

EDUARDO MOREIRA DA COSTA

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO E DE CUSTOS DE UM *HARVESTER* EM
FLORESTA DE EUCALIPTO DE BAIXA PRODUTIVIDADE**

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

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2012

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

T

C837a
2012

Costa, Eduardo Moreira da, 1984-

Avaliação do desempenho e de custos de um *harvester* em floresta de eucalipto de baixa produtividade / Eduardo Moreira da Costa. – Viçosa, MG, 2012.

xv, 68f. : il. (algumas color.) ; 29cm.

Inclui apêndices.

Orientador: Carlos Cardoso Machado

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f. 59-65

1. Eucalipto - Exploração. 2. Madeira - Aspectos econômicos. 3. Madeira - Exploração. 4. Produtos florestais. 5. Mecanização agrícola. 6. Colheita. I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Engenharia Florestal. Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal. II. Título.

CDO adapt. CDD 634.966321

EDUARDO MOREIRA DA COSTA

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO E DE CUSTOS DE UM HARVESTER EM
FLORESTA DE EUCALIPTO DE BAIXA PRODUTIVIDADE**

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

APROVADA: 30 de agosto de 2012.



Elizabeth Neire da Silva Oliveira de
Paula
(Coorientador)



Amaury Paulo de Souza
(Coorientador)



Elton da Silva Leite



Carlos Cardoso Machado
(Orientador)

A Emanuel (*in memoriam*).

“A alegria está na luta, na tentativa, no sofrimento envolvido e não na vitória propriamente dita.”

(Mahatma Gandhi)

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida.

À Universidade Federal de Viçosa (UFV) e ao Departamento de Engenharia Florestal (DEF), por todo apoio e pelo treinamento proporcionado.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos e ao Pólo de Excelência em Florestas pelo financiamento da viagem.

Ao Professor Dr. Carlos Cardoso Machado, por aceitar a orientação, pela amizade e por sempre estar à disposição para sanar as dúvidas e dar conselhos.

À coorientadora Professora Dr^a. Elizabeth Neire da Silva Oliveira de Paula, pela amizade, pelo incentivo, pelas sugestões e pelo grande apoio no desenvolvimento do trabalho.

Ao coorientador Professor Dr. Amaury Paula deSouza, pela amizade, pelo incentivo e pelas sugestões.

Ao Professor Dr. Elton da Silva Leite, pela amizade e disponibilidade e pelas sugestões.

Ao Maurício e ao Júlio da Guará Florestal, por disponibilizar tempo e estrutura para as coletas de dados.

Aos funcionários do DEF, pela amizade e pelo atendimento sempre gentil, especialmente ao Alexandre e a Ritinha.

Aos meus pais, Célio Moreira da Costa e Cecília Moreira da Costa, por todo amor, carinho e segurança a mim oferecido.

Aos meus irmãos, Marcelo Moreira da Costa, Márcia Moreira da Costa, Rodrigo Moreira da Costa e Emanuel Moreira da Costa (*in memoriam*) por estarem ao meu lado em todos os momentos.

À Maria Olímpia, minha noiva, por todo amor, companheirismo e por estar sempre ao meu lado, não só nas vitórias, mas principalmente nas derrotas.

Aos meus amigos da Engenharia Florestal e de Viçosa.

A todos meus irmãos da minha segunda família, o “Complexo Furmiguero”.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho.

BIOGRAFIA

Eduardo Moreira da Costa, filho de Célio Moreira da Costa e Cecília Rezende Moreira da Costa, nasceu na cidade de Cataguases, Minas Gerais, no dia 18 de maio de 1984.

Em 2005, iniciou no Curso de Engenharia Florestal na Universidade Federal de Viçosa, concluindo o mesmo em janeiro de 2010.

Em agosto de 2010, ingressou no programa de Pós-Graduação, em nível de Mestrado, em Ciência Florestal pela Universidade Federal de Viçosa, submetendo-se à defesa da dissertação em 30 agosto de 2012.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	x
LISTA DE FIGURAS	vi
RESUMO	xii
ABSTRACT	xiv
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVO.....	4
2.1. Objetivos específicos.....	4
3. REVISÃO DE LITERATURA	5
3.1. A importância do setor florestal brasileiro.....	5
3.2. A evolução da colheita florestal	6
3.3. Colheita florestal	7
3.3.1. Corte florestal	9
3.3.1.1. Corte florestal mecanizado.....	9
3.4. Mecanização da colheita florestal.....	11
3.5. Fatores relevantes na mecanização da colheita florestal	11
3.5.1. Características do povoamento florestal	14

3.5.1.1.	Volume individual	14
3.5.1.2.	Espaçamento entre árvores	15
3.6.	Estudo de movimentos e tempos.....	16
3.7.	Produtividade.....	17
3.8.	Custos.....	18
3.9.	Análise de sensibilidade	18
4.	MATERIAL E MÉTODOS	20
4.1.	Descrição da área de estudo	20
4.2.	Sistema de colheita	21
4.3.	Características técnicas da máquina <i>harvester</i>	21
4.4.	Sequência de operação do <i>harvester</i>	24
4.5.	Método de Amostragem.....	26
4.6.	Estudo de movimentos e tempos.....	27
4.6.1.	Descrição do ciclo operacional da máquina	27
4.7.	Avaliação de desempenho.....	29
4.7.1.	Produtividade (Prod.).....	29
4.7.2.	Disponibilidade Mecânica (DM)	29
4.7.3.	Grau de utilização (GU)	30
4.7.4.	Eficiência Operacional (EO)	30
4.8.	Avaliação de custos.....	31
4.8.1.	Custos fixos (CF).....	32
4.8.1.1.	Depreciação (D)	32
4.8.1.2.	Juros, seguros e impostos (JS).....	33
4.8.1.3.	Abrigo (A)	34
4.8.2.	Custos variáveis (CV).....	34
4.8.2.1.	Custo de combustível (CC)	35
4.8.2.2.	Custo de lubrificantes e graxas (CLG)	35

4.8.2.3.	Custo de óleo hidráulico (COH).....	36
4.8.2.4.	Custo de manutenção e reparos (CMR).....	36
4.8.2.5.	Custo de pneus e ou esteiras (CPE).....	37
4.8.3.	Custo de mão de obra (CMO)	37
4.8.4.	Custo de Administração (CAD).....	38
4.8.5.	Determinação do custo de produção (CProd.)	38
4.9.	Análise de sensibilidade	39
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	40
5.1.	Estudo de movimentos e de tempos.....	40
5.1.1.	Método de Amostragem	40
5.1.2.	Composição do ciclo operacional da máquina	40
5.2.	Avaliação de desempenho.....	44
5.3.	Avaliação de custos.....	50
5.4.	Análise de sensibilidade	53
5.4.1.	Manutenção e reparos.....	54
5.4.2.	Combustível.....	55
5.4.3.	Depreciação	55
5.4.4.	Eficiência operacional.....	55
6.	CONCLUSÕES	57
7.	REFERÊNCIAS.....	59
	APÊNDICE.....	66

LISTA DE TABELAS

	Página
1 Principais características do modelo de <i>harvester</i> avaliado.	24
2 Número de árvores (na), volume médio por árvore (va), o número de horas efetivas de trabalho por mês (He) e produtividade média (Prod.), para os três meses de avaliação.	44
3 Horas previstas (H), horas efetivamente trabalhada (He), tempo de permanência em manutenção (TPM), paradas operacionais (Hp), disponibilidade mecânica (DM), grau de utilização (GU) e eficiência operacional (EO), para os três meses de acompanhamento.	46
4 : Componentes de custo operacional do <i>harvester</i> em US\$ h ⁻¹ .	50
5 Acumulação de redução de custos obtida com a diminuição em 10% dos componentes de custo mais relevantes.	56

Apêndice

1A Formulário de coleta de dados para o estudo de movimentos e de tempos do <i>harvester</i> .	67
2A Valores utilizados nos cálculos do custo operacional do <i>harvester</i> .	68

LISTA DE FIGURAS

		Página
1	Mapa do estado da Bahia e do município de Inhambupe com a localização da área de estudo e coleta de dados.	21
2	<i>Harvester</i> da marca Ponsse, modelo C33, operando no corte e processamento de eucalipto.	22
3	Cabeçote Ponsse, modelo H8, utilizado no corte e processamento de eucalipto.	23
4	Ilustração do posicionamento no eito de trabalho e da sequência operacional do <i>harvester</i> , do sentido de corte e da disposição da madeira no campo.	25
5	Ilustração do ciclo operacional do <i>harvester</i> .	28
6	Percentual de tempo das atividades parciais (elementos) do ciclo operacional do <i>harvester</i> .	41
7	Feixe de toras recém processadas e com partes de cascas, evidenciando a dificuldade de se descascar a madeira.	42
8	Produção do <i>harvester</i> em função do número de horas efetivamente trabalhadas por dia.	45
9	Produtividade do <i>harvester</i> em função do volume médio por árvore.	48
10	Variáveis dos componentes de custo em percentagem.	51
11	Comportamento do custo de produção (US\$ m ⁻³), em relação à produtividade da máquina (m ³ sc h ⁻¹).	52
12	Análise de sensibilidade para as quatro principais variáveis que compõem o custo de produção do <i>harvester</i> .	54

RESUMO

COSTA, Eduardo Moreira da, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, agosto de 2012. **Avaliação do desempenho e de custos de um *harvester* em floresta de eucalipto de baixa produtividade.** Orientador: Carlos Cardoso Machado. Coorientadores: Elizabeth Neire da Silva Oliveira de Paula e Amaury Paulo de Souza.

Devido à falta de mão de obra no meio rural, a colheita de florestas de baixa produtividade vem sofrendo processo de mecanização total, necessitando de constantes pesquisas e estudos para se entender o comportamento das máquinas nestas condições. Objetivou-se com o trabalho avaliar o desempenho e os custos de um *harvester*, em floresta de eucalipto de baixa produtividade. Foi realizado um acompanhamento diário da máquina durante os meses de agosto, setembro e outubro do ano de 2011. Paralelamente a isto, realizou-se um estudo de movimento e de tempos, para se conhecer o percentual de tempo consumido por cada elemento do ciclo operacional, obedecendo a um número mínimo de amostragem. Os resultados demonstraram que a etapa que mais consumiu tempo foi a de processamento, seguida pelo deslocamento, pelo abate e pelas paradas. A produtividade média foi de $7,92 \text{ m}^3\text{sc h}^{-1}$, com um volume individual médio de $0,125 \text{ m}^3\text{sc arv.}^{-1}$, com uma eficiência operacional média de 57 %. A baixa eficiência operacional apresentada pela máquina é

resultado da baixa disponibilidade mecânica, devido ao elevado tempo de permanência em manutenção. O custo da hora efetivamente trabalhada da máquina foi de US\$ 130,74 e o custo de produção foi de US\$ 16,55 m⁻³. O custo de produção se mostrou bastante sensível às pequenas mudanças de produtividade. Os custos variáveis representam 69 % deste do total, seguido dos custos fixos (18 %), dos custos de administração (9 %) e de mão de obra (4 %). Os custos com manutenção e reparos, com combustível e depreciação, foram os itens de maior relevância do total. A eficiência operacional comportou-se de modo análogo às outras componentes. Após a análise de sensibilidade de maneira integrada e baseada nos resultados obtidos, em uma situação simulada, na qual a empresa consiga uma economia real de 10 % em cada um destes itens e ao mesmo tempo, eleve a eficiência operacional em 10 %, implicaria em uma redução de 8,9 % o custo total da hora efetivamente trabalhada que representaria uma economia de US\$ 11,60 h⁻¹.

ABSTRACT

COSTA, Eduardo Moreira da, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, August, 2012. **Evaluation of the performance and cost of a harvester in eucalyptus forest of low productivity.** Adviser: Carlos Cardoso Machado. Co-advisers: Elizabeth Neire da Silva and Amaury Paulo de Souza.

Due to lack of manpower in rural areas, harvesting forests of low productivity has suffered total mechanization process, requiring constant research and studies to understand the behavior of the machines in these conditions. The objective of the study was to evaluate the performance and cost of a harvester in eucalyptus forest of low productivity. We conducted a daily monitoring of the machine during the months of August, September and October of the year 2011. At the same time, we carried out a study of movement and time, in order to know the percentage of time spent by each element of the operating cycle, following a minimum number of sampling. The results showed that the most time-consuming step was the processing, followed by displacement, by the slaughter and the stops. The average of the productive was $7.92 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} \text{ sc}$, with an average of individual volume of $0,125 \text{ m}^3 \text{ sc arv.}^{-1}$, and with an average operating efficiency of 57%. The low operating efficiency displayed by the machine is the result of low mechanical availability due to high residence time for maintenance. The cost of the hours actually worked by the machine was U.S. \$ 130.74 and the cost of production

was U.S. \$ 16.55 m³. The production cost proved quite sensitive to small changes in productivity. Variable costs represent 69% of the total, followed by fixed costs (18%), administrative costs (9%) and labor costs (4%). Costs for repairs and maintenance, fuel and depreciation, were the items most relevant of all. The operational efficiency behaved similarly to the other components. After the sensitivity analysis in an integrated manner and based on the results obtained in a simulated situation in which the company achieve real savings of 10% on each of these items and at the same time, raise the operating efficiency of 10% would imply a reduction of 8.9% the total cost of the time actually worked would represent a savings of U.S. \$ 11.60 h⁻¹.

1. INTRODUÇÃO

O Brasil ocupa posição de destaque no setor florestal mundial, sendo que, nas últimas décadas, tornou-se referência de elevada produtividade a custos reduzidos, o que aumenta a competitividade das empresas que aqui se instalam.

A economia para o hemisfério sul demonstra reação à crise mundial econômica e já se observa a retomada nos investimentos, inclusive no setor florestal. Diversas multinacionais vêm realizando investimentos importantes na América do Sul, inclusive no Brasil com grandes projetos e vastas plantações de eucalipto (SPINELLI *et al.*, 2009).

Hoje, as principais espécies implantadas em nosso país, são dos gêneros *Eucalyptus* e os *Pinus*, perfazendo mais de 6,5 milhões de hectares, sendo que aproximadamente 73% dessa área, é ocupada pelo primeiro e 27% pelo segundo (ABRAF, 2011).

Uma série de produtos de base florestal pode ser citada, mas os principais e mais importantes no que se refere à questão econômica para o país, são os de painéis, madeira serrada, carvão vegetal, energia e celulose e papel. Com diversos investimentos no setor florestal brasileiro, principalmente no de celulose e papel, que chegam à ordem bilhões de dólares, aumenta-se a importância de possuir um detalhado sistema de suprimento de madeira, que

seja eficiente e possa oferecer diversas formas de colheita, visando sempre os aspectos técnicos, econômicos, sociais e ambientais.

A colheita florestal pode ser entendida como um conjunto de operações, que visa basicamente cortar e extrair árvores do local de derrubada até as margens das estradas ou cursos d'água. Esta etapa representa a operação final de um longo ciclo de produção florestal, na qual são obtidos os produtos mais valiosos, constituindo um dos fatores que determinam a rentabilidade do manejo florestal (MACHADO *et al.*, 2008).

Por ser uma atividade complexa, devido à ocorrência e a influência de vários fenômenos climáticos, biológicos e o grande número de variáveis que afetam a produtividade e, conseqüentemente, os custos operacionais e de produção, é a que mais sofre o processo de mecanização.

Com os aumentos nos custos sociais e a falta de mão de obra, o fator, redução dos custos operacionais, não é mais, visto como o de maior relevância para a mecanização total, pois esta se tornou item de fundamental importância no acréscimo de produtividade e no maior controle dos custos e da administração (MACHADO *et al.*, 2008).

A colheita florestal enfrenta os desafios de se colher florestas com baixa produtividade e baixo volume individual, que se deve principalmente à criação de novos mercados e produtos, onde se pode destacar a implantação de florestas energéticas e a povoamentos que não atingiram os incrementos desejáveis. Tais mudanças podem não só redefinir os sistemas de colheita florestal, bem como, influenciar a mudança no porte das máquinas (LOPES, 2012).

Neste contexto, a mecanização da colheita florestal emprega hoje máquinas de elevada tecnologia, como é o caso dos *harvesters*, que elevaram o rendimento operacional da colheita florestal, reduzindo os custos de produção, além trazer ganhos na segurança do trabalho (MAGALHÃES e KATZ, 2010).

Por serem máquinas de elevado valor de aquisição e de um complexo sistema de planejamento, muitas empresas do setor florestal, passaram a

terceirizar suas atividades de colheita e transporte florestal. Mas o que se nota na prática, é que muitas das empresas prestadoras de serviços, chamadas de terceiras, sofrem com problemas técnicos e operacionais.

Desta forma, é necessário um melhor e mais detalhado planejamento das operações de colheita florestal, visando o sucesso do empreendimento florestal, buscando antecipar os problemas que normalmente à afeta, e objetivando assim, otimizar a produção e minimizar os custos envolvidos (LEITE, 2010).

Fica evidente a importância de se conhecer melhor o grau de influência que os povoamentos florestais de baixo volume individual exercem sobre a capacidade produtiva do *harvester* nas operações de colheita florestal mecanizada, da forma como a mesma é realizada no Brasil, e o quanto isto interfere nos custos de produção.

2. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é avaliar o desempenho e os custos de um *harvester*, em floresta de eucalipto de baixa produtividade.

2.1. Objetivos específicos

- ✓ Avaliar os fatores técnicos e de desempenho do *harvester*,
- ✓ Avaliar os fatores de custo do *harvester*, e
- ✓ Analisar a sensibilidade dos fatores que mais afetam o custo operacional do *harvester*.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. A importância do setor florestal brasileiro

O Brasil passa por um grande momento econômico, e o setor florestal brasileiro tem acompanhado e se fortalecido, tornando-se um dos pilares que ajudam o país a sustentar tal desenvolvimento. As técnicas aqui aplicadas são as principais responsáveis por tal sucesso, o que tornou o país uma referência mundial de produtividade de madeira e de respeito às condições sociais e ambientais (SANTIAGO, 2010).

O setor florestal brasileiro contribui com uma parcela importante na geração de divisas, emprego, renda, tributos e produtos. Referente à questão social, pode-se ressaltar a geração de empregos com uma melhor remuneração, o que ajuda a elevar a qualidade de vida dos trabalhadores. Com uma participação de 0,54% da arrecadação tributária do país, perfazendo um total de R\$ 7,4 bilhões, manteve aproximadamente 4,7 milhões de postos de empregos diretos (640,4 mil), indiretos (1,45 milhões) e resultantes do efeito renda (2,6 milhões) em 2010 (ABRAF, 2011).

3.2. A evolução da colheita florestal

No passado a colheita florestal brasileira era chamada de exploração florestal, principalmente do modo como era conduzida. As primeiras técnicas eram rudimentares, realizadas de maneira manual e ou com força animal, caracterizados principalmente pela rusticidade e pelo elevado esforço físico, além do elevado grau de periculosidade. Na década de 1970, iniciou o processo de modernização, com a chegada das primeiras motosserras profissionais, tratores agrícolas e implementos florestais, que intensificou na década de 1990, devido à abertura do mercado para as importações e o aumento do custo de mão de obra (PEREIRA, 2010).

A introdução de equipamentos que substituam o machado e a motosserra, possibilitam grandes ganhos de produtividade, sendo a mecanização total ou parcial das atividades florestais uma realidade em todas as etapas do ciclo de produção. A maioria dos tratores florestais são importados e adaptados de outros países, com condições climáticas e de relevo, diferentes dos daqui. Esse fato aumenta o tempo de treinamento e adaptação dos operadores, no que se refere à confiança para operá-las e nos níveis de produção, o que eleva os custos (LIMA e LEITE, 2008).

Para BURLA (2008), no momento em que a colheita florestal deixou de ser entendida como uma atividade extrativista, a mesma ganhou *status* e passou a ser melhor planejada e entendida, como uma atividade comercial, que deve utilizar técnicas eficazes a fim de proporcionar melhores rendimentos em sua execução. Mesmo com poucos estudos realizados no Brasil, diversas empresas que saíram na frente, têm alcançado sucesso na implementação de seus sistemas mecanizados de colheita.

MACHADO (2010) ressalta que a maior parte das máquinas disponíveis no mercado brasileiro são originárias da América do Norte e Escandinávia e que possuem alto custo de aquisição. Mais de 60%, da mão de obra utilizada para a produção de florestas plantadas são realizadas por prestadores de serviços, também conhecidos como terceiros. Com a constante modernização

e introdução de novas tecnologias que visam aumentar a produção e diminuir os custos.

Hoje o cenário da colheita florestal é formado por basicamente três realidades distintas entre si. A primeira é formada por grandes empresas, que dispõem de maquinário, leve, médio e pesado, altamente sofisticados e mão-de-obra especializada. Já o segundo cenário, é formado por empresas de médio porte, com máquinas pouco sofisticadas e mão de obra especializada. A terceira realidade são as pequenas empresas, que ainda utilizam métodos manuais e semimecanizados, pouco sofisticados e mão de obra, com pouca ou nenhuma qualificação (MACHADO *et al.*, 2008).

As grandes empresas do setor, que possuem elevada demanda por madeira, maior disponibilidade de capital e mão de obra qualificada, cada vez mais, investem em sistemas e métodos de colheita, altamente mecanizados e sofisticados, haja visto, que essa etapa da produção, pode representar até 70% do valor do produto final (PEREIRA, 2010).

Portanto algumas lacunas devem ser preenchidas para que se possa continuar elevando os ganhos já obtidos e inovar para que se concretize o desenvolvimento sustentável da área (MACHADO *et al.*, 2008).

3.3. Colheita florestal

Conhecer e entender, os conceitos básicos e as principais terminologias utilizadas na área de colheita florestal são de fundamental importância, para se compreender o processo produtivo. Por muitos autores a colheita florestal é entendida como a principal atividade técnica e econômica, representando o final de um longo ciclo produtivo, e responsável por mais da metade do valor de produção da madeira.

MACHADO *et al.* (2008) define a colheita de madeira, como um conjunto de atividades que são realizadas dentro do maciço florestal, visando preparar e extrair a madeira até o local de transporte, através de técnicas com o objetivo de transformar a madeira em produto final.

A colheita florestal pode ser dividida em duas etapas principais, e uma terceira atividade integrada. A primeira etapa constitui a fase de corte, onde a árvore é abatida, podendo ou não ser processada no local de abate. A segunda etapa consiste na extração do material lenhoso, tendo por objetivo retirar as toras ou árvores inteiras, dependendo do sistema de colheita adotado, para a beira do talhão. A terceira etapa consiste no transporte final, da madeira até o local de consumo ou processamento (MALINOVSK *et al.*, 2008).

Para que estas etapas ocorram de maneira adequada, o sistema de colheita deverá atender as necessidades da empresa bem como, as possibilidades de realizá-lo. Machado *et al.* (2008), define os sistemas de colheita florestal, como sendo, um conjunto de atividades, que associadas e integralizadas, permitem o fluxo contínuo de madeira, evitando estrangulamentos e objetivando a plena utilização dos equipamentos envolvidos.

A classificação dos sistemas de colheita florestal segundo a *Food and Agriculture Organization Of The United Nations* (FAO, 1974) é dada quanto à forma da madeira na fase de extração, ao local onde é efetuado o processamento final e ao grau de mecanização. Segundo Machado (1985), existem os sistemas de toras curtas e compridas, de árvores inteiras e completas e de cavaqueamento.

No sistema de toras curtas (*short-wood*), a árvore é abatida e processada no mesmo local, sendo extraída em toras com comprimento igual ou inferior aos seis metros. O termo "*cut-to-length*", muito empregado na Europa, é utilizado no Brasil como sinônimo de "*short-wood*". O primeiro termo seria empregado na colheita de madeira para multiprodutos, onde cada seção da tora possui uma finalidade diferente. O segundo termo seria mais apropriado ao corte de madeira até seis metros de comprimento, onde esta possuiria apenas uma finalidade.

3.3.1. Corte florestal

Por ser a primeira etapa da colheita florestal, o corte, possui elevada influência em operações que o subseguem. É basicamente composto pelo abate (derrubada) e pelo processamento das árvores, quando realizado dentro do maciço florestal (SANT'ANNA, 2008).

O processamento, por ser dinâmico e possuir diversas maneiras de ser realizado, está diretamente ligado com a finalidade da madeira. Compreende as seguintes etapas: desgalhamento, traçamento e pré-extração, que é o empilhamento ou enleiramento da madeira no talhão (LOPES, 1996).

Dependendo da finalidade da madeira, como por exemplo, para a indústria de celulose, pode-se efetuar o descascamento, que consiste em retirar toda a casca ou partes dela. Esse fará parte do processamento se realizado no local de corte (MALINOVSK *et al.*, 2008).

3.3.1.1. Corte florestal mecanizado

Com a evolução das tecnologias de produção florestal, e até mesmo do mercado, que possibilitou maiores investimentos no setor, a mecanização total das atividades de corte, passou a ser uma realidade. O corte florestal mecanizado, hoje bastante difundido e praticado por grandes empresas, é realizado, com diversas máquinas nacionais e importadas (YONEZAWA, 2010).

Para a realização dessa atividade, dentro das diversas máquinas existentes, podemos destacar três grupos principais, que são muito utilizadas pelas empresas do setor. São os *Feller-bunchers* (Derrubadores-acumuladores), os *Harvesters* (Colhedores) e os *Delimbers* (desgalhadores) (SANT'ANNA, 2008).

O *harvester* é um colhedor florestal, que possui a capacidade de efetuar o processamento da madeira ainda no local de abate. É considerado como um dos tratores florestais, mais modernos, por possuir um cabeçote que realiza

várias funções e opera em condições adversas, elevando a sua aceitação (BURLA, 2008).

Caracterizado pelo conjunto motriz de elevada mobilidade e boa estabilidade dentro da floresta, esse trator florestal, é composto por unidade de potência, podendo ter rodados de pneus em *tandem* ou de esteiras, um braço hidráulico, com ou sem lança telescópica e um cabeçote processador (AMABILINI, 1991. *apud* BURLA, 2008).

Leite (2012) define o *harvester* da seguinte forma:

O colhedor *harvester* é um trator florestal definido como automotriz constituído de uma máquina base automotriz com rodado de pneus BPAF (baixa pressão e alta flutuação), esteiras metálicas ou mistas (pneu com esteiras), com uma lança hidráulica para alcance das árvores e um cabeçote que pode executar simultaneamente, as operações de derrubada, desgalhamento, descascamento, traçamento e embandeiramento da madeira.

Algumas adaptações de retro escavadeiras, que possuem rodados de esteiras, têm sido adotadas por diversas empresas do setor, devido ao entendimento que este tipo de rodado, exerceria menor pressão sobre o solo e diminuiria a compactação devido ao tráfego das máquinas (LIMA e LEITE, 2008). Para Seixas (2004) o fato que impulsiona a utilização dessas adaptações são o menor custo de aquisição e a existência de modelos fabricados no país, o que facilita a assistência técnica e a reposição de peças para uma manutenção rápida e eficiente.

Para a colheita florestal, nos sistemas de toras curtas, Silva (2008) cita que, em áreas planas, o trator colhedor florestal *harvester*, é a principal máquina empregada no corte.

3.4. Mecanização da colheita florestal

As atividades de corte e extração da madeira, eram realizadas, na maioria das empresas do setor, até mesmo as de grande porte, através de motosserras e tratores agrícolas adaptados, constituindo assim um sistema semi-mecanizado. Porém a partir do início da década de 90, com a abertura do mercado brasileiro para as importações, esse sistema perdeu força, pois houve uma intensa mecanização da colheita e do transporte florestal nacional (LIMA e LEITE, 2008; MACHADO *et al.*, 2008).

As máquinas e equipamentos já desenvolvidos e aprimorados em outros países, que possuem maior tradição florestal, foram incorporados às atividades aqui realizadas e desde então, vem passando por um processo constante de adaptação e aperfeiçoamento às realidades brasileiras. Devido ao elevado custo de aquisição e de manutenção das máquinas florestais, vários fatores devem ser observados e discutidos na tomada de decisão de se investir ou não na aquisição dos mesmos (BRAMUCCI, 2001).

Segundo Lima e Leite (2008), há uma diversidade de sistemas adotados pelas empresas, e as formas de interações dos fatores que interferem na produtividade e viabilização da mecanização, ocorrem com características peculiares para cada região. Alguns desses são mais comuns de serem avaliados e possuem relativa importância para a maioria dos projetos florestais.

3.5. Fatores relevantes na mecanização da colheita florestal

Devido ao aumento do consumo de produtos de base florestal, a falta de mão de obra no campo aliada ao aumento dos encargos sociais, a abertura do mercado às importações de máquinas e a necessidade de maiores rendimentos operacionais, a mecanização das atividades de colheita florestal tornou-se uma necessidade, buscando aumentar a produtividade e o controle de efetivo dos custos (MENDONÇA FILHO, 1987 *apud* LEITE, 2010).

Vários são os fatores que interferem na decisão de se mecanizar ou não a colheita florestal de uma determinada região, sendo que alguns deles podem inviabilizar o projeto, sendo necessário um detalhado planejamento. A topografia do terreno, o solo, o clima, o sistema de colheita florestal, o treinamento do operador e as características do povoamento florestal, são apontados como alguns dos itens mais relevantes nesta escolha (MACHADO *et al.*, 2008; LEIMA; LEITE, 2008; SILVA, 2008; BURLA, 2008; LEITE, 2008; LEITE, 2012).

A topografia do terreno é uma das variáveis de extrema importância operacional e decisiva na mecanização da colheita florestal. Em áreas, onde a topografia é considerada muito acidentada, o tráfego de máquinas pode ser considerado inviável, devido à falta de estabilidade e segurança na operação (LIMA e LEITE, 2008).

Simões e Fenner (2010) avaliando a influência do relevo na produtividade e nos custos de um *harvester* de esteiras, concluíram que com o aumento da declividade, houve acréscimo no tempo do ciclo operacional e redução da produtividade.

Em estudo com o *harvester* na colheita de eucalipto, Burla (2008) concluiu que não foi possível operar a máquina em terrenos com declividades superiores a 25 graus, demonstrando a dificuldade da mecanização nesses terrenos.

Ao avaliar economicamente a colheita florestal mecanizada no sistema de toras curtas (módulo "*harvester + forwarder*"), Leite (2012) concluiu que o *harvester* apresenta menor custo de produção, na derrubada e no processamento, quando opera no sentido de afove.

As características dos solos, sobre o qual estão implantadas as florestas, podem inviabilizar a implantação da colheita mecanizada. A profundidade e o tipo de solo, o teor de umidade e a presença de rochas, são algumas das características que podem limitar ou impedir a mecanização da colheita (LIMA e LEITE, 2008).

O teor de água no solo é um dos principais fatores que podem inviabilizar o tráfego de máquinas, ou diminuir circunstancialmente o rendimento dos operadores, já que a umidade modifica as propriedades mecânicas dos solos, principalmente em solos argilosos (LIMA e LEITE, 2008). Tal problema pode ser amenizado, com a manutenção de parte do material orgânico (folhas, galhos e casca) na área de tráfego das máquinas.

A compactação devido ao intenso tráfego de máquinas pode inviabilizar a condução florestal, principalmente em solos com baixa capacidade de carga, o que implicaria na elevação dos custos, sendo um dos fatores determinantes e decisivos para implantar ou não a mecanização da colheita florestal (RINALDI; FERNANDES, 2007).

Seixas e Oliveira (2001) ao determinar o grau da compactação devido o tráfego de máquinas e sobre o efeito da umidade no solo, relatam que após a retirada da madeira no módulo “*harvester + forwarder*”, houve compactação em maior grau durante a época chuvosa, com variações da densidade entre 12,3 e 41,7%, refletindo a influência da umidade no solo.

Por ser uma atividade exercida em regime de campo, a colheita florestal fica sujeita às intempéries da natureza, onde podem ocorrer, chuvas com precipitações elevadas, ventos fortes e variações bruscas de temperaturas e umidade, afetando a capacidade produtiva das máquinas (BURLA, 2008; LIMA e LEITE, 2008).

Para Wadouski (1997), a distribuição de chuvas pode afetar de maneira direta a produtividade das máquinas, principalmente em áreas com um maior grau de dificuldade, onde se deve realizar a colheita em épocas de menor precipitação ou de seca, ficando a cargo do planejamento de operações.

O operador tornou-se um dos principais fatores a ser observado na adoção de um sistema mecanizado. Moraes (2012) analisando a influência do treinamento dos operadores de máquinas empregadas na colheita florestal, afirma que o treinamento, se trata de uma ferramenta imprescindível para se formar um trabalhador capaz de entender os processos envolvidos da atividade.

Para se elevar o desempenho de máquinas e operadores, um devido treinamento teórico e prático deve ser realizado. Com a crescente utilização, de máquinas e equipamentos de alta tecnologia, passou-se a exigir uma maior capacitação dos operadores (LOPES *et al.*, 2008).

Lopes *et al.* (2008) conclui que o simulador de realidade virtual é uma ferramenta de grande eficiência, pois diminui o tempo de aprendizagem e reduz os custos de treinamento, ressaltando que o pós-treinamento em condições de campo, é importante para a devida formação do operador.

Burla (2008) citando Richardson e Makkonen (1994), ressalta a importância do treinamento e relata que quanto maior o tempo de experiência do operador, maiores produtividades, serão alcançadas, chegando a valores de 45% aos dois anos de experiência.

Outros aspectos em relação aos operadores devem ser analisados, como os aspectos comportamentais, operacionais e de qualidade, bem como as boas práticas de segurança do trabalho e patrimonial (LIMA e LEITE 2008).

3.5.1. Características do povoamento florestal

São de grande importância e devem ser levados em consideração, já que a partir destes é que se escolhe o sistema de colheita a ser empregado. Dentro do povoamento florestal, pode-se destacar algumas características da floresta que interferem, diretamente na produtividade das máquinas e conseqüentemente nos custos da operação (LIMA e LEITE, 2008).

3.5.1.1. Volume individual

Wadouski (1997) relata que os volumes a serem extraídos, a porcentagem e diâmetros dos galhos e as características dos fustes, como sendo variáveis que afetam diretamente a produtividade das máquinas.

Para Burla (2008), as principais características que influenciaram no rendimento de um *harvester*, na colheita de eucalipto, no que se refere ao povoamento florestal, foram o diâmetro à altura do peito (DAP), o volume individual das árvores (V_i), o volume de madeira por hectare (V_{ha}) e altura das árvores (h).

Ao avaliar um *harvester* na colheita de eucalipto, Simões *et al.* (2010), destaca que, aproximadamente, 50% das influências exercidas sobre a produtividade da máquina, deram-se em relação ao diâmetro à altura do peito, onde os custos operacionais foram menores em parcelas com árvores de maiores diâmetros.

A elevação dos custos de produção das máquinas de colheita florestal, estudadas por Leite (2012), ocorreram devido ao aumento da declividade, da distância de deslocamento e da diminuição do volume por árvore colhida.

Além dessas variáveis, também podemos citar, a densidade de plantio, o volume médio das árvores, a largura do eito de trabalho, o tamanho de copa, o peso e a qualidade da madeira (SEIXAS, 1998).

3.5.1.2. Espaçamento entre árvores

O número de árvore por hectare é definido pelo espaçamento, que visa basicamente, proporcionar a cada árvore o espaço suficiente para que a mesma possa obter o crescimento máximo com elevada qualidade e menor custo (CHIES, 2005).

Martins *et al.* (2009) em avaliação técnica e econômica de um *harvester* operando em diferentes condições de espaçamento e arranjo de plantio em povoamento de eucalipto, relata que 8,5 % da capacidade operacional da máquina é explicada pelo espaçamento, sendo que, o maior espaçamento foi a causa de um maior volume individual.

Os espaçamentos nas linhas e nas entre linhas, afetam diretamente na produtividade das máquinas da colheita florestal, principalmente na etapa de corte, onde a maior distância entre uma árvore e outra, acarretará em maior tempo de deslocamento. O aumento no tempo de deslocamento resultará em menores produtividades (MALINOVSKI *et al.*, 2006).

Por outro lado, com o aumento da densidade da floresta, ocorre a redução no volume individual da mesma, sendo que, esta variável exerce maior influência, resultando em uma considerável queda na capacidade produtiva do *harvester* (BRAMUCCI, 2001).

O mesmo autor relata que esta redução pode ser atribuída à maior dificuldade que as máquinas teriam de se movimentar no local de corte, e que, do ponto de vista da produtividade das máquinas de colheita florestal, a densidade ideal estaria entre 800 e 1200 árvores por hectare.

A altura das árvores representa pouca influência na produtividade das máquinas de colheita florestal, principalmente em plantios clonais, onde as características do povoamento apresentam maior homogeneidade, fazendo com que este fator possua baixa influência (BURLA, 2008; BRAMUCCI, 2001).

3.6. Estudo de movimentos e tempos

É definido por Barnes (2001), como um estudo sistemático dos sistemas de trabalho, com o objetivo de desenvolver o método preferido, padronizá-lo e determinar o tempo gasto pelo colaborador devidamente treinado e qualificado, para que o mesmo possa executar uma tarefa ou operação em ritmo normal, além de fornecer subsídios para o treinamento do método preferido.

Este método auxilia na otimização do sistema produtivo, reduzindo os tempos improdutivo e obtendo a produtividade e os custos por unidade em relação aos fatores mais relevantes (SEIXAS *et al.* 2004). De maneira geral, pode-se entender que o estudo de movimentos e tempos é uma ferramenta importante para determinar se um método é satisfatório para a execução de uma dada atividade ou processo (MORAES, 2012).

Segundo Barnes (2001) as leituras contínua, repetitiva e acumulada, são os três métodos comumente utilizados na coleta e registro de dados, sendo que, os principais equipamentos empregados nos estudos são o cronômetro decimal, a máquina de filmar e as máquinas para o registro de tempos.

Com o maior grau de mecanização das atividades de colheita florestal, diversos trabalhos têm sido realizados através dos estudos movimentos e tempos, auxiliando nas análises técnicas, utilizada para quantificar as produtividades das máquinas em determinadas situações, além de possibilitar a identificação dos pontos críticos (LOPES, 1996; LEITE, 2012).

3.7. Produtividade

Uma das principais variáveis de viabilidade da colheita mecanizada de madeira nos projetos florestais é a produtividade das operações, sendo que, a mesma é diretamente influenciada pelas diversas variáveis do terreno, do povoamento e do planejamento e inversamente proporcional ao custo por unidade produzida (m^3). A correta previsão da produtividade é de extrema importância, pois a partir desta, é que se realizam os orçamentos para as atividades de colheita de madeira nas empresas, assim como os estudos de viabilidade econômica de novos sistemas, e até mesmo o dimensionamento das máquinas e em quais projetos as mesmas podem ser alocadas (MALINOVSKI *et al.*, 2006).

A produtividade está diretamente ligada aos fatores técnicos das máquinas, tais como a disponibilidade mecânica e o grau de utilização, já que estes são os parâmetros utilizados para se aferir a eficiência operacional, que segundo Machado (1989) a máquina *harvester* deve apresentar índices superiores a 70%.

3.8. Custos

A crescente demanda por madeira levou a uma rápida evolução da mecanização da colheita florestal no Brasil, que desencadeou e intensificou um processo que de maneira contínua, vem avaliando os rendimentos operacionais e principalmente os custos das máquinas (SIMÕES, 2008). Para Leite (2012) existem diversas metodologias de cálculo de custos, que podem variar de uma literatura para outra, de uma empresa para outra, com o sistema de colheita adotado e a situação em que as máquinas atuam.

Rezende *et al.* (1997) afirma que a redução dos custos da colheita florestal é de suma importância para qualquer empresa, e que uma análise detalhada e por partes dos custos nos diferentes métodos de colheita, possui elevada importância no entendimento de seu comportamento, além de facilitar os estudos a fim de reduzi-los.

3.9. Análise de sensibilidade

Segundo Oliveira (2009), a análise de sensibilidade é uma ferramenta que permite avaliar o grau de variação dos indicadores de viabilidade diante de alterações nas variáveis mais relevantes, ou seja, as que representam maior influência no valor final.

Para Leite (2012) esta ferramenta tornou-se uma etapa de extrema importância nas tomadas de decisões, pois a mesma permite realizar melhores interpretações e concentrar-se em quais dados estimados necessita-se de refinamento antes das tomadas de decisão, além de fornecer informações importantes sobre os elementos críticos durante a implementação.

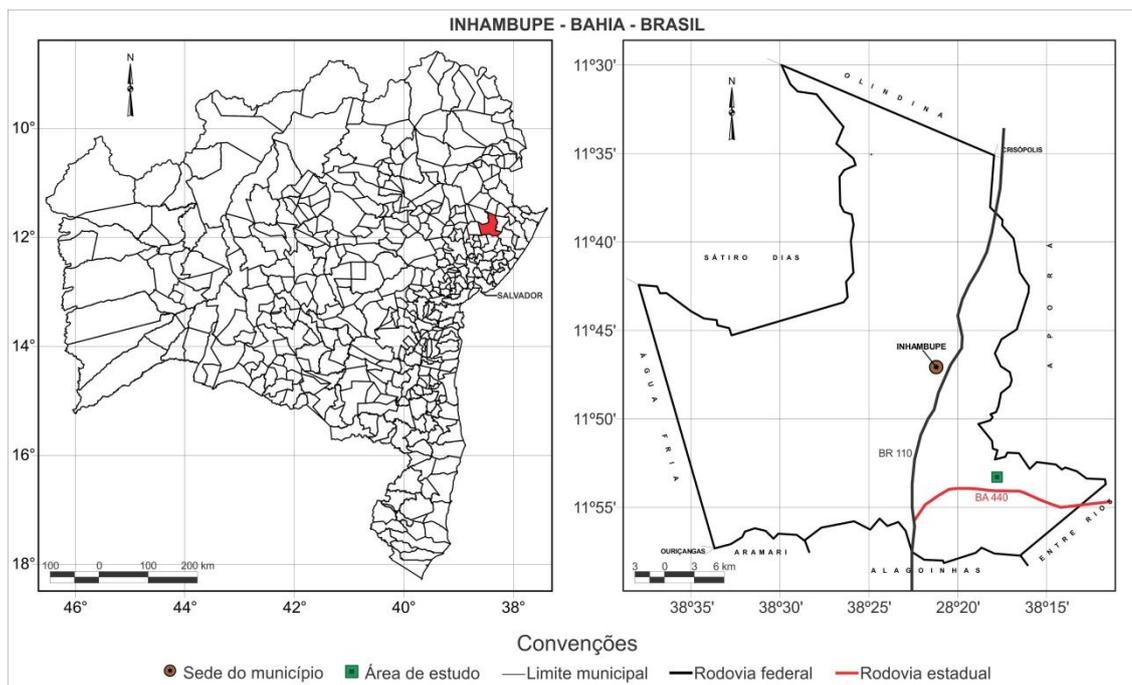
Através do uso de um gráfico denominado de diagrama *Spider plot* a análise de sensibilidade é apresentada, onde se pode avaliar os limites das variáveis independentes, a influência delas sobre o resultado final para cada mudança unitária da variável independente, verificando a existência de uma relação – linear ou não – entre as variáveis independentes e a variável dependente (resultado final) (SILVA, 2004 *apud* LEITE, 2012).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Descrição da área de estudo

A área de estudo é situada na região nordeste, no litoral norte do estado da Bahia, especificamente no município de Inhambupe (figura 1), que está a aproximadamente 150 km de Salvador, tendo como coordenadas geográficas 38°17'56" (long.) e 11°58'32" (lat.), sobre o datum "South American Datum – 1969" (SAD 69). O relevo é classificado como plano, com declividades inferiores a 5 % e com altitude variando em torno de 150 metros acima do nível do mar, de clima tropical úmido e com uma precipitação anual média de 926 mm, com até três meses de seca (IBGE, 1978).

A área de colheita está situada próximo à rodovia BA-400, e pertence a uma grande empresa do setor florestal. O local da coleta dos dados foi o talhão de número 14, no projeto "Cana Verde", sendo o plantio de eucalipto com idade de 7 anos e espaçamento 3 x 3 m. De acordo com o inventário pré-corte, a área de estudo possui em média, 988 árvores ha⁻¹, com um volume médio de 0,125 m³ arv.⁻¹ (sem casca), totalizando um volume médio de 123,5 m³ ha⁻¹.



Fonte: Adaptado de CPRM/PRODEEM (2005).

Figura 1 – Mapa do estado da Bahia e do município de Inhambupe com a localização da área de estudo e coleta de dados.

4.2. Sistema de colheita

O sistema de colheita adotado foi o de toras curtas (*cut-to-length*), com as operações de corte e extração, mecanizadas. Na operação de corte foi utilizada a máquina florestal *harvester*, que abatia as árvores e as processava com seis metros de comprimento. A extração das toras foi realizada com a máquina florestal *forwarder*, que extraia até as margens das estradas.

4.3. Características técnicas da máquina *harvester*

Neste trabalho, avaliou-se o *harvester* da marca Ponsse, modelo ERGO C33 (figuras 2), acionado por um motor Mercedes Benz, com potência de 275 hp (202 kW) e com rodados de pneus e tração 6x6. Possui velocidade de tração em primeira marcha de 0 a 9 km h⁻¹ e em segunda marcha de 0 a 28 km h⁻¹. Seu tanque de combustível possui capacidade para 400 litros de óleo diesel.



Figura 2 – *Harvester* da marca Ponsse, modelo C33, operando no corte e processamento de eucalipto.

Possui uma grua com um ângulo de giro de 280° e 30° de inclinação, com um alcance de até 11 metros. Isto proporciona momento de levantamento de 190 kNm, sendo que, a mesma é acionada por uma bomba hidráulica e na ponta, possui um cabeçote da mesma marca, modelo H8, para o corte e processamento das árvores (figura 3).



Figura 3 – Cabeçote Ponsse, modelo H8, utilizado no corte e processamento de eucalipto.

Este cabeçote é dotado de braços metálicos que possuem a finalidade de agarrar e desgalhar a árvore, com abertura máxima de 750 mm, sendo o abate e o traçamento realizado por um conjunto de corte composto por um sabre e uma corrente, acionados por um sistema hidráulico. Assim que se realiza o abate da árvore, os rolos faca são acionados e possuem a função de tracionar e descascar o fuste.

O acionamento destes mecanismos é realizado através de dois *joysticks* e uma série de botões de comando no painel pelo operador, de dentro de uma cabine, que possui janelas de policarbonato de elevada resistência e condicionamento de ar. Na época da pesquisa, a máquina possuía aproximadamente 5.000 horas de trabalho. Suas principais características técnicas estão apresentadas na tabela 1.

Tabela 1 – Principais características do modelo de *harvester* avaliado.

Características	Máquina
Modelo	C33
Peso (Kg)	16000
Comprimento (m)	7,68
Largura (m)	2,67 – 2,84
Potência do Motor (HP)	275
Rodantes	Pneus 6x6
Torque (rpm)	1200 - 1500
Custo de aquisição (US\$)	550.000,00

Fonte: Ponsse 2012

4.4. Sequência de operação do *harvester*

As execuções das atividades se deram em eitos de quatro linhas de plantio, sempre iniciando da direita para a esquerda. O *harvester* executava as atividades de abate e direcionamento da queda, processamento e deslocamento para a próxima árvore.

No processamento, a árvore era descascada, desganhada, destopada e traçada em toras de até seis metros de comprimento. A madeira já processada era posicionada à esquerda e perpendicular ao sentido de deslocamento da máquina, formando um feixe de toras que seriam posteriormente extraídos pelo *forwarder* (figura 4).

Durante o período de avaliação, o *harvester* trabalhou comandado por três operadores com um ano de experiência nesta máquina. Dois operadores já possuíam experiências anteriores em *harvesters* similares e o terceiro operador, possuía dois anos de experiência em escavadeiras hidráulicas.

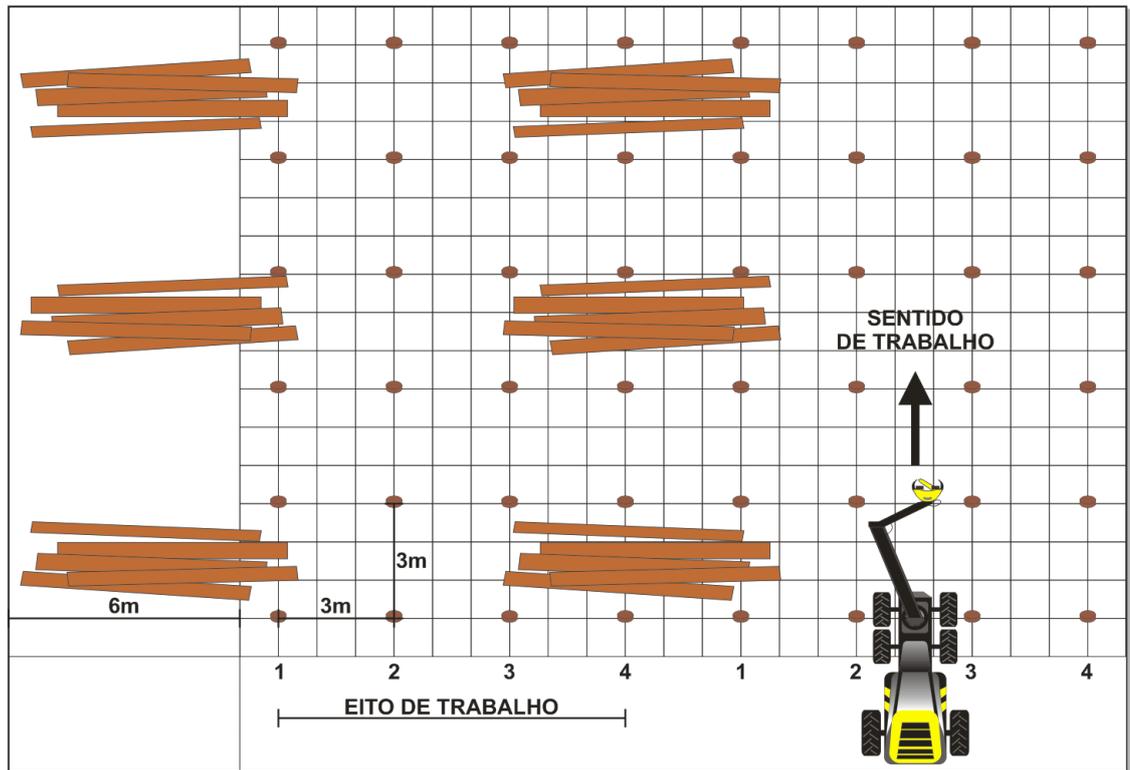


Figura 4 – Ilustração do posicionamento no eito de trabalho e da sequência operacional do *harvester*, do sentido de corte e da disposição da madeira no campo.

4.5. Método de Amostragem

As informações das características técnicas da máquina, do corte florestal mecanizado e do estudo de movimentos e de tempos, foram coletadas durante um período de três meses, que compreendeu os meses de agosto, setembro e outubro de 2011.

Para a avaliação do desempenho e dos custos da máquina, o método de amostragem adotado foi o censo, onde se realiza uma amostragem de 100% do período avaliado. Para o estudo de movimentos e de tempos, aplicou-se a amostragem casual simples, determinada utilizando-se a metodologia de amostragem proposta por Barnes (2001), muito aceita em diversos trabalhos.

Através de um estudo piloto, foi possível determinar o número mínimo necessário de observações, para se atingir o nível de confiança e o erro relativo desejado. Em estudos de movimentos e de tempos, normalmente se utiliza o nível de confiança de 95% e o erro relativo igual a 5%.

A equação 1, apresentada abaixo, determina o número mínimo de ciclos a serem observados:

$$\text{Equação 1: } N' = \left(\frac{40\sqrt{N \sum X^2 - (\sum X)^2}}{\sum X} \right)^2$$

em que:

N' = número necessário de observações;

N = número efetivo de observações; e

X = leitura do cronometro ou observações individuais.

Todos os dados técnicos obtidos através do acompanhamento da máquina e do estudo de tempos e movimentos foram compilados e analisados com o auxílio do software Microsoft Excel. A identificação e a exclusão das observações discrepantes – denominadas de *outliers* – foram realizadas com o auxílio do software estatístico Minitab versão 15.

4.6. Estudo de movimentos e tempos

Inicialmente definiu-se o ciclo de operação da máquina, dividindo o mesmo em elementos a serem cronometrados. Utilizou-se um cronometro digital, de minuto decimal, onde cada minuto é dividido em cem intervalos de tempo iguais, ou seja, cada intervalo equivale a 0,01 min.

Os valores, em segundos, de cada ciclo foram anotados em uma ficha pré-formulada, utilizando o método de leitura contínua, formando um banco de dados. O tempo de cada elemento foi obtido através da subtração do tempo do elemento anterior do ciclo.

4.6.1. Descrição do ciclo operacional da máquina

O ciclo operacional da máquina *harvester*, pode ser dividido em quatro elementos a serem cronometrados, que podem ser visualizados em campo. Os elementos são descritos e nomeados abaixo:

- **Abate:** inicia-se no instante em que há o posicionamento do cabeçote, com fechamento das garras e o acionamento do sabre para o abate, até o tombamento da árvore para o processamento;
- **Processamento:** o primeiro movimento do rolo de tração marca o início do processamento e pode ser dividido em:
 - **Descascamento e desgalhamento:** a árvore é descascada e desgalhada, precisando do acionamento dos rolos de tração;
 - **Taçamento:** acionamento do sabre, para seccionar o fuste em toras de até seis metros; e
 - **Enfeixamento:** é o enleiramento das toras à esquerda do eito de corte, formando um feixe.

- **Deslocamento:** com o final do processamento, o trator está com seus pneus em movimento, deslocando-se até a próxima árvore ou eito de trabalho;
- **Paradas:** podem ser divididas em:
 - **Pausas técnicas:** podem ser entendida como atividades secundárias e não estão relacionadas diretamente com a produção, como: troca do sabre ou corrente de corte; e
 - **Pausas comuns:** tempo utilizado pelo operador em atividades pessoais, tais como: refeições, comunicações via rádio, pausas ergonômicas e necessidades fisiológicas.

Os elementos bem como o ciclo operacional do *harvester*, podem ser visualizados na figura 5.



Figura 5 – Ilustração do ciclo operacional do *harvester*.

4.7. Avaliação de desempenho

4.7.1. Produtividade (Prod.)

Para se determinar a produtividade da máquina em $m^3sc\ he^{-1}$, utilizou-se dados do inventário pré-corte, e os fornecidos pelo sistema da máquina (Opti4G), onde multiplicando-se o número de árvores abatidas, pelo volume médio das árvores, obtém o volume total abatido em cada dia de amostragem. Com o acompanhamento da máquina, foi obtido o número efetivo de horas trabalhadas, sendo o mesmo o número total de horas decrescendo-se as interrupções mecânicas e operacionais, retirando as paradas (MACHADO, 1989; PAULA, 2011).

A produtividade foi calculada através da seguinte equação:

Equação 2:
$$Prod. = \frac{(na \times va)}{He}$$

em que:

Prod.= Produtividade ($m^3\ h^{-1}$);

na = Número de árvores extraídas (un);

va = Volume médio por árvore (m^3sc); e

He = Horas efetivas de trabalho por mês (h).

Com o levantamento dos dados, ajustou-se uma reta de produtividade através de regressão linear.

4.7.2. Disponibilidade Mecânica (DM)

A disponibilidade mecânica pode ser entendida como sendo a porcentagem de tempo em que a máquina está mecanicamente apta a realizar trabalho produtivo, que pode ser expresso através da equação 3:

Equação 3:
$$DM = \frac{(H - TPM)}{H} \times 100$$

em que:

DM = Disponibilidade mecânica (%);

TPM = Tempo de permanência em manutenção (h); e

H = Horas totais (h).

4.7.3. Grau de utilização (GU)

Grau de utilização é a porcentagem do tempo em que a máquina estava efetivamente trabalhando, ou seja, em produção, sendo expresso pela equação 4:

Equação 4:
$$GU = \frac{He}{(He + Hp)} \times 100$$

Onde:

GU = Grau de utilização (%);

He = horas efetivas de trabalho por mês (h); e

Hp = Horas de paradas operacionais por mês (h).

4.7.4. Eficiência Operacional (EO)

A eficiência operacional é baseada na disponibilidade mecânica e no grau de utilização, conforme expressa a equação 5:

Equação 5:
$$EO = \frac{DM \times GU}{100}$$

em que:

EO = Eficiência Operacional (%);

DM = Disponibilidade mecânica (%); e

GU = Grau de utilização (%).

4.8. Avaliação de custos

Foram avaliados os custos operacionais da máquina *harvester*, através do método contábil, que utiliza valores estimados e reais. Os custos fixos (juros, seguros, impostos e depreciação), foram estimados através da metodologia proposta pela ASAE (SILVA *et al.*, 2008; PAULA, 2011; LEITE, 2012).

Para os custos variáveis e de mão de obra, utilizou-se dados fornecidos pela empresa, objetivando aproximar-se ao máximo da realidade. Os custos de administração foram obtidos através dos custos diretos do maquinário.

Os custos de máquinas e equipamentos podem ser classificados em componentes de custo, divididos em:

- Custos fixos;
- Custos variáveis;
- Custos de mão de obra; e
- Custos de administração.

Os custos totais podem ser obtidos, através do somatório dos custos fixos, dos custos variáveis e dos custos de mão de obra, sendo obtidos pela equação 6:

Equação 6: $CT = CF + CV + CMO + CAD$

em que:

CT = Custos Totais;

CF = Custos Fixos;

CV = Custos Variáveis;

CMO = Custos de mão de obra; e

CAD = Custo de administração.

4.8.1. Custos fixos (CF)

É basicamente o somatório de todos os fatores de produção, que não são influenciados pelo número de horas trabalhadas, ou seja, ocorrem mesmo se a máquina não estiver operando. Os custos fixos foram divididos em depreciação, juros, seguros e impostos e abrigo, podendo ser determinado pela equação 7 (SILVA *et al.*, 2008; CANTO, 2009; LEITE, 2012).

Equação 7:
$$CF = D + JS + A$$

em que:

D = Depreciação (US\$ h⁻¹);

JS = Juros, seguros e impostos (US\$ h⁻¹); e

A = Abrigo (US\$ h⁻¹).

Para os cálculos dos custos fixos, foi considerado um valor de revenda de 20% de seu valor inicial e uma vida útil de 5 anos, sendo os valores da máquina e da mão de obra, fornecidos pela empresa onde foi realizado o estudo (SIMÕES e FENNER, 2010; LEITE, 2012).

4.8.1.1. Depreciação (D)

Pode ser entendida como uma maneira de se recuperar o investimento original da máquina. Para estimar os custos operacionais da máquina, calculou-se a depreciação pelo método linear, pois este permite manter o valor depreciado constante para qualquer ponto da vida útil do ativo (SILVA *et al.*, 2008). A equação 8 expressa esta relação:

Equação 8:
$$D = \left(\frac{Va - Vr}{N \times H} \right)$$

em que:

- D = Depreciação (US\$ h⁻¹);
- Va = Valor de aquisição da máquina (US\$);
- Vr = Valor residual ou Valor de sucata (US\$);
- N = Vida útil em anos; e
- H = horas previstas de trabalho por ano (h).

4.8.1.2. Juros, seguros e impostos (JS)

Os juros, seguros e impostos foram calculados aplicando-se uma taxa de juros “i” ao investimento médio anual (IMA), que corresponderia ao custo de oportunidade de se investir em outro negócio. Neste estudo considerou-se uma taxa de juros, seguros e impostos de 12 % a.a. (PAULA, 2011; LEITE, 2012).

Os custos com juros, seguros e impostos, podem ser calculados pela equação 9:

Equação 9:
$$JS = \left(\frac{IMA \times i}{H} \right)$$

em que:

- JS = Juros, seguros e impostos (US\$ h⁻¹);
- IMA = Investimento médio anual (US\$);
- i = Taxa de juros, seguros e impostos anuais (%); e
- H = horas previstas de trabalho por ano (h).

Equação 10:
$$IMA = \left[\frac{(Va - Vr) \times (N + 1)}{(2 \times N)} \right] + Vr$$

em que:

- Va = Valor de aquisição da máquina (US\$);
- Vr = Valor residual ou Valor de sucata (US\$); e
- N = Vida útil estimada em anos.

4.8.1.3. Abrigo (A)

Os custos com abrigo variam em função do local de armazenamento, do número de vigias e da estrutura requerida pela máquina florestal e é obtido através do valor de aquisição, do número de horas efetivas de uso anual e do fator de ajuste (FA), que neste estudo considerou-se 0,75% (SIMÕES e FENNER, 2010).

Os custos com Abrigo podem ser calculados pela equação 11:

Equação 11:
$$A = \frac{(Va \times FA)}{Hf}$$

em que:

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

FA = Fator de ajuste; e

Hf = horas efetivas de uso anual (h).

4.8.2. Custos variáveis (CV)

Os custos variáveis também são conhecidos como custos operacionais, devido seu valor ser proporcional ao uso da máquina, ou seja, varia com a quantidade produzida. Os custos variáveis foram divididos em combustíveis, lubrificantes e graxas, óleo hidráulico, manutenção e reparos e pneus e ou esteiras, podendo ser calculado pela equação 12:

Equação 12:
$$CV = CC + CLG + COH + CMR + CPE$$

em que:

CV = Custos variáveis (US\$ h⁻¹);

CC = Custo de combustível (US\$ h⁻¹);

CLG = Custo de lubrificantes e de graxas (US\$ h⁻¹);

COH = Custo de óleo hidráulico (US\$ h⁻¹);

CMR = Custo de manutenção e reparos (US\$ h⁻¹); e

CPE = Custo de pneus e ou esteiras (US\$ h⁻¹).

4.8.2.1. Custo de combustível (CC)

É o custo referente ao consumo de óleo diesel, por hora efetiva, sendo considerado o valor atual do mesmo no mercado (MACHADO; MALINOVSKI, 1988; SILVA *et al.*, 2008; PAULA, 2011; LEITE, 2012). Para o presente estudo, o consumo de combustível foi obtido através da média histórica de abastecimento da máquina, podendo assim ser expresso pela equação 13:

Equação 13:
$$CC = Pc \times Cc$$

em que:

CC = Custo de combustível (US\$ h⁻¹);

Pc = Valor atual do combustível (US\$ l⁻¹); e

Cc = Consumo médio de combustível por hora efetiva de trabalho (l h⁻¹).

4.8.2.2. Custo de lubrificantes e graxas (CLG)

Os custos de lubrificantes e de graxas variam de acordo com a potência do motor e com a complexidade do sistema hidráulico da máquina, podendo ser estimado em função do consumo de combustível (MACHADO; MALINOVSKI, 1988). Para efeito de cálculo, adotou-se o mesmo índice utilizado por Leite (2012), que é de 20% do valor do custo com combustível, para obtenção dos custos com lubrificantes e graxas. A equação 14 demonstra esta relação:

Equação 14:
$$CLG = 0,20 \times CC$$

em que:

CLG = Custo de lubrificantes e de graxas (US\$ h⁻¹); e

CC = Custo de combustível (US\$ h⁻¹).

4.8.2.3. Custo de óleo hidráulico (COH)

O custo de óleo hidráulico também varia de acordo com a potência do motor e com a complexidade do sistema hidráulico da máquina, podendo ser estimado em função do consumo de combustível (MACHADO; MALINOVISKI, 1988). Para efeito de cálculo, adotou-se o mesmo índice utilizado por Leite (2012), que é de 20% do valor do custo com combustível, para obtenção do custo com óleo hidráulico. A equação 15 demonstra esta relação:

$$\text{Equação 15:} \quad COH = 0,20 \times CC$$

em que:

COH = Custo de óleo hidráulico (US\$ h⁻¹); e

CC = Custo de combustível (US\$ h⁻¹).

4.8.2.4. Custo de manutenção e reparos (CMR)

É comum relacionar os custos com manutenção e reparos, com a vida útil e com o valor de aquisição da máquina (MACHADO; MALINOVISKI, 1988). Estes custos referem-se aos custos de manutenções e reparos que incidem devido à utilização em condições normais ou devido ao desgaste dos componentes, acidentes ou à própria deterioração natural da máquina (SIMÕES e FENNER, 2010). O custo de manutenção e reparos pode ser estimado através da equação 16:

$$\text{Equação 16: } CMR = \frac{\left[Va \times FR_1 \left(\frac{h+Hf}{1000} \right)^{FR_2} \right] - \left[Va \times FR_1 \left(\frac{h}{1000} \right)^{FR_2} \right]}{Hf}$$

em que:

CMR = Custo de manutenção e reparo (US\$ h⁻¹);

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

FR₁ = Fator de reparo 1 (0.003);

FR₂ = Fator de reparo 2 (2.0);

h = Horas de uso acumuladas, até o início do ano em análise (h); e

Hf = horas efetivas de uso anual (h).

4.8.2.5. Custo de pneus e ou esteiras (CPE)

É o custo que se refere à reposição de rodados da máquina a ser avaliada, que tanto pode ser de pneus, de esteiras e ou pneus e esteiras, sendo que, o valor deste custo, pode ser influenciado em função da topografia e do ambiente da área em que a máquina atua, além da manutenção dos rodados (MOREIRA, 2000). A equação 17 demonstra esta relação:

Equação 17:
$$CPE = \frac{Npe \times Vpe}{Hpe}$$

em que:

CPE = Custo de pneus e ou esteiras (US\$ He⁻¹);

Npe = número de pneus e ou esteiras por máquinas (un);

Vpe = Valor de um pneu e ou uma esteira da máquina (US\$); e

Hpe = Vida útil do pneu ou esteira (h).

4.8.3. Custo de mão de obra (CMO)

São custos variáveis, formados pelos custos diretos e indiretos com o operador da máquina e de ajudantes, obtidos pela equação 18:

Equação 18:
$$CMO = \frac{12 \times Sm (1 + S)}{Hf}$$

em que:

CMO = Custo de mão de obra (US\$ h⁻¹);

Sm = Salário mensal (US\$);

S = fator de encargos sociais (1,10); e

Hf = horas efetivas de uso anual (h).

Para efeito de cálculo, utilizou-se o maior valor para S, de 1,10, sugerido na literatura, devido à elevada taxa de encargos sociais praticados no Brasil (MACHADO; MALINOVISKI, 1988).

4.8.4. Custo de Administração (CAD)

“São custos indiretos relacionados com a administração do trabalho e maquinário”. Sendo que o valor de k pode variar de 0,10 a 0,20 e que neste estudo adotou-se 0,10 (MACHADO e MALINOVISKI, 1988; PAULA, 2011). Estes custos podem ser estimados pela equação 19:

Equação 19:
$$CAD = CD \times K$$

em que:

CAD = Custos Administrativos (US\$ h⁻¹);

CD = Custos Diretos do maquinário e mão de obra (US\$ h⁻¹); e

K = Coeficiente de administração (K = 0,10).

4.8.5. Determinação do custo de produção (CProd.)

O custo do corte e processamento da madeira pode ser obtido através da equação 20, apresentada abaixo:

Equação 20:
$$CProd. = \frac{CT}{Prod.}$$

em que:

CProd. = Custo de produção (US\$ m⁻³);

CT = Custos Totais (US\$ h⁻¹); e

Prod. = Produtividade média (m³ h⁻¹).

Para o ajuste desta função, empregou-se o método dos mínimos quadrados.

4.9. Análise de sensibilidade

Esta análise foi realizada com base na variação de 40% (20 % para mais e para menos) das quatro principais variáveis que compõem os custos de produção. Tal variação gerou um conjunto de dados, com os quais, confeccionou-se uma equação para cada uma destas variáveis (OLIVEIRA, 2009; PAULA, 2011; LEITE, 2012).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Estudo de movimentos e de tempos

5.1.1. Método de Amostragem

Durante a execução do trabalho, foram amostrados, 331 ciclos, para o modelo de *harvester* avaliado. Este número de amostras atendeu ao número mínimo exigido na amostragem piloto, que foram de 184 amostras, para se atingir o nível de confiança de 95 % e o erro relativo igual a 5 % desejado. O coeficiente de variação para os ciclos amostrados foi de 43 %.

5.1.2. Composição do ciclo operacional da máquina

Através do estudo de movimentos e de tempos, foi possível estimar os elementos de maior interferência no tempo total do ciclo operacional, bem como as médias e percentuais de tempo gasto em cada elemento do ciclo operacional da máquina.

As percentagens estão dispostas na figura 6. Verifica-se que a maior parte do tempo está sendo consumido pelo processamento seguido do deslocamento, do abate e das paradas

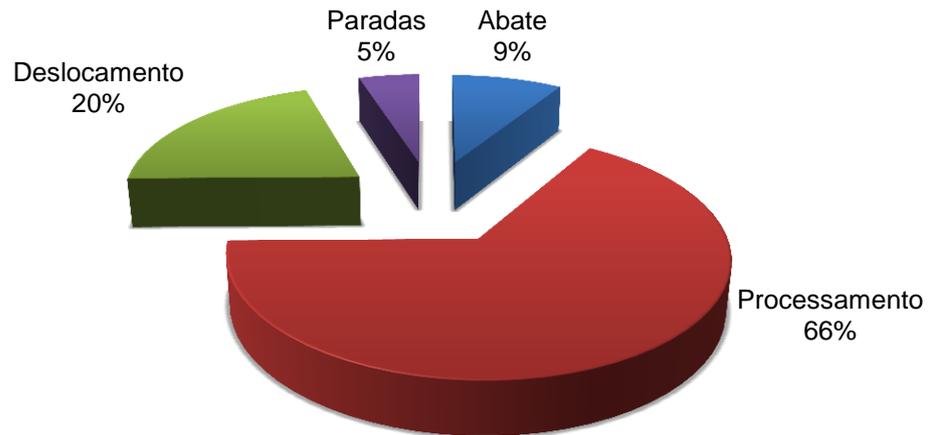


Figura 6 – Percentual de tempo das atividades parciais (elementos) do ciclo operacional do *harvester*.

O elemento “Processamento” foi o elemento responsável pela maior parte do tempo gasto no ciclo operacional do *harvester*. Com uma média de tempo igual a 27,20 s, que representa 66% do tempo gasto no ciclo operacional médio.

Burla (2008) avaliando uma máquina similar e com rodados de pneus, da marca John Deere modelo 1270 D, porém, em diferentes condições de declividades, encontrou para o mesmo elemento, um valor de 52% em terreno plano.

Simões e Fenner (2010) avaliando o *harvester* da marca John Deere modelo 200 C LC, no corte e processamento de eucalipto, encontrou valores percentuais de 51,24 %.

Paula (2011) avaliando dois *harvesters* da marca Komatsu modelo PC 200 LC e PC 228 SHO, encontrou valores percentuais para o processamento, iguais a 52 e 53%, respectivamente.

Como o percentual para este elemento do estudo apresentou-se superior aos mencionados, realizou-se uma reunião do tipo “*Brainstorming*”, com os operadores da máquina, com o objetivo de se entender o motivo de este elemento apresentar-se superior aos encontrados por outros autores (TRINDADE *et al.*, 2007).

A maior dificuldade no processamento, segundo os operadores, se devia à dificuldade de descascar e desgalhar a madeira. Eles relataram que a população de eucalipto que estava sendo colhido naqueles meses, “*não descascava e desgalhava com facilidade*”, aumentando a necessidade de passadas do cabeçote, e que, mesmo assim, algumas partes ainda permaneciam com casca, como pode ser observado na figura 7.



Figura 7 – Feixe de toras recém processadas e com partes de cascas, evidenciando a dificuldade de se descascar a madeira.

Ainda foi relatado, que, “*alguns fustes apresentavam tortuosidades*”, o que também complicava a operação, pois a elevada potência do cabeçote acabava por romper alguns fustes. Quando isto ocorria o operador acabava por abrir o cabeçote, liberando o fuste e necessitando de reiniciar a operação, aumentando o tempo de processamento.

As dificuldades encontradas devem-se basicamente ao povoamento florestal colhido, já que, o diâmetro máximo para cortar e processar as árvores não era o fator limitante, pois a população florestal colhida apresentou diâmetros à altura do peito (DAP), inferiores a 17 cm – segundo o inventário

florestal pré-corte – muito abaixo da capacidade de abate e processamento do cabeçote da máquina (75 cm).

O elemento “Deslocamento” foi o segundo em termos de consumo de tempo e foi responsável por 20% do tempo gasto no ciclo operacional do *harvester* e apresentou uma média de tempo igual a 8,39 s.

Paula (2011) encontrou valores em percentuais de 21,48 e 22,78 %, para as duas máquinas avaliadas, valores estes, próximos aos do *harvester* em questão. Porém, Moraes (2012) encontrou para este mesmo elemento, um percentual de 10 % em um espaçamento de 3 x 3,33 m, a metade do encontrado neste estudo, para a mesma classe de declividade.

Em média o número de árvores vivas por hectare, segundo o inventário florestal pré-corte, é de 988 árvores, para um espaçamento de 3 x 3 m (1.111 arv ha⁻¹), representando uma taxa de mortalidade de 11,07 % e um espaçamento real médio de 10,12 m², diferentemente ao de outros povoamentos com menores taxas de mortalidades, normalmente com 9 m² para o mesmo espaçamento.

O tempo de abate apresentou-se bastante inferior aos encontrados pelos autores mencionados anteriormente. Este resultado pode ter sido influenciado pelo baixo volume individual das árvores colhidas pelo *harvester* (0,125 m³sc arv.⁻¹), para os meses de acompanhamento operacional da máquina.

5.2. Avaliação de desempenho

O número de árvores abatidas, o volume médio por árvore, o número de horas efetivamente trabalhadas e a produtividade, foram obtidos através de acompanhamento diário durante os meses de agosto, setembro e outubro do ano de 2011. A tabela 2 fornece estes valores de maneira resumida, bem como, a média para o trimestre.

Tabela 2: Número de árvores (na), volume médio por árvore (va), o número de horas efetivas de trabalho por mês (He) e produtividade média (Prod.), para os três meses de avaliação.

Meses	na (un)	va (m ³ sc arv. ⁻¹)	He (h)	Prod. (m ³ h ⁻¹)
Agosto	20.983	0,109	306,70	7,44
Setembro	16.025	0,149	292,00	8,16
Outubro	22.755	0,119	335,20	8,07
Médias	19.921	0,125	311,30	7,89

Com este levantamento diário, foi possível ajustar uma equação de produção para a máquina através de regressão linear (equação 21). Esta equação estima a produção da máquina em função do número de horas efetivamente trabalhadas, como ilustra a figura 9.

Equação 21:
$$y = 8,328x - 5,424$$

em que:

$y =$ Produção diária (m³sc h⁻¹);

$x =$ Número de horas efetivamente trabalhadas por dia.

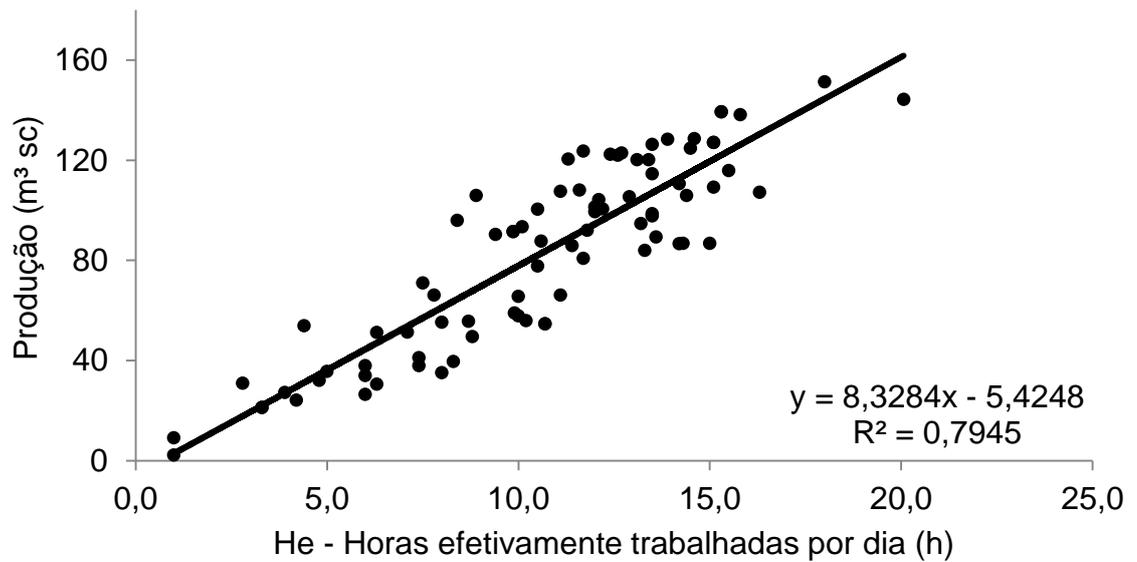


Figura 8 – Produção do *harvester* em função do número de horas efetivamente trabalhadas por dia.

Na figura 8, pode-se observar a existência de uma relação linear entre a produção diária (eixo y) e o número de horas efetivamente trabalhadas no dia (eixo x), realçada pelo coeficiente de correlação R^2 de 79,45 %.

Verifica-se na tabela 3, a média das horas previstas, das horas efetivamente trabalhadas, do tempo de permanência em manutenção e do tempo de parada operacional para cada mês de acompanhamento do *harvester*, bem como, as conseqüentes taxas de disponibilidade mecânica, grau de utilização e eficiência operacional e seus valores máximos e mínimos, além do coeficiente de variação para cada uma no período avaliado.

Tabela 3: Horas previstas (H), horas efetivamente trabalhada (He), tempo de permanência em manutenção (TPM), paradas operacionais (Hp), disponibilidade mecânica (DM), grau de utilização (GU) e eficiência operacional (EO), para os três meses de acompanhamento.

Meses	Horas Previstas/Mês (H)	Horas efetivamente trabalhadas (He)	Horas Paradas		DM %				GU %				EO %			
			Mecânicas (TPM)	Operacional (Hp)	Mín.*	Média	Max.	CV	Mín.	Média	Max.	CV	Mín.	Média	Max.	CV
Agosto	545,6	306,7	188,1	50,8	21,0	65,5	100,0	37,6	60,9	85,8	100,0	22,0	15,9	56,2	92,6	39,6
Setembro	531,8	292,0	186,8	51,5	5,7	64,9	97,7	49,6	65,5	85,0	100,0	35,4	5,7	55,1	88,1	51,3
Outubro	565,8	335,2	161,5	69,1	21,6	71,5	100,0	39,2	52,4	82,9	96,1	22,9	18,8	59,2	89,8	41,2
Média	547,7	311,3	178,8	57,1	16,1	67,3	99,2	41,9	59,6	84,6	98,7	27,0	13,4	56,9	90,2	43,7

*Menor Disponibilidade Mecânica encontrada e maior que zero.

O volume médio por árvore para o trimestre (va) foi de 0,125 m³sc e o número médio de árvores abatidas (na) foi de 19.921 árvores. A produtividade média foi de 7,89 m³ h⁻¹, considerada baixa, em relação à outras pesquisas publicadas.

Magalhães e Katz (2010) encontraram valores para a produtividade igual a 19,0 m³ h⁻¹ em florestas com volume médio por árvore igual a 0,210 m³. Silva (2011) que ao avaliar dois modelos de *harvesters*, encontrou produtividades de 18,57 m³sc h⁻¹ e 19,88 m³sc h⁻¹ em florestas com volume médio por árvore igual a 0,177 m³ e 0,220 m³, respectivamente.

Moraes (2012) encontrou produtividade de 19,99 m³sc h⁻¹ em povoamento com volume médio por árvore de 0,159 m³ em espaçamento similar e com *harvester* da marca Komatsu modelo PC 228 SHO.

Leite (2012) avaliando um *harvester* de pneus da marca John Deere, modelo 1270 D, operando em aclave e declive em povoamento de eucalipto com um volume médio por árvore de 0,300 m³, encontrou produtividades de 26,59 m³sc h⁻¹ e 24,50 m³sc h⁻¹.

Ao se analisar as diferença entre as produtividades mencionadas e a encontrada no presente estudo, a variável que melhor explicou a baixa produtividade do *harvester* foi o volume individual médio do povoamento colhido. Esta relação é expressa pela equação 22 descrita a seguir e visualizada na figura 9:

Equação 22:
$$y = -301,7x^2 + 129,2x - 3,024$$

em que:

y = Produtividade (m³ h⁻¹); e

x = Volume médio por árvore (m³sc);

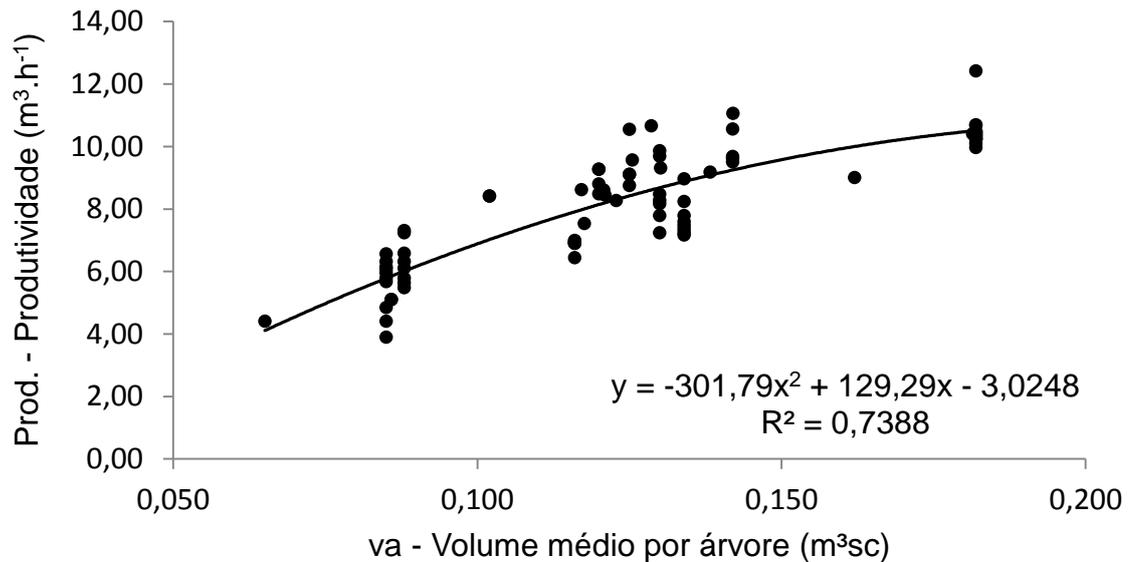


Figura 9 – Produtividade do *harvester* em função do volume médio por árvore.

Na figura 9, pode-se observar a existência de uma relação entre a produtividade (eixo y) e o volume médio por árvore (eixo x), realçado pelo coeficiente de correlação R^2 de 73,80 %, para a situação em que foi avaliada a máquina.

A eficiência operacional se manteve em torno da média, que é de 57%, valor este considerado baixo (MACHADO, 1989). Como ela é diretamente proporcional à disponibilidade mecânica e ao grau de utilização da máquina, ou seja, quanto maior for a taxa de disponibilidade e de utilização, maior será a de eficiência da mesma, deve-se avaliar estas duas taxas separadamente.

O grau de utilização apresenta valores aceitáveis, sendo que, sua média para o período é de 85 %, demonstrando que o tempo gasto com paradas operacionais (H_p), está dentro de uma margem aceitável.

Para se elevar o nível de eficiência operacional, a disponibilidade mecânica deve aumentar e quando se analisa separadamente esta taxa, nota-se que os valores para os dois primeiros meses, a diferença se trata de apenas 1%, e que, do segundo para o terceiro mês, há um aumento de 6% representando um ganho de 4% na eficiência operacional.

A baixa disponibilidade mecânica encontrada durante o período de avaliação se deve basicamente à falta de peças para de reposição, já que, a

empresa contava com uma equipe especializada de mecânicos e de comboio para realizar intervenções quando necessário.

Segundo Fontes e Machado (2008), para se aumentar a disponibilidade mecânica de uma máquina deve-se reduzir o número de falhas, bem como o tempo gasto em sua correção, buscando melhorar os procedimentos de trabalho e logística. Para se reduzir o tempo de permanência em manutenção e conseqüentemente elevar a disponibilidade mecânica, a reposição de peças deve ser eficiente, pois a falta de uma delas pode aumentar este tempo e afetar negativamente a disponibilidade da máquina.

5.3. Avaliação de custos

A taxa de juros foi baseada no valor do custo do capital praticado pelo cartão BNDES – Banco Nacional do Desenvolvimento - que possui diversas linhas de financiamento, entre elas, a linha de financiamento para a produção e aquisição de máquinas e equipamentos novos. Para o ano de 2011 (ano da avaliação), esta foi de 11,89 % e para efeito de cálculo, adotou-se a taxa de 12 % (BNDES, 2011). Para o valor residual da máquina, adotou-se 20% do valor de aquisição da mesma.

Após a realização dos cálculos seguindo a metodologia proposta, foi possível obter os custos fixos, variáveis, de mão de obra e de administração em dólares por hora efetivamente trabalhada da máquina (US\$ h⁻¹) – utilizando a taxa de câmbio média para o ano de 2011 (R\$ 1,675) – que podem ser visualizados na tabela 4.

Tabela 4: Componentes de custo operacional do *harvester* em US\$ h⁻¹.

	Custos	US\$ h⁻¹
	Depreciação (D)	14,52
CF	Juros, Seguros e Impostos (JS)	7,40
	Abrigo (A)	1,12
		23,03
	Custo de combustível (CC)	34,23
	Custo de lubrificantes e de graxas (CLG)	6,85
CV	Custo de óleo hidráulico (COH)	6,85
	Custo de manutenção e reparos (CMR)	39,55
	Custo de pneus e ou esteiras (CPE)	2,58
		90,04
CMO	Custo de Mão de obra (CMO)	5,77
CAD	Custo de administração (CAD)	11,89
CT	Custo total (CT)	130,74

O custo operacional estimado para a máquina *harvester* avaliada neste estudo foi de US\$ 130,74 por hora efetivamente trabalhada. Os custos variáveis foram responsáveis pela maior parte dos custos, representando aproximadamente 69 %, seguido dos custos fixos (18 %). Os custos de administração e de mão de obra representam respectivamente 9 e 4 % do total. Os custos em separados podem ser melhor visualizados na figura 10.

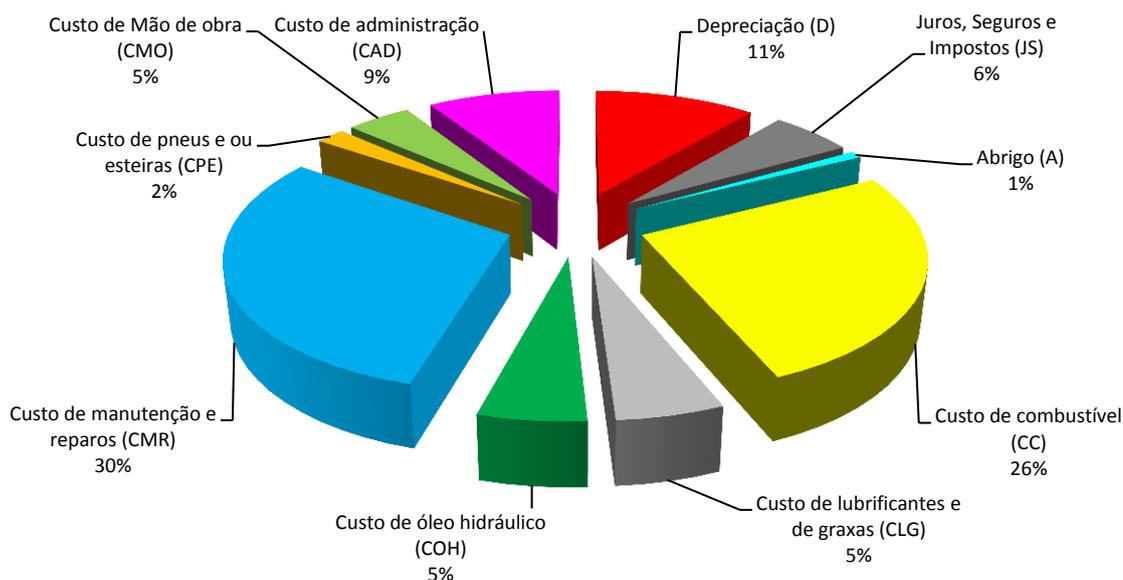


Figura 10 – Variáveis dos componentes de custo em percentagem.

O custo com maior relevância é o de manutenção e reparos, representando 30 %, seguido do custo com combustível, representando 26 % e da depreciação, com 11 % do total.

O custo operacional do *harvester* Ponsse, modelo ERGO C33 H8, mostrou-se próximo dos encontrados por Burla (2008) e Leite (2012), porém superior ao encontrado por Simões e Fenner (2010) e Paula (2011).

Burla (2008) encontrou um custo operacional por hora efetiva trabalhada de US\$ 130,29, para um *harvester* da marca John Deere modelo 1270 D, valor este próximo ao encontrado neste estudo e similar ao encontrado por Leite (2012), que foi de US\$ 145,36 para o mesmo modelo de máquina.

Paula (2011), avaliando dois modelos de *harvester* com rodados de esteiras, encontrou valores de US\$ 91,91 e US\$ 100,80. Estes valores ficaram próximo ao encontrado por Simões e Fenner (2010), que foi de US\$ 78,78.

Porém, ao se comparar o custo de produção, que foi de US\$ 16,55 m⁻³, obtido pela equação 20, este valor, se apresenta muito superior aos encontrados pelos autores citados. Burla (2008), que por meio de modelagem de dados, obteve um custo de produção de US\$ 4,50 m⁻³, enquanto que, Leite (2012) para o mesmo modelo de máquina, encontrou um valor de US\$ 4,74 m⁻³

para florestas com volume médio individual de 0,30 m³. Paula (2011) encontrou valores para o custo de produção, de US\$ 5,04 m⁻³ e US\$ 5,07 m⁻³ para dois modelos similares de *harvester*, porém com rodados de esteiras.

Tal fato se deve, principalmente, ao baixo volume de madeira colhido nos talhões, principalmente em relação ao volume médio individual das árvores.

Na figura 11, visualiza-se o comportamento dos custos em função da produtividade da máquina, onde se variou a produtividade a uma eficiência operacional mínima de 65 %. Os resultados demonstram que os custos reduzem de maneira significativa com o acréscimo da produtividade, e que, para esta máquina e nas condições na qual foi submetida, esta relação, pode ser explicada pela equação 23, que possui coeficiente de correlação R² de 98,5 %.

Equação 23:
$$y = 27,08e^{-0,07x}$$

em que:

y = Custo de produção (US\$ m⁻³); e

x = Produtividade (m³sc h⁻¹).

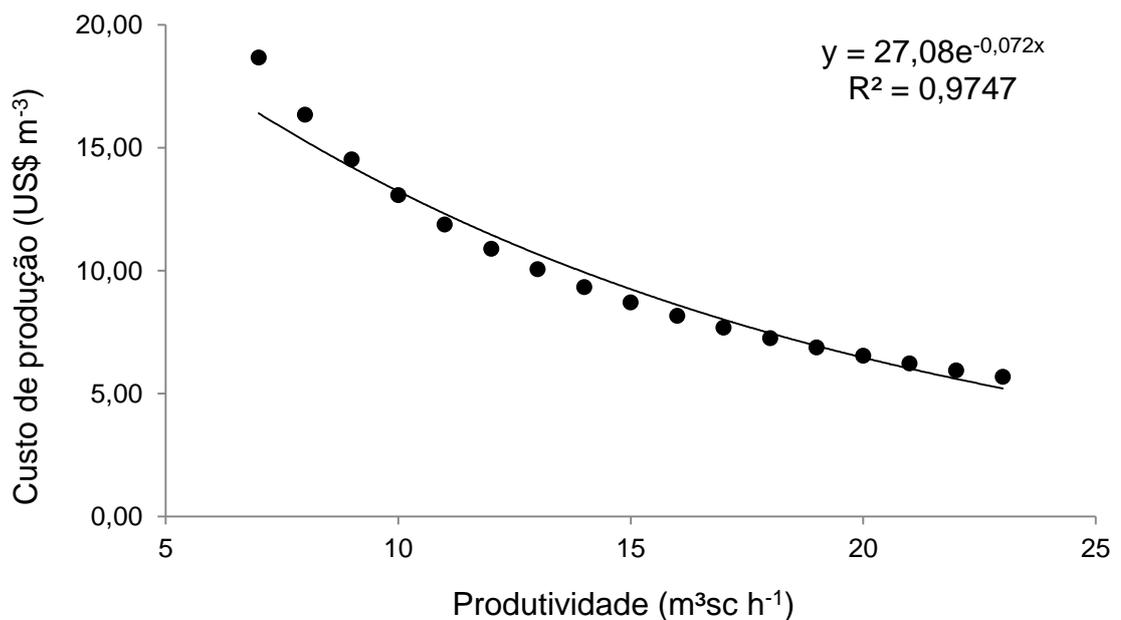


Figura 11 – Comportamento do custo de produção (US\$ m⁻³), em relação à produtividade da máquina (m³sc h⁻¹).

Ao se considerar uma situação real em que o estudo foi realizado, a máquina operando 3.688,44 horas anuais, com uma produtividade média de $7,89 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, abate e processa um total de $29.101,79 \text{ m}^3$ de madeira, a um custo médio de $\text{US\$ } 16,56 \text{ m}^{-3}$. Se houver um acréscimo na produtividade efetiva de 20 % este custo passaria para $\text{US\$ } 13,96 \text{ m}^{-3}$, representando uma economia de $\text{US\$ } 2,60 \text{ m}^{-3}$, perfazendo uma economia anual total de $\text{US\$ } 75.664,64$.

5.4. Análise de sensibilidade

Na figura 12, podem ser visualizadas as quatro principais equações para as variáveis que mais afetaram o custo de produção e seu comportamento quando há uma variação. As que apresentaram ângulos positivos em relação ao eixo x implicam em aumento dos custos de produção, quando houver uma variação no sentido de acréscimo. A equação que apresentou ângulo negativo resulta em redução do custo de produção.

Das quatro variáveis avaliadas na análise de sensibilidade, a que apresentou maior impacto no custo de produção do *harvester*, foi a de manutenção e reparos e a que apresentou menor a de depreciação, devido ao fato de a primeira possuir o maior ângulo de inclinação.

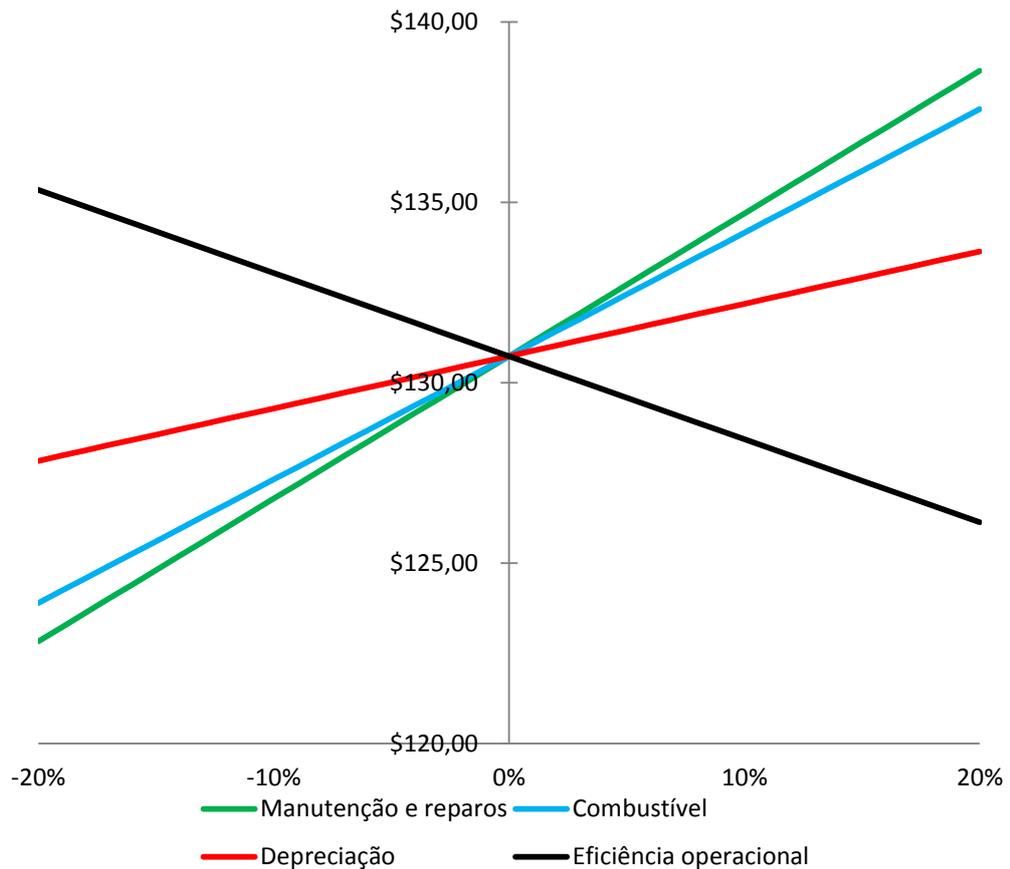


Figura 12 – Análise de sensibilidade para as quatro principais variáveis que compõem o custo de produção do *harvester*.

5.4.1. Manutenção e reparos

Os custos com manutenção e reparos, foi o de maior representatividade no custo total e foi o que mais influenciou com sua variação (equação de maior inclinação positiva). Com o aumento de 1 % nesta variável, ocorre o aumento de US\$ 0,39 h⁻¹ no custo operacional do *harvester*. Uma forma de se controlar estes custos, seria prever a vida útil das peças e realizar a substituição antes que elas falhem, reduzindo o tempo de permanência em manutenção e o tempo utilizado pela equipe de manutenção.

5.4.2. Combustível

Assim como os custos com manutenção e reparos, o custo com combustível possui grande representatividade no custo total da máquina e existe uma relação direta com a quantidade de horas trabalhadas. Como se pode observar na figura 13, há uma tendência no aumento do custo da máquina quando há aumento no consumo e conseqüentemente no custo de combustível. A cada acréscimo de 1% no custo de combustível, ocorre um aumento de US\$ 0,34 h⁻¹ no custo operacional do *harvester*.

5.4.3. Depreciação

De maneira similar a depreciação exerce elevada participação no custo de produção da máquina. A cada aumento de 1% na depreciação, ocorre um aumento de US\$ 0,14 h⁻¹ no custo operacional do *harvester*.

5.4.4. Eficiência operacional

A eficiência operacional comportou-se de modo análogo às outras componentes, sendo sua inclinação negativa. Quando houver aumento na eficiência operacional da máquina, haverá redução do custo de produção da mesma, pois ela está ligada diretamente com as despesas da máquina. A cada aumento de 1 % na eficiência da máquina, ocorre redução de US\$ 0,23 m⁻³ no custo operacional do *harvester*.

Ao se realizar uma análise integrada baseada nos resultados obtidos para as variáveis que compõem o custo operacional (manutenção e reparos, combustível, depreciação e eficiência operacional), em uma situação simulada, na qual a empresa consiga uma economia real de 10% em cada um destes itens de custos e ao mesmo tempo, eleve a eficiência operacional em 10 %, implicaria em uma redução de 8,87 % no custo operacional do *harvester*, representando uma economia de US\$ 11,60 h⁻¹ (tabela 6).

Tabela 5: Acumulação de redução de custos obtida com a diminuição em 10% dos componentes de custo mais relevantes.

Máquina	CMR	CC	D	EO	Total	CP	Diferença (%)
<i>Harvester</i>	3,96	3,42	1,45	2,76	11,59	130,74	-8,87

*Valores em US\$ h⁻¹.

Legenda: CC – Custo de combustível; D – Depreciação; CMR – Custo de manutenção e reparos; CAD – Custo de Administração; e CT – Custo total por hora trabalhada.

Em termos de percentagem, a diferença encontrada neste estudo foi próxima às encontradas por Paula (2011) que avaliou dois modelos de *harvester* (PC 200 e PC 228) da marca Komatsu e encontrou respectivamente 7,43 e 7,17% (em média US\$ 7,85 h⁻¹), para as variáveis: custo de combustível; de manutenção e reparos; e depreciação. Porém, esta diferença foi bastante inferior à encontrada por Leite (2012), que ao avaliar um *harvester* da marca John Deere, modelo 1270D com rodados de pneus, encontrou uma diferença de 17% (US\$ 12,06 h⁻¹), para as variáveis: valor de aquisição, manutenção e reparos, preço do combustível, depreciação, vida útil econômica e taxa de juros.

6. CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos, pode-se concluir que:

No estudo de movimentos e tempos o elemento que mais consumiu tempo foi o processamento, seguido pelo deslocamento, pelo abate e pelas paradas;

A baixa eficiência operacional apresentada pela máquina é resultado da baixa disponibilidade mecânica, devido ao elevado tempo de permanência em manutenção;

A baixa produtividade média da máquina é um reflexo do povoamento florestal colhido, sendo que, o volume individual médio das árvores, influencia diretamente neste resultado.

O custo operacional do *harvester* foi de 130,74 dólares por hora efetivamente trabalhada e o custo de produção foi de 16,55 dólares por metro cúbico de madeira colhida sem casca.

O custo de produção se mostrou bastante sensível às pequenas mudanças de produtividade.

As variáveis que exerceram maior influência no custo operacional do *harvester* foram as manutenções e reparos, o preço do combustível, a depreciação e a eficiência operacional.

A redução em 10 % das variáveis que mais influenciaram o custo de produção e o acréscimo de 10 % na eficiência operacional do *harvester* resultaria em uma economia de aproximadamente 8,9 % no custo total da hora efetivamente trabalhada.

7. REFERÊNCIAS

ABRAF. **Anuário Estatístico**: ano base 2010/ABRAF. Brasília, DF, 2011. 130p.

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

BARNES, R. M. **Estudo de movimentos e de tempos**; projeto e medida do trabalho. 6. ed. São Paulo, SP: 2001. 635 p.

BNDES – Banco Nacional do Desenvolvimento. **Cartão BNDES – Taxas de juros**. Rio de Janeiro, RJ. 2011. Disponível em: <<https://www.cartaobndes.gov.br/cartaobndes/PaginasCartao/Taxa.asp?Acao=L>>. Acesso em: 06 jul. 2012.

BRAMUCCI, M. **Determinação e quantificação de fatores de influência sobre a produtividade de "harvester" na colheita de madeira**. 2001. 50 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP, 2001.

BURLA, E. R. **Avaliação técnica e econômica do *harvester* na colheita e processamento de madeira em diferentes condições de declividade e produtividade florestal.** 2008. 70 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2008.

CHIES, D. **Influência do espaçamento sobre a qualidade e o rendimento da madeira serrada de *Pinus taeda* L.** 2005. 137 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal doParaná, Curitiba, PR, 2005.

CPRM/PRODEEM – **Projeto Cadastro de Fontes de abastecimento subterrâneas do Estado da Bahia.** Salvador, BA, Outubro de 2005. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/rehi/atlas/bahia/relatorios/INHA068.pdf>>. Acesso em: 06 jul. 2012.

FAO. **Logging and log transport in man-made forests in developing countries.** Rome, 1974. 90p. (Forestry Paper - FAO, 18).

FONTES, J. M.; MACHADO, C. C. Manutenção mecânica. In: MACHADO, C. C. (Coord.). **Colheita florestal.** 2. ed. Viçosa, MG: UFV, 2008. Cap. 9. P. 243-291.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Mapa de clima do Brasil.** Rio de Janeiro, RJ, 1978.

LEITE, E. S. **Desenvolvimento de planos de colheita florestal de precisão utilizando tecnologias de geoprocessamento.** 2010. 120 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2010.

LEITE, E. S. **Modelagem técnica e econômica de um sistema de colheita florestal mecanizada de toras curtas.** 2012. 109 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2012.

LEITE, A. M. P., SOUZA, A. P., MACHADO, C. C. Terceirização. In: MACHADO, C. C. (Coord.). **Colheita florestal**. 2. ed. Viçosa, MG: UFV, 2008. Cap. 15, p. 436-457.

LEITE, A. M. P. **Análise da terceirização na colheita florestal no Brasil**. 2002. 300 p. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2002.

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

LOPES, E. S. **Diagnostico do treinamento de operadores de máquinas na colheita de madeira**. 1996. 137 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1996.

LOPES, E. S. CRUZINIANI, E. ARAUJO, A. J. SILVA, P. C. Avaliação do treinamento de operadores de *harvester* com o uso de simulador de realidade virtual. **Revista Árvore**, v. 32, n. 2, p. 291-298, 2008.

LOPES, E. S. Colheita de baixo volume individual. **Rev. Opiniões**, Ribeirão Preto, SP, v. 27, p. 21, mar./mai. 2012. Disponível em: <<http://www.revistaopinioes.com.br/cp/materia.php?id=821>>. Acesso em: 06 jul. 2012.

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

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

MACHADO, C. C.; SILVA, E. N.; PEREIRA, R. S. O setor florestal brasileiro. In: MACHADO, C. C. (Coord.) **Colheita florestal**. 2. ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 2008. Cap. 1, p. 15-42.

MACHADO, C. C. O estado-da-arte da terceirização frente às inovações tecnológicas. **Revista Opiniões**, Ribeirão Preto, SP, v. 20, p. 17, jun./ago. 2010. Disponível em: <<http://www.revistaopinioes.com.br/cp/materia.php?id=656>>. Acesso em: 06 de julho 2012.

MAGALHÃES, P. A. D.; KATZ, I. **Estudo da viabilidade econômica da mecanização do processo de colheita com *harvester* em uma indústria madeireira**. *Tékhné Lógos*, Botucatu, SP, v. 2, n. 1, out. 2010, p. 72 a 91.

MALINOVSK, R. A.; MALINOVSK, J. R. **Evolução dos sistemas de colheita de Pinus na região Sul do Brasil**. Curitiba, PR: FUPEF, 1998. 138p.

MALINOVSKI, J. R.; CAMARGO, C. M. S.; MALINOVSKI, R. A. Sistemas. In: MACHADO, C.C. (Coord.). **Colheita florestal**. 2. ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 2008. Cap. 6, p. 161-184.

MALINOVSKI, R. A.; MALINOVSKI, R. A.; MALINOVSKI, J. R.; YAMAJI, F. M. Análise das variáveis de influência na produtividade das máquinas de colheita de madeira em função das características físicas do terreno, do povoamento e do planejamento operacional florestal. **Floresta**, Curitiba, PR, v.36, n. 2, mai/ago. 2006.

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

MENDONÇA FILHO, W. F. Abate de árvores totalmente mecanizado. In: SEMINÁRIO SOBRE EXPLORAÇÃO, ERGONOMIA E SEGURANÇA EM REFLORESTAMENTOS, 5. **Anais...** Curitiba, PR: IPEF, 1987. p. 361-387.

MOREIRA, F. M. T. **Análise técnica e econômica de subsistemas de colheita de madeira de eucalipto de terceira rotação**. 2000. 148 f.

Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2000.

MORAES, A. C. **Análise do treinamento de operadores de máquinas de colheita de madeira**. 2012. 79 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2012.

OLIVEIRA, R. J. **Avaliação econômica da utilização de cabos aéreos na colheita florestal em regiões montanhosas**. 2009. 54 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2009.

PAULA, E. N. S. O. **Avaliação técnica, de custos e ambiental de dois modelos de *harvester* na colheita florestal**. 2011. 83 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2011.

PEREIRA, R. S. Inovações da colheita e transporte de madeira. **Revista Opiniões**, Ribeirão Preto, SP, v. 20, p. 20, jun./ago. 2010. Disponível em: <<http://www.revistaopinioes.com.br/cp/materia.php?id=670>>. Acesso em: 06 de julho 2012.

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

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

RINALDI, P. C. N.; FERNANDES, H. C. Estudo de fatores relacionados com a compactação de solos florestais. In: VII SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE COLHEITA E TRANSPORTE FLORESTAL, 8. **Anais...** Uberlândia, MG: Viçosa: SIF/UFV, 2007. p. 203-219.

SANTIAGO, A. J. S. O setor florestal tornou-se um dos pilares de nossa economia. **Revista Opiniões**, Ribeirão Preto, SP, v. 20, p. 3, jun./ago. 2010. Disponível em: <<http://www.revistaopinioes.com.br/cp/materia.php?id=653>>. Acesso em: 06 de julho 2012.

SANT'ANNA, C. M. Corte. In: MACHADO, C.C. (Coord.). **Colheita florestal**. 2. ed. Viçosa, MG: UFV, 2008. Cap. 03, p. 66-96.

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

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

SILVA, E. N. **Avaliação técnica e econômica do corte de pinus com harvester**. 2008. 60 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2008.

SILVA, M. L.; MIRANDA, G. M.; CORDEIRO, S. A. Custos. In: MACHADO, C.C. (Coord.). **Colheita florestal**. 2. ed. Viçosa, MG: UFV, 2008. Cap. 08, p. 231-260.

SILVA, R. M., Considerações sobre análise de sensibilidade em análise de decisão. **Relatório de Iniciação Científica**. Brasília, DF: CNPq, 2004. 44 p.

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

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

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

SPINELLI, R.; WARDB, S. M.; OWENDEC, P. M. A harvest and transport cost model for Eucalyptus spp. fast-growing short rotation plantations. **Biomass and Bioenergy**, v. 33, 2009.

TRINDADE, C.; REZENDE, J. L. P.; JACOVINE, L. A. G.; SARTORIO, M. L. **Ferramentas da qualidade – aplicação na área florestal**. 2 ed. Viçosa, MG: UFV, 2007. 159p.

WADOUSKI, L. H. Fatores determinantes da produtividade e dos custos na colheita de madeira. In: SAMINÁRIO DE ATUALIZAÇÃO SOBRE SISTEMAS DE COLHEITA E TRANSPORTE FLORESTAL, 10. **Anais...** Curitiba, PR: Curitiba: UFPR/FUPEF, 1997. p. 77-84.

YONEZAWA, J. T. A evolução da colheita mecanizada. **Revista Opiniões**, Ribeirão Preto, SP, v. 20, p. 06, jun./ago. 2010. Disponível em: <<http://www.revistaopinioes.com.br/cp/materia.php?id=656>>. Acesso em: 06 de julho 2012.

APÊNDICE

Tabela 2A: Valores utilizados nos cálculos do custo operacional do *harvester*.

Itens	Valores
Va - Valor de aquisição da máquina (US\$) ¹	549.253,73
Vr - Valor de residual da máquina, 20% de Va (US\$)	109.850,75
N - Vida útil estimada em anos	5
D - dias trabalhados por ano ¹	344
H _{dia} - Horas previstas de trabalho por dia (h) ¹	17,6
H _{ano} - Horas previstas de trabalho no ano (h) ¹	6.054,40
Hf - Horas efetivas de trabalho por ano (h ano ⁻¹) ²	3.688,44
He - Horas efetivas de trabalho mensal (h mês ⁻¹) ²	541,67
i = taxa de juros anuais (% a.a.) ³	12
Pc - Preço do combustível (US\$ l ⁻¹) ¹	1,85
Cc - consumo de combustível por hora efetiva (l h ⁻¹) ¹	18,5
P - preço do pneu (US\$ unid ⁻¹) ⁴	5.373,13
Ne - Número de pneus	6
Hpe - Vida útil do pneu, em horas efetivas (h unid ⁻¹) ⁴	12.500
Sm - Salário mensais dos operadores (US\$ mês ⁻¹) ¹	844,78
S - fator de encargos sociais (0,35 a 1,10) ⁵	1,10
NO - Número de operadores	3

1 – Valores informados pela empresa onde se realizou o estudo.

2 – Valores estimados através do acompanhamento do *harvester*.

3 – Valor obtido através do no site do BNDES (11,89 % a.a.).

4 – Valor utilizado por Leite (2012).

5 – Valor recomendado por Machado e Malinovski (1988).