

SEBASTIÃO EUDES LOPES

ANÁLISE TÉCNICA E ECONÔMICA DE UM SISTEMA DE COLHEITA
FLORESTAL

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

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2007

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

T

L864o
2007

Lopes, Sebastião Eudes, 1968-
Análise técnica e econômica de um sistema de colheita
florestal / Sebastião Eudes Lopes. – Viçosa, MG, 2007.
xviii, 124f.: il. col. ; 29cm.

Inclui apêndice.

Orientador: Haroldo Carlos Fernandes.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.

1. Máquinas agrícolas. 2. Máquinas florestais.
3. Otimização matemática. 4. Madeira - Exploração.
I. Universidade Federal de Viçosa. II. Título.

CDD 22.ed. 631.372

SEBASTIÃO EUDES LOPES

ANÁLISE TÉCNICA E ECONÔMICA DE UM SISTEMA DE COLHEITA
FLORESTAL

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

APROVADA: 2 de abril de 2007.

Prof. Luciano José Minette
(Co-Orientador)

Prof. Amaury Paulo de Souza
(Co-Orientador)

Prof. Francisco de Assis de Carvalho Pinto Prof. Joseph Kalil Khoury Junior

Prof. Haroldo Carlos Fernandes
(Orientador)

À minha família.

AGRADECIMENTO

A Deus, por tudo.

À minha família e aos meus familiares, em especial aos meus pais Alevino Lourenço Lopes (*in memoriam*) e Maria Luiza Firmino Lopes, pela oportunidade de realizar este sonho.

À Universidade Federal de Viçosa, em especial ao Departamento de Engenharia Agrícola, pelo oferecimento do curso.

À empresa CODEMIN, pela oportunidade de realizar este trabalho, e aos seus funcionários, em especial ao Engenheiro Fardin e ao João Alves, pelo apoio logístico e pelo companheirismo.

Ao Professor Haroldo Carlos Fernandes, pela orientação, pela paciência e amizade, pelas sugestões e pelo apoio.

Aos Professores Luciano José Minette, Mauri Martins Teixeira e Nerilson Terra Santos, pela contribuição na realização deste trabalho, pelas sugestões e pela atenção.

Ao César Augusto Graeser, pelo incentivo.

Aos meus colegas de pós-graduação da área de Mecanização, pelo incentivo e pela amizade durante todo o processo de realização do doutorado.

Aos professores e funcionários do Departamento de Engenharia Agrícola e aos técnicos do Laboratório de Mecanização Agrícola, pela colaboração.

BIOGRAFIA

SEBASTIÃO EUDES LOPES, filho de Alevino Lourenço Lopes e Maria Luiza Firmino Lopes, nasceu em 26 de junho de 1968, em Cajuri, MG.

Em 1987, concluiu o curso de Técnico Agrícola pela Central de Ensino e Desenvolvimento Agrário de Florestal, em Florestal, MG.

No período de 2 de fevereiro de 1988 a 4 de abril de 2002, trabalhou na Divisão Florestal da Cia. Suzano de Papel e Celulose.

Em 1994, ingressou na Universidade Braz Cubas, em Mogi das Cruzes, SP, graduando-se em Engenharia Industrial Mecânica em dezembro de 1999.

Em dezembro de 2002, concluiu o curso de Pós-Graduação *Lato Sensu* em Engenharia de Segurança do Trabalho pela Universidade Federal de Juiz de Fora, em Juiz de Fora, MG.

Em abril de 2001, iniciou o Programa de Pós-Graduação, em nível de Mestrado, em Engenharia Agrícola da UFV, concluindo-o em fevereiro de 2003.

Em março de 2003, ingressou no Programa de Pós-Graduação, em nível de doutorado, em Engenharia Agrícola da UFV, submetendo-se à defesa de tese em abril de 2007.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE QUADROS.....	ix
LISTA DE FIGURAS.....	xi
RESUMO.....	xiii
ABSTRACT.....	xvi
INTRODUÇÃO GERAL.....	1
REFERÊNCIAS.....	6
CAPÍTULO I.....	8
AVALIAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS TÉCNICA E ECONÔMICA DE UM SISTEMA USADO PARA A COLHEITA FLORESTAL DE TORAS LONGAS.....	8
RESUMO.....	8
ABSTRACT.....	11
1. INTRODUÇÃO.....	13
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	17
2.1. Caracterização da área de estudo.....	17
2.2. Seleção da área.....	18
2.3. Descrição do sistema de corte, extração e traçamento.....	19
2.4. Características técnicas das máquinas analisadas.....	22
2.4.1. Feller-Buncher.....	22

	Página
2.4.2. Skidder.....	24
2.4.3. Garra Traçadora	24
2.5. Descrição do ciclo operacional das máquinas	27
2.5.1. Ciclo operacional do Feller-Buncher	27
2.5.2. Ciclo operacional do Skidder	27
2.5.3. Ciclo operacional da Garra Traçadora	28
2.6. Delineamento estatístico.....	29
2.7. Grau de disponibilidade mecânica	29
2.8. Eficiência operacional	30
2.9. Determinação da produtividade operacional.....	30
2.10. Determinação dos custos operacionais das máquinas analisadas	31
2.10.1. Custos fixos (CF)	31
2.10.1.1. Depreciação (Dp)	31
2.10.1.2. Juros sobre o capital (J).....	32
2.10.1.3. Taxa de seguros	33
2.10.2. Custos variáveis (CV)	33
2.10.2.1. Custo de combustível (CC)	33
2.10.2.2. Custo de lubrificantes e graxas (CLG)	33
2.10.2.3. Custo do óleo hidráulico (COH)	34
2.10.2.4. Custo de pneus/esteiras (CPE).....	34
2.10.2.5. Custo com manutenção (CM)	35
2.10.2.6. Custo de transporte de pessoal (CTP).....	35
2.10.2.7. Custo de transporte de maquinário (CTM).....	35
2.10.2.8. Custo de pessoal operacional (COM)	35
2.10.2.9. Custo de administração (CAD).....	35
2.10.3. Custo operacional total (CT)	36
2.10.4. Determinação do custo de produção	36
2.10.5. Determinação do rendimento energético	36
2.10.6. Determinação do custo de produção e rendimento energético total do sistema de colheita estudado	37

	Página
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
3.1. Feller-Buncher	38
3.1.1. Análise dos elementos do ciclo operacional do Feller-Buncher	39
3.1.1.1. Deslocamento vazio.....	39
3.1.1.2. Corte	40
3.1.1.3. Deslocamento para descarga	40
3.1.1.4. Interrupções	40
3.1.2. Tempo efetivo total do ciclo operacional	41
3.1.3. Custo operacional, custo de produção e rendimento energético do Feller-Buncher	42
3.2. Skidder.....	44
3.2.1. Análise das operações do ciclo operacional do Skidder	46
3.2.1.1. Deslocamento vazio.....	46
3.2.1.2. Carregamento	46
3.2.1.3. Deslocamento com carga (Arraste).....	47
3.2.1.4. Descarregamento.....	47
3.2.1.5. Encabeçamento	47
3.2.1.6. Interrupções	47
3.2.2. Tempo efetivo total do ciclo operacional	48
3.2.3. Análise da produtividade do Skidder.....	48
3.2.4. Custo operacional, custo de produção e rendimento energético do Skidder	49
3.3. Garra Traçadora	51
3.3.1. Composição dos elementos parciais da Garra Traçadora .	53
3.3.2. Tempo efetivo total do ciclo operacional.....	53
3.3.3. Análise da produtividade da Garra Traçadora	54
3.3.4. Custo operacional, custo de produção e rendimento energético da Garra Traçadora.....	54
3.2.5. Custo de produção do sistema	55
4. CONCLUSÕES.....	58
REFERÊNCIAS	59

	Página
CAPÍTULO 2.....	62
SIMULAÇÃO DO DESEMPENHO TRATIVO DO TRATOR “SKIDDER” NO ARRASTE DE TORAS SEMI-SUSPENSAS	62
RESUMO	62
ABSTRACT.....	64
1. INTRODUÇÃO.....	66
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	71
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	80
4. CONCLUSÕES.....	89
REFERÊNCIAS	90
CAPÍTULO 3.....	92
DESENVOLVIMENTO DE UM DISPOSITIVO ELETRÔNICO PARA MARCAÇÃO AUTOMÁTICA DO PONTO DE TRAÇAMENTO DA MADEIRA	92
RESUMO	92
ABSTRACT.....	94
1. INTRODUÇÃO.....	96
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	102
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	108
4. CONCLUSÕES.....	111
REFERÊNCIAS	112
APÊNDICES	114
APÊNDICE A	115
APÊNDICE B	118
APÊNDICE C.....	124

LISTA DE QUADROS

	Página
CAPÍTULO 1	
1. Características técnicas do Feller-Buncher	23
2. Características técnicas do Skidder	25
3. Características técnicas da Garra Traçadora.....	26
4. Análise de variância dos valores de tempo gasto nas operações do ciclo operacional do Feller-Buncher nas produtividades analisadas.....	38
5. Média do tempo gasto em segundos para realizar cada operação pelo Feller-Buncher em cada um dos níveis de produtividade	39
6. Análise estatística do tempo total que compõe o ciclo operacional do Feller-Buncher	41
7. Teste de média dos tempos totais que compõem o ciclo operacional do Feller-Buncher	42
8. Custo de produção e rendimento energético do Feller-Buncher, em função do volume de madeira produzido	43
9. Síntese da análise de variância do efeito das operações do Skidder na produtividade e distância de arraste	44

	Página
10. Teste de média para analisar o efeito das operações do Skidder na produtividade e distância de arraste	45
11. Teste de média dos tempos de arraste do ciclo operacional do Skidder, nas produtividades analisadas.....	46
12. Rendimento energético (g kW m ³) do Skidder em função do volume de madeira produzida.....	50
13. Custo de produção do Skidder (U\$\$ m ⁻³) em função da produtividade do talhão.....	50
14. Síntese da análise de variância das operações que compõem o ciclo operacional	52
15. Médias dos tempos gastos nas operações que compõem o ciclo operacional da Garra Traçadora, em diversos níveis de produtividade	52
16. Custo de produção e rendimento energético da Garra Traçadora	55
17. Custo de produção do sistema (U\$\$ m ⁻³) em função das distâncias e produtividades analisadas.....	56
 CAPÍTULO 2	
1. Constantes que caracterizam o comportamento da força de tração bruta para pneus diagonais.....	74
2. Valores encontrados na simulação do esforço tratório	86
 CAPÍTULO 3	
1. Tempos e comprimentos médio e máximo, desvio-padrão e coeficiente de variação dos toretes traçados pela Garra Traçadora.....	110

LISTA DE FIGURAS

	Página
CAPÍTULO 1	
1. Disposição dos feixes derrubados pelo Feller-Buncher	20
2. Disposição dos feixes arrastados do Skidder na margem da estrada	21
3. Disposição da madeira após a etapa de processamento com o Garra Traçadora.....	22
4. Vista geral do Feller-Buncher.....	24
5. Vista geral do Skidder	25
6. Vista geral da Garra Traçadora.....	26
7. Produtividade e custo de produção do Feller-Buncher nas produtividades analisadas.....	43
8. Comportamento da produtividade do Skidder em função das distâncias de arraste e produção por hora efetiva	48
9. Distribuição porcentual dos itens que compõem o custo operacional do Skidder	49
10. Comparação entre a produtividade e o custo de produção do Skidder nas distâncias de arraste analisadas	51
11. Distribuição porcentual dos itens que compõem o custo operacional da Garra Traçadora	54

	Página
12. Comportamento da produção e custo da garra nas três produtividades.....	56
 CAPÍTULO 2	
1. Vista geral do Skidder	72
2. Tela de apresentação do programa	80
3. Valores de resposta do programa após a simulação	81
4. Calibração da balança antes do início de cada arraste	82
5. Valores da força de arraste para altura máxima	83
6. Valores da força de arraste para a altura mínima.....	84
7. Valores de forças simulados e observados para uma altura máxima de arraste	85
8. Valores de forças simulados e observados para uma altura mínima de arraste	85
9. Valores de potência do motor e esforço na barra, simulados e observados para altura máxima da barra.....	87
10. Valores de potência do motor e esforço na barra, simulados e observados para altura máxima da barra.....	87
 CAPÍTULO 3	
1. Evolução da demanda e produtividade da mão-de-obra no setor florestal sueco	98
2. Vista geral da Garra Traçadora.....	103
3. Posicionamento da tora-padrão	103
4. Localização do sensor na base da máquina	105
5. Posição do sensor instalado na base da máquina.....	105
6. Vista do contador no interior da cabine.....	106
7. Vista do operador no interior da cabine do ponto de traçamento..	106
8. Diagrama de funcionamento do sistema.....	107
9. Vista do contador, no interior da cabine, sendo calibrado	109
10. Vista do contador, no interior da cabine, em funcionamento	109

RESUMO

LOPES, Sebastião Eudes, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, abril de 2007. **Análise técnica e econômica de um sistema de colheita florestal** Orientador: Haroldo Carlos Fernandes. Co-Orientadores: Luciano José Minette, Mauri Martins Teixeira e Nerilson Terra Santos.

Os sistemas de colheitas manuais foram os primeiros a serem adotados, em sua maioria, na exploração de florestas nativas, sem a preocupação com a racionalização e produtividade das atividades. No Brasil, as primeiras operações de colheita florestal foram realizadas ao longo da costa, na época da descoberta, e a principal espécie comercializada foi o pau-brasil. A seleção de máquinas e o desenvolvimento de sistemas operacionais constituem o grande desafio para a redução dos custos e da dependência de mão-de-obra nas operações de colheita e transporte florestal. Esta pesquisa teve como objetivo geral otimizar o sistema de colheita florestal, sendo os objetivos específicos: avaliar as características técnicas e econômicas das máquinas, simular o esforço tratório do trator Skidder e desenvolver um dispositivo eletrônico para marcação automática do ponto de traçamento da madeira. A análise técnica do sistema consistiu de um estudo de tempos e movimentos, com os objetivos de identificar e analisar os elementos do ciclo operacional de cada máquina estudada, bem como suas interrupções. A análise econômica consistiu na determinação dos

custos operacionais e da produção das máquinas. Para avaliar os valores do Feller-Buncher e da Garra Traçadora, foi empregado um delineamento estatístico inteiramente casualizado com seis repetições, em esquema de parcelas subdivididas. Adotaram-se como parcelas as operações que compõem o ciclo operacional das máquinas e, como subparcelas, os níveis de produtividade da floresta de 100, 200 e 300 m³ ha⁻¹. Os valores foram submetidos à análise de variância e ao teste de Tukey a 5% de probabilidade. Para avaliar o efeito dos tempos gastos nas operações do ciclo operacional do Skidder nas produtividades de 100, 200 e 300 m³ ha⁻¹ e nas distâncias de arraste de 100, 200 e 300 m, assim como avaliar suas interações quando significativas, utilizou-se um delineamento estatístico em blocos casualizados em esquema fatorial 6 x 3 x 3, sendo seis operações, três produtividades e três distâncias de arraste, com quatro repetições. Os valores foram submetidos à análise de variância e ao teste de Tukey a 5% de probabilidade. Para modelagem do comportamento dinâmico do trator arrastador Skidder, implementou-se o modelo proposto pela Standard 497.4 (ASAE, 2000), desenvolvendo um programa computacional para prever o comportamento da eficiência de tração, da força e da potência disponível na pinça do trator Skidder. Para realizar as simulações, utilizou-se a linguagem de programação VISUAL BASIC, versão 6.0. Para a simulação do esforço tratório do Skidder, foram fornecidos ao programa as características dos rodados motrizes, as especificações dos pneus, os parâmetros operacionais e as propriedades do terreno. E para o controle do ponto de traçamento dos toretes foram utilizados: um contador controlador programável linha TP 02, marca WEG, que funciona através de um gerador de pulsos baseado em sensor de proximidade do tipo indutivo, modelo M 12 X 1 CC, com invólucro metálico, proteção contra curto-circuito e rearme automático. De acordo com os estudos, concluiu-se que: o Feller-Buncher registrou o maior custo de produção dentro do sistema e foi a máquina principal do sistema, cuja capacidade produtiva se baseou na sua produtividade, com capacidade de 6.197,93; 10.623,09; e 18.328,99 m³ mês⁻¹, trabalhando em florestas de 100, 200 e 300 m³ ha⁻¹, respectivamente. O modelo de simulação apresentou valores de força de tração simulados semelhantes aos dos experimentos da altura de arraste, sendo a máxima altura o maior esforço.

Os resultados foram conclusivos, uma vez que, para uma patinagem de 6 a 9%, os valores não apresentaram diferenças significativas, independentemente da altura de arraste, sendo que na altura máxima o trator apresentou seu maior esforço. Os valores encontrados nos comprimentos dos toretes quando medidos pelo dispositivo eletrônico e pela tora-padrão ficaram próximos do desejado e estatisticamente não apresentaram diferenças. O sensor utilizado não foi capaz de zerar automaticamente os valores quando o operador ultrapassou a medida desejada. Os valores de tempo não foram satisfatórios, sendo os medidos pelo dispositivo superiores ao mensurados com a tora-padrão. O dispositivo não apresentou valores de tempo de traçamento que viabilizasse sua utilização, necessitando de ajustes principalmente quanto ao tempo de traçamento. Para otimização do sistema, concluiu-se que este deve trabalhar em floresta de $300 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ e com distância de arraste de até 200 m.

ABSTRACT

LOPES, Sebastião Eudes, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, April, 2007. **Technical and economic analysis of a forest harvest system.** Adviser: Haroldo Carlos Fernandes. Co-Advisers: Luciano José Minette, Mauri Martins Teixeira and Nerilson Terra Santos.

Hand logging systems were the first adopted, mostly, in the exploitation of native forests, with no concern with the rationalization and productivity of such activities. In Brazil, the first activities of forest harvesting were carried out along the coast, at that time of discovery, when the main traded species was brazilwood. Machine selection and development of operating systems constitute a great challenge to the reduction of costs and dependence on labor in harvesting operations and forest transport. The general objective of this research was to optimize the forest harvesting system, and the specific ones were to evaluate the technical and economic characteristics of the machines, simulate the tractive effort of the Skidder and to develop an electronic device for automatic demarcation of wood bucking point. The technical analysis was based on a study of times and movements to identify and analyze the phases of the operating cycle of each studied machine and their delays. The economic analysis consisted of determining machine operating and production costs. Feller-Buncher and Slacher data were evaluated in a complete randomized design, with six replications, in a splitplot arrangement, with the phases of the machine operating cycle in

whole plots and the levels of productivity 100, 200 and 300 m³ ha⁻¹ in subplots. Data were subjected to analysis of variance and the Tukey test at 5% of probability. To evaluate the effect of the times spent in the operating cycle by the Skidder at the productivity levels of 100, 200 and 300 m³ ha⁻¹ and the dragging distances of 100, 200 and 300 m, as well as evaluating the significant interactions, a randomized block design was used, in a 6x3x3 factorial arrangement (six operations, three productivities and three dragging distances), with four replications. Data were subjected to analysis of variance and the Tukey test at 5% of probability. To model the dynamic behavior of the skidding tractor we used the model proposed by the Standard 497.4 (ASAE, 2000), developing a piece of software to predict the efficiency behavior of traction, force and the available potency on the log tong of the Skidder. To accomplish the simulations, a piece of software was developed using the programming language VISUAL BASIC version 6.0. To simulate the Skidder tractive effort, the program was supplied with data on wheel characteristics, tire specifications, operational parameters and soil properties. The control of bucking length used a TP 02 WEG programmable counter, working through a pulse generator based on an inductive proximity sensor M12 X 1 CC in metal housing, with protection against short circuit and automatic rearming. The results led to the conclusion that the Feller-Buncher recorded the highest production cost and was the most important machine within the system, with productive capacity based on its productivity, i.e., 6,197.93, 10,623.09, and 18,328.99 m³ month⁻¹, when working in forests of 100, 200 and 300 m³ ha⁻¹ respectively. The simulation model generated values for simulated traction force similar to the experiments of dragging heights, with the maximum height giving the largest effort. The results were conclusive, since for 6 to 9% skidding, there were no significant differences, independently of the dragging height, and at maximum height the tractor showed the largest effort. The values found for the log lengths when electronically measured and by the standard log were close to the required and showed no significant differences. The sensor was not automatically capable of reset the values when the operator surpassed the required length. The time values were not satisfactory, being the ones electronically measured above those measured with the standard log. The device

produced no bucking times feasible for its use, needing adjustment. For optimization, the system should work in a $300 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ forest with dragging distance up to 200 m, with volumes of bunches larger than the currently in use.

INTRODUÇÃO GERAL

No Brasil, as primeiras atividades de colheita florestal foram realizadas ao longo da costa, na época da descoberta, sendo a principal espécie comercializada o pau-brasil (VALVERDE, 1995).

Os sistemas de colheitas manuais foram os primeiros a serem adotados na exploração de florestas nativas, sem preocupação com a racionalização e produtividade das atividades, sendo ainda hoje utilizados em pequena escala, geralmente na obtenção de madeira para uso doméstico.

A primeira ferramenta utilizada no abate de árvores foi o machado, empregado em diversos setores florestais. Na década de 1940 era utilizado nas explorações tropicais de menor desenvolvimento, como em madeiras destinadas à polpa, e no corte de toras para serraria (MACHADO 1981).

A mecanização das atividades de colheita de madeira se iniciou nos países da Escandinávia na década de 1950, sendo os primeiros tratores florestais importados do Canadá e da União Soviética no final dessa década. Anteriormente à mecanização, os sistemas de toras curtas eram os únicos utilizados, obviamente em função da maior facilidade de manuseio das toras por parte de homens e animais. A partir da importação desses tratores, a madeira passou a ser retirada da floresta também na forma de toras longas ou árvores inteiras. Mesmo assim, os sistemas de toras curtas mantiveram a predominância. Segundo Machado e Castro (1985), cerca de 90% da

madeira ainda é colhida naquele país na forma de toras curtas por meio, principalmente, de Harvesters (colhedoras), Forwarders (tratores florestais autocarregáveis) e Skidders (tratores florestais arrastadores).

Foi na década de 1960, com o advento dos incentivos fiscais, que o setor florestal brasileiro teve seu maior crescimento, pois muitas empresas começaram a manifestar interesse pelo setor, desenvolvendo pesquisas, plantando em novas áreas e gerando tecnologias. As evoluções, no que se refere aos órgãos governamentais e à sociedade, são bastante notáveis a partir dessa década, quando as atividades florestais passaram a ser mais bem estudadas, pois deixavam de ter caráter simplesmente extrativista para serem vistas como atividades comerciais que deveriam ser mais bem planejadas. Nessa fase, também foram introduzidas as primeiras motosserras, equipamentos que, segundo Pires (1996), revolucionaram a colheita florestal, uma vez que permitiram um avanço tecnológico determinante nas operações de corte florestal.

Na década de 1980, iniciou-se um processo de melhoria das máquinas, incorporando ao processo de colheita o conceito de manejo florestal. Paralelamente, teve início a utilização de tratores derrubadores (Feller-Buncher) de tesoura hidráulica e de serra, arraste com tratores agrícolas adaptados com pinça, chamados de Miniskidders, e desgalhamento com grades, cujo objetivo era reduzir o contato do homem com as árvores, diminuindo o risco de acidentes. Nessa década, nos países europeus, especialmente na Escandinávia, e nos anos de 1990, no Brasil, começou a discussão em torno do fator ambiental na utilização econômica de florestas. Simultaneamente, com a redução das taxas de importação e outras facilidades o Brasil entrou de vez no processo de mecanização da colheita de madeira (MALINOVSKI, 1996).

A atividade florestal é um dos mais promissores segmentos da economia em diversos países, considerando-se que a produção madeireira é a condição básica para o desenvolvimento de importantes indústrias na área de siderurgia, de papel e celulose, de movelaria, de construção civil e de outros setores (SOBRINHO, 1995).

Em se tratando de produtos como a celulose, o Brasil vem obtendo ganhos de competitividade, via aumento na participação desse mercado, ao

longo das últimas três décadas, conforme estudo de Medeiros e Fontes (1994).

De acordo com a Duratex (1999), com a abertura das importações grande parte das empresas iniciou a mecanização da colheita. Desde então, tem-se verificado aumento contínuo no número de máquinas no país e, em maior escala, na colheita de floresta de 1ª rotação, em que o alto volume de madeira e a homogeneidade da floresta colaboram para a sua viabilização.

De acordo com Santos (1995), a atividade florestal oferece um mercado de trabalho intenso e permanente, além de evitar o êxodo rural, principalmente em regiões onde o trabalho é escasso. Em termos médios, essa atividade possibilita a geração de quatro empregos diretos para cada 100 ha implantados, mostrando, dessa forma, a sua importância social e econômica.

As exportações desse segmento atingiram o recorde histórico de US\$ 6,95 bilhões de dólares, cujo volume expressa o potencial do setor para crescimento, com reflexos diretos na geração de empregos e impostos, no consumo de matérias-primas e em investimentos em tecnologia e máquinas (RECH, 2005).

A seleção de máquinas e o desenvolvimento de sistemas operacionais constituem o grande desafio para a redução dos custos e da dependência de mão-de-obra nas operações de colheita e transporte florestal (EQUIPE TÉCNICA DA DURATEX, 1997). A escolha da máquina, ou sistema a ser empregado, varia em função de vários fatores, como topografia do terreno, declividade, solo, clima, comprimento da madeira, incremento da floresta, uso da madeira e, por último, o nível de tecnologia que se deseja (MACHADO, 2002)

O campo da engenharia que trata dos dispositivos eletrônicos e de sua utilização é a eletrônica. Esta é a parte da física que estuda e utiliza as variações de grandezas elétricas para captar, transmitir e processar informações. Trata-se dos circuitos elétricos e instrumentos constituídos por válvulas termiônicas, dispositivos semicondutores (como transistores, termitores e circuitos integrados), tubos de raios catódicos e outros componentes, entre os quais aqueles baseados no efeito fotoelétrico. Os aparelhos eletrônicos têm numerosas aplicações em nosso dia-a-dia.

Integram os sistemas de telecomunicações, radiodifusão, televisão, rádio-astronomia, telecomando e telemedidas, eletromedicina, aparelhagem auxiliar de navegação marítima e aérea e sistemas de aplicações industriais, entre outros (BERTULANI, 2004).

O baixo custo dos computadores, a proliferação de softwares de simulação e processamento de dados georreferenciados, a disponibilidade de controladores em tempo real, sistemas de navegação mais precisos e o desenvolvimento de sensores eletrônicos têm permitido o monitoramento das atividades com aquisições de dados com maior confiabilidade e de forma instantânea.

Em muitos países onde os métodos de colheita são mais avançados e a mão-de-obra é muito cara, os níveis de tecnologia das máquinas têm recebido muita atenção. O gerenciamento de sistemas mecanizados florestais é um exemplo desses avanços.

Seixas (1986) ressaltou a necessidade de se conhecerem as atividades desenvolvidas em uma operação florestal, sendo que o levantamento de informações deve servir de base para qualquer interferência que se queira fazer.

Não obstante, é necessário destacar que as florestas apresentam outros valores, tão importantes quanto os socioambientais, que são difíceis de mensurar e contabilizar. Esses valores se referem às funções de proteção de encostas e de margens de cursos d'água, rodovias e ferrovias, contra erosão, lixiviação e queda de barreiras, de regulação e manutenção da qualidade das águas etc., além das funções de gerar lazer e recreação (VALVERDE, 2000).

Considerando que a colheita mecanizada é uma atividade recente no Brasil, que as máquinas são de custos elevados e que há escassez de pesquisas para a sua adequação nas condições brasileiras de trabalho, este estudo teve como objetivo geral a otimização de um sistema de colheita de madeira de toras longas. Seus objetivos específicos foram os seguintes:

1. Avaliar as características técnica e econômica de um sistema usado para a colheita de árvores inteiras.

2. Simular o desempenho trativo do trator Skidder no arraste de toras semi-suspensas.
3. Desenvolver um dispositivo eletrônico para marcação automática do ponto de traçamento da madeira.

REFERÊNCIAS

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

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

MACHADO, C.C. **Exploração florestal II**. Viçosa, MG: UFV, Impr. Univer., 1981. 15 p.

MACHADO, C.C. **Colheita florestal**. Viçosa, MG: Editora UFV, 2002. 53 p. (Apostila).

MEDEIROS, V.X.; FONTES, R.M. Competitividade das exportações brasileiras de celulose no mercado internacional. **Revista Brasileira de Economia e Sociologia Rural**, v. 32, n. 2, p. 105-121, 1994.

MALINOVSKI, J. R. Novas tendências em sistemas de colheita de madeira. In: PRIMER SEMINARIO DE ACTUALIZACIÓN EN SISTEMAS DE COSECHA Y TRANSPORTE FORESTAL, Eldorado, Misiones, Argentina. **Actas...** Eldorado: Universidad Nacional de Misiones/ Facultad de Ciencias Forestales, 1996. p. 59-64.

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

RECH, C. Exportações atingem recorde de US\$ 7 bilhões em 2004. **Revista da Madeira**, Curitiba, n. 88, 2005.

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

SEIXAS, F. Compactação do solo devido à mecanização florestal. **Circular Técnica IPEF**, n. 163, p.1-10, 1996.

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

SOUZA, A. P.; MACHADO, C. C.; MINETTI, L. J.; JACOVINE, L. A. G. Perspectivas na área de colheita e transporte florestal. **Revista da Madeira**, Curitiba, n. 51, 2000.

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

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

CAPÍTULO 1

AVALIAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS TÉCNICA E ECONÔMICA DE UM SISTEMA USADO PARA A COLHEITA FLORESTAL DE TORAS LONGAS

RESUMO

A avaliação dos sistemas de colheita de madeira, independentemente do grau de mecanização utilizado, é uma ferramenta fundamental para correções ou qualquer alteração do processo de produção, visando à racionalização e otimização dos recursos utilizados. Como as condições do trabalho são variáveis, determinados sistemas não são devidamente adaptados, seja por questões de mão-de-obra desqualificada, pelo destino final da madeira, ou pela variabilidade produtiva da floresta. Com o desenvolvimento tecnológico, passou-se a buscar o aperfeiçoamento da relação custo-benefício e homem-máquina, com a finalidade de adequar o sistema de colheita ao local específico de trabalho e impor ao homem uma carga de trabalho mais suave, visando à redução da fadiga e, conseqüentemente ao aumento da produtividade do sistema. No Brasil, existem ainda poucos dados a respeito da real influência dessas variáveis e da capacidade produtiva que se pode esperar das máquinas e dos operários em determinadas condições de trabalho. Em função disso, este trabalho teve como objetivo fazer uma análise técnica e econômica de um sistema de

colheita florestal. Para isso, este estudo foi conduzido em povoamentos de eucalipto de uma empresa florestal do Estado de Goiás. O sistema estudado foi composto de: um Feller-Buncher, um Skidder e uma Garra Traçadora. A análise técnica consistiu em um estudo de tempos e movimentos, com os objetivos de identificar e analisar os elementos do ciclo operacional de cada máquina estudada, bem como suas interrupções. Outros parâmetros técnicos determinados foram a produtividade, a disponibilidade mecânica e a eficiência operacional de cada máquina. A análise econômica consistiu na determinação dos custos operacionais e da produção de madeira das máquinas. Para avaliar esses valores de produtividade do Feller-Buncher e da Garra Traçadora, foi empregado um delineamento estatístico inteiramente casualizado com seis repetições, em esquema de parcelas subdivididas. Adotaram-se como parcelas as operações que compõem o ciclo operacional das máquinas e como subparcelas, os níveis de produtividade de 100, 200 e 300 m³ ha⁻¹. Os valores foram submetidos à análise de variância e ao teste de Tukey a 5% de probabilidade. Para avaliar o efeito dos tempos gastos nas operações do ciclo operacional do Skidder nas produtividades de 100, 200 e 300 m³ ha⁻¹ e nas distâncias de arraste de 100, 200 e 300 m, assim como avaliar suas interações quando significativas, utilizou-se um delineamento estatístico de blocos casualizados, em esquema fatorial 6x3x3, sendo seis operações, três produtividades e três distâncias de arraste, com quatro repetições. Os valores foram submetidos à análise de variância e ao teste de Tukey a 5% de probabilidade.

De acordo com os estudos, concluiu-se que o Feller-Buncher registrou o maior custo de produção dentro do sistema e foi a máquina que limitou a produção, principalmente quando trabalhou em florestas de 100 e 200 m³ ha⁻¹. Seu custo de produção dentro do sistema foi de 4,85; 2,83; e 1,64 US\$ m⁻³, para as produtividades de 100, 200 e 300 m³ ha⁻¹, respectivamente. O custo confirma a influência da produtividade da floresta no preço final do equipamento.

O Skidder é a máquina de melhor disponibilidade mecânica e operacional. Seu melhor desempenho foi na distância de 200 m e uma produtividade da floresta de 300 m³ ha⁻¹. O rendimento da Garra Traçadora foi afetado pelo volume de madeira e pelo arranjo dos feixes na pilha. O

Skidder teve seu melhor desempenho no talhão de $300 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, na distância de até 200 m. Apesar de apresentar alto rendimento, foi registrado o maior custo, $1,26 \text{ US\$ m}^{-3}$, quando se trabalhou com a produtividade de $300 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ e na distância de 300 m. A Garra Traçadora apresentou custos de 0,97; 0,75; e $0,63 \text{ US\$ m}^{-3}$ para as produtividades de 100, 200 e $300 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, respectivamente; o baixo custo explica o alto rendimento da máquina. A capacidade produtiva do sistema é de 6.197,93; 10.623,09; e 18.328,99 $\text{m}^3 \text{ mês}^{-1}$, quando as máquinas trabalharam em florestas com produtividades de 100, 200 e $300 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, respectivamente.

ABSTRACT

EVALUATION OF TECHNICAL AND ECONOMIC CHARACTERISTICS OF A TREE-LENGTH HARVESTING SYSTEM

This study was carried out in eucalyptus stands of a forest company in the State of Goiás, aiming at a technical and economic evaluation of a harvesting system. The studied system consisted of 1 Feller-Buncher, 1 Skidder and 1 Slacher. The technical analysis was based on a study of times and movements to identify and analyze the phases of the operating cycle of each studied machine and their delays. Other technical parameters such as productivity, mechanical availability and the operational efficiency were also determined for each machine. The economic analysis consisted of determining machine operating and production costs. Feller-Buncher and Slacher data were evaluated in a complete randomized design, with six replications, in a splitplot arrangement, with the phases of the machine operating cycle in whole plots and the levels of productivity 100, 200 and 300 m³ ha⁻¹ in subplots. Data were subjected to analysis of variance and the Tukey test at 5% of probability. To evaluate the effect of the times spent in the operating cycle by the Skidder at the productivity levels of 100, 200 and 300 m³ ha⁻¹ and the dragging distances of 100, 200 and 300 m, as well as evaluating the significant interactions, a randomized block design was used, in a 6x3x3 factorial arrangement (six operations, three productivities and

three dragging distances), with four replications. Data were subjected to analysis of variance and the Tukey test at 5% of probability. The results led to the conclusion that the Feller-Buncher recorded the highest production cost within the system and was a limit factor for production, particularly when working in forests of 100 and 200 m³ ha⁻¹. The Skidder showed the best mechanical and operational availability. Its best performance was found for 200 m and a forest productivity of 300 m³ ha⁻¹. The Slacher productivity was affected by wood volume and log pile arrangement. Feller-Buncher had the highest production cost within the system; 4.85; 2.83, and 1.64 US\$ m⁻³ for the productivities 100, 200 and 300 m³ ha⁻¹ respectively. This cost confirms the influence of the forest productivity on the machine final price. The Skidder had its best performance in the compartment of 300 m³ ha⁻¹ and distance up to 200 m. Although presenting high yield, the highest cost (1.26 US\$ m⁻³) was found for the productivity of 300 m³ ha⁻¹ and distance of 300 m. The Slacher recorded costs of 0.97; 0.75; and 0.63 US\$ m⁻³ for the productivities 100, 200 and 300 m³ ha⁻¹ respectively; this low cost explains the high yield of the machine. The system productive capacity was 6,197.93; 10,623.09; and 18,328.99 st month⁻¹ when the machines worked in forests with productivities of 100, 200 and 300 m³ ha⁻¹ respectively.

1. INTRODUÇÃO

A avaliação dos sistemas de colheita de madeira, independentemente do grau de mecanização utilizado, é uma ferramenta fundamental para correções ou qualquer alteração no processo de produção, visando à racionalização e otimização dos recursos utilizados. Trata-se, ainda, de instrumento indispensável na comparação de diferentes métodos ou equipamentos.

A introdução de máquinas para a realização de tarefas, que antes eram realizadas manualmente, desencadeou várias pesquisas voltadas para a implantação do melhor sistema de colheita florestal (MACHADO, 2002). Como as condições do trabalho são variáveis, determinados sistemas não são devidamente adaptados, seja por questões de mão-de-obra desqualificada, seja pelo destino final da madeira ou pela variabilidade produtiva da floresta.

Com o desenvolvimento tecnológico, passou-se a buscar o aperfeiçoamento da relação custo/benefício e homem/máquina, com as finalidades de adequar o sistema de colheita ao local específico de trabalho e impor ao homem uma carga de trabalho mais suave, visando à redução na fadiga e, conseqüentemente, ao aumento na produtividade do sistema (MENEZES et al., 1985).

No Brasil existem ainda poucos dados a respeito da capacidade produtiva que se pode esperar das máquinas e dos operários em

determinadas condições de trabalho. As estimativas de produtividade e custos baseados em dados fornecidos pelos fabricantes das máquinas ou obtidas em trabalhos realizados em outros países não são confiáveis, uma vez que refletem dados obtidos em condições totalmente diversas, no que diz respeito ao sistema silvicultural, ao clima e à formação profissional do operador, ficando clara a necessidade de realização de estudos específicos para as condições brasileiras (BRAMUCCI, 2001).

A escolha do sistema de colheita deve levar em considerações variáveis como a experiência e habilidade da mão-de-obra, espécie florestal, produtividade, distância de arraste, transporte, desempenho da máquina, capital requerido e característica do terreno. A exclusão de algumas dessas variáveis resultará em problemas operacionais e ineficiência na análise do processo de colheita (CONWAY, 1976; SALMERON, 1980; MACHADO, 1984). Esses autores também citaram algumas formas de expressar a eficiência da atividade de colheita no que se refere ao maquinário, dentre as quais estão: o consumo de potência diário para produzir e transportar determinado volume de madeira ou, ainda, a relação do consumo de combustível para dada potência demandada.

No Brasil, embora a mão-de-obra não qualificada ainda seja mal remunerada, os custos com esse fator de produção têm sido incrementados pela evolução dos custos sociais. Moreira (1992) citou um aumento de 308% (de 35 a 108% do salário pago ao trabalhador) nos custos sociais no período de 1970 a 1992. Segundo ele, esse índice pode ser maior ou menor, de acordo com a política de cada empresa, porém esse aumento, aliado a bolsões de falta de mão-de-obra, foi determinante para viabilizar a mecanização das operações florestais, em função do maior rendimento operacional oferecido por essa tecnologia.

Ainda com relação ao fator mão-de-obra, um ponto importante a considerar é o treinamento. Para o sucesso da colheita florestal, há que se combinarem máquinas com boa eficiência, serviços de assistência técnica local e operadores e mecânicos bem preparados. Investir em treinamento significa reduzir custos de produção, riscos de acidentes e danos ao ambiente.

Machado et al. (1990) classificaram os custos em diretos, indiretos e casuais. Os custos diretos são os relacionados com a mão-de-obra, material e outras despesas que afetam diretamente o custo total; os indiretos seriam os custos como aluguel, seguros, impostos e depreciação. Já os custos casuais são aqueles esporádicos, como multas ou prêmios por atraso ou entrega antecipada, respectivamente. Porém, há outros métodos de cálculo que consideram os custos com seguro e depreciação como custos diretos (MACHADO, 1994).

Para Miyata (1980), o custo operacional das máquinas dá uma noção para as avaliações econômicas e os estudos comparativos entre sistemas, através da variação das grandezas de seus parâmetros. Os seus componentes são: valor de aquisição, vida útil, valor residual, taxa de remuneração, seguros e outras taxas, utilização anual, mão-de-obra, combustível e manutenção dos maquinários (pneus, esteiras, peças etc.). Já Valverde (1995) e Pereira (1997) utilizaram essa metodologia acrescentando o custo de administração.

O sistema de mecanização exige uso de máquinas que apresentem custos compatíveis com mínimo impacto no meio ambiente e proporcione ao operador boas condições de trabalho (MINETTE, 1988).

Os sistemas de colheita de madeira mais comuns são os sistemas de toras longas e de toras curtas. O sistema de toras longas envolve corte e desganhamento das árvores no local de abate, transporte e posterior processamento à margem da estrada ou no pátio. No sistema de toras curtas, as árvores são cortadas e processadas em toras, com dimensões de acordo com o uso final, no próprio local de abate. A combinação Skidder + Feller-Buncher pode ser considerada representativa no sistema de toras longas, enquanto o módulo Harvester + Forwarder trabalha em um sistema de colheita com processamento das árvores no local de abate (SEIXAS, 2002).

Para Machado e Castro (1985), as vantagens do sistema de toras longas são: a área fica limpa de resíduos, diminuindo o risco de incêndios, utilização da biomassa como fonte energética, concentração de várias operações em um único ponto, o que permite maior controle das operações e, conseqüentemente, maior rendimento operacional, em comparação com o

sistema de toras curtas, que tem como principal vantagem a exploração de áreas com condições topográficas desfavoráveis.

Já Seixas et al. (2004) consideraram o estudo de tempos e movimentos uma técnica muito importante no desenvolvimento de sistemas de colheita de madeira, pois o tempo consumido para cada um dos elementos do ciclo de trabalho permite a organização do trabalho, com os objetivos de otimizar o sistema operacional com o mínimo de tempos improdutivo; deduzir a produtividade e o custo por unidade produzida em relação a certos fatores relevantes; e, em combinações com medidas ergonômicas, estabelecer o esforço humano requerido para cada uma das atividades.

A distribuição dos tempos no trabalho do Feller-Buncher, estudado por Lima e Sant'Anna (2001), demonstrou que o tempo efetivo de trabalho da máquina não chegou a 30% do seu dia típico de trabalho, sendo 48% do seu tempo gasto com as atividades gerais. Dentro dessas atividades, a manutenção corretiva foi a que consumiu o maior tempo, chegando a 34% do dia.

Birro (2002), avaliando a extração de madeira com Track-Skidder em região montanhosa, relatou que, aumentando a distância de extração, o deslocamento da máquina passou a ser um item significativo em seu ciclo de operação, afetando significativamente a eficiência operacional da máquina.

Um bom planejamento é fundamental para o sucesso de qualquer empreendimento. A implantação, a condução e a colheita de povoamentos florestais, entre outras atividades, devem ser bem dimensionadas, para otimizar os recursos e atender aos objetivos propostos (SOARES, 1999).

Uma das técnicas utilizadas no planejamento e na otimização das atividades de colheita é o estudo de tempo e movimento (ANDRADE, 1998). O objetivo básico é determinar o tempo necessário para a realização de uma atividade definida, estabelecida por método racional e executada em cadência normal por uma pessoa qualificada e habituada a determinada técnica (BARNES, 1968).

Em razão disso, este trabalho teve por objetivo fazer uma análise técnica e econômica de um sistema de colheita florestal de árvore inteira.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Caracterização da área de estudo

A pesquisa foi conduzida em povoamentos florestais de uma empresa mineradora do grupo Anglo-América na região de Niquelândia, no Estado de Goiás. Situado a 14° 28' 26" de latitude sul e 48° 27' 35" de longitude oeste, com 583 m de altitude, esse município possui clima tropical úmido, sendo que a temperatura média do município situa-se em torno de 32 °C. Sua produção anual de ferro-níquel gira em torno de 19.820 toneladas, sendo a produção de níquel contido nessa mistura de 6.000 toneladas/ano. O tipo de solo predominante na região é o Latossolo Vermelho-Escuro (LE), álico, horizonte A moderado, com textura de média a arenosa e relevo plano a suave-ondulado (CODEMIN, 2006).

O sistema de colheita mecanizada utilizado na empresa é o de toras longas, envolvendo o corte e desgalhamento das árvores no local de abate, transporte e posterior processamento à margem da estrada ou no pátio. As máquinas que compõem o sistema são: um trator derrubador-amontoador Feller-Buncher, um trator arrastador (Skidder) e uma escavadora hidráulica equipada com uma Garra Traçadora.

Neste estudo foi avaliada a operação de arraste da madeira em três distâncias: 100, 200 e 300 m, bem como o sistema de colheita em três níveis de produtividade: 100, 200 e 300 m³ ha⁻¹, baixa, média e alta produtividade,

respectivamente. A produtividade do talhão foi fornecida pelo setor de inventário da empresa.

Após selecionar os talhões com as produtividades desejadas, demarcaram-se as áreas, onde as parcelas foram alocadas para as coletas dos dados. As parcelas foram demarcadas com o auxílio de uma trena, com 20 m de largura, em 100, 200 e 300 m de comprimento.

O trabalho compreendeu de duas etapas: a primeira foi o acompanhamento, no campo, das atividades operacionais de colheita (corte, extração e processamento), realizando um estudo de tempos e movimentos com acompanhamento das interrupções do trabalho das máquinas, visando obter informações importantes sobre o seu ciclo operacional, assim como fornecer subsídios para uma avaliação técnica do sistema.

A metodologia adotada para o estudo de tempos e movimentos foi segundo Valverde (1995), Moreira (2000) e Barnes (1968). Os tempos gastos nas etapas dos ciclos foram medidos utilizando-se dois cronômetros da marca Technos, com precisão de 0,01 s, sendo um para medir as etapas do ciclo e outro para o tempo total. A segunda etapa consistiu na determinação dos custos operacionais e de produção de cada máquina, obtendo-se, assim, subsídios para uma avaliação econômica do sistema estudado.

2.2. Seleção da área

Segundo a metodologia proposta por Barnes (1968), foi definido o número de observações do ciclo operacional de cada máquina, a fim de atingir o número de verificações necessárias para proporcionar um erro de amostragem máximo de 5%, por meio da seguinte expressão:

$$n \geq \frac{t^2 + CV^2}{E^2} \quad \text{equação 1}$$

em que:

n = número mínimo de ciclos necessários;

t = nível de probabilidade desejado a $(n-1)$ graus de liberdade;

CV = coeficiente de variação, em porcentagem; e

E = erro admissível, em porcentagem.

O coeficiente de variação foi definido conforme amostras dos tempos médios das máquinas nas diferentes produtividades.

Conhecendo o número de observações necessárias e levando em consideração as faixas de corte do Feller-Buncher, normalmente utilizadas pela empresa, definiu-se o tamanho mínimo da área a ser explorada para o sistema que proporcionasse o número mínimo de observações a serem coletadas.

A partir desse ponto, foram selecionados três talhões com as características desejadas (floresta com baixo, médio e alto volume de madeira).

Dentro do talhão selecionado foram alocadas as seis parcelas com quatro repetições de 32 linhas de plantio cada. Procurou-se alocar as parcelas de forma que, dentro de cada uma delas, as condições de sub-bosque, terreno, declividade e padrão da floresta fossem as mais homogêneas possíveis.

2.3. Descrição do sistema de corte, extração e traçamento

O sistema de colheita utilizado pela empresa é de toras longas, em que as árvores são abatidas dentro do talhão e extraídas até a margem da estrada.

A faixa de corte do Feller-Buncher adotada pela empresa era de quatro linhas, em que a máquina trafegava sobre a 2ª linha de plantio, realizando o corte da 1ª e 2ª linhas por um lado e o da 3ª e 4ª linhas por outro.

O Feller-Buncher iniciava a derrubada com quatro linhas de corte direcionando a base dos feixes das árvores para a extremidade do talhão. Cada eito foi dividido em oito linhas de 100, 200 e 300 m, de acordo com a distância preestabelecida para o arraste pelo Skidder. Após realizar a derrubada das quatro linhas, formando os feixes a aproximadamente 45° em

relação ao alinhamento de plantio, o Feller-Buncher retornava em direção ao início da segunda linha, formando, assim, o eito.

Depois da derrubada dos eitos nas três distâncias, o Feller-Buncher deslocava-se para a extremidade do talhão, iniciando, assim, a derrubada de uma nova parcela. A Figura 1 ilustra a disposição da madeira e o sentido de corte do Feller-Buncher.

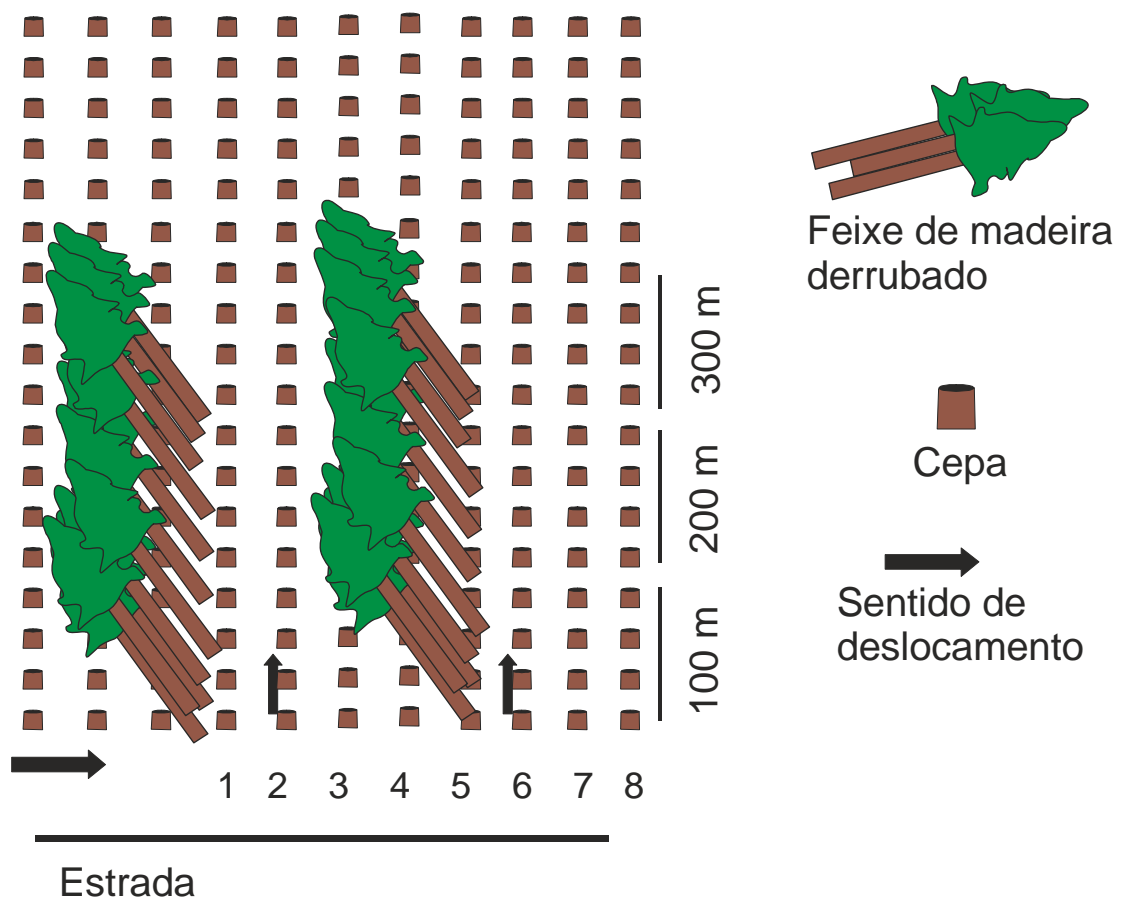


Figura 1 – Disposição dos feixes derrubados pelo Feller-Buncher.

A etapa seguinte foi a extração, feita com o Skidder, o qual se deslocava da margem da estrada até próximo do local onde se encontravam os feixes. Ao aproximar-se, o operador iniciava a manobra para a fixação do feixe, posicionando a máquina com a traseira próxima deste; em seguida, acionava a abertura das garras da pinça, abaixando-a, prendendo e

suspendendo o feixe parcialmente em relação ao solo, iniciando-se o arraste em direção à margem do talhão, onde, então, ele era posicionado.

Entre os feixes arrastados e a estrada florestal era deixado um espaço de 10 m, sendo reservados 4 m entre os feixes arrastados e a madeira processada, para movimentação da máquina que realizaria o processamento, mais 6 m, que era o comprimento da madeira processada na margem do talhão. A Figura 2 ilustra a disposição dos feixes arrastados pelo Skidder na margem da estrada.

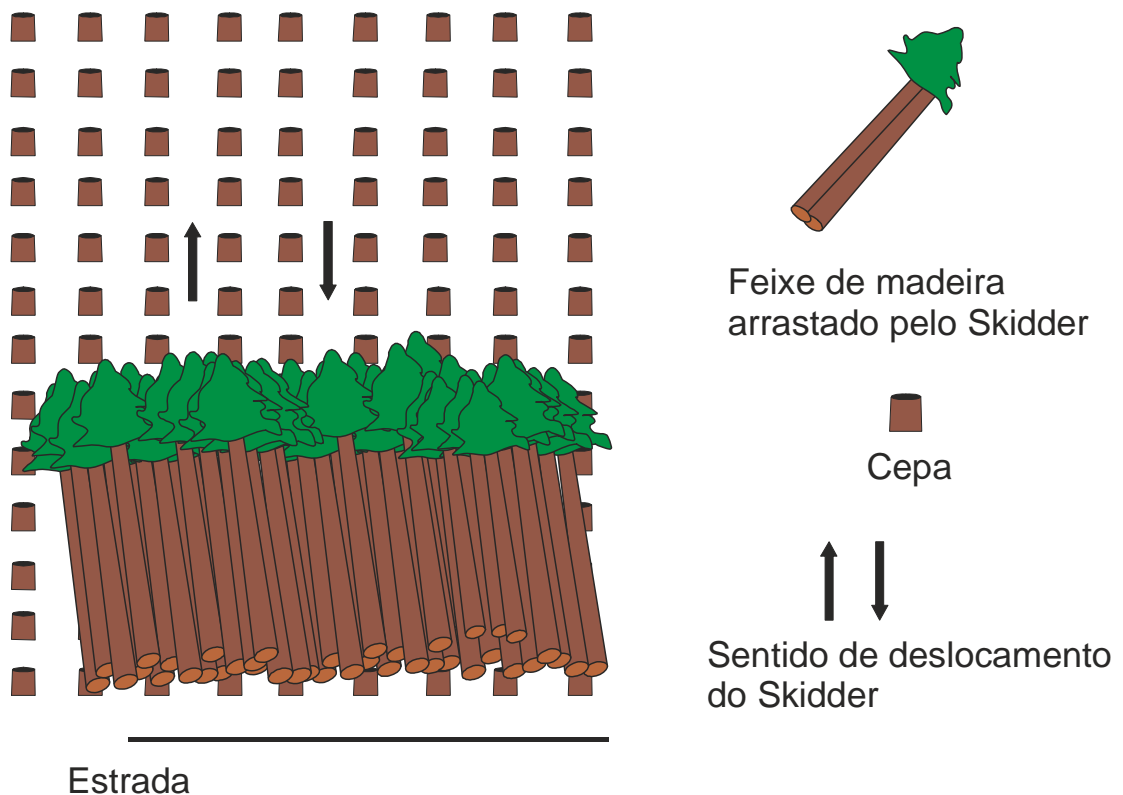


Figura 2 – Disposição dos feixes arrastados pelo Skidder na margem da estrada.

A etapa final do sistema consistiu no processamento da madeira, realizado pela Garra Traçadora, que se deslocava em uma faixa de 4 m entre os feixes arrastados pelo Skidder e as pilhas formadas pela madeira já

processada. A galhada era depositada entre os feixes arrastados pelo Skidder e a pilha formada na margem do talhão.

O processamento consistia na fixação de algumas árvores dos feixes arrastados pelo Skidder, sendo, então, suspensas e movimentadas até o ponto em que seriam formadas as pilhas, onde eram seccionadas em toras de 6 m de comprimento, conforme Figura 3.

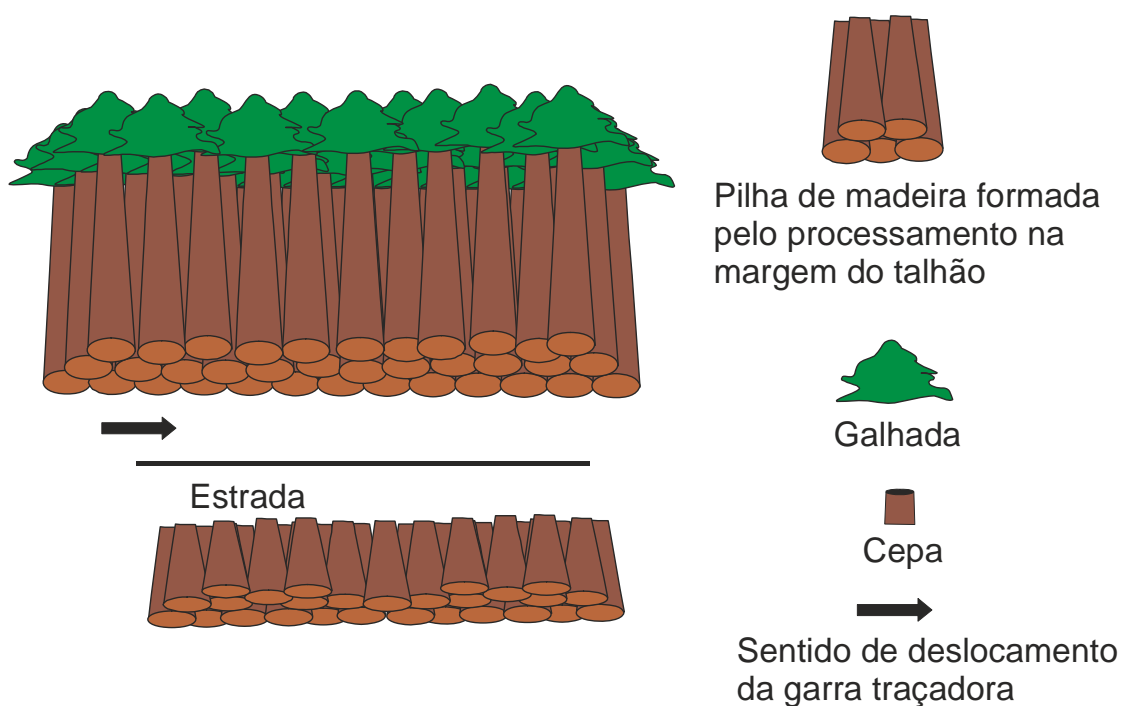


Figura 3 – Disposição da madeira após a etapa de processamento com a Garra Traçadora.

2.4. Características técnicas das máquinas analisadas

2.4.1 Feller-Buncher

As principais características técnicas da máquina estão detalhadas no Quadro 1.

Quadro 1 – Características técnicas do Feller-Buncher

Características			
Marca	Modelo	Fabricação	Potência Nominal
Caterpillar	320 CL	2003	103 kW
Cabeçote de corte			
Modelo	Cap. de corte	Peso	Nº de Bits
Hotdins	450 mm	19,5 kN	16
Características dimensionais e ponderais			
Peso de operação	Rodados	Largura da máq.	Altura da máq.
19,70 kN	Esteiras\600 mm	3.180 mm	2.930 mm
Cap. reabastecimento			
T. de combustível	Sist. hidráulico	T. hidráulico	Óleo motor
400 L	200 L	120 L	30 L
Ruído (cabine Caterpillar)			
74 dB(A)			

Fonte: Caterpillar (2003).

As principais características da máquina são cortar, acumular e deslocar-se com as árvores em pé no seu cabeçote, depositando-as em um local dentro da área de corte. A Figura 4 ilustra o Feller-Buncher terminando o eito de corte.

O procedimento de corte do Feller-Buncher consiste na fixação da árvore por duas garras à altura do DAP (diâmetro altura do peito) e, em seguida, no corte um pouco acima do nível do solo, com o disco de corte.

Após o corte da primeira árvore, é acionado o braço acumulador, firmando essa árvore na cabeça de corte e reabrindo as garras para uma nova operação; completada a capacidade de carga do Feller-Buncher, as árvores são, então, descarregadas, formando feixes.



Figura 4 – Vista geral do Feller-Buncher.

2.4.2. Skidder

O Skidder é um trator florestal articulado com tração 4x4, com um sistema rodante traseiro e dianteiro nas mesmas dimensões, e suas principais características técnicas são apresentadas no Quadro 2.

O Skidder é equipado com uma pinça na traseira e uma lâmina na parte frontal, que auxilia o empilhamento e a limpeza de vias de acesso, conforme mostrado na Figura 5.

2.4.3. Garra Traçadora

As principais características da Garra Traçadora são mostradas no Quadro 3.

A garra traçadora é composta por uma escavadora hidráulica com esteira, à qual é adaptada uma garra para traçamento da madeira (Figura 6).

Quadro 2 – Características técnicas do Skidder

Características			
Marca		Modelo	Fabricação
Caterpillar	Trator 4 x 4 art.	525 B	2003
	Motor		
Pot. nominal	Torque	Curso	Cilindrada
119 kW	779,1 e 1.400 Nm	127 mm	7,24 L
	Pinça de arraste		
Modelo	Área da pinça	Peso	Pot. de arraste
CAT	1,04 m ²	8,14 kN	172 kN
Características dimensionais e ponderais			
Peso de operação	Pneus	Largura da máq.	Altura da máq.
16,24 kN	30,5L x 32 PR	3.533 mm	3.419 mm
	Cap. de reabastecimento		
T. de combustível	Sist. hidráulico	T. hidráulico	Óleo motor
315 L	62,5 L	120 L	27 L
	Ruído (cabine Caterpillar)		

Não indicado

Fonte: Caterpillar (2003).



Figura 5 – Vista geral do Skidder.

Quadro 3 – Características técnicas da Garra Traçadora

Características			
Máquina-base Escavadora hidráulica	Marca Caterpillar	Modelo 320 CL	Ano fabricação 2004
Pot. nominal 103 kW	Diâmetro 102 mm	Curso 130 mm	Cilindrada 6,37 L
Motor			
Conjunto de corte			
Modelo Sabre\corrente	Cap. de corte 450 mm	Cap. carga 30 kN	Alcance máx. 854 mm
Características dimensionais e ponderais			
Peso de operação 19,70 kN	Material rodante 600 mm	Largura da máq. 3.180 mm	Altura da máq. 2.930 mm
Cap de reabastecimento			
T. de combustível 400 L	Sist. hidráulico 200 L	T. hidráulico 120 L	Óleo motor 30 L
Ruído (cabine Caterpillar)			
74 dB(A)			

Fonte: Caterpillar (2003).



Figura 6 – Vista geral da Garra Traçadora.

A garra fixa as árvores depois do correto posicionamento da máquina, acionando o disco de corte e realizando o traçamento. Assim que são traçados os feixes de toras com o comprimento de 6 m, o operador repete esse procedimento até os feixes não mais permitir o traçamento no comprimento desejado, iniciando-se, assim, a etapa de empilhamento.

2.5. Descrição do ciclo operacional das máquinas

Para condução do estudo de tempo, foi feita uma subdivisão dos movimentos executados pelas máquinas na realização das operações, ora denominados elementos do ciclo operacional.

2.5.1. Ciclo operacional do Feller-Buncher

Deslocamento vazio: iniciou-se exatamente quando, após completar a derrubada de um feixe, o Feller-Buncher dirigia-se ao encontro da próxima árvore (touça) que seria abatida e terminava quando apoiava o cabeçote de corte no chão, pronto para acionar o disco de corte.

Corte: iniciou-se quando o cabeçote de corte estava totalmente apoiado no chão, próxima à árvore que seria abatida, terminando depois de abatida a última árvore.

Deslocamento para o descarregamento: iniciou-se quando os braços de corte estavam totalmente fechados e a última árvore estava cortada, terminando no instante em que todo o feixe estava no chão.

Interrupções: foram registrados todos os tempos em que a máquina não estava realizando as atividades anteriormente mencionadas, assim como uma descrição da causa de cada interrupção. Registraram-se as interrupções inerentes ao ciclo operacional, também chamadas de dificuldades operacionais, vindo fazer parte do tempo total do ciclo.

2.5.2. Ciclo operacional do Skidder

Os elementos que compuseram o ciclo operacional de arraste com o Skidder foram:

Deslocamento vazio: iniciou-se no exato momento em que o Skidder começava a se deslocar da margem da estrada em direção aos feixes no interior do talhão e terminou quando, estando próximo ao feixe que seria arrastado, começava a manobra para o carregamento.

Carregamento: iniciou-se quando o Skidder, após manobrar, estava posicionado para o carregamento e acionava a abertura das garras da pinça, terminando quando esta se encontrava carregada e com a base do feixe suspensa.

Deslocamento carregado: iniciou-se exatamente quando o Skidder começava a se deslocar com a carga parcialmente suspensa e terminou quando chegava próximo às pilhas, na margem da estrada.

Descarregamento: iniciou-se quando, ao se aproximar da pilha na margem da estrada, o operador manobrava e posicionava adequadamente o feixe na pilha, terminando quando o feixe foi liberado da pinça.

Manobras para carga e descarga: iniciavam-se quando, depois do deslocamento, o Skidder posicionava-se para carregar ou descarregar e iniciar um novo ciclo.

2.5.3. Ciclo operacional da Garra Traçadora

A operação da Garra Traçadora começava com o elemento deslocamento vazio, que correspondia ao movimento da garra para busca de toras e ao somatório dos deslocamentos feitos na hora do corte. Logo após, dava-se início ao elemento recolhimento de árvores. O corte começava com o acionamento do sabre e finalizava com o seu desligamento. Foram registrados os tempos que se consumia para colocar a tora de madeira utilizada para padronização do tamanho e o tempo de posicionamento de madeiras utilizadas como suporte para as demais toras.

Para as coletas dos dados do ciclo operacional foram utilizados um cronômetro sexagesimal, uma prancheta e formulários específicos, onde foram registrados os dados.

Os tempos dos elementos do ciclo foram registrados na forma sexagesimal e, posteriormente, convertidos para a forma centesimal.

2.6. Delineamento estatístico

Para avaliar o efeito das operações dos níveis de produtividade nos tempos gastos pelo Feller-Buncher e pela Garra Traçadora nos diferentes níveis de produtividade, foi empregado um delineamento estatístico inteiramente casualizado com seis repetições, no esquema em parcelas subdivididas com quatro operações de colheita em três níveis de produtividades. Adotaram-se como parcelas as operações (tempo de corte, deslocamento vazio, deslocamento para descarga e interrupções) que compõem o ciclo operacional das máquinas e, como subparcelas, os níveis de produtividade 100, 200 e 300 m³ ha⁻¹. Os tempos observados foram submetidos à análise de variância e ao teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Para avaliar o efeito das operações do ciclo operacional do Skidder nas produtividades de 100, 200 e 300 m³ ha⁻¹ e nas distâncias de arraste de 100, 200 e 300 m, utilizou um delineamento estatístico em blocos casualizados no esquema fatorial 6 x 3 x 3, sendo seis operações, três produtividades e três distâncias de arraste, com quatro repetições. Os tempos observados foram submetidos à análise de variância e ao teste de Tukey a 5% de probabilidade.

2.7. Grau de disponibilidade mecânica

É a porcentagem do tempo de trabalho programado em que a máquina está mecanicamente apta a realizar trabalho produtivo, desconsiderando-se, portanto, o tempo em que o trator estava em conserto ou manutenção. Pode ser expressa pela seguinte expressão:

$$Dm = \frac{He}{(He + Tm)} \times 100 \quad \text{equação 2}$$

em que:

Dm = grau de disponibilidade mecânica (%);

He = tempo de trabalho efetivo (horas); e

Tm = tempo de permanência em manutenção (horas).

2.8. Eficiência operacional

É a porcentagem do tempo efetivamente trabalhado em relação ao tempo total programado para o trabalho. Pode ser expressa pela seguinte expressão:

$$f = \frac{te}{(te + tp)} \times 100 \quad \text{equação 3}$$

em que:

f = eficiência operacional (%);

te = tempo de trabalho efetivo (horas); e

tp = tempo de paradas (horas).

2.9. Determinação da produtividade operacional

A determinação da produtividade das máquinas analisadas neste trabalho foi mediante os dados do inventário realizado preliminarmente, em que se obteve o valor de volume médio por árvore em cada parcela, sendo esse valor multiplicado pelo número de árvores, o que gera o volume médio de cada parcela. Com o acompanhamento das atividades de cada máquina, obteve-se o número de horas efetivamente trabalhadas em cada parcela. Esse tempo foi considerado como o número total de horas trabalhadas menos as interrupções mecânicas e operacionais. Com isso, chegou-se ao dado de produtividade da máquina em cada parcela, por meio da seguinte expressão:

$$Pr od = \frac{na \times va}{te} \quad \text{equação 4}$$

em que:

na = número de árvores obtidas através de um censo completo realizado *a priori* em cada parcela experimental (un);

va = volume médio por árvore dentro da parcela, sendo esse dado obtido através do inventário da área (m³); e

t_e = tempo de trabalho efetivo (horas), correspondente às horas efetivas de trabalho gastas por máquina em cada parcela.

2.10. Determinação dos custos operacionais das máquinas analisadas

Na determinação do custo de produção, considerou-se apenas a porção do tempo total durante o qual a máquina foi programada para executar um trabalho produtivo, ou seja, o tempo no trabalho.

Optou-se por utilizar no cálculo dos custos operacionais dados sobre eficiência operacional das máquinas cedidos pela empresa e provenientes de uma série histórica mais completa.

Neste trabalho, o método de custo operacional das máquinas foi o descrito por Miyata (1980), acrescido do custo de administração, utilizado por Valverde (1995) e Pereira (1997). O custo operacional foi analisado separadamente para cada máquina avaliada, sendo dividido em custos fixos e variáveis, expressos em dólares por hora efetiva de trabalho (US\$ ha⁻¹).

2.10.1. Custos fixos (CF)

São aqueles que não variam com as horas de operação. Não são afetados nem pelo total de atividades da máquina nem pela produção e ocorrem quer a máquina trabalhe ou não.

Os custos fixos são compostos por custo de depreciação, juros e seguros.

2.10.1.1. Depreciação (Dp)

O custo de depreciação é um modo de se recuperar o investimento original de uma máquina, à medida que ela vai se tornando mais velha. A inclusão do seu valor no custo operacional representa a constituição de um capital de reserva para aquisição de uma nova máquina. Para cálculo da depreciação, foi utilizado o método da depreciação linear:

$$Dp = \frac{Va - Vpn - Vr}{N * he} \quad \text{equação 5}$$

em que:

Dp = depreciação linear da máquina (US\$ he^{-1});

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

Vr = valor residual da máquina (US\$);

Vpn = valor de um jogo de pneu (US\$);

N = vida útil estimada (anos); e

he = horas efetivas de uso anual.

2.10.1.2. Juros sobre o capital (J)

Os juros foram calculados aplicando-se ao investimento médio anual (IMA) uma taxa de juros correspondente ao custo de oportunidade em que seria aplicado o capital. Neste trabalho, utilizou-se uma taxa real de juros de 12% a.a.:

$$J = \frac{IMA * i}{he} \quad \text{equação 6}$$

em que:

J = custos com juros (US\$ he^{-1});

i = taxa de juros (%);

he = horas efetivas de uso anual; e

IMA = investimento médio anual (US\$).

$$IMA = \frac{(Va - Vr) * (N + 1)}{2 * N} + Vr \quad \text{equação 7}$$

em que:

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

Vr = valor residual da máquina (US\$); e

N = vida útil estimada (anos).

2.10.1.3. Taxa de seguros

A taxa de seguros utilizada foi de 4% a.a., segundo os dados fornecidos pela empresa. Os seguros são os custos que os proprietários incorrem devido ao uso ou à posse de suas máquinas e também em razão dos constantes perigos a que estão expostas essas máquinas florestais durante o trabalho.

2.10.2. Custos variáveis (CV)

São os custos que variam, proporcionalmente, com a quantidade produzida ou com o uso da máquina. Fazem parte deles os custos de combustíveis, lubrificantes, óleo hidráulico, pneus, remuneração de pessoal, manutenção, transporte de pessoal, maquinário e pessoal operacional.

2.10.2.1. Custo de combustível (CC)

O consumo de combustível de uma máquina é em função da potência do motor, do fator de carga, da altitude, da temperatura e do tipo de combustível (HARRY et al., 1991). Para efeito de estimativa do custo de combustível, baseou-se no consumo da máquina indicado pela empresa durante uma série histórica de dados. Foi calculado segundo a equação:

$$CC = Pu \times c \quad \text{equação 8}$$

em que:

CC = custo de combustível (óleo diesel) (US\$ he^{-1});

Pu = preço de um litro de óleo diesel (US\$ $^{-1}$); e

C = consumo de óleo diesel por hora efetiva (L he^{-1}).

2.10.2.2. Custo de lubrificantes e graxas (CLG)

É o custo referente ao consumo de óleos lubrificantes e graxas. Este custo foi considerado como um percentual dos custos com combustíveis, podendo ser calculado pela seguinte expressão:

$$CLG = ILG \times CC$$

equação 9

em que:

CLG = custo com lubrificantes e graxas (US\$ he^{-1});

ILG = índice de custos por máquinas com lubrificantes e graxas ; e

CC = custos com combustíveis (US\$ he^{-1}).

2.10.2.3. Custo do óleo hidráulico (COH)

É o custo referente ao consumo de óleo hidráulico. Foi calculado segundo a equação:

$$COH = 0,5 \times CC$$

equação 10

em que:

COH = custo com óleo hidráulico (US\$ he^{-1}); e

CC = custos com combustíveis (US\$ he^{-1}).

2.10.2.4. Custo de pneus/esteiras (CPE)

É o custo referente aos gastos com os rodados (pneus ou esteiras), de acordo com o sistema rodante da máquina. Este custo pode ser afetado por condições do terreno, ambiente, alinhamento, manutenção dos pneus e habilidade do operador, podendo ser calculado da seguinte forma:

$$Cr = \frac{Nr \times Vr}{Hr}$$

equação 11

em que:

Cr = custo dos rodados (US\$ he^{-1});

Vr = valor de um pneu/esteira da máquina (US\$);

Nr = número de rodados (pneus/esteiras) por máquina; e

Hr = vida útil do pneu/esteira, em horas efetivas.

2.10.2.5. Custo com manutenção (CM)

É o custo relacionado com a manutenção e os reparos mecânicos a que as máquinas estão sujeitas durante a sua vida útil. A fórmula de cálculo deste custo variou de acordo com cada máquina específica, sendo o resultado apresentado no Apêndice A.

2.10.2.6. Custo de transporte de pessoal (CTP)

É o custo inerente ao transporte de pessoal até a frente de operações. Este custo foi obtido na empresa onde se realizou o trabalho, em valores mensais e divididos pela quantidade de horas trabalhadas por mês.

2.10.2.7. Custo de transporte de maquinário (CTM)

É o custo relacionado ao transporte das máquinas até a frente de operações. Foi obtido na empresa onde se realizou o trabalho, em valores mensais e divididos pela quantidade de horas trabalhadas por mês.

2.10.2.8. Custo de pessoal operacional (COM)

Refere-se aos custos com salários diretos mais os custos de benefícios e encargos sociais, como 13^o salário, férias, seguros, cuidados médicos, alimentação, vestuário etc., os quais foram obtidos na empresa onde se realizou o trabalho, em valores mensais e divididos pela quantidade de horas trabalhadas por mês.

2.10.2.9. Custo de administração (CAD)

São os custos relacionados com os trabalhos de escritório e supervisão das atividades de campo, os quais também foram obtidos na empresa onde se realizou o trabalho, em valores mensais e divididos pela quantidade de horas trabalhadas por mês.

2.10.3. Custo operacional total (CT)

Este custo foi obtido pela soma dos custos fixos e variáveis e dos custos de administração de cada uma das máquinas analisadas neste trabalho, ou seja:

$$CT = CF + CV + CA \quad \text{equação 12}$$

em que:

CT = custo operacional total de cada máquina (US\$ he^{-1});

CF = custos fixos (US\$ he^{-1});

CV = custos variáveis (US\$ he^{-1}); e

CA = custo de administração (US\$ he^{-1}).

2.10.4. Determinação do custo de produção

O custo de produção das máquinas foi obtido pela divisão dos custos operacionais (US\$ he^{-1}) pela produtividade (m^3he^{-1}) de cada máquina, conforme as respectivas funções dentro do sistema estudado, tendo sido dado em US\$ m^{-3} .

$$CPr = \frac{CT}{Prod} \quad \text{equação 13}$$

em que:

CPr = custo de produção da máquina analisada (US\$ m^{-3});

CT = custo operacional total da máquina analisada (US\$ he^{-1}); e

$Prod$ = produtividade da máquina analisada ($m^3cc\ he^{-1}$).

2.10.5. Determinação do rendimento energético

O rendimento energético das máquinas foi obtido pela razão entre o consumo específico de combustível ($g\ kW^{-1}\ h$) e a produtividade ($m^3\ h^{-1}$) de cada máquina, tendo sido dado em $g\ kW^{-1}\ m^3$.

$$RE = \frac{Ce}{Pr od} \quad \text{equação 14}$$

em que:

RE = rendimento energético da máquina analisada ($\text{g kW}^{-1} \text{ m}^3$);

Ce = consumo específico de combustível da máquina analisada ($\text{g kW}^{-1} \text{ h}$); e

$Pr od$ = produtividade da máquina analisada ($\text{m}^3 \text{ he}^{-1}$).

2.10.6. Determinação do custo de produção e rendimento energético total do sistema de colheita estudado

Estes custos se referem aos custos de produção da madeira já cortada, processada e extraída, posta na margem da estrada. Foram obtidos pela soma dos custos de produção de cada etapa operacional.

O custo total de produção foi dado pelos custos de produção da etapa de derrubada com o Feller-Buncher somado com o custo de produção da extração realizada com o Skidder nas três distâncias de arraste acrescido do custo de produção do processamento realizado pela Garra Traçadora.

$$CPS = CPF B + CPSK + CPGT \quad \text{equação 15}$$

em que:

CPS = custo total de produção do sistema 1 ($\text{US\$ m}^{-3}$);

$CPF B$ = custo de produção do Feller-Buncher ($\text{US\$ m}^{-3}$);

$CPSK$ = custo de produção do Skidder ($\text{US\$ m}^{-3}$); e

$CPGT$ = custo de produção da Garra Traçadora ($\text{US\$ m}^{-3}$).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Feller-Buncher

No Quadro 4 é apresentada a análise de variância dos valores de tempo gasto nas operações do ciclo operacional do Feller-Buncher nas produtividades analisadas. Nesse quadro é mostrada a interação significativa entre os tempos gastos para realizar as operações de colheita e os níveis de produtividade da floresta.

Quadro 4 – Análise de variância dos valores de tempo gasto nas operações do ciclo operacional do Feller-Buncher nas produtividades analisadas

Fonte de Variação	G. L.	QM	F	p (%)
Operação	3	3722,64		
Resíduo a	20	155,05		
Produtividade	2	3432,72		
Operação*Produtividade	6	228,84	3,27	0,01
Resíduo b	40	70,06		
Total	71			

Coeficiente de Variação (Parcela) = 36,29% .

Coeficiente de Variação (Subparcela) = 24,39%.

As comparações das médias do tempo gasto pelo Feller-Buncher para realizar cada operação, em cada um dos níveis de produtividades, são apresentadas no Quadro 5.

Quadro 5 – Média do tempo gasto em segundos para realizar cada operação pelo Feller-Buncher em cada um dos níveis de produtividade

Operações	Produtividade ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$)		
	100	200	300
Corte (carga e descarga)	54,59 Aa	49,41 Aa	33,19 Ab
Deslocamento vazio	50,77 Aa	48,91 Aa	16,49 Ab
Deslocamento para descarga	17,39 Ba	13,67 Ba	8,73 Ba
Interrupções	52,47 Aa	41,07 Aa	22,10 Ab

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

Esses valores correspondem a um ciclo operacional, composto por 4,22; 4,07; e 2,50 árvores abatidas, em média, por ciclo nas produtividades de 100, 200 e 300 $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$, respectivamente.

Numa análise geral, a operação de deslocamento para descarga foi a que demandou menor tempo para execução em todas as três produtividades. Não houve diferença significativa, entre as produtividades de 100 e 200 $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$, na média do tempo gasto para realizar qualquer uma das quatro operações.

3.1.1. Análise dos elementos do ciclo operacional do Feller-Buncher

3.1.1.1. Deslocamento vazio

Não houve diferença significativa entre as produtividades de 100 e 200 $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ em relação ao tempo gasto para realizar esta operação. Notou-se que, no talhão de produtividade igual a 100 e 200 $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$, o operador procurava acumular o máximo de árvores possíveis no cabeçote, com o

intuito de otimizar a etapa de extração feita com o Skidder. Para $300 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, o maior número de árvore por hectare fez que o operador não perdesse tempo em deslocar com o cabeçote em busca de novas árvores, ou seja, após o descarregamento, o percurso vazio até as próximas árvores a serem abatidas foi menor, gerando menor tempo de deslocamento sem carga.

3.1.1.2. Corte

O tempo médio para executar a operação de corte na produtividade de $300 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ foi menor do que o observado nas produtividades de 100 e $200 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$.

Observou-se que o tempo de corte estava ligado ao volume de árvore dentro do talhão, no entanto esse tempo tende a ser maior quando o operador não possuía habilidade capaz de controlar no cabeçote de corte várias árvores de maior volume unitário. Caso a árvore se desviasse do curso original de tombamento, o tempo nesse percurso aumentava, passando, nesse caso, a contar como interrupções.

3.1.1.3. Deslocamento para descarga

O tempo médio para executar essa operação foi o mesmo nas três produtividades.

3.1.1.4. Interrupções

Não houve diferença estatística significativa entre as produtividades de 100 e $200 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ em relação à operação de interrupções. No talhão de $300 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, o operador não perdia tempo para eliminar sub-bosque, procurar árvores e arranjar feixes.

As interrupções foram divididas em mecânicas e operacionais, vindo, portanto, a fazer parte do tempo total do ciclo.

O Feller-Buncher estudado utiliza em seu cabeçote um disco de corte com 16 cortadores em forma de copo; pelo posicionamento dos cortadores no disco de corte, apenas uma parte da área do cortador entra em contato com a árvore durante a etapa de corte.

Depois de determinado número de horas em uso, os cortadores são virados em 90°, posicionando a parte ainda não utilizada para o contato com a árvore. Essas interrupções foram observadas com maior frequência na produtividade de 300 m³ ha⁻¹, devido à maior incidência do rebaixamento de cepas.

Dentre as interrupções operacionais inerentes ao ciclo que foram observadas com mais frequência nas três produtividades, destacam-se:

- Apanhar árvore: ao abater árvores e tentar acumula-las no cabeçote de corte, elas escapavam, caindo no solo, o que obrigava o operador a apanhá-las novamente, interrompendo o ciclo normal.
- Rebaixar cepa: ao realizar o abate da árvore, o operador deixava a cepa resultante acima da altura especificada pela empresa, devendo realizar o seu rebaixamento posteriormente, interrompendo o ciclo normal.
- Eliminar sub-bosque: o operador cortava os arbustos não eliminados pela roçada de pré-corte.
- Arranjar feixe: ao descarregar as árvores do cabeçote de corte para formar os feixes, algumas ficavam mal posicionadas, tendo que gastar certo tempo para reposicioná-las.

3.1.2. Tempo efetivo total do ciclo operacional

A análise do tempo total que compõe o ciclo operacional Feller-Buncher e o teste de media são apresentados nos Quadros 6 e 7.

Quadro 6 – Análise estatística do tempo total que compõe o ciclo operacional do Feller-Buncher

Fonte de Variação	G. L.	QM	F	P(%)
Produtividade	2	13.730,89	36,76	0,00
Resíduo a	15	373,45		
Total	17			

Coefficiente de variação = 14,08%.

Quadro 7 – Teste de média dos tempos totais que compõem o ciclo operacional do Feller-Buncher

	Produtividade m ³ ha ⁻¹		
	100	200	300
Tempo total	175,23a	152,99 a	83,52b

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

O Feller-Buncher apresentou um tempo médio total de 175,23, 152,99 e 83,52 segundos para cortar, em média, 4,22; 4,07; e 2,5 árvores, nas produtividades de 100, 200 e 300 m³ ha⁻¹, respectivamente. O quadro ilustra a interferência do volume de madeira nos tempos gastos para realizar o ciclo operacional da máquina.

A produtividade por hora efetiva do Feller-Buncher foi de 13,81; 23,67; e 40,84 m³ quando essa máquina trabalhou nos talhões de 100, 200 e 300 m³ ha⁻¹, respectivamente.

3.1.3. Custo operacional, custo de produção e rendimento energético do Feller-Buncher

Os custos e rendimentos do Feller-Buncher são mostrados no Apêndice A.

Considerando uma taxa de juros de 12% a.a. e uma eficiência mecânica de 85%, chegou-se ao custo/hora efetivamente trabalhada de US\$68,62.

O custo de administração foi da ordem de 3,82%, os custos fixos corresponderam a aproximadamente 21,49% e os custos variáveis, aproximadamente 74,68% dos custos totais.

O Feller-Buncher apresentou um custo de produção de 4,97; 2,90; e 1,68 US\$ m⁻³ para as produtividades de 100, 200 e 300 m³ ha⁻¹, respectivamente. Com o consumo específico de combustível de 190 g kW h⁻¹, os rendimentos energéticos foram obtidos dividindo-se o consumo específico pela produção (Quadro 8).

Quadro 8 – Custo de produção e rendimento energético do Feller-Buncher, em função do volume de madeira produzido

Produtividade (m ³ ha ⁻¹)	Custo Produção (U\$\$ m ³)	Rendimento Energético (g kW m ³)
100	4,97	13,75
200	2,90	7,12
300	1,68	4,65

À medida que a produtividade da floresta aumentou, a do Feller-Buncher também tendeu a aumentar, e os valores do custo de produção e o rendimento energético tiveram tendência de diminuir, indicando que a produtividade do talhão influenciou diretamente o custo de produção dessa máquina (Figura 7).

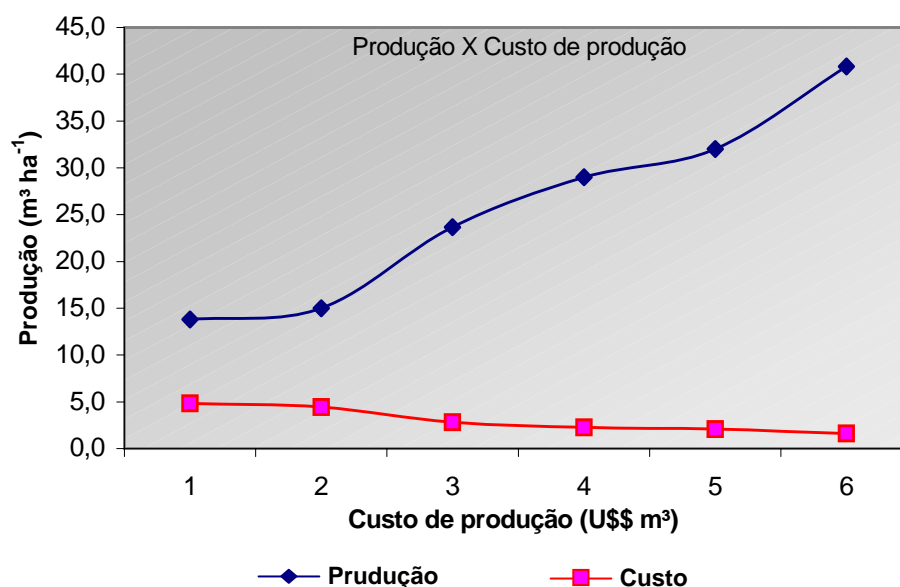


Figura 7 – Produtividade e custo de produção do Feller-Buncher nas produtividades analisadas.

Valverde (1995) e Moreira (2000) obtiveram resultados semelhantes, indicando que as máquinas empregadas na operação de corte de madeira são sensíveis aos diferentes níveis de volume médio por árvore, e seu rendimento, em termos de volume por unidade de tempo, tende a crescer com o aumento do volume médio por árvore.

3.2. Skidder

No Quadro 9 é apresentada a análise de variância dos tempos gastos pelo Skidder para executar as operações em diferentes produtividades e distâncias. O resultado do teste de Tukey para a comparação da média do tempo de arraste do ciclo operacional do Skidder nas distâncias de 100, 200 e 300 m é mostrado no Quadro 10.

Quadro 9 – Síntese da análise de variância do efeito das operações do Skidder na produtividade e distância de arraste

Fonte de Variação	G. L.	QM	F	P(%)
Blocos	3	466,54		
Operação	5	15.287,06		
Produtividade	2	10.530,88		
Distância	2	427,11		
Distância*Produtividade	4	156,08	0,59	0,00
Distância*Operação	10	1.456,87	5,55	0,00
Produtividade*Operação	10	2.677,10	10,19	0,00
Distância*Produtividade*Operação	20	329,81	1,26	0,22
Resíduo	159	262,63		
Total	215			

Coeficiente de variação (%) = 33,61.

Quadro 10 – Teste de média para analisar o efeito das operações do Skidder na produtividade e distância de arraste

Operações	Distância (m)		
	100	200	300
Deslocamento vazio	59,48 ABa	77,24 Aa	98,28 Ab
Carga	87,96 Aa	52,63 ABa	44,47 BCa
Deslocamento carregado	55,42 Bc	91,23 ABb	121,77 Aa
Descarga	16,75 Ca	23,22 Ca	23,93 Da
Encabeçamento	24,64 Ca	24,90 Ca	25,75 Ca
Interrupções	53,31 Bb	48,14 Ba	45,66 Ba

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

Os resultados apresentados no Quadro 10 confirmam que, com relação ao tempo gasto, o efeito da distância de arraste depende da operação executada. Foram detectadas diferenças entre as distâncias apenas na operação de deslocamento carregado, enquanto nas demais operações não foram detectadas essas diferenças.

As médias dos tempos de arraste do ciclo operacional do Skidder nas produtividades de 100, 200 e 300 m³ ha⁻¹ são apresentadas no Quadro 11. Nesse quadro são mostrados os resultados do teste de média da interação significativa entre as produtividades analisadas nos tempos gastos nas operações do ciclo operacional do Skidder.

As operações que consumiram a maior parte do tempo do ciclo operacional para produtividade de 300 m³ ha⁻¹ foram os deslocamentos vazio e carregado, seguidos de interrupções do tempo de carga. Esse tempo é justificado em razão do grande volume de madeira arrastado e do acerto das toras antes do arraste.

Para a produtividade de 200 m³ ha⁻¹, as operações que gastaram a maior média do tempo foram deslocamento vazio, carga e deslocamento carregado. Já na produtividade de 100 m³ ha⁻¹ as operações de deslocamento vazio, encabeçamento e interrupções apresentaram as maiores médias de tempo para a sua execução.

Quadro 11 – Teste de média dos tempos de arraste do ciclo operacional do Skidder, nas produtividades analisadas

Operações	Produtividade (m ³ ha ⁻¹)		
	100	200	300
Deslocamento vazio	41,67Aa	66,84Ab	100,50Ac
Carga	49,41Aa	66,06Ab	71,32Bb
Deslocamento carregado	37,60Aa	59,95ABb	92,12Ac
Descarga	20,28Ba	32,52Da	20,34Ca
Encabeçamento	14,68Ba	42,66CDb	17,75Ca
Interrupções	45,75Aa	49,18Ba	50,60Ba

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

3.2.1. Análise das operações do ciclo operacional do Skidder

3.2.1.1. Deslocamento vazio

Conforme mostrado no Quadro 11, esta operação foi significativa na distância de 300 m, sendo influenciada pela distância a ser percorrida da margem do talhão até o feixe a ser arrastado, pelas condições da trilha e pela presença de obstáculos, como tocos e sub-bosque.

3.2.1.2. Carregamento

O tempo desta operação é influenciado pela disposição do feixe a ser carregado, ou seja, quanto mais compacto o feixe, menor a dificuldade de realizar o carregamento e, conseqüentemente, menor o tempo dessa operação. O tempo para carregar na produtividade de 100 m³ ha⁻¹ foi menor em comparação com as outras duas produtividades analisadas, indicando haver influência direta do volume no tempo de carregamento (Quadro 11).

3.2.1.3. Deslocamento com carga (Arraste)

O tempo de arraste é influenciado basicamente pelos mesmos fatores que afetam a viagem sem carga. O tempo gasto para executar a operação de arraste foi menor nas menores distâncias (Quadro 10) e também na menor produtividade (Quadro 11). Isso pode ser devido ao aumento da produtividade, que eleva o volume médio do feixe a ser arrastado.

3.2.1.4. Descarregamento

O tempo de descarrega é afetado pelo espaço na margem do talhão onde serão descarregados os feixes e pela habilidade do operador.

Observa-se, nos Quadros 10 e 11, que os tempos de descarregamento não foram diferentes.

3.2.1.5. Encabeçamento

O tempo de encabeçamento dos feixes também é influenciado pelo espaço na margem do talhão e pela habilidade do operador, observando-se que a altura das cepas influencia de maneira a desarrumar o feixe, tendo o operador que acertar a base das árvores para facilitar o trabalho da Garra Traçadora. Em todas as produtividades analisadas, somente na produtividade de $200 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ (Quadro 11) foi registrada uma diferença significativa no tempo médio para executar essa operação. A distância de arraste não interferiu nessa operação (Quadro 10).

3.2.1.6. Interrupções

O maior valor no tempo das interrupções foi observado na distância de 100 m em todas as produtividades. Esse fato foi verificado devido ao volume de árvores no feixe e à sua posição em relação ao sentido de arraste, e as interrupções ocorriam no início do trabalho, quando o operador procurava desobstruir a margem do talhão onde seriam depositados os feixes arrastados, assim como acertar o sentido de arraste daqueles feixes que estavam mais próximos.

3.2.2. Tempo efetivo total do ciclo operacional

O Skidder gastou 279,56; 317,36; e 359,86 segundos para realizar o ciclo operacional nas produtividades de 100, 200 e 300 m³ ha⁻¹, respectivamente.

Observou-se que a distância de arraste afetou o rendimento do Skidder.

3.2.3. Análise da produtividade do Skidder

O rendimento do Skidder aumentou de acordo com o incremento no volume de madeira do talhão, e a distância de arraste afetou seu rendimento. Para todas as produtividades estudadas na distância de 100 m, o Skidder apresentou os menores tempos. Os maiores rendimentos foram registrados na produtividade de 300 m³ ha⁻¹ quando o Skidder arrastou os feixes nas distâncias de 100 e 200 m. A Figura 8 ilustra o rendimento do Skidder, que aumentou com o incremento da produtividade do talhão e decresceu com o aumento da distância de arraste.

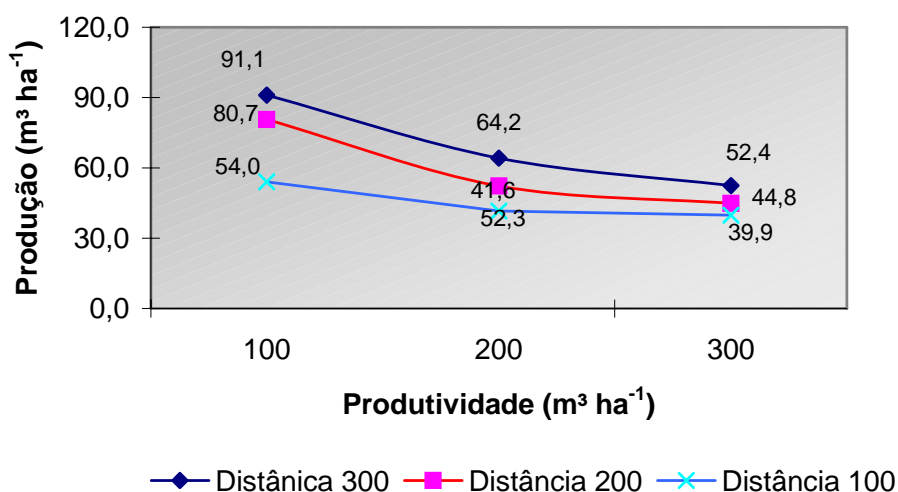


Figura 8 – Comportamento da produtividade do Skidder em função das distâncias de arraste e produção por hora efetiva.

A produtividade do Skidder é afetada pela produtividade e distância de arraste da madeira. O volume produzido por árvore foi, em média, 0,11; 0,18; e 0,31, nos talhões de 100, 200 e 300 m³ ha⁻¹.

3.2.4. Custo operacional, custo de produção e rendimento energético do Skidder

Os detalhes dos custos e rendimentos do Skidder são mostrados no Apêndice A.

Considerando taxa de juros de 12% a.a. e eficiência operacional de 85%, chegou-se ao custo/hora efetivamente trabalhada de US\$46,15.

Os custos fixos, nesse caso, corresponderam a aproximadamente 22,04%; os custos variáveis, 73,32% dos custos totais; e o custo de administração, da ordem de 4,62% dos custos totais. A Figura 9 ilustra a composição do custo operacional do Skidder.

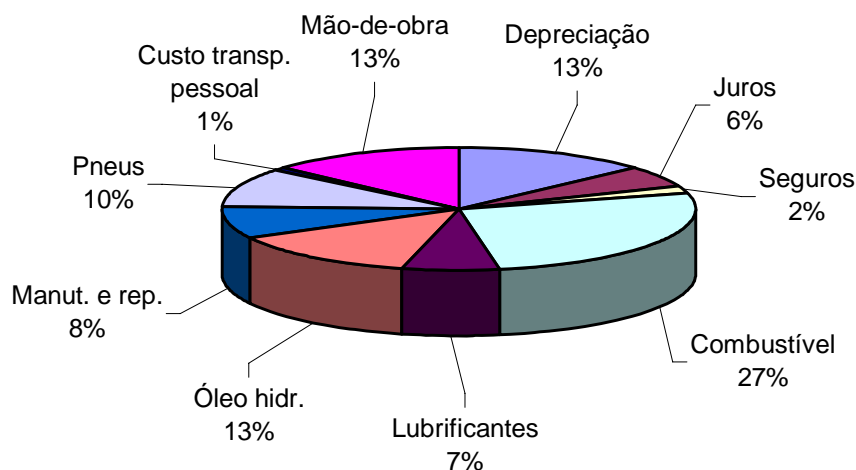


Figura 9 – Distribuição percentual dos itens que compõem o custo operacional do Skidder.

No Quadro 12 é apresentado o rendimento energético do Skidder nas produtividades e distâncias de arraste estudadas.

Quadro 12 – Rendimento energético (g kW m³) do Skidder em função do volume de madeira produzida

Distância de Arraste (m)	Produtividade da Floresta (m ³ ha ⁻¹)		
	Rendimento Energético (g kW m ⁻³)		
	100	200	300
100	3,0	2,9	2,2
200	2,7	2,3	1,5
300	1,3	1,9	2,3

O Skidder apresentou um consumo específico de combustível de 119,63 g kW h⁻¹, e os rendimentos energéticos foram obtidos dividindo-se o consumo específico pela produção. O Quadro 12 mostra que na produtividade de 300 m³ ha⁻¹ e numa distância de 200 m o Skidder apresenta um rendimento de 1,5 g kW m⁻³ e que em 300 m de arraste na produtividade de 100 m³ ha⁻¹ esse rendimento é de 1,3 g kW m⁻³.

Os custos de produção do Skidder nas produtividades e distâncias de arraste estão representados no Quadro 13.

Quadro 13 – Custo de produção do Skidder (U\$\$ m⁻³) em função da produtividade do talhão

Distância de Arraste (m)	Produtividade da Floresta (m ³ ha ⁻¹)		
	Custo Produção (U\$\$ m ⁻³)		
	100	200	300
100	0,96	0,78	0,55
200	0,62	0,96	1,12
300	1,26	1,21	0,93

O custo de produção tende a reduzir à medida que o volume de madeira aumenta e a distância de arraste diminui. Os custos de produção evidenciaram diferenças significativas no nível de 5 % de probabilidade, pelo

teste de Tukey, quando o trator trabalhou na produtividade de $300 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, em distâncias iguais ou inferiores a 200 m.

Os custos foram menores nas produtividades de 200 e $300 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ e na distância de 100 m. O melhor resultado de custo foi verificado em uma floresta de $300 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ e com arraste de 100 m de distância. Isso leva a afirmar que o custo de produção do Skidder está diretamente associado com a produtividade da floresta e com a distância de arraste de até 200 m (Figura 10).

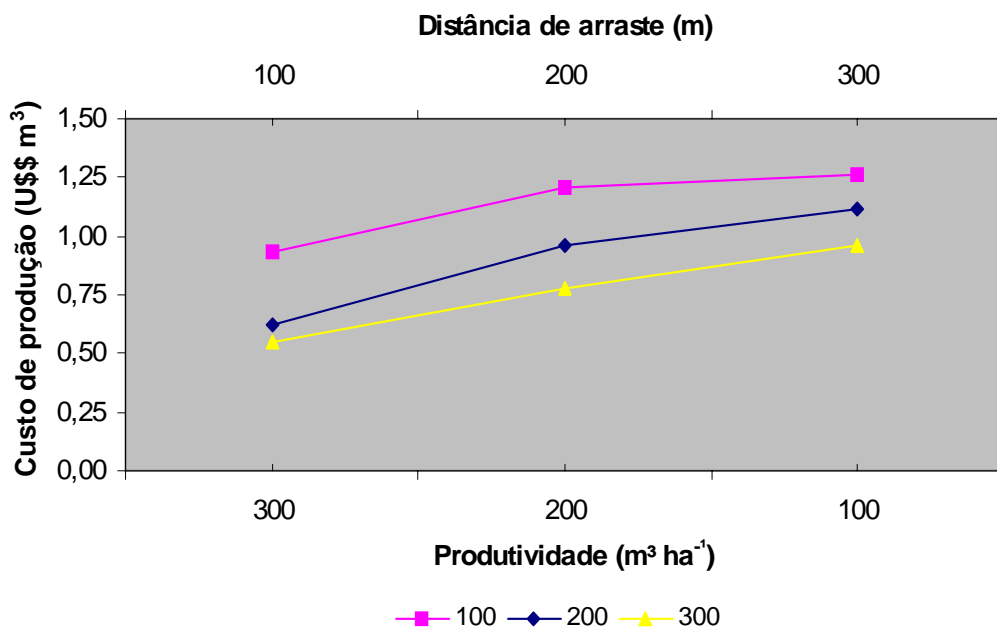


Figura 10 – Comparação entre a produtividade e o custo de produção do Skidder nas distâncias de arraste analisadas.

3.3. Garra Traçadora

A média dos tempos gastos nas operações que compõem o ciclo operacional da Garra Traçadora é apresentada no Quadro 14. Nesse quadro, tem-se uma síntese da análise de variância das operações que compõem o ciclo operacional e as produtividades analisadas.

Os resultados do teste de média da interação entre os tempos gastos nas operações que compõem o ciclo operacional da Garra Traçadora e a produtividade da floresta são mostrados no Quadro 15.

Quadro 14 – Síntese da análise de variância das operações que compõem o ciclo operacional

Fonte de Variação	G. L.	QM	F	P(%)
Operação	6	3609,63		
Resíduo a	28	11,31		
Produtividade	2	3.205,65		
Operação*Produtividade	12	231,45	33,15	0,00
Resíduo b	56	6,98		
Total	104			

Coefficiente de variação (operação) = 13,40%.

Coefficiente de variação (produtividade) = 10,53%.

Quadro 15 – Médias dos tempos gastos nas operações que compõem o ciclo operacional da Garra Traçadora, em diversos níveis de produtividade

Operações	Produtividade m ³ ha ⁻¹		
	100	200	300
Deslocamento vazio	32,88 Ac	47,71 Ab	55,51 Ba
Interrupção	6,59 Cb	9,90 Db	15,21 EFa
Pegar feixe	9,63 Cc	18,99 Cb	26,87 Da
Ajuste	6,36 Cc	12,89 Db	19,64 Ea
Acerto tora	9,48 Cb	12,42 Da	13,84 Fa
Traçamento	23,26 Bc	45,22 Ab	68,88 Aa
Acerto final da pilha	18,69 Bc	32,02 Bb	40,79 Ca

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

O tempo médio para executar cada uma das atividades foi sempre superior na produtividade de 300 m³ ha⁻¹.

Na produtividade de 300 m³ ha⁻¹, a operação de traçamento do feixe foi a que gastou o maior tempo, seguida das operações de deslocamento

vazio e acerto final na pilha. Na produtividade de $200 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, o deslocamento vazio e o traçamento gastaram os maiores tempos. Entretanto, na produtividade de $100 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ o deslocamento vazio gastou o maior tempo, seguido do traçamento e acerto final da pilha.

3.3.1. Composição dos elementos parciais da Garra Traçadora

A operação da Garra Traçadora começou com o deslocamento vazio, que correspondia ao movimento da garra para busca de toras e dos deslocamentos feitos na hora do corte. Em seguida, dava-se início ao pega e ajuste dos feixes, estando estes associados ao volume por árvore e à disposição do feixe.

Após o operador fazer o acerto do feixe com a tora-padrão para conferência da dimensão a ser traçada é que se iniciava o traçamento. Para o acerto final na pilha, foi incluído o tempo em que o operador gastava para mudar a tora-padrão. Registraram-se todas as interrupções operacionais e mecânicas ocorridas durante os ciclos de trabalho.

O traçamento, o deslocamento vazio e o acerto final na pilha registraram diferenças significativas nas três produtividades analisadas, indicando que o volume de madeira tem influência no rendimento da máquina. Esse rendimento é justificado devido ao volume de madeira do talhão, que, sendo maior, é capaz de se concentrar em determinado ponto e não ficar disperso ao longo da estrada. Foi observado que o deslocamento vazio da máquina e o acerto da madeira na pilha estão associados a esse volume.

3.3.2. Tempo efetivo total do ciclo operacional

A Garra Traçadora gastou os tempos de 106,93; 179,19; e 240,77 segundos para realizar um ciclo correspondente a 1,49; 3,24; e $5,12 \text{ m}^3$ de madeira, respectivamente. As operações que demandaram os maiores tempos foram, respectivamente, o traçamento, o deslocamento vazio e o acerto final na pilha.

3.3.3. Análise da produtividade da Garra Traçadora

A Garra Traçadora produziu por hora efetivamente trabalhada 50,16; 64,87; e 76,55 m³ ha⁻¹, nas produtividades de 100, 200 e 300 m³ ha⁻¹, respectivamente.

O rendimento da Garra Traçadora aumentou com a elevação do volume de madeira. A quantidade de árvores traçadas nas produtividades de 100, 200 e 300 m³ ha⁻¹ foram de 485, 364 e 262 árvores, respectivamente.

3.3.4. Custo operacional, custo de produção e rendimento energético da Garra Traçadora

Os detalhes do custo operacional da garra são mostrados no Apêndice A.

Considerando a taxa de juros de 12% a.a. e a eficiência operacional de 62%, chegou-se ao custo/hora efetivamente trabalhada de US\$48,59.

Os custos fixos, nesse caso, corresponderam a aproximadamente 22,90%; os custos variáveis, 72,68% dos custos totais e o custo de administração, da ordem de 4,42% dos custos totais. A Figura 11 ilustra a composição desses custos.

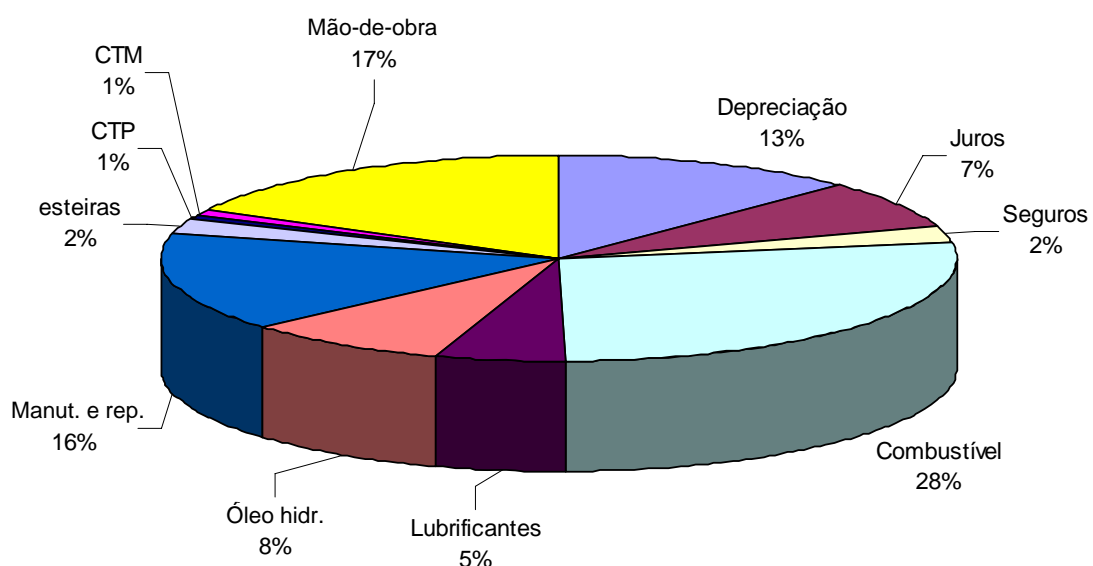


Figura 11 – Distribuição porcentual dos itens que compõem o custo operacional da Garra Traçadora.

No Quadro 16 são apresentados os custos de produção e o rendimento energético da Garra Traçadora, nas produtividades e distâncias analisadas.

A Garra Traçadora apresentou consumo específico de combustível de 155,53 g kW h⁻¹. Os rendimentos energéticos foram obtidos dividindo-se o consumo específico de combustível pela produção (Quadro 16).

Quadro 16 – Custo de produção e rendimento energético da Garra Traçadora

Produtividade (m ³ ha ⁻¹)	Produção (m ³ he ⁻¹)	Custo Produção (U\$\$ m ⁻³)	Rendimento Energético (g kW m ⁻³)
100	50,05	0,97	3,11
200	65,16	0,75	2,39
300	76,57	0,63	2,03

Observou-se que o custo de produção e o rendimento energético da máquina estão diretamente associados ao volume de madeira. A Figura 12 ilustra a relação entre o custo de produção e a produtividade da máquina.

Essa Figura ilustra o custo e a produção, percebendo-se que essa relação é diretamente proporcional, pois o aumento da produtividade abaixa o custo. A melhor relação foi encontrada na produtividade de 300 m³ ha⁻¹, em que para uma produção de 76,57 m³ se obteve um custo de US\$0,63.

3.2.5. Custo de produção do sistema

No Quadro 17, apresenta-se o custo de produção do sistema de colheita composto por 1 Feller-Buncher, 1 Skidder e 1 Garra Traçadora, em três diferentes distâncias de arraste e três produtividades da floresta.

Os melhores resultados desse sistema foram registrados quando os equipamentos trabalharam na produtividade de 300 m³ ha⁻¹.

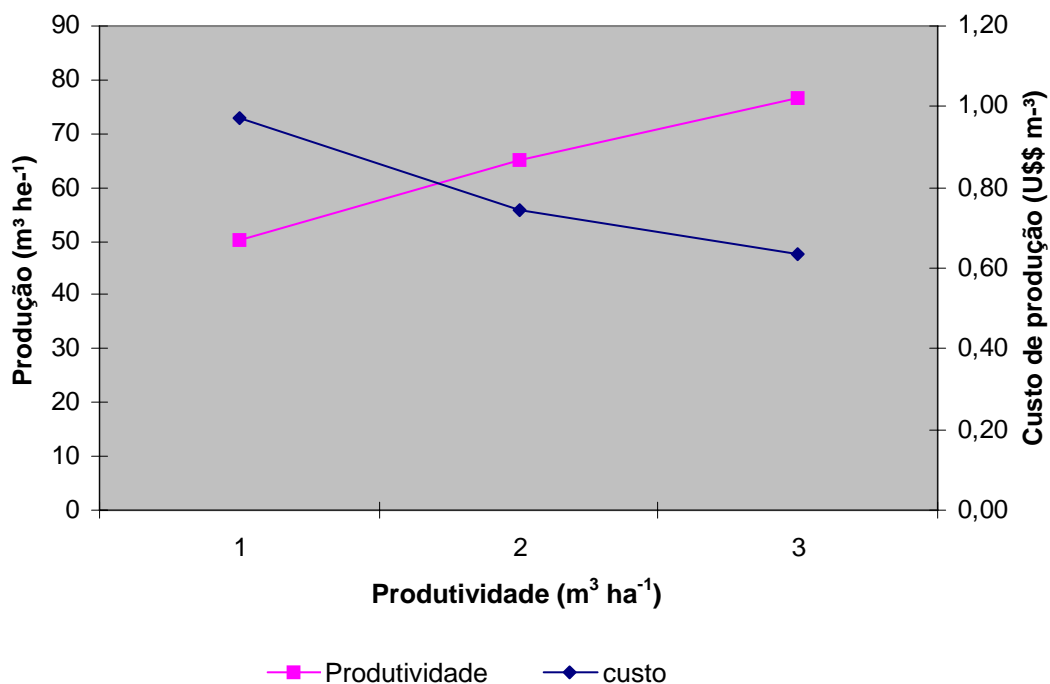


Figura 12 – Comportamento da produção e custo da garra nas três produtividades.

Quadro 17 – Custo de produção do sistema (US\$ m⁻³) em função das distâncias e produtividades analisadas

Distância de Arraste (m)	Produtividade (m ³ ha ⁻¹)		
	100	200	300
100	6,78	4,36	2,8
200	6,94	4,79	2,87
300	7,08	5,54	3,18

O Quadro 17 contém o custo total de produção, conforme descrito a seguir:

O Feller-Buncher foi o equipamento que tendeu ao maior custo de produção dentro do sistema, sendo de 4,85; 2,83; e 1,64 US\$ m⁻³ nas produtividades de 100, 200 e 300 m³ ha⁻¹, respectivamente. Esse custo

explica a influência da produtividade da floresta no custo final do equipamento.

Com relação ao Skidder, além de diferentes produtividades, avaliaram-se três distâncias de arraste, o que contribuiu significativamente para o aumento do custo de produção do sistema. Essa máquina teve seu melhor desempenho no talhão de $300 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, na distância de até 200 m.

A Garra Traçadora apresentou custos de 0,97; 0,75; e 0,63 US\$ m^{-3} nas produtividades de 100, 200 e $300 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, respectivamente.

Os custos encontrados para o Feller-Buncher são semelhantes aos obtidos por Moreira (2000), que avaliou o custo da máquina trabalhando num sistema composto de Feller-Buncher, Skidder e Slingshot.

A capacidade produtiva do sistema trabalhando nas produtividades de 100, 200 e $300 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ foi de 6.197,93; 10.623,09; e 18.328,99 m^3 mês, respectivamente.

A produtividade do sistema está associada ao desempenho do Feller-Buncher.

4. CONCLUSÕES

Os melhores resultados do sistema foram registrados quando os equipamentos trabalharam na produtividade de $300 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ e com arraste na distância de até 200 m.

A produtividade do sistema estava associada ao desempenho do Feller-Buncher, pois se observou que os demais equipamentos conseguiam produzir além do que essa máquina cortava de madeira.

O melhor custo do Skidder foi encontrado quando o arraste da madeira foi na distância de 100 m e em uma produtividade da floresta de $300 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$.

O rendimento da Garra Traçadora foi afetado pelo volume de madeira e pelo arranjo dos feixes na pilha.

As operações que demandaram os maiores tempos foram o traçamento, o deslocamento vazio e o acerto final na pilha.

O sistema apresentou disponibilidades mecânica e operacional satisfatórias, devido à agilidade com relação à assistência mecânica nas máquinas em campo, ao sistema de manutenção preventivo e à logística de transporte dos operadores.

REFERÊNCIAS

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

BARNES, R.M. **Motion and time study:** design and measurement of work. 6. ed. New York: John Willey & Sons, 1968. 799 p.

BERTULANI, C.A. 2004. Disponível em: <<http://www.if.ufrj.br/persons/bertulani.html>>. Acesso em: 24 fev. 2007.

BIRRO, M. H. B. **Avaliação técnica e econômica da extração de madeira de eucalipto com Track-Skidder em região montanhosa.** Viçosa, MG: UFV, 2002. 19 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

BRAMUCCI, M. **Determinação e quantificação de fatores de influência sobre a produtividade de “Harvesters” na colheita de madeira.** Piracicaba, SP: ESALQ, 2001. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

CATERPILLAR. **Catálogo da especificação técnica de máquina.** [S. l.], 2003. 11 p.

CONWQY, S. **Logging practices of timber harvesting systems.** São Francisco: Miller Freeman, 1977. 435 p.

CODEMIN, 2006. Disponível em: <<http://www.angloamerica.com.br>>.

HARRY, G.G.; FONTES, J. M.; MACHADO, C.C.; SANTOS, S. L. Análise dos efeitos da eficiência no custo operacional de máquinas florestais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE EXPLORAÇÃO E TRANSPORTE FLORESTAL, 1., 1991, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: UFV/SIF, 1991. p. 57-75.

LIMA, A. S.; SANTA'ANNA, C. M. Estudo de tempos e movimentos na colheita de eucaliptos em sistema de árvore inteira. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE COLHEITA E TRANSPORTE FLORESTAL, 5., 2001, Porto Seguro, BA. **Anais...** Porto Seguro, BA, 2001. p. 265-280.

MACHADO, C.C. **Colheita florestal**. Viçosa, MG: Editora UFV, 2002. 53 p.

MACHADO, C.C.; LOPES, E.S. Análise da influência do comprimento de toras de eucalipto na produtividade e custo da colheita e transporte florestal. **Cerne**, v. 6, n. 2, p. 124-129, 1990.

MACHADO, C.C. **Planejamento e controle de custos na exploração florestal**. Viçosa, MG: UFV, Impr. Univer., 1994. 138 p. (Apostila).

MACHADO, C.C.; CASTRO, P.S. **Exploração florestal, 4**. Viçosa, MG: UFV, Impr. Univ., 1985. 32 p. (Apostila).

MENEZES, J. F.; MAZIEIRO, J. V. G.; YAMASHITA, R. Y.; CORRÊA, I. M.; PASSARELA NETO, A.; FENZ, E.; MILAN, M. **Avaliação de características de visibilidade apresentadas por um grupo de tratores de rodas**. Campinas, SP: Instituto Agrônomo de Campinas, 1985. 18 p.

MOREIRA, A.T. **Análise técnica e operacional de colheitadeiras florestais**. Rio de Janeiro: UFRRJ, 1992. p. 261-278.

MINETTE, L.J. **Avaliação técnica e econômica dos tratores florestais transportadores (Forwarders) na extração de madeira de eucalipto**. Viçosa, MG: UFV, 1988. 77 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

MIYATA, O.P. Custo operacional de máquinas utilizados na exploração e transporte da cultura do eucalipto. **Informe Agropecuário**, n. 141, p. 24-30, 1980.

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

SALMERON, A. A mecanização da exploração florestal. **Circular Técnica IPEF**, Piracicaba, v. 88, 1980.

SOUZA, A. P.; MACHADO, C. C.; MINETTI, L. J.; JACOVINE, L. A. G. Perspectivas na área de colheita e transporte florestal. **Revista da Madeira**, Curitiba, n. 51, 2000.

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

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

SOARES, C.P.B. **Um modelo para o gerenciamento da produção de madeira em plantios comerciais de eucalipto**. Viçosa, MG: UFV, 1999. 71 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

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

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

CAPÍTULO 2

SIMULAÇÃO DO DESEMPENHO TRATIVO DO TRATOR “SKIDDER” NO ARRASTE DE TORAS SEMI-SUSPENSAS

RESUMO

O trator é uma máquina concebida para realizar, dentre outros, esforços de tração. A transformação da potência do motor em força de tração na barra se realiza através dos elementos de propulsão do veículo, as rodas ou as esteiras. De todas as formas nas quais se pode aproveitar a potência do motor do trator, como a potência na tomada de força, potência hidráulica e potência na barra na barra de tração, esta última é a menos eficiente. A força de tração é gerada mediante a interação dos elementos de propulsão com o solo. Os estudos realizados não são capazes de prever tal força, porém fornece uma idéia geral do comportamento do trator nas condições do solo sobre o qual este se movimenta. Diante disso, este estudo foi conduzido em povoamentos de eucalipto de uma empresa florestal do Estado de Goiás, com o objetivo de simular o desempenho trativo do trator Skidder no arraste de toras semi-suspensas. O trator utilizado na simulação foi um Skidder de pneus, tração 4x4, articulado, da marca Caterpillar, modelo 545 B, com 112 kW de potência no motor. Para simulação do comportamento dinâmico do trator arrastador Skidder, baseou-se no modelo

proposto pela Standard 497.4 (ASAE, 2000). Para realizar as simulações, foi desenvolvido um programa computacional, utilizando-se a linguagem de programação VISUAL BASIC, versão 6.0. O sistema de aquisição automática de dados utilizados foi um modelo HBM Spider 8,G MESSTHECKNICK (HBM), sendo o programa computacional o Catman 2.0, que tem como funções arquivar os dados e fazer a conversão dos sinais dos sensores para a unidade especificada, por meio da curva de calibração. Para a simulação do esforço tratório foram fornecidos ao programa as características dos rodados motrizes, as especificações dos pneus, os parâmetros operacionais e as propriedades do terreno. Na comparação entre valores obtidos por meio da simulação e aqueles conseguidos experimentalmente, foi empregado o método do gráfico de correspondência. Os resultados dos testes submetidos a testes de média foram plotados na forma de gráficos, sendo na abscissa os valores experimentais e, na ordenada, os valores simulados por meio do modelo. De acordo com o estudo, concluiu-se que o modelo de simulação apresentou valores de força de tração simulados semelhantes aos experimentais da altura de arraste, sendo a máxima altura o maior esforço. Os resultados foram conclusivos, uma vez que, para uma patinagem de 6 a 9%, não apresentaram diferenças significativas, independentemente da altura de arraste, ressaltando-se que na altura máxima o trator apresentou seu maior esforço.

ABSTRACT

SIMULATION OF SKIDDER TRACTIVE PERFORMANCE FOR DRAGGING SEMI-SUSPENDED TREES

This study was conducted in eucalyptus stands of a forest company in the State of Goiás to simulate the tractive performance of a Skidder for dragging semi-suspended trees. The tractor used in the simulation was a Caterpillar 545 B tired skidder, 4x4, articulated, 112 kW engine. The simulation of the dynamic behavior of the Skidder was based on the model proposed by the 497.4 Standard (ASAE, 2000). VISUAL BASIC 6.0 programming language was used to develop a piece of software to carry out the simulations. The automatic data acquisition system was a HBM Spider-8 G MESSTHECKNICK Catman 2.0 that files data and converts sensor signs to the specified unit using the calibration curve. For the simulation of the tractive effort, the software was supplied with data on driving wheels, tire specifications, operational parameters and soil properties. The graph matching method was used to compare the values obtained by simulation with the ones obtained experimentally. The results subjected to mean tests were plotted into graphs, with the experimental values on the abscissa and the simulated values on the ordinate, using the model. The study concluded that the simulation model generated values of simulated traction force similar to the experiments of dragging heights, with maximum height giving the

largest effort. The results were conclusive, since for 6 to 9% skidding there were no significant differences, independently of the dragging height, and that the largest tractor effort occurred with the maximum height.

1. INTRODUÇÃO

O trator é uma máquina concebida para realizar esforços de tração. A transformação da potência do motor em força de tração na barra se realiza através dos elementos de propulsão do veículo, as rodas ou as esteiras. De todas as formas nas quais se pode aproveitar a potência do motor do trator, como a potência na tomada de força, potência hidráulica e potência na barra de tração, esta última é a menos eficiente. A força de tração é gerada mediante a interação dos elementos de propulsão e deste com o solo. Os estudos realizados não têm sido capazes de prever tal força, porém dá uma idéia geral do comportamento do trator em algumas condições do terreno sobre o qual se movimenta (LILJEDAHN et al., 1989).

No estudo do desempenho a campo dos tratores agrícolas, são comuns experimentos de grande porte, com muitas variáveis, demandando muito trabalho, com resultados, muitas vezes, pouco conclusivos. Na verdade, os ensaios oficiais não se realizam a campo, e sim em pista de superfície rígida ou de concreto.

Todas essas dificuldades, aliadas ao esforço para comparar parâmetros de desempenho, tornam muito difícil a realização dessas tarefas. Por essa razão, são vários os pesquisadores que optam por realizar trabalhos científicos baseados em simulação, comparando modelos e obtendo dados que podem gerar contestações caso não seja validados a campo.

Obter parâmetros de rendimento em superfície rígida ou de concreto pode ser muito interessante para comparar diferentes tratores, mas pouco se relacionarão quando se trabalha em diferentes tipos de solo. Uma solução que passou a ser utilizada pelos fabricantes de tratores e pneus agrícolas nos últimos anos foi a modelagem do comportamento dos tratores, por meio da adoção de teorias de predição do desempenho. Essas teorias foram evoluindo a partir da experiência de vários centros de pesquisa, mundialmente conhecidos, e seus modelos de comportamento passaram a ser utilizados para a predição de parâmetros, como deslizamento, força de tração, consumo de combustível, coeficiente dinâmico de tração e, por conseguinte, a eficiência em tração.

As teorias de predição clássicas são Cn, Bn e MN, conforme reconhecem vários autores que trabalham no tema. Na teoria Cn, de Wismer e Luth (1972), a relação entre o solo e o veículo é determinada por um parâmetro denominado Número Característico da Roda (Cn), o qual congrega valores dos três elementos principais: solo, índice de cone, veículo, com seu peso dinâmico; e o pneu, por suas medidas características. Baseado nesse parâmetro, realiza-se a simulação. Na teoria Bn, de Brixius (1975), e na teoria MN, de Gee-Clough et al. (1978), esses autores se basearam na teoria anterior e em ensaios realizados pela John Deere e em outros centros de investigação, para aprimorar os modelos, melhorando a precisão da simulação.

As equações utilizadas baseiam-se em diversas variáveis, que podem ser medidas direta e indiretamente e que caracterizam, de maneira conjunta, o solo e a máquina. Assim, cada uma das partes desse sistema pode ser demonstrada por variáveis específicas.

Segundo normas da ASAE, a base dessas teorias é a caracterização do conjunto mecânico e do solo em que esse conjunto está sendo aplicado.

O solo representa o meio sobre e no qual o veículo vai se deslocar e pode ser caracterizado pelo índice de cone. O veículo é o elemento que, por seu peso e distribuição deste sobre os eixos, faz que a aplicação das pressões ao solo varie conforme suas dimensões características e condições de trabalho. Os pneus são caracterizados em suas dimensões e alterações que essas sofrem com a variação das cargas aplicadas.

Com base nessas teorias, grandes empresas passaram a simular o comportamento de tratores, do solo e dos pneus, reduzindo custos de projeto pela diminuição da quantidade de ensaios e provas de campo. No Brasil, o sistema de predição do comportamento de tratores ainda é pouco difundido e utilizado, carecendo, por isso, da adaptação de modelos e coeficientes capazes de simular características de solos, máquinas e implementos em relação à base empregada para a geração de equações iniciais.

Para Mialhe (1980), o conhecimento de parâmetros de desempenho dos tratores de modo geral é importante para auxiliar a seleção do trator, fornecendo aos usuários informações que possam servir para melhor otimizar sua capacidade produtiva. O estudo das forças que agem sobre o chassi do trator tem fundamental importância para a compreensão de certos fenômenos que ocorrem durante sua utilização em campo, permitindo uma operação mais segura do trator, evitando acidentes, principalmente em terrenos de topografia acidentada.

Os programas comerciais utilizados na simulação de sistemas mecânicos geralmente dividem o problema nas fases de pré-processamento, análise e pós-processamento (QUEIROZ, 1995). Na fase de pré-processamento, o usuário define os corpos rígidos e suas propriedades, as forças externas aplicadas, e na fase de solução o usuário define o método e seus parâmetros e executa a análise. O programa gera, automaticamente, as equações de movimento e as soluciona. Na fase de pós-processamentos, o usuário pode ver os resultados através de animação do movimento, da plotagem de dados ou da visualização de valores numéricos simulados.

Perumpral et al. (1977) desenvolveram um modelo matemático para estimar a força de arraste em função da geometria das toras e massa total da carga. No modelo desenvolvido, consideraram a superfície do solo plana, velocidade constante e as interações com o solo somente para uma tora, atuando independentemente uma das outras na força de arraste. Relataram que a força de arraste aumenta linearmente com o incremento da carga. Os estudos foram conduzidos com toras de pinus, com diâmetro entre 0,15 e 0,20 m e comprimento de 10 m em média.

O coeficiente de atrito e a força requerida para mover diferentes cargas nos níveis de inclinação de 15 a 30% do terreno, em solos arenosos e argilosos, foi estudado por Herrick (1955), tendo uma variação no coeficiente de atrito entre 0,84 e 0,96 no arraste das toras rente à superfície. Já Lunzman (1964) determinou que o coeficiente de atrito da madeira com a superfície do solo está entre 0,50 e 0,70, no arraste de toras semi-suspensas, e que essa variação pode ocorrer em função do teor de água nos solos florestais.

Hassan e Sirois (1985) avaliaram o desempenho do trator Skidder na operação de arraste de toras semi-suspensas. Segundo eles, o desempenho foi afetado pelo aumento na altura de engate, pela sobrecarga no eixo traseiro e pela área de contato da madeira com o solo.

Sever e Horvat (1997) avaliaram a capacidade de arraste de tratores Skidders comparada com a de tratores agrícolas adaptados. Os parâmetros analisados em função do máximo carregamento foram: estabilidade longitudinal, capacidade de carga sobre o eixo traseiro e o limite de deslizamento dos rodados.

Para a simulação do desempenho de tratores em trabalhos de preparo do solo, Serpa (1997) desenvolveu um modelo matemático, o qual avaliou bem o comportamento dessas máquinas em uma faixa de deslizamento entre 8 e 18%. O autor concluiu que o contato roda/solo é extremamente complexo e depende de uma grande quantidade de parâmetros relativos a esse contato.

Upadhyaya e Wulfsohn (1990) estabeleceram as bases de investigações científicas do mecanismo de interação roda/solo esteira. Apesar de consideráveis progressos das últimas décadas, os referidos autores consideraram que o conhecimento da interação roda/solo e a quantificação dessa interação estão longe do satisfatório.

Um modelo de simulação foi desenvolvido por Garcia et al. (2003), para analisar o comportamento dinâmico de um conjunto trator-colhedora de feijão, sendo realizada a simulação do trator e incluindo a interação solo e pneu, a simulação do sistema de transmissão de potência e dos sistemas de trilha e limpeza da colhedora de feijão. Quando os resultados simulados foram comparados com os testes experimentais, observou-se erro relativo

médio entre 5,85 e 28,69% para diferentes velocidades de deslocamento, frequências de rotação da TDP, torques e potências requeridas na TDP.

Outro modelo foi implementado por Souza et al. (2002) para simular o desempenho dos tratores de pneus diagonais e radiais. Com o modelo de simulação implementado, pode-se prever o desempenho de tratores agrícolas de pneus com tração traseira, com tração traseira e dianteira auxiliar e com tração nas quatro rodas. A força disponível na barra de tração, a eficiência trativa e o coeficiente de tração foram simulados para dois tratores agrícolas de pneus, com tração dianteira auxiliar, para diferentes estados mecânicos do solo e deslizamento do rodado motriz. De acordo com os estudos, o desempenho trativo mostrou-se mais influenciado pela carga dinâmica, pelo tipo de pneu e pelo deslizamento do rodado motriz. O modelo implementado foi considerado satisfatório por Souza et al. (2002), pois simulou valores dentro dos intervalos de confiança do coeficiente de tração obtidos na literatura, com erro relativo médio de 8,21%.

O conhecimento do desempenho de equipamentos mecânicos é muito importante, pois estratégias podem ser formuladas buscando maximizar sua capacidade de trabalho e minimizar o custo envolvido em sua operação. Um proprietário de um equipamento tendo tais informações pode ter maior controle das atividades a serem realizadas sem, porém, adotar uma tecnologia mais robusta. Dessa forma, este trabalho teve como objetivo desenvolver e testar um modelo para simular o esforço trativo de um trator florestal Skidder no arraste de toras semi-suspensas, utilizando o balanço de forças estimadas por equações empíricas.

2. MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi conduzida em povoamentos florestais de uma empresa mineradora do grupo Anglo-América na região de Niquelândia, no Estado de Goiás. O município, situado a 14° 28' 26" de latitude sul e 48° 27' 35" de longitude oeste, com 583 m de altitude, possui clima tropical úmido, sendo que a temperatura média situa-se em torno de 32 °C. Sua produção anual de ferro-níquel gira em cerca de 19.820 toneladas, e a produção de níquel contido é de 6.000 toneladas/ano. O tipo de solo predominante na região é o Latossolo Vermelho-Escuro (LE), álico, Horizonte A moderado, com textura de média a arenosa e relevo plano a suave-ondulado (CODEMIN, 2006).

O trator florestal utilizado na simulação foi um Skidder de pneus, tração 4x4, articulado, equipado com uma pinça na traseira e uma lâmina na parte frontal, que auxilia o empilhamento e limpeza de vias de acesso, da marca Caterpillar, modelo 545 B, com 112 kW de potência no motor, conforme é mostrado na Figura 1.

Para modelagem do comportamento dinâmico do trator arrastador Skidder, baseou-se no modelo proposto pela Standard 497.4 (ASAE, 2000) e nos procedimentos apresentados por Souza et al. (2001), implementando um programa computacional para prever o comportamento da eficiência de tração, da força e da potência disponível na pinça do trator arrastador Skidder. Para realizar as simulações foi desenvolvido um programa computacional, utilizando-se a linguagem de programação VISUAL BASIC, versão 6.0.



Figura 1 – Vista geral do Skidder.

O sistema de aquisição automática de dados utilizados foi um modelo HBM Spider 8, fabricado pela empresa HOTTINGER BALDWIN MESSTHECKNICK (HBM), e o programa computacional foi o Catman 2.0, que tem como função arquivar os dados e fazer a conversão dos sinais dos sensores para a unidade especificada por meio da curva de calibração. O programa gerou, em forma de gráficos, o esforço de tração do trator. O experimento foi montado, em quatro diferentes distâncias de 1.000 m, com tempo estabelecido de 500 segundos e intervalo de coleta de 10 s.

As toras para o arraste foram selecionadas de forma a preencher totalmente a área da pinça e representar o máximo volume de madeira a ser arrastado. O volume foi calculado multiplicando-se os valores de volume médio por árvore fornecido pela empresa pelo número de árvore arrastada, dando um volume de 7,2 m³ para um total de 17 árvores arrastadas. A madeira foi pesada separadamente, sendo calculado um peso de 0,633 t por árvore e um total de 10,764 t no feixe.

Para o desenvolvimento do modelo, a superfície do solo foi considerada plana, o movimento do trator foi analisado em duas dimensões e duas condições de arraste, sendo uma com as toras totalmente apoiadas ao solo e a outra em condições normais de trabalho, ou seja, com a pinça totalmente levantada. À carga aplicada nos rodados do trator foi acrescido o peso da madeira. Essa carga foi decomposta, sendo as componentes distribuídas entre o solo e os rodados. Os esforços dinâmicos atuantes em cada roda foram representados por vetores nas direções vertical e longitudinal do arraste.

A eficiência tratória foi definida como a razão entre a potência disponível para tração no ponto de abraçamento da madeira e a potência transmitida aos eixos motrizes, conforme representado na equação 1.

$$E_T = (1 - S) \frac{F_b}{F_t} \quad \text{equação 1}$$

em que:

E_T = eficiência tratória, adm.;

F_b = força de tração disponível na pinça, kN;

F_t = força de tração bruta disponível na árvore-motriz, kN; e

S = deslizamento do rodado motriz, adimensional.

A força de tração bruta foi determinada utilizando-se a equação 2.

$$F_t = W_d [0,88(1 - e^{-0,1Bn})(1 - e^{-C_1S}) + C_2] \quad \text{equação 2}$$

em que:

W_d = carga dinâmica sobre o rodado, kN;

Bn = coeficiente de mobilidade, adm.; e

C_1, C_2 = constantes que dependem do tipo de pneu (Quadro 1).

Quadro 1 – Constantes que caracterizam o comportamento da força de tração bruta para pneus diagonais

Constante	Pneu Diagonal
C1	7,50
C2	0,04
C3	1,00

Fonte: Brixius (1987).

O coeficiente de mobilidade, que considera a interação pneu-solo, foi determinado por meio da equação 3.

$$B_n = \left(\frac{I_c b d}{W_d} \right) * \left(\frac{1 + 5 \frac{\delta}{h}}{1 + 3 \frac{b}{d}} \right) \quad \text{equação 3}$$

em que:

I_c = índice de cone, kPa;

b = largura da banda de rodagem do pneu, m;

d = diâmetro do pneu, m;

h = altura da banda de rodagem do pneu, m; e

δ = deflexão do pneu, m.

A carga dinâmica sobre o rodado foi determinada por meio do peso do trator nos rodados, do componente peso da madeira e da transferência de peso entre os eixos, que ocorre quando o trator se encontra tracionando, de acordo com a equação 4.

$$W_d = w_e * \left(\frac{D - D_h}{D} \right) + F_b * \frac{h_b}{D} \quad \text{equação 4}$$

em que:

W_e = carga estática no eixo (peso da madeira e peso do trator), kN;

h_b = distância entre a pinça e a superfície do terreno, m;

D = distância entre eixos, m; e

Dh = distância horizontal entre o eixo traseiro e o centro de gravidade, m.

Para determinação do peso da madeira foi considerada a umidade de 25%, para uma densidade básica da espécie de 552 kg m^{-3} , sendo o volume de madeira arrastado determinado em função do comprimento da madeira e da área da pinça do trator. A carga de arraste foi calculada de acordo com a seguinte equação:

$$WL = \left(\frac{TU}{100} + 1 \right) * db * L * A \quad \text{equação 5}$$

em que:

WL = peso da madeira (kN);

TU = umidade da madeira durante o arraste (%);

L = comprimento da madeira (m);

db = densidade básica da espécie (kg m^{-3}); e

A = área de abraçamento da pinça (m^2).

De acordo com Souza et al. (2001), para vencer a resistência ao rolamento imposta pelo solo torna-se necessário considerar uma força adicional, que deve ser incluída na potência requerida para a tração do trator. Essa força foi determinada por meio da resistência ao rolamento e do peso da madeira, obtido da relação entre a resistência ao rolamento e a carga dinâmica sobre o rodado, conforme a equação 6.

$$C_r = \frac{R_T}{W_d} = \left[\frac{C_3}{B_n} + C_2 + \frac{0,5_s}{\sqrt{B_n}} \right] \quad \text{equação 6}$$

em que:

C_r = coeficiente de resistência ao rolamento, adm.;

R_T = resistência ao rolamento devido aos pesos da madeira e do trator, kN; e

C_2 C_3 = constantes que dependem do tipo de pneu (Quadro 1).

A força disponível para tração foi determinada pela diferença entre a força de tração bruta, a resistência ao rolamento e a resistência oferecida ao movimento devido ao contato da madeira com o solo, conforme a equação 7.

$$F_T = F_t - R_r + R_c \quad \text{equação 7}$$

em que:

F_T = força disponível para tração, kN;

F_t = tração bruta, kN;

R_r = resistência ao rolamento, kN; e

R_c = resistência da carga, kN.

A resistência da carga é a força necessária para vencer o atrito imposto pelo peso da madeira devido ao contato com o solo. Foi determinada conforme Peña et al. (1993), descrita pela equação 8.

$$R_c = \frac{WL * \text{sen } \alpha}{2} * \mu_m \quad \text{equação 8}$$

em que:

α = ângulo formado entre a superfície do solo e a madeira, em graus; e

μ_m = coeficiente de atrito da madeira semi-supensa com o solo, adm.

O coeficiente de tração foi definido como a reação entre a força desenvolvida no ponto de tração e a carga dinâmica aplicada sobre os rodados motrizes, conforme a equação 9.

$$\xi = \frac{F_b}{W_t + W_f + R_c} \quad \text{equação 9}$$

em que:

ξ = coeficiente de tração, adm.;

W_t = peso sobre o eixo traseiro do trator, kN; e

W_f = peso sobre o eixo dianteiro do trator, kN.

A potência disponível na barra de tração do trator foi determinada por meio da equação 10.

$$P = \frac{F_b V}{3600} \quad \text{equação 10}$$

em que:

P = potência na barra de tração, kW; e

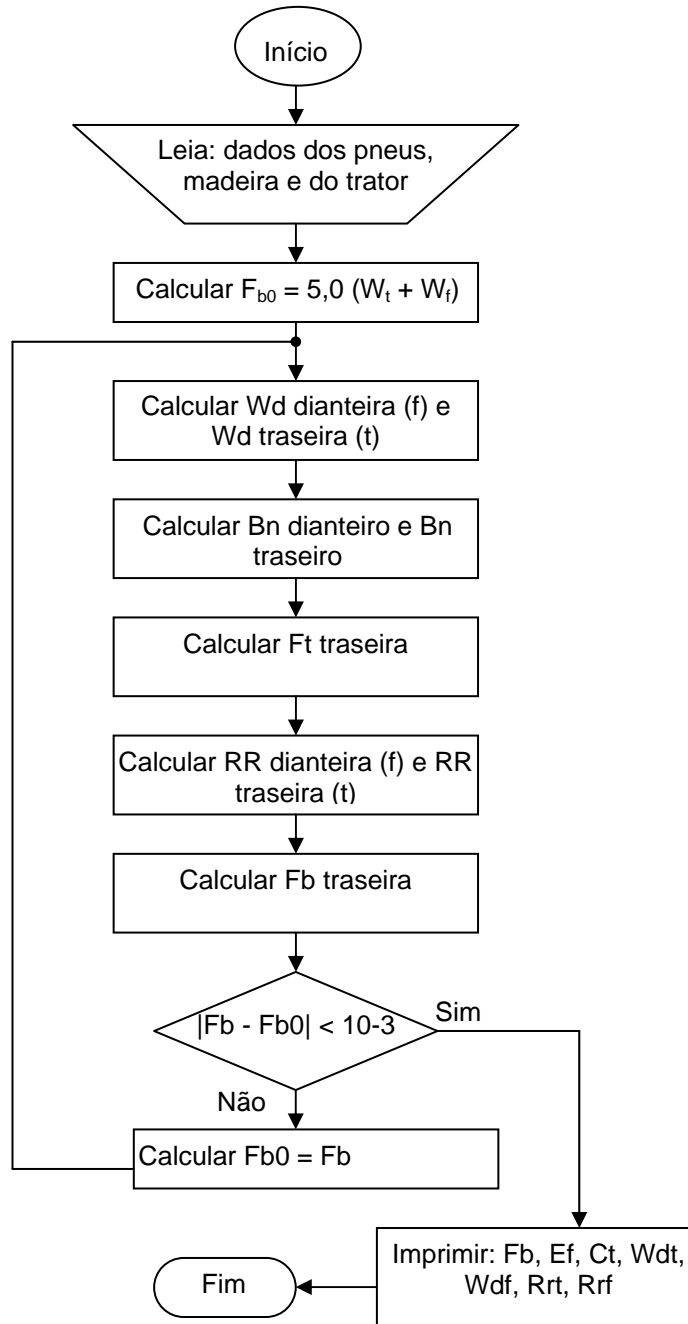
V = velocidade de deslocamento do trator, km h⁻¹.

Os valores da força de tração, para validação do modelo, foram obtidos experimentalmente por meio de uma célula de carga modelo LCCA 10K da Omega com capacidade de 200 kN acoplada entre um cabo de aço e a pinça do trator. Foi utilizado um computador portátil para aquisição, processamento e armazenamento de dados.

Para a simulação do esforço tratório, foram fornecidos ao programa as características dos rodados motrizes, as especificações dos pneus, os parâmetros operacionais e as propriedades do terreno.

O primeiro passo foi fornecer os dados relativos aos rodados, à distribuição de peso, à altura da barra de tração, à distância entre eixos, à velocidade de trabalho e a outros parâmetros, como patinagem e índice de cone. Os dados técnicos do trator foram obtidos mediante o catálogo técnico da máquina, e a velocidade média foi calculada para as marchas de trabalho em 2^a simples e 2^a reduzida, sendo o índice de cone utilizado segundo ASAE D497. 4 (2000). Os índices de patinagem foram estabelecidos inicialmente como sendo de 1 a 10%.

O fluxograma abaixo mostra os passos realizados pelo programa para o cálculo do esforço tratório.



A partir dos dados iniciais das características dos pneus, dimensões do trator e peso da madeira foi estimada uma força de tração equivalente a 5 kN, possibilitando calcular a carga dinâmica sobre os rodados. Com a carga dinâmica sobre os rodados e a característica dos pneus e do solo, calculou-se o coeficiente de mobilidade.

Com a carga dinâmica sobre os rodados, o coeficiente de mobilidade e as constantes que caracterizam o comportamento da força bruta para o pneu diagonal, calculou-se, então, a força de tração bruta.

O passo seguinte consistiu em determinar a resistência ao rolamento dos rodados e da madeira. Para os rodados, o cálculo foi feito aplicando-se as constantes aos pneus diagonais, e com o coeficiente de mobilidade para a madeira determinaram-se o coeficiente de atrito e o ângulo formado entre ela e o solo. Extraíram-se os valores da resistência de rolamento dos pneus dianteiros e traseiros e da madeira e do valor da força de tração bruta, para obtenção da força disponível para o arraste.

Os resultados dos testes foram plotados na forma de gráficos, sendo na abscissa os valores experimentais e na ordenada os valores simulados por meio do modelo, o erro relativo médio entre o valor simulado e o experimental foi dado pela seguinte expressão:

$$\bar{e} = \sum_1^n \left(\frac{y_1 - x_1 / x_1}{n} \right) \quad \text{equação 11}$$

em que:

e = erro relativo médio, dec.;

$X1$ = valores experimentais;

$Y1$ = valores simulados; e

n = número de observações.

Considerando-se que o erro relativo é uma variável que segue uma distribuição normal e ocorre ao acaso, foi testada a hipótese de o erro ser zero, utilizando-se o teste t a 5% de probabilidade.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As comparações dos valores observados e simulados do esforço tratório do trator Skidder em duas alturas de arraste são apresentadas nos parágrafos subseqüentes.

A Figura 2 contém a tela de apresentação do programa criada para simular os dados para as alturas de arraste analisadas.



Figura 2 – Tela de apresentação do programa.

O programa disponibilizou os resultados requeridos de eficiência tratória, força de arraste e potência na barra, no eixo traseiro e no motor, conforme mostrado na Figura 3.

Patinagem	Força trativa bruta	Força trativa na barra	Potência na barra de tração	Potência no eixo do motor	Coeficiente de tração	Eficiência tratória
11	91,68	63,50	179,48	150,97	0,48	0,84
12	96,54	68,16	197,85	164,22	0,50	0,83
13	101,05	72,48	216,24	177,04	0,52	0,82
14	105,25	76,48	234,68	189,46	0,54	0,81
15	109,15	80,19	253,23	201,52	0,56	0,80
Passo 4						
4	45,80	18,98	46,51	42,02	0,24	0,90
5	53,86	26,85	66,34	59,68	0,28	0,90
6	61,35	34,15	85,80	76,55	0,32	0,89
7	68,32	40,93	104,95	92,68	0,36	0,88
8	74,81	47,22	123,84	108,14	0,39	0,87
9	80,85	53,05	142,52	122,97	0,42	0,86
10	86,46	58,47	161,05	137,23	0,45	0,85
11	91,68	63,49	179,47	150,97	0,48	0,84
12	96,53	68,15	197,85	164,22	0,50	0,83
13	101,05	72,47	216,22	177,03	0,52	0,82
14	105,25	76,47	234,66	189,45	0,54	0,81
15	109,15	80,18	253,21	201,51	0,56	0,80

Figura 3 – Valores de resposta do programa após a simulação.

As forças que apuseram o movimento devido ao peso da madeira para arraste nas alturas máxima e mínima da barra foram de 23,66 e 28,63 kN, respectivamente. Esses resultados foram semelhantes aos obtidos por Pennã et al. (1993).

A calibração da balança foi previamente aferida por meio do sistema de aquisição automática de dados, antes do início de cada arraste, e os resultados são apresentados na Figura 4.

Esforço Tratório

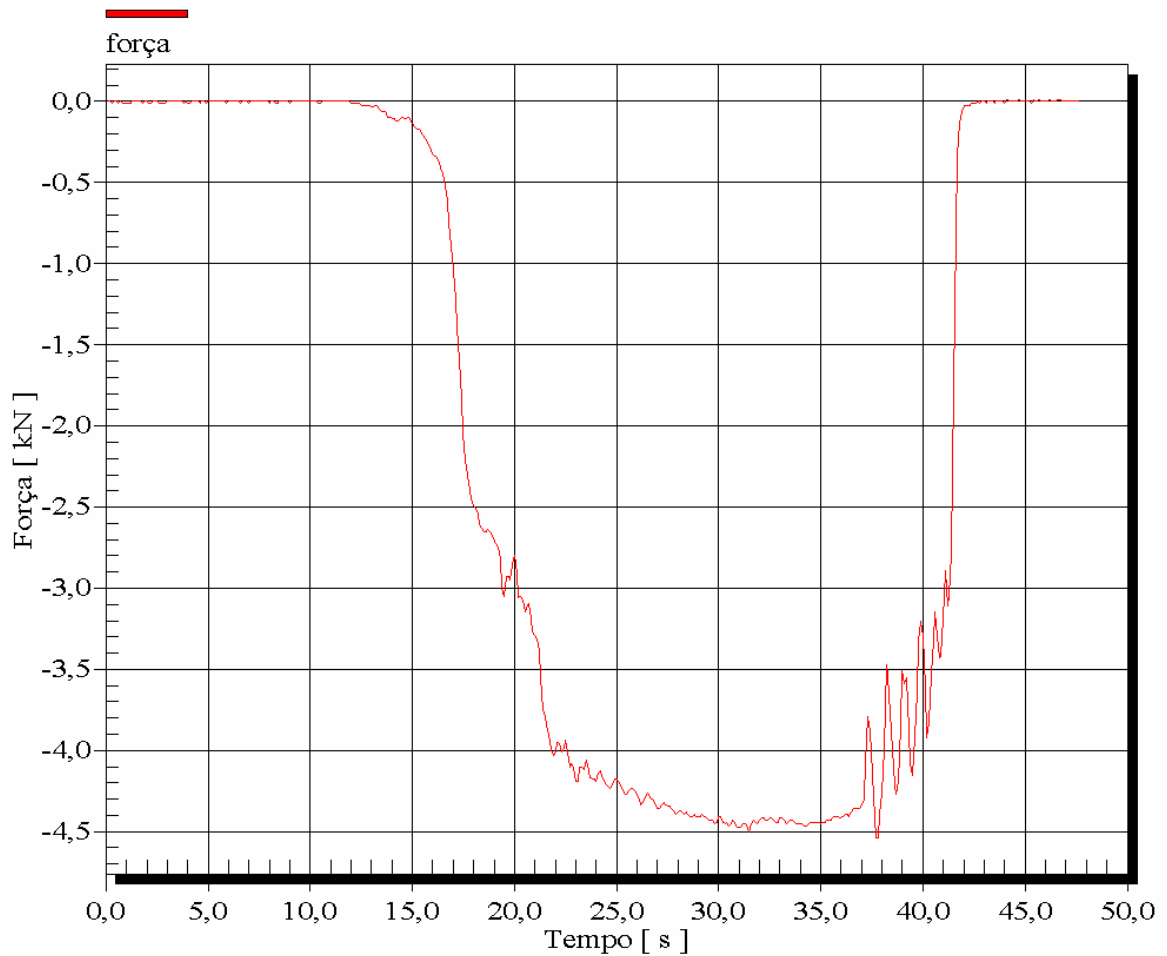


Figura 4 – Calibração da balança antes do início de cada arraste.

Os valores médios da força observada para alturas máxima e mínima de arraste foram de 47,40 e 44,98 kN, respectivamente.

Esses valores apresentaram diferenças significativas, pelo teste F a 5% de probabilidade, como se pode deduzir nas Figuras 5 e 6.

Os valores da força de tração do trator são maiores no início do arraste na altura mínima, devido à inércia da carga e à resistência da carga imposta ao movimento. Para a altura máxima, essa força inicial foi menor, tendendo a aumentar, com a apresentação de valores médios de força de arraste superiores aos da altura mínima, devido à maior transferência de peso no eixo traseiro do trator.

Esforço Tratório

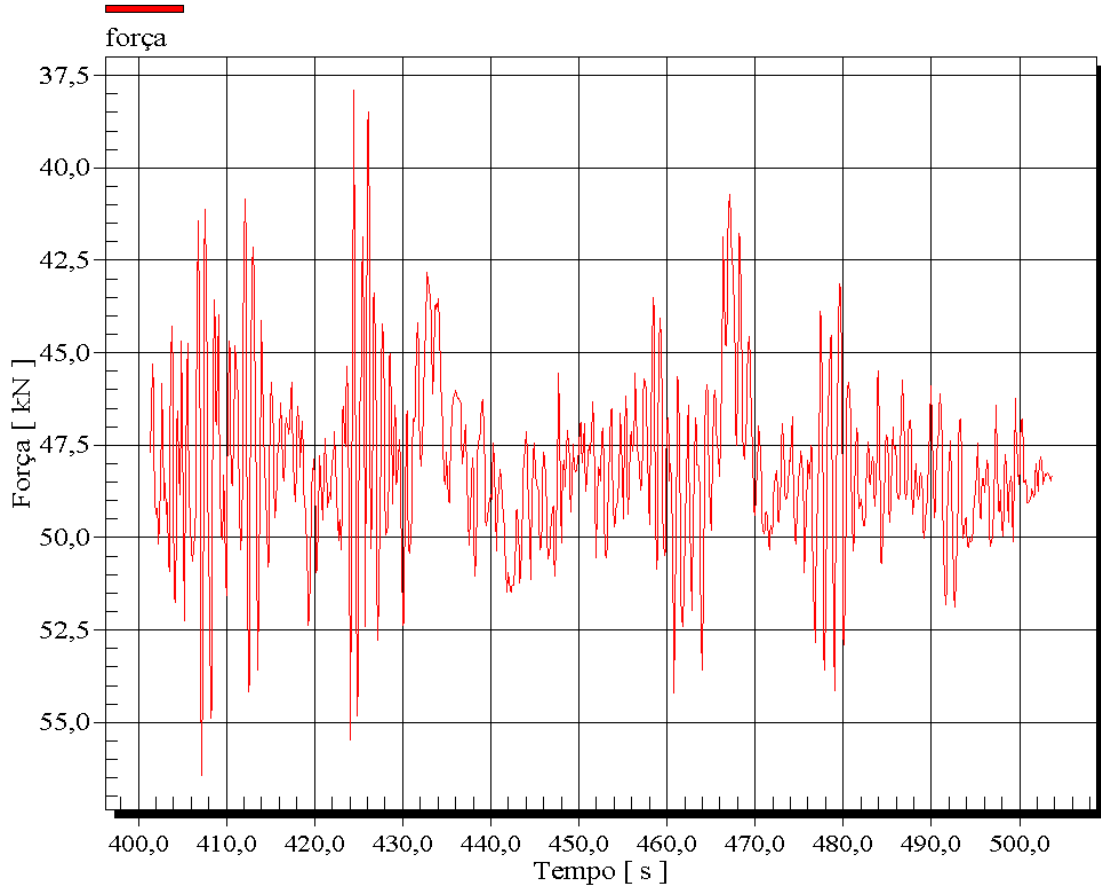


Figura 5 – Valores da força de arraste para altura máxima.

Esforço Tratório

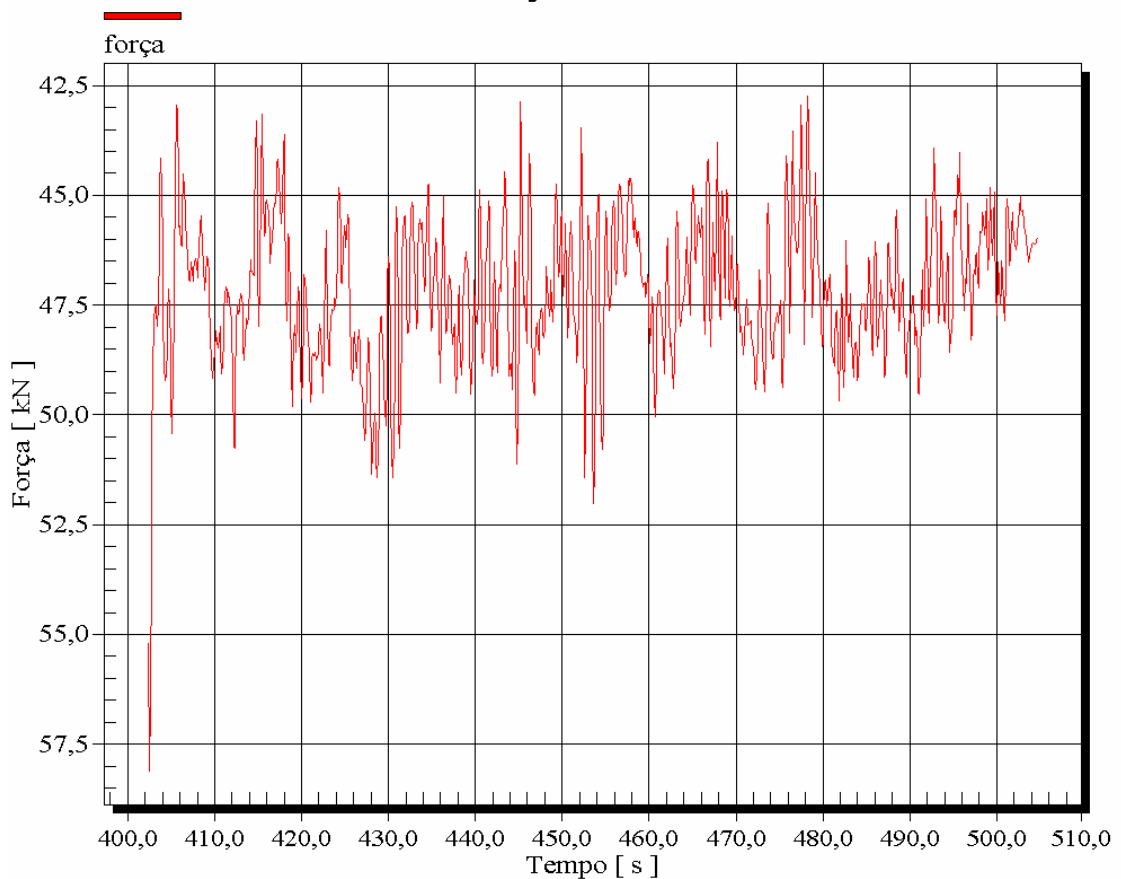


Figura 6 – Valores da força de arraste para a altura mínima.

Foi observado que o aumento na velocidade de trabalho, assim como os obstáculos dentro do talhão, elevou a força de arraste, fazendo-a variar de valores positivos a negativos, o que significou maior impacto no sistema de arraste do trator.

Os valores médios simulados para a altura máxima de arraste foram de 42,46 kN e 39,71 kN para a altura mínima. Esses valores foram diferentes estatisticamente e obtidos segundo ASAE (2000), implementados por Souza et al. (2001).

Nas Figuras 7 e 8 constam as comparações entre os valores da força de arraste observados e simulados. Verifica-se, nessa figura, que o modelo nas duas alturas analisadas apresentou, inicialmente, valores abaixo do observado, devido aos baixos valores de entradas de dados, principalmente os de patinagem.

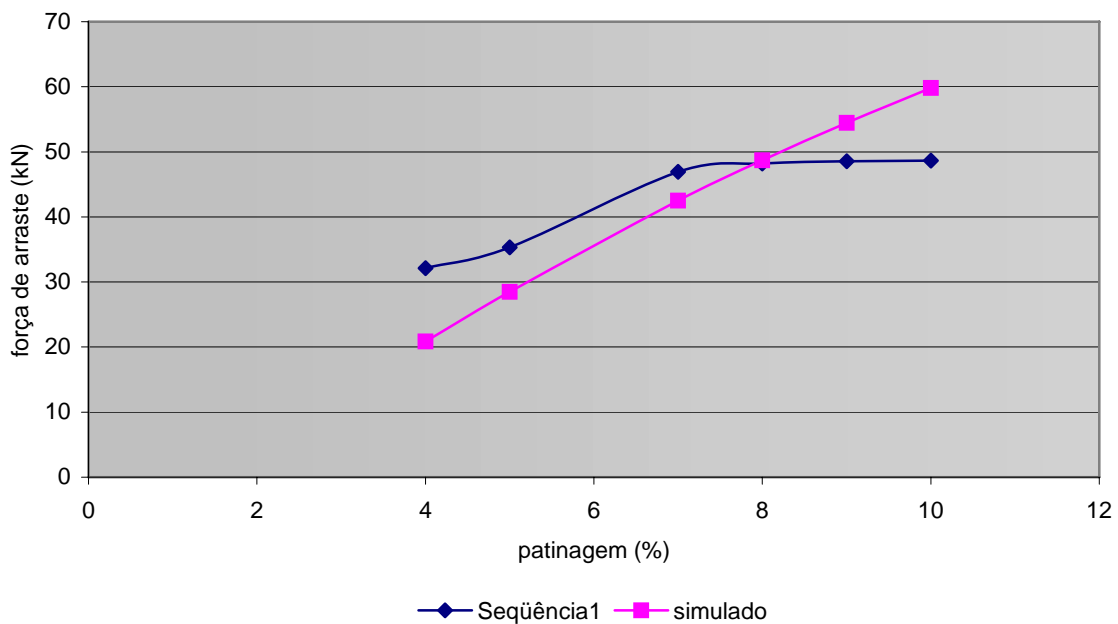


Figura 7 – Valores de forças simulados e observados para uma altura máxima de arraste.

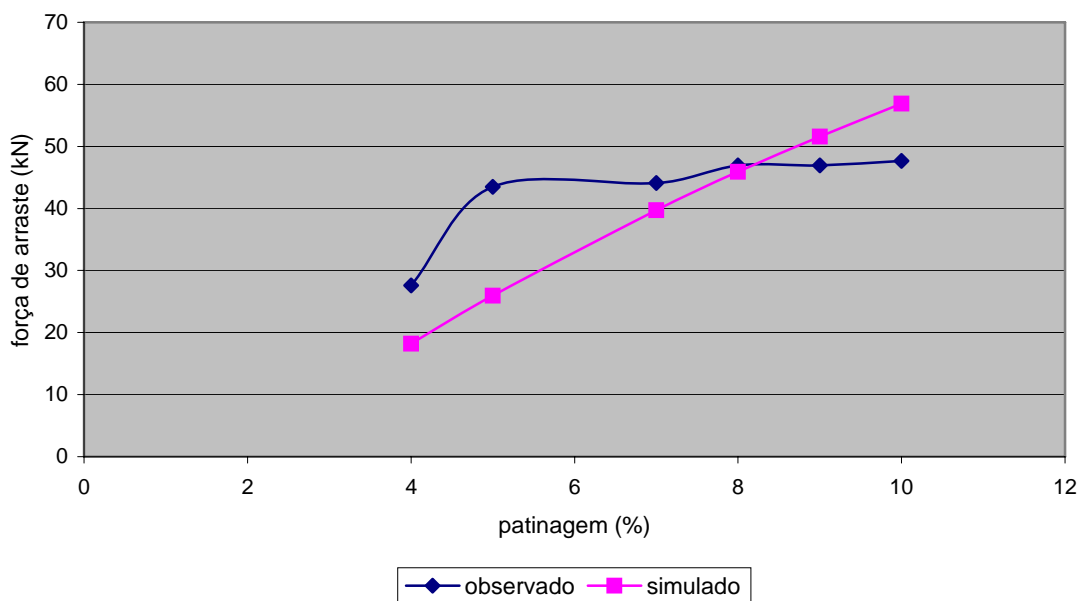


Figura 8 – Valores de forças simulados e observados para uma altura mínima de arraste.

Como o feixe de madeira foi selecionado de forma a representar o máximo esforço de arraste, os valores médios observados estão sempre próximos da força requerida na barra de tração, segundo os valores simulados. Os valores encontrados para potência no motor, esforço na barra de tração, eficiência tratória e coeficiente de tração são apresentados no Quadro 2.

Quadro 2 – Valores encontrados na simulação do esforço tratório

Parâmetros	Altura Máxima da Barra de Tração		Altura Mínima da Barra de Tração	
	Máxima	Média	Máxima	Média
Força na barra tração (kN)	54,477	42,48	51,60	39,71
Potência no motor (kW)	120,10	95,80	118,20	95,00
Eficiência tratória (adm.)	0,867	87,90	0,861	0,88
Coeficiente de tração (%)	87,10	89,00	93,10	93,50

Os valores simulados indicaram que o trator atingiu a sua potência máxima para um esforço tratório de 54,477 KN, com um coeficiente de tração de 87,10%, quando arrastou o feixe de madeira na altura máxima. Na altura mínima, o trator não atingiu a potência máxima, de 119 kW. Os valores encontrados na simulação estão de acordo com os fornecidos pelo fabricante da máquina.

Nas Figuras 9 e 10, demonstra-se que, independentemente da altura de arraste, a força na barra de tração não ultrapassa a potência máxima do motor. Observou-se que a maior potência do motor é exigida para iniciar o arraste.

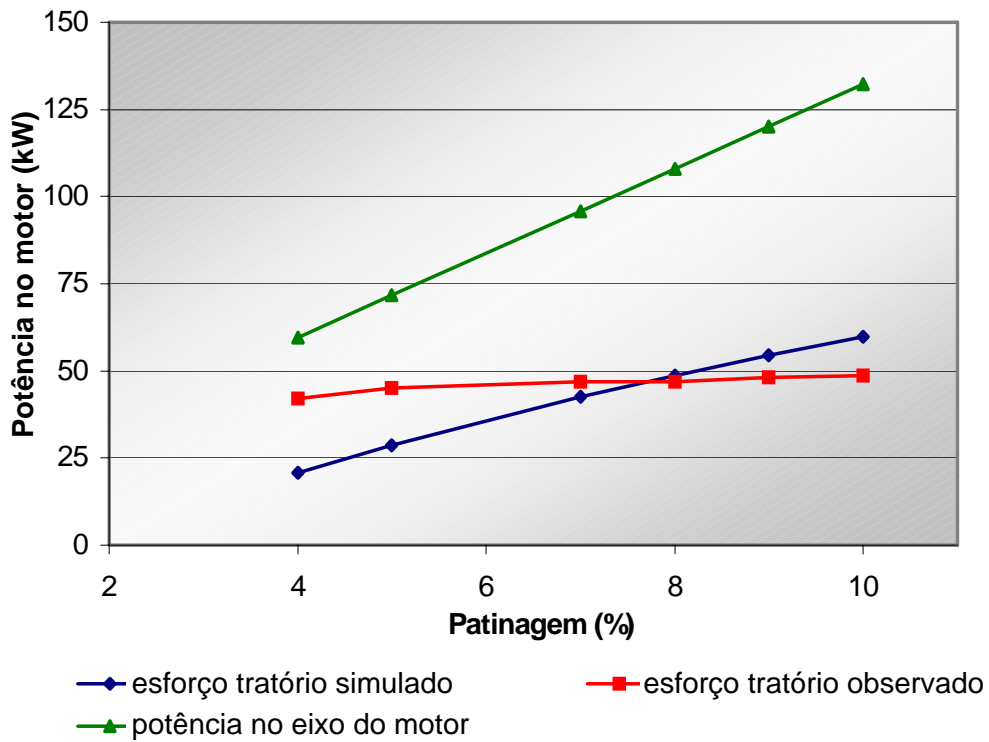


Figura 9 – Valores de potência do motor e esforço na barra, simulados e observados para altura máxima da barra.

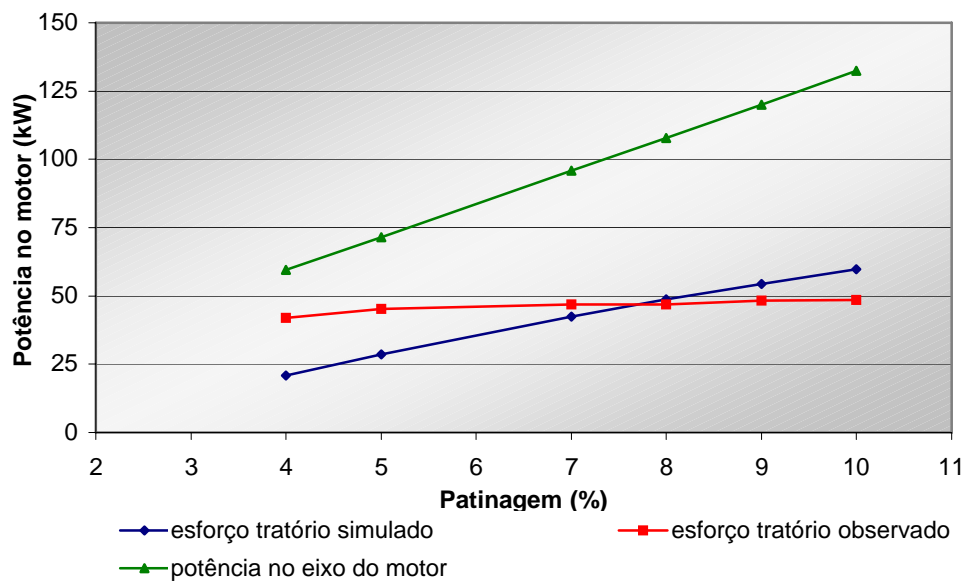


Figura 10 – Valores de potência no motor e esforço na barra, simulados e observados para altura mínima da barra.

Para uma patinação entre 7 e 9%, não houve diferença significativa entre a força de arraste observada e a simulada, independentemente da altura de arraste, sendo os valores da altura máxima superiores. Os valores indicaram coerência entre os dados observados e simulados. O erro relativo entre os valores observados e simulados dessa altura foi de 0,017, com um coeficiente de determinação de 0,88. Para altura mínima, registrou-se erro relativo de 0,02, com 0,91 de coeficiente de determinação. Para uma faixa de patinação superior a 10%, o modelo precisa ser alterado, ou seja, deve ser limitado ao valor de potência máxima do trator com os índices de patinação. Não foi observado, experimentalmente, índice de patinação superior ao simulado, demonstrando que em condição normal de trabalho o trator apresenta sobra de potência na barra de tração.

4. CONCLUSÕES

Para a altura mínima, o Skidder apresentou a maior força de tração para iniciar o arraste da madeira, enquanto para a altura máxima, a maior força de tração média, demonstrando a influência da transferência de peso nessa operação.

O modelo de simulação implementado foi satisfatório na simulação do desempenho trativo do Skidder para uma faixa de patinação entre 7 e 9%. Deve ser ajustado para quando o trator aumentar o torque ao atingir a máxima potência no motor, tendendo a desligar-se.

Neste estudo, apesar de o trator ter operado na sua capacidade de tração abaixo da nominal, o volume de madeira arrastado causou danos ao equipamento, em razão dos impactos causados pela força oposta ao movimento pelo peso da madeira, principalmente na altura máxima da barra.

REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. **ASAE Agricultural machinery management data**. Standards D497.4, St Joseph, 2000. 8 p.

BRIXIUS, W.W. **Traction prediction equations for wheeled vehicles**. Moline: Deere & Company, 1975. 22 p. (Documento n. 109, Projeto n. 9008: Tecnical Center).

BRIXIUS, W.W. **Traction prediction equations for bias ply tires**. St. Joseph, Michigan: ASAE, 1987. 8 p. (Paper 87-1622).

GARCIA, R.F.; QUEIROZ, D.M.; FERNANDES, H.C. Simulação do comportamento dinâmico de um conjunto trator-colhedora de feijão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 7, n. 3, p. 565-571, 2003.

HASSAN, A. E.; SIROIS, D. L. Transation and roling resistance of a dual-tired Skidder on wetland. **Transaction of the ASAE**, St Joseph, v. 28, p.1038-1042, 1985.

LILJEDAHL, J.B.; TURNQUIST, P.K.; SMITH, D. W E HOKI, M. **Tractors and their power units**. 4. ed. New York: AVI, publishing Company, 1989. 463 p.

MIALHE, L. G. **Máquinas motoras na agricultura**. São Paulo: EPU, USP, 1980. v. 2, p. p.149-195.

PENÃ, S.V.; COLLADO, J.M.; ALVAREZ, M.A.G. **Los tractores en la explotacion forestal**. Madrid: Mundi Prensa, 1993. 150 p.

PERUMBRAL, J.V.; BALDDWIN, J.D.; WALBRIDGE, T.A.; STWART Jr., W. B. Skidding forces of tree length logs predicted by a mathematical model. **Transactions of the ASAE**, v. 20, n. 6, p. 31-38, 1977.

QUEIROZ, D. M. **Steering performance simulation of rubber-tracked tractor**. West Lafayette: Purdue University, 1995. 233 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Purdue University, West Lafayette.

SEVER, S.; HORVAT, D. Choosing and application of forest soft machines. In: EUROPEAN ISTVS CONFERENCE, 7., 1997, Italy. **Proceedings...** Italy, Ferrara, 1997. p. 549-556.

SERPA, F.M. **Estimativa de esforços em implementos de preparo de solos e adequação trator implemento**. Campinas, SP: UNICAMP, 1997. 94 f. Dissertação (Mestrado em Projeto e Desenvolvimento de Máquinas Agrícolas) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

SOUZA, C.M.A. **Avaliação e simulação de desempenho de uma colhedora de fluxo axial para feijão**. Viçosa, MG: UFV, 2001. 113 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

UPADHAYAYA, S.K.; WULFSON, D. Traction of low-pressure pneumatic tires in deformable terrain. **SAE Paper**, n. 91, p. 1862, 1990.

WISMER, R.D.; LUTH, H.J. Off-road traction prediction for wheeled vehicles. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 17, n. 1, p. 8-14, 1973.

CAPÍTULO 3

DESENVOLVIMENTO DE UM DISPOSITIVO ELETRÔNICO PARA MARCAÇÃO AUTOMÁTICA DO PONTO DE TRAÇAMENTO DA MADEIRA

RESUMO

A mão-de-obra é um componente essencial para o trabalho florestal, notadamente nas atividades de elevada exigência física, como as operações de colheita realizadas de forma manual ou semimecanizada, quando se faz uso intensivo dessa força de trabalho. Para caracterizar a mão-de-obra e as condições de trabalho, é preciso conhecer os fatores humanos relacionados aos trabalhadores, bem como as condições de trabalho, saúde, alimentação, treinamento e segurança dos funcionários. O conhecimento desses fatores é fundamental para que a área de trabalho, o seu arranjo, as máquinas e as ferramentas sejam bem adaptados às capacidades psicofisiológicas, antropométricas e biomecânicas do trabalhador. Este estudo foi conduzido em povoamentos de eucalipto de uma empresa florestal do Estado de Goiás, com o objetivo de desenvolver um dispositivo eletrônico para marcação automática do ponto de traçamento da madeira. O trator utilizado foi uma escavadeira hidráulica modelo 320 CL, da Caterpillar, com 103 kW de potência nominal do motor. Para o controle do ponto de traçamento dos

toretos foi utilizado um contador controlador programável linha TP 02 marca WEG, que funciona através de um gerador de pulsos baseado em sensor de proximidade do tipo indutivo modelo M 12 X 1 CC com invólucro metálico, proteção contra curto-circuito e rearme automático. O trabalho compreendeu duas etapas básicas. Primeiramente, foi determinado o volume de madeira a ser traçado no sistema atual e o tempo gasto, incluindo o tempo para posicionamento da tora-padrão. A segunda etapa foi determinar o raio de giro da máquina que permitisse o traçamento conforme as dimensões estabelecidas. Determinou-se a distância entre o braço e a lança da máquina, de modo que o comprimento do giro fosse medido pelo dispositivo eletrônico. Para essa leitura foi relacionada a distância entre os parafusos de sustentação da base da máquina, local de instalação do sensor, com o giro do motor. De acordo com o estudo, conclui-se que os valores encontrados para os comprimentos dos toretos quando medidos pelo dispositivo eletrônico e pela tora-padrão ficaram próximos do desejado e estatisticamente não apresentaram diferenças. O sensor utilizado não foi capaz de zerar automaticamente os valores, quando o operador ultrapassou a medida desejada. Os valores de tempo não foram satisfatórios, sendo aqueles medidos pelo dispositivo superiores aos aferidos na tora-padrão. O dispositivo não apresentou valores de tempo de traçamento que viabilizassem sua utilização, necessitando de ajustes, principalmente, quanto ao tempo de traçamento.

ABSTRACT

DEVELOPMENT OF ELECTRONIC DEVICE FOR AUTOMATIC DEMARCATON OF WOOD BUCKING POINT

Labor is an essential component for forest work, particularly in high physical demand activities such as manual or semi-mechanical harvesting, with intensive labor use. To characterize labor and work conditions, it is necessary to understand the human factors related to workers, as well as conditions of work, health, food, training and safety of workers. This knowledge is fundamental for the working place, its organization, equipment and tools to be well adapted to the worker's psychophysiologic, anthropometric and biomechanic capacities. The study was carried out in eucalyptus stands of a forest company in the State of Goiás seeking to develop an electronic device for automatic demarcation of wood bucking point. The tractor used in this work was a Caterpillar 320CL hydraulic excavator 103 kW engine. The control of bucking length used a TP 02 WEG programmable counter, working through a pulse generator based on an inductive proximity sensor M12 X 1 CC in metal housing, with protection against short circuit and automatic rearming. The work consisted of two basic stages. Firstly, the wood volume to be bucked was determined in the current system and the spent time, including time for positioning the standard log. Then, in the second stage, it was determined the radius of turn of the

machine that allowed the bucking at the established lengths. The distance between the boom and the stick of the machine was measured so that the turn length was determined by the electronic device. The reading was performed by relating the distances between the screws that support the machine base —the place for sensor installation— with the turn of the machine. The results of the study showed that the log lengths measured by the electronic device and standard log were close to the required and not significantly different. The sensor was not capable of automatically reset the values when the operator surpassed the required length. Time values were not satisfactory, with those electronically measured above the ones measured with the standard log. The device produced no bucking times feasible for its use, needing adjustment.

1. INTRODUÇÃO

A pesquisa a respeito de fatores humanos e condições de trabalho nas empresas florestais tem por objetivo aperfeiçoar métodos e técnicas operacionais, de modo a assegurar ao trabalhador condições confortáveis e saudáveis no ambiente de serviço. O conhecimento dessas condições de vida e busca constante de sua melhoria influencia diretamente a satisfação do operador, levando ao aumento da produtividade e da qualidade do trabalho (GRANDJEAN, 1998; IIDA, 1990; FIEDLER, 1995; MINETTE, 1996; ANDRADE; 1998).

A mão-de-obra é um componente essencial para o trabalho florestal, notadamente nas atividades de elevada exigência física, como as operações de colheita, realizadas de forma manual ou semimecanizada, em que se faz uso intensivo de mão-de-obra. Para caracterizar essa força de trabalho e as condições de serviço, é preciso conhecer os fatores humanos relacionados aos trabalhadores, bem como as condições de trabalho, saúde, alimentação, treinamento e segurança dos funcionários (MINETTE et al., 1999). O conhecimento desses fatores é fundamental para que a área de trabalho, o seu arranjo, as máquinas e as ferramentas sejam bem adaptados às capacidades psicofisiológicas, antropométricas e biomecânicas do trabalhador (SOUZA; MACHADO, 1991).

Mesmo a colheita mecanizada, que foi a fase do processo produtivo florestal que mais sofreu alterações devidas à introdução de tratores

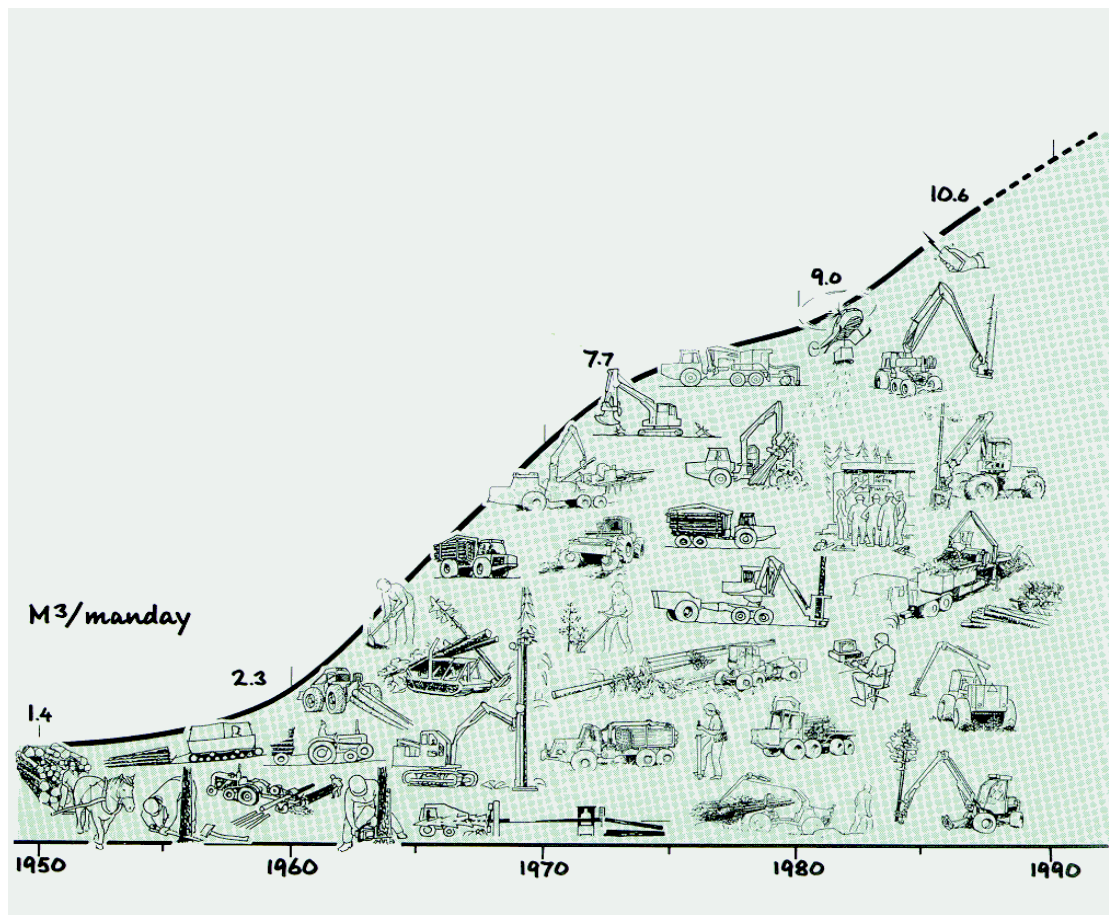
florestais para o corte e extração da madeira, durante a realização dos trabalhos os operadores ficavam expostos às condições adversas vindas do meio ambiente (temperatura, poeira, umidade etc.) e da máquina (ruídos, vibrações, postura, gases, temperatura etc.), sendo as últimas decorrentes do projeto da máquina. No início, os projetos dos tratores estavam mais voltados para a utilização e redução dos custos de produção do equipamento.

Com o desenvolvimento tecnológico, passou-se a buscar o aperfeiçoamento da relação homem-máquina, com a finalidade de impor ao homem uma carga de trabalho mais suave, visando à redução da fadiga e, em consequência, ao aumento da produtividade do conjunto e à melhoria do serviço executado (MENEZEZ et al., 1985).

O processo da evolução da mecanização florestal na Suécia é ilustrado na Figura 1, detalhando uma redução na necessidade de mão-de-obra de 21 milhões de homens/dias em 1950 para cinco milhões em 1980. Apesar da maior eficiência das operações florestais, esse processo resultou em sérios problemas sociais, provocados principalmente pelo desemprego, mas ao mesmo tempo proporcionou melhores condições de trabalho ao colocar o indivíduo mais protegido em cabines climatizadas e transferir o trabalho pesado para as máquinas. Outro aspecto foi a substituição da percepção humana pelo uso, em maior escala, de computadores, sensores, fotocélulas etc., o que melhorou a eficiência e a qualidade das operações.

Com certa defasagem, um processo semelhante também ocorreu no setor florestal brasileiro, iniciado na década de 1960 com a utilização da motosserra no corte de árvores. A extração era feita basicamente com trabalho animal ou humano, tratores agrícolas adaptados e caminhões.

Na década de 1970 surgiram os primeiros Feller-Bunchers, máquinas que realizam o corte e empilhamento de árvores; Skidders, trator florestal articulado utilizado no arraste de toras; e Forwarders, tratores florestais autocarregáveis, iniciando-se um processo de mecanização com máquinas tipicamente de uso florestal.



Fonte: Fryk et al. (1991).

Figura 1 – Evolução da demanda e produtividade da mão-de-obra no setor florestal sueco.

Importantes avanços vêm ocorrendo na parte operacional das máquinas florestais. Para operar um trator, por exemplo, o operador depende da execução do trabalho de 20 a 26 comandos diferentes. Além disso, ao sair da linha de trabalho é necessário interromper uma série de funções que são novamente acionadas quando o operador retorna. Hoje, algumas máquinas fazem grande número de funções, de forma totalmente automatizada. Com isso, há maior conforto do operador, que passa a produzir mais, além do menor risco de falha humana, menor desgaste das máquinas e maior eficiência da operação entre outros. A tendência é, portanto, de que num futuro próximo as máquinas possam ser guiadas através de um sistema global de posicionamento.

A Silvicultura de Precisão poderá proporcionar mais qualidade e eficiência nas operações florestais. Isso envolveria a instalação de unidades GPS nas máquinas de colheita, elaboração de mapas com informações de inventário florestal e produtividade por área, neste último caso resultante da operação do Harvester, fluxo mais rápido de informações e comunicação entre setores. Aplicações desse gênero na colheita de florestas tropicais favoreceriam a rapidez e a agilidade do processo, tornando mais úteis as informações georreferenciadas e disponíveis nos planos de manejo e facilitando a localização de áreas, abertura de carregadores, estradas e a movimentação de máquinas de transporte de madeira.

Atualmente, há várias empresas trabalhando em projetos de alta tecnologia. Vale mencionar que o operador, em alguns casos, pode limitar a eficiência de certas operações em até 90%. É por isso que tem havido esforços no sentido de aumentar o conforto do trabalhador. Hoje é comum, em tratores e colhedoras, controle automático de temperatura e umidade do ar, além dos computadores de bordo para permitir um controle do ponto de traçamento da madeira, controle da produção, comandos ergonômicos e modernos sistemas de suspensão. Com o uso de máquinas mais confortáveis, proporciona-se um melhor ambiente de trabalho e pode-se atingir melhor índice de produtividade.

Nos próximos anos, o componente crítico que passará a fazer parte dessa nova geração de equipamentos será o das máquinas inteligentes. Isso terá forte impacto no uso desses equipamentos. Primeiro, a tecnologia dos sensores, a exemplo daqueles que medem a vibração do motor e que podem alertar a falha de componentes. Alguns sensores que hoje já são utilizados, como os que medem a aplicação de sementes e fertilizantes, mapeiam as colheitas, controlam as dimensões dos toretes ou outros que estão sendo desenvolvidos para medir o volume por área colhida ou a quantidade de fertilizante distribuído no solo, sendo toda essa informação gerada em tempo real durante a colheita. De forma simultânea, a partir do escritório a empresa, ou o produtor rural, poderá ter acesso a essas informações e programar a venda de seus produtos, considerando as informações geradas pela máquina. O objetivo básico da silvicultura de precisão é aumentar a eficiência dos processos de produção com base no

manejo diferenciado de áreas cultivadas, reduzindo os impactos ambientais e aumentando a lucratividade.

O uso de sensores permite que uma máquina possa interagir com o ambiente que o rodeia de forma flexível. Isso não acontece nas operações pré-programadas, em que a máquina realiza tarefas repetitivas através de um conjunto de funções programadas. A tecnologia dos sensores introduz nas máquinas maior eficiência para lidar com o seu meio e é objeto de uma pesquisa intensa no campo da robótica.

Um sistema sensorial é também mais facilmente adaptável a uma maior variedade de tarefas, atingindo, dessa forma, elevado grau de universalidade e que, no limite, repercutirá em custos de produção e manutenção menores. As funções dos sensores em máquinas e equipamentos podem-se dividir em duas categorias fundamentais: de estado interno e de estado externo. Os sensores de estado interno tratam essencialmente da detecção de variáveis como pressão, volume e temperatura de componentes, fazendo interações com um comando central da máquina. Já os de estado externos tratam da detecção de variáveis como distância, proximidade e tato. Os sensores externos podem ser classificados como sendo ou não de contato. Como o nome indica, os primeiros reagem com o contato físico como o toque, o momento das forças e o deslizar de materiais, enquanto os últimos se baseiam nas variações acústicas e nas radiações eletromagnéticas.

Com o desenvolvimento tecnológico, passou-se a buscar o aperfeiçoamento da relação custo/benefício e homem/máquina, com a finalidade de adequar o sistema de colheita ao local específico de trabalho e impor ao homem uma carga de trabalho mais suave, visando à redução da fadiga e, em consequência, ao aumento da produtividade do conjunto e à melhoria do serviço executado (MENEZEZ et al., 1985).

As colhedoras florestais, apesar de diferirem grandemente em sua construção, de acordo com os fabricantes e sua utilização final, constituem-se basicamente de: conjunto de corte e, ou, processamento, corte, processamento e movimentação. O conjunto de corte e processamento é responsável pela operação de “derrubada” da árvore, desgalhamento e traçamento, dependendo do cabeçote. O corte propriamente dito pode ser

realizado com lâminas de corte ou correntes semelhantes às usadas em motosserras. O conjunto de corte e processamento é sustentado por um braço, acionado hidráulicamente, que coloca o cabeçote de corte e, ou, processamento na árvore a ser derrubada, para a realização do corte e das operações subseqüentes. O conjunto de movimentação é encarregado de movimentar e sustentar os conjuntos de corte e de processamento, podendo ser montado sobre esteiras ou rodas. Assim, o sistema de colheita pode ter equipamentos que cortam, desgalham, cortam em toras e empilham na margem da estrada ou, ainda, aqueles que transportam a madeira.

As colhedoras florestais podem trabalhar em qualquer tipo de sistema florestal, seja madeira curta (*shortwood*), seja madeira longa (*longwood*) ou tamanho do fuste (*tree lenght*), sendo apropriadas para sistemas de extração florestal integrados, com alta produtividade (MENDONÇA FILHO, 2000).

A definição do uso dessas máquinas depende de vários fatores e análises, principalmente custo. Cada empresa adota o sistema de colheita de acordo com a sua necessidade, dando às máquinas as funções de corte e processamento a um ou dois equipamentos em função do sistema no seu cabeçote e movimentação a um equipamento específico.

Com base nesse contexto e considerando que o processamento da madeira é realizado por uma escavadeira hidráulica adaptada com uma Garra Traçadora e que para a padronização do tamanho das toras a serem traçadas a empresa faz uso de um gabarito (feito com uma tora-padrão) cortado nas dimensões entre 5,85 m e 6,15 m que servem de referência para o operador traçar os toretes, este trabalho teve por objetivo desenvolver um dispositivo capaz de determinar o ponto para traçamento da madeira pela Garra Traçadora.

2. MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi conduzida em povoamentos florestais de uma empresa Mineradora do grupo Anglo-América na região de Niquelândia, Estado de Goiás. O município, situado a 14° 28' 26" de latitude sul e 48° 27' 35" de longitude oeste, com 583 m de altitude, possui clima tropical úmido, sendo que a temperatura média do município situa-se em torno de 32 °C. Sua produção anual de ferro-níquel gira em torno de 19.820 toneladas e a de níquel contido, de 6.000 toneladas ano. O tipo de solo predominante na região é o Latossolo Vermelho-Escuro (LE), álico, Horizonte A moderado, com textura de média a arenosa e relevo plano a suave-ondulado (CODEMIN, 2006).

O trator utilizado neste trabalho foi uma escavadeira hidráulica modelo 320 CL, da Caterpillar, com 103 kW de potência nominal do motor. Na Figura 2, a foto da escavadeira hidráulica adaptada com Garra Traçadora.

O ciclo de trabalho da Garra Traçadora compreendia em buscar o feixe de madeira, posicionar para o corte, cortar e empilhar para posterior carregamento. Para o corte da madeira, a garra deslocava-se em cima de um gabarito com dimensão conhecida, para o operador ter a noção do comprimento a ser traçado.

O trabalho compreendeu duas etapas básicas. Primeiramente, foram determinados o volume de madeira a ser traçado no sistema atual e o tempo gasto, incluindo o tempo para posicionamento da tora-padrão (Figura 3).



Figura 2 – Vista geral da Garra Traçadora.



Figura 3 – Posicionamento da tora-padrão.

A segunda etapa foi determinar o raio de giro da máquina que permitisse o traçamento conforme as dimensões estabelecidas. Determinou-se a distância entre o braço e a lança da máquina, de modo que o comprimento do giro fosse medido pelo dispositivo eletrônico. Para essa leitura, relacionaram-se a distância entre os parafusos de sustentação da base e o local de instalação do sensor, com o giro. Esses parafusos estão distanciados 0,12 m. O sensor, ao detectar o parafuso, envia um sinal ao contador programável e faz a leitura. O comprimento desejado é alcançado quando o comprimento dos toretes é detectado. Para iniciar outro traçamento, o operador zerava o dispositivo eletrônico.

Para o controle do ponto de traçamento dos toretes, foi utilizado um contador controlador programável linha TP 02 marca WEG, que funciona através de um gerador de pulsos baseado em sensor de proximidade do tipo indutivo, modelo M 12 X 1 CC, com invólucro metálico, proteção contra curto-circuito e rearme automático. O sensor, ao detectar os parafusos, mediante o giro da máquina, gera pulsos, enviados a um contador eletrônico programável da marca Turck, modelo NC 400, que possui indicação por *display* de *leds* com cinco dígitos numéricos.

Na Figura 4, mostra-se o local onde o sensor foi inicialmente instalado.

A posição do sensor, que era inicialmente vertical na base da máquina, foi alterada para a posição horizontal, devido à incidência de erros causados pela distância dos parafusos ao sensor (Figura 5).

O contador programável foi instalado no interior da cabine da máquina, de modo a facilitar a visualização da leitura e do ponto de traçamento da madeira. O dispositivo eletrônico foi calibrado utilizando-se a tora-padrão, de maneira que, ao atingir 6 m, o visor indicasse essa leitura, monitorando o tempo gasto para o traçamento conforme o sistema atual. O nicho do contador dentro da cabine é mostrado na Figura 6. Já na Figura 7 mostra-se a visão do operador do ponto de traçamento.

O diagrama do funcionamento do sistema de traçamento dos toretes é apresentado na Figura 8.



Figura 4 – Localização do sensor na base da máquina.



Figura 5 – Posição do sensor instalado na base da máquina.

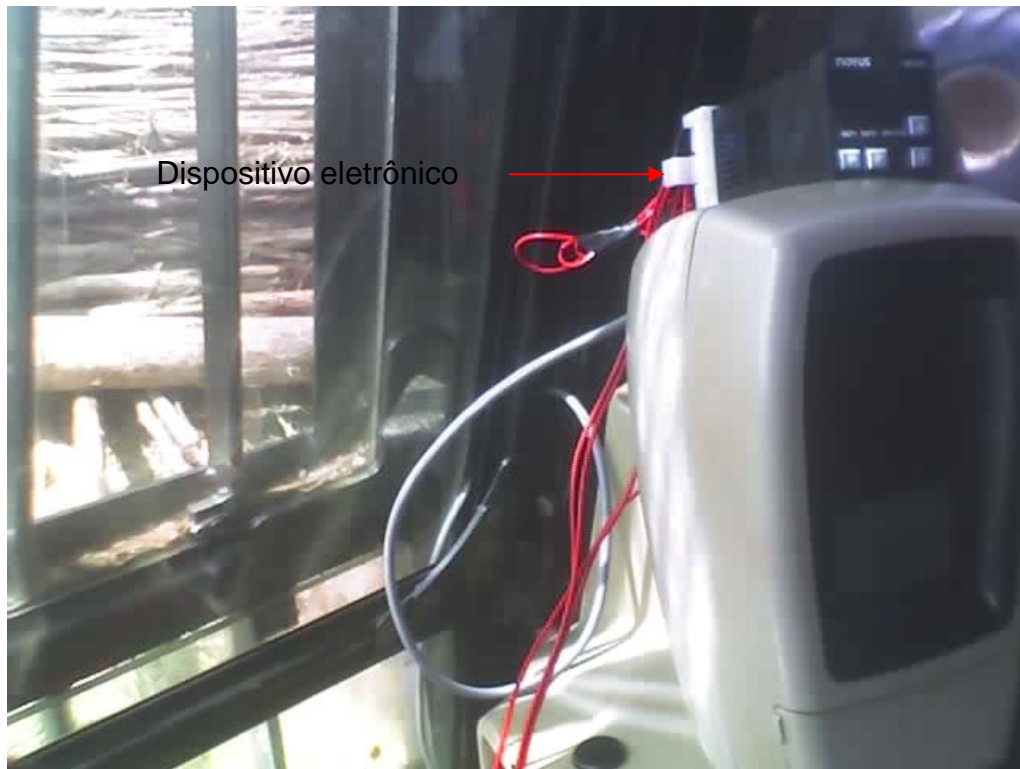


Figura 6 – Vista do contador no interior da cabine.



Figura 7 – Vista do operador no interior da cabine do ponto de traçamento.

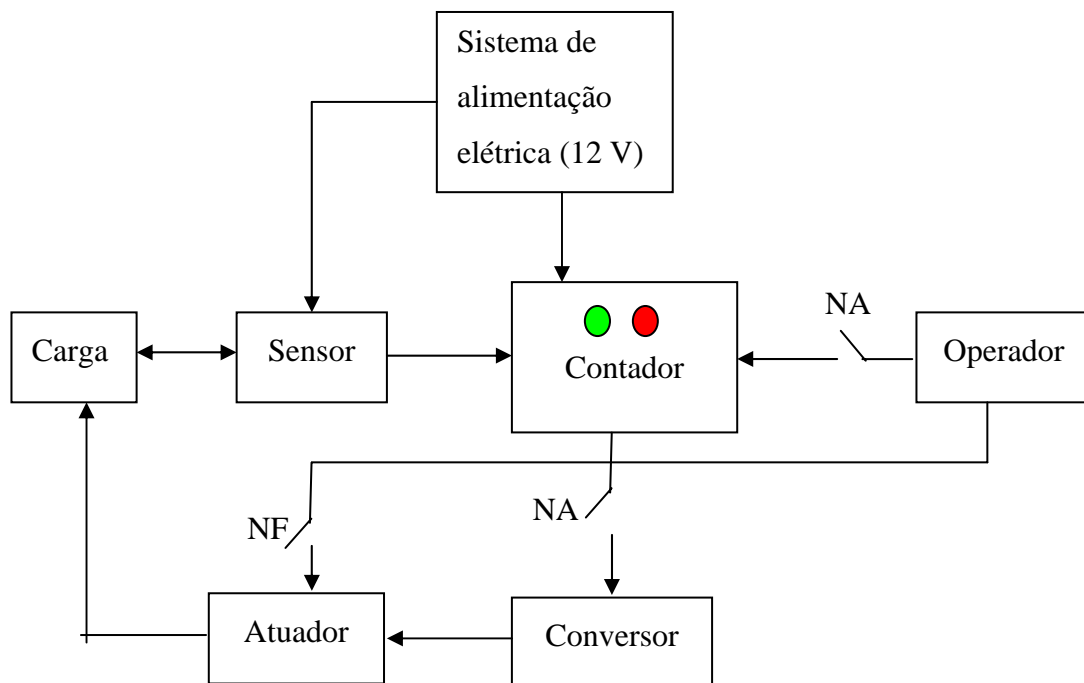


Figura 8 – Diagrama de funcionamento do sistema.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Calibrou-se o dispositivo eletrônico utilizando a tora-padrão como referência. Foi necessário fixar a posição do braço e da lança de modo a formar um ângulo de $42,3^\circ$ entre a base da máquina e o ponto de traçamento. A calibração e o visor do contador em operação são mostrados nas Figuras 9 e 10.

Os comprimentos dos toretes traçados pela garra e medidos segundo os procedimentos da tora-padrão e com o dispositivo eletrônico são mostrados no Quadro 1.

A média dos valores medidos pelo dispositivo foi de 5,91 m e a pela tora-padrão, 6,03, o que não foi significativamente diferente, ficando próxima do valor desejado (6 m). Os coeficientes de variação dos valores medidos pelo dispositivo eletrônico e pela tora-padrão foram de 6,30 e 6,28%.

O tempo gasto nessa operação foi devido ao retorno da garra, porque o sensor não atuava ou ela ultrapassava o ponto desejado para o traçamento, obrigando o operador a reiniciar todo o processo, inclusive tendo que zerar o dispositivo eletrônico. Os tempos médios gastos para o traçamento medidos pelo dispositivo e pela tora-padrão foram de 105,11 e 19,22 segundos, respectivamente, sendo diferentes pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.



Figura 9 – Vista do contador, no interior da cabine, sendo calibrado.



Figura 10 – Vista do contador, no interior da cabine, em funcionamento.

Quadro 1 – Tempos e comprimentos médio e máximo, desvio-padrão e coeficiente de variação dos toretes traçados pela Garra Traçadora

Parâmetros	Comprimento dos Toretos Traçados e Medidos c/ Dispositivo Eletrônico (m)	Tempo (s)	Comprimento dos Toretos Traçados e Medidos c/ Tora-Padrão (m)	Tempo (s)
Máximo	6,50	236,00	6,70	52,00
Mínimo	5,20	36,00	4,90	8,00
Médio	5,91	105,11	6,03	19,22
Desvio-padrão	0,37	39,66	0,38	9,81
CV (%)	6,30	37,73	6,28	51,06

O ângulo fixado para traçamento contribuiu para o aumento do tempo, pois a dimensão variava quando o operador, instintivamente, alterava o ângulo, mexendo no braço ou na lança da máquina.

4. CONCLUSÕES

Os valores dos comprimentos dos toretes quando medidos pelo dispositivo eletrônico e pela tora-padrão ficaram próximos do desejado e, estatisticamente, não apresentaram diferenças.

O contador utilizado não foi capaz de zerar automaticamente os valores medidos pelo sensor quando o operador ultrapassava a medida desejada.

Os valores de tempo não foram satisfatórios, e aqueles medidos pelo dispositivo ficaram acima dos da tora-padrão.

O dispositivo não apresentou valores de tempo de traçamento que viabilizasse sua utilização, necessitando de ajustes, principalmente, quanto ao tempo de traçamento.

Quando fixado, o ângulo formado entre o braço e a lança do equipamento contribuiu para o aumento do tempo de medição das toras.

Em trabalhos futuros com dispositivo de marcação automática do ponto de traçamento da madeira, o sensor deverá ser ajustado para realizar leituras independentemente do sentido do giro da máquina. Também, devem-se instalar sensores de aproximação no braço e na lança do equipamento, de modo a associá-los com os sinais do sensor já instalado na base da máquina.

REFERÊNCIAS

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

CODEMIN, 2006. Disponível em: <<http://www.angloamerica.com.br>>.

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

GRANDJEAN, E. **Manual de ergonomia** – Adaptando o trabalho ao homem. Porto Alegre: Editora Artes Médicas Sul Ltda., 1998.

IIDA, I. **Ergonomia: projeto e produção.** São Paulo: Edgard Blücher, 1990. 465 p.

MENDONÇA FILHO, W.F. Análise operacional de colheitadeiras florestais. **Floresta e ambiente**, Rio de Janeiro, UFRRJ, p. 261-278, jan. 2000.

MENEZES, J. F.; MAZIEIRO, J.V.G.; YAMASHITA, R.Y.; CORRÊA, I. M.; PASSARELA NETO, A.; FENZ, E.; MILAN, M. **Avaliação de características de visibilidade apresentadas por um grupo de tratores de rodas.** Campinas, SP: Instituto Agrônomo de Campinas, 1985. 18 p.

MINETTI, L.J.; SOUZA, A. P.; FIEDLER, N.C. **Condições alimentares de operadores de motosserra de uma empresa de corte florestal no Brasil.** São Paulo: ABERGO, 1999.

MINETTE, L. J. **Análise de fatores operacionais e ergonômicos na operação de corte florestal com motosserra.** Viçosa, MG: UFV, 1996. 211 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

MACHADO, C.C.; SOUZA, A.P.; LEITE, M. Análise do desempenho de diferentes veículos de transporte florestal rodoviário. **Revista Árvore**, v. 15, n. 1, p. 67-81, 1991.

APÉNDICES

PLANILHA DE CUSTOS - SKIDDER

Dados de entrada		Original	Convertido	Custos fixos			
Dados de entrada		Original	Convertido			Original	Convertido
VIDA UTIL (ANOS)	N	4	4				
HORAS DE USO (ANOS)	H	7665	7665	INVESTIMENTO MÉDIO ANUAL	I.M.A	289313	134065,5
HORAS DE TRAB. (DIA)	h	21	21		Depreciação	12,90	5,98
EFICIENCIA OPERACIONAL(%)	E	85	85		Juros	5,33	2,47
DIAS DE TRABALHO (mes)	D	25,5	26				
DIAS DE TRABALHO (ANOS)	D	365	365		Seguros	1,78	0,82
HORAS DE USO EFETIVO (ANO)	hf	6515,25	6515,25		CFT	20,00	9,27
VALOR DE AQUISIÇÃO DO EQUIPAMENT	Va	424680	196793,33	CUSTO FIXOS TOTAIS			
VALOR DE IMPLEMENTO	Vimpl		0,00				
TAXA DE REVENDA	TR	15	15		Custos variáveis		
VALOR DE REVENDA	Vr	63702	29519			Original	Convertido
TAXA DE JUROS (ANO)	Juros	12	12		Combustível	25,60	11,86
SEGUROS(%ANO)	Seguros	4	4		Lubrificantes	6,40	2,97
TRANSP. PESSOAL	Transp. Pessoal	770	770		Óleo hidr	12,80	5,93
CUSTO TRANSP PESS.	Custo transp pess.	0,52	0,241		Manut e rep	8,15	3,78
ADM OPER	Adm oper	300	300	CTP = CUSTO DE TRANSPORTE	pneus	9,92	4,60
CUSTADMOPER	Custadmoper	0,23	0,107	CTM = CUSTO DE TRANSPORTE	CTP	0,74	0,34
TRANSPEQUIPAMENTOS (KM/MÊS)	Transpequip		0,0000	CMO = CUSTO COM MÃO-DE-OB	CTM	0,00	0,00
CUSTTRANSPEQUIPAMENTOS	Custtranspeq		0,000	CUSTOS VARIÁVEIS TOTAIS	Mão de obra	12,82	5,46
PCOMB	Pcomb	1,6	0,741		CVT	76,43	34,94
CCOMB	Ccomb	16	16,000				
ÍNDICE MANUT.	Índice manut.	80	80,000		Custo de Administração		
ÍND. ÓL HIDR	Índ. Ól hidr	50	50,000	CAD = CUSTO DE ADMINISTRAÇ	CAD	4,94	1,95
ÍNDICE LUBRIF.	Índice lubrif.	25	25,0000				
PREÇO PNEUS(US\$/UNID.)	PPNEUS	6200	2873,03	CUSTOS VARIÁVEIS TOTAIS	CFT	20,00	9,27
N.PNEUS	n. PNEUS	4	4	CAD = CUSTO DE ADMINISTRAÇ	CVT	76,43	34,94
VUTIL PNEUS (H)	Vup	2500	2500	CUSTO TOTAL	CAD	4,94	1,95
SAL.OPER	Sal.oper	901	417,52		CT	101,37	46,15
N.OPERERADORES DAMÁQ	n.oper/máq	4	4,0				
SAL. ENC + SUPERVISOR	Sal. Super	2400	1112				
N.SUPERV + ENC /MÁQ	n.superv/máq	0,66	0,66				
DESP SOCIAIS	Desp sociais	253,83	117,6227989				
TAXA DE ENCARGOS	Taxa de E.S	65	65				
TXCAMBIO REAL P/ DÓLAR	Tc Real p/ dólar	2,158					
TC DÓLAR P/ REAL	Tc dólar p/ Real						
				produtividade	produção/arvore	n arvore/he	m³ he
				300	0,31	278	86,18
				200	0,18	385	69,3
				100	0,11	492	54,12

PLANILHA DE CUSTOS - Garra traçadora

Dados de entrada		Original	Convertido	Custos fixos		
N	4	4			Original	Convertido
H	7665	7665	INVESTIMENTO MÉDIO ANUAL	I.M.A	287500	4423,1
h	21	21		Depreciação	15,76	7,30
E	62	62		Juros	5,17	11,24
D	365	365		Seguros	2,42	1,12
hf	4752,3	4752,30		CFT	23,35	10,82
Va	315000	4846,15	CUSTO FIXOS TOTAIS			
Vimpl	85000	1307,69		Custos variáveis		
TR	25	25			Original	Convertido
Vr	100000	1538		Combustível	23,85	0,44
Juros	12	12		Lubrificantes	4,77	0,09
Seguros	4	4		Óleo hidr	7,16	0,13
Transp. Pessoal	770	770		Manut e rep	19,46	0,30
Custo transp pess.	0,52	0,008		esteiras	2,38	0,04
Adm oper	300	300	CTP = CUSTO DE TRANSPORTE DE PES:	CTP	1,01	0,02
Custadmoper	0,23	0,004	CTM = CUSTO DE TRANSPORTE DO MAC	CTM	0,71	0,01
Transpequip	150	150,0000	CMO = CUSTO COM MÃO-DE-OBRA (US\$	Mão de obra	15,40	0,19
Custranspeq	1,87	0,029	CUSTOS VARIÁVEIS TOTAIS	CVT	74,73	1,22
Pcomb	1,6	0,025				
Ccomb	18	18,000		Custo de Administração		
Índice manut.	58	58,000	CAD = CUSTO DE ADMINISTRAÇÃO DAS	CAD	6,77	3,14
Índ. Ól hidr	30	30,000		Custos totais		
Índice lubrif.	20	20,0000	CUSTOS FIXOS TOTAIS	CFT	23,35	10,82
Pest	9500	146,15	CUSTOS VARIÁVEIS TOTAIS	CVT	74,73	34,63
n. esteriras	2	2	CAD = CUSTO DE ADMINISTRAÇÃO DAS	CAD	6,77	3,14
Vup	8000	8000	CUSTO TOTAL	CT	104,85	48,59
Sal.oper	950	14,62				
n.oper/máq	4	4,0				
Sal. Super	2400	37				
n.superv/máq	0,66	0,66				
Desp sociais	253,83	3,905076923				
Taxa de E.S	65	65				
Tc Real p/ dólar	2,158					
Tc dólar p/ Real	0,46	produtividade	produção/arvore	n arvore/he	m³ he	US\$ m³
Tc Real p/ dólar	2,158	100	0,11	455	50,05	3,11
Tc dólar p/ Real	0,46	200	0,18	362	65,16	2,39
		300	0,31	247	76,57	2,03

APÊNDICE B

PROGRAMA PARA SIMULAR O ESFORÇO TRATÓRIO DO SKIDDER

(Visual Basic 6.0)

```
Private Sub Command1_Click()
```

```
    Call SimularMax
```

```
End Sub
```

```
Public Sub SimularMax()
```

```
'dados do pneu dianteiro
```

```
Dim NumLar1 As Single 'numero que define a largura
```

```
Dim NumAro1 As Single 'numero que define o aro da roda
```

```
Dim DPneu1 As Single 'diametro do pneu indeformado
```

```
Dim Hpneu1 As Single 'altura que define a secção do pneu
```

```
Dim DfxPneu1 As Single 'deflexão do pneu
```

```
Dim Qlastro1 As Single 'quantidade de lastro
```

```
NumLar1 = Val(text1(9).Text) * 0.0254
```

```
NumAro1 = Val(text1(10).Text) * 0.0254
```

```
DPneu1 = Val(text1(12).Text)
```

```
Hpneu1 = Val(text1(13).Text)
```

```
DfxPneu1 = Val(text1(14).Text)
```

```
Qlastro1 = Val(text1(17).Text)
```

```
'dados do pneu traseiro
```

```
Dim NumLar2 As Single 'numero que define a largura
```

```
Dim NumAro2 As Single 'numero que define o aro da roda
```

```
Dim DPneu2 As Single 'diametro do pneu indeformado
```

```
Dim Hpneu2 As Single 'altura que define a secção do pneu
```

```
Dim DfxPneu2 As Single 'deflexão do pneu
```

```
Dim Qlastro2 As Single 'quantidade de lastro
```

NumLar2 = Val(text1(0).Text) * 0.0254

NumAro2 = Val(text1(1).Text) * 0.0254

DPneu2 = Val(text1(3).Text)

Hpneu2 = Val(text1(4).Text)

DfxPneu2 = Val(text1(5).Text)

Qlastro2 = Val(text1(8).Text)

'dados do trator

Dim Wtr As Single 'peso do trator

Dim Deixo As Single 'distancia entre eixos

Dim Dcentro As Single 'distancia do eixo ao centro de gravidade

Dim Ftr As Single 'força de tração inicial

Dim Hbarra As Single 'altura da barra

Dim V As Single 'velocidade de deslocamento

'dados da madeira

Dim Wm As Single 'peso da madeira

Dim Tu As Single 'umidade da madeira

Dim Db As Single 'densidade da especie

Dim L As Single ' comprimento da madeira

Dim A As Single 'area da pinça

Dim Alfa As Single 'angulo formado entre solo e madeira

Dim Wd2 As Double 'carga dinamica do eixo traseiro

Dim Wd1 As Double 'carga dinamica do eixo dianteiro

Dim We1 As Double 'peso dianteiro

Dim We2 As Double 'peso traseiro

Dim WL As Double 'componente do peso da madeira

Dim ETr As Double 'eficiencia tratoria

Dim S As Integer 'patinagem

Dim F0 As Double 'força de tração disponivel na pinça

Dim C1 As Single 'constante do pneu

Dim C2 As Single 'constante do pneu

Dim C3 As Single 'constante do pneu
 Dim Bn2 As Double 'coeficiente de mobilidade traseiro
 Dim Bn1 As Double 'coeficiente de mobilidade dianteiro
 Dim Ic As Double 'indice de cone
 Dim Rt2 As Double 'resistencia ao rolamento traseiro
 Dim Rt1 As Double 'resistencia ao rolamento dianteiro
 Dim Rm As Double 'resistencia ao rolamento pela madeira
 Dim Ft2 As Double 'força trativa do eixo traseiro
 Dim Ft1 As Double 'força trativa do eixo dianteiro
 Dim Ft As Double 'força trativa bruta
 Dim Ftbarra As Double 'força trativa na barra
 Dim Ptbarra As Double 'potencia na barra de tracao
 Dim Peixo2 As Double 'potencia eixo traseiro
 Dim Ctr As Double 'coeficiente de tracao
 Dim Pmotor 'potencia no eixo do motor
 Dim Parar As Boolean 'parar o programa?
 Dim MFt(1 To 2, 1 To 12) As Double 'força trativa dos eixos em t-1
 Dim MF(1 To 12) As Double 'força trativa bruta em t-1
 Dim Conta As Integer
 Dim ContaPasso As Integer

Dados dos pneus

Ic = Val(text1(24).Text) C1 = 7.5 C2 = 0.04 C3 = 1

'dados do trator

Wtr = Val(text1(16).Text)

Deixo = Val(text1(11).Text)

Dcentro = Val(text1(7).Text)

Ftr = Val(text1(20).Text)

Hbarra = Val(text1(2).Text)

V = Val(text1(19).Text)

'dados da madeira

WLt = Val(text1(15).Text)

Tu = Val(text1(25).Text)

```

Db = Val(text1(23).Text)
L = Val(text1(22).Text)
A = Val(text1(21).Text)
Alfa = Val(text1(18).Text) * 3.14 / 180

```

'peso da madeira em função de da seguinte equação

```

WL = (Tu / 100 + 1) * Db * L * A * (Sin(Alfa))

```

```

WL = WL / 100 'transforma para kN

```

```

We2 = WL + Wtr

```

```

We1 = Wtr

```

```

F0 = Ftr

```

'define os valores de traviva dos eixos para o valor inicial

```

For i = 1 To 12

```

```

    MFt(1, i) = Ftr

```

```

    MFt(2, i) = Ftr

```

```

Next i

```

```

'Grid1.Col = 1

```

```

'Grid1.Row = 1

```

```

'Grid1.CellForeColor = QBColor(4)

```

```

'Grid1.CellFontBold = True

```

```

Do

```

```

    For i = 4 To 15

```

```

        S = i 'patinagem

```

```

        'calculo para eixo dianteiro -----

```

```

        Wd1 = We1 * Dcentro / Deixo - MFt(1, i - 3) * Hbarra / Deixo + Qlastro1

```

$$Bn1 = (Ic * NumLar1 * DPneu1 / (Wd1 / 2)) * ((1 + 5 * (DfxPneu1 / Hpneu1)) / (1 + 3 * (NumLar1 / DPneu1)))$$

$$Rt1 = Wd1 * (C3 / Bn1 + C2 + 0.5 * (S / 100) / (Bn1 ^ 0.5))$$

$$Ft1 = Wd1 * (0.88 * (1 - Exp(-0.1 * Bn1)) * (1 - Exp(-C1 * S / 100)) + C2)$$

'calcula para eixo traseiro -----

$$Wd2 = We2 * (Deixo - Dcentro) / Deixo + MFt(2, i - 3) * Hbarra / Deixo + Qlastro2$$

$$Bn2 = (Ic * NumLar2 * DPneu2 / (Wd2 / 2)) * ((1 + 5 * (DfxPneu2 / Hpneu2)) / (1 + 3 * (NumLar2 / DPneu2)))$$

$$Rt2 = Wd2 * (C3 / Bn2 + C2 + 0.5 * (S / 100) / (Bn2 ^ 0.5))$$

$$Ft2 = Wd2 * (0.88 * (1 - Exp(-0.1 * Bn2)) * (1 - Exp(-C1 * S / 100)) + C2)$$

'calculo geral -----

$$Rm = 0.55 * (Sin(Alfa)) * WLt$$

$$Ft = Ft1 + Ft2$$

MFt(1, i - 3) = Ft1 'define as novas forças dos eixos dianteiro

MFt(2, i - 3) = Ft2 'define as novas forças dos eixos traseiros

If Abs(MF(i - 3) - Ft) < 0.001 Then

Parar = True

End If

MF(i - 3) = Ft 'define as novas forças

$$Ftbarra = Ft - Rt1 - Rt2 - Rm$$

$$Ptbarra = Ft2 * V$$

$$ETr = (1 - S / 100 * Ft / Ftbarra)$$

$$Peixo2 = Ptbarra / ETr$$

$$Ctr = Ft / (Wd2 + Wd1 + Rm)$$

$$Pmotor = Peixo2 / ETr$$

'liberar resultados da

'-Ft - força trativa bruta

'-Ftbarra - força trativa na barra

'-Ptbarra - potencia na barra de tracao

'-Pmotor - potencia no eixo do motor

'-Ctr - coeficiente de tracao

'-Etr - eficiencia tratoria

' Grid1.Col = 1

' Grid1.Row = 1

' Grid1.CellForeColor = QBColor(4)

' Grid1.CellFontBold = True

Next i

If Parar = True Then

Exit Do

End If

Loop

frmResultados.Show

End Sub

APÊNDICE C

Telas do programa

Simulação do esforço tratório para altura mínima

Dados do rodados traseiros		Dados do rodados dianteiros	
Número que define a largura (pol)	30.50	Número que define a largura (pol)	30.50
Número que define o aro da roda (pol)	32.00	Número que define o aro da roda (pol)	32.00
Diametro do pneu indeformado (m)	1.80	Diametro do pneu indeformado (m)	1.80
Altura da secção do pneu (m)	0.57	Altura da secção do pneu (m)	0.57
Deflexão do pneu (m)	0.10	Deflexão do pneu (m)	0.08
Quantidade de lastros adicionada (kN)	0	Quantidade de lastros adicionada (kN)	0

Dados básicos do trator		Dados básicos da madeira	
Peso do trator (kN)	162.38	Peso madeira (kN)	91.49
Distância entre os eixos dianteiros e traseiros (m)	3.53	Umidade da madeira (%)	25
Distância horizontal entre o eixo traseiro e o CG (m)	1.80	Densidade básica da espécie (kg/m³)	552
Força de tração inicial (kN)	5.00	Comprimento da madeira (m)	15
Altura da barra (m)	0.37	Área de utilização da pinça	1.04
Velocidade de deslocamento (m/s)	2.00	Ângulo entre solo e madeira no arraste (graus)	12.17

Resistência do solo a penetração	
Índice de cone do solo (kPa)	1200

Resultados da simulação

Patinagem	Força trativa bruta	Força trativa na barra	Potência na barra de tração	Potência no eixo do motor	Coefficiente de tração	Eficiência tratória
11	88,82	63,66	177,66	150,39	0,48	0,85
12	93,46	68,12	195,24	163,10	0,51	0,84
13	97,76	72,26	212,79	175,37	0,53	0,82
14	101,76	76,09	230,37	187,24	0,55	0,81
15	105,47	79,63	248,03	198,75	0,57	0,80
Passo 4						
4	44,64	20,66	49,50	45,22	0,24	0,91
5	52,44	28,29	68,73	62,36	0,28	0,91
6	59,68	35,36	87,56	78,69	0,32	0,90
7	66,40	41,92	106,05	94,29	0,36	0,89
8	72,65	47,99	124,25	109,21	0,39	0,88
9	78,44	53,62	142,22	123,49	0,42	0,87
10	83,82	58,83	160,01	137,21	0,45	0,86
11	88,82	63,66	177,66	150,39	0,48	0,85
12	93,46	68,12	195,24	163,10	0,51	0,84
13	97,76	72,26	212,79	175,37	0,53	0,82
14	101,76	76,09	230,37	187,24	0,55	0,81
15	105,47	79,63	248,03	198,75	0,57	0,80