7%, o de pessoal operacional a 12,7% e os de administração a 5% dos custos totais.

**Tabela 15.** Custos fixos e variáveis do *Skidder*.

| Item de Custo              |                        | Valor (R\$/hora) | Valor (%)    |
|----------------------------|------------------------|------------------|--------------|
| <b>Fixo</b>                | Depreciação            | 30,73            | 21,6         |
|                            | Juros e seguros        | 15,65            |              |
| <b>Variável</b>            | Combustível            | 52,47            | 60,7         |
|                            | Lubrificantes e graxas | 5,24             |              |
|                            | Pneus                  | 20,00            |              |
|                            | Manutenção e reparos   | 53,08            |              |
| <b>Pessoal operacional</b> |                        | 27,48            | 12,7         |
| <b>Administração</b>       |                        | 10,77            | 5,0          |
| <b>Total</b>               |                        | <b>215,43</b>    | <b>100,0</b> |

Na Figura 14 são mostrados que dentre os custos fixos, destacou-se a depreciação do equipamento, com 14,3%, seguido pelos juros e seguros com 7,3%. Em relação aos custos variáveis, destacou-se a elevada participação do custo de combustível que foi relativamente alto 24,4%, e também o de manutenção e reparos com 24,6%.



**Figura 14.** Distribuição percentual dos componentes do custo operacional do *Skidder*.

Na Tabela 16 são mostrados os custos de produção e o rendimento energético do *Skidder* nas diferentes PMPs e, classes de distâncias de extração estudadas. Como pode ser visto, à medida que houve o aumento no volume de madeira do talhão, o custo de produção e os valores de rendimento energético decresceram, sendo mais evidente nas menores distâncias de extração. Tal resultado mostra a influência da produtividade do plantio e da distância de extração no custo de produção do equipamento.

Os valores médios do custo de produção do *Skidder* foram de R\$ 4,81/m<sup>3</sup>; R\$ 4,67/m<sup>3</sup> e R\$ 4,23/m<sup>3</sup>, em PMP I, II e III, respectivamente. Para as diferentes classes de distâncias de extração ( $DE \leq 50$ ;  $50 < DE \leq 100$  e  $DE > 100$ m), o custo médio de produção foi de R\$ 3,89/m<sup>3</sup>; R\$ 4,79/m<sup>3</sup> e R\$ 5,05/m<sup>3</sup>, respectivamente.

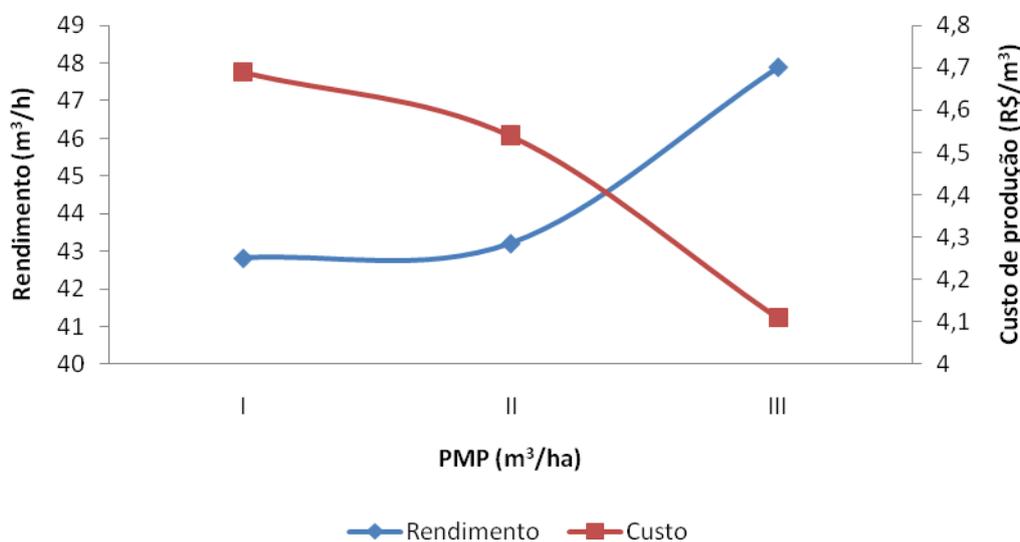
Em relação ao rendimento energético médio, obteve-se valores de 2,01; 1,76 e 1,61 g/kW\*m<sup>3</sup>, em PMP I, II e III, respectivamente, enquanto para as distâncias de extração ( $DE \leq 50$ ;  $50 < DE \leq 100$  e  $DE > 100$ m), o rendimento energético médio obtido foi de 1,53, 1,86 e 2,00 g/kW\*m<sup>3</sup>, respectivamente.

Lopes *et al.* (2009), ao avaliar o *Skidder* em diferentes produtividades de floresta e distâncias de extração, encontraram valores de rendimento energético variando de 1,3 a 3,0 g/kW\*m<sup>3</sup>, sendo que o menor valor foi encontrado na distância abaixo de 50 m e na classe de maior produtividade. No presente trabalho o melhor rendimento energético ocorreu em PMP III, nas distâncias  $DE \leq 50$ , sendo o reflexo da produtividade alcançada nestas classes.

**Tabela 16.** Custos de produção e rendimento energético do *Skidder* nas diferentes classes de produtividade do povoamento e distâncias de extração.

| Distancia de extração (m) | Custo de produção (R\$/m <sup>3</sup> ) |        |         | Rendimento energético (g/kW*m <sup>3</sup> ) |        |         |
|---------------------------|---|--------|---------|--|--------|---------|
|                           | PMP I                                   | PMP II | PMP III | PMP I  | PMP II | PMP III |
| DE ≤ 50                   | 3,77                                    | 4,21   | 3,70    | 1,58   | 1,60   | 1,41    |
| 50 < DE ≤ 100             | 5,02                                    | 4,99   | 4,35    | 2,06   | 1,86   | 1,66    |
| DE > 100m                 | 5,66                                    | 4,83   | 4,66    | 2,39   | 1,84   | 1,78    |
| <b>Média</b>              | 4,81                                    | 4,67   | 4,23    | 2,01   | 1,76   | 1,61    |

Em relação às diferentes PMPs, verificou-se que, à medida que houve aumento na produtividade do *Skidder*, os valores dos custos de produção diminuíram (Figura 15), demonstrando que a produtividade da floresta foi uma variável que influenciou diretamente no custo desta máquina.



**Figura 15.** Comportamento da produtividade e custo do *Skidder* nas diferentes classes de produtividade do povoamento.

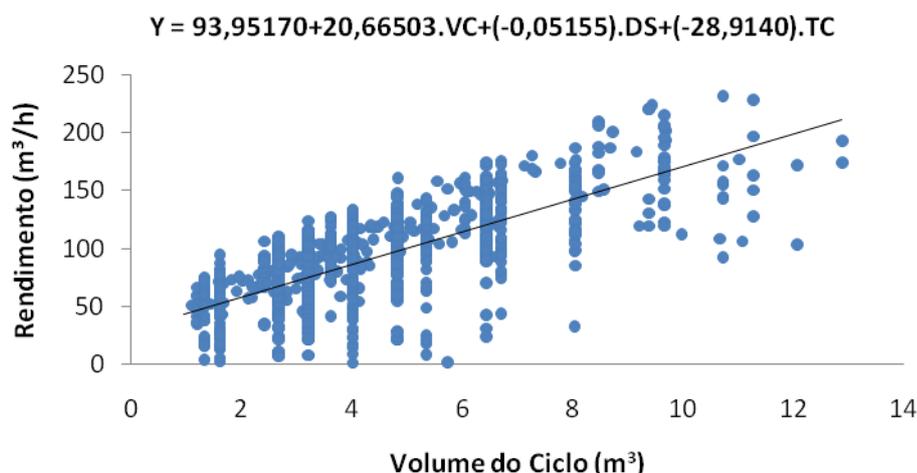
### 5.2.3. Estimativa da Produtividade

Os resultados da análise de regressão são mostrados na Tabela 17. Pelos resultados obtidos pode-se observar que as variáveis “distância de extração”, “volume do ciclo operacional” e “tempo do ciclo operacional”, no modelo proposto, foram capazes de explicar, em conjunto, 85% dos resultados da produtividade do *Skidder*, com um erro de estimativa de 20%. No estudo de Fiedler *et al.* (2008), foram encontrados coeficientes de determinação que chegaram a explicar 87% da variável dependente.

**Tabela 17.** Estatísticas e coeficientes dos modelos de produção ajustados para o *Skidder*.

| <b>Estatística do modelo</b>  |        |
|-------------------------------|--------|
| <b>Syx%</b>                   | 19,69  |
| <b>R<sup>2</sup></b>          | 0,85   |
| <b>R<sup>2</sup> ajustado</b> | 0,85   |
| <b><math>\beta_0</math></b>   | 93,95  |
| <b><math>\beta_1</math></b>   | 20,66  |
| <b><math>\beta_2</math></b>   | -0,05  |
| <b><math>\beta_3</math></b>   | -28,91 |

O sinal negativo dos coeficientes das variáveis de distância de extração e tempo do ciclo indica que o aumento na distância média de arraste e aumento do tempo do ciclo operacional provoca queda na produtividade do *Skidder*. Por sua vez, o sinal positivo do coeficiente da variável volume do ciclo indica que o aumento no volume arrastado no ciclo operacional provoca aumento na sua produtividade.



**Figura 16.** Produtividade do *Skidder* na extração em função do volume por ciclo.

### 5.3. Motosserra

Em função dos povoamentos nas áreas de estudo possuírem árvores com galhos de diâmetros elevados, para evitar o desgaste e quebras do cabeçote do *Harvester* e aumentar a produtividade da operação de processamento, a empresa optou por fazer o pré-desgalhamento das árvores na beira da estrada, com uso da motosserra.

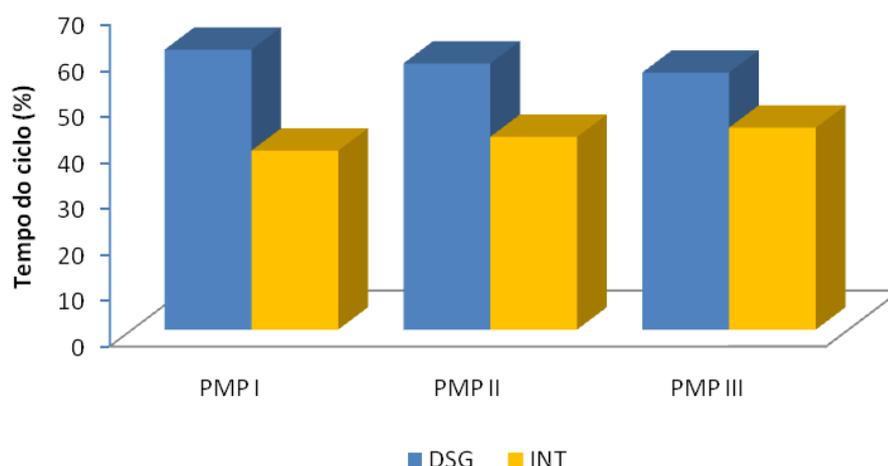
#### 5.3.1. Análise Técnica

##### 5.3.1.1. Análise dos elementos do ciclo operacional

Por meio da realização do estudo de tempos e movimentos foi possível determinar o percentual de tempo consumido no ciclo operacional da motosserra, na execução do desgalhamento das árvores nas diferentes PMPs da floresta. Essa informação é importante para o conhecimento da produtividade e do custo desta operação e, conseqüentemente, possibilitar a tomada de decisão para o aperfeiçoamento futuro do sistema de colheita de madeira da empresa.

Como pode ser observado na Figura 17, o elemento desgalhamento propriamente dito (DSG) consumiu o maior tempo, em relação ao ciclo operacional da motosserra, comportando-se de forma semelhante em todas as PMPs, com uma variação média de 5%

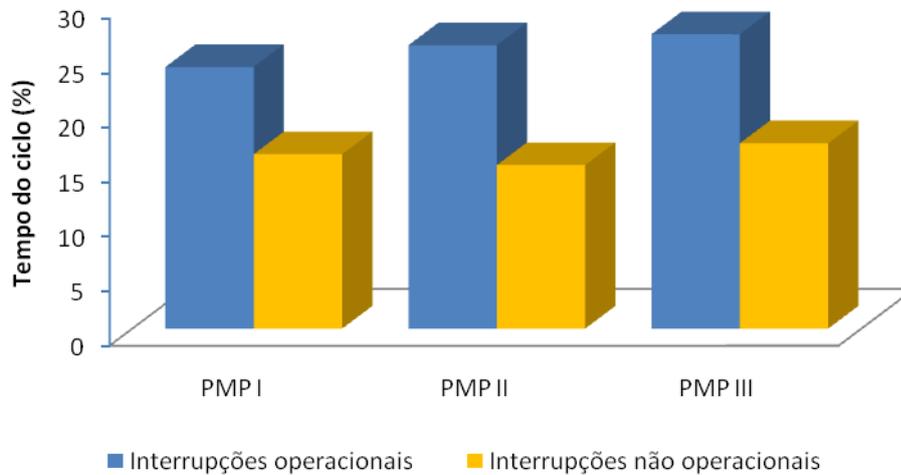
para o elemento DSG e 4% para as interrupções, entre as três PMPs da floresta estudada. Apesar disso, foi possível detectar que, na medida em que houve um aumento no volume por hectare, também ocorreu uma redução no tempo efetivo do desgalhamento. Tal fato deveu-se, principalmente, ao menor percentual de galhos nas árvores e de maior volume médio individual, conforme observado na condição em PMP III (1,61 m<sup>3</sup>/árvore) e a necessidade de maiores interrupções operacionais.



DSG: Desgalhamento; INT: Interrupções

**Figura 17.** Distribuição percentual dos tempos dos elementos do ciclo operacional da motosserra nas diferentes classes de produtividade do povoamento.

A distribuição percentual média dos tempos de interrupções operacionais e não operacionais do desgalhamento das árvores com motosserra é mostrada na Figura 18. Como pode ser observado, à medida que houve um aumento na produtividade do povoamento, ocorreu um aumento nas interrupções operacionais, sendo que as interrupções não operacionais mantiveram-se com comportamento semelhante. Tal fato deveu-se à maior necessidade de paradas para realização de abastecimento e afiação da corrente da motosserra, considerando o maior volume individual das árvores devido a maior PMP.



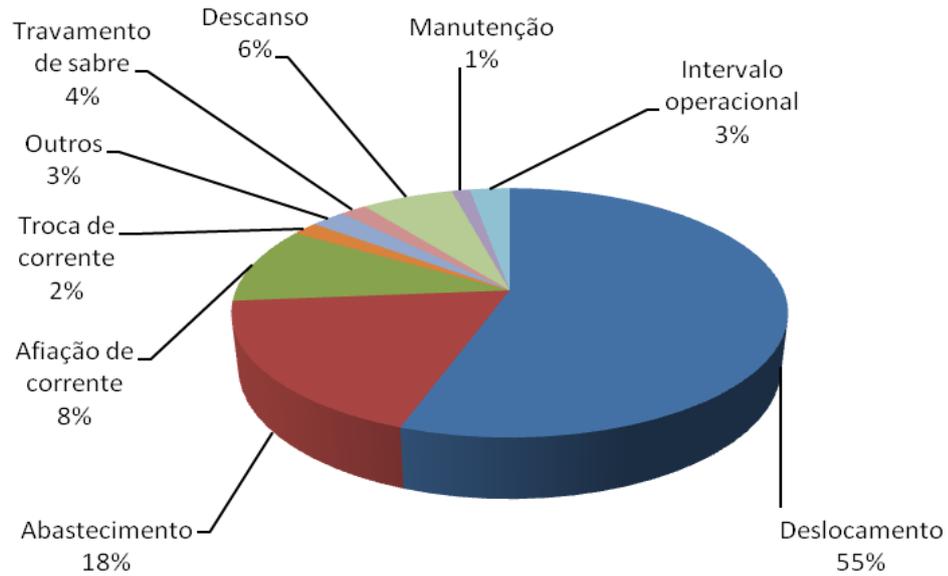
DSG: Desgalhamento; INT: Interrupções

**Figura 18.** Interrupções operacionais e não operacionais da motosserra nas diferentes classes de produtividade do povoamento.

Na Figura 19 mostrada a distribuição percentual média das interrupções operacionais do desgalhamento das árvores com motosserra, sendo considerada para as três PMPs. É importante ressaltar que, o tempo de deslocamento refere-se ao deslocamento do operador entre os estaleiros para a realização do abastecimento, afiação de corrente e manutenção da motosserra, sendo fases bastantes freqüentes na realização do trabalho com este tipo de equipamento.

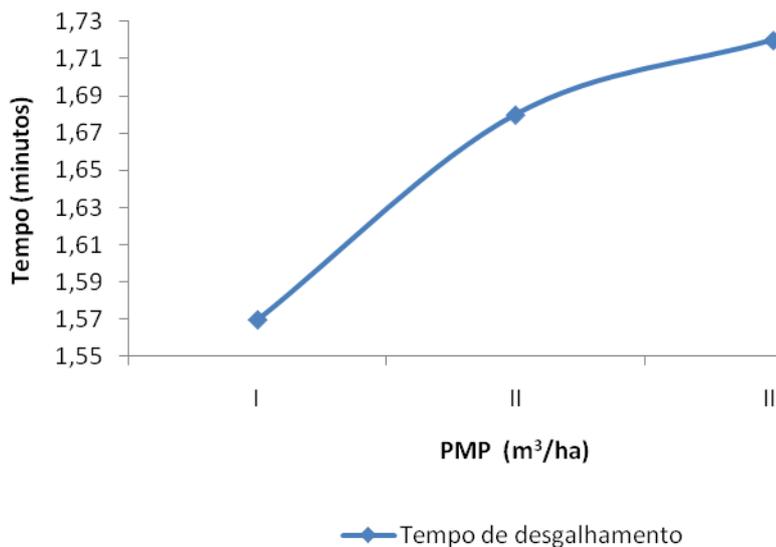
Como pode ser observado, o deslocamento, o abastecimento e a afiação de corrente da motosserra consumiram o maior tempo percentual, representando, em média, 55%, 18% e 8% do tempo total das interrupções, respectivamente. Este comportamento pode ser explicado pelo maior volume individual das árvores e, conseqüentemente pela menor presença de galhos nas mesmas, quando comparadas a outros povoamentos florestais existentes na região.

Deve-se ressaltar ainda o fato de que em PMP III ocorreu freqüentemente o “travamento do sabre” da motosserra. Isto foi devido ao maior volume médio individual das árvores nesta PMP e ao maior peso das árvores, o que resultou na formação de estaleiros com menos espaços vazios, resultando em menor espaço hábil para alcance do sabre da motosserra.



**Figura 19.** Distribuição percentual das interrupções operacionais da motosserra nas diferentes classes de produtividade do povoamento.

À medida que houve o aumento na produtividade do plantio, ocorreu o aumento no tempo individual de desgalhamento (Figura 20), sendo essa diferença mais evidente entre PMP I e II. Isto leva a constatar a influência do volume médio individual em relação ao tempo de desgalhamento das árvores com a motosserra.



**Figura 20.** Tempo médio de desgalhamento por árvore nas diferentes classes de produtividade do povoamento.

### 5.3.1.2. Análise da produtividade e eficiência operacional

A produtividade média efetiva da motosserra foi de 48,69 m<sup>3</sup>/hora, enquanto a produtividade em condição real, considerando as interrupções operacionais, foi de 28,24 m<sup>3</sup>/hora, para uma eficiência operacional média de 58% (Tabela 18).

Como pode ser verificado, houve um aumento na produtividade média da motosserra com o aumento do volume de madeira do talhão. A baixa eficiência operacional média observada deveu-se, principalmente, às interrupções decorrentes dos deslocamentos do operador para realização do abastecimento e afiação da corrente da motosserra. Outro fato que também contribuiu foram as paradas para descanso não programadas, as paradas causadas pelas intempéries, e devido ao próprio desgaste físico na realização da atividade.

**Tabela 18.** Produtividade e eficiência operacional da motosserra nas diferentes classes de produtividade média do povoamento.

| PMP          | Produtividade efetiva (m <sup>3</sup> /he) | Produtividade real (m <sup>3</sup> /h) | Eficiência operacional média (%) |
|--------------|--|--|----------------------------------|
| I            | 43,83                                      | 25,42                                  | 58,0                             |
| II           | 46,73                                      | 27,10                                  |                                  |
| III          | 55,53                                      | 32,21                                  |                                  |
| <b>Média</b> | 48,69                                      | 28,24                                  |                                  |

### 5.3.2. Análise Econômica

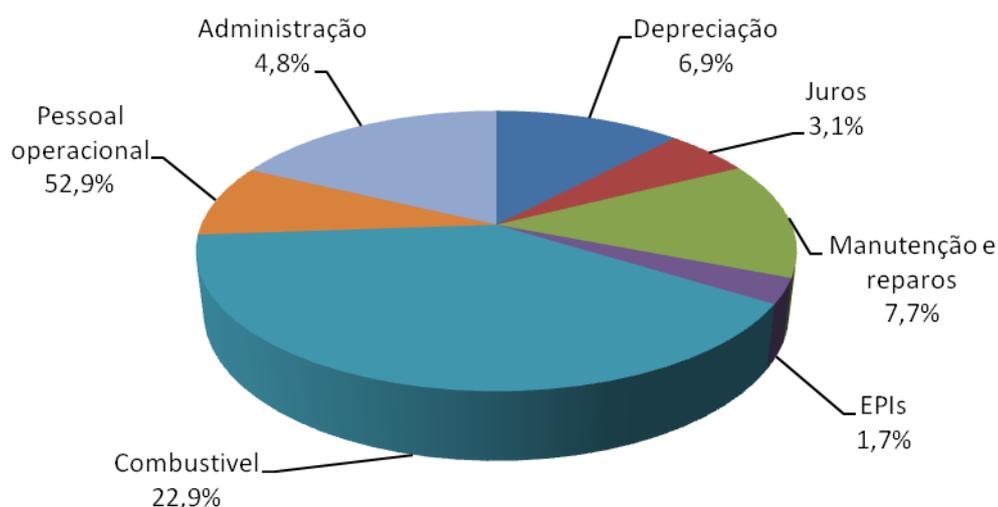
Na Tabela 19 são observados os valores médios dos custos fixos e variáveis, obtidos para a motosserra, que apresentou um custo operacional total de R\$ 10,86 por hora trabalhada.

**Tabela 19.** Custos fixos e variáveis da motosserra.

| <b>Item Custo</b>          |                      | <b>Valor (R\$/hora)</b> | <b>Valor (%)</b> |
|----------------------------|----------------------|-------------------------|------------------|
| <b>Fixo</b>                | Depreciação          | 0,75                    | 10,0             |
|                            | Juros                | 0,34                    |                  |
| <b>Variável</b>            | Manutenção e reparos | 0,84                    | 32,3             |
|                            | EPIs                 | 0,18                    |                  |
|                            | Combustível          | 2,49                    |                  |
| <b>Pessoal operacional</b> |                      | 5,74                    | 52,9             |
| <b>Administração</b>       |                      | 0,52                    | 4,8              |
| <b>Total</b>               |                      | <b>10,86</b>            | <b>100</b>       |

Na Figura 21 são mostradas as participações percentuais dos custos fixos e variáveis no custo operacional total da motosserra. Como pode ser visto, os custos fixos corresponderam a 10,0%, os variáveis a 32,3%, o de pessoal operacional a 52,9% e o de administração a 4,8% dos custos totais.

Dentre os custos fixos, destacou-se a depreciação, com valor percentual de 6,9%. Quanto aos custos variáveis destacou-se a participação do custo de combustível, com 22,9% dos custos totais. Tal resultado deve-se ao fato do equipamento passar a maior parte do tempo em funcionamento para a realização do corte, com média de um abastecimento a cada 40 minutos, acarretando com isso a elevação de custo, quando comparado aos demais itens. É importante ressaltar ainda que, isto se justificou devido ao percentual considerado elevado, de galhos grossos e bifurcações encontradas nas árvores da área de estudo.



**Figura 21.** Distribuição percentual dos custos operacionais da motosserra.

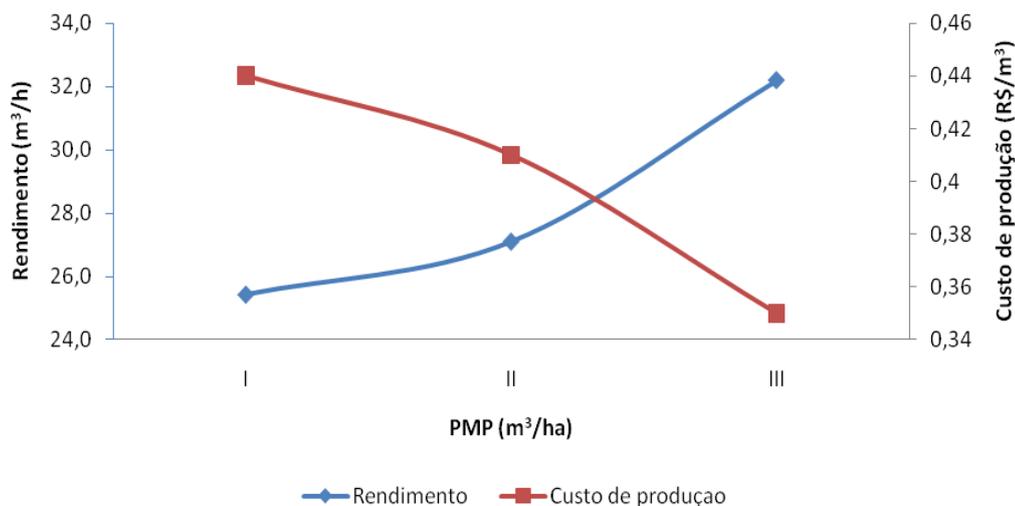
O rendimento energético da motosserra apresentou os melhores resultados em PMP III, tendo aproximadamente 19% a mais de rendimento em relação a menor (PMP I).

Na Tabela 20 são mostrados os valores médios dos custos de produção e do rendimento energético da motosserra, que foram de R\$ 0,40/m<sup>3</sup> e 2,75 g/kW\*m<sup>3</sup>, respectivamente. Observa-se ainda que, à medida que houve o aumento da produtividade do plantio, os valores do custo de produção e do rendimento energético diminuiram.

**Tabela 20.** Custo de produção e rendimento energético da motosserra.

| Item  | PMP  |      |      | Média |
|---|------|------|------|-------|
|   | I    | II   | III  |       |
| <b>Custo de produção (R\$/m<sup>3</sup>)</b>      | 0,44 | 0,41 | 0,35 | 0,40  |
| <b>Rendimento energético (g/kW*m<sup>3</sup>)</b> | 2,96 | 2,91 | 2,40 | 2,75  |

Analisando a Figura 22, pode-se observar que na medida em que o volume do plantio aumentou, a produtividade aumentou e os valores dos custos de produção diminuiram, mostrando a influência dessa variável na operação de desgalhamento semimecanizado.



**Figura 22.** Comportamento da produtividade e custo da motosserra nas diferentes classes de produtividade do povoamento.

#### 5.4. Trator Florestal *Harvester*

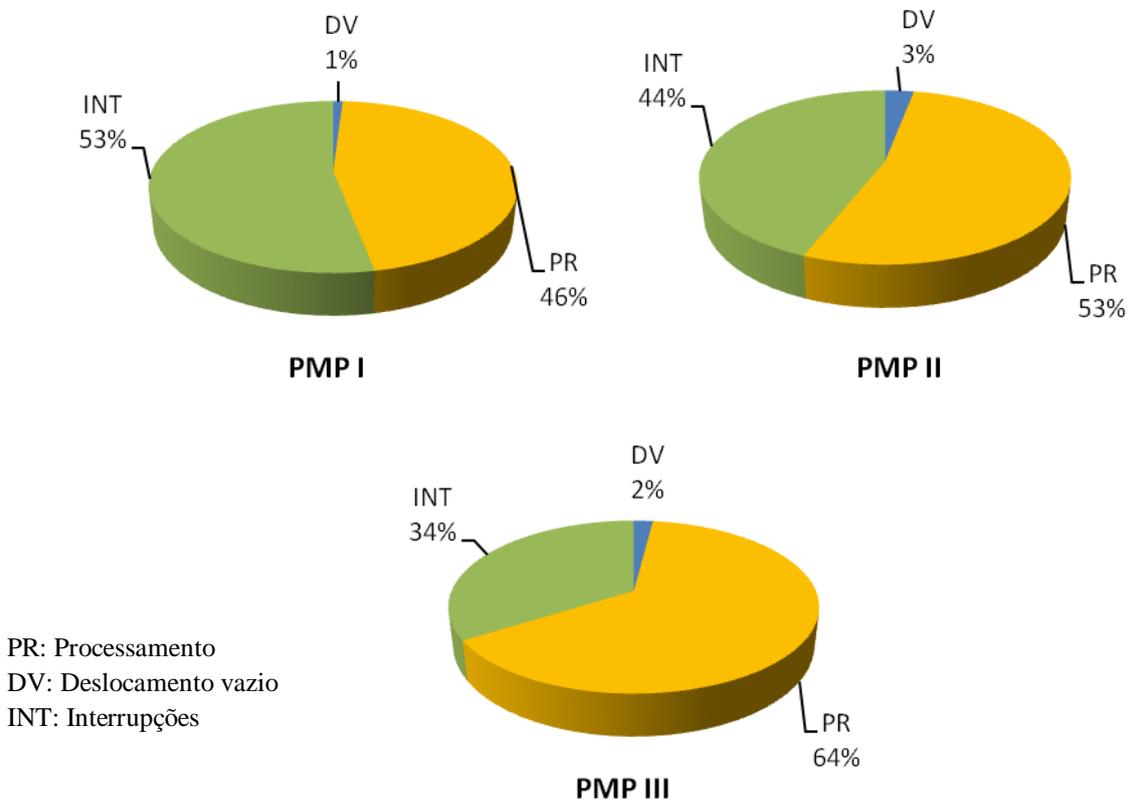
Para este estudo foi considerado o processamento das árvores (PR) como o elemento característico do ciclo operacional do *Harvester*. O número de ciclos operacionais amostrais  $N$  requerido para o estudo foi de 272,7; 926,4 e 1.005,2, nas três PMPs respectivamente. Foram estudados 3.477 ciclos operacionais, sendo 999, 1.230 e 1.248, nas PMP I, II, e III, respectivamente, superiores a um erro de amostragem admissível fixado em 5%, a 95% de probabilidade.

##### 5.4.1. Análise Técnica

###### 5.4.1.1. Análise dos elementos do ciclo operacional

Como pode ser observado na Figura 23, o elemento parcial processamento (PR) demandou o maior tempo do ciclo operacional do *Harvester*, com 46, 53 e 64% do tempo PMP I, II e III, respectivamente. É importante ressaltar o elevado tempo de interrupções operacionais, principalmente em PMP I, com 53% do tempo total disponível da máquina para o trabalho. Tal fato deveu-se principalmente às manutenções corretivas e preventivas ocorridas durante o estudo nesta condição, causado também pelo maior número de horas

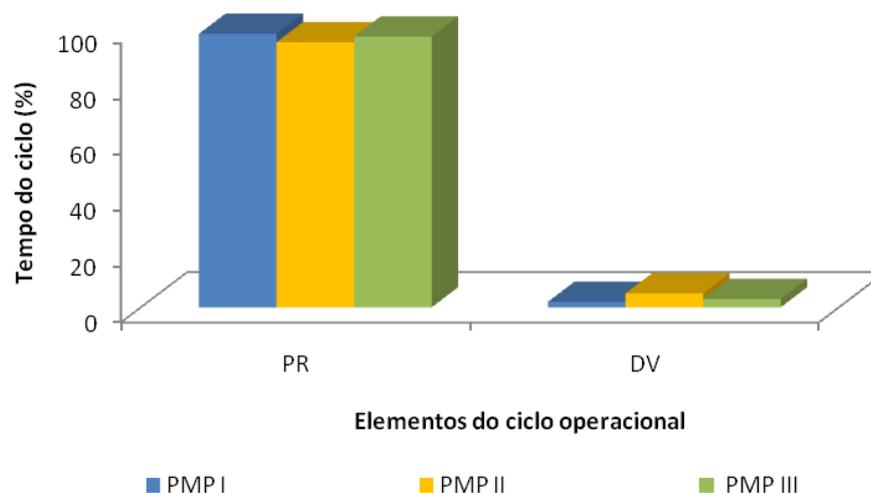
totais trabalhada pela máquina. Portanto, essa situação não possui relação com a produtividade da floresta.



**Figura 23.** Distribuição percentual do ciclo operacional do *Harvester* nas diferentes classes de produtividade do povoamento.

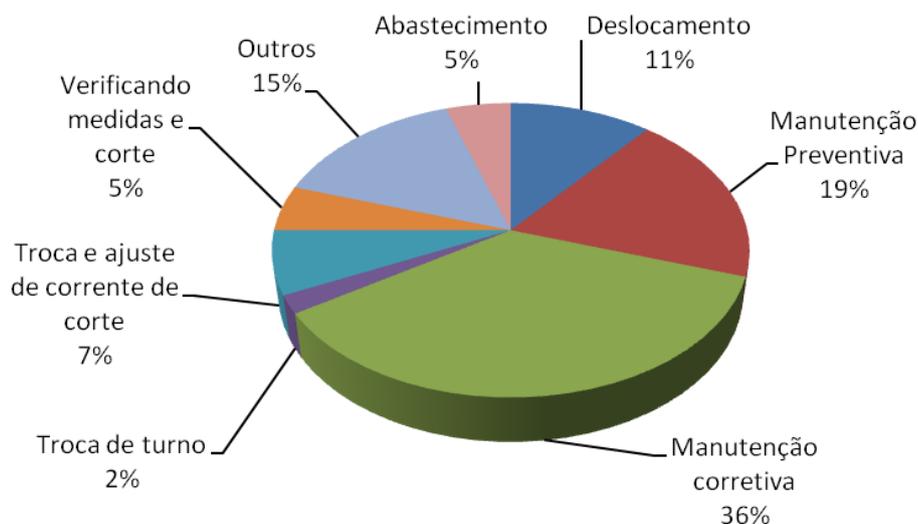
Na Figura 24 pode ser observado que a distribuição percentual dos tempos efetivos do ciclo operacional do *Harvester* na operação de processamento das árvores. Como pode ser verificado, o equipamento passou quase a totalidade do tempo produtivo realizando o processamento das árvores, e o baixo tempo de deslocamento ocorreu devido à característica da operação, onde a máquina executava o trabalho de forma estacionária a beira da estrada.

É importante ressaltar ainda que, não houve influência da produtividade da floresta no tempo percentual do processamento do *Harvester*, entre as três PMPs estudadas.



**Figura 24.** Distribuição dos tempos percentuais efetivos do *Harvester* nas diferentes classes de produtividade do povoamento.

Na Figura 25 pode ser observada a distribuição percentual média das interrupções do *Harvester* na execução da operação de processamento, nas três classes de produtividades da floresta estudadas. Como pode ser observado, as manutenções corretiva e preventiva, representaram 36 e 19% do tempo total, respectivamente. O elevado tempo da manutenção corretiva ocorreu, em sua maioria, no cabeçote processador, devido à elevada hora de uso total deste implemento. Já a manutenção preventiva ocorreu, em sua maioria, na máquina base, fato que coincidiu com o momento de realização do estudo, não tendo, portanto, influencia da produtividade da floresta. Em seguida, é importante destacar o tempo de deslocamento da máquina (11%), ocasionado pela mudança de local de processamento, visando desobstruir o estaleiro e permitir ao *Skidder* a deposição de novos feixes de árvores.



**Figura 25.** Distribuição percentual das interrupções operacionais do *Harvester* nas diferentes classes de produtividade do povoamento.

Na Tabela 21 são mostrados os tempos médios dos elementos parciais e total do ciclo operacional do *Harvester*, nas PMPs. Como poder ser visto, houve aumento percentual de tempo de processamento das árvores, com o aumento na produtividade da floresta, porém, não havendo diferença significativa entre as PMPs estudadas.

É importante ressaltar que, o maior percentual de tempo de processamento na PMP III pode estar relacionado com o maior volume de madeira do talhão, que possibilitou uma maior concentração de madeira em determinado ponto, diminuindo as paradas para deslocamento. Ressalta-se ainda o fato de que, apesar da diferença estatística entre os tempos de deslocamento vazio da máquina durante o processamento das árvores nas diferentes classes de produtividades estudadas, tal comportamento não está associado ao volume da floresta.

**Tabela 21.** Tempo médio do ciclo operacional do *Harvester* nas diferentes classes de produtividade do povoamento.

| PMP          | Tempo médio dos elementos do ciclo operacional (minuto) |        |          |        | Total |
|--------------|---|--------|----------|--------|-------|
|              | PR  |        | DV       |        |       |
|              | Média   | CV (%) | Média    | CV (%) |       |
| <b>I</b>     | 1,16 a  | 48     | 0,74 a b | 32     | 1,90  |
| <b>II</b>    | 1,21 a  | 31     | 1,04 a   | 43     | 2,25  |
| <b>III</b>   | 1,25 a  | 33     | 0,57 b   | 35     | 1,82  |
| <b>Média</b> | 1,20  | 37     | 0,78     | 36     | 1,99  |

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente a 5% de significância pelo teste de *Tukey*.

PR: Processamento; DV: Deslocamento vazio

#### 5.4.1.2. Análise da produtividade e eficiência operacional

A produtividade média por hora efetiva de trabalho do *Harvester*, desconsiderando as interrupções operacionais foi de 77,69 m<sup>3</sup>/hora, enquanto que em condição real de trabalho foi de 43,50 m<sup>3</sup>/hora, considerando uma disponibilidade mecânica média de 84% e eficiência operacional média de 56% (Tabela 22).

Como pode ser observado, à medida que aumentou o número de árvores e o volume individual das árvores, conseqüentemente houve aumento do volume de madeira do talhão, o que levou ao aumento na produtividade do *Harvester*. Entretanto, houve diferença significativa na produtividade somente na PMP I, em relação às demais, mostrando certa influência do volume médio individual das árvores na produtividade do equipamento.

**Tabela 22.** Produtividade e eficiência operacional do *Harvester* nas diferentes classes de produtividade média do povoamento.

| PMP          | Produtividade efetiva (m <sup>3</sup> /he) | CV (%) | Produtividade real (m <sup>3</sup> /h) | Eficiência média (%) |
|--------------|--|--------|--|----------------------|
| I            | 62,80 a                                    | 28,0   | 35,16                                  |                      |
| II           | 80,46 b                                    | 33,0   | 45,05                                  | 56,0                 |
| III          | 89,83 b                                    | 44,0   | 50,30                                  |                      |
| <b>Média</b> | 77,69                                      | 35,0   | 43,50                                  |                      |

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente a 5% de significância pelo teste de *Tukey*.

#### 5.4.2. Análise Econômica

Na Tabela 23 pode-se observar que os valores médios dos custos fixos e variáveis obtidos para o *Harvester*, totalizaram um custo operacional de R\$ 224,03 por hora trabalhada.

Na Figura 26 são mostradas as participações percentuais dos custos fixos e variáveis no custo operacional total do *Harvester*. Como pode ser visto, os custos fixos corresponderam a 32,9%, os variáveis a 52,0%, o de pessoal operacional a 9,7% e administração a 5,4% dos custos totais.

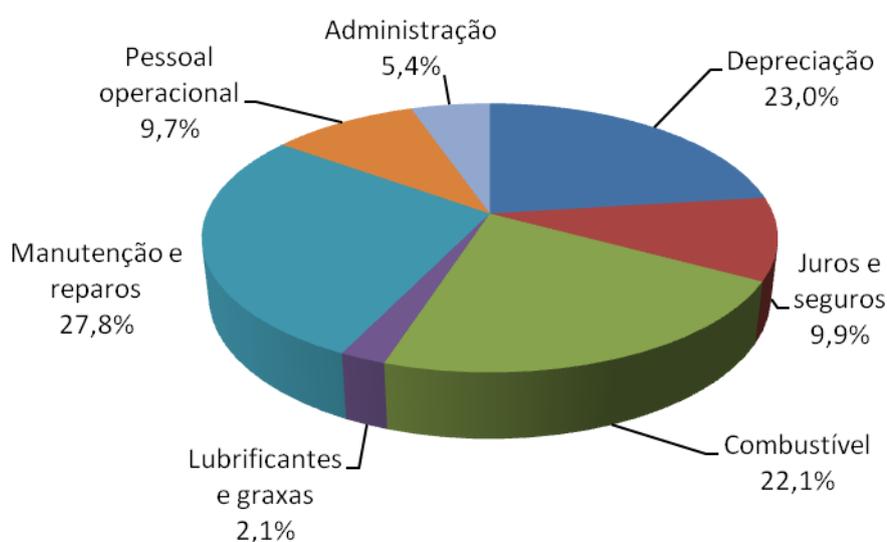
Dentre os custos fixos destacou-se a depreciação da máquina, com valor percentual de 23,0%, seguido pelos juros e seguros, com 9,9%. Em relação aos custos variáveis, destacou-se

a participação do custo de manutenção, com 27,8%, ocasionado pelas constantes intervenções, principalmente no cabeçote, devido ao elevado número de horas totais trabalhadas por este implemento. Em seguida, destacou-se o custo de combustível, com 22,1% dos custos totais.

**Tabela 23.** Custos fixos e variáveis do *Harvester*.

| Item de custo              |                        | Valor (R\$/hora) | Valor (%)  |
|----------------------------|------------------------|------------------|------------|
| <b>Fixo</b>                | Depreciação            | 51,53            | 32,9       |
|                            | Juros e seguros        | 22,24            |            |
| <b>Variável</b>            | Combustível            | 49,43            | 52,0       |
|                            | Lubrificantes e graxas | 4,93             |            |
|                            | Manutenção e reparos   | 62,20            |            |
| <b>Pessoal operacional</b> |                        | 21,86            | 9,7        |
| <b>Administração</b>       |                        | 11,84            | 5,4        |
| <b>Total</b>               |                        | <b>224,03</b>    | <b>100</b> |

Para este equipamento, os custos fixos representaram 32,9% e os custos variáveis, pessoal operacional e administrações representaram juntos 67,1%. Tal fato foi ocasionado pelo tempo de uso do implemento e tratar-se de um modelo não disponível no mercado.



**Figura 26.** Distribuição percentual dos componentes do custo operacional do *Harvester*.

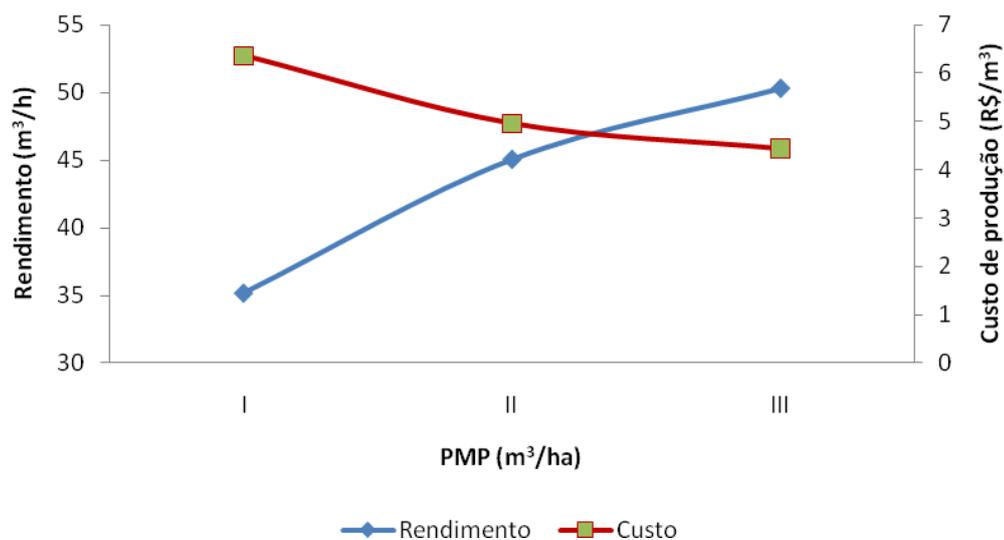
Como pode ser observado na Tabela 24, os valores médios dos custos de produção e do rendimento energético do *Harvester* estudado, foram de R\$ 5,25/m<sup>3</sup> e 2,11 g/kW\* m<sup>3</sup>, respectivamente.

A medida que aumentou a produtividade da floresta os valores do custo de produção e do rendimento energético diminuíram, com redução de 30% maior na PMP III em relação à PMP I. Este resultado mostra a influência do volume da floresta no custo de produção e rendimento energético deste equipamento. Tal comportamento foi semelhante ao encontrado por Lopes (2007), com valores variando de 3,11 a 2,03 g/kW\*m<sup>3</sup> para uma garra traçadora em diferentes classes de produtividade de floresta.

**Tabela 24.** Custo de produção e rendimento energético do *Harvester*.

|   | PMP  |      |      | Média |
|---|------|------|------|-------|
|   | I    | II   | III  |       |
| <b>Custo de produção (R\$/m<sup>3</sup>)</b>      | 6,36 | 4,96 | 4,44 | 5,25  |
| <b>Rendimento energético (g/kW*m<sup>3</sup>)</b> | 2,56 | 2,00 | 1,79 | 2,11  |

À medida que ocorreu o aumento no volume de madeira da floresta houve também o aumento da produtividade do *Harvester*, enquanto os valores dos custos de produção diminuíram (Figura 27), demonstrando que a produtividade da floresta é uma variável que influencia diretamente no custo deste equipamento.



**Figura 27.** Comportamento da produtividade e custo do *Harvester* nas diferentes classes de produtividade do povoamento

O maior custo de produção foi observado em PMP I devido à menor produtividade deste equipamento nesta condição e, conseqüentemente uma menor diluição do custo operacional.

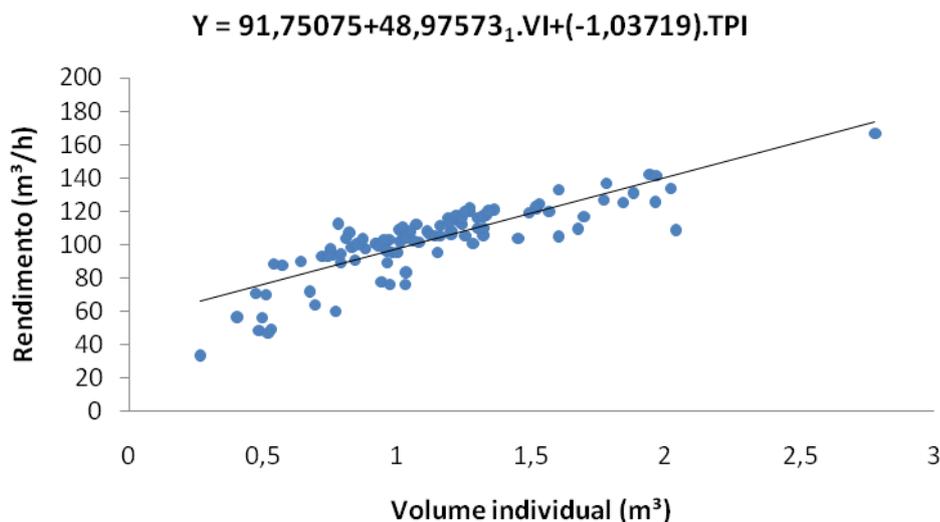
#### 5.4.3. Estimativa da Produtividade

A análise de regressão para o modelo ajustado mostrou que as variáveis independentes volume individual da árvore e tempo de processamento foram capazes de explicar, em conjunto, 63% dos resultados da produtividade do *Harvester*, com um erro de estimativa de 16% (Tabela 25). Fiedler *et al.* (2008), estudando a produtividade da garra traçadora, encontrou coeficiente de determinação que chegou a explicar apenas 35% da variável dependente.

**Tabela 25.** Estatísticas e coeficientes dos modelos de produção ajustados para o *Harvester*.

| Estatística do modelo   |       |
|-------------------------|-------|
| Syx%                    | 16,04 |
| R <sup>2</sup>          | 0,64  |
| R <sup>2</sup> ajustado | 0,63  |
| $\beta_0$               | 91,75 |
| $\beta_1$               | 48,97 |
| $\beta_2$               | -1,03 |

É importante ressaltar ainda a variação da produtividade do equipamento em relação ao volume individual da árvore, evidenciando a curva característica dessa relação (Figura 28), com produtividade proporcional ao volume das árvores.



**Figura 28.** Produtividade do *Harvester* no processamento em função do volume individual da árvore.

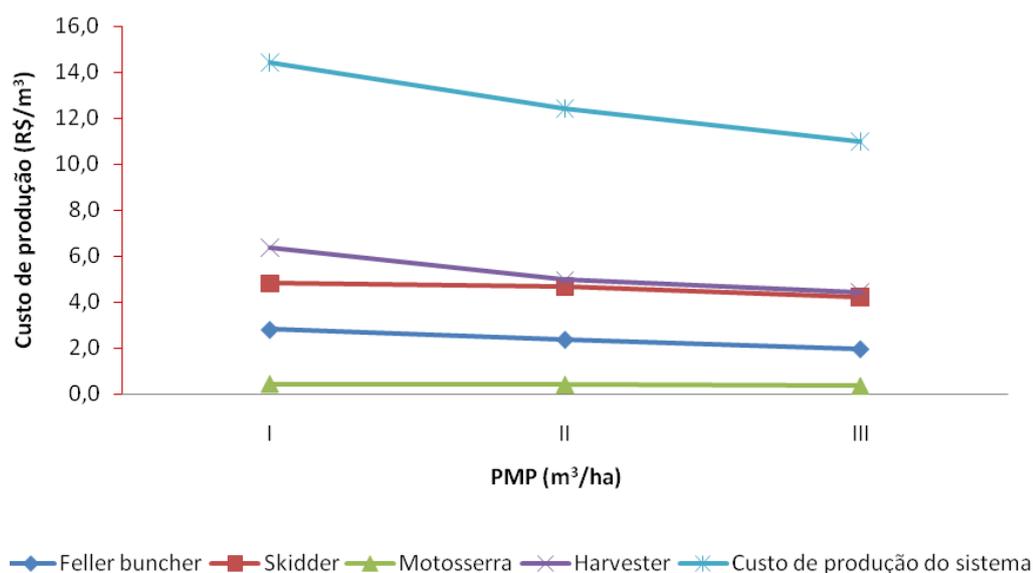
### 5.5. Custo de produção e rendimento energético do sistema de colheita

Na Tabela 26 são mostrados os resultados referentes aos custos de produção e do rendimento energético do sistema de colheita de madeira, nas diferentes PMPs da floresta estudada. Como pode ser observado, os valores médios do custo total de produção e do

rendimento energético total do sistema estudado foram de R\$ 12,61/m<sup>3</sup> e 8,61 g/kW\* m<sup>3</sup>, para PMP I, II e III, respectivamente.

**Tabela 26.** Custo de produção e rendimento energético do sistema de colheita de madeira nas diferentes classes de produtividade do povoamento.

| Variáveis   | PMP   |       |       |       |
|---|-------|-------|-------|-------|
|   | I     | II    | III   | Média |
| <b>Custo de produção (R\$/m<sup>3</sup>)</b>      | 14,42 | 12,42 | 10,99 | 12,61 |
| <b>Rendimento energético (g/kW*m<sup>3</sup>)</b> | 9,49  | 8,24  | 8,12  | 8,61  |



**Figura 29.** Custos da colheita de madeira nas diferentes classes de produtividade do povoamento.

O custo de produção do sistema de colheita de madeira analisado assumiu o maior valor em PMP I e menor valor na PMP III. Lopes (2007) chegou a um valor médio de aproximadamente R\$ 9,00/m<sup>3</sup> para um sistema de colheita de madeira, sendo o *Feller Buncher* o equipamento que contribuiu para o maior custo do sistema de colheita de madeira.

## 6. CONCLUSÕES

- O melhor rendimento energético ocorreu na classe de produtividade média de floresta III realizado pelo *Feller Buncher*, enquanto o pior foi realizado pela motosserra na classe de produtividade média de floresta I.

- O maior volume por hectare influenciou significativamente na produtividade do *Feller Buncher*, resultando em aumento do tempo de corte e empilhamento da madeira.

- Nas classes de maior distância de extração os elementos parciais manobra e carga e deslocamento carregado demandaram o maior tempo do ciclo operacional do *Skidder*.

- A produtividade do *Skidder* foi superior na maior classe de produtividade média de floresta, resultando em menores custos de produção e melhores rendimentos energéticos.

- A produtividade do *Skidder* foi mais sensível em relação à variável distância de extração do que ao volume de madeira arrastado.

- O *Harvester* apresentou o maior custo de produção na classe de produtividade de floresta I em comparação com os outros equipamentos.

- O aumento de produtividade do plantio levou ao proporcional aumento no tempo de desgalhamento de árvores com a motosserra, mostrando a influência do volume médio individual das árvores nesta operação.

- O custo de produção do sistema de colheita foi maior na produtividade média de floresta I e menor na produtividade média de floresta III.

- Os modelos ajustados foram considerados adequados para a estimativa da produtividade dos equipamentos *Feller Buncher*, *Skidder* e *Harvester*.

- A variável volume da floresta apresentou influência na produtividade e nos custos das máquinas de colheita de madeira estudada.

- Para o aumento da produtividade operacional do sistema de colheita de madeira torna-se necessário a melhoria do planejamento das operações mais especificamente o micro planejamento, possibilitando o aumento de produtividade e redução dos custos de produção.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 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.
- ARCE, J. E.; MACDONAGH, P.; FRIEDL, R. A. Geração de padrões ótimos de corte através de algoritmos de traçamento aplicados a fiastes individuais. **Árvore**, v.28, n.2, p.383-391, 2004.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS-ABRAF (Brasil). Anuário Estatístico da ABRAF - 2010: Ano base 2009. Disponível em: <<http://www.abraflor.org.br/estatisticas/anuario-ABRAF-2010.pdf>>. Acesso em: 17 abr. 2011.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS-ABRAF (Brasil). Anuário Estatístico da ABRAF - 2009: Ano base 2008. Disponível em: <<http://www.abraflor.org.br/estatisticas/anuario-ABRAF-2007.pdf>>. Acesso em: 02 nov. 2010.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE – ABIMCI. 2007. **Estudo Setorial 2007: Indústria de Madeira Processada Mecanicamente**. Disponível em: <[http://www.abimci.com.br/importancia\\_setor.html](http://www.abimci.com.br/importancia_setor.html)>. Acesso em: 24. Nov. 2008.
- BAGIO, A. J.; STOHR, G. W. D. Resultados preliminares de um levantamento dos sistemas de exploração usados em florestas implantadas no sul do Brasil. **Revista Floresta**, v. 9, n. 2, p. 76-96, 1978.
- BARNES, R. M. **Estudos de movimentos e de tempos: projeto e medida do trabalho**. São Paulo: Edgard Blucher, 1977. 635p.
- 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.
- BRAMUCCI, M.; SEIXAS, F. Determinação e quantificação de fatores de influência sobre a produtividade de “harvesters” na colheita florestal. **Scientia Forestalis**, 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, 2002. 62 f. (2008). (Dissertação de Mestrado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- CONWAY, S. **Logging practices; principles of timber harvesting systems**. São Francisco, Miller Freeman, 1976. 416p.
- FIEDLER, N. C. Análise da produtividade de um sistema de colheita de árvores inteiras no norte do estado de Goiás. **Revista Floresta**, v38 n. 4, p. 577-586, 2008.

FENNER, P. T. **Métodos de cronometragem e a obtenção de rendimentos para as atividades de colheita de madeira**. Botucatu: Faculdade de Ciências Agrônômicas. Universidade Estadual Paulista, 2002. 14 p. (Notas de Aula: Disciplina de Exploração Florestal)

FREITAS, K. E. **Análise Técnica e Econômica da Colheita Florestal Mecanizada**. 2005. 19 f. (Dissertação de Mestrado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

JUVENAL, T. L.; MATTOS, R. L. G. **O setor florestal no Brasil e a importância do reflorestamento**. 16. ed. Rio de Janeiro: BNDES Setorial, 2002. 30 p.

KELLOGG, L.D.; BETTINGER, P. Thinning productivity and cost for mechanized cut-tolength system in the Northwest Pacific coast region of the USA. **Journal of Forest Engineering** v.5 (2): p. 43 -52, 1994.

LOPES, E. S.; MACHADO, C. C. Planejamento in: **Colheita florestal**. 2ª ed. Viçosa, MG, Ed. UFV, 2008. 501p.

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

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 de Doutorado em Ciência Florestal), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

MACHADO, C. C. **Colheita florestal**. 2ª ed. Viçosa, MG, Ed. UFV, 2008.

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

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

MACHADO, C.C. **Exploração florestal, 6**. Viçosa: UFV, Imprensa Universitária, 1989. 34p.

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

MALINOVSKI, R. A. **Evolução dos sistemas de colheita de Pinus na Região Sul do Brasil**. Curitiba, FUPEF, 2002. 138 p.

MALINOVSKI, R. A. **Otimização da distância de extração de madeira com "forwarder"**. 2007. 88 f. (Tese de Doutorado), Curso de Ciências Agrônômicas, UNESP, Botucatu.

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

MIYATA, E. S. **Determining fixed and operating costs of logging equipment**. [S.l.]: USDA Forest Service, 1980. 16 p. (General Technical Report, NC-55).

MOREIRA, F. M. T.; SOUZA, A. P.; MACHADO, C. C.; MINETTE, L. J.; KATIA, R. S. Avaliação operacional e econômica do “feller-buncher” em dois subsistemas de colheita de florestas de eucalipto. **Árvore**: Viçosa, MG, v. 28, n. 2. p. 199-205, 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 de Mestrado em Ciência Florestal), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa

NURMINEN, T.; KORPUNEN, H.; UUSITALO, J. Time consumption analysis of the mechanized cut-to-length harvesting system. **Silva Fennica** v.40 (2), p 335-363, 2006.

OLIVEIRA, R. **A utilização do microplanejamento como ferramenta de gestão da produção**. São Paulo, 2006. 158 f. Monografia (Especialização em tecnologia e gestão da produção de edifícios. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

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

SIMÕES, S. **Avaliação econômica de dois sistemas de colheita florestal mecanizada de eucalipto**. Botucatu, SP: UNESP, 2008, 105 f. (Dissertação de Mestrado em Ciências Florestais), Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu.

SILVA, G. F.; LEITE, H. G.; SILVA, M. L.; RODRIGUES, F. L.; SANTOS, H. N. Problemas com o uso de programação linear com posterior arredondamento da solução ótima, em regulação florestal. **Árvore**, Viçosa, v. 27, n. 5, p.677-688, 2003.

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

SANTOS, S. L. M. **Sistema de apoio a decisão em colheita florestal**. Viçosa, MG: UFV, 2000. 83 f. (Tese de Doutorado em Ciências Florestais), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

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

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

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

TANAKA, O. K. Exploração e transporte na cultura do eucalipto. **Informe Agropecuário**, v. 12, n. 141, p. 24-30, 1986.

VALVERDE, S. R.; OLIVEIRA, G. G. de; CARVALHO, R. M. A. M.; SOARES, T. S. Efeitos Multiplicadores do Setor Florestal na Economia Capixaba. **Árvore**, Viçosa, MG, v. 29, n.1, p. 85- 93, 2005.

VALVERDE, S.R. **A contribuição do setor florestal para o desenvolvimento sócio-econômico**: uma aplicação de modelos de equilíbrio multissetoriais. Viçosa, MG: UFV, 2000. 105 f. (Tese de Doutorado em Ciência Florestal), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

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