

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

**Análise de sistemas de colheita de povoamentos de eucalipto com  
baixa produtividade**

**Reinaldo Rocha de Camargo Junior**

Dissertação apresentada para obtenção do título de  
Mestre em Ciências, Programa: Recursos  
Florestais. Opção em: Silvicultura e Manejo  
Florestal

**Piracicaba  
2013**

**Reinaldo Rocha de Camargo Junior**  
**Engenheiro Florestal**

**Análise de sistemas de colheita de povoamentos de eucalipto com baixa  
produtividade**

versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

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

Dissertação apresentada para obtenção do título de  
Mestre em Ciências, Programa: Recursos  
Florestais. Opção em: Silvicultura e Manejo  
Florestal

**Piracicaba**  
**2013**

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

Camargo Junior, Reinaldo Rocha de

Análise de sistemas de colheita de povoamentos de eucalipto com baixa produtividade / Reinaldo Rocha de Camargo Junior. - - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2013.

115 p: il.

Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2013.

1. Baixo volume por hectare 2. Flail 3. Baixo volume unitário 4. Custo de produção  
I. Título

CDD 634.9734  
C172a

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

*Aos meus amados pais, Reinaldo e Edna, a quem devo tudo que sou,  
à minha querida irmã Clís por todo apoio e positivismo,  
à minha linda Beatriz pela paciência e ajuda,  
e à minha querida e amada Vó Alice.*



## AGRADECIMENTOS

À minha família pelos exemplos, cobranças, elogios e motivação.

Ao Prof. Dr. Fernando Seixas, meu orientador, que mesmo com atribuições diversas despendeu tempo e atenção para meu trabalho.

À equipe técnica de campo envolvida no trabalho pelos incansáveis e repetidos levantamentos de dados.

Ao grande amigo e colega de trabalho Claudio Dardengo pela ajuda, ensinamento e paciência.

Ao meu grande amigo de trabalho o qual considero meu professor de campo Luis Fernando Nelli, responsável por muito de meus conhecimentos operacionais.

Ao Donizete Galvão por ser um grande conselheiro e amigo.

Ao Wagner Itria por abrir inúmeras portas ao longo de minha vida profissional.

Aos colaboradores da empresa envolvida pelo pronto atendimento no envio de informações e companheirismo durante o desenvolvimento do projeto.

À Profa. Dra. Sonia Maria (LCE) e ao Prof. Dr. Hilton Thadeu (LCF) pelas inúmeras reuniões e análises estatísticas.

Aos meus grandes amigos da Gloriosa Mansão Republica STRUNZO pela convivência e amizade.

À Kizzy França, bibliotecária do Ipef, que não hesitou em me ajudar prontamente nas correções e padronizações da dissertação.

E por fim, um sincero agradecimento a todos aos envolvidos de forma direta ou indireta, que não foram citados, mas que fizeram parte desse projeto. Sintam-se agradecidos e lembrados.



## SUMÁRIO

RESUMO.....	9
ABSTRACT .....	11
LISTA DE FIGURAS .....	13
LISTA DE TABELAS .....	17
1 INTRODUÇÃO .....	19
2 OBJETIVO.....	21
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	23
3.1 Panorama Geral do Setor Florestal.....	23
3.2 Processo de Colheita .....	24
3.2.1 Sistemas de Colheita Florestal.....	24
3.2.2 Sistema de Toras Curtas.....	25
3.2.3 Sistema de Árvore Inteira.....	26
3.3 Fatores de influência na produção dos sistemas de colheita florestal.....	28
3.4 Descascamento.....	29
3.5 “Flail” .....	32
3.6 Resíduos Florestais.....	36
3.7 Compactação do Solo .....	37
4 MATERIAL E MÉTODOS.....	41
4.1 Materiais.....	41
4.1.1 Caracterização da Área de Estudo.....	41
4.1.2 Unidades de Produção Florestal .....	41
4.1.3 Caracterização dos sistemas .....	41
4.1.4 Sistema de Colheita Convencional.....	48
4.1.5 Sistema de Colheita Alternativo .....	49
4.2 Métodos.....	53
4.2.1 Delineamento experimental.....	53
4.2.2 Estudo de Tempo Contínuo e Produção Horária.....	54
4.2.3 Códigos do Ciclo Operacional .....	55
4.2.4 Produção Horária .....	55
4.2.5 Indicadores de Desempenho Operacional .....	56
4.2.6 Custos Operacionais .....	57
4.2.7 Custos Fixos (CF) .....	58
4.2.7.1 Depreciação (Dp) .....	58

4.2.7.2 Juros (J).....	58
4.2.7.3 Seguros .....	59
4.2.7.4 Estrutura .....	59
4.2.8 Custos Variáveis (CV).....	60
4.2.8.1 Custo de Combustível (CC) .....	60
4.2.8.2 Custos de Óleo Lubrificantes (CL) .....	60
4.2.8.3 Custo de Mão de Obra.....	61
4.2.8.4 Custo de Manutenção.....	61
4.2.9 Estimativa dos Custos de Colheita .....	61
5 RESULTADOS .....	63
5.1 Análise Estatística.....	63
5.2 Rendimentos Operacionais.....	67
5.2.1 Unidade de Produção A.....	67
5.2.1.1 Sistema Alternativo de Colheita – UP A.....	68
5.2.1.2 Sistema Convencional de Colheita – UP A.....	71
5.2.2 Unidade de Produção B.....	73
5.2.2.1 Sistema Alternativo de Colheita – UP B.....	74
5.2.2.2 Sistema Convencional de Colheita – UP B.....	77
5.3 Custos Operacionais Horários .....	79
5.3.1 Custos do Máquino “Feller-buncher” .....	80
5.3.2 Custos da Máquina “Skidder” .....	82
5.3.3 Custos da Máquina “Flail” .....	84
5.3.4 Custos da Máquina “Power-Clamp” .....	85
5.3.5 Custos da Máquina “Garra-Traçadora” .....	87
5.3.6 Custos da Máquina “Harvester” .....	89
5.3.7 Custo da Máquina “FORWARDER” .....	91
5.4 Custo de Produção .....	95
5.4.1 Unidade de Produção A.....	95
5.4.2 Unidade de Produção B.....	97
6 DISCUSSÕES .....	101
7 CONCLUSÃO .....	105
REFERÊNCIAS .....	107
APÊNDICE .....	113

## RESUMO

### **Análise de sistemas de colheita de povoamentos de eucalipto com baixa produtividade**

A colheita mecanizada florestal é uma atividade custosa com diversos fatores a serem gerenciados e controlados para que se torne uma atividade viável e competitiva. Para a aplicação em povoamentos florestais de baixo volume por hectare, a escolha do sistema de colheita ideal é fator determinante para o sucesso operacional e financeiro do processo. O presente estudo avaliou dois sistemas de colheita: um convencional - composto por: "Harvester" e "Forwarder" - e outro alternativo - composto por: "Feller-buncher", "Skidder", "Flail", "Power-Clamp" e "Garra-Traçadora". Os sistemas de colheita foram aplicados em florestas de baixo volume unitário, sendo a UP-A com  $0,14 \text{ m}^3 \cdot \text{árv.}^{-1}$  com 48,07 hectares e a UP-B com  $0,11 \text{ m}^3 \cdot \text{árv.}^{-1}$  com 80,88ha. Foi realizado estudo de tempo contínuo para o apontamento dos indicadores de desempenho de disponibilidade mecânica, eficiência operacional e índice de utilização, bem como coleta do número de árvores produzidas por cada máquina de cada um dos sistemas em ciclos de 30min. de forma aleatória. Os custos horários foram divididos em: custos fixos - compostos por: custo de depreciação, juros, seguros e estrutura - e custos variáveis - representados pelos valores correspondentes a: combustível, lubrificantes, mão de obra e manutenção. O custo de produção ( $\text{R}\$.\text{m}^{-3}$  de cada máquina e somatório de cada sistema) foi obtido por meio da soma dos custos fixos e variáveis de cada máquina e divisão entre sua produção horária apontada pelos técnicos florestais ao longo do estudo. Na análise estatística, aplicou-se o teste de BOX-COX para avaliar a homogeneidade da variância da produção horária ( $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ ) com a variância homogeneizada pela transformação logarítmica, fez-se a análise de variância (ANOVA) da variável  $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  de cada um dos sistemas para cada uma das unidades de produção e, sequencialmente, realizou-se o teste de comparação de médias dos sistemas de colheita e unidades de produção, comparados pelo teste de Tukey a 5%. Os custos fixos do sistema convencional totalizaram  $221,59 \text{ R}\$.\text{h}^{-1}$ , sendo estes 52,77% dos custos totais deste sistema, já o sistema alternativo apresentou um custo total fixo de  $668,55 \text{ R}\$.\text{h}^{-1}$ , representando 45,75% dos custos totais horários. Os custos variáveis do sistema convencional totalizaram  $198,29 \text{ R}\$.\text{h}^{-1}$ , compondo 47,23% dos custos totais, e para o sistema alternativo, os custos variáveis totalizaram  $792,68 \text{ R}\$.\text{h}^{-1}$ , representando 54,25% dos custos totais. O custo de produção do sistema convencional na UP-A foi de  $19,38 \text{ R}\$.\text{m}^{-3}$  e na UP-B foi de  $23,85 \text{ R}\$.\text{m}^{-3}$ . Já para o sistema alternativo, obteve-se na UP-A um custo de  $14,62 \text{ R}\$.\text{m}^{-3}$  e para UP-B um valor de  $19,99 \text{ R}\$.\text{m}^{-3}$ . Em conclusão, verificou-se que, para ambas as situações de floresta estudadas, o sistema alternativo de colheita foi mais competitivo em relação ao sistema convencional.

Palavras-chave: Baixo volume por hectare; "Flail"; Baixo volume unitário; Custo de produção



## ABSTRACT

### **Analysis of harvest systems of eucalyptus forest with low productivity**

The forest mechanized harvesting operation is a costly activity with many factors to be managed and controlled in order to become a viable and competitive activity. Thus when applied to forest stands with low volume per hectare, choosing the ideal harvesting system is a determining factor for the operational and financial success. The present study analyzed two harvesting systems, one named traditional, which is composed of "Harvester" and "Forwarder" and a second named alternate consisting of "Feller-buncher", "Skidder", "Flail", "Power-Clamp" and "Grapple-Saw". Both systems were applied to harvest forests of low unit volume, and the UP-A with 0.14 m<sup>3</sup>.tree<sup>-1</sup> with 48.07 hectares and UP-B with 0.11 m<sup>3</sup>.tree<sup>-1</sup> with 80.88 hectares. The study was conducted with continuous time for the appointment of the performance indicators of mechanical availability, operational efficiency and utilization rates, also was collected the number of trees produced by each machine in each system in cycles of 30 minutes at random. Hourly costs were divided into fixed costs, consisting of depreciation cost, interest, insurance and variable cost structure was represented by the cost of fuel, lubricants, labor and maintenance. The production cost of R\$.m<sup>-3</sup> of each machine and the sum of each system was obtained by the sum of the fixed and variable costs of each machine and divided by their hourly production indicated by forest technicians throughout the study. Statistical analysis was applied to the BOX-COX test to evaluate the homogeneity of the variance of output per hour (m<sup>3</sup>.hour<sup>-1</sup>), with the variance homogenized by logarithmic transformation was made the variance analysis (ANOVA) of the variable m<sup>3</sup>.hour<sup>-1</sup> of each harvest system for each forest production units and sequentially held the mean test comparison of harvest systems and forest production units, compared by Tukey test at 5%. The fixed costs of the traditional system totaled R\$ 221.59 per hour effective worked these being 52.77% of the total costs of the system, since the alternative system presented a total fixed cost of R\$ 668.55 per effective worked hour, representing 45.75% of the total costs. The variable costs of the traditional system totaled R\$ 198.29 per effective worked hour, composing 47.23% of total costs, and for the alternative system, variable costs totaled R\$ 792.68 per worked hour effectively representing 54.25% of total costs. The production cost of the traditional system in UP-A was R\$ 19.38 per m<sup>3</sup> and UP-B of R\$ 23.85 per m<sup>3</sup>, for the alternative system has obtained in the UP-A a cost of R\$ 14.62 per m<sup>3</sup> and for the UP-B R\$ 19.99 per m<sup>3</sup>. It is concluded that for both situations of forests studied, the alternative harvest system was more competitive compared to the traditional system in terms of R\$.m<sup>-3</sup>.

Keywords: Low volume per hectare; Flail; Low unit volume; Cost of production



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Máquina Base PC 200 da Komatsu .....	42
Figura 2 - Cabeçote Valmet 370E .....	43
Figura 3 - Máquina “Forwarder”, da John Deere 1710 .....	43
Figura 4 - Máquino “Feller-buncher” 860C da Tigercat .....	44
Figura 5 - Cabeçote “Feller-buncher” modelo 5000 da Tigercat.....	44
Figura 6 - Máquino “Skidder” da Tigercat.....	45
Figura 7 - Máquina “Flail” da CBI Inc.....	46
Figura 8 - Máquina “Power Clamp” da Tigercat.....	46
Figura 9 - Cabeçote “Power-Clamp” da Rotobec .....	47
Figura 10 - Cabeçote “Garra-Traçadora” Rotobec .....	48
Figura 11 - Sentido de deslocamento da “Harvester” e eito de quatro linhas.....	49
Figura 12 - Operação de formação de pilha do “Forwarder” .....	49
Figura 13 - Máquina Feller-buncher realizando corte de árvores num eito de quatro linhas de plantio .....	50
Figura 14 - o “Skidder” arrastando feixe de árvores inteiras a serem entregues para o descascamento na máquina “Flail”.....	50
Figura 15 - o “Skidder” entregando o feixe de madeira para a máquina “Flail” .....	51
Figura 16 - Máquina “Flail” iniciando o processo de descascamento.....	51
Figura 17 - Máquina “Power-Clamp” retirando os feixes de árvores da máquina “Flail” e criando estaleiro de árvores inteiras descascadas.....	52
Figura 18 - Estaleiro de árvores inteiras descascadas aguardando a operação de processamento em toras de 6,3 metros .....	52
Figura 19 - Máquina “Garra-Traçadora” realizando o Traçamento das árvores inteiras descascadas em toras de 6,3 metros de comprimento e formando pilha de madeira de até 3,0 metros de altura.....	52
Figura 20 - Técnico florestal realizando estudo de tempo.....	55
Figura 21 - Distribuição não transformada dos dados.....	64
Figura 22 - Distribuição dos dados com transformação logarítmica.....	64
Figura 23 - Gráfico de distribuição das horas operacionais por máquina que compõem o sistema alternativo, durante a operação na unidade de produção florestal A .....	71

Figura 24 - Gráfico de distribuição dos indicadores operacionais por máquina que compõem o sistema de alternativo, durante a operação na unidade de produção florestal A.....	71
Figura 25 - Gráfico de distribuição das horas operacionais por máquina que compõem o sistema convencional, durante a operação na unidade de produção florestal A.....	73
Figura 26 - Gráfico de distribuição dos indicadores operacionais por máquina que compõem o sistema convencional, durante a operação na unidade de produção florestal A.....	73
Figura 27 - Gráfico de distribuição das horas operacionais por máquina que compõem o sistema alternativo, durante a operação na unidade de produção florestal B.....	77
Figura 28 - Gráfico de distribuição dos indicadores operacionais por máquina que compõem o sistema alternativo, durante a operação na unidade de produção florestal B.....	77
Figura 29 - Gráfico de distribuição das horas operacionais por máquina que compõem o sistema convencional, durante a operação na unidade de produção florestal B.....	78
Figura 30 - Gráfico de distribuição dos indicadores operacionais por máquina que compõem o sistema convencional, durante a operação na unidade de produção florestal B.....	79
Figura 31 - Distribuição dos custos fixos e percentual relativo à máquina “Feller-buncher”.....	81
Figura 32 - Distribuição dos custos variáveis e porcentagem relativa à máquina “Feller-buncher” .....	81
Figura 33 - Distribuição dos custos fixos por hora efetiva trabalhada da máquina “Skidder” e seu percentual.....	82
Figura 34 - Distribuição dos custos variáveis por hora efetiva trabalhada da máquina “Skidder” e seu percentual.....	83
Figura 35 - Distribuição dos custos fixos por hora efetiva trabalhada da máquina “Flail” e seu percentual .....	84
Figura 36 - Distribuição dos custos variáveis da máquina “Flail” e percentual de cada classe desse custo .....	85

Figura 37 - Distribuição dos custos fixos por hora efetiva trabalhada da máquina “Power-Clamp” e seu percentual.....	86
Figura 38 - Distribuição dos custos variáveis por hora efetiva trabalhada da máquina “Power-Clamp” e seu percentual.....	87
Figura 39 - Distribuição dos custos fixos por hora efetiva trabalhada da máquina “Garra-Traçadora” e seu percentual.....	88
Figura 40 - Distribuição dos custos variáveis por hora efetiva trabalhada da máquina “Garra-Traçadora” e seu percentual.....	89
Figura 41 - Distribuição dos custos fixos por hora efetiva trabalhada da máquina “Harvester” e seu percentual.....	90
Figura 42 - Distribuição dos custos variáveis por hora efetiva trabalhada da máquina “Harvester” e seu percentual.....	91
Figura 43 - Distribuição dos custos fixos por hora efetiva trabalhada da máquina “Forwarder” e seu percentual.....	92
Figura 44 - Distribuição dos custos variáveis por hora efetiva trabalhada da máquina “Forwarder” e seu percentual.....	93
Figura 45 - Gráfico das porcentagens relativas à cada máquina dentro do custo total horário.....	94
Figura 46 - Gráfico das porcentagens relativas à cada máquina dentro do custo total horário.....	95
Figura 47 - Movimentação da “Flail” conectada à “Dolly” sendo puxada pelo “Skidder”.....	99



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Análise de variância da variável $m^3.h^{-1}$ dos dados transformados, sendo as fontes de variação (FV) para sistemas de colheita convencional e alternativo (S), classes de produção (T) grau de liberdade (gl), quadrado médio (QM) e F o valor do Teste F .....	65
Tabela 2 - Teste de média para sistemas e classes de produção comparados pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, no qual CP são as classes de produção florestal.....	65
Tabela 3 – Análise de variância (ANOVA) para comparação entre os sistemas para a unidade de produção A, na qual FV representa as fontes de variação, gl é o grau de liberdade, QM é o quadrado médio e F é o Teste F.....	66
Tabela 4 – Análise comparativa das médias da produção horária ( $m^3.h^{-1}$ ) por meio do Teste de Tukey.....	66
Tabela 5 - Média para comparação entre os sistemas para a classe de produtividade B, na qual FV representa as fontes de variação, gl é o grau de liberdade, QM é o quadrado médio e F é o valor do Teste F .....	67
Tabela 6 - Análise comparativa das médias da produção horária ( $m^3.h^{-1}$ ) por meio do Teste de Tukey.....	67
Tabela 7 - Produção horária por máquina em cada um dos sistemas avaliados dentro da unidade de produção A .....	68
Tabela 8 - Produção horária por máquina em cada um dos sistemas avaliados dentro da unidade de produção A .....	74
Tabela 9 - Distribuição dos custos fixos por hora efetiva das máquinas do sistema alternativo.....	79
Tabela 10 - Distribuição dos custos fixos por hora efetiva das máquinas do sistema convencional .....	80
Tabela 11 - Distribuição dos custos variáveis por hora efetiva das máquinas do sistema alternativo .....	80
Tabela 12 - Distribuição dos custos variáveis por hora efetiva das máquinas do sistema convencional .....	80
Tabela 13 - Custo total horário, produção horária e custo de produção por máquina do sistema alternativo na unidade de produção A.....	96

Tabela 14 - Custo total horário, produção horária e custo de produção por máquina do sistema convencional na unidade de produção A.....	96
Tabela 15 - Custo total horário, produção horária e custo de produção por máquina dos sistemas alternativos na unidade de produção B.....	98
Tabela 16 - Custo total horário, produção horária e custo de produção por máquina dos sistemas convencional na unidade de produção B.....	98
Tabela 17 - Custos totais de produção do sistema alternativo, com as produções apuradas durante o teste das máquinas e a diferença percentual .....	100
Tabela 18 - Custos totais de produção do sistema convencional, com as produções apuradas durante o teste das máquinas e a diferença percentual .....	100

## 1 INTRODUÇÃO

A colheita florestal mecanizada intensificou-se no Brasil a partir da década de 90, com a abertura da importação de máquinas pelo governo brasileiro, principalmente aquelas utilizadas na Escandinávia e países norte-americanos, onde a cultura florestal e a mecanização intensiva eram mais tradicionais. Inicialmente, foram importadas principalmente máquinas com princípio *Cut-to-Length* (“toras curtas”), no qual as árvores são cortadas, descascadas e dimensionadas em toras com comprimento determinado, segundo as necessidades do cliente final. O transporte principal geralmente é o rodoviário, em obediência às legislações: federal e vigente nos estados e observação às adequações às condições da rede viária da região explorada, o que resultou em diversas composições veiculares possíveis para o transporte da madeira.

No setor florestal brasileiro, principalmente nas grandes empresas, a mecanização é um processo que se apresenta de forma irreversível e cada vez mais presente, buscando, principalmente, maior garantia do abastecimento, segurança e estabilidade financeira dos prestadores de serviços, aumento de produtividade e redução de custos.

Atualmente, os principais sistemas de colheita utilizados no Brasil caracterizam-se pelo manuseio individualizado das árvores (“Cut-to-Length”) ou pela operação com múltiplas árvores (“Full-Tree”), no qual o processamento é feito, respectivamente, no local de corte ou ao lado dos carregadores após a operação de extração.

Conforme a utilização final da madeira, o processo produtivo florestal requer a necessidade da operação de descascamento, a qual pode ser realizada no local do corte, na margem dos carregadores, em pátios intermediários ou no próprio local de consumo final da madeira.

Quando essa operação ocorre no campo, o descascamento é feito por meio de máquinas especializadas ou manualmente com facões. Nas “Harvesters”, o cabeçote processador tem como principal característica o descascamento de cada árvore individualmente. Além do cabeçote “Harvester”, há uma série de modelos de rolos descascadores que utilizam o princípio de correntes, os quais são acoplados a carregadeira frontal, que se deslocam sobre os feixes de árvores inteiras, descascando-as.

Há também máquinas estacionárias ou móveis que utilizam o princípio de facas, rotores e correntes, as quais descascam múltiplas toras e árvores, ou unidades, segundo suas configurações. Entre elas, encontram-se os descascadores de facas tracionados por trator agrícola, com alimentação manual ou por meio de grua e acionados pela sua tomada de força, descascando toras de forma unitária. Esse sistema gerou no passado uma série de acidentes, quando a alimentação da máquina ocorreu manualmente. Além disso, a produção horária não se mostra economicamente viável em algumas condições de volume por hectare.

Assim, para garantir sustentabilidade econômica da operação de descascamento em povoamentos florestais de condições de baixo volume de madeira por hectare, faz-se necessário massificar o processo, pois tal fator implica diretamente no custo de operação.

Na década de 70, foi introduzida no mercado americano a máquina denominada “Flail-Delimer-Debarker”, como resposta ao problema de descascamento de árvores de baixo diâmetro. De acordo com Taylor (1977), essa máquina era capaz de descascar entre 1.300 a 1.600 árvores por hora, a um custo de 0,18 R.m<sup>-3</sup> (Rands.m<sup>-3</sup>), além de outras vantagens, tais como: capacidade de descascar múltiplas árvores simultaneamente, menor capital de investimento, simplicidade para operação e realização de manutenções. Versátil, esse tipo de máquina pode ser usado com sucesso tanto dentro do campo como às margens dos talhões.

A hipótese neste caso é de que um sistema de colheita florestal, utilizando a máquina “Flail” para realizar o descascamento de feixes de toras no campo, é mais produtivo que o sistema atual praticado com “Harvester” e “Forwarder”, resultando em uma colheita de menor custo quando aplicada a condições de povoamentos florestais de baixo volume unitário (m<sup>3</sup>.árvore<sup>-1</sup>).

## **2 OBJETIVO**

O objetivo desse estudo foi avaliar dois sistemas de descascamento no campo: um com a utilização da “Harvester” e outro com o emprego do “Flail-Delimiter-Debarker”, avaliando a produtividade horária das máquinas e o seu reflexo econômico, quando aplicadas a condições de baixo volume de madeira por hectare.



### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 Panorama Geral do Setor Florestal

Pela dimensão dos mais de 6,5 Mha de florestas plantadas no Brasil, sendo 74,8% com plantios de eucalipto (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS - ABRAF, 2012), o setor florestal brasileiro apresenta importante papel socioeconômico, impulsionando as questões empregatícias (geração de renda, tributos e impostos), desenvolvimento do nível cultural das pessoas envolvidas, fomentando a exploração sustentável dos recursos naturais e agregando valor à economia brasileira.

A empregabilidade no setor florestal, no período de 1990 a 2005, sofreu redução. No Brasil e Suriname, porém, o número de colaboradores quase dobrou nos últimos cinco anos (FAO, 2011). Em contrapartida, segundo o Anuário ABRAF (2012), em 2011, não houve crescimento da área de plantios florestais de *Eucalyptus* e *Pinus* no Brasil, havendo assim uma desaceleração do crescimento em relação aos dois anos anteriores. De 2005 a 2011, o crescimento acumulado foi de 27,9%, ou seja, 3,0% ao ano.

As principais razões para essa estagnação foram: a redução da atividade econômica nos países da União Europeia e nos Estados Unidos, a redução da competitividade no mercado internacional dos produtos da cadeia produtiva florestal e a excessiva burocratização dos processos de licenciamento ambiental nos novos projetos florestais e indústrias do país (ABRAF, 2012).

Nesse contexto, para se manterem presentes tanto no mercado interno como externo, as empresas devem ter o foco na inovação dos processos produtivos, independente de seu produto final. Dessa forma, aumentar a produtividade de toda cadeia produtiva, por meio de projetos de excelência operacional, mecanização, avaliações econômicas dos diversos cenários das atividades relacionadas e inovação são fundamentais para a geração de valor para às empresas, seus colaboradores e periféricos.

As principais forças de sustentação e expansão da competitividade do setor florestal estão baseadas no tripé: “site”, tecnologia e gestão. Na atual dinâmica da economia brasileira e crescente demanda por produtos e energias renováveis, o

conceito de sustentabilidade se faz cada vez mais presente nos modelos de gestão (ABRAF, 2011).

O mercado brasileiro consome toda a produção de madeira em tora proveniente de suas florestas plantadas, a qual é destinada ao processo industrial de diversos segmentos do mercado interno. Em 2009, foram consumidos cerca de 162,58 milhões de m<sup>3</sup> de madeira em toras, em que 68,4% referiram-se ao consumo de eucalipto e 31,6% ao de pinus. A indústria de celulose e papel consumiu 37,3% desse total, tendo como segunda maior consumidora a produção de lenha industrial (25,7%), seguida pela indústria madeireira (18,8%), siderúrgicas movidas a carvão vegetal (11,9%) e a indústria de reconstituídos (5,8%) (ABRAF, 2010).

Segundo BRACELPA (2013), o Brasil é o quarto maior produtor de celulose do mundo, com produção de 13,9 milhões de toneladas por ano, ultrapassado pelo Canadá, que produz 18,3 milhões de toneladas, China, que possui produção de 19,5 milhões e Estados Unidos - o maior produtor do mundo – que acumula 49,7 milhões de toneladas anuais.

Dos 4,8 milhões de hectares de florestas de eucalipto plantadas no Brasil, o estado com maior representação em área é Minas Gerais, contemplando 1,4 milhão de hectares (22,7% da área total no Brasil), seguido por São Paulo, com 1,03 milhão (18,2%), Paraná com 0,18 milhão (13%) e Bahia - a quarta colocada - com área total de eucalipto igual a 0,60 milhão de hectares (9,7%) (ABRAF, 2011).

As florestas plantadas serão imprescindíveis para atender a maior parcela das necessidades futuras de madeira. Estima-se que, em 2030, elas produzirão cerca de 1,9 bilhão de m<sup>3</sup>, representando de 75% a 80% da demanda por madeira industrial (CARLE; HOLMGREN, 2008; apud GARLIPP; FOELKEL, 2009).

## **3.2 Processo de Colheita**

### **3.2.1 Sistemas de Colheita Florestal**

A colheita florestal pode ser definida como o conjunto de operações efetuadas no maciço florestal, que visa processar e mover a madeira até o local de transporte, por meio do uso de técnicas e padrões estabelecidos, com a finalidade de transformá-la em produto final (MACHADO, 2002). A sua modernização teve início na década de 70, quando a indústria nacional começou a produzir máquinas como motosserra e guas (SALES, 1981).

A colheita florestal sempre foi uma atividade objeto de especial atenção nas empresas consumidoras de madeira, dada a sua alta representação nos custos de produção e elevada demanda de mão de obra, além da natureza desgastante do trabalho e do nível de risco de acidentes (BRAMUCCI; SEIXAS, 2002).

Segundo Seixas (1998), os sistemas de colheita florestal são agrupados em dois grandes grupos:

- i. Sistema de toras curtas (“Cut-to-Lenght”), no qual todo o desdobramento da madeira ocorre dentro do canteiro de corte;
- ii. Sistema de toras longas, no qual a árvore derrubada é eventualmente desgalhada no local de corte e a madeira posteriormente processada na margem do carreador.

Machado (2008) apresenta, além dos sistemas anteriores, os seguintes sistemas:

- i. Sistema de árvores inteiras (“Full-Tree”), no qual a árvore é derrubada e baldeada até as margens dos carreadores ou pátios intermediários onde serão processadas;
- ii. Sistema de árvore completa (“Whole-Tree”), no qual as árvores são retiradas com parte de seu sistema radicular e posteriormente processadas às margens do carreador ou pátio intermediário;
- iii. Sistema de cavacos (“Chipping”), no qual a árvore é derrubada e processada em cavacos no campo, podendo ser carregados diretamente na carreta do caminhão ou formar pilhas para posterior carregamento nos caminhões.

Simões (2008), avaliando os rendimentos e os custos operacionais, concluiu que a viabilidade econômica da operação de colheita florestal depende do rendimento operacional das máquinas florestais e do gerenciamento dos custos operacionais, bem como identificou que os principais componentes dos custos variáveis são combustível e mão de obra.

### **3.2.2 Sistema de Toras Curtas**

No sistema de toras curtas, todo o processamento da madeira (corte, descascamento, desgalhamento, destopo e traçamento) é feito dentro da unidade de produção florestal. As toras produzidas podem medir até 7,2 metros de comprimento, dependendo do tipo de transporte, índice de mecanização e

característica necessária do produto final. Esse sistema usa geralmente um módulo composto por uma “Harvester” (colhedora florestal) e um “Forwarder” (trator auto-carregável) (SEIXAS, 1998). Segundo Athanassiads e Wasterlund (1998), Malinovski et al. (2002) e Salmeron et al. (1998), essas máquinas são consideradas de baixo impacto no solo. Além disso, elas deixam os resíduos da colheita (casca e galhada) no talhão, diminuindo o custo de reposição de nutrientes e o custo do transporte em proporção à casca que não é transportada (MIRANDA et al., 2002).

Jacovine et al. (2001) avaliaram a perda de madeira em diferentes sistemas de colheita e concluíram que no sistema que utilizava as máquinas “Harvester” e “Forwarder” houve perda de 3,5% em relação ao total do volume de madeira existente no povoamento.

Do ponto de vista ambiental e de sustentabilidade, a perda de madeira é condenada, ainda mais se esse fato for adicionado à atividade que mais onera o custo de produção da madeira no Brasil. Segundo Tanaka (1986), a perda de madeira deve ser quantificada e incluída na análise na hora da escolha do sistema de colheita a ser utilizado, bem como deve ser criado um plano de mitigação dessas perdas (JACOVINE et al., 2010).

Martins et al. (2009), avaliando técnica e economicamente o uso da máquina “Harvester” em diferentes espaçamentos e arranjos de plantio de eucalipto, concluíram que o volume médio por árvore é a variável que melhor explica a capacidade operacional efetiva dessa máquina e que, em espaçamentos maiores, são apresentados resultados de maior volume individual, logo melhor desempenho do equipamento e menor custo da operação de colheita.

Simões et al. (2010) avaliaram o desempenho de uma “Harvester” em colheita florestal de eucalipto em primeiro corte e concluíram que o diâmetro da altura do peito influenciou em aproximadamente 50% na produtividade da máquina, explicando os menores custos de colheita florestal para as parcelas experimentais com árvores de maior diâmetro.

### **3.2.3 Sistema de Árvore Inteira**

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

Freitas e Antiqueira (1993), avaliando a redução de mão de obra com o sistema

mecanizado de colheita e o princípio de árvore inteira, utilizando “Feller-buncher”, “Skidder” e garra-traçadora, concluíram que a mecanização resultou num custo de investimento 35% menor que o manual e redução de 42% no custo operacional de produção de madeira. Além dessas vantagens encontradas no sistema mecanizado, a biomassa florestal concentrada às margens do talhão requereu 20% menos mão de obra, pois a atividade de desgalhamento não era mais realizada, e possibilitou uma redução de 30% no custo da madeira destinada à geração de energia, considerando-se um raio de até 40 km.

Os benefícios da mecanização, quando avaliada a questão de mão de obra, podem ser facilmente percebidos, porém para potencialização dessas vantagens é necessária realização de uma análise completa dos fatores que influenciam o custo operacional de sistemas mecanizados. Dessa forma, Valverde et al. (1996) realizaram um estudo com o objetivo de analisar as questões técnicas e econômicas do corte com “Feller-buncher” e arraste com “Skidder”, tendo como variáveis: o espaçamento de plantio e o volume por hectare de madeira. Em relação às questões técnicas, concluíram que:

- o “Feller-buncher” cortou entre 18 e 20 árvores por feixe;
- o menor tempo de deslocamento sem carga foi no eito de quatro linhas;
- há uma relação direta entre o tempo de deslocamento sem carga e o percentual de falhas no talhão;
- o tempo de corte varia diretamente com o volume de madeira por hectare;
- o tempo médio do ciclo operacional do “Feller” foi de 14,54 segundos por árvore cortada;
- a máquina atinge melhor desempenho em espaçamentos de 3,0 x 2,0 metros;
- o tempo médio do ciclo operacional doo “Feller-buncher” foi de 14,54 segundos por árvore cortada.

Em relação às questões econômicas, concluíram que:

- o custo horário o “Feller-buncher” do “Feller-buncher” foi de US\$ 36.54, cujos 45,1% do valor correspondem a custos fixos, 45,8% a custos variáveis e 9,1% a custos administrativos;
- o custo de produção do “Feller-buncher” foi de 1,80 R\$.st<sup>-1</sup> (fator de

conversão de metro estéreo para  $m^3 = 1,5$ );

- talhões com maiores volumes de  $m^3$  por hectare obtiveram os menores custos.

Fiedlen et al. (2008), avaliando a produtividade de um sistema de colheita de árvores inteiras, concluíram que os principais fatores que influenciaram no tempo do ciclo operacional e na produtividade o “Feller-buncher” do “Feller-buncher” foram: a distância de deslocamento e o volume de madeira das árvores. Já o “Skidder” foi influenciada pela distância total percorrida e pelo número de feixes arrastados; e o ciclo operacional da “garra-traçadora” foi influenciado pelo volume da madeira processada.

Moreira et al. (2004) avaliaram o “Feller-buncher” em dois subsistemas: um composto por “Feller-buncher”, “Skidder” e “Slingshot” e outro composto por “Feller-buncher”, “Slingshot” e “Forwarder”, os quais resultaram numa produção horária de 500 e 542 árvores, em metros cúbicos com casca por hora efetiva de trabalho de 33,47 e 36,10  $m^3cc$  e a um custo operacional de 114,99  $R\$.h^{-1}$ .

Fernandes et al. (2009) avaliaram um sistema de colheita florestal mecanizada composto por “Feller-buncher”, “Skidder” e garra-traçadora e concluíram que a produtividade é maior quando o trabalho é feito em florestas com  $300 m^3.ha^{-1}$  e quando a distância do arraste é de até 200 m, sendo que a produtividade do sistema está associada ao desempenho do “Feller-Bucher” devido ao seu custo de produção.

### **3.3 Fatores de influência na produção dos sistemas de colheita florestal**

Segundo Bramucci (2001), a produtividade do corte mecanizado é muito influenciada pelo volume individual da árvore - na medida em que cresce o diâmetro médio das árvores, a produtividade do sistema aumenta e, conseqüentemente, o custo operacional cai.

Valverde et al. (1996) afirmam que, além de interferir no custo da operação de colheita, a produtividade da floresta interfere, nas mesmas condições, na extração da madeira, seja por meio de arraste ou de baldeio, mostrando-se, dessa forma, como o fator preponderante na formação dos custos finais da madeira.

Rezende et al. (1983), estudando o espaçamento ótimo de eucalipto para produção de madeira com fins energéticos, afirmam que o custo de colheita é o mais significativo na produção lenhosa, chegando a representar 50% dos custos totais

num espaçamento menor em comparação com as plantações de maior espaçamento.

Holtzschler e Lanford (1997) estudaram o efeito do diâmetro no custo e as produtividades em sistemas de toras curtas, e observaram que para todos os sistemas estudados o porte da árvore tem um efeito significativo no custo da madeira colhida e que o aumento do porte da árvore diminui o custo unitário da atividade. Também, concluíram que para a máquina "Harvester", em sistema de toras curtas, o custo é muito alto para florestas com pequenos diâmetros.

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

Malinovsky et al. (2006), identificando e sugerindo uma classificação para as principais variáveis físicas do terreno, do povoamento e do planejamento das operações que influenciam nas operações de colheita, concluíram que existem 37 principais variáveis de influência na produtividade das máquinas de colheita em eucaliptos. Também, verificaram que a interação entre as variáveis de influência na produtividade e as máquinas-base reflete a complexidade da atividade de planejamento e dimensionamento das atividades de colheita de madeira devido à influência direta ocasionada pelas variáveis do terreno, povoamento e forma de operação nas unidades homogêneas de colheita. Além disso, os pesquisadores salientaram que, para se conhecer as correlações de tais variáveis e criar uma priorização das que possuem mais influência, deve-se realizar estudos de tempo para melhor uso dos recursos.

Bramucci e Seixas (2002), analisando e quantificando a influência das diferentes variáveis sobre a capacidade de produção de "Harvesters" na colheita florestal, concluíram que o volume médio das árvores é a variável que isoladamente melhor explica a produtividade horária desses equipamentos, seguida pelo DAP médio, altura média e volume por hectare.

### **3.4 Descascamento**

Santos et al. (2001) definem o descascamento como a retirada da casca de toras de madeira. A operação de descascamento de madeira ocorre segundo o

produto final necessário. Dessa forma, o processo produtivo determina se essa operação é necessária ou não. Esse processo pode ocorrer de forma manual ou mecanizada, podendo acontecer no campo ou dentro da indústria consumidora, o que é uma tendência, pois promove o aproveitamento da casca para queima e geração de energia, além da diminuição dos custos operacionais da colheita, uma vez que há a concentração das atividades dentro de um local controlado (SEIXAS, 1998).

O descascamento da madeira em campo se dá por duas razões: quando a fábrica não contempla um sistema de descascamento em sua linha de produção, ou quando há suficiente geração de energia em seu sistema operacional que não se faz necessária a utilização de biomassa para queima.

Segundo Seixas (1998), a principal vantagem de se realizar o descascamento no campo é o não transporte da casca, o que ocasiona a ocupação do espaço com madeira útil para o processo produtivo, além da não retirada dos nutrientes contidos na casca da floresta.

As grandes empresas florestais atualmente utilizam máquinas portáteis, que podem ser alimentadas manualmente ou mecanicamente por tratores agrícolas equipados com gruas e garras hidráulicas. Porém, segundo Seixas (1998), as grandes desvantagens do descascamento em campo são: a alimentação manual desses descascadores, a limitação pelo diâmetro da madeira e a utilização de combustível fóssil para essa operação. Pode-se adicionar a essas desvantagens: a não retirada de 100% das cascas nessas operações, o que traz a necessidade de sua limpeza durante o descarregamento, ou mesmo durante o peneiramento do cavaco produtivo.

Os principais fatores que influenciam o descascamento da madeira são: espécie, tempo pós-corte, comprimento e diâmetro da madeira, local (relevo) e disposição da madeira (FOEKEL, 2013).

Piggott e Thompson (1987), quando avaliaram os fatores de influência no descascamento com tambores, confirmaram que os principais indicadores operacionais desse processo são: espécie da madeira, época do ano, comprimento de tora e velocidade de alimentação.

O princípio de descascamento pode ocorrer segundo a utilização de facas ou dentes cortantes, por atrito ou pela ação mecânica de tambores com correntes rotativas. Partindo disso, Seixas (1998) definiu que os principais tipos de

descascadores são: os anelares com ação de facas cortadoras ou raspadoras, os movidos por rolos com princípio de facas ou dentados, os do tipo caixa com princípio mecânico de atrito e tambores rotativos estacionários.

Também, podem ser utilizados rolos rotativos com correntes, os quais realizam o descascamento por meio do impacto das correntes sobre as toras. Tais máquinas podem ser estacionárias sobre base de concreto dentro da indústria, bem como sobre rodas ou esteiras autopropelidas em campo, tecnologia muito empregada desde a década de 70, nos EUA, Canadá, África do Sul e Oceania (CAMARGO JUNIOR, 2012).

Santos et al. (2001) observaram que o crescimento da produtividade horária dessas máquinas é diretamente proporcional ao aumento do volume por árvore e do comprimento da tora produzida, podendo atingir a marca de 44,7% de superioridade na produtividade se comparado ao descascamento de toras de 5,50m com toras de 2,80m. Também, evidenciaram uma redução de 5,49 R\$.hora<sup>-1</sup> quando os descascadores mecânicos foram alimentados mecanicamente contra o sistema manual, assim como o fato de que a produtividade dos descascadores com acionamento mecânico é diretamente proporcional ao aumento do volume por hectare.

Rauen et al. (1980), em suas observações, concluíram que é possível aumentar a produtividade com uma redução de mão de obra a partir do uso de descascadores mecanizados, bem como afirmaram que o maior gasto da operação manual está no custo da mão de obra. Além disso, os pesquisadores identificaram que, com o mesmo número de trabalhadores entre os sistemas, alcança-se maior produção quando é empregado o maquinário. Outro fator importante avaliado foi que a qualidade do descascamento atinge seu ponto ideal quando descascada verde e que o percentual de perdas não foi significativo.

Malinovsky et al. (2006), analisando o sistema de descascamento fixo de tambor e móvel composto por trator agrícola e facas rotativas, concluiu que o sistema fixo é mais viável economicamente se considerado um raio de até 100 km. Também, verificou que para um raio acima de 255 km o descascamento móvel é mais viável e que este processo promove a redução dos valores de transporte, carregamento e descarregamento, porém apresenta maior custo.

### 3.5 “Flail”

A “Flail” é uma máquina que utiliza o princípio de correntes para realizar a operação de descascamento. Existem diversos modelos e marcas de “Flail” operantes no mundo, dentre estáticos ou móveis, que podem ser utilizados em pátios de descascamento, geralmente dentro das unidades fabris, ou em campo.

“Flails” estacionários ou móveis podem ser utilizados com o argumento de economia nas atividades com florestas de fibra curta e árvores de baixo volume unitário, pois essa máquina é praticamente indiferente ao volume individual e formato das árvores. Além disso, esse sistema oferece potencial de utilização em povoamentos de baixa qualidade e aumenta a eficiência de produção de fibra. Durante os anos 70, “Flails” acopladas em “Skidders” foram usados extensivamente como sistema de descascamento de árvores em campo. Porém, com a introdução dos “Flails” com dois tambores descascadores, aumentou-se drasticamente a produtividade horária, fazendo com que o interesse por essa máquina ressurgisse entre os produtores florestais, devido à necessidade de maximizar o suprimento de fibra e agregar valor aos recursos florestais (RAYMOND; FRANKLIN, 1990a).

Essa máquina é construída geralmente sobre chassi com dois ou mais eixos, dependendo de suas dimensões, possui pino rei para engate em quinta roda e o princípio de utilização consiste em um ou mais eixos paralelos dispostos horizontalmente, com linhas de correntes fixadas na periferia dos tambores rotativos. Os eixos giram em alta velocidade, nos quais os feixes de árvores inteiras permeiam entre os tambores descascadores, área denominada de câmara descascadora, com a casca, galhos e folhas removidos pela interação mecânica resultante. Os resíduos florestais são depositados no fundo da câmara descascadora, os quais são expurgados por meio de correia transportadora ou por gavetas impulsionadas por pistões hidráulicos.

Tais instrumentos podem ser móveis e acoplados a máquinas florestais, como: “Feller-bunchers” sobre rodas e “Skidders”. Também, podem ser encontrados na configuração estacionária em que a madeira é trazida até a máquina para ser processada.

Segundo Taylor (1977), existem mais de cem diferentes patentes sobre sistemas de descascamento de árvores ao redor do mundo, porém 90% deles são construídos para descascar apenas uma árvore por vez. Os poucos construídos para múltiplas árvores são os melhores sistemas de descascamento quando

utilizados para descascar árvores de pequeno diâmetro e baixo volume. Além disso, foi identificado que a maioria das máquinas descascadoras existentes, quando estacionárias ou trabalhando às margens do talhão, são as mais eficientes, podendo atingir até  $110 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ .

Um dos problemas apontados por Taylor (1977) diz respeito ao fato de que, após certo tempo de utilização, as correntes responsáveis pelo descascamento quebram no terceiro elo. Nesse estudo, uma análise indicou que a vida útil das correntes dura em média de 15 a 45h, incluindo sua inversão, ou seja, o elo que fica preso segue para área de descascamento e vice-versa, variando de acordo com o material produzido.

Muitos são os fatores pelos quais as empresas florestais têm interesse no processo de descascamento por meio de “Flails”, sendo os principais, de acordo com Folkema e Giguere (1979), os seguintes:

- há uma tendência de utilização do sistema “Full-Tree” dentro das empresas florestais, o qual é limitado pela operação de descascamento em campo, pois até o momento as máquinas de descascamento conhecidas são de baixa capacidade produtiva;
- o padrão de descascamento é um fator muito importante e empresas, que precisam de madeira com o mínimo de casca possível, podem utilizar a “Flail” como uma alternativa para esse problema;
- se a “Flail” for utilizada da forma devida, os modelos de correntes podem aumentar a produtividade de forma substancial;
- a empresa que optar por esse tipo de descascamento deve ter uma ou ambas máquinas requeridas para o processo: “Flail” de correntes e carregador florestal, as quais reduziram o custo de capital necessário;
- “Flail” de corrente oferece um potencial de redução de custo.

Raymond e Franklin (1990b), estudando uma “Flail” de campo com apenas um tambor descascador em florestas de folhosas (“Hardwood”), concluíram que para árvores com volume individual de  $0,16 \text{ m}^3$  a produtividade da “Flail” foi estimada em  $51,2 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  efetiva, na qual o índice de utilização da “Flail” foi de apenas 30,5% durante o estudo, com o resto do tempo despedido na espera por toras. Para as condições encontradas, e dependendo da distância média do “Skidder”, podem ser necessários até seis destes equipamentos para suprir a “Flail” com madeira. Dado o

tempo de limpeza dos resíduos, associado ao incremento de produtividade do “Skidder”, estima-se que a produtividade potencial da “Flail” pode chegar até 760 árvores por hora efetiva.

Por meio de estudos de tempo de multimomento, Raymond e Franklin (1990b) pesquisaram a produtividade e desempenho de dois modelos de “Flail”: o Forest Pro modelo 23 e o Peterson Pacific DDC 5000, a fim de avaliar as interações entre os vários componentes da operação do sistema “Full-Tree” com a máquina “Flail”. Pelo estudo, observou-se que a produção horária foi influenciada pelo volume individual das árvores: em geral, quanto maior as árvores, mais lento o processo de descascamento. Porém, a produtividade horária aumentou na medida em que o volume unitário das árvores foi ampliado. A maior perda de produção esteve relacionada com a garra alimentadora da “Flail”, a qual ficou 14,2% do tempo, limpando a saída dos resíduos florestais. O conteúdo de casca presente no cavaco ficou em 2,5% em média. Essas observações ocorreram em florestas de 0,10, 0,14 e 0,16 m<sup>3</sup>.árvore<sup>-1</sup>, com o processamento de 160 a 280 árvores por hora, com média de 2,5 a 2,8 árvores por ciclo de alimentação. O índice de utilização da “Flail” passou de 67,8% para 78,7%, devido à redução nos atrasos operacionais de movimentação da “Flail” e menor tempo de ajuste da máquina. O conteúdo de casca girou em torno de 0,5% a 2,4%, variável de acordo com a espécie e época do ano (umidade), podendo atingir, no entanto, conteúdo inferior a 1%. Concluiu-se, também, que o sistema de descascamento e picagem no campo recolheu 2,9% mais biomassa da floresta em relação ao sistema convencional “Cut-to-Lenght”, com descascamento por tambor na indústria.

Folkema e Giguère (1979), com o objetivo de estudar produtividade e eficiência de descascamento com “Flail”, analisaram quatro métodos de processamento: A, o qual se refere ao processamento dos feixes de árvores no carregador; B, que diz respeito ao processamento dos feixes ao lado da pilha; C, o qual se refere ao processamento dos feixes paralelo ao carregador dentro do talhão; e D, que diz respeito ao processamento ao longo do carregador. Após análises, concluíram que o método A obteve uma produção de apenas 75% do método B, o mais produtivo, com cerca de 57m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup> e índice de utilização de 70%, resultado da interdependência entre o carregador e a “Flail”. O método D obteve a menor produção de descascamento, devido à necessidade de duas viagens do carregador para formar uma pilha e de ter que se movimentar por 180°.

A utilização do sistema de colheita “Full-Tree” geralmente produz madeira com casca, resultando numa reduzida quantidade de resíduos florestais depositados no talhão após a operação de colheita, podendo ter um impacto negativo na produtividade do solo. Quando utilizada a máquina “Flail”, os resíduos florestais, tais como: casca, folhas e galhos, ficam concentrados às margens do talhão e posteriormente são distribuídos novamente no talhão ou queimados.

Araki (1993a) estudou uma “Flail”, composta por cinco facas, acoplada a um “Skidder” para descascar previamente os feixes de árvores deixados pelo “Feller-buncher” e seguir para o processamento final numa máquina com “Flail” e picador acoplados. Assim, concluiu que, em árvores com baixo diâmetro, foram retirados 60% dos galhos e ponteiros e o cavaco produzido, após a operação com a máquina “Flail” e picador juntos, resultou em cavaco com menos de 1% de casca.

Para entender melhor os fatores que contribuem para vida útil das correntes da “Flail” e para maior eficiência do descascamento quando esse sistema é utilizado, Franklin (1993) realizou um estudo em dois modelos diferentes de “Flail” (Peterson-Pacific 4800 e Model 23 Flail Chipvestor), o qual envolveu a análise de fotos em alta velocidade, as quais permitiram a observação da interação de cada elo, por corrente e tambor, com a madeira. Como resultado dessa observação, concluiu-se que a vida útil das correntes pode ser estendida, determinando-se a distância ideal entre tambor em madeira, ou seja, equalizando a flutuação dos tambores quando em operação.

A qualidade do descascamento está associada não apenas ao conteúdo de casca remanescente nas toras ou árvores inteiras, mas também aos danos causados nas fibras da madeira. Dependendo do produto final desejado, ou de sua forma de utilização, os resultados podem significar perda de rendimento da matéria prima madeira (SUZANO, 2012).

Os danos profundos na madeira ocorrem com a combinação da alta velocidade da “Flail” (velocidade dos tambores e conseqüentemente das correntes) associada à baixa velocidade de deslocamento interno da madeira e elevada flutuação dos tambores, os quais retiram muito rapidamente a casca, expondo a fibra da madeira (TAYLOR, 1978). Dessa forma, podem-se listar três pontos problemáticos no sistema de descascamento por corrente: danos ao terceiro elo da corrente, qualidade do descascamento e danos à fibra da madeira.

Taylor (1978) concluiu em seu estudo que os danos causados no terceiro elo de correntes ovais não podem ser prevenidos durante a operação de “Flails” com correntes, ao menos que sejam utilizadas correntes circulares. Também, verificações regulares devem ser feitas nas correntes durante a operação, evitando-se que correntes quebradas causem desbalanceamento dos tambores, gerando assim problemas mecânicos na máquina.

Franklin (1993), estudando a produtividade, utilização e interações da “Flail” picador Model 23, obteve um índice de utilização de 62% da máquina e 2,3% de casca remanescente para menor velocidade de alimentação da “Flail”. Dessa forma, concluiu que a utilização de correntes duplas em ambos os tambores produzem um melhor resultado no descascamento.

Lambert e Howard (1990), ao analisar um sistema de colheita integrado, composto por “Feller-buncher”, “Clambunk”, “Flail” de correntes e picador florestal, processando árvores de baixo volume individual (10,4cm de diâmetro, 28,96m de altura e população entre 2.240 a 3.102 árvores por hectare), encontraram a produção horária da “Flail” de 29 a 34 t.h<sup>-1</sup>, disponibilidade mecânica entre 84% e 88%, índice de utilização de 55% e 61%, custo horário entre R\$ 180,81 e R\$ 186,53 e custo de 1,01 a 1,29 R\$.t<sup>-1</sup>.

### **3.6 Resíduos Florestais**

Em sistemas de toras curtas, utilizando o cabeçote “Harvester” para descascamento, os resíduos florestais compostos por casca, galho e folhas, em sua maioria, ficam distribuídos ao longo do talhão, contribuindo com o processo de ciclagem de nutrientes.

Miranda et al. (2002), estudando o custo da reposição de nutrientes exportados pela não devolução do resíduo no sítio de produção, chegaram em um valor de R\$ 208,20 por hectare.

Araki (1993b), avaliando um distribuidor de resíduos florestais, trabalhando com casca de coníferas, concluiu que esse processo tem potencial quando utilizado o sistema “Flail” e picador florestal de campo, retornando nutrientes para o talhão, não havendo a necessidade de sua queima em campo.

Ortolan (2006), avaliando o custo da picagem dos resíduos florestais em campo para transporte e utilização na produção de energia elétrica, obteve um custo

de 50,00 R\$.t<sup>-1</sup>, no qual os fatores limitantes para utilização dessa matéria prima correspondem a: distância até o ponto de consumo, concentração acima de 35 t.ha<sup>-1</sup> e a exportação de nutrientes. Após análise, ele concluiu que o sistema de colheita é o fator determinante para utilização da biomassa, no qual existem benefícios no custo do preparo de solo com o aproveitamento da biomassa. Além disso, constatou que o transporte é um desafio devido à baixa densidade da biomassa e dificuldade de fluidez após a compactação durante deslocamento.

Malinovski et al. (2000), estudando a produtividade de máquinas de colheita, concluíram que o uso da casca, principalmente para produção de energia, representa uma forma de amortizar parte dos custos das operações de transporte e reposição de nutrientes.

### **3.7 Compactação do Solo**

Com o incremento da mecanização nas operações silviculturais e a utilização de máquinas de grande porte nas operações de colheita florestal, a preocupação com a compactação mecânica do solo torna-se uma análise imprescindível para a manutenção da capacidade produtiva das áreas florestais.

A compactação mecânica do solo, segundo Lima et al. (2000), pode ser definida como sendo a ação mecânica por meio da qual se impõem ao solo uma redução de seu índice de vazios. Esse índice é definido pela relação entre o volume de espaços vazios e o volume de sólidos. A mudança se deve à reorganização das partículas quando o solo é submetido à uma carga extrema de compressão.

Andrade (2000) define a compactação do solo como a sua densificação por meio da aplicação de carga dinâmica, causando, assim, decréscimo na porcentagem de seus poros, devido à mudança na posição relativa dos grãos e agregados do solo.

Dessa forma, a compactação do solo causada pelo tráfego de máquinas florestais pode reduzir o crescimento das árvores existentes ou daquelas posteriormente plantadas no local (GREACEN; SAND, 1980) o que pode levar a um aumento do custo de colheita.

Os requisitos para a tração e mobilidade são bem diferentes daqueles para a infiltração e o desenvolvimento das raízes (FERNANDES, 1997).

Hassan e Sirios (1985) afirmam que o aumento da densidade do solo nas trilhas de tráfego em áreas florestais está relacionado ao número de passadas e ao tipo dos rodados e das máquinas. Dessa forma, a densidade do solo aumenta consideravelmente durante as primeiras passadas das máquinas, incremento gradativo bem menor nas outras passadas principalmente se o teor de matéria orgânica desse solo for baixo (KOGER et al., 1985; SEIXAS, 1988).

Raghaven et al. (1977) estudaram a distribuição e as pressões no solo provocadas pelos rodados e concluíram que a pressão é maior no centro da banda de rodagem. Tal pressão apresenta redução na medida em que se aproxima das laterais, promovendo uma distribuição em forma de bulbo, que se caracterizam pela forma circular em solos secos e elípticas em solos úmidos, atingindo camadas mais profundas. Assim, Koger et al. (1985) afirmam que para minimizar o acréscimo na densidade do solo, é necessário diminuir a pressão de inflagem e aumentar as dimensões dos rodados (KOGER et al., 1985).

Lima et al. (2000) concluíram, em seu estudo de avaliação da compactação do solo em um sistema de colheita de madeira, que os efeitos da sobreposição das passadas dos rodados das máquinas florestais (“Feller-buncher” e “Skidder”) obtiveram maior intensidade nos níveis de 0-10 e 10-20 cm de profundidade em relação aos parâmetros físicos do solo. Também, constataram que os efeitos do tráfego dos tratores sobre o solo foram maiores nas primeiras passadas, e que os parâmetros físicos do solo estudados não sofreram variações significativas no nível de profundidade de 30-40 cm.

Dentre os impactos ambientais decorrentes do processo de colheita florestal, os danos às cepas e a compactação do solo merecem atenção especial, em virtude dos reflexos negativos que podem provocar sobre a floresta, caso a brotação seja conduzida para formação da futura floresta e sobre o solo (ANDRADE et al., 2000).

Machado e Castro (1985) afirmam que a intensidade dos danos silviculturais pode oscilar segundo o método de colheita, citando como exemplo o emprego do “Feller-buncher”, no qual as cepas podem ser danificadas e a sua regeneração (se for o caso) afetada a ponto de ser necessário um replantio.

Souza e Machado (1985) observaram que 14,82% das cepas atingidas durante o arraste da madeira não brotaram em virtude de danos mecânicos (escoriações, perda de casca, rachaduras, esmagamento e, até mesmo, arranchamento das cepas).

Dedecek e Gava (2005), avaliando as modificações dos atributos físicos do solo decorrentes da operação de colheita florestal mecanizada, concluíram que essa operação causa compactação do solo, a qual pode ser revertida naturalmente numa faixa de até 10 cm de profundidade em áreas onde a rebrota for conduzida. Também, verificaram que, em solos arenosos, ocorre perda de estrutura do solo e, em solos argilosos, há formação de camadas compactadas.



## **4 MATERIAL E MÉTODOS**

### **4.1 Materiais**

#### **4.1.1 Caracterização da Área de Estudo**

O estudo foi realizado nas áreas da empresa SUZANO PAPEL E CELULOSE S/A, na unidade florestal no extremo sul do estado da Bahia, mais especificamente no município de Nova Viçosa, situado à latitude 17°53'31"S e longitude 39°22'19"W, e a 11m de altitude. Em Nova Viçosa, a temperatura média anual é de 24,2°C, o clima é caracterizado como Equatorial Am, segundo classificação de Köppen, e a precipitação média anual de 1.637,1 mm.

A vegetação original que prevalecia era mata atlântica e manguezais, sendo predominante o solo caracterizado como argissolo.

#### **4.1.2 Unidades de Produção Florestal**

Para o estudo, foram colhidas duas unidades de produção, ambas com plantio clonal de *Eucalyptus urograndis*, sendo que a unidade de produção A possuía 48,07 hectares, com árvores com volume individual de 0,14 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>, 4,83 anos de idade (58 meses) e solo caracterizado como Argissolo amarelo distrófico abrupto, com textura médio argilosa, e a unidade de produção B possuía 80,88 hectares, árvores com volume individual de 0,11 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>, 4,75 anos (57 meses) e solo caracterizado como Argissolo amarelo distrófico abrupto com textura arenosa. O arranjo de plantio em ambas as unidades de produção era de 9,0 m<sup>2</sup>.árv.<sup>-1</sup>.

#### **4.1.3 Caracterização dos sistemas**

O sistema denominado convencional ("Cut-to-Length") foi composto por máquina base escavadora hidráulica modelo PC200 da Komatsu (Figura 1) equipada com cabeçote "Harvester" Valmet modelo 370E. A máquina base apresenta rodado de esteiras, com motor da Komatsu modelo SAAD107E-1 de 110 kW. A massa operacional dessa máquina, que possui tanque de combustível com capacidade para 400 litros, é de 22.400 kg. O alcance máximo da grua é de 10 m.



Figura 1 - Máquina Base PC 200 da Komatsu

O cabeçote “Harvester” multifuncional realiza as atividades de processamento da madeira. Ele possui rolos acionados hidráulicamente, que propulsionam as árvores para que as facas possam descascá-las e desgalhá-las, para sequencialmente serem cortadas por sabre e corrente também acionadas hidráulicamente. Neste estudo, o cabeçote utilizado foi o Valmet 370E (Figura 2), com massa total de 1.600 kg, equipado com sabre de 82,5 cm, quatro facas e dois rolos descascadores. O diâmetro máximo de corte é de 700 mm, trabalhando numa pressão de 4.060 psi.



Figura 2 - Cabeçote Valmet 370E

A operação de extração foi realizada pela máquina “Forwarder” (Figura 3), da marca John Deere modelo 1710. Essa máquina é equipada com motor John Deere 6081H de 160 kW de potência. O rodado é de pneus com tração 6x6, a massa operacional é de 19.500 kg e o tanque de combustível possui capacidade para 182 L. Ela é equipada com grua de alcance máximo de 8.500 mm e um volume de caixa de carga de 15 m<sup>3</sup>.



Figura 3 - Máquina “Forwarder”, da John Deere 1710

No sistema denominado alternativo, a primeira máquina a iniciar o processamento da madeira é o “Feller-buncher” (Figura 4), responsável pela operação de corte e acúmulo das árvores inteiras. O “Feller-buncher” utilizado foi o Tigercat modelo 860C, equipado com motor Cummins QSL9, com 223 kW de potência. A máquina possui massa operacional de 29.260 kg, o rodado é de esteiras e a sua grua tem alcance máximo de 8.460 mm. O tanque de combustível tem a capacidade de 970 L e o tanque de hidráulico de 225 L.



Figura 4 - Máquina “Feller-buncher” 860C da Tigercat

O cabeçote cortador acumulador utilizado no estudo foi o modelo 5000 da Tigercat (Figura 5), o qual possui um braço coletor e um braço acumulador com mola. O disco de corte, quando em operação, gira a 1.300 rpm, é composto por 16 dentes cortantes e possui punho rotativo de 30°. A área de acúmulo é de 0,42 m<sup>2</sup>, com diâmetro de corte de 860 mm e massa operacional de 2.175 kg.



Figura 5 - Cabeçote “Feller-buncher” modelo 5000 da Tigercat

O “Skidder” responsável pela operação de arraste utilizada era da marca Tigercat (Figura 6), equipado com motor Cummins QSB6 de 193 kW de potência. O tanque de combustível tem a capacidade de 585 litros e o tanque hidráulico de 105 litros de óleo lubrificante. Essa máquina tem o rodado de pneus com tração 6x6 e é equipada com pinça hidráulica traseira, com área de acúmulo de 1,95 m<sup>2</sup>.



Figura 6 - Máquina “Skidder” da Tigercat

Para a operação de descascamento, foi utilizada a máquina “Flail” (Figura 7) da marca CBI Inc., modelo 604, equipada com grua alimentadora Tigercat 215 acoplada à máquina “Flail”, cujo braço, lança e pinça são acionados hidráulicamente.

O motor da “Flail” é da marca Caterpillar, modelo CAT C15 Accert, com potência de 432 kW, tanque de combustível com capacidade para 1.040 litros, tanque hidráulico de 350 litros e massa operacional total de 44.452 kg.

Possui quatro rolos descascadores: o primeiro inferior e fixo, o segundo e o terceiro superiores, com regulagem de flutuação máxima superior e inferior e o quarto rolo inferior e fixo. A rotação de todos os rolos pode ser regulada no sentido horário ou anti-horário com velocidade de rotação, variando de 300 a 800 RPM.

Os rolos podem ser equipados com correntes simples ou duplas, assim o número total de correntes por rolo pode variar de 50 a 96 unidades. Já o número máximo de elos por corrente é oito, devido às dimensões da câmara descascadora.



Figura 7 - Máquina “Flail” da CBI Inc.

Após o descascamento, a movimentação dos feixes de árvores inteiras descascadas foi realizada pela máquina denominada de “Power-Clamp” (Figura 8), composta por máquina base sobre esteiras e cabeçote com pinça hidráulica, com força de movimentação nos três eixos.

A máquina base da marca Tigercat, modelo T-250B, é equipada com motor Cummins QSB6, que gera 152 kW de potência. O rodado é sobre esteiras, o alcance máximo da grua é de 9.750 mm e massa operacional da máquina é de 16.465 kg. O tanque de combustível tem a capacidade de 300 litros e o tanque hidráulico totaliza 245 litros de óleo lubrificante.



Figura 8 - Máquina “Power Clamp” da Tigercat

O cabeçote da “Power-Clamp” (Figura 9) utilizado é da marca Rotobec, modelo RPA60100R, o qual tem forma de rastelo, capacidade de movimentar feixes de

árvores inteiras nos 3 eixos dimensionais e uma área total de ponta a ponta de 0,73 m<sup>2</sup>. Também, possui rotator contínuo que minimiza a necessidade de movimentação da máquina base, reduzindo assim o consumo de combustível, desgaste do material rodante e manutenções. Esse cabeçote possui massa operacional de 1.059 kg.



Figura 9 - Cabeçote “Power-Clamp” da Rotobec

A última etapa de processamento da madeira é o dimensionamento das árvores em toras de 6,3 m. Essa operação foi realizada pela “Garra-Traçadora”, que é composta pela máquina base da marca Tigercat T-250B, grua e sabre de corte da marca Rotobec (Figura 10), modelo F640HD-RCH750S-RT-504, com peso total de operação 1.406 kg.

O conjunto de corte é o modelo Huldins 300, cujo deslocamento da serra é de 40 cm<sup>3</sup>, utilizando corrente de corte de  $\frac{3}{4}$ , sabre com 113 cm e 0,61 m<sup>2</sup> de área de acúmulo de ponta a ponta da garra.



Figura 10 - Cabeçote “Garra-Traçadora” Rotobec

#### 4.1.4 Sistema de Colheita Convencional

A empresa utiliza na colheita própria o sistema “Cut-to-Length”, empregando “Harvester” e “Forwarder”. A floresta colhida era de primeiro ciclo, realizando as operações de corte, descascamento, desgalhamento, traçamento e destopamento, seguidas pelo empilhamento das toras de 6,3 m às margens do carreador florestal. A jornada de trabalho durante o experimento foi de oito horas por dia, operando de segunda a sexta-feira, com uma hora de almoço por dia.

O eito de colheita da “Harvester” era composto por quatro linhas de plantio espaçadas em três metros entre linhas e em três metros entre plantas. As árvores eram derrubadas e direcionadas no sentido em pé, ou seja, sua base puxada no sentido das árvores já abatidas. Após o corte, as árvores eram descascadas, desgalhadas, destopadas e traçadas em toras de 6,3m, dispostas em feixes perpendiculares ao sentido de deslocamento da máquina ao longo do eito de corte (Figura 11). Os resíduos florestais, compostos por galhos, folhas e cascas eram dispostos na entrelinha de corte à frente do sentido de deslocamento da máquina.



Figura 11 - Sentido de deslocamento da “Harvester” e eito de quatro linhas

Após o período de 30 a 45 dias em que a madeira foi processada pela “Harvester”, o “Forwarder” se deslocava no mesmo sentido de deslocamento da “Harvester” e coletava as toras de madeira sem casca (Figura 12). No momento em que a sua caixa de carga encontrava-se cheia, a máquina direcionava-se até a margem do carregador, descarregando sua caixa de carga e construindo a pilha de madeira às margens do carregador, até uma altura de três metros.



Figura 12 - Operação de formação de pilha do “Forwarder”

#### 4.1.5 Sistema de Colheita Alternativo

O sistema alternativo empregou máquinas do sistema “Full-Tree”, realizando o descascamento no campo, sendo composto por cinco máquinas: corte - “Feller-buncher”, extração - “Skidder”, descascamento - “Flail-Delimeter-Debarker”, coleta e movimentação de feixes de toras - “Power-Clamp” e processamento de toras – “Garra-Traçadora”.

O “Feller-buncher” realizou o corte das árvores inteiras num eito de quatro linhas (Figura 13), formando feixes dispostos a 45° em relação à linha de plantio, totalizando em média 18 árvores por feixe, os quais eram sobrepostos de dois em dois, formando feixes com 36 árvores em média.



Figura 13 - Máquina Feller-buncher realizando corte de árvores num eito de quatro linhas de plantio

Após as atividades de corte, não mais que 48 horas após o abate das árvores, o “Skidder” realizou a operação de remoção dos feixes de árvores de dentro da área de produção, arrastando-os até as margens do carregador, operação que consistiu na coleta de dois feixes duplos deixados pelo “Feller-buncher”, sendo que a cada viagem do “Skidder” (Figura 14) eram transportadas em média 72 árvores, que eram entregues para a “Flail” realizar a próxima etapa do processo (Figura 15).



Figura 14 - o “Skidder” arrastando feixe de árvores inteiras a serem entregues para o descascamento na máquina “Flail”



Figura 15 - o “Skidder” entregando o feixe de madeira para a máquina “Flail”

Às margens do carreador, encontrava-se a máquina “Flail-Delimiter-Debarker”, a qual, com sua garra alimentadora, abastece a câmara de descascamento com princípio de rolos rotativos com correntes, com múltiplas árvores, cujo número varia com as características volumétricas da unidade de produção (figura 16). Na saída da máquina “Flail”, os feixes de árvores inteiras descascadas eram coletados pela máquina “Power-Clamp”, a qual realiza a atividade de coleta dos feixes e sua movimentação, dispondo-os em ângulo de 90° em relação à linha do carreador (Figura 17) e criando os estaleiros de árvores inteiras descascadas (Figura 18).



Figura 16 - Máquina “Flail” iniciando o processo de descascamento



Figura 17 - Máquina “Power-Clamp” retirando os feixes de árvores da máquina “Flail” e criando estaleiro de árvores inteiras descascadas



Figura 18 - Estaleiro de árvores inteiras descascadas aguardando a operação de processamento em toras de 6,3 metros

Após a criação dos estaleiros de árvores inteiras, utilizava-se a máquina “Garra-Traçadora” a qual coletava feixes de árvores descascadas e as processava em toras de 6,3 metros, formando pilhas de toras para posterior carregamento e transporte (Figura 19).



Figura 19 - Máquina “Garra-Traçadora” realizando o Traçamento das árvores inteiras descascadas em toras de 6,3 metros de comprimento e formando pilha de madeira de até 3,0 metros de altura

## 4.2 Métodos

As unidades de produção florestal, onde foi realizado o experimento, eram compostas por árvores de eucalipto, com o mesmo material genético e espaçamento de 9,0 m<sup>2</sup>. As florestas presentes nas unidades estudadas eram de primeiro corte em terreno plano e sob a mesma condição edáfica e de pluviosidade.

Durante o desenvolvimento do trabalho, o tempo na região foi sempre o mesmo, com sol, céu aberto com poucas nuvens e sem chuva. A temperatura média durante os dias do experimento variou de 26 °C a 34 °C.

Houve apenas um turno de operação, que foi chamado de turno administrativo, com início às 8h, término às 17h e uma hora de almoço por dia.

Os operadores das máquinas “Harvester” e “Forwarder” foram sempre os mesmos, pertencentes ao quadro de funcionários da empresa e são considerados operadores experientes. Os operadores das cinco máquinas do sistema denominado alternativo, composto por “Feller-buncher”, “Skidder”, “Flail”, “Power-Clamp” e “Garra-Traçadora” também foram sempre os mesmos, fornecidos pela empresa representante das máquinas no Brasil e são considerados operadores experientes.

A coleta de dados ocorreu sempre nos mesmos horários durante o período de experimentação e sempre pela mesma equipe técnica, a qual possuía dois técnicos fixos, que eram responsáveis por apenas uma máquina: um deles registrou as horas de produção e horas paradas de ordem mecânica e operacional e o outro ficou responsável pela produção horária de cada máquina.

Para o valor da produção horária de cada máquina, foram utilizadas informações de inventário fornecidas pelo Departamento de Planejamento da empresa e os custos foram baseados na produção horária avaliada pelos técnicos florestais.

### 4.2.1 Delineamento experimental

Antes de iniciar a coleta de dados, as máquinas do sistema alternativo foram operadas por 30 dias no turno administrativo, previamente, para que pudesse ser definida a melhor forma de operação de todas as máquinas, o que levou em conta a análise: do número de árvores por derrubada do “Feller-buncher”, número de remontes de feixes do “Skidder”, melhor posição e distância do carreador do “Flail-Delimiter-Debarker”, bem como da “Power-Clamp”.

Após a definição do local de operação de cada máquina e os valores de número de árvores a serem processadas em cada etapa do processo de colheita, foi realizado um estudo piloto em ambos os sistemas para definição do número de observações necessárias para proporcionar um erro de amostragem máximo de 5%, segundo a metodologia proposta por Barnes (1968), por meio da seguinte equação:

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

No qual:

n = número mínimo de ciclos necessário;

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

CV = coeficiente de variação (%);

E = erro admissível (%).

#### 4.2.2 Estudo de Tempo Contínuo e Produção Horária

A avaliação do uso do tempo das máquinas foi realizada por meio do estudo de tempo contínuo para definição dos indicadores de produtividade de disponibilidade mecânica, eficiência operacional e índice de utilização. Para esse estudo foi considerado o ciclo de oito horas produtivas de trabalho e uma hora de almoço, com início às 8h e término às 17h.

A medição do tempo ocorreu de forma contínua e a cada parada da máquina, seja por questões operacionais ou mecânicas, foi apontada a ação e marcada a hora do relógio, bem como do momento de retorno da máquina à operação produtiva e assim sucessivamente. O tempo necessário para cada uma das atividades apontadas foi calculado pela subtração entre a hora de início e término do trabalho, método o qual, segundo Fenner (2002), tem a vantagem das atividades parciais serem anotadas na sequência em que ocorrem, facilitando o reconhecimento de possíveis erros e a identificação e determinação do tempo de trabalhos não previstos.

Para o apontamento da produtividade horária em  $m^3.h^{-1}$ , foi realizada a contagem de árvores processadas por cada uma das máquinas do sistema, de forma aleatória em ciclos de 30 minutos. O valor resultante foi multiplicado por dois,

o que significou uma extrapolação para uma hora produtiva, e este total de árvores foi multiplicado pelo volume individual apresentado pelo inventário da empresa. Dessa forma, obteve-se a produção horária de cada uma das máquinas em  $m^3.h^{-1}$ .

A coleta de dados em campo ocorreu com o preenchimento de fichas de campo sempre pelo mesmo técnico florestal responsável por cada uma das máquinas, sendo que um técnico respondia pelo tempo contínuo e outro pelo apontamento da produção horária (Figura 20).



Figura 20 - Técnico florestal realizando estudo de tempo

As fichas foram construídas com cabeçalho, que indicava: operador, espaçamento, data, talhão e volume individual da floresta (Apêndice).

#### **4.2.3 Códigos do Ciclo Operacional**

As atividades das máquinas florestais podem ser agrupadas em horas efetivamente trabalhadas, horas por paradas mecânicas e horas por paradas operacionais. Dessa forma, tais tipos de hora foram utilizados para compor os indicadores de produtividade, quais sejam: disponibilidade mecânica (DM), eficiência operacional (EO) e índice de utilização (IU).

#### **4.2.4 Produção Horária**

A produção horária foi apurada segundo os resultados dos apontamentos de produção por máquina em ciclo de 30min de forma aleatória, em que o técnico

florestal responsável anotava o número de árvores processadas por cada uma das máquinas, segundo a sua atividade específica.

O total de árvores apontadas, segundo os resultados dos apontamentos de produção por máquina, foi multiplicado por dois e, por sua vez, multiplicado pelo volume sem casca individual das árvores, informado pelo Departamento de Inventário da empresa florestal. O cálculo da produtividade média de cada máquina foi feito da seguinte maneira:

$$P = V_{ind} * N \quad (2)$$

No qual:

P = produtividade média da máquina ( $m^3.h^{-1}$ );

Vind. = volume individual das árvores do povoamento florestal ( $m^3/árvore$ );

N = número de árvores processadas pela máquina em cada ciclo de 30 minutos.

#### 4.2.5 Indicadores de Desempenho Operacional

Os indicadores de produtividade foram resultados das informações coletadas pelos estudos de tempo contínuo ao longo do turno denominado de administrativo, com início às 8h, término às 17h e uma hora de almoço, das 12h00 às 13h00.

Todos os operadores das máquinas, envolvidos durante a coleta das informações, tinham experiência semelhantes, correspondendo sempre à mesma pessoa durante os testes em cada uma das máquinas utilizadas.

Dessa forma, os indicadores gerados foram calculados da seguinte maneira:

i. Disponibilidade Mecânica:

$$DM = \frac{T_{tpm}}{T_t} * 100 \quad (3)$$

No qual:

DM = disponibilidade mecânica (%);

Tt = tempo total de operação (h);

Ttpm = tempo total de paradas por motivos mecânicos (h).

ii. Eficiência Operacional:

$$EO = \frac{T_{top}}{T_{tp}} * 100 \quad (4)$$

No qual:

EO = eficiência operacional (%);

T<sub>tp</sub> = tempo total planejado de operação (h);

T<sub>top</sub> = tempo total de paradas por motivos operacionais (h).

iii. Índice de Utilização

$$IU = DM * EO \quad (5)$$

No qual:

IU = índice de utilização (%);

DM = disponibilidade mecânica (%);

EO = eficiência operacional (%).

#### 4.2.6 Custos Operacionais

Muitas são as metodologias aplicadas para se compor os custos operacionais de um sistema ou máquina de colheita, levando em conta cada particularidade da empresa ou fabricante do equipamento. Dessa forma, os custos operacionais são o somatório dos valores resultantes da aquisição e operação de uma máquina ou equipamento (MACHADO; MALINOVSKI, 1988).

Assim, para o cálculo dos custos operacionais dos sistemas estudados, utilizou-se o custo horário de cada máquina expresso em R\$.h<sup>-1</sup>, sendo que essa unidade de tempo representava os períodos efetivamente trabalhados de cada máquina, estimando sua vida útil em 25.000 horas, ou 5.000h.ano<sup>-1</sup>, num total de cinco anos de sua utilização.

O custo total horário é a soma dos custos fixos e variáveis de cada uma das máquinas.

#### 4.2.7 Custos Fixos (CF)

Os custos fixos são aqueles que não variam conforme o número de horas realizadas de operação. Essa classe de custo não é afetada pelo número de atividades, ciclos ou produção da máquina, em trabalho ou ociosa.

Os custos fixos são compostos por: depreciação, juros, seguro e estrutura.

##### 4.2.7.1 Depreciação (Dp)

A depreciação pode ser entendida como a perda do valor do bem de consumo devido ao seu uso, desgaste e defasagem tecnológica presente na máquina.

Para o cálculo de depreciação, utilizou-se o método de depreciação linear:

$$Dp = \frac{Va - Vr}{n * he} \quad (6)$$

No qual:

Dp = depreciação linear da máquina (R\$.h<sup>-1</sup>);

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

Vr = valor residual da máquina (R\$);

n = vida útil da máquina estimada (anos);

he = horas efetivas anuais de uso da máquina.

##### 4.2.7.2 Juros (J)

Os juros, utilizados no estudo, foram aplicados sobre o investimento médio anual (IMA), o qual representa o custo de oportunidade do capital investido. Para este trabalho, foi utilizada uma taxa real de juros de 10%a.a:

$$J = \frac{IMA * i}{he} \quad (7)$$

Na qual:

J = custo dos juros (R\$.h<sup>-1</sup>);

i = taxa de juros (%);

he = horas efetivas anuais de uso da máquina;

IMA = investimento médio anual (R\$).

$$IMA = \frac{(Va - Vr) * (n + 1)}{2 * n} + Vr \quad (8)$$

No qual:

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

Vr = valor residual da máquina (R\$);

N = vida útil estimada (anos).

#### 4.2.7.3 Seguros

O seguro é um custo muitas vezes considerado na operação de corte, isto deve-se aos riscos decorrentes da operação florestal exercida pelas máquinas e pelo elevado custo de aquisição, assim compondo os custos fixos dessas máquinas.

Para o presente trabalho, foi utilizada uma taxa de 5% a.a. sobre o valor de aquisição das máquinas, segundo dados fornecidos pela empresa, assim:

$$S = \frac{Va * Ts}{he} \quad (9)$$

No qual:

S = custo com seguro em R\$.h<sup>-1</sup> efetiva de trabalho;

Ts = Taxa de seguro anual (%);

He = horas de efetivo trabalho (horas).

#### 4.2.7.4 Estrutura

O custo de estrutura de campo varia muito com cada empresa, condição e local de trabalho, bem como com as certificações utilizadas por cada companhia. Para este trabalho, o custo de estrutura contempla a infraestrutura física de campo de escritório, banheiro e oficina mecânica, bem como o transporte de pessoal e os carros envolvidos na operação e manutenção. Dessa forma, para este estudo, foi utilizado o valor de referência apresentado pela empresa de R\$ 48,05 por hora efetiva trabalhada.

#### 4.2.8 Custos Variáveis (CV)

Os custos variáveis oscilam conforme o nível de utilização e produção das máquinas florestais. Esse custo é composto por: combustível, óleos lubrificantes, mão de obra, manutenção e estrutura de apoio.

##### 4.2.8.1 Custo de Combustível (CC)

O custo de combustível foi apurado segundo o consumo específico (litros/hora) de cada máquina durante as operações. A esse valor foi aplicada a importância apresentada pela empresa referente ao combustível, resultando assim no custo de combustível em R\$.h<sup>-1</sup>:

$$CC = Q_m * P_c \quad (10)$$

No qual:

CC = custo do combustível (R\$.h<sup>-1</sup>);

Q<sub>m</sub> = consumo médio de diesel por hora (L.h<sup>-1</sup>);

P<sub>c</sub> = preço do combustível por litro (R\$.L<sup>-1</sup>).

##### 4.2.8.2 Custos de Óleo Lubrificantes (CL)

O custo de óleos lubrificantes foi estimado por meio da metodologia proposta pela ASAE (2001), que considera o fator de ajuste de 15% dos custos de combustível consumido por hora de trabalho:

$$CL = CC * F_a \quad (11)$$

No qual:

CL = custo de óleos lubrificantes;

CC = custo de combustível (R\$.h<sup>-1</sup>);

F<sub>a</sub> = fator de ajuste.

#### 4.2.8.3 Custo de Mão de Obra

O cálculo do custo de mão de obra engloba: salário fixo, benefícios e impostos aplicados sobre o ordenado, equipamentos de proteção individual, alimentação e transporte de pessoal. Neste trabalho, foi utilizado o valor de referência apresentado pela empresa de R\$ 27,24 por hora efetiva trabalhada.

#### 4.2.8.4 Custo de Manutenção

Para o custo de manutenção e reparos, neste trabalho, foi utilizado o coeficiente técnico determinado pela empresa, que é de 60% do valor do custo de depreciação.

$$CM = Dp * 0,6 \quad (12)$$

No qual:

CM = custo de manutenção e reparos (R\$.h<sup>-1</sup>);

Dp = custo de depreciação (R\$.h<sup>-1</sup>).

#### 4.2.9 Estimativa dos Custos de Colheita

Para o cálculo do custo de colheita florestal expresso em R\$.m<sup>-3</sup> de cada sistema de colheita estudado, foi realizado o somatório de todos os custos horários fixos e variáveis e a sua divisão pela produtividade horária expressa em m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup> dos sistemas:

$$CTC = \frac{CF + CV}{R} \quad (13)$$

No qual:

CTC = custo total de colheita (R\$.m<sup>-3</sup>);

CF = somatório dos custos variáveis (R\$.h<sup>-1</sup>);

CV = somatório dos custos fixos (R\$.h<sup>-1</sup>);

R = rendimento operacional (m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup>).



## 5 RESULTADOS

Para a unidade de produção florestal A, o sistema convencional foi operado por 53 dias dentro dos 24,04 hectares. Já, o sistema alternativo de colheita necessitou de 14 dias de atividade para processar a madeira dos 24,04 hectares destinados para sua operação. Dentro desta unidade de produção florestal, foi gerado um total de 53.44,1 m<sup>3</sup> de madeira sem casca e alocada às margens do carreador, em pilhas de 3,0 metros de altura.

Na unidade de produção florestal B, o sistema convencional de colheita atuou por 65 dias dentro dos 40,44 hectares destinados para sua operação, e o sistema alternativo de colheita atuou por 24 dias dentro dos 40,44 hectares destinados à sua operação. Para a referida unidade, foi gerado um total de 89.86,7 m<sup>3</sup> de madeira descascada.

O número de amostras coletadas para todas as operações, nos dois sistemas de colheita, foi considerado suficiente para garantir um erro de amostragem fixado em 5% e probabilidade de 95%, com exceção da operação de extração com “Forwarder” na unidade de produção B, inferior apenas em duas unidades ao número mínimo calculado.

### 5.1 Análise Estatística

Foi verificada a consistência do banco de dados relativo à produção horária (m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup>) das máquinas, a fim de averiguar se havia diferença significativa entre as classes de produtividade (unidade de produção florestal) e entre os sistemas de colheita em estudo, bem como a interação dos sistemas em relação às unidades de produção florestal. Para a realização de tais análises, foi utilizada a ferramenta estatística SAS.

Inicialmente, foi verificada a estabilidade da variância da produção horária (m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup>) de cada sistema de colheita em cada uma das unidades de produção florestal. Para tal verificação, foi utilizado o Teste de Box-Cox, o qual mostrou que haveria a necessidade de transformar os dados em logaritmo para estabilizar a variância. A Figura 21 mostra a distribuição dos dados antes da transformação logarítmica e a Figura 22 mostra a distribuição pós-transformação, na qual é possível notar que a variância estabilizou-se após transformação logarítmica.

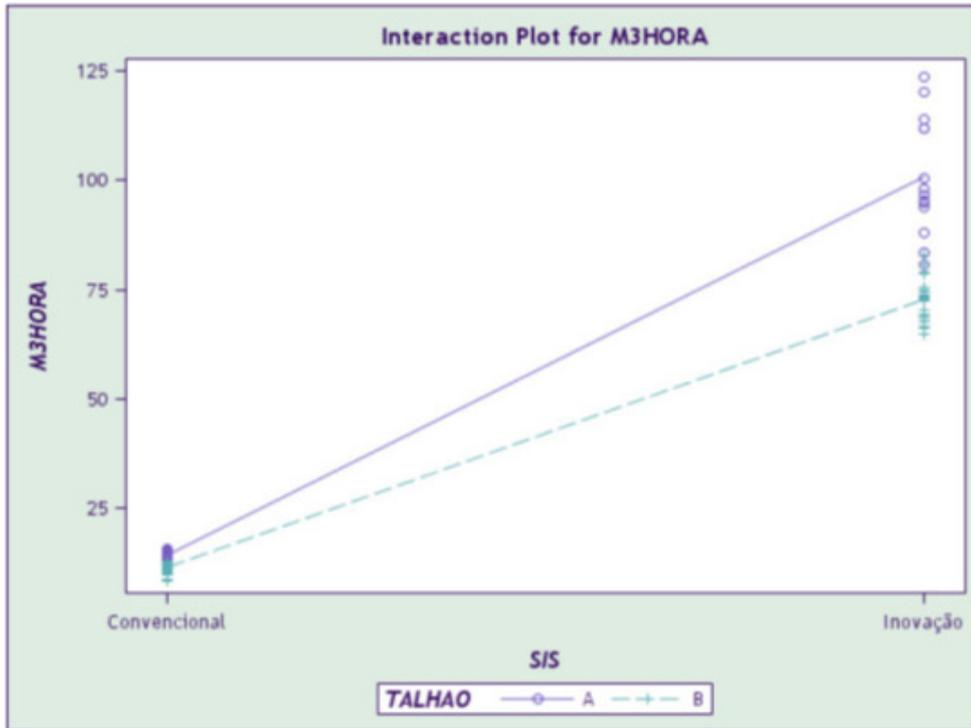


Figura 21 - Distribuição não transformada dos dados

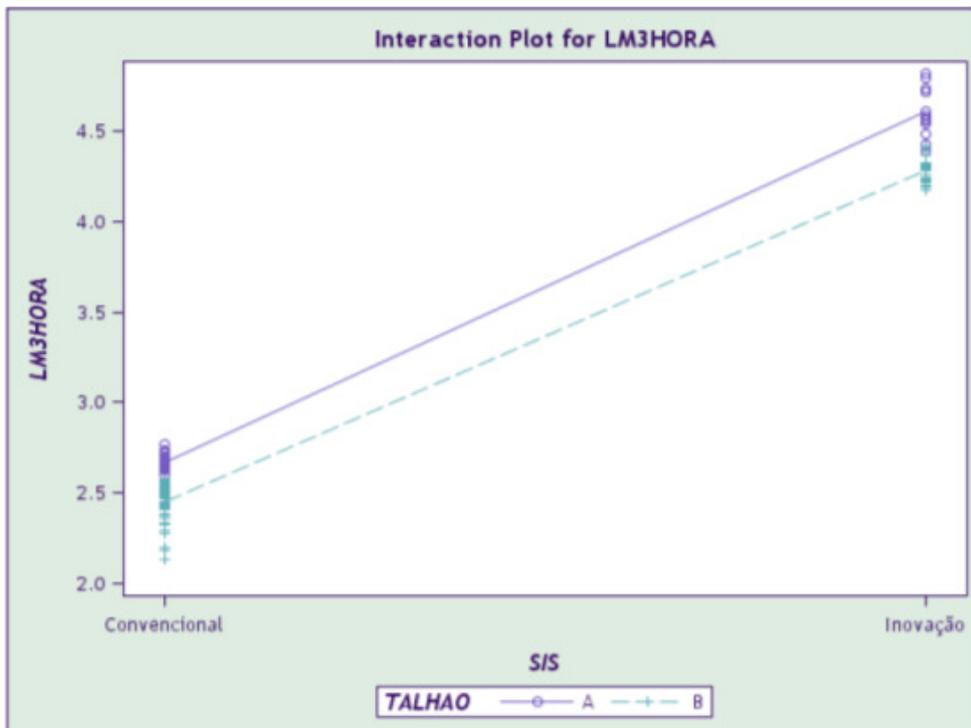


Figura 22 - Distribuição dos dados com transformação logarítmica

Após a verificação e a transformação logarítmica dos dados, foi realizada a análise da oscilação da variável  $m^3 \cdot h^{-1}$  dos dados transformados, sendo S para

sistemas de colheita convencional e alternativo e T para unidade de produção florestal (Tabela 1).

Tabela 1 - Análise de variância da variável  $m^3.h^{-1}$  dos dados transformados, sendo as fontes de variação (FV) para sistemas de colheita convencional e alternativo (S), classes de produção (T) grau de liberdade (gl), quadrado médio (QM) e F o valor do Teste F

FV	gl	QM	Teste F	Prob.> F
Sistema (S)	1	94,42	14.469,80	0,0001**
Classe de Produção (T)	1	1,95	299,30	0,0001**
S x T	1	0,07	10,83	0,0013**
Resíduo	146	0,01		
<b>Total</b>	<b>149</b>	-		

Nota: \*\*os valores da probabilidade do Teste F foram altamente significativas inferiores a 1%

Após essa análise, foi realizado o teste de comparação de médias dos sistemas e unidades de produção, comparados pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade (Tabela 2).

Tabela 2 - Teste de média para sistemas e classes de produção comparados pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, no qual CP são as classes de produção florestal

Sistema	$m^3.h^{-1}$	UP	$m^3.ha^{-1}$
Convencional	12,97 b	A	32,52 a
Alternativo	83,36 a	B	28,56 b
Teste F	14469,8 **	-	299,30 **
CV exp. (%)	2,68%	-	2,68
<b>Média Geral</b>	<b>30,33</b>	-	<b>30,33</b>

Nota: Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade

\*\* = a altamente significativo (nível de probabilidade inferior a 1%)

Como houve interação entre os dois sistemas testados com a produtividade representada pelas classes de produtividade florestal A e B, tal dado foi desdobrado para se avaliar as diferenças entre o sistema convencional e o alternativo para cada nível de produtividade (unidade de produção florestal).

A Tabela 3 mostra a análise de variância para comparar os dois sistemas (convencional e alternativo) para a classe de produtividade  $0,14 \text{ m}^3 \cdot \text{árvore}^{-1}$  (unidade de produção A).

Tabela 3 – Análise de variância (ANOVA) para comparação entre os sistemas para a unidade de produção A, na qual FV representa as fontes de variação, gl é o grau de liberdade, QM é o quadrado médio e F é o Teste F

<b>FV</b>	<b>gl</b>	<b>QM</b>	<b>Teste F</b>	<b>Prob.&gt; F</b>
Sistema	1	82.823,30	2.309,66	0,0001**
Resíduo	65	35,86	-	
<b>Total</b>	<b>66</b>			

Nota: \*\*os valores da probabilidade do Teste F foram altamente significativas inferiores a 1%

Após a análise de variância para a comparação dos dois sistemas estudados, foi realizado o desdobramento dos sistemas: convencional e alternativo, a fim de comparar as médias (Tabela 4) da produção horária ( $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ ) dentro da unidade de produção A por meio do Teste de Tukey.

Tabela 4 – Análise comparativa das médias da produção horária ( $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ ) por meio do Teste de Tukey

<b>Sistema</b>	<b><math>\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}</math></b>
Convencional	14,45 b
Alternativo	100,9 a
Teste F	9291,43**
CV exp. (%)	2,17%
<b>Média Geral</b>	<b>32,52</b>

Nota: Média seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade  
\*\* os valores da probabilidade do Teste F foram altamente significativas inferiores a 1%

Da mesma forma, foi realizada a análise de variância (Tabela 5) para comparação dos dois sistemas (convencional e alternativo) para a classe de produtividade  $0,11 \text{ m}^3 \cdot \text{árv.}^{-1}$  (unidade de produção B).

Tabela 5 - Média para comparação entre os sistemas para a classe de produtividade B, na qual FV representa as fontes de variação, gl é o grau de liberdade, QM é o quadrado médio e F é o valor do Teste F

<b>FV</b>	<b>gl</b>	<b>QM</b>	<b>Teste F</b>	<b>Prob.&gt; F</b>
Sistema	1	61.886,80	8.866,48	0,0001**
Resíduo	81	6,97	-	
<b>Total</b>	<b>82</b>			

Nota: \*\*os valores da probabilidade do Teste F foram altamente significativas inferiores a 1%

O desdobramento dos sistemas: convencional e alternativo, para a comparação das médias (Tabela 5) da produção horária ( $\text{m}^3.\text{h}^{-1}$ ) dentro da unidade de produção B por meio do Teste de Tukey, é apresentado na Tabela 6.

Tabela 6 - Análise comparativa das médias da produção horária ( $\text{m}^3.\text{h}^{-1}$ ) por meio do Teste de Tukey

<b>Sistema</b>	<b><math>\text{m}^3.\text{h}^{-1}</math></b>
Convencional	11,65 b
Alternativo	72,66 a
Teste F	6831,29**
CV exp. (%)	3,05%
<b>Média Geral</b>	<b>28,55</b>

## 5.2 Rendimentos Operacionais

### 5.2.1 Unidade de Produção A

As produtividades horárias das máquinas em ambos os sistemas estudados são apresentadas na Tabela 7.

Tabela 7 - Produção horária por máquina em cada um dos sistemas avaliados dentro da unidade de produção A

<b>Sistema</b>	<b>Máquinas</b>	<b>Produção Horária (m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup>)</b>
<b>Alternativo</b>	Feller-buncher	<b>89,66</b>
	Skidder	<b>103,53</b>
	Flail	<b>102,37</b>
	Power-Clamp	<b>102,37</b>
	Garra-Traçadora	<b>106,10</b>
<b>Convencional</b>	Harvester	<b>14,46</b>
	Forwarder	<b>41,63</b>

### 5.2.1.1 Sistema Alternativo de Colheita – UP A

A máquina “Feller-buncher” computou um total de 95,08 horas para realizar o corte dos 24,04 hectares da unidade de produção A, considerando: a soma de 42,94 horas efetivamente trabalhadas, a quantia de 13,10 horas despendidas com manutenção mecânica e a referência de 39,04 horas para pausas, as quais contemplaram: necessidades fisiológicas, orientações operacionais e outras paradas gerais.

A partir da aplicação da metodologia de cálculo dos indicadores de produção das máquinas, o “Feller-buncher” apresentou uma disponibilidade mecânica de 86,22%, eficiência operacional de 58,94% e índice de utilização de 50,82%.

A produtividade horária foi de 640 árv.h<sup>-1</sup>, o que resultou numa produção de 89,66 m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup> e teve um consumo de combustível de 46,20 L.h<sup>-1</sup>, ou seja, um consumo específico de 0,52 L.m<sup>-3</sup>.

Fiedler et al. (2008), analisando a produtividade de um sistema de colheita de árvores inteiras, numa floresta de 0,16 m<sup>3</sup> por árvore, obtiveram a produção horária de 47,3 m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup> efetiva trabalhada, com uma disponibilidade mecânica de 47,1% e eficiência operacional de 56,5%. Dessa forma, o trabalho aqui apresentado obteve resultados melhores que os encontrados pelos autores acima em condição semelhante de produção florestal.

Para esse sistema o “Feller-buncher” foi a máquina limitante, pois apresentou a menor produção horária entre os equipamentos que compõem este módulo.

O trator “Skidder” operou um total de 71,48 horas para arrastar toda a madeira da unidade de produção A, destinada ao sistema alternativo. Desse total, foram

necessárias 53,78 horas de efetivo trabalho para realizar a operação de arraste dos feixes de madeira a serem entregues para máquina “Flail”, totalizando 9,30 horas de paradas operacionais por diversos motivos e 8,40 horas de paradas por motivos mecânicos.

Dessa forma, os indicadores de produtividade dessa máquina apresentaram uma disponibilidade mecânica de 88,25% e uma eficiência operacional de 86,99%, resultando num índice de utilização de 76,77.

A produção horária apontada pela máquina foi de 740 árvores arrastadas por hora, resultando num volume de  $103,53 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  e um consumo de diesel de 27,50 litros por hora, ou  $0,27 \text{ L} \cdot \text{m}^{-3}$  de consumo específico.

Fiedler et al. (2008), analisando a produtividade de um sistema de colheita de árvores inteiras, numa floresta de  $0,16 \text{ m}^3 \cdot \text{árvore}^{-1}$ , obtiveram a produção horária para máquina “Skidder” com tração 4x4 de  $42,3 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  efetiva trabalhada, com uma disponibilidade mecânica de 90,9% e eficiência operacional de 73,2%. A produtividade horária dessa máquina foi menor em relação a este estudo, provavelmente por se tratar de uma máquina com tração 4x4 e por ter uma pinça com área de acúmulo menor que a utilizada no presente trabalho.

A “Flail” - para descascar, desgalar e desfolhar o volume de madeira dedicado a ele nessa unidade de produção - utilizou um total de 70,4 horas, com 37,8 horas efetivamente trabalhadas e acúmulo de 19,7 horas paradas por motivos operacionais e 12,9 horas por motivos mecânicos.

Com esse desempenho, os indicadores de produtividade apresentados por essa máquina, nessa operação, foram de: uma disponibilidade mecânica de 81,68%, uma eficiência operacional de 72,02% e um índice de utilização de 58,82%.

A produção horária apontada nessa unidade de produção foi de  $102,37 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ , ou seja, uma média de  $731,18 \text{ árv} \cdot \text{h}^{-1}$  sendo descascadas ao consumo de  $85 \text{ L} \cdot \text{hora}^{-1}$ , ou  $0,83 \text{ L} \cdot \text{m}^{-3}$  de consumo específico.

A máquina “Power-Clamp” utilizou 72,6 h para realizar a operação de movimentação da madeira pós-descascamento pela “Flail”, sendo que desse total: 38,4 h representam as horas efetivas trabalhadas para movimentação e criação dos estaleiros de madeira. Tal maquinário acumulou 27,6 h com paradas operacionais e um total de 6,60 h por motivos mecânicos, em função da simplicidade da máquina base e cabeçote, bem como pela operação que realizou.

Com esse quadro de horas, a “Power-Clamp” apresentou uma disponibilidade mecânica de 90,91% e teve uma eficiência operacional de 61,98%, resultado de constantes orientações e adequações de movimentos e posicionamento, atingindo um índice de utilização de 59,12%.

A produção horária foi igual à máquina “Flail”, pois 100% da madeira descascada por esse equipamento, obrigatoriamente, teve que ser movimentada pela “Power-Clamp”, assim a produção horária foi de  $102,37 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ , com um consumo de combustível de  $18 \text{ L} \cdot \text{h}^{-1}$ , ou um consumo específico de  $0,17 \text{ L} \cdot \text{m}^{-3}$ .

A “Garra-Traçadora” realizou a operação de processamento de feixes de árvores inteiras em toras de 6,3 m de comprimento, desempenhando o trabalho em 74,2 h, nas quais: 40,7 h foram efetivamente trabalhadas. Essa máquina ficou parada, por motivos operacionais, por um período de 10,0 h e, por motivos mecânicos, por um período de 23,5 h, principalmente por problemas na regulação da velocidade de corte da corrente.

Dessa forma, a disponibilidade mecânica dessa máquina ficou em 68,33%, o que pode ser considerado um baixo resultado para uma máquina nova e que realiza uma operação, de certa forma, simples, com eficiência operacional de 86,52% e um índice de utilização de 59,12%.

Apesar dos problemas mecânicos, apresentados quando essa máquina estava em plena atividade, ela gerou uma produção horária de  $106,1 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ , representando a maior produção horária do sistema dentro dessa unidade de produção florestal em estudo, com um consumo de combustível de  $18,0 \text{ L} \cdot \text{h}^{-1}$ , ou seja, um consumo específico de  $0,17 \text{ L} \cdot \text{m}^{-3}$  produzido.

Fiedler et al. (2008), analisando a produtividade de um sistema de colheita de árvores inteiras, numa floresta de  $0,16 \text{ m}^3 \cdot \text{árv.}^{-1}$ , obtiveram a produção horária para máquina “Garra-Traçadora” de  $84 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  efetiva trabalhada, com disponibilidade mecânica de 75,2% e eficiência operacional de 60,5%. Ao serem comparados tais valores com os encontrados no presente estudo, temos uma produção horária superior e uma disponibilidade mecânica inferior, devido aos problemas de regulação da máquina.

Nas Figuras 23 e 24, estão os gráficos com a distribuição operacional de cada uma das máquinas do sistema alternativo, bem como dos indicadores operacionais do sistema.

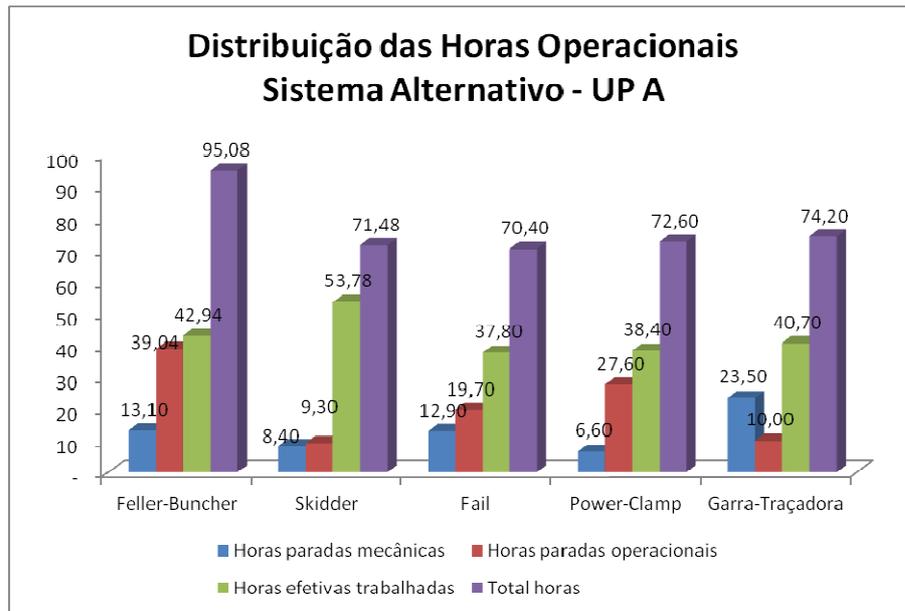


Figura 23 - Gráfico de distribuição das horas operacionais por máquina que compõem o sistema alternativo, durante a operação na unidade de produção florestal A

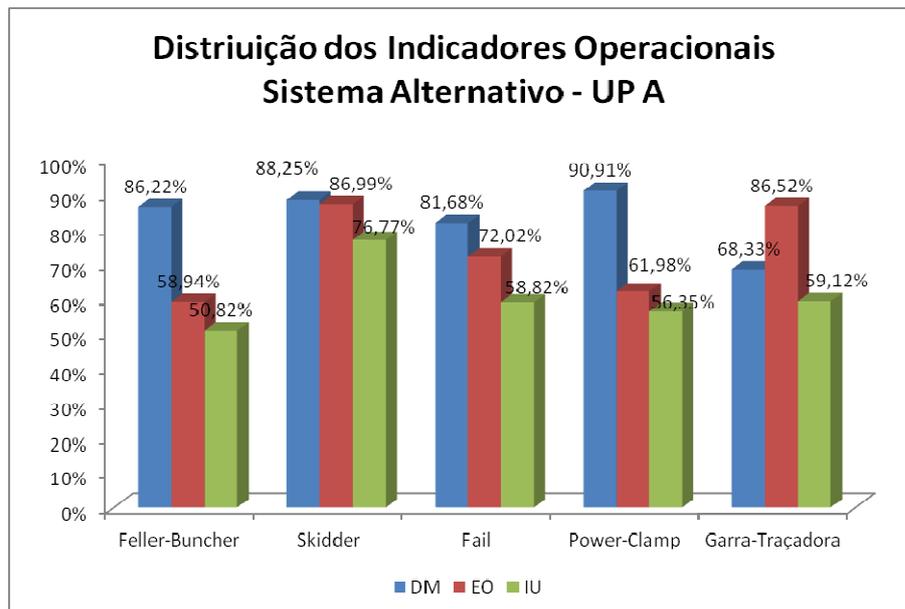


Figura 24 - Gráfico de distribuição dos indicadores operacionais por máquina que compõem o sistema de alternativo, durante a operação na unidade de produção florestal A.

### 5.2.1.2 Sistema Convencional de Colheita – UP A

A “Harvester” cortou, desgaltou, descascou e processou a madeira num total de 369,9 horas, das quais: 264,3 h foram efetivamente trabalhadas na produção de

madeira sem casca e em toras de 6,3 m de comprimento. Essa máquina acumulou 49,7 h de paradas mecânicas e um total de 55,9 h de paradas operacionais, das quais a maioria estava relacionada ao baixo volume unitário das árvores, o que resultou em constantes orientações em relação ao aproveitamento mínimo da madeira em função do diâmetro mínimo.

Nesse cenário, a “Harvester” apresentou uma disponibilidade mecânica de 86,56%, uma eficiência operacional de 84,89% e um índice de utilização de 73,48%. Com esses indicadores, a produção horária da máquina foi de 14,46 m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup>. O consumo de óleo diesel dentro dessa operação foi de 22,4 L.h<sup>-1</sup>, com um consumo específico de 1,55 L.m<sup>-3</sup> produzido.

Paula (2011), avaliando o custo de uma “Harvester”, tendo como máquina base uma escavadora Komatsu modelo PC200, o mesmo modelo deste estudo, em floresta de 0,17 m<sup>3</sup>.ár.v.<sup>-1</sup>, obteve uma produtividade de 18,57 m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup> efetivamente trabalhada, produção superior à observada no presente trabalho, provavelmente devido ao maior volume individual da floresta.

O “Forwarder” totalizou 157,2 h de trabalho para extrair toda a madeira cortada no sistema convencional, desse total: 104,5 h foram efetivamente trabalhadas. As paradas mecânicas totalizaram 24,3 h e as paradas operacionais geraram 28,4 h durante o período de experimentação.

O indicador de desempenho de disponibilidade mecânica foi de 84,54% e a eficiência operacional dessa máquina foi de 81,93%, resultando num índice de utilização de 69,27%.

Durante a operação, a produção horária dessa máquina, para uma distância de cada ciclo de ida e volta não superior a 500m, foi de 41,63 m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup>, com um consumo de combustível de 16,7 L.h<sup>-1</sup>, ou um consumo específico de 0,40 L.m<sup>-3</sup>.

Nas figuras 25 e 26, estão os gráficos com a distribuição das horas operacionais de cada uma das máquinas do sistema convencional, bem como dos indicadores operacionais do sistema.

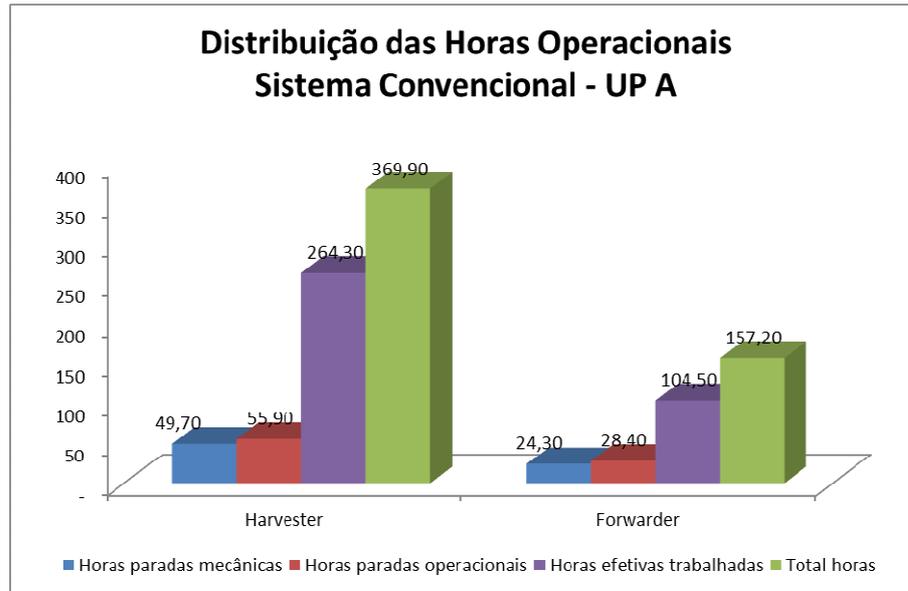


Figura 25 - Gráfico de distribuição das horas operacionais por máquina que compõem o sistema convencional, durante a operação na unidade de produção florestal A

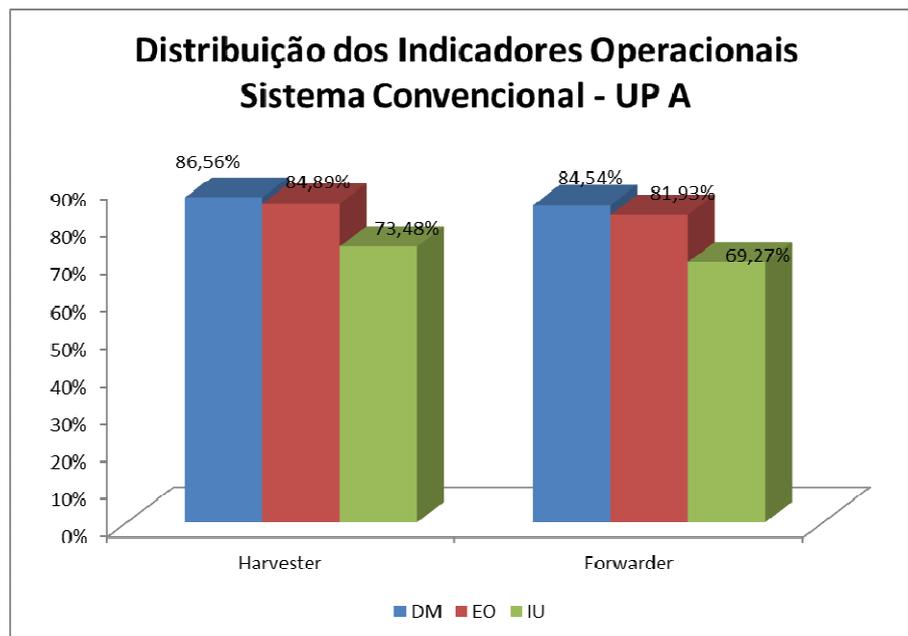


Figura 26 - Gráfico de distribuição dos indicadores operacionais por máquina que compõem o sistema convencional, durante a operação na unidade de produção florestal A

### 5.2.2 Unidade de Produção B

As produtividades horárias das máquinas, em ambos os sistemas estudados para essa unidade de produção, são apresentadas na Tabela 8.

Tabela 8 - Produção horária por máquina em cada um dos sistemas avaliados dentro da unidade de produção A

<b>Sistema</b>	<b>Máquinas</b>	<b>Produção Horária (m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup>)</b>
<b>Alternativo</b>	Feller-buncher	<b>75,97</b>
	Skidder	<b>94,23</b>
	Flail	<b>65,58</b>
	Power-Clamp	<b>65,58</b>
	Garra-Traçadora	<b>77,79</b>
<b>Convencional</b>	Harvester	<b>11,68</b>
	Forwarder	<b>34,39</b>

### 5.2.2.1 Sistema Alternativo de Colheita – UP B

O “Feller-buncher”, operando nessa unidade de produção, caracterizada por um menor volume individual das árvores, totalizou 144,4 h para realizar o corte das árvores e formação de feixes de árvores inteiras dispostas em 45° da linha de plantio. O número total de horas efetivas trabalhadas nessas condições foi de 66,5 horas e o número de horas resultantes de paradas por motivos mecânicos foi de 20,7 h. Já, para as paradas operacionais, essa máquina acumulou a soma de 57,2 h no total de sua operação.

Dessa forma, os indicadores operacionais resultantes desse cenário de horas transformaram-se numa disponibilidade mecânica de 85,66%, eficiência operacional de 60,39%, índice considerado baixo principalmente devido às constantes orientações em relação ao posicionamento dos feixes para facilitar a operação do “Skidder” e um índice de utilização de 51,7%.

A produção horária dessa máquina, nessa condição de floresta, foi de 75,97 m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup>, tornando-se, assim, a máquina limitante do sistema, uma vez que apresentou o menor resultado de produção horária dentre os equipamentos do sistema alternativo dentro dessa unidade de produção.

Simões et al. (2010), avaliando economicamente o corte de eucalipto com “Feller-buncher”, trabalhando em eito de colheita de quatro linhas, tal como no presente estudo, atingiram a produção horária de 91,6m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup> e 83,6 m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup> com a variação do comprimento de alcance máximo da grua, valores superiores aos

encontrados neste estudo. O consumo de combustível foi de  $46,2 \text{ L.h}^{-1}$ , ou um consumo específico de  $0,61 \text{ L.m}^{-3}$  de madeira produzida.

O trator “Skidder” totalizou 93,9 h de operação para arrastar e entregar a madeira destinada a esse sistema, nessa unidade de produção florestal, das quais: 68,8 horas foram efetivamente trabalhadas na busca e entrega de madeira para seu processamento. As horas utilizadas com paradas operacionais totalizaram 13,7 h e as paradas mecânicas somaram um total de 11,4 h.

Os indicadores de produção resultantes desse quadro de horas foram: disponibilidade mecânica de 87,9%, eficiência operacional de 85,4% e índice de utilização de 75,0%. A produtividade horária do “Skidder” foi de  $94,23 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}$  com um consumo de óleo diesel de  $27,5 \text{ L.h}^{-1}$ , ou seja, um consumo específico de  $0,29 \text{ L.m}^3$  de madeira arrastada.

Nessa condição de floresta, com menor volume por árvores, a “Flail” totalizou 153,2 h de trabalho para realizar as operações de descascamento, desganhamento e desfolhamento. Desse total: 81,1 h foram efetivamente trabalhadas com madeira sendo processada dentro da câmara de descascamento e 43,2 h foram perdidas por motivos de paradas operacionais, sendo muitas dessas perdas ocasionadas pelas movimentações e posicionamento da máquina no local adequado de operação, com as pausas por motivos mecânicos representando 28,9 h.

O indicador operacional de disponibilidade mecânica dessa máquina atingiu 81,14%, com uma eficiência operacional de 71,8%, o que resultou num índice de utilização de 58,3%, causado principalmente pelas constantes movimentações da “Flail”. A produção horária final foi de  $65,58 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}$ , consumindo  $85,0 \text{ L.h}^{-1}$ , ou um consumo específico de  $1,3 \text{ L.m}^{-3}$  de madeira processada.

A máquina “Power-Clamp” trabalhou um total de 167,1 h para realizar a retirada e posicionamento dos feixes de madeira processados na unidade de produção B, criando assim os estaleiros para posterior processamento. Desse total: 89,1 h foram efetivamente trabalhadas, somando um total de 61,0 h de paradas por motivos operacionais, muitas das quais foram ocasionadas em função da dificuldade de encabeçamento da madeira para melhorar a qualidade do processo seguinte, e 17,0 h foram gastas com paradas por ordem mecânica.

Dessa forma, os indicadores de produtividade resultaram numa disponibilidade mecânica de 89,83% e eficiência operacional de 63,49%, resultado das dificuldades

encontradas para melhorar o alinhamento dos feixes de madeira para o processo seguinte, o que ocasionou um índice de utilização de 57,0%.

A produtividade horária dessa máquina foi igual à da “Flail”, ou seja,  $65,58 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ , em função da interação entre essas duas máquinas, pois toda a madeira processada pela “Flail” necessariamente tem que ser movimentada pela “Power-Clamp”, caso contrário a madeira seria depositada no chão, prejudicando o ritmo operacional do sistema. O consumo de combustível dessa máquina foi de  $21,0 \text{ L} \cdot \text{h}^{-1}$  e um consumo específico de  $0,32 \text{ L} \cdot \text{m}^{-3}$ .

A “Garra-Traçadora” consumiu nessa unidade de produção um total de 112,4 h, executando a operação de dimensionamento dos feixes de árvores descascadas em toras de 6,30 m e criando as pilhas de madeira às margens do carreador numa altura máxima de 3,0 m, com 62,2 h efetivamente trabalhadas. Os períodos de paradas operacionais totalizaram 18,8 h e os de paradas mecânicas somaram 31,4 h, muitas das quais foram ocasionadas em função das dificuldades encontradas para regulagem do avanço do sabre e velocidade de corte da corrente. Como o cabeçote dessa máquina foi o primeiro a ser utilizado no Brasil, segundo informações fornecidas pelo fabricante Rotobec, a equalização dos fatores de corte tomaram mais tempo que o planejado.

Dessa forma, o índice operacional de disponibilidade mecânica resultante foi de 72,1% e o índice de eficiência operacional foi de 83,3%, dando origem ao índice de utilização final de 60,0%. Essa máquina base consumiu  $18,0 \text{ L} \cdot \text{h}^{-1}$ , ou um consumo específico de  $0,23 \text{ L} \cdot \text{m}^{-3}$  nessa operação.

Nas figuras 27 e 28, estão os gráficos com a distribuição das horas operacionais de cada uma das máquinas do sistema alternativo, bem como dos indicadores operacionais do sistema.

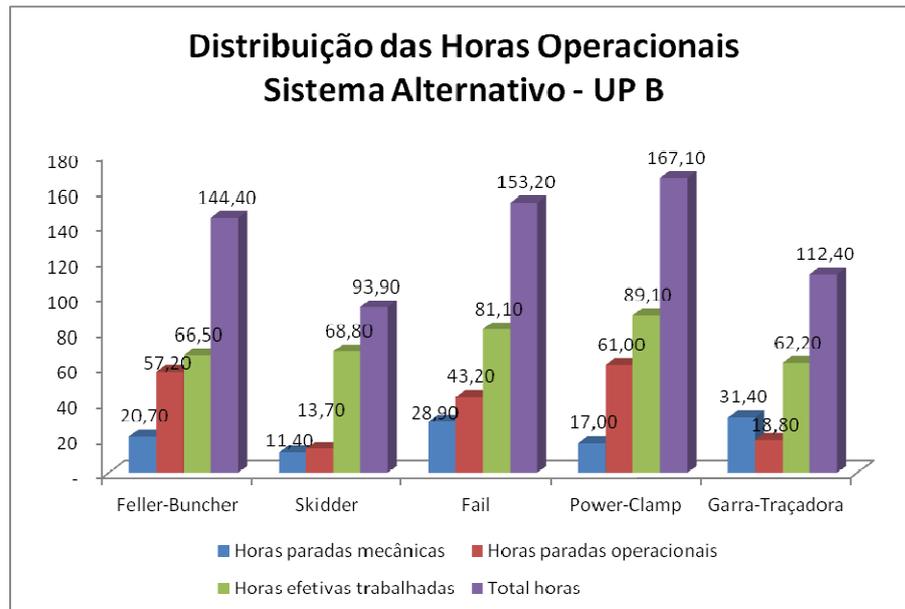


Figura 27 - Gráfico de distribuição das horas operacionais por máquina que compõem o sistema alternativo, durante a operação na unidade de produção florestal B

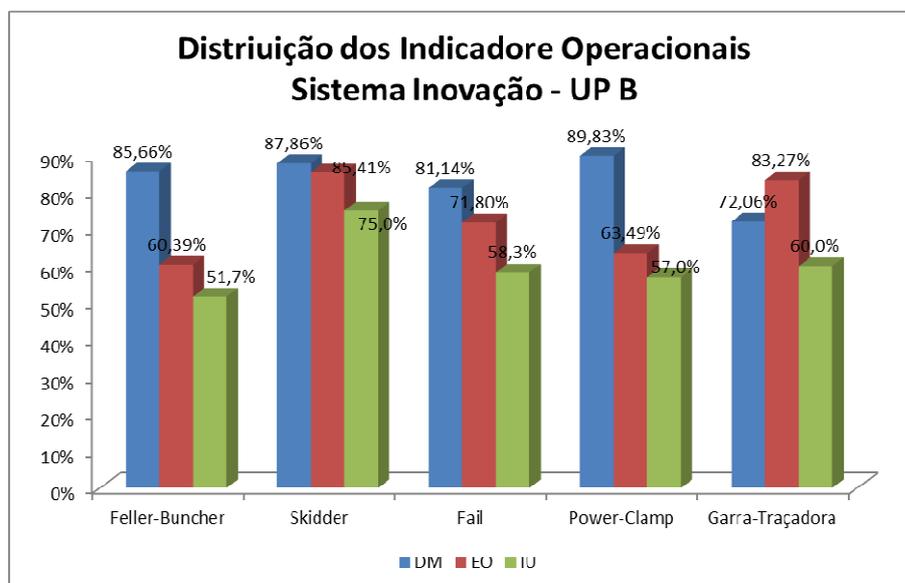


Figura 28 - Gráfico de distribuição dos indicadores operacionais por máquina que compõem o sistema alternativo, durante a operação na unidade de produção florestal B

### 5.2.2.2 Sistema Convencional de Colheita – UP B

A “Harvester”, nas condições encontradas dentro da unidade de produção B, totalizou 647,8 h de trabalho, das quais: 457,7 h foram efetivamente trabalhadas. Os períodos de paradas por motivos operacionais totalizaram 91,4 h e os de cunho mecânico somaram 98,7 h.

Desse quadro de horas operacionais apresentado pela máquina, os resultados foram: disponibilidade mecânica de 84,76%, eficiência operacional de 85,89% e

índice de utilização de 72,8%. O consumo de óleo diesel dessa máquina foi de 22,4 L.h<sup>-1</sup>, ou um consumo específico de 1,92 L.m<sup>-3</sup> de madeira processado.

O “Forwarder” na operação de extração e formação de pilha de madeira totalizou 221,5 h de trabalho, sendo que desse total: 152,2 h foram de efetiva produção. Os períodos de paradas operacionais somaram 37,4 h e os por motivo mecânico somaram 31,9 h. Dessa forma, a disponibilidade mecânica apurada foi de 85,6% e a eficiência operacional de 83,1%, resultando num índice de utilização de 71,1%.

A produção horária dessa máquina, nessa operação, e com as condições apresentadas pela floresta nessa unidade de produção, foi de 34,39 m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup>, com um consumo de óleo diesel de 16,7 L.h<sup>-1</sup>, ou um consumo específico de 0,49 L.m<sup>-3</sup> de madeira extraída.

As figuras 29 e 30 apresentam os gráficos com a distribuição das horas operacionais de cada uma das máquinas do sistema convencional, bem como dos indicadores operacionais do sistema.

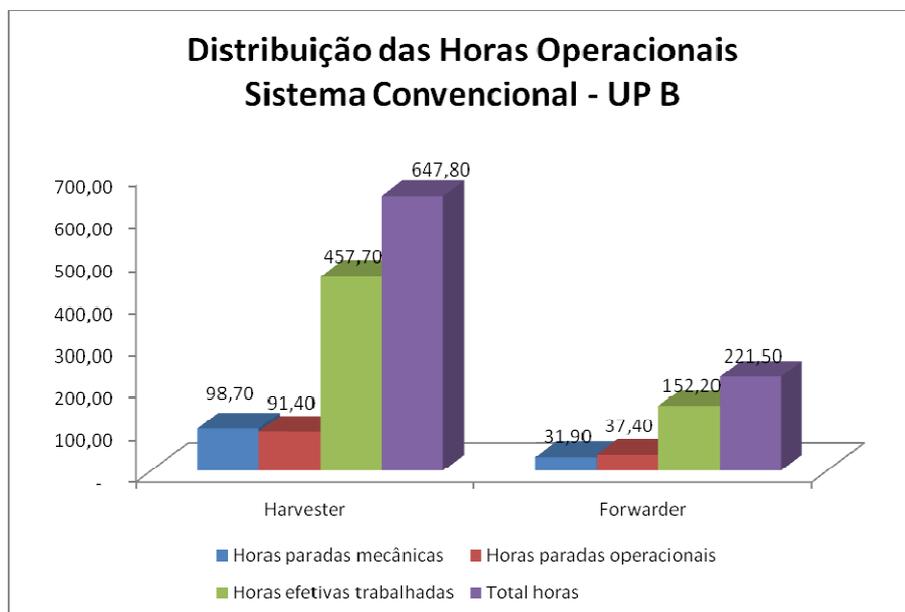


Figura 29 - Gráfico de distribuição das horas operacionais por máquina que compõem o sistema convencional, durante a operação na unidade de produção florestal B

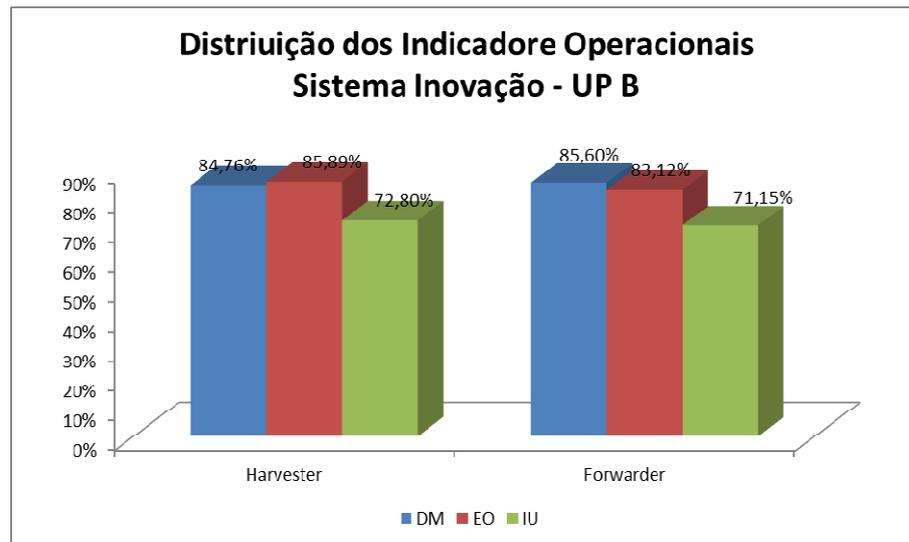


Figura 30 - Gráfico de distribuição dos indicadores operacionais por máquina que compõem o sistema convencional, durante a operação na unidade de produção florestal B

### 5.3 Custos Operacionais Horários

Com o intuito de atingir o objetivo proposto por este trabalho, foram utilizados os valores apontados durante a experimentação, aplicando-se assim a metodologia de cálculo de custo, e algumas informações providas pela empresa florestal, dados que resultaram num custo horário e por metro cúbico real das operações e máquinas envolvidas. A distribuição dos custos fixos por hora efetiva das máquinas de ambos os sistemas são apresentados nas Tabelas 9 e 10, e os custos variáveis nas Tabelas 11 e 12.

Tabela 9 - Distribuição dos custos fixos por hora efetiva das máquinas do sistema alternativo

Sistema	Máquinas (un.)	Depreciação (R\$.h <sup>-1</sup> )	IMA (R\$)	Juros (R\$.h <sup>-1</sup> )	Seguro (R\$.h <sup>-1</sup> )	Estrutura (R\$.h <sup>-1</sup> )	Total (R\$.h <sup>-1</sup> )
Alternativo	Feller-buncher	55,08	979.200,00	19,58	15,30	48,05	138,01
	Skidder	47,16	838.400,00	16,77	13,10	48,05	125,08
	Flail	92,34	1.506.600,00	30,13	24,30	48,05	194,82
	Power-Clamp	32,96	700.400,00	14,01	10,30	48,05	105,32
	Garra-Traçadora	32,96	700.400,00	14,01	10,30	48,05	105,32
<b>TOTAL</b>							<b>668,55</b>

Tabela 10 - Distribuição dos custos fixos por hora efetiva das máquinas do sistema convencional

Sistema	Máquinas (un.)	Depreciação (R\$.h <sup>-1</sup> )	IMA (R\$)	Juros (R\$.h <sup>-1</sup> )	Seguro (R\$.h <sup>-1</sup> )	Estrutura (R\$.h <sup>-1</sup> )	Total (R\$.h <sup>-1</sup> )
Convencional	Harvester	31,62	671.840,00	13,44	9,88	48,05	102,98
	Forwarder	43,20	768.000,00	15,36	12,00	48,05	118,61
						<b>TOTAL</b>	<b>221,59</b>

Tabela 11 - Distribuição dos custos variáveis por hora efetiva das máquinas do sistema alternativo

Sistema	Máquinas (un.)	Combustível (R\$.h <sup>-1</sup> )	Lubrificantes (R\$.h <sup>-1</sup> )	Mão-de-Obra (R\$.h <sup>-1</sup> )	Manutenção (R\$.h <sup>-1</sup> )	Total (R\$.h <sup>-1</sup> )
Alternativo	Feller-buncher	101,64	15,25	27,24	33,05	177,17
	Skidder	60,50	9,08	27,24	28,30	125,11
	Flail	187,00	28,05	27,24	55,40	297,69
	Power-Clamp	46,20	6,93	27,24	19,78	100,15
	Garra- Traçadora	39,60	5,94	27,24	19,78	92,56
						<b>TOTAL</b>

Tabela 12 - Distribuição dos custos variáveis por hora efetiva das máquinas do sistema convencional

Sistema	Máquinas (un.)	Combustível (R\$.h <sup>-1</sup> )	Lubrificantes (R\$.h <sup>-1</sup> )	Mão-de-Obra (R\$.h <sup>-1</sup> )	Manutenção (R\$.h <sup>-1</sup> )	Total (R\$.h <sup>-1</sup> )
Convencional	Harvester	49,28	7,39	27,24	18,97	102,88
	Forwarder	36,74	5,51	27,24	25,92	95,41
					<b>TOTAL</b>	<b>198,29</b>

### 5.3.1 Custos do Máquino “Feller-buncher”

O custo fixo total do “Feller-buncher” foi de R\$ 138,01 por hora efetiva trabalhada, cujo maior componente de tal classe de custo refere-se à depreciação, representando 39,21%, reflexo do valor de aquisição. Comparativamente, Moreira et al. (2004), também avaliando o “Feller-buncher” sobre esteiras, encontraram que a depreciação foi responsável por 19,86% dos custos operacionais. A Figura 31 apresenta a distribuição dos custos fixos dessa máquina.

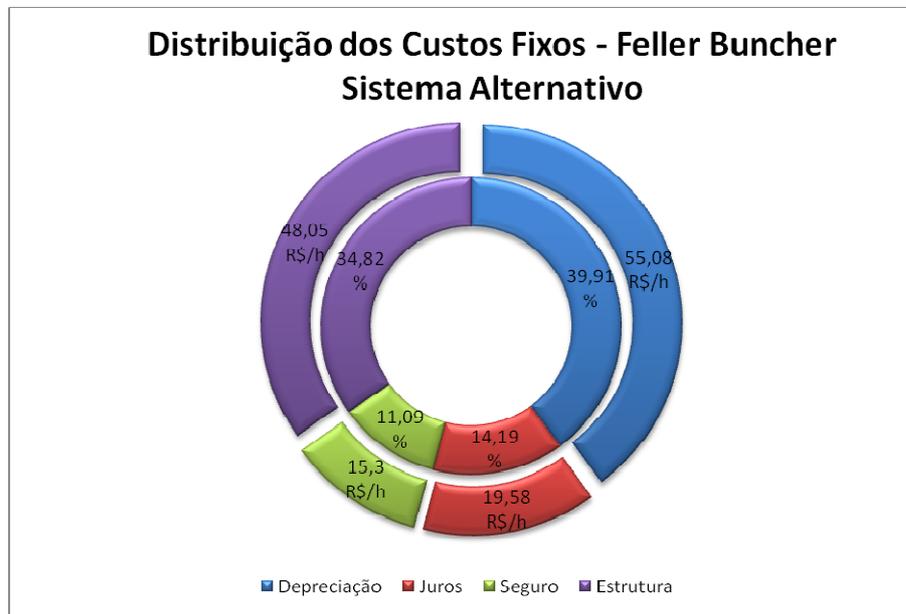


Figura 31 - Distribuição dos custos fixos e percentual relativo à máquina “Feller-buncher”

O custo variável total do “Feller-buncher” foi de R\$ 177,17 por hora efetiva trabalhada e a distribuição dessa classe de custo é apresentada na Figura 32.

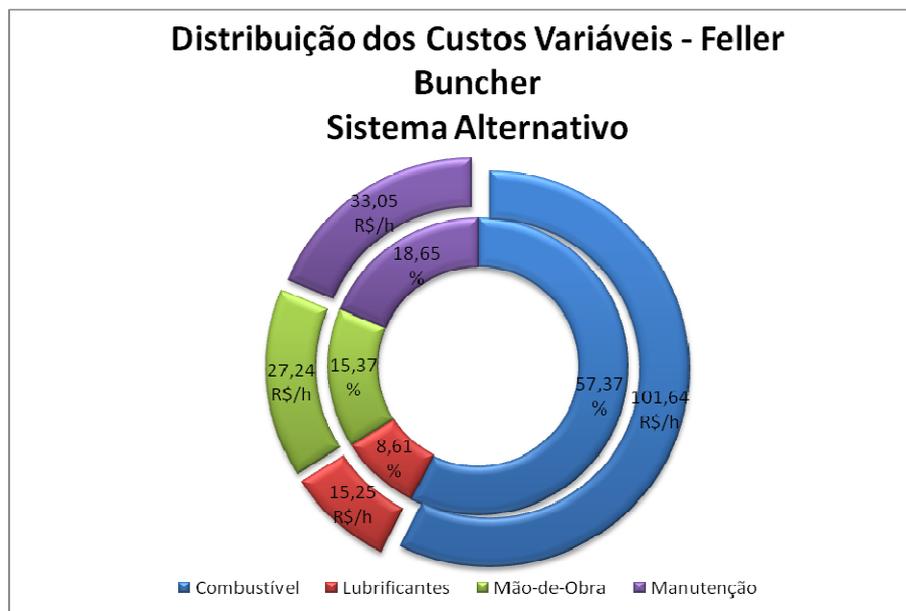


Figura 32 - Distribuição dos custos variáveis e porcentagem relativa à máquina “Feller-buncher”

Combustível foi a classe de custo variável mais representativa, computando 57,37% dos valores variáveis. Entende-se que pela sua expressividade, os indicadores: litros por hora e litros por metro cúbico devem ser constantemente gerenciados, com a finalidade de se evitar o consumo de óleo combustível durante a operação dessa máquina. Com a utilização constante da máquina, o desgaste dos componentes se eleva. Assim, para se evitar o alto custo de manutenção, um bom planejamento de manutenções preventivas pode reduzir tal valor.

Dessa forma, o somatório entre os custos fixos e variáveis resulta no valor total horário da máquina “Feller-buncher”, que foi de R\$ 315,19, ou 21,57% dos custos totais do sistema alternativo de colheita.

Comparativamente, Moreira et al. (2004), avaliando a máquina “Feller-buncher” realizando a derrubada num ângulo de 45°, tal como no presente estudo, chegaram num custo horário total de R\$ 121,59, sendo que desse total: 19,86% são representados pela depreciação. Já, no presente estudo, a depreciação representou 39,91%, fator que explica as diferenças entre os custos encontrados, provavelmente devido aos diferentes valores de aquisição das máquinas estudadas.

### 5.3.2 Custos da Máquina “Skidder”

O custo total fixo horário do “Skidder” foi de R\$ 125,08. A estrutura foi responsável por 38,42% dos custos horários fixos dessa máquina (Figura 33). A composição desse custo foi fornecida pela empresa florestal envolvida e a leitura feita é a de que, devido às certificações e negociações sindicais, a estrutura oferecida tem um alto peso no custo final.

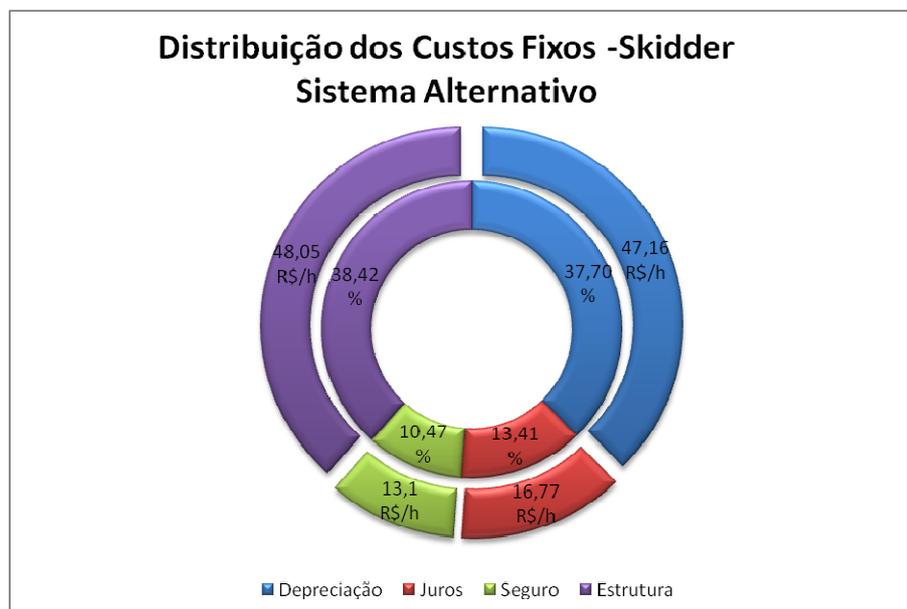


Figura 33 - Distribuição dos custos fixos por hora efetiva trabalhada da máquina “Skidder” e seu percentual

A distribuição dos valores variáveis do “Skidder” e o percentual de cada um dos componentes dessa classe de custo são apresentados na Figura 34. O custo

variável total por hora efetiva trabalhada foi de R\$ 125,11, o consumo de combustível foi o componente mais expressivo dentro do custo variável total, representando 48,36%.

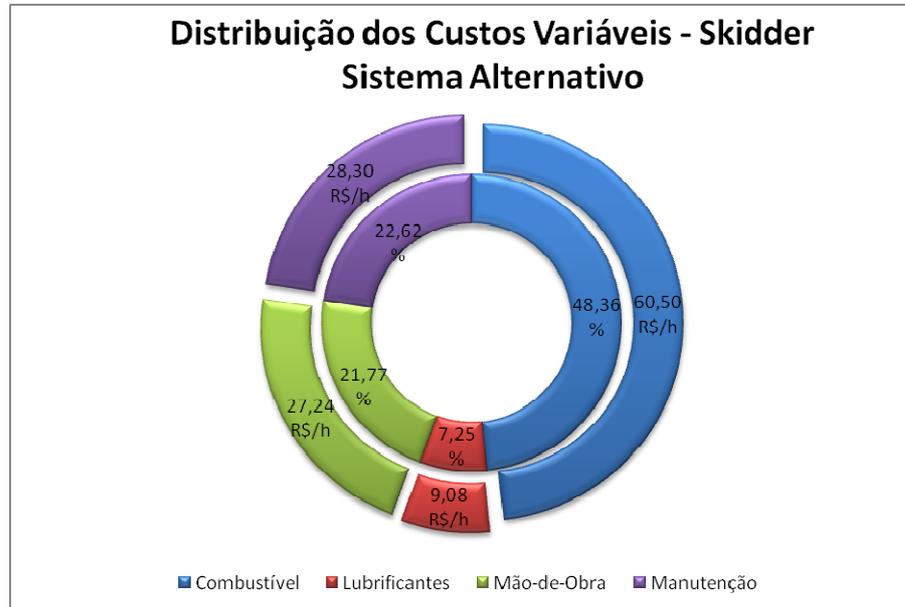


Figura 34 - Distribuição dos custos variáveis por hora efetiva trabalhada da máquina “Skidder” e seu percentual

Essa máquina fica em constante movimentação, pois sua principal atividade é o arraste de feixes de árvores inteiras de dentro da unidade de produção florestal até a máquina “Flail”. Assim, a razão pela qual o consumo de combustível tenha sido o mais representativo pode ser explicada pelo constante deslocamento na coleta de árvores e transporte até a máquina “Flail”.

Neste estudo, o consumo específico de combustível foi de 0,27 a 0,29 L.m<sup>-3</sup>. Comparativamente, Kerruish e Moore (1982), estudando diferentes combinações e números de máquinas florestais para compor um sistema de colheita, encontraram um consumo específico de diesel para o “Skidder” entre 2,04 a 2,83 L.m<sup>-3</sup>.

Somando os valores fixos e variáveis dessa máquina, chegou-se ao custo horário total de R\$ 250,19. Comparando-se esse resultado com a avaliação de Lambert e Howard (1990), os quais estudaram um sistema de colheita florestal para árvores com pequeno diâmetro e encontraram custos horários para dois diferentes blocos de florestas de R\$ 65,07 e 82,85 por hora efetiva trabalhada, os resultados do estudo foram superiores provavelmente devido ao custo de aquisição da mesma.

### 5.3.3 Custos da Máquina “Flail”

O custo fixo horário total da “Flail” foi de R\$ 194,82 e, devido ao valor de aquisição dessa máquina, o custo de depreciação foi o fator que representou 47,40% dos custos fixos dessa máquina. A “Flail”, como apresentada neste estudo, ainda é desconhecida dentro do mercado brasileiro. Dessa forma, para evitar horas com máquina parada por falta de peças, deve-se seguir rigorosamente o plano de manutenção informado pelo fabricante, bem como munir a estrutura de campo com um estoque de peças, cuja aplicação seja exclusiva dessa máquina. Além disso, sua logística de reposição deve ser altamente eficiente para não ocorrer eventos não previstos, evitando, assim, possíveis aumentos de custos não desejados. A Figura 35 detalha a distribuição dos custos fixos da “Flail”.

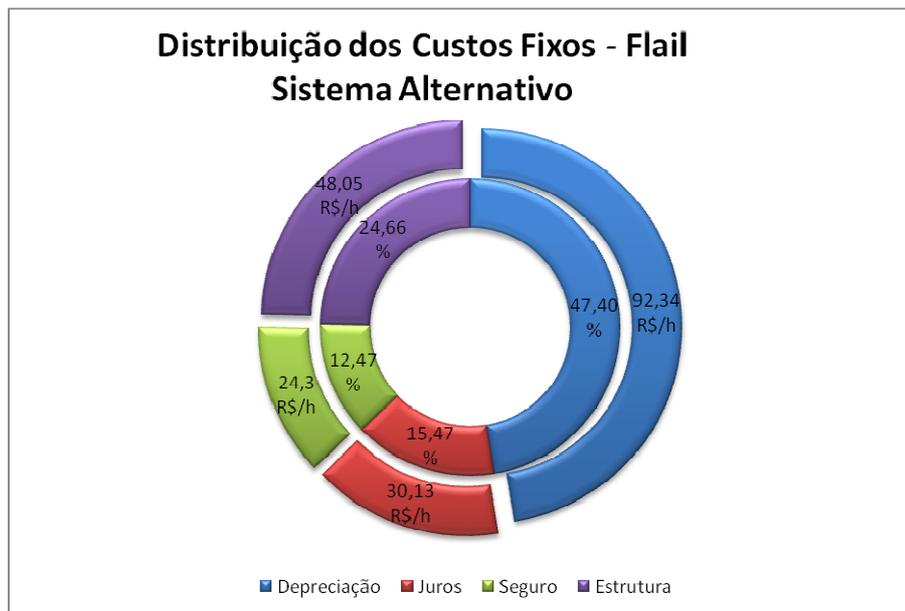


Figura 35 - Distribuição dos custos fixos por hora efetiva trabalhada da máquina “Flail” e seu percentual

A distribuição dos custos variáveis da “Flail” e o percentual de cada um dos componentes dessa classe de custo são apresentados na Figura 36.

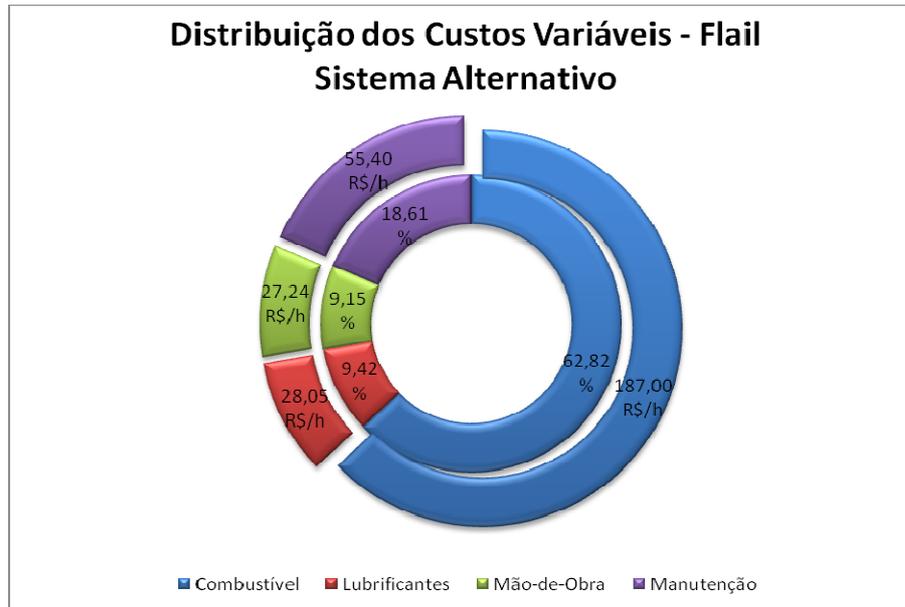


Figura 36 - Distribuição dos custos variáveis da máquina "Flail" e percentual de cada classe desse custo

O custo variável horário total da "Flail" foi de R\$ 297,69 e o consumo de óleo combustível representou 62,82% dos custos variáveis dessa máquina. Isso pode ser explicado pelo fato de ela ser equipada com um motor de 432 kW de potência e ficar constantemente em rotação de operação, sendo apenas baixada nos momentos de movimentação da máquina. Entende-se, portanto, que essa máquina represente o centro da cadeia produtiva do sistema alternativo. Dessa maneira, segundo a representatividade de seu custo de combustível, ela deve manter o menor tempo em ociosidade possível e deve ser tratada como a máquina de maior gerenciamento operacional e de custo do sistema.

O custo total horário total da máquina "Flail" para o presente estudo foi de R\$ 492,52. Já, Lambert e Howard (1990), avaliando a "Flail" em árvores de 10,4 centímetros de diâmetro e 28,96m de altura, encontraram o custo horário total de R\$ 37,70 e 34,45 para os dois blocos que estudaram. Esse baixo custo, encontrado pelos pesquisadores, deve-se pela utilização de um protótipo de "Flail" com correntes montado sobre um chassi duplo com proteção.

#### 5.3.4 Custos da Máquina "Power-Clamp"

A maior classe de custo da máquina "Power-Clamp" foi representada pela estrutura, a qual totaliza 45,62% do custo fixo total, seguida pela depreciação, a qual diz respeito a 31,30% (Figura 37). A máquina base da "Power-Clamp" é uma escavadora hidráulica e o modelo T-250B, do fabricante Tigercat, é uma máquina

importada, cuja incidência de impostos de importação pode elevar o valor de aquisição segundo sua classificação fiscal. No entanto, há modelos de escavadoras nacionais que têm a capacidade de realizar o mesmo trabalho de movimentação dos feixes de árvores e são passíveis de acoplamento do cabeçote do fabricante Rotobec. Assim, o custo de depreciação dessa máquina pode sofrer uma redução, uma vez que o custo fixo horário total da “Power-Clamp” foi de R\$ 105,32.

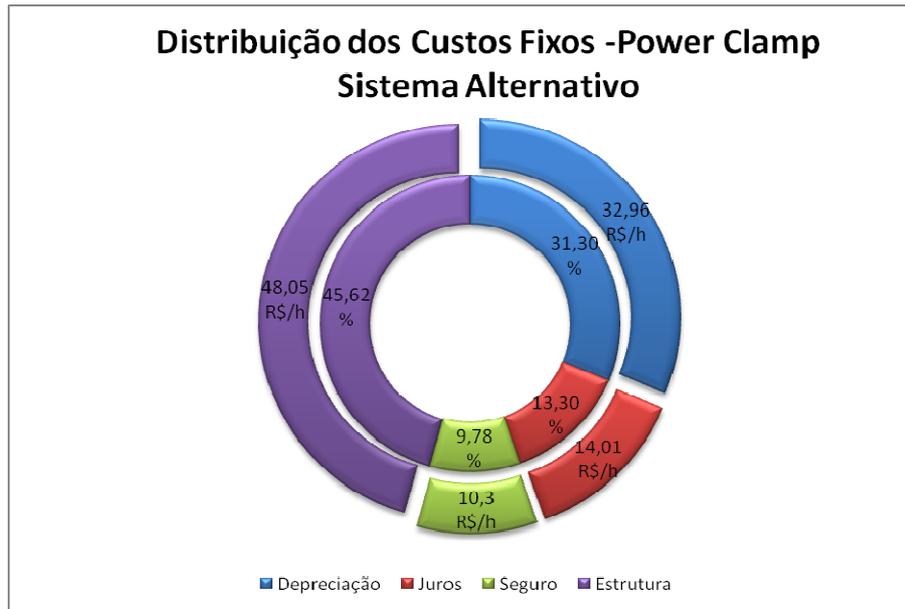


Figura 37 - Distribuição dos custos fixos por hora efetiva trabalhada da máquina “Power-Clamp” e seu percentual

Na Figura 38, é apresentada a distribuição dos custos variáveis da “Power-Clamp” e o percentual de cada um dos componentes dessa classe de custo:

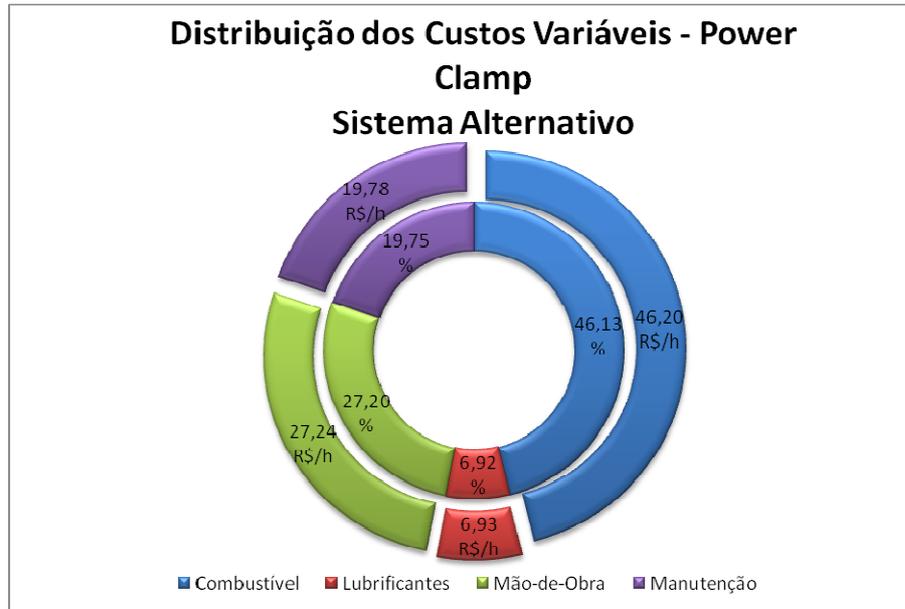


Figura 38 - Distribuição dos custos variáveis por hora efetiva trabalhada da máquina “Power-Clamp” e seu percentual

O custo variável horário total da “Power-Clamp” foi de R\$ 100,15 e o combustível foi o maior custo variável da máquina em discussão, representando 46,13% dos custos variáveis totais. A máquina base utilizada possui 152 kW de potência e, provavelmente, é superdimensionada para o trabalho que realiza, pois ela movimenta os feixes de madeira, retirando-os da máquina “Flail” e criando os estaleiros de árvores descascadas. As principais características que devem ser analisadas para essa máquina são: o alcance do seu conjunto de braço e lança, a fim de criar estaleiros os maiores possíveis, e o poder de giro ocasionado pelo ritmo e força necessários para a realização dessa operação.

O custo total horário da máquina “Power-Clamp” foi de R\$ 205,46 e pode ser reduzido se utilizada uma máquina base com menor preço de aquisição, que atenda às necessidades operacionais dessa atividade.

### 5.3.5 Custos da Máquina “Garra-Traçadora”

Os valores fixos da máquina “Garra-Traçadora” e o percentual de cada classe desse custo são apresentados na Figura 39.

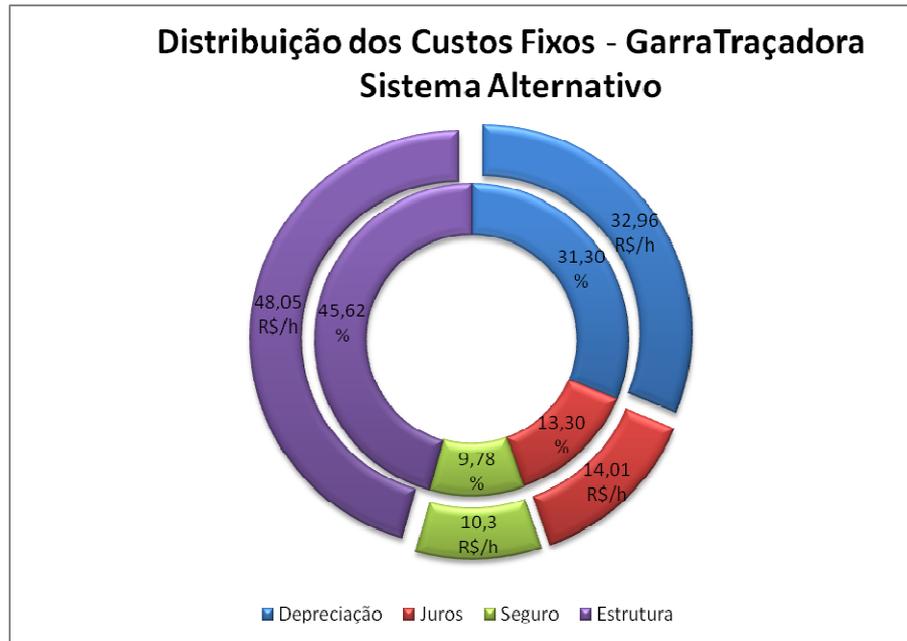


Figura 39 - Distribuição dos custos fixos por hora efetiva trabalhada da máquina "Garra-Traçadora" e seu percentual

O custo fixo horário da "Garra-Traçadora" foi de R\$ 105,32 e, seguindo a mesma tendência da "Power-Clamp", a referida máquina recebeu o maior custo fixo, representado pela estrutura, que totalizou 45,62%, e seguido pelo consumo de combustível, que representou 31,30% desses valores. A máquina base também é uma escavadora com cabeçote provido de motor hidráulico, sabre e corrente de corte, que pode ser utilizada em um modelo de escavadora nacional com força hidráulica suficiente, que suporte o cabeçote experimentado a fim de reduzir o custo com a depreciação.

Na Figura 40, é apresentada a distribuição dos valores variáveis da "Garra-Traçadora" e o percentual de cada um dos componentes dessa classe de custo:

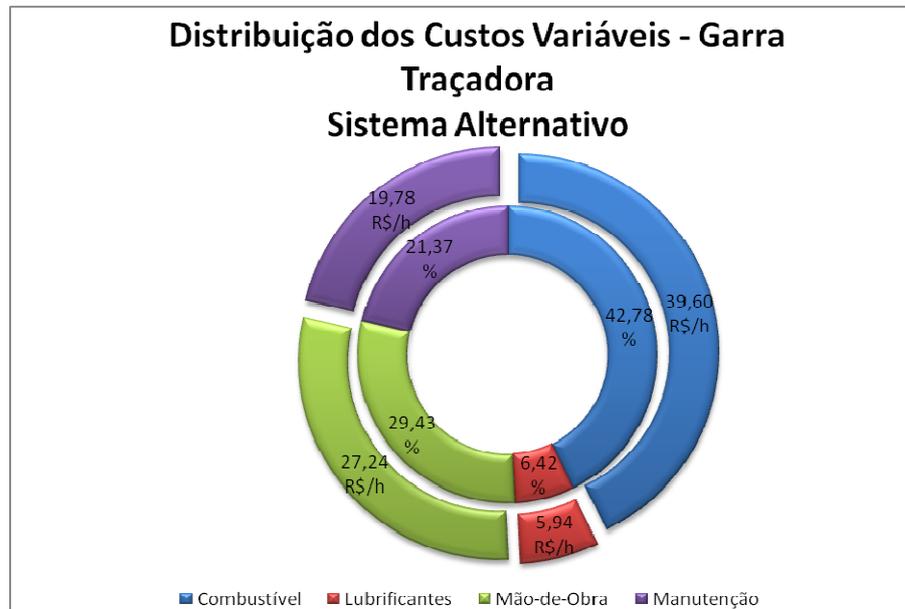


Figura 40 - Distribuição dos custos variáveis por hora efetiva trabalhada da máquina “Garra-Traçadora” e seu percentual

O custo variável horário da máquina “Garra-Traçadora” foi de R\$ 92,56 e a classe de custo variável mais representativa foi o combustível, que somou 42,78%, seguido pela mão de obra, com 27,24%. Lopes (2007), avaliando economicamente um sistema de colheita florestal, observou que o custo com combustível para a “Garra-Traçadora” foi de 28%, valor muito próximo ao encontrado no presente estudo.

O treinamento é a chave para o aumento da produtividade horária de operação. Assim, a capacitação das equipes de operadores deve ser contínua e acompanhada pelo gestor do módulo. Isso pode provocar a redução do custo de mão de obra dessa operação, uma vez que o custo total horário da “Garra-Traçadora” foi de R\$ 197,87.

### 5.3.6 Custos da Máquina “Harvester”

Os valores fixos da máquina “Harvester” e o percentual de cada classe desse custo são apresentados na Figura 41.

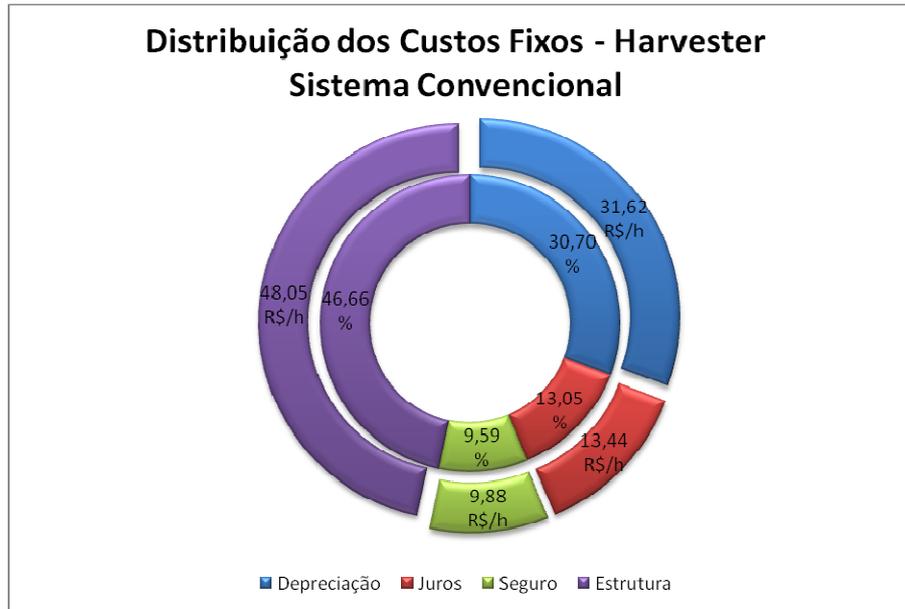


Figura 41 - Distribuição dos custos fixos por hora efetiva trabalhada da máquina “Harvester” e seu percentual

O custo fixo horário total da “Harvester” foi de R\$ 102,98 e a maior representatividade dos custos fixos foi observada na estrutura: 46,66%, seguida pela depreciação: 30,70%.

Comparativamente, Paula (2011), avaliando tecnicamente uma “Harvester” com máquina base da marca Komatsu, modelo PC 200, encontrou o total dos custos fixos de R\$ 40,23, isso devido à desconsideração de um custo de estrutura na composição dos referidos valores, os quais, no presente trabalho, correspondem a quase 50%.

Na Figura 42, são apresentados: a distribuição dos custos variáveis da “Harvester” e o percentual de cada um dos componentes dessa classe de custo.

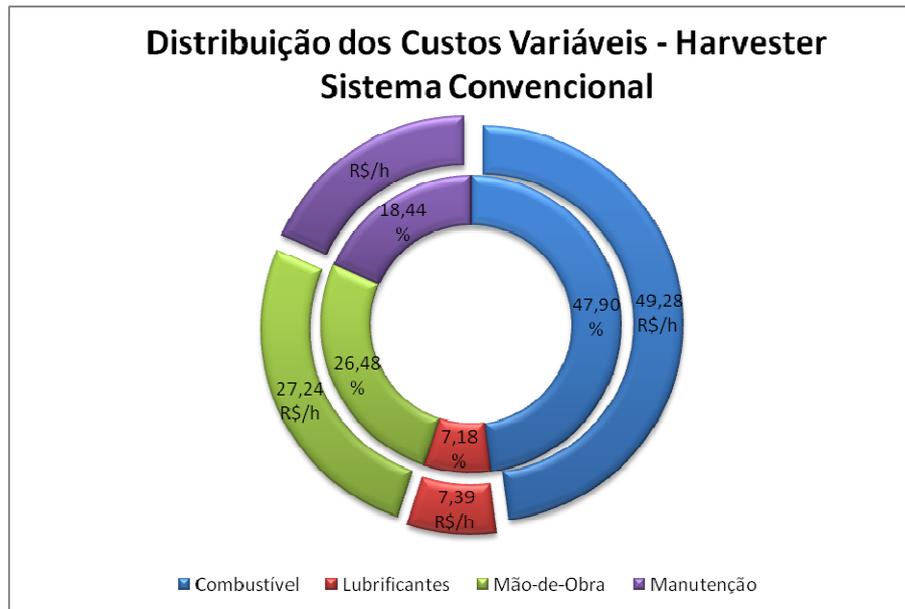


Figura 42 - Distribuição dos custos variáveis por hora efetiva trabalhada da máquina “Harvester” e seu percentual

O custo horário variável total da “Harvester” foi de R\$ 102,88 e o combustível foi a classe de custo mais representativa, o qual somou 47,9%, seguida pelo custo de mão de obra, o qual somou 26,48%. Paula (2011), em seu estudo comparativo de dois modelos de máquina base da “Harvester”, apurou um custo de combustível de R\$ 38,36 por hora efetiva trabalhada. Isso se deve pelo consumo horário do presente estudo, o qual representa  $22,4 \text{ L.h}^{-1}$  a um custo de  $2,20 \text{ R}\$.\text{L}^{-1}$  contra um consumo encontrado por Paula (2011) de  $19,98 \text{ L.h}^{-1}$  e a um custo de  $1,92 \text{ R}\$.\text{L}^{-1}$ . Dessa forma, entende-se que tanto os custos fixos como os variáveis encontram-se dentro de um faixa considera segura e correta, na qual o custo horário total dessa máquina para o presente estudo foi de R\$ 205,86.

Martins et al. (2009), avaliando economicamente a “Harvester” em florestas de  $0,31\text{m}^3.\text{árv.}^{-1}$  e espaçamento  $9,0\text{m}^2$ , tal como neste presente experimento, encontraram uma produção horária de  $29,09 \text{ m}^3$  sem casca/hora efetiva trabalhada e a um custo horário de  $249,21 \text{ R}\$.\text{h}^{-1}$ . Dessa forma, a produção horária foi superior ao valor encontrado neste estudo, devido ao maior volume individual da floresta.

### 5.3.7 Custo da Máquina “FORWARDER”

Os custos fixos da máquina “Forwarder” e o percentual de cada classe desse custo são apresentados na Figura 43.

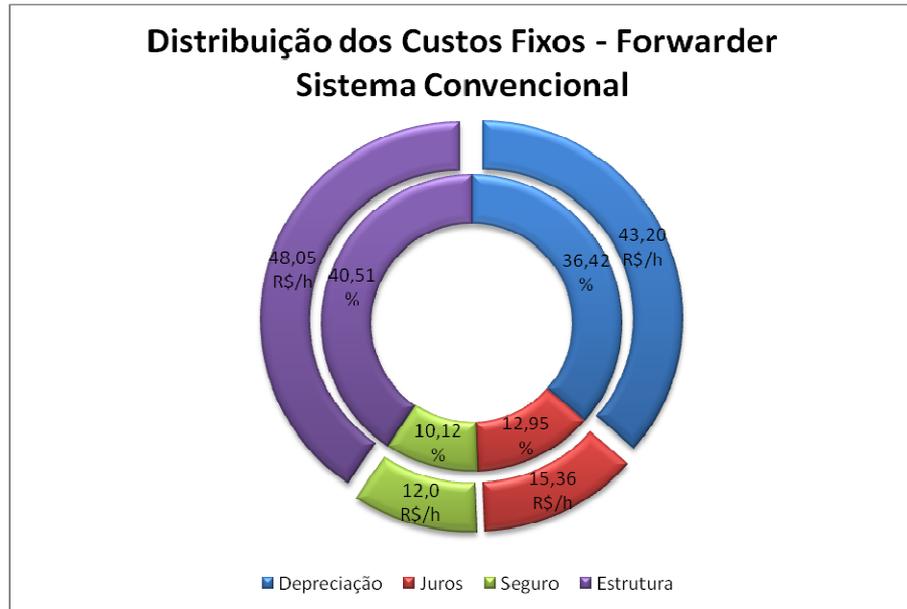


Figura 43 - Distribuição dos custos fixos por hora efetiva trabalhada da máquina “Forwarder” e seu percentual

O custo fixo horário total da “Forwarder” foi de R\$ 118,61 e sendo o valor correspondente à estrutura o mais oneroso para a referida máquina, o qual representou o total de 40,51% dos custos fixos, seguido pelo custo de depreciação.

Simões et al. (2010), avaliando a máquina “Forwarder” no baldeio de madeira em florestas de primeiro corte, tal como no presente trabalho, apuraram um custo total horário de 203,43 R\$, dos quais 35,83% foram representados pelos custos fixos e 64,17% pelos custos variáveis, nos quais, para uma distância de baldeio de até 175m, o custo operacional da máquina foi de 2,13 R\$.m<sup>-3</sup> de madeira com casca.

Dessa forma, entende-se que os custos encontrados para a “Forwarder” no presente estudo podem ser considerados corretos e aplicáveis.

Na Figura 44, são apresentados: a distribuição dos custos variáveis da “Forwarder” e o percentual de cada um dos componentes dessa classe de custo:

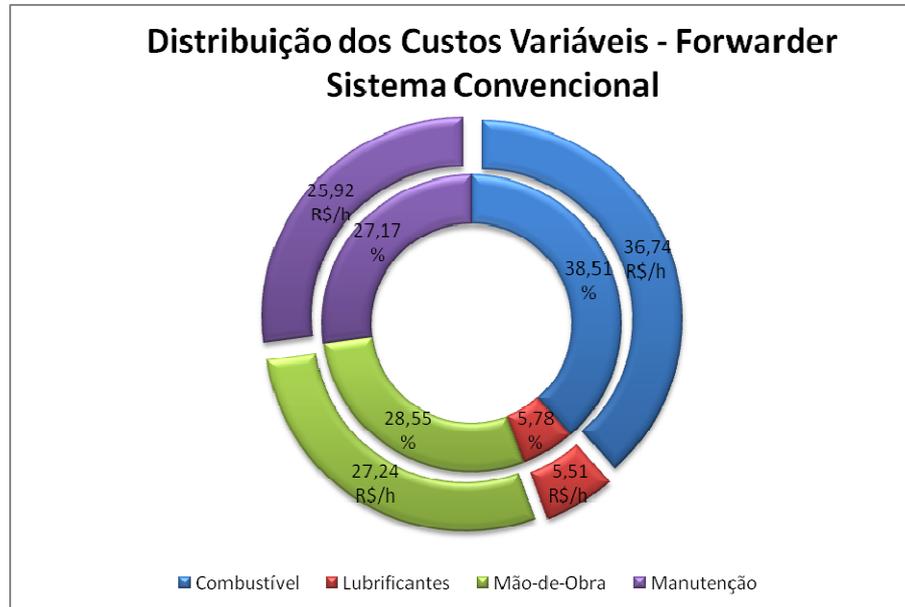


Figura 44 - Distribuição dos custos variáveis por hora efetiva trabalhada da máquina “Forwarder” e seu percentual

O custo horário variável total do “Forwarder” foi de R\$ 95,41, no qual o consumo de óleo diesel foi o mais representativo dentre os valores variáveis, os quais compreendem a: 27,17% dos custos variáveis totais, seguido pelo custo de manutenção.

O custo total horário da “Forwarder” foi de R\$ 214,02. Comparativamente, o trabalho de Minette et al. (2004), no qual o custo total da “Forwarder”, realizando a operação de remoção de madeira de Eucalipto em florestas com volumes individuais de: 0,054, 0,068 e 0,079 m<sup>3</sup>.árv.<sup>-1</sup>, encontrou o valor de 133,54 R\$.h<sup>-1</sup> efetiva trabalhada.

A porcentagem relativa aos custos totais horários de cada máquina para o sistema alternativo de colheita é apresentado na Figura 45.

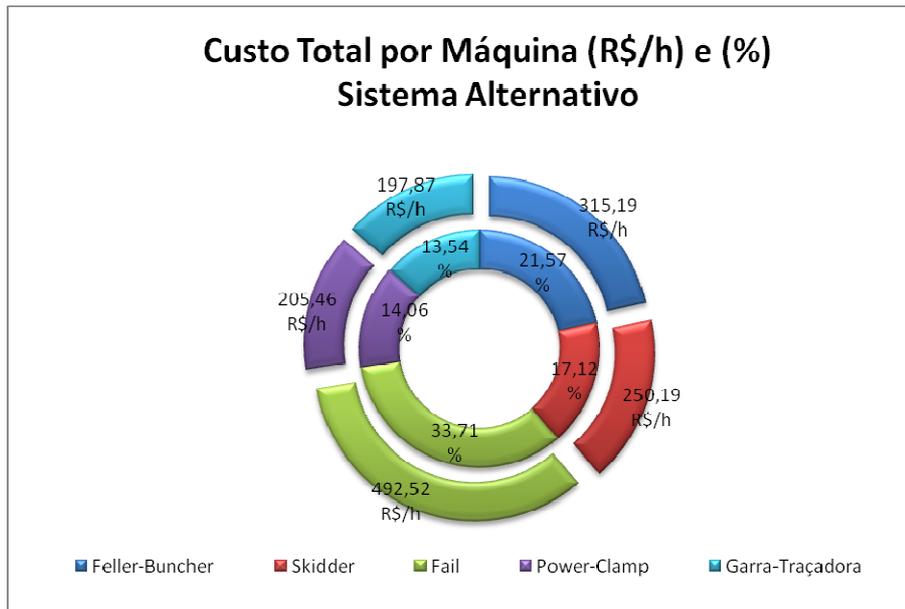


Figura 45 - Gráfico das porcentagens relativas à cada máquina dentro do custo total horário

A máquina mais onerosa dentro do sistema alternativo de colheita é a “Flail”. Isso se deve, pois ela apresenta um elevado custo de aquisição e um alto consumo de óleo diesel, os quais devem receber especial atenção da equipe de gestão e manutenção para que nenhuma atividade inesperada ocorra, a qual possa interferir negativamente nos custos desse maquinário.

Na Figura 46, é apresentada a porcentagem relativa aos custos totais horários das máquinas do sistema convencional.

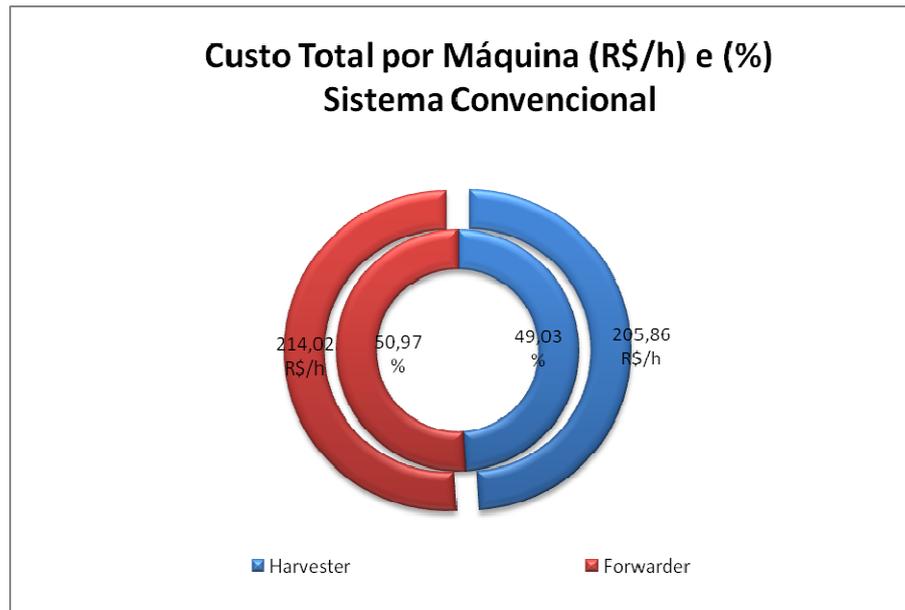


Figura 46 - Gráfico das porcentagens relativas à cada máquina dentro do custo total horário

Os custos horários totais foram muito próximos entre a “Harvester” e o “Forwarder”, representando, respectivamente: 49,03% e 50,97% e totalizando um custo horário de R\$ 419,89.

Para o sistema convencional de colheita, a interdependência entre as máquinas é maior que no sistema alternativo. Isso se deve pelo fato de a “Harvester” realizar multioperações com seu cabeçote processador, atividades que, ao ocorrerem no sistema alternativo, são dependentes de mais de uma máquina que trabalham combinadas para entrega do produto final.

Assim, entende-se que o gerenciamento do sistema convencional em relação ao alternativo é mais passivo de erros, sem grandes reflexos no custo total do processo.

## 5.4 Custo de Produção

### 5.4.1 Unidade de Produção A

Os custos de produção foram calculados a partir da produção horária apontada de cada uma das máquinas envolvidas no processo de produção de madeira sem casca em toras de 6,30 metros, em ambos os sistemas de colheita estudados (Tabelas 13 e 14).

Tabela 13 - Custo total horário, produção horária e custo de produção por máquina do sistema alternativo na unidade de produção A

Sistema	Máquinas	TOTAL (R\$.h <sup>-1</sup> )	Produção Horária (m <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup> )	Custo Total (R\$.m <sup>-3</sup> )
Alternativo	Feller-buncher	315,19	89,66	3,52
	Skidder	250,19	103,53	2,42
	Fail	492,52	102,37	4,81
	Power-Clamp	205,46	102,37	2,01
	Garra-Traçadora	197,87	106,10	1,87
	<b>TOTAL</b>	<b>1.461,23</b>		<b>14,62</b>

Tabela 14 - Custo total horário, produção horária e custo de produção por máquina do sistema convencional na unidade de produção A

Sistema	Máquinas	TOTAL (R\$.h <sup>-1</sup> )	Produção Horária (m <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup> )	Custo Total (R\$.m <sup>-3</sup> )
Convencional	Harvester	205,86	14,46	14,24
	Forwarder	214,02	41,63	5,14
	<b>TOTAL</b>	<b>419,89</b>		<b>19,38</b>

#### 5.4.1.1 Sistema Alternativo

A “Flail” apresentou o maior custo de produção, representando 32,92% dos custos totais desse quesito (R\$.m<sup>-3</sup>) e, em questões operacionais, a máquina foi considerada o centro das operações dentro do sistema alternativo. Ela apresentou, durante a experimentação, custos elevados com combustível e depreciação. Dessa forma, o gerenciamento efetivo e eficiente das manutenções e operação deve ser altamente regulado.

A máquina considerada como gargalo na linha de produção foi o “Feller-buncher”, com a produção horária de 89,66 m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup>. Já a de maior produção foi a “Garra-Traçadora”, com 106,10 m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup>.

As razões pelas quais o “Feller-buncher” apresentou a menor produção horária se devem pelas dificuldades encontradas pelo operador, que atuou em florestas de baixo volume unitário, e pelo remonte dos feixes de árvores inteiras num ângulo de 45°.

Moreira et al. (2004), estudando o “Feller-buncher” realizando a derrubada em ângulo de 45°, encontrou a produção horária de 500 árvores por hora efetiva

trabalhada, ou uma produção horária de  $33,47 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ , com um custo de produção por hora de R\$ 3,71.

A “Flail” apresentou a produção horária de  $102,37 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ , sendo acompanhada pelas máquinas de entrega e retirada do processo de descascamento: “Skidder” e “Power-Clamp”.

A sinergia entre as operações de arraste e movimentação dos feixes de árvores descascadas pós-operação da “Flail” é fundamental para a manutenção produtiva do sistema de alternativo. Dessa forma, as manutenções de tais operações devem ser programadas juntamente com as manutenções preventivas e programadas da “Flail”, a fim de se obter maior disponibilidade mecânica para operação.

#### **5.4.1.2 Sistema Convencional**

No sistema convencional, a máquina com maior custo operacional foi a “Harvester”, que totalizou 73,47% do custo por metro cúbico.

Em tal sistema, quando se trabalha em módulo, o qual contenha um parque de máquina definido para uma produção mensal ou anual estipulada, a interdependência entre as máquinas “Harvester” e “Forwarder” é menos expressiva em relação às máquinas do sistema alternativo. Isso porque a “Harvester” realiza as operações de corte, descascamento e desgalhamento simultaneamente, deixando a madeira sem casca e em toras distribuídas ao longo da unidade de produção para posterior baldeio do “Forwarder”. Isso faz com que as máquinas sejam independentes, livres de interferência significativa na cadeia produtiva, caso sejam mantidas as suas condições ideais de operação e manutenção.

A produtividade horária do “Forwarder” foi de 2,87 vezes superior à produção horária da “Harvester”, o que leva à necessidade de se trabalhar com três destas máquinas em campo para acompanhamento da produção horária do “Forwarder”.

#### **5.4.2 Unidade de Produção B**

A produção horária das máquinas em ambos os sistemas, quando operadas na unidade de produção florestal B, foram mais baixas que os valores apresentados na unidade de produção A. Isso se deve à relação direta entre a produtividade horária das máquinas e o volume individual das árvores presentes nos povoamentos

florestais. Os valores de produção horária e custo total de produção são exibidos nas Tabelas 15 e 16.

Tabela 15 - Custo total horário, produção horária e custo de produção por máquina dos sistemas alternativos na unidade de produção B

Sistema	Máquinas	TOTAL (R\$.h <sup>-1</sup> )	Produção Horária (m <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup> )	Custo Total (R\$.m <sup>-3</sup> )
Alternativo	Feller-buncher	315,19	75,97	4,15
	Skidder	250,19	94,23	2,65
	Fail	492,52	65,58	7,51
	Power-Clamp	205,46	65,58	3,13
	Garra- Traçadora	197,87	77,79	2,54
	<b>TOTAL</b>	<b>1.461,23</b>		<b>19,99</b>

Tabela 16 - Custo total horário, produção horária e custo de produção por máquina dos sistemas convencional na unidade de produção B

Sistema	Máquinas	TOTAL (R\$.h <sup>-1</sup> )	Produção Horária (m <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup> )	Custo Total (R\$.m <sup>-3</sup> )
Convencional	Harvester	205,86	11,68	17,63
	Forwarder	214,02	34,39	6,22
	<b>TOTAL</b>	<b>419,89</b>		<b>23,85</b>

#### 5.4.2.1 Sistema Alternativo

Nas condições encontradas na unidade de produção B, a máquina limitante do sistema foi a “Flail”, com produção de 65,58 m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup>, a qual também apresentou o maior custo de produção, totalizado em R\$ 7,51 por metro cúbico produzido.

A “Flail” processou em média 596,23 árvores por hora na unidade de produção B - 18,46% a menos que na unidade de produção A.

Esse impacto na produção é resultado da interação do baixo volume unitário da floresta, o que faz com que o número de mudanças de local de operação da “Flail”, ao longo da unidade de produção, seja mais frequente, resultando numa menor eficiência operacional e, conseqüentemente, menor produção horária.

A movimentação da “Flail” é a chave dessa operação. O estaleiro formado pela “Power-Clamp”, após a operação de descascamento da “Flail”, tem uma altura média

de 1,5m e comprimento regulado pelo alcance do braço e lança da “Power-Clamp”. Após atingir esse limite, a “Flail” tem que ser movimentada para que seja aberta nova área para criação do novo estaleiro de árvores inteiras descascadas.

Durante a experimentação, o pino rei da “Flail” estava acoplado a uma “Dolly” de eixo duplo e a movimentação da “Flail”, em conjunto com a “Dolly”, era realizada com o acoplamento desta última à “Skidder”, promovendo, assim, a movimentação dentro da unidade de produção, conforme apresentado na Figura 47.



Figura 47 - Movimentação da “Flail” conectada à “Dolly” sendo puxada pelo “Skidder”

#### 5.4.2.2 Sistema Convencional

A tendência da “Harvester” em apresentar um custo maior que o “Forwarder” se repetiu na unidade de produção B, na qual a “Harvester” foi responsável por 73,91% dos custos de produção.

O “Forwarder” representou 26,09% do custo de produção, com uma produção horária de  $34,39 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ , e a “Harvester” apontou o resultado de  $11,68 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ .

Minette et al. (2004), analisando o “Forwarder”, encontrou um custo de produção por metro cúbico de R\$ 3,36, com produção horária de  $40,15 \text{ m}^3$  com casca, valor superior ao encontrado no presente experimento. O custo total do sistema convencional para as condições de floresta, encontradas neste estudo, foi de R\$ 23,85 por metro cúbico, custo 23,09% mais elevado que o valor apresentado pelo mesmo sistema nas condições de floresta da unidade de produção A, reforçando a importância e os reflexos que o volume unitário das árvores apresenta sobre os custos de colheita de um sistema mecanizado (Tabelas 17 e 18).

Tabela 17 - Custos totais de produção do sistema alternativo, com as produções apuradas durante o teste das máquinas e a diferença porcentual

Sistema	Máquinas	Fixos Total (R\$.h <sup>-1</sup> )	Variável Total (R\$.h <sup>-1</sup> )	Total Geral (R\$.h <sup>-1</sup> )	UP A	UP B	Porcentual		
					(m <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup> )	(R\$.m <sup>-3</sup> )	(m <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup> )	(R\$.m <sup>-3</sup> )	(%)
Alternativo	Feller-buncher	138,01	177,17	315,19	89,66	3,52	75,97	4,15	
	Skidder	125,08	125,11	250,19	103,53	2,42	94,23	2,65	
	Flail	194,82	297,69	492,52	102,37	4,81	65,58	7,51	
	Power-Clamp	105,32	100,15	205,46	102,37	2,01	65,58	3,13	
	Garra-Traçadora	105,32	92,56	197,87	106,10	1,87	77,79	2,54	
	<b>TOTAL</b>	<b>668,55</b>	<b>792,68</b>	<b>1.461,23</b>		<b>14,62</b>		<b>19,99</b>	<b>26,89%</b>

Tabela 18 - Custos totais de produção do sistema convencional, com as produções apuradas durante o teste das máquinas e a diferença porcentual

Sistema	Máquinas	Fixos Total (R\$.h <sup>-1</sup> )	Variável Total (R\$.h <sup>-1</sup> )	Total Geral (R\$.h <sup>-1</sup> )	UP A	UP B	Porcentual		
					(m <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup> )	(R\$.m <sup>-3</sup> )	(m <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup> )	(R\$.m <sup>-3</sup> )	(%)
Convencional	Harvester	102,98	102,88	205,86	14,46	14,24	11,68	17,63	
	Forwarder	118,61	95,41	214,02	41,63	5,14	34,39	6,22	
	<b>TOTAL</b>	<b>221,59</b>	<b>198,29</b>	<b>419,89</b>		<b>19,38</b>		<b>23,85</b>	<b>18,76%</b>

Paula (2011) determinou o custo da “Harvester”, atuando em floresta de 0,17m<sup>3</sup>.árvores<sup>-1</sup> em 8,45 R\$.m<sup>-3</sup>, valor inferior ao encontrado em ambas unidades de produção florestal deste estudo, o qual deve estar diretamente ligado ao maior volume individual da floresta.

## 6 DISCUSSÕES

O baixo volume unitário de povoamentos florestais ocorre principalmente pela não adaptação dos clones às suas unidades de manejo recomendadas, efeito conhecido como declínio clonal, no qual o clone perde a capacidade de adaptação ao ambiente imputado. Também, podem ocorrer, pela aplicação de um método de manejo inadequado: incêndios florestais, vendavais e outras adversidades ambientais.

Dessa forma, quando há necessidade de realizar a colheita mecanizada de florestas com tais características, a estratégia de processar cada árvore de maneira individualizada, tal como as operações realizadas pelo cabeçote “Harvester”, pode não ser a melhor alternativa. Assim, o conceito de massificação de produção, tal como ocorre dentro das indústrias, pode ser uma alternativa menos custosa.

A necessidade da massificação da colheita florestal com a produção de madeira em toras descascadas em campo é, ainda, um grande desafio no Brasil, pois as máquinas e equipamentos que realizam tal operação de forma massiva foram pouco explorados e utilizados pelas empresas do setor.

Segundo Bramucci (2001), o volume médio das árvores é a variável que melhor explica isoladamente a produtividade alcançada pelas “Harvesters”, seguida por outras variáveis de destaque, tais como: DAP médio, altura média e volume por hectare. Dessa forma, podem ser elencadas as seguintes vantagens quanto ao sistema massivo de descascamento:

- a capacidade de produção efetiva ( $m^3 \cdot h^{-1}$  efetivas trabalhadas) sofre menor influência do volume individual das árvores do povoamento a ser colhido;
- há alta produção horária se as condições de peças, mão de obra especializada e estrutura de campo para as manutenções forem suficientes e adequadas;
- as máquinas mais robustas e com manutenções menos complexas prevêm menor necessidade de formação altamente especializada da mão de obra de manutenção;
- a “Flail” é passível de se trabalhar com correntes duplas ou simples, bem como diferentes pressões de rolo, velocidade e sentido de giro, o que possibilita diferentes configurações para diferentes características de povoamentos florestais.

No entanto, tal sistema também apresenta algumas desvantagens em relação ao sistema “Cut-to-Length”:

- alta interdependência entre as máquinas “Skidder”, “Flail” e “Power-Clamp”, pois o tempo de transferência da madeira de uma máquina para outra é quase momentânea, formando uma cadeia produtiva de alto ritmo de produção;

- necessidade de um estoque mínimo de peças mais estruturado e custoso em campo para que as máquinas não fiquem paradas por motivo de falta desses elementos, uma vez que o sistema é de alta produção horária e pode resultar na elevação dos custos horários e de produção;

- por ainda não ser muito utilizada no Brasil, a “Flail”, ainda, não tem suas peças “tropicalizadas”, o que gera a dependência direta de fornecimento pelo fabricante, o qual geralmente é internacional;

Um dos aprendizados deste estudo foi que a movimentação da máquina “Flail” é a chave para a manutenção do potencial de produção do sistema. Durante a experimentação, foi utilizada uma “Dolly” com cambão acoplada ao “Skidder” para realizar a sua movimentação, porém a “Flail” foi construída, segundo o fabricante, para trabalhar acoplada ao “Picador”, o qual é autopropelido sobre esteiras. Dessa forma, para aumentar as chances de sucesso desse sistema, recomenda-se a utilização de uma “Dolly” autopropelida, ou que o sistema de acoplamento ao “Skidder” seja pneumático ou hidráulico, a fim de reduzir o risco de acidentes e diminuir o tempo de movimentação.

Outra particularidade do sistema alternativo é a de que, no sistema de toras longas, geralmente, o produto final são as porções com casca, as quais seguem para sua utilização dessa maneira, ou são descascadas em tambores nos pátios fabris. Porém, com a utilização de sistemas de cavaco em campo, em conjunto ou não com a “Flail”, para realizar o processo de descascamento, há o acúmulo de resíduos florestais nas praças de processamento ou às margens do talhão devido à sua operação, que ocorre de forma mais concentrada que no processo de toras curtas.

Essa consequência pode ser positiva quando há a utilização dos resíduos florestais, ou pode ser negativa se a estratégia é o seu aproveitamento na ciclagem de nutrientes em campo, que gera a necessidade da distribuição dos resíduos concentrados às margens do carreador novamente em campo, produzindo custos operacionais.

De forma geral, o sistema de alternativo precisa de amadurecimento, tanto das equipes de gestão como das de operação e manutenção, pois por se tratar de um sistema de elevada produção e custos horários, qualquer eventualidade pode causar a interrupção do sistema produtivo, elevando os custos e baixando a produção final. Dessa forma, o treinamento das equipes de campo, o planejamento das manutenções e a movimentação da máquina “Flail” devem ser os focos de atuação das equipes envolvidas.



## 7 CONCLUSÃO

A escolha do sistema de colheita a ser utilizado varia com o volume individual das árvores. Para o presente trabalho, em condições de baixo volume unitário, o sistema alternativo mostrou-se mais vantajoso em relação aos custos de produção (R\$/m<sup>3</sup>) nas unidades de produção experimentadas, bem como no dimensionamento do módulo ideal.

A movimentação da máquina “Flail”, aliada ao planejamento de manutenção, se mostrou como chave de sucesso do sistema alternativo. Para florestas de baixo volume unitário, o sistema alternativo foi mais competitivo que o convencional.



## REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. ASAE D472-3: machinery, equipment, and buildings: operating costs. In: \_\_\_\_\_. **ASAE standards 2001**. Iowa, 2001. p. 164-226.

ANDRADE, S.C.; SOUZA, A.P.; SILVA, E.; NASCIMENTO, A.G.; MACHADO, C.C.; LEITE, H.G.; MINETTI, L.J. Análise dos efeitos da compactação do solo sobre a regeneração das cepas de eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 24, n. 3, p. 261-268, 2000.

ARAKI, D. Observations of a roto-lim delimeter. **Feric Field Note: General**, Pointe Claire, n. 28, p.1-2, Apr.1993.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS. **Anuário estatístico da ABRAF 2010**: ano base 2009. Brasília, 2010. 140 p. Disponível em: < <http://www.abraflor.org.br/estatisticas/ABRAF10-BR.pdf>>. Acesso em: 15 abr. 2013

\_\_\_\_\_. **Anuário estatístico da ABRAF 2011**: ano base 2010. Brasília, 2011. 130 p. Disponível em: < <http://www.abraflor.org.br/estatisticas/ABRAF11/ABRAF11-BR.pdf>>. Acesso em: 15 abr. 2013

\_\_\_\_\_. **Anuário estatístico da ABRAF 2012**: ano base 2011. Brasília, 2012. 149 p. Disponível em: < <http://www.abraflor.org.br/estatisticas/ABRAF12/ABRAF12-BR.pdf>>. Acesso em: 15 abr. 2013

ATHANASSIADIS, D.; WÄSTERLUND, I. Life cycle assessment of forestry machines. In: SEMINARIO DE ATUALIZAÇÃO SOBRE SISTEMAS DE COLHEITA DE MADEIRA E TRANSPORTE FLORESTAL, 10., 1998, Curitiba. **Anais...** Curitiba: UFPR, FUPEF, 1998. p. 107-115.

BARNES, R.M. **Motion and time study**: design and measurement of work. 6<sup>th</sup> ed. New York: John Willey, 1968. 799 p.

BRACELPA – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CELULOSE E PAPEL. **Dados do setor 2013**. São Paulo, 2013. 29 p.

BRAMUCCI, M. **Determinação e quantificação de fatores de influência sobre a produtividade de “Harvesters” na colheita de madeira**. 2001. 65 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2001.

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

CAMARGO JUNIOR, R.R. **Benchmarking internacional Austrália e Austimber 2012**. Limeira: Suzano, 2012. 20 p. (Relatório interno Benchmarking).

DEDECK, R.A.; GAVA, J.L. Influência da compactação do solo na produtividade da rebrota e eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 29, n. 3, p. 383-390, 2005.

FAO. **State of the world's Forests 2011**. Rome, 2012. 179 p.

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

FERNANDES, H.C. Colheita e transporte florestal X compactação do solo. **Revista Folha**, Viçosa, ed. especial, p. 10-11, 1997.

FERNANDES, H.C.; LOPES, S.E.; TEIXEIRA, M.M.; MINETTE, L.J.; RINALDI, P.C.N.; BERNARDES, A.M. Avaliação das características técnica e econômica de um sistema de colheita florestal de árvores inteiras. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 37, n. 83, p. 225-232, 2009.

FIEDLER, N.C.; ROCHA, E.B.; LOPES, E.S. Análise da produtividade de um sistema de colheita de árvores inteiras no norte do estado de Goiás. **Floresta**, Curitiba, v. 38, n. 4, p. 577-586, 2008.

FOEKEL, C. **Casca da árvore do eucalipto**: aspectos morfológicos, fisiológicos, florestais, ecológicos e industriais, visando a produção de celulose e papel. Disponível em: <[http://www.eucalyptus.com.br/capitulos/capitulo\\_casca.pdf](http://www.eucalyptus.com.br/capitulos/capitulo_casca.pdf)>. Acesso em: 15 mar. 2013.

FOLKEMA, M.P.; GIGUERE, P. Delimiting with a chain flail and a knuckle-boom load. **Feric Technical Report**, Pointe Claire, n. 35, p. 1-28, 1979.

FRANKLIN, G.S. Model 23 flail chiparvestor delimeter-debarker-chipper: productivity and chip quality in hardwood. **Feric Technical Note**, Pointe Claire, n.187, p. 1-6, 1993.

FREITAS, M.; ANTIQUEIRA, A.C. Sistema mecanizado de colheita florestal na Champion papel e celulose Ltda. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 7., 1993, Curitiba. **Anais...** São Paulo: SBS; SBEF, 1993. v. 2, p. 686-687.

GARLIPP, R.; FOELKEL, C. O papel das florestas plantadas para atendimento das demandas futuras da sociedade. In: CONGRESSO FLORESTAL MUNDIAL, 12., 2009, Buenos Aires. **Anais...** Buenos Aires: FAO, 2009. 18 p.

GREACEN, E.L.; SANDS, R. Compactation of forest soil: a review. **Australian Journal Soil Research**, Melbourne, v. 18, n. 2, p. 163-189, 1980.

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

HASSAN, A.E.; SIROIS, D.L. Transaction and rolling resistance of a dual-tired Skidder on Wtland. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 28, n. 5, p. 1038-1042, 1985

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

JACOVINE, L.A.G.; MACHADO, C.C.; SOUZA, A.P.; LEITE, H.G. Avaliação da perda de madeira em cinco subsistemas de colheita florestal. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 25, n. 4, p. 463-470, 2001

KALLIO, M.; LEINONEM A. **Production technology of forest chips in Finland**. Jyväskylä: VTT Energy, 2005.103 p. (Technical Report, RO2/P2032/05).

KERRUICH, C.M.; MOORE, G.A.; Potential Harvesting system for row thinning of plantations for pulpwood. In: AGRICULTURAL ENGINEERING CONFERENCE, 1980, Geelong. **Proceedings...** Geelong: Engineers Australia, 1980. p. 89-93.

KOGER, J.L.; BURT, E.C.; TROUSE, A. C. Multiple pass effects of skidder tires on soil compaction. **Transaction of the ASAE**, St. Joseph, v. 28, n. 2, p. 11-16, 1985

LAMBERT, M.B., HOWARD, J.O. **Cost and productivity of new technology for harvesting and in-woods processing small-diameter trees**. Portland: Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station, 1990. 44 p. (RP-PNW-430).

LIMA, J.S.S.; SOUZA, A.P.; MACHADO, C.C.; VIEIRA, L.B.; FERNANDES, H.C. Avaliação da compactação do solo em um sistema de colheita de madeira. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 24, n. 3, p. 276-282, 2000.

LIRA FILHO, J.; SOUZA, A.P.; MACHADO, C.C. Avaliação do impacto da exploração florestal no meio ambiente. In: SIMPOSIO BRASILEIRO SOBRE COLHEITA E TRANSPORTE FLORESTAL, 1., 1991, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: SIF, 1991. p. 35-52.

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

\_\_\_\_\_. **Colheita florestal**. 2. ed. Viçosa: UFV, 2008. 501 p.

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

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

MALINOVSKI, J.R.; CAMARGO, C.; MALINOVSKI, R. Sistemas. In: MACHADO, C.C. (Org.). **Colheita florestal**: Viçosa: UFV, 2002. p. 145-164.

MALINOVSKI, R.A.; MALINOVSKI, R.A.; MALINOVSKI, J.R.; YAMAJI, Y.F.M. Análise nas variáveis de influência na produtividade das máquinas de colheita de madeira em função das características físicas do terreno, do povoamento e do planejamento operacional florestal. **Floresta**, Curitiba, v. 36, n. 2, p. 169-182, 2006.

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

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

MIRANDA, G.M.; SILVA, M.L.; MACHADO, C.C. Contribuição da casca na composição do custo de transporte da madeira de eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 26, n. 2, p. 145-148, 2002.

MOREIRA, F.M.T.; SOUZA, A.P.; MACHADO, C.C.; MINETTI, L.M.; SILVA, K.R. Avaliação operacional e econômica do “Feller-Buncher” em dois sistemas de colheita de florestas de eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 28, n. 2, p. 199-205, 2004.

ORTOLAN, F.A.S.; CLAUDIO, O.; AZEVEDO, E.W.; ANTIQUEIRA, A.C.; BONISCH, H. Aproveitamento da biomassa residual de colheita florestal. In: SEMINÁRIO DE ATUALIZAÇÃO SOBRE SISTEMAS DE COLHEITA DE MADEIRA E TRANSPORTE FLORESTAL, 14., 2006, Curitiba. **Anais...** Curitiba: UFPR, FUPEF, 2006. p. 133-144.

PAULA, E.N.S.O. **Avaliação técnicas, de custos e ambiental de dois modelos de Harvester na colheita florestal**. 2011. 68 p. Tese (Doutorado em Ciências) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2011.

PIGGOTT, R.R.; THOMPSON, R.A. Drum debarking: key factors for design and performance. **Tappi Journal**, Atlanta, v. 70, n. 8, p. 37-41, 1987.

RAGHAVEN, G.S.V.; McKYES, E.; BEAULINEU, E. Prediction of clay soil compaction. **Journal of Terramechanics**, Quebec City, v. 14, n. 1, p. 31-38, 1977.

RANKLIN, G.S. Flail chain reactions observed in slow motion. **Feric Field Note: Processing**, Pointe Claire, n. 37, p. 1-2, 1993.

RAUEN, V.; DORNELLES, R.; BOLZAN, E.J. O descascamento mecanizado de eucalipto. **Silvicultura**, São Paulo, v. 8, n. 28, p. 587-594, 1983.

RAYMOND, K.A.; FRANKLIN, G.S. Chain flail delimeter-debarkers in eastern Canada: a preliminary assessment. **Feric Technical Note**, Pointe Claire, n. 153, p. 1-8, 1990a.

\_\_\_\_\_. Turpeinen Limb-beater flail delimber. **Feric Field Note: Processing**, Pointe Claire, n. 21, p. 1-2, 1990b

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

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

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

SANTOS, S.L.M.; MACHADO, C.C.; MINETTI, L.J.; VALE, A.B. Avaliação técnica e econômica do descascamento mecânico de toras de diferentes comprimentos em florestas de eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 25, n. 3, p. 345-351, 2001.

SEIXAS, F. **Mecanização e exploração florestal** Piracicaba: ESALQ, Departamento de Ciências Florestais. 1998. 125 p. (Apostila de disciplina).

SIMÕES, D. **Avaliação econômica de dois sistemas de colheita florestal mecanizada de eucalipto**. 2008. 105 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2008.

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

SIMÕES, D.; IAMONTI, I.C.; FENNER, P.T. Avaliação técnica e econômica do corte de eucalipto com *feller-buncher* em diferentes condições operacionais. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 20, n. 4, p. 649–656, 2010.

SOUZA, A.P.; MACHADO, C.C. **Exploração florestal** Viçosa: SIF; UFV, 1985. 24 p. (Boletim Técnico, 1).

STEPHERSON, E.H. Flail debarking: a historical perspective and review of current technology. In: STROKES, B.J. **Harvesting small trees and forest residues**: International Energy Agency/bioenergy. Auburn: USDA, Forest Service, 1989. p. 162-169.

SUZANO. Departamento de Engenharia de Processos. **Madeira descascada com Flail x Harvester Teste Industrial 2012**. Mucuri, 2012. 12 p. (Relatório interno Teste Industrial).

TANAKA, O.K. Exploração e transporte da cultura de eucalipto. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 12, n. 141, p. 24-30, 1986.

TAYLOR, R.W **The chain flail**: a practical answer to delimiting problems? Pretoria: THAT; CSIRO, 1977. 3 p.

\_\_\_\_\_. **Flail delimiting**. Pretoria: THAT; CSIRO, 1978. 3 p.

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

## APÊNDICE



