

**FRANCINY LIENY SOUZA**

**DENSIDADE DE ESTRADAS EM POVOAMENTOS DE *Pinus taeda* L. EM REGIME  
DE DESBASTES E CORTE RASO.**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-graduação em Engenharia Florestal, na Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Florestal.

Orientador: Dr. Jean Alberto Sampietro  
Co-orientador: Dr. Marcos Benedito Schimalski

**Lages, SC  
2016**

Ficha catalográfica elaborada pelo(a) autor(a), com  
auxílio do programa de geração automática da  
Biblioteca Setorial do CAV/UDESC

Souza, Franciny Lieny  
DENSIDADE DE ESTRADAS EM POVOAMENTOS DE Pinus  
taeda L. EM REGIME DE DESBASTES E CORTE RASO. /  
Franciny Lieny Souza. - Lages , 2016.  
126 p.

Orientador: Jean Alberto Sampietro  
Co-orientador: Marcos Benedito Schimalski  
Dissertação (Mestrado) - Universidade do Estado  
de Santa Catarina, Centro de Ciências  
Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia Florestal, Lages, 2016.

1. Operações florestais. 2. análise operacional.  
3. infraestrutura florestal. 4. desbaste. 5. corte  
raso. I. Sampietro, Jean Alberto . II. Schimalski,  
Marcos Benedito . , .III. Universidade do Estado  
de Santa Catarina, Centro de Ciências  
Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia Florestal. IV. Título.

**FRANCINY LIENY SOUZA**

**DENSIDADE DE ESTRADAS EM POVOAMENTOS DE *Pinus taeda* L. EM REGIME DE DESBASTES E CORTE RASO.**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-graduação em Engenharia Florestal, na Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Florestal.

**Banca examinadora**

Orientador: \_\_\_\_\_

Dr. Jean Alberto Sampietro  
Universidade do Estado de Santa Catarina

Membro externo: \_\_\_\_\_

Dr. Eduardo da Silva Lopes  
Universidade Estadual do Centro-Oeste

Membro externo: \_\_\_\_\_

Dr. Dagoberto Stein de Quadros  
Universidade Regional de Blumenau

Lages, 6 de dezembro de 2016.



## **AGRADECIMENTOS**

A Deus por me dar força, sabedoria e tranquilidade para concluir esta etapa;

À Universidade Estadual de Santa Catarina – UDESC, ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal e ao Departamento de Engenharia Florestal, pelo acolhimento e possibilidade de realização deste trabalho;

Ao meu orientador Prof. Dr. Jean Alberto Sampietro, pela valiosa orientação, amizade, apoio e confiança no desenvolvimento e conclusão deste trabalho;

Ao meu coorientador Schimalski, pela confiança e paciência;

Aos demais professores (Nicoletti, Navroski, Hess, Philipe e Thiago) pelos conselhos e eventuais sugestões construtivas na execução do projeto e elaboração da dissertação.

Aos acadêmicos: Caroline Fernandes, Isadora Arruda, Oieler Vargas, Rafael Bonatto, Igor Neuhaus e Alex Pieper, pelo auxílio na coleta e nas análises dos dados;

À empresa Florestal Gateados Ltda, por permitir a realização da pesquisa em suas áreas e aos seus funcionários pela ajuda prestada;

Aos meus colegas de trabalho Bruna, Ian, Nilton, Adam, Alcimar, Julia, Eduardo e Camila;

À minha mãe Isabel, pela educação dada e apoio mesmo nas horas mais difíceis, por me ensinar a correr atrás de nossos sonhos e que não mediu esforços para que eu sempre continuasse estudando;

Ao meu pai Silvio, que mesmo estando longe me ensinou que somos fortes e capazes de alcançar tudo o que desejamos;

À minha irmã Nicole pelo apoio e carinho;

À minha família, pela paciência nesse período em que estive ausente;

À Daiane A. de Vargas, pelo apoio incondicional, paciência, por estar sempre ao meu lado mesmos nas horas mais difíceis, e me dar forças para concluir mais esta etapa tão importante em minha vida;

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



## RESUMO

O objetivo da presente pesquisa foi analisar operações de extração de madeira e determinar economicamente a densidade ótima de estradas florestais em desbastes e corte raso para povoamentos de *Pinus* manejados para uso múltiplo, subsidiando o planejamento das operações com vistas à sustentabilidade florestal. A pesquisa foi realizada em áreas de colheita de *Pinus taeda* L., pertencentes à empresa Florestal Gateados Ltda, em Campo Belo do Sul, SC. O estudo foi dividido em duas etapas. Na primeira, foi realizada uma análise técnica, de custos e modelagem da produtividade das atividades de extração de madeira em diferentes situações e máquinas: (a) primeiro desbaste em sistema de toras curtas (CTL) com *forwarder*; (b) terceiro desbaste em sistema CTL com *forwarder*; (c) corte raso em sistema CTL com *forwarder*; e (d) corte raso em sistema de árvores inteiras (FT) com *skidder*. A análise técnica foi realizada por meio de um estudo de tempos e movimentos, com um erro amostral menor que 10%, sendo avaliados os elementos do ciclo operacional e determinada a produtividade nominal (Pn) e efetiva (Pe). A análise de custos foi realizada através da determinação dos custos operacionais e de produção pelo método contábil. As operações foram avaliadas em diferentes condições de declividade, sentido de operação, distância de extração, presença de afloramento rochoso e classe de volume por tora, os quais também foram considerados como variáveis independentes com intuito de se ajustar modelos matemáticos por regressão múltipla para a estimativa da produtividade, utilizando o procedimento *Stepwise*. Os principais resultados foram: para o primeiro desbaste a Pn foi de 10,90 m<sup>3</sup>/h e custo operacional total (COT) de 181,12 R\$/he. Para o terceiro desbaste a Pn foi de 16,45 m<sup>3</sup>/h e COT de 185,58 R\$/he. Em corte raso, para *forwarder* se obteve uma Pn de 29,05 m<sup>3</sup>/h e COT de 244,58 R\$/he, enquanto que para o *skidder* se obteve uma Pn de 128,60 m<sup>3</sup>/h e COT de 218,31 R\$/he. Para a modelagem da produtividade das máquinas, a distância e o volume por tora foram usadas como variáveis explicativas, estando presentes nas estimativas para o *forwarder*, além do volume por ciclo, em terceiro desbaste, e da declividade em primeiro desbaste e corte raso. Para o *skidder*, as variáveis utilizadas foram a distância e o volume por ciclo. Na etapa dois foi determinada a densidade economicamente ótima (DOE) e aceitável (DAE) para as diferentes situações de colheita. A DOE foi calculada pelo método indireto, sendo esta o produto do somatório dos custos de reconstrução, manutenção, extração e perda de área produtiva. Em primeiro desbaste a densidade de estradas atual (DE) foi de 45,28 m/ha, a DOE de 20,18 m/ha e a DAE de 28,26 m/ha. Em terceiro desbaste a DE foi de 95,08 m/ha, a DOE de 16,60 m/ha e a DAE de 21,68. Em corte





raso a DE foi de 92,02 m/ha, sendo a DOE para o sistema CTL de 15,63 m/ha e DAE de 24,75 m/ha, enquanto que em sistema FT a DOE foi de 22,85 m/ha e DAE de 27,00 m/ha. De forma geral, a densidade de estradas atual foi acima da ótima e da aceitável, devendo ser realizado um replanejamento das operações visando uma malha viária dentro da densidade aceitável, resultando em menores custos e maiores receitas à empresa.

**Palavras-chave:** Operações florestais, análise operacional, infraestrutura florestal, desbaste e corte raso.



## ABSTRACT

The objective of the present research was to analyze timber extraction operations and determining economically optimal density of forest roads in thinnings and clear cut for *Pinus* stands managed for multiple use, subsidizing the operations planning for forest sustainability. The survey was conducted in areas of harvest of *Pinus taeda* L., belonging to Florestal Gateados Ltda, in Campo Belo do Sul, SC. The study was divided into two stages. In the first, a technical analysis, modeling and cost productivity of logging activities in different situations and machines: (a) first thinning in cut to length system (CTL) with *forwarder*; (b) third roughing in CTL system with *forwarder*; (c) clear cut in with *forwarder* CTL system; and (d) clear cut in full tree system (FT) with *skidder*. Technical analysis was performed by means of a time and motion study, with a sampling error of less than 10%, being evaluated the elements of the operating cycle and given nominal productivity (Pn) and effective (Pe). The cost analysis was accomplished through the determination of production and operational costs for the accounting method. The operations were evaluated in different conditions of slope, direction of operation, distance of extraction, presence of rocky outcrop and volume by class tora, which were also regarded as independent variables to fit mathematical models for multiple regression for estimation of productivity, using the Stepwise Procedure. The main results were: for the first trim the Pn was 10,90 m<sup>3</sup>/h and total operating cost (COT) of R\$/he. 181,12 For the third roughing the NP was 16,45 m<sup>3</sup>/h and COT of 185,58 R\$/he. In clear cut, for forwarder if a Pn of 29,05 m<sup>3</sup>/h and COT of 244,58/he R\$, while for the skidder obtained a Pn of 128,60 m<sup>3</sup>/h and COT of 218,31 R\$/he. For the modeling of productivity of machines, the distance and the volume by tora were used as explanatory variables, being present in the estimates for the forwarder, in addition to the volume per cycle, in third, and slope in the first thinning and clear-cutting. For the skidder, the variables used were the distance and volume per cycle. In step two was given the economically optimum density (DOE) and acceptable (DAE) for different situations. The DOE was calculated by the indirect method, which is the product of the sum of the costs of reconstruction, maintenance, extraction and waste of productive area. First trim the current road density (of) was 45,28 m/ha, the DOE of 20,18 m/ha and the DAE of 28,26 m/ha. Third roughing the of was 95,08 m/ha, the DOE of 16,60 m/ha and the DAE of 21,68. In clear-cutting the of was 92,02 w/ha, being the DOE for the CTL system of 15,63 m/ha and DAE of 24,75 m/ha, while in the FT system DOE was 22,85 m/ha and 27,00 m DAE/ha. In General, the density of current roads was above the good and acceptable and should be carried out a redesign of operations



targeting a road network within the acceptable density, resulting in lower costs and increased revenue to the company.

**Keywords:** forest operations, operational analysis, forest infrastructure, thinning and clear-cutting.



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Densidade ótima de estradas em função do custo de extração, construção e manutenção de estradas e perda de área produtiva. ....	36
Figura 2 - Localização da empresa Florestal Gateados Ltda. ....	40
Figura 3 - Distribuição percentual do ciclo operacional nominal das máquinas em operações de (a) Primeiro Desbaste; (b) Terceiro Desbaste; (c) Corte Raso em Sistema de toras curtas; (d) Corte Raso em Sistema de árvores inteiras. ....	57
Figura 4 - Distribuição percentual do ciclo operacional efetivo das máquinas em operações de (a) Primeiro Desbaste; (b) Terceiro Desbaste; (c) Corte Raso em Sistema de toras curtas; (d) Corte Raso em Sistema de árvores inteiras. ....	59
Figura 5 - Distribuição percentual dos custos das máquinas em operações de (a) Primeiro Desbaste; (b) Terceiro Desbaste; (c) Corte Raso em Sistema de toras curtas; (d) Corte Raso em Sistema de árvores inteiras. ....	64
Figura 6 - Custos de produção das operações de primeiro e terceiro desbaste e corte raso em sistema de toras curtas (CTL) e árvores inteiras (FT) em função das classes de distância. ....	65
Figura 7 - Custos de produção das operações de primeiro e terceiro desbaste e corte raso em sistema de toras curtas (CTL) e árvores inteiras (FT) em função das classes de declividade. ....	66
Figura 8 - Custos de produção das operações de primeiro e terceiro desbaste e corte raso em sistema de toras curtas (CTL) e árvores inteiras (FT) em função das classes de volume por tora. ....	67
Figura 9 - Variação da produtividade e do custo de produção em função da distância de extração para as operações de (a) Primeiro Desbaste; (b) Terceiro Desbaste; (c) Corte Raso em Sistema de toras curtas; (d) Corte Raso em Sistema de árvores inteiras, considerando a eficiência operacional de 75%, volume por tora, volume por ciclo e a declividade os valores médios de cada operação. ....	72
Figura 10 - Variação da produtividade e do custo de produção em função da declividade para as operações de (a) Primeiro Desbaste e (c) Corte Raso em Sistema de toras curtas, considerando a eficiência operacional de 75%, e o volume por tora e distância de extração os valores médios de cada operação. ....	73
Figura 11 - Variação da produtividade e do custo de produção em função do volume por tora para as operações de (a) Primeiro Desbaste, (b) Terceiro Desbaste e (c) Corte Raso em Sistema de toras curtas, considerando a eficiência operacional de 75%, declividade e distância de extração os valores médios de cada operação. ....	73
Figura 12 - Variação da produtividade e do custo de produção em função do volume por ciclo para a operação de (b) Terceiro desbaste e (d) Corte Raso em Sistema de árvores	

inteiras, considerando a eficiência operacional de 75% e distância de extração o valor médio da operação.....74

Figura 13 - Relação entre a densidade de estradas e os custos de reconstrução e manutenção de estradas, custos de extração e perda de área produtiva para o primeiro desbaste.87

Figura 14 - Relação entre a densidade de estradas e os custos de reconstrução e manutenção de estradas, custos de extração e perda de área produtiva para o terceiro desbaste. 87

Figura 15 - Relação entre a densidade de estradas e os custos de reconstrução e manutenção de estradas, custos de extração e perda de área produtiva para o corte raso em sistema de toras curtas. ....88

Figura 16 - Relação entre a densidade de estradas e os custos de reconstrução e manutenção de estradas, custos de extração e perda de área produtiva para o corte raso em sistema de árvores inteiras.....89

Figura 17 - Relação entre a densidade de estradas atual e a densidade ótima de estradas para operações de primeiro e terceiro desbaste e corte raso em sistema de toras curtas e árvores inteiras.....89



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação das estradas florestais.....	33
Tabela 2 - Características operacionais e do povoamento das áreas de estudo.....	42
Tabela 3 – Características dos sortimentos produzidos nas diferentes situações operacionais.	43
Tabela 4 - Principais especificações técnicas das máquinas. ....	45
Tabela 5 - Descrição dos elementos do ciclo operacional das máquinas. ....	46
Tabela 6 – Classes das variáveis influentes avaliadas. ....	49
Tabela 8 - Resultados obtidos por meio do teste de médias da produtividade em função da classe de distância, classe de volume por tora, classe de declividade e sentido, para as operações de primeiro e terceiro desbaste, e corte raso em sistema de toras curtas e árvores inteiras. ....	61
Tabela 9 - Custos fixos, variáveis e administrativos das operações de primeiro e terceiro desbaste e corte raso em sistema de toras curtas (CTL) e árvores inteiras (FT). ....	63
Tabela 10 - Estatística descritiva para as variáveis declividade, distância, volume por tora, volume por ciclo, produtividade nominal e produtividade efetiva para as operações Primeiro desbaste, Terceiro desbaste, Corte raso em sistema de toras curtas e Corte raso em sistema de árvores inteiras. ....	68
Tabela 11 - Matriz de coeficientes de correlação linear de Pearson (r) entre os fatores influentes e a produtividade para as operações de primeiro e terceiro desbaste e corte raso em sistema de toras curtas (CTL) e árvores inteiras (FT). ....	69
Tabela 12 - Equações ajustadas para a estimativa da produtividade da atividade de extração para as operações de primeiro e terceiro desbaste e corte raso em sistema de toras curtas (CTL) e árvores inteiras (FT). ....	71
Tabela 13 - Custos de produção de reconstrução e manutenção de estradas, de extração e de perda de área produtiva para os valores atuais, ótimos e aceitáveis de densidade de estradas, distância média de extração e espaçamento entre estradas em primeiro e terceiro desbaste e corte raso em sistema de toras curtas e árvores inteiras. ....	84



## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>23</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>25</b>
2.1	OBJETIVOS GERAIS .....	25
<b>3</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>27</b>
3.1	SETOR FLORESTAL NO BRASIL.....	27
3.2	COLHEITA FLORESTAL .....	27
3.2.1	Conceito.....	27
3.2.2	Extração .....	28
3.2.3	Sistemas de colheita.....	28
3.3	ANÁLISE OPERACIONAL .....	30
3.4	VARIÁVEIS INFLUENTES EM OPERAÇÕES DE EXTRAÇÃO FLORESTAL ....	31
3.5	ESTRADAS E REDE VIÁRIA FLORESTAL .....	32
3.5.1	Conceitos .....	32
3.5.2	Classificação das estradas florestais .....	32
3.5.3	Planejamento da rede viária florestal.....	33
3.5.4	Densidade de estradas florestais .....	35
<b>4.</b>	<b>CAPÍTULO I – ANÁLISE OPERACIONAL, DE CUSTOS E MODELAGEM DA PRODUTIVIDADE DE OPERAÇÕES DE EXTRAÇÃO FLORESTAL EM POVOAMENTOS DE <i>Pinus taeda</i> L. EM REGIME DE DESBASTES E CORTE RASO</b>	<b>39</b>
4.1	INTRODUÇÃO.....	39
4.2	MATERIAL E MÉTODOS .....	40
4.2.1	Características das áreas de estudo .....	40
4.2.2	Características operacionais das áreas de estudo.....	41
4.2.3	Caracterização das operações de colheita .....	42
4.2.4	Procedimento amostral .....	46
4.2.5	Análise técnica .....	47
4.2.5	Análise de custos .....	49
4.2.6	Análises estatísticas.....	54
4.2.7	Aplicação das equações .....	56
4.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	56
4.3.1	Análise técnica .....	56
4.3.2	Análise de custos .....	62
4.3.3	Modelagem da produtividade.....	68
4.4	CONCLUSÕES .....	75
<b>5.</b>	<b>CAPÍTULO II – DENSIDADE ECONOMICAMENTE ÓTIMA E ACEITÁVEL DE ESTRADAS FLORESTAIS EM DESBASTES E CORTE RASO DE <i>Pinus taeda</i> L. ....</b>	<b>77</b>
5.1	INTRODUÇÃO.....	77
5.2	MATERIAL E MÉTODOS .....	78



<b>5.2.1</b>	<b>Localização das áreas de estudo .....</b>	<b>78</b>
<b>5.2.2</b>	<b>Características operacionais das áreas de estudo.....</b>	<b>78</b>
<b>5.2.3</b>	<b>Características técnicas e operacionais das estradas florestais .....</b>	<b>78</b>
<b>5.2.4</b>	<b>Determinação da densidade ótima de estradas florestais .....</b>	<b>79</b>
<b>5.2.5</b>	<b>Custos com reconstrução .....</b>	<b>79</b>
<b>5.2.6</b>	<b>Custos com manutenção.....</b>	<b>81</b>
<b>5.2.7</b>	<b>Custo de perda de área produtiva.....</b>	<b>82</b>
<b>5.2.8</b>	<b>Custo de extração .....</b>	<b>83</b>
<b>5.2.9</b>	<b>Densidade ótima de estradas .....</b>	<b>83</b>
<b>5.2.10</b>	<b>Densidade aceitável de estradas .....</b>	<b>83</b>
<b>5.3</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>84</b>
<b>5.3</b>	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>90</b>
<b>6</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>91</b>
<b>7</b>	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>93</b>
<b>8</b>	<b>ANEXOS .....</b>	<b>Erro! Indicador não definido.</b>



## 1 INTRODUÇÃO

A evolução da mecanização das operações de colheita de madeira de florestas plantadas vem destacando o Brasil como um grande consumidor dentro dos principais mercados de máquinas especializadas no corte, extração e carregamento de madeira (ROBERT, 2013).

Em virtude da maior produtividade das máquinas, os veículos de transporte de madeira também precisaram evoluir para que a logística se desse de forma mais eficiente. Com o maior volume transportado pelos veículos, a rede viária também necessitou se readequar, visando melhorar a eficiência de todo o processo produtivo.

Nesse contexto, o investimento em estradas florestais deve ser alto, pois há necessidade de fornecer acesso à colheita e transporte, além da administração das áreas florestais (NAJAFI e RICHARDS, 2013), bem como acesso para atividades de proteção contra incêndios, silvicultura ou a utilização recreativa. Porém, a principal finalidade econômica das estradas é o atendimento das demandas das operações de extração e transporte da madeira.

Em vistas à necessidade de alto investimento em rede viária, a determinação da densidade ótima de estradas (DOE) se torna importante para a definição da quantidade de estradas buscando-se um custo total mínimo entre os custos de construção e manutenção de estradas, extração e perda de área produtiva. Entretanto, também deve ser levado em consideração fatores operacionais tais como o regime de manejo, a declividade do terreno, o sistema de colheita e método de extração.

O regime de manejo em que a área de produção será submetida influencia no investimento em estradas. Em desbastes, em geral, os custos com manutenção das estradas são maiores devido haver maior dificuldade de secagem das estradas em condições climáticas adversas. Já em corte raso, mesmo que o volume transportado seja maior, os custos com manutenção tendem a ser menores, devido a facilidade de secagem das estradas com auxílio de faixa de insolação.

A declividade do terreno influencia na densidade de estradas, pois em áreas de maior declividade as máquinas tendem a ter maior dificuldade de deslocamento, diminuindo sua produtividade. Nesses locais a densidade de estradas deve ser maior para permitir que a operação seja mais segura e eficiente.

Quanto à relação da densidade de estradas e sistema de colheita da madeira, em geral, em condições que topografia não seja limitante, se espera que a densidade ótima de estradas

seja menor para situações com uso de sistema de toras curtas do que para sistemas de árvores inteiras. Isso se deve ao fato de que em sistemas de toras curtas, geralmente são empregadas máquinas que realizam a extração da madeira por baldeio, assim, neste método de extração a maior parte do tempo do ciclo operacional das máquinas é despendido com atividades de carregamento e descarregamento da madeira, havendo, dessa forma, menor influência da distância de extração na produtividade e, conseqüentemente, a densidade de estrada ótima tende a ser menor. Já em sistemas de colheita de árvores, geralmente são empregadas máquinas que realizam a extração por arraste, as quais tendem a despende maior parte do ciclo operacional com atividades de deslocamento e, dessa forma, sua produtividade é mais fortemente influenciada pela distância de extração, tornando a operação mais dependente de uma maior densidade de estradas.

Portanto, a gestão da rede viária em operações florestais se torna uma tarefa complexa, por envolver diversos aspectos, incluindo o contexto socioeconômico em que as estradas estão localizadas (PELEGRINI et al., 2013). Por isso, melhorar a infraestrutura tem sido um tema de interesse entre os especialistas, buscando fornecer abordagens sólidas para melhorar a acessibilidade da floresta no contexto de manejo florestal sustentável (ENACHE et al., 2013).

Diante disso, apesar das estradas serem indispensáveis para o planejamento, há poucos estudos sobre a quantidade ideal da malha viária nos empreendimentos e sua relação com as operações de extração florestal. Assim, informações referentes a esse tema possibilitarão nortear o planejamento de operações florestais, subsidiando a tomada de decisão, visando à redução de custos, minimização de desperdícios e impactos ambientais, em busca da sustentabilidade florestal.

Visando alçar tais proposições, o presente trabalho foi dividido em dois capítulos: sendo o primeiro referente à análise técnica, de custos e modelagem da produtividade da extração de *Pinus taeda* L. em diferentes situações de colheita em desbastes e corte raso e o segundo relacionado à densidade economicamente ótima de estradas em situações de colheita em desbastes e corte raso de *Pinus taeda* L..



## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVOS GERAIS**

O objetivo desta pesquisa foi realizar uma análise técnica e de custos das operações de extração florestal e determinar a densidade ótima de estradas em povoamentos de *Pinus taeda* L. submetidos a desbastes e corte raso.



### 3 REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1 SETOR FLORESTAL NO BRASIL

O setor de florestas plantadas no Brasil vem passando por uma significativa expansão desde a última década, havendo atualmente cerca de 7,8 milhões de hectares de florestas plantadas, o que corresponde em torno de 1% do território nacional, sendo compostos principalmente dos gêneros *Eucalyptus* e *Pinus*. Em 2015, a indústria de base florestal empregou, considerando trabalhos diretos e indiretos, aproximadamente 3,8 milhões de pessoas, arrecadou R\$ 10,0 bilhões de impostos e exportou R\$ 9,0 bilhões (Indústria Brasileira de Árvores - IBÁ, 2016).

Apesar de mundialmente ser incontestável a liderança tecnológica do setor brasileiro de árvores plantadas, nos últimos anos tornou-se caro produzir madeira no País. Em 2015, a inflação do setor de árvores plantadas – medida pelo Índice Nacional de Custos da Atividade Florestal (INCAF-Pöyry) –, foi de 12,8%, enquanto a inflação nacional medida pelo Índice Nacional de Preços ao Consumidor (IPCA) ficou em 10,7%. A tendência de aumentos superiores à inflação já foi apontada em anos anteriores e permanece sendo um desafio para a manutenção da competitividade do setor florestal brasileiro em nível internacional (IBÁ, 2016).

#### 3.2 COLHEITA FLORESTAL

##### 3.2.1 Conceito

A colheita florestal pode ser definida como um conjunto de operações efetuadas no maciço florestal, que visa preparar e levar a madeira até o local de transporte, fazendo-se o uso de técnicas e padrões estabelecidos, com a finalidade de transformá-la em produto final. Conceitualmente, a colheita de madeira é composta pelas atividades de corte, descascamento, extração e carregamento. (MACHADO et al., 2014).

### 3.2.2 Extração

A operação de extração refere-se à movimentação da madeira desde o local de corte até a estrada, o carreador ou o pátio intermediário (BERTIN, 2010; MACHADO et al., 2014). Bertin (2010) cita que a extração corresponde ao processo de retirada da madeira da área de corte e posterior colocação em locais de armazenagem provisória, como margens da estrada ou carreadores com acesso aos veículos de transporte.

Existem vários sinônimos para esta operação, muitas vezes dependendo do modo como ela é realizada ou do tipo de equipamento utilizado, podendo ser citados os mais comuns, como baldeio, arraste, encoste e transporte primário (SEIXAS e CASTRO, 2014). A extração no Brasil, quando mecanizada, é comumente realizada pelo *forwarder* ou pelo *skidder* (ROBERT, 2013).

O baldeio geralmente é realizado pelo *forwarder* que, segundo Seixas (2007), o caracteriza como um trator florestal autocarregável articulado responsável pela retirada da madeira do interior do talhão de modo que a madeira tenha o mínimo ou nenhum contato com o solo. A operação de arraste implica na carga estar apoiada em parte ou o todo sobre o solo, podendo ser feita por guinchos ou trator arrastador *skidder* (SEIXAS e CASTRO, 2014).

A extração de madeira é um dos pontos críticos da colheita florestal e exige planejamento detalhado da operação, de maneira a empregar os equipamentos próprios dentro do sistema mais indicado de trabalho (SEIXAS e CASTRO, 2014).

A identificação das variáveis que influenciam a produtividade das máquinas pode ser realizada por estudos específicos que possibilitem estimar a produtividade, a qual resultará em subsídios para avaliação mais precisa do processo de produção. Portanto, para se intervir no sistema e adotar estratégias de racionalização, é necessário que se conheça, detalhadamente, todo o processo, pois só assim será possível atuar nos pontos deficientes (MINETTE, 2008).

### 3.2.3 Sistemas de colheita

O sistema de colheita florestal é definido como um conjunto de atividades, integradas entre si, que permitem o fluxo constante de madeira, evitando-se pontos de estrangulamento, levando os equipamentos à sua máxima utilização (MACHADO et al., 2014). Os sistemas de colheita podem variar de acordo com vários fatores, dentre eles topografia do terreno, rendimento volumétrico do povoamento, tipo de floresta, uso final da madeira, máquinas, equipamentos e recursos disponíveis (MALINOVSKI et al., 2014).

De acordo com a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO), os sistemas de colheita podem ser classificados quanto ao local onde é realizado o processamento final, ao grau de mecanização e, quanto à forma da madeira na fase de extração. No Brasil, os sistemas de colheita são classificados quanto à forma da madeira na fase de extração, apresentando as seguintes características (MACHADO et al., 2014; MALINOVSKI et al., 2014):

a) Sistema de toras curtas (*cut to length - CTL*)

Este sistema é caracterizado pelo corte, derrubada e processamento (corte das árvores em toras com base em medidas previamente determinadas) dentro do talhão, sendo o processamento composto pelo desgalhamento e descascamento (quando houver a necessidade). O comprimento em que a madeira é cortada depende de sua finalidade na indústria, da capacidade e dimensão das máquinas de baldeio e ainda dos veículos (caminhões) de transporte. Após estas atividades, a madeira é transportada para a margem da estrada ou pátio temporário. Este sistema, quando mecanizado, é composto basicamente por duas máquinas: *harvester* e *forwarder*, em que a primeira realiza o corte e processamento das árvores e a segunda realiza a extração da madeira na forma de baldeio para a margem do talhão ou pátio intermediário (MALINOVSKI et al., 2014).

Entre as vantagens deste sistema, quando mecanizado, estão a facilidade de deslocamento a grandes distâncias, a baixa agressão ao meio ambiente, principalmente em relação aos solos, e a possibilidade de utilização em desbastes. Pode-se citar, como desvantagem, o fato de tendências futuras de aproveitamento de galhos, folhas e tocos para energia, polpa e papel, que, ao invés de ficarem concentrados para posterior carregamento, ficariam dispersos, espalhados homogeneamente pelo talhão (MALINOVSKI e MALINOVSKI, 1998 apud MALINOVSKI, 1999).

b) Sistema de árvores inteiras (*full tree - FT*)

Neste sistema, a árvore é apenas derrubada no interior do talhão, sendo em seguida, extraída para a margem do talhão, carreador ou pátio intermediário, onde é realizado o processamento completo da madeira (desgalhamento, destopamento, traçamento e empilhamento). O sistema, quando mecanizado, geralmente é composto pelas máquinas: *feller*, ou *feller buncher*, *skidder* e processador florestal (*harvester*), a primeira realiza a

derrubada das árvores, a segunda a extração das árvores na forma de arraste e a última o processamento final da madeira (OLIVEIRA, 2013).

As principais vantagens deste sistema são a possibilidade de deixar a área livre de resíduos, diminuindo os riscos de incêndios, facilitando o preparo do solo; a facilidade de execução em condições topográficas desfavoráveis; e a maior produtividade em comparação aos sistemas anteriormente citados (MACHADO, 1989). Se houver interesse do uso de biomassa produzida pelas árvores para geração de energia, este sistema é altamente indicado uma vez que todo resíduo (folhas, galhos e cascas) ficará disposto na lateral da estrada, facilitando o processo de produção de biomassa ou ainda quando há necessidade de classificação das toras (CASTRO, 2011).

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

### 3.3 ANÁLISE OPERACIONAL

A seleção de máquinas e equipamentos, o desenvolvimento e a análise operacional de sistemas de colheita de madeira constituem um grande desafio para o aumento de produtividade, redução dos custos e execução das operações de forma ambientalmente correta, além de permitir identificar problemas e fornecer soluções em qualquer etapa do processo de produção, visando à racionalização e otimização dos recursos utilizados (LOPES et al., 2008; OLIVEIRA, 2013).

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

Uma das ferramentas utilizadas na análise operacional é o estudo de tempos e movimentos, pois permite a comparação de diferentes métodos ou equipamentos e o ajuste de equações para estimar o rendimento das máquinas (STÖHR, 1981, MALINOVSKI, 1983 apud ZAGONEL, 2005).

O estudo de tempos e movimentos é uma técnica muito importante na seleção, análise e desenvolvimento de sistemas de colheita de madeira, permitindo ao gestor da operação conhecer as produtividades, eficiências reais das diferentes máquinas, bem como os fatores que estão contribuindo para as interrupções do trabalho (ANDRADE, 1998 apud OLIVEIRA, 2013).

### 3.4 VARIÁVEIS INFLUENTES EM OPERAÇÕES DE EXTRAÇÃO FLORESTAL

A capacidade produtiva das máquinas é fortemente influenciada por um grande número de fatores que influenciam a colheita de madeira dentre os quais se cita: condições climáticas, capacidade de suporte do solo, relevo, características do povoamento (espécie, idade, diâmetro, volume individual, tamanho dos galhos e copa, peso e qualidade da madeira) (SEIXAS (1998) apud OLIVEIRA (2013). Burla (2008) cita ainda outros fatores como a habilidade do operador, o espaçamento de plantio e a distância de extração.

Ramos et al (2016) em análise técnica de um sistema de colheita mecanizada de toras curtas em desbaste na região do norte pioneiro do Paraná, citaram que a produtividade do *forwarder* foi baixa em função do baixo volume médio individual do povoamento. Oliveira et al (2009) em avaliação técnica e econômica do *forwarder* na extração de toras de pinus, avaliaram que a extração de mais de um tipo de sortimento no compartimento de carga deve ser considerada, possibilitando maior eficiência nas operações. Já Diniz e Lopes (2014) avaliando a extração de madeira de pinus de diferentes sortimentos com o *forwarder* citaram que a extração de somente um tipo de sortimento no compartimento de carga apresenta maiores produtividades. Leite et al (2014) realizaram a modelagem do desempenho da extração de madeira pelo *forwarder* e comentaram que a máquina apresentou maior capacidade de extração de madeira operando no deslocamento carregado em declive, proporcionando menor custo de produção.

Freitas (2005) observou que os fatores que mais afetaram a produtividade do *skidder* foram o volume de madeira por hectare e a distância de arraste, sendo que as maiores produtividades e os menores custos ocorreram nas menores distâncias de extração. Já Birro (2002) verificou que a produtividade foi mais afetada pela distância de arraste do que pela declividade, além de constatar que a velocidade de deslocamento da máquina não foi afetada pelo aumento da declividade. Outros fatores que também influenciam a produtividade das máquinas são: altura de tocos, pedregosidade, experiência do operador, e o turno de trabalho.

A utilização de sistemas mecanizados na colheita de madeira é afetada por diversas variáveis que interferem na capacidade operacional das máquinas, e consequentemente, no custo final da madeira. No Brasil, ainda existem poucos estudos sobre a influência dessas variáveis e da capacidade produtiva esperada das máquinas em determinadas condições de trabalho (OLIVEIRA, 2013), principalmente em relação à distância de extração, que está diretamente relacionada com a quantidade de estradas existentes em uma área.

### 3.5 ESTRADAS E REDE VIÁRIA FLORESTAL

#### 3.5.1 Conceitos

A estrada rural e florestal é o meio de ligação entre as áreas rurais e urbanas, comumente denominadas de estradas de terra. Servem para escoar produtos agrícolas e florestais, além de proporcionar aos moradores do campo acesso aos serviços de educação, saúde e lazer disponíveis nas cidades (MACHADO, 2013).

A rede viária florestal também pode ser definida como sendo a interação das estradas primárias, secundárias, trilhas e ramais, que permitam efetuar a colheita de madeira sem causar riscos à manutenção da produção e garantindo o abastecimento necessário à empresa (MALINOVSKI, 1991 apud PEREIRA NETO, 1995).

#### 3.5.2 Classificação das estradas florestais

As estradas podem ser classificadas de diversas formas, quais sejam: sua importância, seu modo de construção, o material nelas empregado etc. Assim, pode-se classificá-las sob o ponto de vista político-econômico; quanto ao fim a que se destinam; quanto à natureza da superestrutura; e quanto às condições técnicas. Esta classificação foi proposta por Machado (1989) em sua tese de doutorado, porém é pouco utilizada.

Baesso e Gonçalves (2003) classificam as estradas quanto à sua administração, à classificação funcional, às suas características físicas e quanto a seu padrão técnico. Já Machado (2013) cita que as estradas podem ser classificadas quanto: à sua posição geográfica, quanto à sua função, quanto à sua jurisdição e quanto às suas condições técnicas.

No Brasil há poucas empresas que possuem um sistema de classificação de estradas florestais com seus respectivos padrões (MACHADO e MALINOVSKI, 1986;



MALINOVSKI e PERDOCINI, 1990), e as que possuem, dificilmente divulgam. Por isso, sugere-se a classificação das estradas em primárias, secundárias e terciárias (tabela 1).

Tabela 1 - Classificação das estradas florestais.

<b>Classificação das estradas florestais</b>	<b>Largura</b>	<b>Revestimento</b>	<b>Uso</b>	<b>Características</b>
Estrada Primária	7 a 8 metros	Sim	Permanente	Possuem alto investimento; ligam as áreas de produção aos centros consumidores; melhor qualidade;
Estrada Secundária	5 a 6 metros	Sim	Intermitente	São menos utilizadas que as primárias, porém devem permitir o acesso em qualquer época do ano; fornecem acesso às áreas de corte; de qualidade inferior à primária;
Estrada Terciária	3 a 4 metros	Parcialmente	Sazonal	São estradas dentro das áreas de corte; utilizadas para diminuir as distâncias de extração; menor qualidade.

Fonte: Elaborada pela autora, 2016.

As primárias possuem a função de ligar as áreas de produção aos centros consumidores, possuem um alto investimento e melhor qualidade de pavimento. As estradas secundárias são menos utilizadas que as primárias, porém devem permitir o acesso em qualquer época do ano, fornecem acesso às áreas de corte e possuem qualidade inferior à primária. Já as terciárias são localizadas dentro das áreas de corte, utilizadas para diminuir as distâncias de extração.

### 3.5.3 Planejamento da rede viária florestal

A rede viária tem forte relação com as operações de colheita, de maneira que os aspectos operacionais das estradas como extensão, traçado e parâmetros técnicos influenciam no planejamento de ambas as operações (MALINOVSKI et al., 2014).

Durante o planejamento da rede viária, torna-se de suma importância a observação de parâmetros técnicos e ecológicos, pois a não observação destes, poderá vir a ocasionar danos à vegetação, erosão e a alteração da produtividade, além de influenciar negativamente na economia da atividade. Além de que, a construção das estradas florestais objetiva alcançar o

custo mínimo de transporte, combinando adequadamente a construção e manutenção das mesmas (DAVID, 1983 apud ROCHA et al., 2007).

O planejamento da rede viária deve ser realizado buscando fornecer o acesso às áreas de produção, permitindo o escoamento da madeira de forma eficiente, a otimização dos processos, minimização de custos e atendimento às demandas operacionais, contemplando também as questões sociais e ambientais das áreas. A falta de planejamento e a construção exagerada de estradas pode ocasionar em um investimento excessivo em estradas e perda de área produtiva.

Outro fator a ser considerado no planejamento das estradas florestais é o regime de manejo que será implantado. O problema do acesso a uma floresta por meio de uma rede de infraestrutura de tráfego florestal secundário é particularmente importante para o desbaste, e para aqueles povoamentos mais velhos, onde a colheita seletiva é realizada (STERENCZAK E MOSKALIK, 2014). Os custos devem ser amortizados com a madeira extraída da área florestal servidas por elas, todavia como é quase imensurável o outro uso das estradas florestais, torna-se importante verificar a possibilidade de colocar as estradas com investimento na empresa (MACHADO, 1985).

A densidade ótima de estradas (DOE) é parte do planejamento, pois a relação metros de estrada e hectares de floresta depende de considerações econômicas e a vantagem de uma rede menos densa é avaliada comparando o aumento nos custos da colheita com as economias obtidas na construção e manutenção das estradas (AUBÖCK, 1985 apud ZAGONEL, 2005).

A DOE é um indicador importante para o planejamento da extração, por meio dela é possível definir o dimensionamento da rede viária tornando-a otimizada. A definição do sistema de extração, de acordo com as condições do terreno e estrutura da floresta pode melhorar a eficiência das operações e otimização das áreas de plantio, trazendo benefícios econômicos, tecnológicos, ambientais e de logística (ZAGONEL, 2005; SOUZA, 2011; CARMO et al., 2013).

As áreas florestais, em sua grande maioria, possuem densidades de estradas muito acima do ótimo recomendado, mostrando a falta de conhecimentos e critérios no planejamento e aproveitamento dos plantios. O investimento em cada classe de estradas deve ser considerado diferentemente, carecendo de maior ou menor investimento (CARMO et al., 2013).

### 3.5.4 Densidade de estradas florestais

A densidade de estradas é expressa pela relação existente entre o comprimento das estradas e a área. Possui importância fundamental para caracterizar a intensidade da construção de estradas, indicando a viabilidade da rede que está sendo planejada (MACHADO, 2013).

A densidade de estradas pode ser facilmente estimada pela medição de estradas sobre um mapa e a área de plantios florestais que elas atendem. A densidade, geralmente, expressa em m/ha, pode variar de acordo com a intensidade da atividade florestal, com as condições do terreno e do sistema de colheita adotado (PEREIRA, 2010 apud CARMO et al., 2013).

A estimativa da densidade ótima de estradas (DOE) trata da quantidade ideal de estradas por efetivo plantio, e sua estimativa deve ocorrer por ocasião do macroplanejamento, uma vez que envolve os custos da colheita florestal bem como da construção e manutenção de estradas (MACHADO, 2013).

#### 3.5.4.1 Densidade ótima de estradas florestais

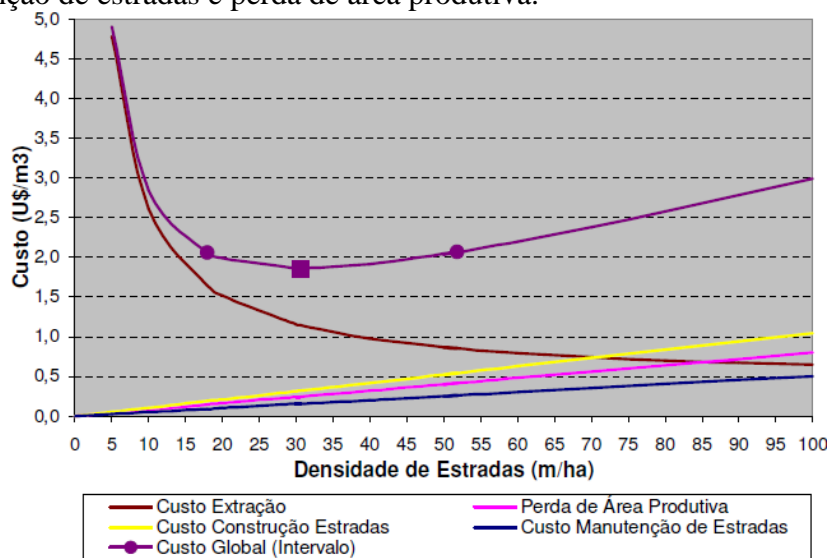
A densidade ótima de estradas florestais (DOE) pode ser definida como uma técnica quantitativa que estabelece a extensão de estradas florestais para uma determinada área, otimizando a relação estrada/colheita florestal, em termos técnicos e econômicos. Ela é parte do planejamento, pois a relação extensão de estrada *versus* hectares de floresta depende de considerações econômicas, e a vantagem de uma rede menos densa é avaliada comparando o aumento nos custos da colheita de madeira com as economias obtidas na construção e manutenção das estradas (MACHADO, 2013).

Existem várias maneiras de se estimar a densidade ótima de estradas florestais, entre elas o método direto, que determina a distância média de extração, o espaçamento e a densidade ótima de estradas, considerando coeficientes e fórmulas específicas; já o método indireto estabelece a densidade ótima de estradas florestais por meio de tentativas numéricas plotadas em um gráfico (MACHADO e MALINOVSKI, 1986).

De acordo com Ryan et al. (2004), para qualquer local há uma densidade ótima de estradas que minimiza o custo de construção, manutenção e extração de madeira. Ao calcular a densidade ótima, é necessário ter estimativas confiáveis de volume de madeira a ser colhido, custo de construção, manutenção de estradas e o método e custo de extração da madeira.

A figura 2 demonstra a variação dos custos de construção e manutenção de estradas, custos de extração e perda de área produtiva em função do aumento da densidade de estradas, além de mostrar a densidade ótima de estradas para a situação, considerando o custo total mínimo.

Figura 1 - Densidade ótima de estradas em função do custo de extração, construção e manutenção de estradas e perda de área produtiva.



Fonte: ZAGONEL, R. **Análise da sensibilidade ótima de estradas de uso florestal em relevo plano de áreas com produção de *Pinus taeda***. 2005. 108 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

A densidade de estradas pode variar de acordo com a intensidade da atividade florestal, com as condições do terreno e com o sistema de colheita de madeira adotado (LOPES et al., 2002). A densidade de estradas tende a ser maior na medida em que a declividade do terreno aumenta (PEREIRA, 2010 apud CARMO et al., 2013), tendo grande importância para caracterizar a intensidade da construção de estradas e indicando a viabilidade da malha viária planejada (LOPES et al., 2002).

Zagonel (2005) analisando a densidade ótima de estradas florestais para povoamentos de pinus com idade média de 22 anos na região de Otacílio Costa, SC, em regime de corte raso e utilizando o *skidder* para a extração, encontrou uma densidade de 27 m/ha e distância média de extração de 100 metros. Já Souza (2011) realizando o mesmo estudo para povoamentos de teca, com idade média de nove anos, na região do Mato Grosso, utilizando um trator acoplado com uma garra para a extração das árvores submetidas ao terceiro desbaste, foi de 44 m/ha, e distância média de extração de 75 metros.

De acordo com Ryan et al. (2004), a densidade de estradas está intimamente relacionada com os métodos de colheita e extração utilizadas. Segundo Zagonel et al. (2005),

a atividade de extração de madeira irá determinar o dimensionamento ótimo das estradas florestais, em função, principalmente, das características dos métodos (manual ou mecanizado) a serem utilizados e do relevo dos talhões. À medida que se diminui a distância de extração da madeira, eleva-se a densidade de estradas, resultando em baixos custos de extração. No entanto, os custos com construção e manutenção de estradas serão maiores, em decorrência dessa maior densidade, além de contribuir para a redução da área produtiva e maior possibilidade de degradação ambiental.

A determinação da densidade ótima ou o espaçamento ótimo de estradas fornecerá um valor que indicará um intervalo econômico, pois na prática não se pode esperar um resultado preciso devido às numerosas variações que se encontram em qualquer área florestal (FAO, 1974). De acordo com Machado (1989), a determinação da densidade ótima de estradas (DOE) é uma técnica quantitativa que estabelece o volume de estradas para uma determinada área florestal, otimizando a relação estrada/colheita Florestal, em termos técnicos e econômicos.

A readequação da quantidade de estradas utilizando a DOE deve ser realizada após o corte raso de um povoamento, visto que durante os desbastes há dificuldade na definição de novos traçados devido o povoamento ainda estar em pé. Porém, uma alternativa é a não utilização de algumas estradas, evitando gastos desnecessários.



#### **4. CAPÍTULO I – ANÁLISE OPERACIONAL, DE CUSTOS E MODELAGEM DA PRODUTIVIDADE DE OPERAÇÕES DE EXTRAÇÃO FLORESTAL EM POVOAMENTOS DE *Pinus taeda* L. EM REGIME DE DESBASTES E CORTE RASO**

##### **4.1 INTRODUÇÃO**

A extração de madeira exige um planejamento detalhado das operações, desde a definição do sistema, do método e da máquina a ser utilizada, além das variáveis que influenciam as operações, visando o eficiente planejamento.

Dentre os fatores que influenciam a operação de extração está o volume por árvore, em que árvores de menores dimensões geram um maior custo operacional por unidade de produção; a densidade do talhão, relacionada ao número de árvores colhidas por área e o volume das pilhas de madeira; o tipo de solo, relacionado com a capacidade de sustentação e tração do equipamento; e a topografia, que delimita o equipamento a ser utilizado (SEIXAS, 2008).

Além dos fatores comentados anteriormente, a distância de extração é uma variável que influencia a produtividade das máquinas, pois em maiores distâncias, a máquina tende a produzir menos, necessitando de maior quantidade de estradas. A definição da densidade de estradas em uma área deve ser realizada antes da implantação de um povoamento, permitindo a determinação da quantidade ideal de estradas de acordo com o sistema de extração utilizado.

Ao escolher o tipo de máquina a ser utilizada na extração de madeira, deve-se antever a adequação dos sistemas de colheita a uma possível redução no tamanho das áreas de corte raso ou maior adoção de práticas de desbastes em povoamentos (SEIXAS, 2008), evitando o investimento excessivo em malha viária pensando na característica da máquina e da intervenção, sendo que para cada uma (desbaste ou corte raso) a densidade de estradas é diferente.

O eficiente planejamento e controle das operações de extração são essenciais para a redução dos custos, aumento da qualidade do produto e diminuição dos danos ambientais, visto que o custo de extração possui grande influência na composição dos custos totais de produção (WESTER, 2003; ADEBAYO, 2007; GOYCHUK, 2011 apud SANTOS et al., 2013).

Neste sentido, a análise técnica de sistemas de colheita, realizada por meio de estudos de tempos e movimentos, torna-se essencial para a análise da produtividade, eficiência e otimização dos recursos utilizados, tratando-se ainda de uma ferramenta para a comparação de

diferentes sistemas e equipamentos, servindo de base para a implantação de um programa de qualidade das atividades, visando conseguir melhoria dos processos e redução dos custos.

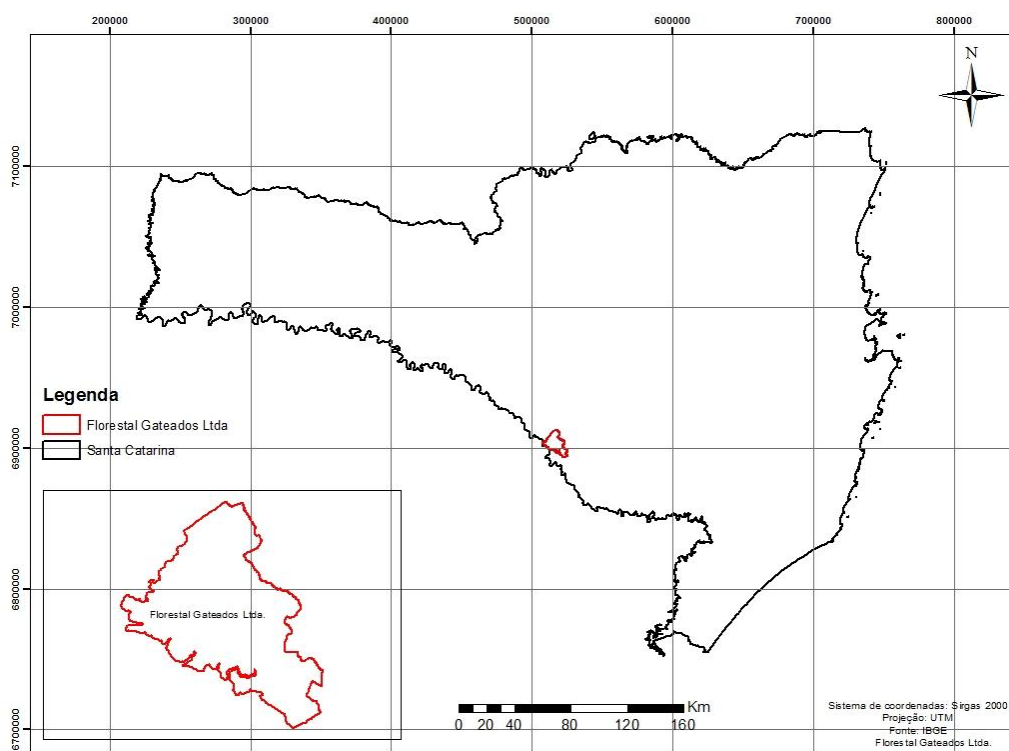
O objetivo deste capítulo foi realizar uma análise técnica, de custos e de modelagem da produtividade de operações de extração de madeira em diferentes regimes de desbastes e corte raso de *Pinus taeda* L.

## 4.2 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.2.1 Características das áreas de estudo

O estudo foi realizado em áreas da empresa Florestal Gateados Ltda., no município de Campo Belo do Sul - SC (figura 3). De acordo com Mantovani (2004), o tipo de relevo predominante no local do levantamento pertence às classes de declividade ondulada a fortemente ondulado, com uma altitude média de 970 m.

Figura 2 - Localização da empresa Florestal Gateados Ltda.



Fonte: Elaborada pela autora, 2016.

O clima da região, segundo a classificação de Köppen para o Brasil, está numa situação de transição entre Cfa (mesotérmico úmido, sem estação seca definida, verões



quentes, com ocorrência rara de geada no inverno) e Cfb (mesotérmico úmido, sem estação seca definida, verões frescos, com ocorrência de geadas severas e frequentes no inverno). A temperatura média anual está em torno de 16,5°C, a temperatura média mínima fica em torno dos 12°C. A precipitação média anual está em torno de 1800 mm (ALVAREZ et al., 2014).

#### 4.2.2 Características operacionais das áreas de estudo

O estudo foi realizado em três áreas com povoamentos de *Pinus taeda* L. em quatro situações operacionais:

- Primeiro desbaste em sistema de colheita de toras curtas (área 1);
- Terceiro desbaste em sistema de colheita de toras curtas (área 2);
- Corte raso em sistema de colheita de toras curtas (área 3);
- Corte raso em sistema de colheita de árvores inteiras (área 3).

As áreas 1 e 2 foram recentemente adquiridas, portanto, o sistema de manejo não é de acordo com o padrão da empresa, que tem como premissas a realização do primeiro desbaste pelo método misto, sendo colhidos em torno de 50% das árvores de forma sistemática na 5ª linha de plantio e seletivamente indivíduos “pelo alto”; e o terceiro desbaste somente de forma seletiva “pelo alto”. Dessa forma, na área de terceiro desbaste procedeu-se com a realização do desbaste de forma mista, retirando a 5ª linha de plantio.

Os operadores que participaram do estudo possuíam diferentes níveis de experiência em operações de máquinas de colheita, porém, esta variável não foi analisada no presente estudo.

As características operacionais e do povoamento das áreas do estudo estão descritas na tabela 2. O relevo, declividade, área média dos talhões e distância média de extração foram calculadas pelo *software* ArcMap.

Tabela 2 - Características operacionais e do povoamento das áreas de estudo.

Característica operacional	Área		
	1	2	3
Situação da operação	Primeiro desbaste	Terceiro desbaste	Corte raso
Relevo	Forte ondulado		
Declividade média (°)	13,35	12,43	15,23
Área média (ha)	2,63	2,63	4,23
Distância média de extração (m)	121,76	111,68	91,59
Característica do povoamento	1	2	3
Idade	11,00	16,00	33,00
Árv. (árv/ha)	2.076,00	731,00	268,00
DAP (cm)	17,80	28,30	43,30
Altura (h)	14,40	23,90	32,00
G (m <sup>2</sup> /ha)	54,40	46,30	40,20
Vol.ind (m <sup>3</sup> )	0,15	0,70	2,12
Vol (m <sup>3</sup> /ha)	259,90	473,70	550,20
Intensidade de desbaste (%)	50,00	35,00	-

Fonte: Elaborada pela autora, 2016.

Os anexos 01, 02 e 03 representam os mapas de microplanejamento das áreas, onde se pode observar o sentido de extração da madeira e a distância de extração por talhão.

#### 4.2.3 Caracterização das operações de colheita

O método utilizado no primeiro desbaste era o misto, sendo colhidos 50% das árvores do povoamento de forma sistemática na 5ª linha de plantio e seletivamente indivíduos “pelo alto”. O sistema de colheita utilizado era o de toras curtas. O *harvester* realizava a derrubada, desgalhamento e processamento das árvores em diferentes sortimentos (tabela 3), e posteriormente o *forwarder* (tabela 4) realizava o baldeio das toras do interior do talhão para a margem da estrada, deixando-as nos estaleiros para posterior carregamento para o transporte rodoviário.

O método utilizado no terceiro desbaste era o misto, sendo colhidos 35% das árvores do povoamento de forma sistemática na 5ª linha de plantio e seletivamente indivíduos “pelo

alto”, visto que o sistema de manejo utilizado no primeiro e segundo desbaste não foi de acordo com o padrão da empresa. Assim, devido à densidade populacional estar alta, procedeu-se com esta metodologia.

Tabela 3 – Características dos sortimentos produzidos nas diferentes situações operacionais.

Área 1				
Sortimento	Ø Ponta Fina (cm)	Ø Ponta Grossa (cm)	Comprimento (m)	Vol/tora (m³)
1	8	14	2,4	0,0319
2	14	18	2,1	0,0522
3	18	25	1,9	0,0690
Área 2				
Sortimento	Ø Ponta Fina (cm)	Ø Ponta Grossa (cm)	Comprimento (m)	Vol/tora (m³)
1	8	14	2,4	0,0319
2	14	18	2,1	0,0522
3	18	25	1,9	0,0690
4	25	35	2,6	0,1838
5	25	35	2,6	0,1838
Área 3				
Sortimento	Ø Ponta Fina (cm)	Ø Ponta Grossa (cm)	Comprimento (m)	Vol/tora (m³)
1	8	18	2,4	0,0319
2	18	25	1,9	0,0690
3	25	35	2,6	0,1838
4	> 35	-	2,6	0,3267
5	25	35	2,6	0,1838
6	35	42	2,6	0,3027
7	> 35	-	2,6	0,3267
8	> 42	-	2,2	0,3899

Fonte: Elaborada pela autora, 2016.

As máquinas utilizadas para a realização das operações nesta intervenção foram o *harvester*, e *forwarder* (tabela 4).

A operação de corte raso baseava-se no corte total do povoamento. Esta operação foi analisada em dois sistemas de colheita, o de toras curtas e o de árvores inteiras, onde os mesmos produtos (sortimentos) foram produzidos (tabela 3).

As máquinas utilizadas para a realização da operação de corte raso em sistema de toras curtas (CTL) foram o *harvester* e *forwarder* (tabela 4).

O corte raso em sistema de colheita de árvores inteiras (FT) era realizado por uma empresa terceira. O *feller* direcional realizava a derrubada das árvores individualmente e as organizava em feixes para a extração. Posteriormente o *skidder* (tabela 4), realizava o arraste das árvores do interior do talhão para a margem da estrada onde o *harvester* fazia o processamento das toras nos estaleiros para posterior carregamento em veículos de transporte.

Tabela 4 - Principais especificações técnicas das máquinas.

Situação operacional	Especificação				
	Máquina	Potência	Capacidade do tanque de combustível (L)	Alcance máximo do implemento	Nº de pneus total
Primeiro desbaste		195 cv (145 kW)	167	7,20 m	8
Terceiro desbaste		195 cv (145 kW)	167	7,20 m	8
Corte raso - CTL		249 cv (186 kW)	184	7,20 m	8
Corte raso - FT		193 hp (144 kW)	297	3,23 m	4

Fonte: Elaborada pela autora, 2016.

#### 4.2.5 Análise técnica

##### 4.2.5.1 Procedimento amostral

A análise técnica foi realizada a partir de um estudo de tempos e movimentos e para cada situação de extração de madeira avaliada as operações das máquinas foram subdivididas em fases do ciclo operacional. O método de cronometragem utilizado foi o individual, obtendo-se os tempos consumidos para cada um dos elementos do ciclo operacional das máquinas separadamente (descritos na tabela 5), com o uso de um cronômetro centesimal e formulários específicos.

Tabela 5 - Descrição dos elementos do ciclo operacional das máquinas (Continua).

Sigla	Elemento	Descrição
<b>Primeiro desbaste e corte raso (CTL)</b>		
VV	Viagem Vazio	Tempo consumido pela máquina no deslocamento da estrada até o interior do talhão
CR	Carregamento	Tempo consumido pela máquina no carregamento das toras no interior do talhão
VDC	Viagem Durante a Carga	Tempo consumido pela máquina para deslocar entre as pilhas de madeira para realizar o carregamento das mesmas no interior do talhão
VC	Viagem Carregado	Tempo consumido pela máquina no deslocamento do interior até a margem do talhão
MD	Manobra e Descarregamento	Tempo consumido pela máquina no descarregamento das árvores/toras na margem do talhão
Int	Interrupções	Tempo consumido pela máquina parada
<b>Terceiro desbaste e corte raso (FT)</b>		
VV	Viagem Vazio	Tempo consumido pela máquina no deslocamento da estrada até o interior do talhão
MC	Manobra e Carregamento	Tempo consumido pela máquina para deslocar e carregar as árvores/toras no interior do talhão
VC	Viagem Carregado	Tempo consumido pela máquina no deslocamento do interior até a margem do talhão

Tabela 6 - Descrição dos elementos do ciclo operacional das máquinas (Conclusão).

Sigla	Elemento	Descrição
<b>Terceiro desbaste e corte raso (FT)</b>		
MD	Manobra e Descarregamento	Tempo consumido pela máquina no descarregamento das árvores/toras na margem do talhão
Int	Interrupções	Tempo consumido pela máquina parada

Fonte: Elaborada pela autora, 2016.

Além do registro dos tempos consumidos nas fases do ciclo operacional de cada operação, também foram coletados todos os tempos referentes às interrupções de trabalho.

O horizonte de amostragem foi determinado conforme metodologia proposta por Barnes (1977) citado por Oliveira (2013), sendo, primeiramente, realizado um estudo piloto em cada operação de extração e, então, calculado o número mínimo de observações do ciclo, de forma a proporcionar um erro de amostragem máximo de 10% com 95% de probabilidade de confiança.

$$n \geq (t^2 * CV^2)/E^2$$

Em que:

*n = número mínimo de ciclos necessários; t = valor de t, para número de probabilidades desejado e (n<sup>-1</sup>) graus de liberdade; CV = Coeficiente de variação do tempo total do ciclo efetivo, em porcentagem; E = erro admissível, em porcentagem.*

Para a análise técnica, também foram determinadas a eficiência operacional (EO), a produtividade nominal (Pn) e efetiva (Pe) para as situações avaliadas.

#### **a) Eficiência operacional**

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

$$EO = (TE/(TE + TI)) * 100$$

Em que:

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

#### **b) Produtividade nominal**

A produtividade nominal de cada máquina avaliada foi determinada a partir do volume médio das toras baldeadas e volume médio individual das árvores arrastadas, e multiplicado pelo número total de toras/árvores extraídas, obtendo-se o volume total, que posteriormente foi dividido pelas horas trabalhadas, conforme Minette et al. (2004):

$$Pn = (N * V)/H$$

Em que:

*Pn: Produtividade nominal (m<sup>3</sup>/h); N: Número de toras/árvores extraídas; V: Volume médio das toras/árvores (m<sup>3</sup>); H: Horas trabalhadas.*

#### **c) Produtividade efetiva**

A produtividade efetiva (m<sup>3</sup>/he) foi obtida pelo produto da produtividade nominal e a eficiência operacional de cada máquina.

$$Pe = Pn * EO$$

Em que:

*Pe: Produtividade efetiva (m<sup>3</sup>/he); Pn: Produtividade nominal (m<sup>3</sup>/h); EO: Eficiência operacional (%).*

#### **4.2.5.3 Fatores de influência**

No momento da coleta dos dados foram avaliadas as seguintes variáveis influentes na operação: declividade do terreno, sentido de extração, distância de extração, presença de afloramento rochoso, volume por tora e volume por ciclo. Para cada variável influente avaliada, foi registrado o valor absoluto em cada ciclo operacional de trabalho, e em seguida foram estabelecidas classes conforme a tabela 6. Os fatores declividade e distância foram coletados com auxílio do equipamento *Trupulse*.



A declividade foi avaliada em três classes, de 0 a 10°, 10 a 20° e acima de 20° para as quatro operações. O sentido de extração foi avaliado no momento em que a máquina se deslocava carregada, sendo considerado como *active* o deslocamento subindo carregado e *declive* o deslocamento descendo carregado. O sentido foi avaliado apenas na operação de corte raso em sistema FT. As distâncias de extração foram avaliadas em classes, sendo que o intervalo entre as classes foi de 50 metros, avaliados em todas as operações. O afloramento rochoso foi avaliado em *sim* e *não*, conforme a ocorrência deste nos ramais de extração do *forwarder* em corte raso. Quanto ao volume por tora, devido a particularidades da operação, o *forwarder* transportava mais que um tipo de sortimento em seu compartimento de carga, por conta disso, optou-se por analisar esta variável por meio de classes de volume por tora de < 0,10, 0,10 – 0,20, 0,20 – 0,30, e > 0,30 m<sup>3</sup>/tora, sendo este fator somente avaliado para o *forwarder*. Ressalta-se que os fatores e classes avaliadas diferiram para situação em função das particularidades de cada área de estudo e operação.

Tabela 7 – Classes das variáveis influentes avaliadas.

<b>Variáveis</b>	<b>Classes</b>
Declividade (graus)	0 - 10; 10 – 20; > 20
Sentido de operação	Active; Declive
Distância de extração (metros)	0- 50; 50-100; 100-150; 150-200; 200-250
Afloramento rochoso	Sim; Não
Volume por tora (m <sup>3</sup> /tora)	< 0,10; 0,10 – 0,20; 0,20 – 0,30; > 0,30

Fonte: Elaborada pela autora, 2016.

#### 4.2.5 Análise de custos

A análise de custos foi realizada de acordo com a metodologia proposta pela FAO/ECE/KWF segundo Machado e Malinovski (1988), utilizando o método contábil, com uso de valores estimados e reais com base em informações fornecidas pela empresa.

Os custos foram classificados como fixos (depreciação, juros e seguros e custo de pessoal operacional), variáveis (combustível, lubrificantes e graxas, material rodante e manutenção) e administrativos.

#### 4.2.5.1 Custos fixos

São custos da empresa que ocorrem independentemente do nível de produção, como depreciação, juros e seguros (SILVA et al., 2008) e custos com pessoal operacional. São custos que não variam com as horas de operação.

##### a) Depreciação

Os custos de depreciação correspondem àqueles provenientes de bens que não são consumidos em um ano, como é o caso das máquinas e dos equipamentos de colheita florestal. Estes custos podem ser incluídos no rol dos custos fixos das máquinas e dos equipamentos, pois se referem aos custos inerentes do processo natural de desvalorização pelo qual passam os ativos ao longo de sua vida útil (SILVA et al., 2008).

O método de cálculo utilizado foi o da depreciação linear, em que:

$$DP = ((Va - VR)/(Vu * He))$$

Em que:

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

$$He = (Nd * d * Nt * (100 - TD))/100$$

Em que:

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

##### b) Juros

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

O cálculo dos juros foi realizado de acordo com a expressão a seguir, sendo considerada uma taxa de juros de 4% a.a., utilizado pela empresa:

$$JS = (IMA * i) / He$$

Em que:

*JS* = custos de juros (R\$/he); *IMA* = investimento médio anual (R\$); *i* = taxa de juros (%); *He* = horas efetivas de trabalho anual (horas).

$$IMA = ((Va - Vr) * (N + 1)) / 2 * Vu + Vr$$

Em que:

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

### c) Seguros

O seguro foi considerado como o custo que os proprietários incorrem devido ao uso ou posse de sua máquina, bem como em razão dos constantes prejuízos a que elas estão expostas durante o trabalho, sendo o valor obtido com a empresa.

### d) Custos de pessoal operacional

Os custos de pessoal operacional referem-se aos custos do pagamento de mão de obra nos diversos setores da empresa (SILVA et al., 2008), considerando também os custos com encargos sociais e benefícios que os mesmos recebem, sendo este dividido pelas respectivas horas efetivas trabalhadas.

#### 4.2.5.2 Custos variáveis

Ocorrem somente a partir da produção de uma unidade do produto, variam à medida que a produção aumenta (SILVA et al., 2008) e estão diretamente relacionados com a frequência de uso da máquina (OLIVEIRA, 2013). Compõem os custos variáveis os custos com combustível, lubrificantes e graxas, óleo hidráulico, material rodante e manutenção.

### a) Combustível

Os custos com combustível são referentes ao consumo de óleo diesel pelas máquinas (obtido pela relação da quantidade de litros consumido e o horímetro) segundo Santos (2013), calculados de acordo com a expressão:

$$CC = Pu * C$$

Em que:

$CC$  = custo com combustível (R\$/he);  $Pu$  = preço de um litro de óleo diesel (R\$/L) e;  
 $C$  = consumo de óleo diesel por hora efetiva (L/he).

### b) Lubrificantes e graxas

Os custos com lubrificantes e graxas foram calculados considerando como sendo 25% dos custos com combustíveis utilizados pela empresa, segundo Santos (2013), conforme a fórmula:

$$CLG = ILG * CC$$

Em que:

$CLG$  = custo com lubrificantes e graxas (R\$/he);  $ILG$  = índice de custos com lubrificantes e graxas (25% dos custos com combustíveis) e;  $CC$  = custos com combustíveis (R\$/he).

### c) Óleo hidráulico

Os custos com óleo hidráulico foram calculados considerando como sendo 50% dos custos com combustíveis utilizados pela empresa, segundo Santos (2013) , conforme a fórmula:

$$OLH = IOLH * CC$$

Em que:

$OLH$  = custo com óleo hidráulico (R\$/he);  $IOLH$  = índice de óleo hidráulico (50% dos custos com combustíveis) e;  $CC$  = custos com combustíveis (R\$/he).

#### d) Material rodante

Os custos com material rodante (pneus, esteiras e semiesteiras) das máquinas foi calculado de acordo com a fórmula (SILVA et al., 2010):

$$CMR = (Vr * Nr) / Vu$$

Em que:

*CMR = custo do material rodante (R\$/he); Vr = valor de um pneu, esteira ou semiesteira da máquina (R\$); Nr = número de rodados (pneus ou semiesteira) da máquina e; Vu = vida útil de um pneu, esteira ou semiesteira, em horas efetivas (he).*

#### e) Manutenção

Os custos com manutenção referiram-se aos custos com manutenção corretiva e preventiva, sendo os custos referentes ao *forwarder* obtidos a partir de dados históricos fornecidos pela empresa e, para o *skidder*, visto que a empresa terceira não possuía este valor, calculados de acordo com a fórmula (FREITAS, 2005):

$$CMN = Iman * DP$$

Em que:

*CMN = custo de manutenção (R\$/he); Iman = Índice de manutenção (60%); DP = Depreciação (R\$/he).*

#### 4.2.5.3 Custos administrativos

Foram considerados os custos de administração aqueles relacionados com os trabalhos de escritório e supervisão das operações de campo, sendo obtidos na empresa em valores mensais e divididos pela quantidade de horas trabalhadas. Considerou-se no cálculo o percentual de 8 % sobre o somatório de custos fixos e variáveis.

#### 4.2.5.4 Custo operacional total

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

#### 4.2.5.5 Custo médio de produção

O cálculo do custo de produção foi realizado pela divisão dos custos operacionais (R\$/he) pela produtividade ( $m^3/he$ ) de cada máquina nos diferentes sistemas de colheita avaliados, onde:

$$Cp = CO/Pr$$

Em que:

$Cp$  = Custo de produção (R\$/ $m^3$ );  $CO$  = Custo operacional das máquinas (R\$/he);  $Pr$  = Produtividade das máquinas ( $m^3/he$ )

### 4.2.6 Análises estatísticas

#### 4.2.6.1 Análise de variância e comparação de médias

O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado, sendo realizada análise de variância para as variáveis de tempo do ciclo operacional e produtividade. Consideraram-se como fatores as diferentes classes de distâncias de extração, declividade, sentido de extração, presença de afloramento rochoso, volume por tora e volume por ciclo. Também foi avaliada a interação entre os fatores quando possível.

Posteriormente procedeu-se ao teste de *Bartlett*, para verificação da homogeneidade das variâncias, havendo significância na análise de variância, se procedeu com o teste de médias pelo método de Tukey a 5% de significância.

#### 4.2.6.2. Relações e desenvolvimento de equações para estimativa da produtividade

Para verificar a relação entre a produtividade e os fatores de influência, primeiramente se realizou uma análise exploratória dos dados para detectar a presença de dados discrepantes

(*outliers*). Foi considerando como dado discrepante, qualquer dado peculiar que indicasse uma observação cujo valor fosse muito superior ou inferior ao restante das observações. Para a eliminação dos dados discrepantes foram considerados os seguintes critérios (TUKEY, 1977, HOAGLIN, 1983 apud SAMPIETRO, 2010):

1. Eliminar quando for possível afirmar que houve em erro de medição ou determinação;
2. Eliminar quando um dado for maior que o restante, em valor absoluto, pelo menos três vezes o desvio padrão residual;
3. Eliminar dados abaixo do limite inferior (LI) ou acima do limite superior (LS) pelas seguintes expressões:

$$LS = QS + 1,5AI$$

e

$$LI = QS - 1,5AI$$

Em que:

*LS = limite superior; LI = limite inferior; QS = quartil superior; QI = quartil inferior; AI: amplitude interquartílica.*

Primeiramente, os valores das variáveis foram submetidos ao teste de normalidade pelo método de *Shapiro-Wilk*. As variáveis que não apresentaram distribuição normal foram transformadas.

Após a eliminação dos dados discrepantes, foi verificada a relação entre a produtividade e as outras variáveis avaliadas por correlação linear de Pearson.

Em seguida procedeu-se com o ajuste de modelos matemáticos por regressão múltipla para a estimativa da produtividade. Para o desenvolvimento das equações com variáveis mistas, utilizou-se o ajuste “passo a passo” do procedimento *Stepwise*. Esse processo (*Stepwise*) selecionou as variáveis independentes que melhor se relacionaram com a variável dependente. Valentin (2000) apud Sampietro (2010) afirma que esse processo é um dos métodos mais recomendados para uma seleção criteriosa das variáveis explicativas no estabelecimento de um modelo multilinear.

Para a avaliação estatística das equações, foram utilizados o coeficiente de determinação ajustado ( $R^2$  aj) (DRAPER e SMITH, 1981), o erro padrão da estimativa absoluto e em percentagem (Syx e Syx %), o valor de F, e a análise gráfica dos resíduos em percentagem. Por fim, cada equação ajustada foi aplicada para ilustrar a variação da

produtividade e custo de produção em função das variáveis que tiveram maior relação com a produtividade.

#### 4.2.7 Aplicação das equações

Para aplicação das equações foi analisado os fatores de influência separadamente (distância de extração, declividade, volume por tora e volume por ciclo), em relação à produtividade e custo de produção. Optou-se por considerar uma eficiência operacional de 75% (valor utilizado como meta da empresa) e os valores médios de cada operação.

### 4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 4.3.1 Análise técnica

Para o primeiro desbaste (figura 3a) o elemento que consumiu o maior tempo foi o carregamento (38 %), seguido da manobra e descarregamento (22%), interrupções (17%), viagem durante a carga (10%), viagem carregado (8%) e viagem vazio (5%).

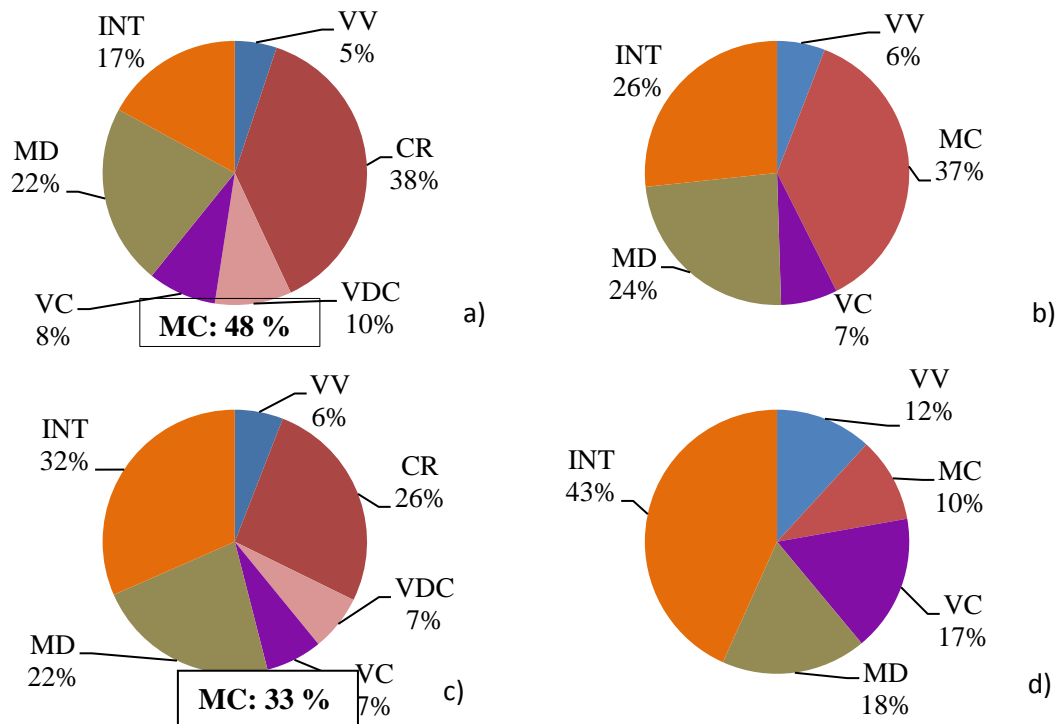
No terceiro desbaste (figura 3b), a manobra e carregamento foi o elemento que consumiu o maior tempo do ciclo operacional (37%), seguido de interrupções (26%), manobra e descarregamento (24%), viagem carregado (7%) e viagem vazio (6%).

A maior parte do tempo do ciclo operacional do *forwarder* trabalhando em operações de corte raso (figura 3c) foi em interrupções (32%), seguido do carregamento (26%), manobra e descarregamento (22%), viagem durante a carga (7%) e viagem vazio (6%).

Em geral, nota-se que o elemento que consumiu o maior tempo do ciclo do *forwarder* foi a MC, em média 40%, já a MD ocupou em média 23 % do tempo total, juntos, a MC e MD ocuparam uma média de 62 % do ciclo operacional. Minette et al. (2004), verificaram que o carregamento e descarregamento ocuparam juntos em torno de 82% do tempo total. Este resultado entra em acordo com Seixas (2008), que cita que as operações de carregamento e descarregamento interferem diretamente no ciclo operacional do *forwarder*, pois a máquina passa a maior parte do tempo na forma passiva, ou seja, realizando o carregamento e descarregamento da madeira.



Figura 3 - Distribuição percentual do ciclo operacional nominal das máquinas em operações de (a) Primeiro Desbaste; (b) Terceiro Desbaste; (c) Corte Raso em Sistema de toras curtas; (d) Corte Raso em Sistema de árvores inteiras.



Legenda: VV: Viagem Vazio; CR: Carregamento; VDC: Viagem Durante a Carga; MC: Manobra e Carregamento; VC: Viagem Carregado; MD: Manobra e Descarregamento; INT: Interrupções.

Fonte: Elaborada pela autora, 2016.

Observando a distribuição percentual do tempo nominal do *skidder* em corte raso (figura 5d), foi possível verificar que o equipamento se encontrou em maior parte do tempo sob interrupções (43%), seguido de manobra e descarregamento (18%), viagem carregado (17%), viagem vazio (12%) e manobra e carregamento (10%).

Em geral, o *skidder* consumiu em torno de 28 % de seu ciclo nominal em MC e MD e 29 % em VV e VC. Pereira (2011), em avaliação do *skidder* em sistema de colheita de árvores inteiras em povoamentos de *Pinus* de vmi médio 1,6 m<sup>3</sup> (PMP III), comenta que os elementos VV e VC corresponderam a 34 % do ciclo operacional nominal e a MC e MD a 32 %.

Segundo Seixas (2008), ao contrário do *forwarder* que passa a maior parte do ciclo operacional de forma passiva, ou seja, realizando as operações de carga e descarga, o *skidder* deveria ocupar a maior tempo de forma ativa, ou seja, realizando as operações de viagens vazio e carregado, e consequentemente, consumindo um menor tempo proporcional do ciclo nas operações de carga e descarga.

De forma geral, as interrupções consumiram uma grande porcentagem do ciclo operacional de ambas as máquinas, o que refletiu em baixas eficiências operacionais. A

eficiência operacional (EO) do *forwarder* em primeiro desbaste foi de 82,94 % e produtividade nominal (Pn) de 10,90 m<sup>3</sup>/h, em terceiro desbaste a EO foi de 71,94 % e Pn de 16,45 m<sup>3</sup>/h, em corte raso em sistema CTL a EO foi de 68,43 % e Pn de 29,05 m<sup>3</sup>/h. Já a EO do *skidder* foi de 56,73 % e Pn de 128,60 m<sup>3</sup>/h.

Em geral, a EO dos *forwarders* ficou próxima dos valores encontrados por outros autores. Simões e Fenner (2010) em avaliação técnica e econômica do *forwarder* na extração de madeira em povoamento de eucalipto de primeiro corte encontraram valores de EO de 82,21%. Oliveira et al. (2009) citaram que a EO foi de 70,00%. Pereira et al. (2015) encontraram uma EO de 58%. Oliveira et al. (2010) em avaliação técnica e econômica do *skidder* de pneus, citaram que a EO foi de 64%, valor superior ao encontrado neste trabalho.

A produtividade efetiva média do *forwarder* em primeiro desbaste foi de 9,24 m<sup>3</sup>/he. Este valor deve-se ao volume médio individual (vmi) do povoamento não seguirem os padrões da empresa. Além disso, o menor vmi acarreta em maiores deslocamentos da máquina para preencher o compartimento de carga, como comentado anteriormente, reduzindo assim sua produtividade. Esta produtividade foi inferior a Ramos (2015) que analisando tecnicamente a colheita florestal mecanizada em primeiro desbaste de *Pinus taeda*, encontrou uma produtividade média de 30,90 m<sup>3</sup>/he. Já Diniz e Lopes (2014), em análise da extração de diferentes sortimentos de pinus em primeiro desbaste com o *forwarder*, encontraram uma produtividade média de 21,40 m<sup>3</sup>/he.

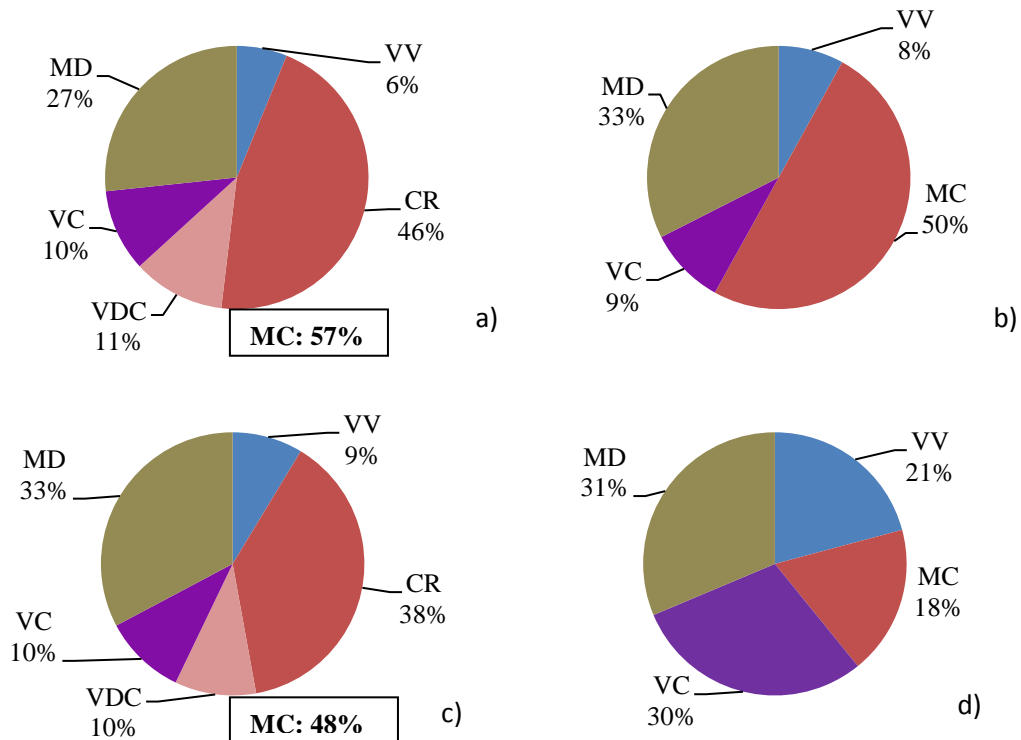
Em terceiro desbaste, a produtividade efetiva foi de 12,06 m<sup>3</sup>/he. Este povoamento foi submetido a dois desbastes anteriormente, na época, o manejo não foi realizado conforme os padrões da empresa, resultando em menores rendimentos. Este valor foi inferior ao citado por Oliveira et al. (2009), de 30 m<sup>3</sup>/he.

A produtividade do *forwarder* em corte raso foi de 19,88 m<sup>3</sup>/he. Este valor pode ser explicado pelos altos tempos despendidos em carregamento (figura 4), pois, devido a grande quantidade de sortimentos produzidos, a máquina demorava mais para preencher o compartimento de carga com o sortimento extraído, o qual nem sempre era utilizado em sua capacidade total.

A produtividade efetiva do *skidder* foi de 72,36 m<sup>3</sup>/he, valor superior ao citado por Oliveira et al. (2010), de 64,64 m<sup>3</sup>/he, e Pereira et al. (2015), de 51,2 m<sup>3</sup>/he.

Desconsiderando o elemento interrupções, tem-se o ciclo operacional efetivo das operações (figura 4). Observa-se que para o *forwarder*, o elemento manobra e carregamento foi o que consumiu o maior tempo do ciclo operacional das máquinas, em média 52% do ciclo, seguido da manobra e descarregamento (31%).

Figura 4 - Distribuição percentual do ciclo operacional efetivo das máquinas em operações de (a) Primeiro Desbaste; (b) Terceiro Desbaste; (c) Corte Raso em Sistema de toras curtas; (d) Corte Raso em Sistema de árvores inteiras.



Legenda: VV: Viagem Vazio; CR: Carregamento; VDC: Viagem Durante a Carga; MC: Manobra e Carregamento; VC: Viagem Carregado; MD: Manobra e Descarregamento.

Fonte: Elaborada pela autora, 2016.

Resultados semelhantes também são relatados por Diniz e Lopes (2014) os quais observaram que 88% do tempo do ciclo, a máquina estava em operações de carregamento e descarregamento. Ramos et al. (2016) em análise técnica de um sistema de colheita de toras curtas em regime de desbaste de um povoamento de 11 anos, citaram que em torno de 83% do ciclo efetivo o *forwarder* estava em carregamentos e descarregamentos. Leite et al. (2014), citaram que 66% do ciclo total a máquina encontrava-se em carregamento e descarregamentos.

Comparando somente o elemento carregamento para as operações de primeiro desbaste e corte raso em sistema de toras curtas, nota-se que o *forwarder* tende a demorar mais para realizar o carregamento na primeira situação, podendo ser atribuído ao baixo volume de madeira produzido em regime de desbaste, o que demanda um maior deslocamento da grua para a busca por toras. Além disso, no corte raso, devido à grande quantidade de sortimentos produzidos, na maioria das vezes o operador optava por baldear dois sortimentos por vez, resultando em maiores tempos em manobra e descarregamento, pois a máquina

necessitava deslocar-se entre estaleiros para o descarregamento, porém no tempo total do ciclo diminui, aumentando a produtividade.

Tal resultado é comprovado por Diniz e Lopes (2014), os autores avaliaram a produtividade do *forwarder* baldeando somente um sortimento ou mais, e comentam que a extração de apenas um sortimento aumentou os tempos em viagem durante cargas, porém há uma redução nos tempos em MD, e no tempo total do ciclo, resultando em maiores produtividades.

Os tempos em deslocamentos para o *forwarder* corresponderam em média a 17,5 % do ciclo efetivo da máquina. Já os tempos consumidos em deslocamentos pelo *skidder* foram de 50 %. Tal fato demonstra a maior importância da distância de extração para o *skidder*, já que o mesmo passa a maior parte do tempo em deslocamentos.

A MD no ciclo operacional do *skidder* correspondeu a 31% do tempo do ciclo, seguido de 30% em VC, 21% em VV, e 18% em MC. Os valores de distribuição do ciclo operacional do *skidder* obtidos por Mousavi et al. (2012), avaliando o desempenho do *skidder* na extração de populos com idade média de 23 anos, foram de 32% em manobra e carregamento, 30% em viagem carregado, 14,9% em interrupções, 13,4% viajando vazio e 9,7% em manobra e descarregamento. Pereira et al. (2015) citaram que a maior parte do ciclo operacional foi despendido em VC.

Observa-se que para o primeiro desbaste, não há diferença significativa na produtividade em função do aumento da distância (tabela 8), embora exista a tendência de diminuição com aumento da distância nesta operação. Em terceiro desbaste também não houve diferença, pois, a classe de volume por tora é o fator mais importante no tempo total do ciclo do *forwarder* (anexo 05).

Tabela 8 - Resultados obtidos por meio do teste de médias da produtividade em função da classe de distância, classe de volume por tora, classe de declividade e sentido, para as operações de primeiro e terceiro desbaste, e corte raso em sistema de toras curtas e árvores inteiras.

árvores internas.

Produtividade efetiva (m³/he)							
Operação	Classe de distância (metros)						Média
	0-50	50-100	100-150	150-200	200-250	>250	
Primeiro desbaste	11,4 a	11,49 a	10,89 a	12,32 a	9,02 a	7,65 a	10,90
	(±1,29)	(±0,87)	(±0,83)	(±1,29)	(±1,18)	(±2,04)	
Terceiro desbaste	14,48 a	17,33 a	16,44 a	15,66 a	16,70 a	16,44 a	14,45
	(±2,90)	(±1,30)	(±1,30)	(±1,37)	(±,37)	(±1,55)	
Corte raso - CTL	30,87 ab	37,06 a	28,44 b	21,40 b	19,44 b	25,01 ab	29,05
	(±4,04)	(±1,81)	(±2,16)	(±2,46)	(±3,19)	(±4,25)	
Corte raso - FT	150,83 ab	141,61 a	123,87 bc	99,51 d	82,52 cd	-	128,6
	(±10,18)	(±4,47)	(±6,58)	(±3,87)	(±16,27)	-	
Operação	Classe de volume/tora (m³/tora)					Média	
	≤ 0,1	0,1 ≥ 0,2	0,2 ≥ 0,3		> 0,3		
Primeiro desbaste	10,90	-	-		-	10,90	
	(±2,85)	-	-		-		
Terceiro desbaste	16,11 a	18,75 a	-		-	14,45	
	(±0,61)	(±1,58)	-		-		
Corte raso - CTL	10,33 b	21,14 b	34,65 a		34,39 a	29,05	
	(±1,88)	(±4,21)	(±1,28)		(±1,52)		
Operação	Classe de declividade (graus)				Média		
	< 10		10 ≥ 20			> 20	
Primeiro desbaste	10,99 a		8,04 a		-	10,90	
	(±0,47)		(±2,06)		-		
Terceiro desbaste	16,61 a		16,57 a		-	14,45	
	(±0,83)		(±0,85)		-		
Corte raso - CTL	32,37 a		24,94 b		15,87 b	29,05	
	(±1,36)		(±2,14)		(±3,85)		
Corte raso - FT	127,19 a		140,76 a		-	128,6	
	(±2,84)		(±8,33)		-		
Operação	Sentido					Média	
	Active			Declive			
Corte raso - FT	129,73 a			108,13 a		128,6	
	(±2,75)			(±11,77)			

Fonte: Elaborada pela autora, 2016.

Já no corte raso em sistema CTL há uma tendência significativa de diminuição na produtividade em função do aumento da distância. Apesar disso, essa diferença foi menor quando comparada ao corte raso FT, onde a produtividade foi menor conforme o aumento da distância, sendo mais evidente na classe acima de 150 metros.

Oliveira et al. (2010) citam que a produtividade do *skidder* tende a diminuir com o aumento da distância, onde na classe de 50 a 100 metros, a produtividade diminuiu aproximadamente 72%. Mousavi et al. (2012) e Pereira et al. (2015) observaram também que acima de 50 metros de arraste, há uma tendência a diminuir a produtividade.

Dessa forma, infere-se que a distância influencia mais na produtividade do *skidder* do que para o *forwarder*, explicado também por Seixas (2008), que comenta que o *forwarder* fica a maior parte do seu ciclo de forma passiva, em carregamento e descarregamento, já o *skidder* de forma ativa, em deslocamentos, sendo mais afetado quando necessita extrair em maiores distâncias.

A produtividade do *forwarder* em corte raso em classes de volume por tora maior que 0,2 m<sup>3</sup>/tora é estatisticamente maior do que classes de menor volume, o que pode ser explicado pelo menor deslocamento que a máquina precisa fazer para preencher o seu compartimento de carga, visto que necessita de menor quantidade de toras. Oliveira et al. (2009) citaram que o volume por tora e a dispersão das pilhas dentro dos talhões são variáveis que influenciam diretamente na produtividade do *forwarder*.

Analisando a produtividade das operações em relação à declividade, nota-se que apesar da produtividade do *forwarder* em desbastes tender a diminuir com o aumento da declividade, essa diferença é menor quando comparado ao corte raso. Já a produtividade do *skidder* não teve diferença estatística quando observado até a declividade de 20 graus. O sentido de extração para o *skidder* não influenciou estatisticamente em sua produtividade, porém há uma tendência da máquina produzir mais em aclave. Tal resultado contradiz o citado por Bavarghan et al. (2010), mostra que a produtividade quando o *skidder* está em declive é maior do que em aclave.

#### 4.3.2 Análise de custos

Na tabela 9 é demonstrado os custos fixos, variáveis, administrativos e operacionais total das operações de primeiro e terceiro desbaste, corte raso em sistema de toras curtas e árvores inteiras. Em primeiro desbaste o custo operacional do *forwarder* foi de 181,12 R\$/he,

em terceiro desbaste de 185,58 R\$/he, em corte raso em sistema CTL de 244,90 R\$/he e em corte raso em sistema FT de 218,31 R\$/he.

Tabela 9 - Custos fixos, variáveis e administrativos das operações de primeiro e terceiro desbaste e corte raso em sistema de toras curtas (CTL) e árvores inteiras (FT).

		Valor (R\$/he)			
	Item de custo	1º	3º	Corte raso -	Corte raso
		Desbaste	Desbaste	CTL	FT
<b>Fixo</b>	Depreciação	51,09	54,47	54,61	38,00
	Pessoal operacional	24,98	28,98	28,59	44,29
	Juros e seguros	9,26	7,88	7,81	17,67
<b>Variável</b>	Combustível	25,89	30,51	62,22	43,98
	Lubrificantes e graxas	6,47	7,63	15,55	11,00
	Óleo hidráulico	12,94	15,26	31,11	21,99
	Material rodante	9,60	9,60	9,60	2,40
	Manutenção	27,48	17,50	17,26	22,80
<b>Administração</b>		13,42	13,75	18,14	16,17
<b>Total</b>		<b>181,12</b>	<b>185,58</b>	<b>244,90</b>	<b>218,31</b>

Fonte: Elaborada pela autora, 2016.

Em média, os custos fixos corresponderam a 45 % do custo operacional, sendo representados principalmente pelos custos com depreciação (24 %) e com pessoal operacional (15 %). Já o custo variável correspondeu em média a 48 %, sendo 19 % em custos com combustíveis e 11 % em manutenção. Os custos com manutenção foram mais representativos para o primeiro desbaste e corte raso em sistema FT, 15 % e 10 %, respectivamente.

Os custos variáveis tendem a aumentar com o aumento da utilização da máquina, pois, para se produzir um maior volume, necessita-se de maior quantidade de combustível, maior quantidade de lubrificantes e graxas e óleos hidráulicos, ocorrem maior desgaste dos pneus e há uma maior necessidade de manutenções.

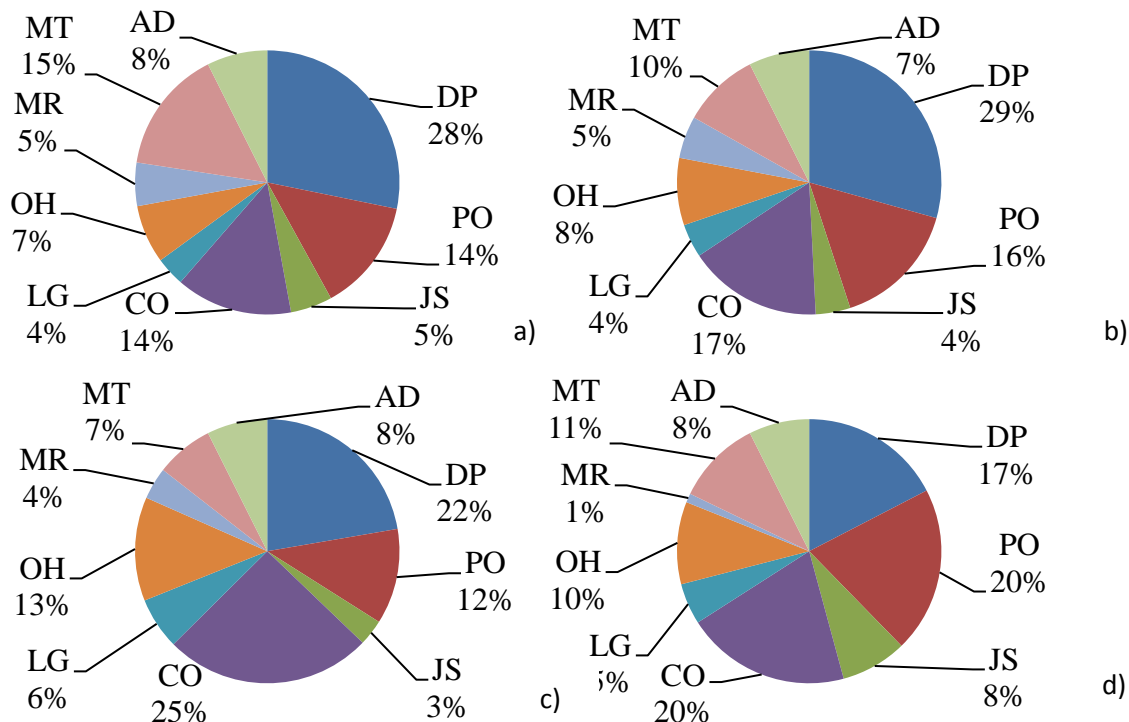
De acordo com Oliveira (2013), em análise operacional e custos do *forwarder* em povoamentos de eucalipto, as empresas vêm cada vez mais realizando estudos para redução de turnos de trabalho, dias totais de trabalho e até mesmo aumento de horas extras pontuais, buscando sempre a redução de custos, mantendo os mesmos índices de produção.

Cabral (2014), em análise dos custos do *forwarder* em primeiro desbaste, cita um custo operacional de 161,00 R\$/he, resultado semelhante ao citado por Lopes et al. (2015), em análise técnica e de custos do *harvester* e *forwarder* em povoamentos de eucaliptos com 7 anos, de 161,00 R\$/he. Oliveira et al. (2009), encontrou valores de custo operacional do *forwarder* de 209,13 R\$/he, Pereira et al. (2015) de 234,12 R\$/he, Mousavi et al. (2012) citaram um custo operacional de aproximadamente 289,00 R\$/he (cálculo com base na taxa de câmbio atual de R\$ 3,11).

Já para o *skidder*, Pereira (2011) encontrou um custo operacional semelhante, de 215,43 R\$/he. Oliveira et al. (2010), em avaliação técnica e econômica do *skidder* de pneus em povoamentos de pinus, citou um valor de custo operacional inferior, de 201,67 R\$/he.

Somando os custos operacionais totais dos equipamentos, é possível verificar a distribuição percentual dos custos de cada máquina analisada (figura 5).

Figura 5 - Distribuição percentual dos custos das máquinas em operações de (a) Primeiro Desbaste; (b) Terceiro Desbaste; (c) Corte Raso em Sistema de toras curtas; (d) Corte Raso em Sistema de árvores inteiras.



Legenda: DP: Depreciação; PO: Pessoal Operacional; JS: Juros e Seguros; CO: Combustível; LG: Lubrificantes e Graxas; OH: Óleo Hidráulico; MR: Material Rodante; MT: Manutenção; AD: Administração.

Fonte: Elaborada pela autora, 2016.

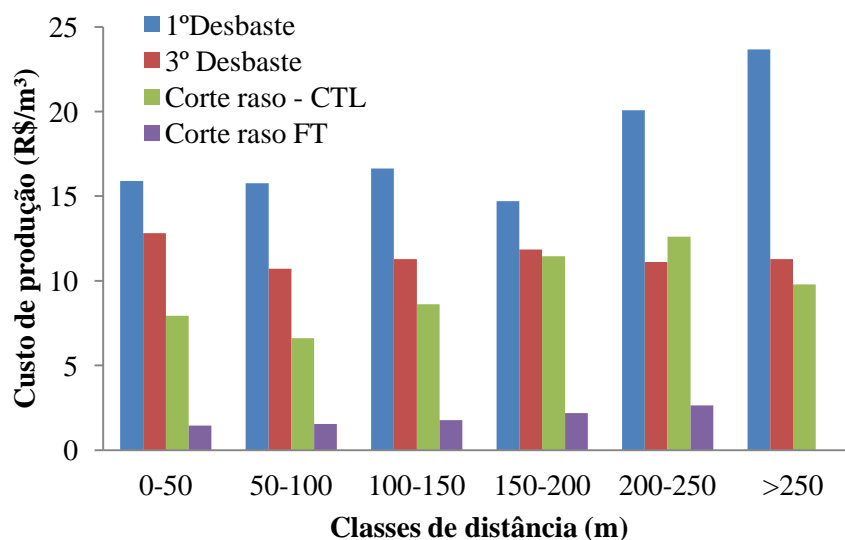
De um modo geral, de acordo com Sampietro et al. (2016), a quantificação da proporção dos itens que mais oneram os custos operacionais em operações florestais tem



grande importância no intuito de serem tomadas medidas de controle com maior foco nestes, uma vez que desvios não planejados destes custos tendem a impactar de maneira mais relevante os orçamentos operacionais.

A figura 6 demonstra os custos de produção de cada operação por classe de distância. O custo de produção é diretamente relacionado com a produtividade, sendo variável conforme a distância de extração. Por essa razão, de acordo com Oliveira (2013), devem-se buscar estratégias para minimização dos tempos ineficientes e aumento do trabalho efetivo da máquina.

Figura 6 - Custos de produção das operações de primeiro e terceiro desbaste e corte raso em sistema de toras curtas (CTL) e árvores inteiras (FT) em função das classes de distância.



Fonte: Elaborada pela autora, 2016.

Os maiores custos de produção são do primeiro desbaste devido à baixa produtividade da máquina. O custo de produção do terceiro desbaste foi em torno de 35 % menor que o custo do primeiro desbaste, devido ao maior volume do povoamento e maior produtividade da máquina.

Analisando o custo de produção do *forwarder* nas três operações, observa-se que o menor custo se dá em operação de corte raso, pois a máquina extrai maiores volumes, aumentando sua produtividade. Oliveira (2013) avaliou o custo de produção em função das classes de distância de 0 a 200 metros com intervalo entre classes de 50 metros, e citou valores inferiores a este trabalho, sendo eles 3,78, 4,35, 5,10, 6,66 e 7,74 R\$/m³, respectivamente.

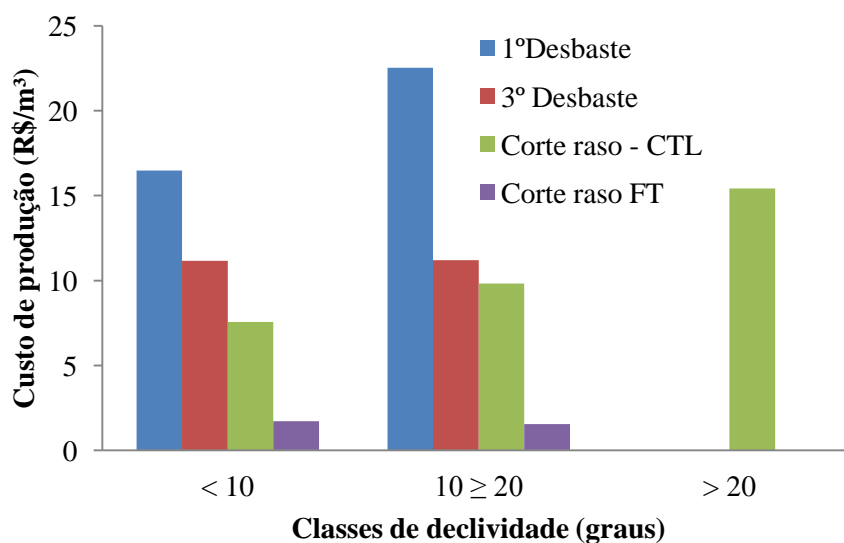
Oliveira et al. (2010) avaliaram o custo de produção do *skidder* nas classes de distância: 0-50; 50-100 e >100 metros e encontraram valores superiores de custo de produção, de 2,39, 3,33 e 3,63 R\$/m<sup>3</sup>, respectivamente. Pereira et al. (2015) também encontraram valores superiores nessas classes de distância, e citaram valores de 3,70, 4,35 e 4,66 R\$/m<sup>3</sup>.

Comparando o custo de produção das máquinas *forwarder* e *skidder* trabalhando em corte raso, observa-se que o custo do *forwarder* é em torno de 5 vezes maior que o *skidder*. Apesar do custo operacional do *skidder* ser inferior ao *forwarder*, a produtividade é maior, gerando menores custos de produção.

Embora o *skidder* apresente o menor custo de produção, em termos operacionais, o *forwarder* possui vantagens, tais qual a facilidade de organização de estaleiros, menor agressão ao solo, pode trabalhar em maiores distâncias de extração, diminuindo a densidade de estradas, possibilidade de carregamento de caminhões, entre outras.

A figura 7 demonstra os custos de produção das operações de primeiro desbaste, terceiro desbaste, corte raso em sistema CTL e corte raso em sistema FT por classe de declividade. Em maiores declividades a produtividade tende a ser menor, pois o operador tende a trabalhar mais devagar, evitando o risco com tombamentos, ocasionando em maiores custos de produção.

Figura 7 - Custos de produção das operações de primeiro e terceiro desbaste e corte raso em sistema de toras curtas (CTL) e árvores inteiras (FT) em função das classes de declividade.

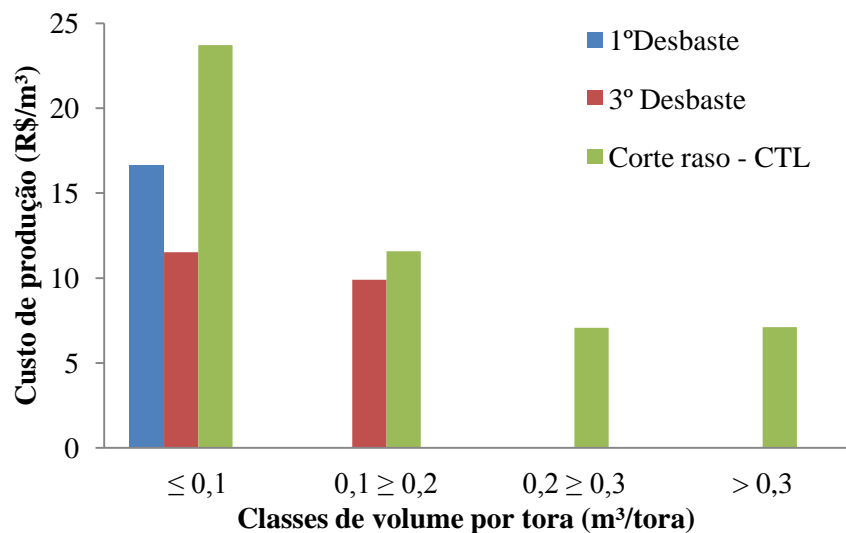


Fonte: Elaborada pela autora, 2016.

Pode-se observar ainda que o aumento dos custos em função da declividade é mais expressivo para o primeiro desbaste, pois esta variável foi influenciada de forma mais significativa (anexo 5).

Na figura 8 é demonstrado os custos de produção de cada operação por classe de volume por tora. Na classe  $\leq 0,01$  os custos de produção do corte raso em sistema CTL foram maiores que nos desbastes. Na classe  $0,01 \geq 0,02$  o custo de produção do corte raso foi superior ao terceiro desbaste. Tal fato pode ser explicado, pois em menores volumes, a máquina necessitava deslocar-se mais para preencher o compartimento de carga, devido aos feixes estarem dispersos ao longo da trilha de extração, e, em maiores volumes, os deslocamentos e a distância de extração foram menores. Além disso, devido à grande quantidade de sortimentos produzidos no corte raso, o operador, na maioria das vezes, carregava mais que um sortimento em seu compartimento de carga, situação que dificilmente acontece em desbastes. De acordo com Sampietro et al. (2016), o baixo volume por tora tende a diminuir a produtividade dos equipamentos, acarretando em maior custo de produção.

Figura 8 - Custos de produção das operações de primeiro e terceiro desbaste e corte raso em sistema de toras curtas (CTL) e árvores inteiras (FT) em função das classes de volume por tora.



Fonte: Elaborada pela autora, 2016.

Estes resultados demonstram a importância de medidas para aumentar a eficiência operacional e produtividade dos equipamentos visando diminuição dos custos de produção, sobretudo de sortimentos de menor volume, uma vez que a receita gerada pelo comércio deste tipo de sortimento é menor do que sortimentos para usos considerados mais nobres, como

para laminação. Assim, se o custo de produção é elevado, pode haver comprometimento da viabilidade econômica da operação (SAMPIETRO et al., 2016),

### 4.3.3 Modelagem da produtividade

A estatística descritiva dos elementos do ciclo operacional, dos fatores de influência e da produtividade para as operações de primeiro desbaste, terceiro desbaste, corte raso em sistema de toras curtas e corte raso em sistema de árvores inteiras pode ser observada nos anexos 14, 15 16 e 17, respectivamente. A estatística descritiva dos fatores de influência e produtividade encontra-se na tabela 10.

Tabela 10 - Estatística descritiva para as variáveis declividade, distância, volume por tora, volume por ciclo, produtividade nominal e produtividade efetiva para as operações Primeiro desbaste, Terceiro desbaste, Corte raso em sistema de toras curtas e Corte raso em sistema de árvores inteiras (Continua)

Variável	OPERAÇÃO									
	Primeiro Desbaste									
	N	Média	Desv. Pad.	CV (%)	Mínimo	Máximo	Média	Assimetria	Curtose	W
<b>Declividade (graus)</b>	41	5,60	2,15	38,38%	0,9	10,2	9,3	0,14	0,02	0,87 **
<b>Distância (m)</b>	41	136,24	82,56	60,60%	31	461	430	4,40	6,19	0,97 ns
<b>Vol/ciclo(m³)</b>	41	6,32	1,43	22,69%	1,53	8,3	6,77	-3,24	2,42	0,44 **
<b>Volume/tora (m³)</b>	41	0,03	0,02	61,07%	0,02	0,08	0,06	6,22	5,70	0,90 **
<b>Produtividade nominal (m³/h)</b>	41	10,90	2,91	26,72%	6,28	17,9	11,62	1,85	0,02	0,95 ns
<b>Produtividade efetiva (m³/he)</b>	41	9,24	2,47	26,73%	5,32	15,18	9,86	1,85	0,02	0,95 ns
Terceiro Desbaste										
<b>Declividade (graus)</b>	43	9,09	3,70	40,69%	1,2	16,2	15	-1,43	-0,31	0,96 ns
<b>Distância (m)</b>	47	161,75	77,14	47,69%	10	293,2	283,2	-0,13	-1,53	0,95 ns
<b>Vol/ciclo(m³)</b>	47	8,15	2,30	28,28%	4,06	16,43	12,37	3,77	6,19	0,59 **
<b>Volume/tora (m³)</b>	47	0,07	0,04	58,76%	0,04	0,2	0,16	6,34	5,43	0,86 **
<b>Produtividade nominal (m³/h)</b>	47	16,45	3,94	23,95%	8,82	25,74	16,92	0,70	-0,33	0,99 ns
<b>Produtividade efetiva (m³/he)</b>	47	12,06	2,89	23,95%	6,46	18,88	12,42	0,70	-0,32	0,99 ns
Corte Raso - CTL										
<b>Declividade (graus)</b>	147	8,19	6,05	73,87%	0,9	27,7	26,8	4,94	1,32	0,91 **
<b>Distância (m)</b>	147	131,74	73,08	55,47%	32,1	493,7	461,6	6,43	7,95	0,90 **

Tabela 11 - Estatística descritiva para as variáveis declividade, distância, volume por tora, volume por ciclo, produtividade nominal e produtividade efetiva para as operações Primeiro desbaste, Terceiro desbaste, Corte raso em sistema de toras curtas e Corte raso em sistema de árvores inteiras (Conclusão).

Variável	OPERAÇÃO									
	Primeiro Desbaste									
	N	Média	Desv. Pad.	CV (%)	Mínimo	Máximo	Média	Assimetria	Curtose	W
	Corte Raso – FT									
<b>Vol/ciclo(m³)</b>	368	6,84	2,33	34,08%	2,38	14,28	11,9	-0,76	-0,02	0,90 **
<b>Produtividade nominal (m³/h)</b>	365	128,60	51,47	40,02%	28,28	273,45	245,17	3,32	-0,85	0,98 **
<b>Produtividade efetiva (m³/he)</b>	368	72,36	29,81	41,20%	0	155,13	155,13	2,64	-0,55	0,98 **

Legenda: \*significativo a 5 %; \*\*significativo a 1 %; ns: não significativo.

Fonte: Elaborada pela autora, 2016.

A correlação linear de Pearson entre os elementos do ciclo operacional e os fatores de influência pode ser observada nos anexos 18, 19, 20 e 21. A tabela 11 demonstra a correlação linear de Pearson entre os fatores de influência e a produtividade para as operações de primeiro e terceiro desbaste e corte raso em sistema de toras curtas e árvores inteiras.

Tabela 12 - Matriz de coeficientes de correlação linear de Pearson (r) entre os fatores influentes e a produtividade para as operações de primeiro e terceiro desbaste e corte raso em sistema de toras curtas (CTL) e árvores inteiras (FT) (Continua).

Variável	OPERAÇÃO					
	Primeiro Desbaste					
	Prod.	Dist.	Decliv.	Vol/tora	Vol/ciclo	
Produtividade	-	-	-	-	-	
Distância	-0,31 ns	-	-	-	-	
Declividade	-0,40**	-0,01 ns	-	-	-	
Vol/tora	-0,26 ns	-0,07 ns	-0,00 ns	-	-	
Vol/ciclo	0,38*	0,16 ns	-0,04 ns	-0,06 ns	-	
Variável	Terceiro Desbaste					
Produtividade	-	-	-	-	-	
Distância	-0,32 ns	-	-	-	-	

Tabela 13 - Matriz de coeficientes de correlação linear de Pearson (r) entre os fatores influentes e a produtividade para as operações de primeiro e terceiro desbaste e corte raso em sistema de toras curtas (CTL) e árvores inteiras (FT) (Conclusão).

OPERAÇÃO					
Variável	Primeiro Desbaste				
	Prod.	Dist.	Decliv.	Vol/tora	Vol/ciclo
Declividade	-0,10 ns	0,50**	-	-	-
Vol/tora	0,30*	0,10 ns	0,18 ns	-	-
Vol/ciclo	0,75**	0,26 ns	-0,07 ns	0,64**	-
Variável	Corte Raso - CTL				
Produtividade	-	-	-	-	-
Distância	-0,38**	-	-	-	-
Declividade	-0,41**	0,30**	-	-	-
Vol/tora	0,67**	-0,11ns	-0,11ns	-	-
Vol/ciclo	0,67**	0,02ns	-0,06ns	0,52**	-
Variável	Corte Raso - FT				
Produtividade	-	-	-	-	-
Distância	-0,33**	-	-	-	-
Declividade	-0,13*	-0,12*	-	-	-
Vol/ciclo	0,64**	0,04ns	-0,22**	-	-

Legenda: \*significativo a 5 %; \*\*significativo a 1 %; ns: não significativo; Prod: Produtividade; Dist: Distância; Decliv: Declividade; Vol/tora: Volume por tora; Vol/ciclo: Volume por ciclo.

Fonte: Elaborada pela autora, 2016.

Em primeiro desbaste, a declividade influenciou de forma negativa a produtividade, demonstrando mais uma vez que o aumento da declividade possui relação inversa com a produtividade. Apesar do volume médio por tora não apresentar correlação com a produtividade, sabe-se que a mesma tem relação direta da mesma forma que o volume por ciclo, o qual apresentou correlação. Quanto maior o volume a ser baldeado, maior será a produtividade da máquina.

Os fatores de influência distância e declividade influenciaram negativamente a produtividade do *skidder* e do *forwarder* em corte raso, pois quanto maior à distância e a declividade do terreno, menor tende a ser a produtividade da extração. O volume por tora teve

relação direta com a produtividade para o *forwarder*, e o volume por ciclo para ambas as máquinas.

As equações ajustadas para estimativa da produtividade das operações de extração podem ser observadas na tabela 12.

Tabela 14 - Equações ajustadas para a estimativa da produtividade da atividade de extração para as operações de primeiro e terceiro desbaste e corte raso em sistema de toras curtas (CTL) e árvores inteiras (FT).

Operação	Equação	R <sup>2</sup> aj	Syx	Syx (%)	Valor F	N
1º Desbaste	$P_n = 19,95 - 0,01D - 2,44 \sqrt{De} - 15,82 \sqrt{Vt}$	54,24	2,59	23,86	7,51	41
3º Desbaste	$P_n = -6,06 - 0,01D - 14,74 \sqrt{Vt} + 9,98 \sqrt{Vc}$	69,92	2,33	14,16	367,35	47
Corte raso - CTL	$\ln(P_n) = 5,46 - 0,17 \ln D - 0,15 \sqrt{De} + 0,63 \ln Vt$	80,27	8,68	43,64	123,96	145
Corte raso FT	$\ln(P_n) = 3,56 - 0,01D + 0,85 \ln Vc$	67,78	35,60	27,76	200,62	368

Legenda: Pn: Produtividade nominal; D: Distância de extração; De: Declividade; Vt: Volume médio por tora; Vc: Volume médio por ciclo; Ln: logaritmo neperiano; R<sup>2</sup> aj: coeficiente de determinação ajustado; Syx: erro-padrão da estimativa em m<sup>3</sup>/h; N: número de repetições.

Fonte: Elaborada pela autora, 2016.

Nas equações, à distância e volume por tora foram usadas como variáveis explicativas da produtividade, estando presentes nas estimativas para o *forwarder*, além do volume por ciclo em terceiro desbaste, e da declividade em primeiro desbaste e corte raso. Para a estimativa da produtividade do *skidder*, as variáveis utilizadas foram a distância e o volume por ciclo. Embora a distância não tenha apresentado correlação em primeiro e terceiro desbaste (tabela 11), com a eliminação de dados discrepantes, a correlação entre a distância e a produtividade se tornou significativa, fazendo com que esta fosse utilizada como variável explicativa.

Em primeiro desbaste, com a utilização da variável distância, declividade e volume médio por tora, a equação de regressão explicou cerca de 54 % da variação da produtividade do *forwarder*, com um erro padrão da estimativa de 2,56 m<sup>3</sup>/he e percentual de 23,86 %.

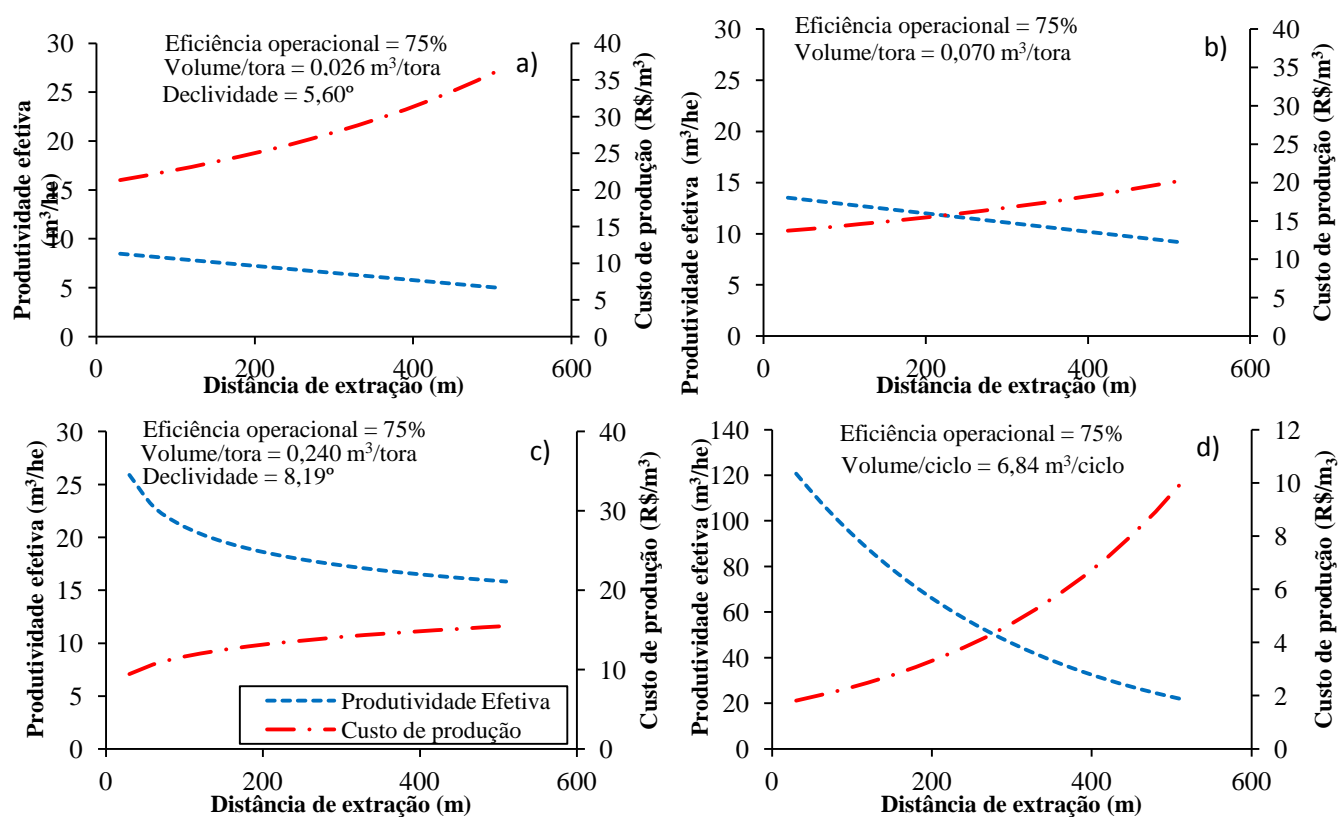
Em terceiro desbaste, o uso da variável distância, volume médio por tora e por ciclo, explicaram cerca de 70% da variação da produtividade da máquina, com um erro de 2,33 m<sup>3</sup>/he e percentual de 14,16 %.

Em corte raso em sistema de toras curtas, as variáveis inseridas na equação explicaram cerca de 80 % da variação da produtividade, com um erro de 8,68 m<sup>3</sup>/he e percentual de 43,64 %. Já em sistema de árvores inteiras, as variáveis na equação explicaram cerca de 68 % da variação da produtividade do *skidder*, com um erro de 35,60 m<sup>3</sup>/he e percentual de 27,76 %.

Aplicando-se as equações, na figura 9 é demonstrada a variação da produtividade e custo de produção em função da distância de extração, onde se pode observar de maneira geral que com o aumento da distância, a produtividade tende a diminuir e o custo de produção a aumentar. O comportamento da variação da produtividade para as operações de desbaste é semelhante. Já quando comparamos as operações de corte raso nos dois sistemas, nota-se uma diminuição mais significativa na produtividade do *skidder* do que no *forwarder*, demonstrando mais uma vez que a distância influencia mais no custo de produção para o *skidder*.

A figura 10 demonstra a variação da produtividade em função da declividade para as operações de primeiro desbaste e corte raso em sistema CTL. O aumento da declividade tem relação inversa com a produtividade, resultando em custos de produção mais elevados, sendo mais expressivo para a operação de primeiro desbaste.

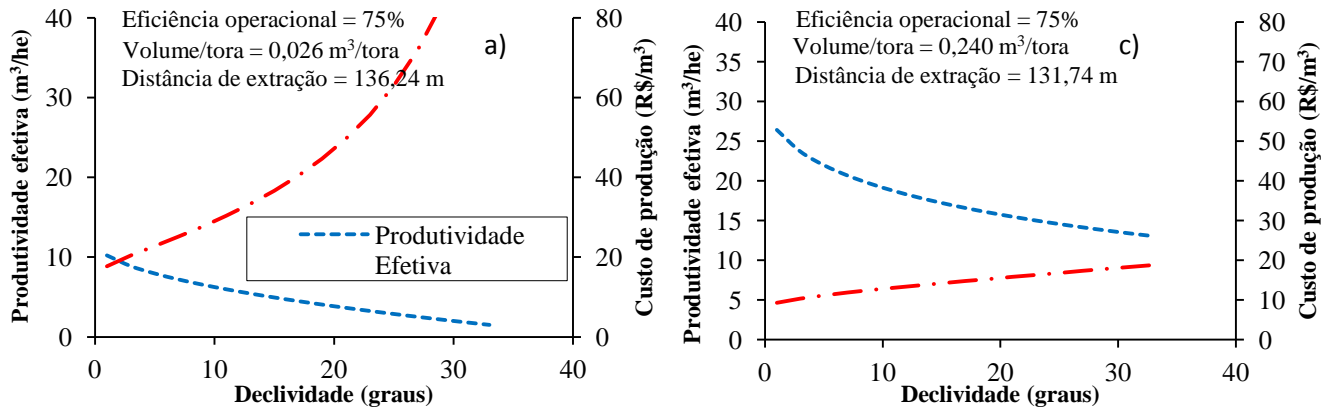
Figura 9 - Variação da produtividade e do custo de produção em função da distância de extração para as operações de (a) Primeiro Desbaste; (b) Terceiro Desbaste; (c) Corte Raso em Sistema de toras curtas; (d) Corte Raso em Sistema de árvores inteiras, considerando a eficiência operacional de 75%, volume por tora, volume por ciclo e a declividade os valores médios de cada operação.



Fonte: Elaborada pela autora, 2016.



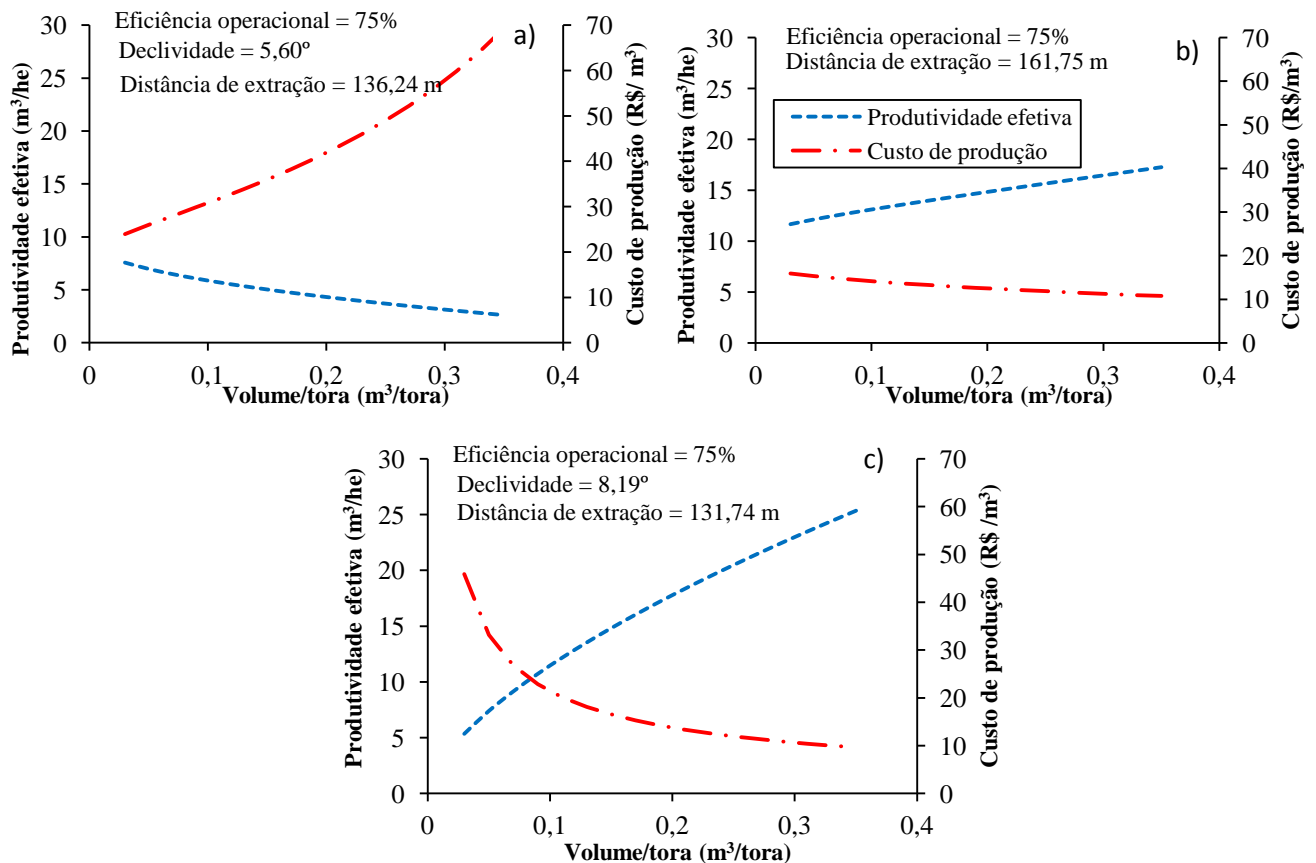
Figura 10 - Variação da produtividade e do custo de produção em função da declividade para as operações de (a) Primeiro Desbaste e (c) Corte Raso em Sistema de toras curtas, considerando a eficiência operacional de 75%, e o volume por tora e distância de extração os valores médios de cada operação.



Fonte: Elaborada pela autora, 2016.

A figura 11 demonstra a variação da produtividade e custo de produção em função das classes de volume por tora.

Figura 11 - Variação da produtividade e do custo de produção em função do volume por tora para as operações de (a) Primeiro Desbaste, (b) Terceiro Desbaste e (c) Corte Raso em Sistema de toras curtas, considerando a eficiência operacional de 75%, declividade e distância de extração os valores médios de cada operação.



Fonte: Elaborada pela autora, 2016.

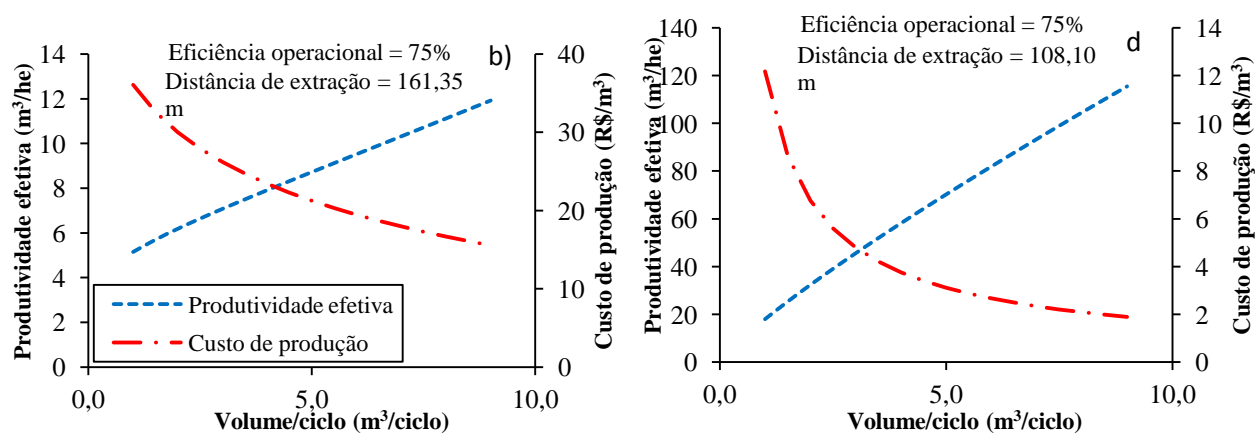
Em primeiro desbaste, a produtividade tendeu a diminuir com o aumento do volume por tora devido a maior necessidade de deslocamentos para carregamento, uma vez que a quantidade de toras de maior dimensão produzidas nessa situação era menor, estando estas distribuídas ao longo do talhão, o que exigia maior tempo do ciclo da máquina, além de que muitas vezes o operador não preenchia totalmente o compartimento de carga, aumentando os custos de produção.

Em terceiro desbaste, a produtividade tendeu a aumentar com o aumento do volume por tora, porém de forma menos representativa que o corte raso. Tal fato deve-se ao volume produzido nesta operação, demandando maior deslocamento da máquina para completar a carga.

Em corte raso em sistema CTL, o aumento do volume por tora foi mais expressivo para a produtividade da máquina, explicado pelo maior volume produzido em corte raso, onde o *forwarder* deslocava em menores distâncias para completar seu compartimento de carga. Além disso, muitas vezes baldeava mais que um tipo de sortimento, o que diminuía os deslocamentos e os tempos do ciclo, aumentando a produtividade.

O volume por ciclo teve relação direta com a produtividade do *forwarder* em terceiro desbaste (figura 12b) e com o *skidder* (figura 12d). Para ambas as máquinas, esse aumento possui correlação positiva com o volume por tora (tabela 11), refletindo em maiores produtividades.

Figura 12 - Variação da produtividade e do custo de produção em função do volume por ciclo para a operação de (b) Terceiro desbaste e (d) Corte Raso em Sistema de árvores inteiras, considerando a eficiência operacional de 75% e distância de extração o valor médio da operação.



Fonte: Elaborada pela autora, 2016.

#### 4.4 CONCLUSÕES

Diante da análise e discussão dos resultados observados conclui-se que:

- A eficiência operacional das máquinas pode ser aumentada a partir de algumas medidas, tais como: treinamento dos operadores, o abastecimento no período de almoço e em trocas de turno; trocas de turno com menores deslocamentos e tempo com a máquina parada; e planejamento eficiente das operações;
- As produtividades das máquinas encontraram-se abaixo dos valores citados em outros trabalhos. O aumento da eficiência de ambas as operações acarretaria em maiores produtividades e, conseqüentemente, menores custos de produção;
- A manobra e carregamento e descarregamento foram os elementos que consumiram o maior percentil de tempo do ciclo efetivo para o *forwarder* enquanto para o *skidder*, foram os elementos viagem vazio e carregados. Tal fato demonstra a importância de considerar a distância de extração na estimativa da produtividade das máquinas, que para o *forwarder*, a maior distância de extração não influencia tanto em sua produtividade, já para o *skidder* sim. Assim, a distância de extração deve ser considerada nos estudos visando a otimização das operações de extração;



## **5 CAPÍTULO II – DENSIDADE ECONOMICAMENTE ÓTIMA E ACEITÁVEL DE ESTRADAS FLORESTAIS EM DESBASTES E CORTE RASO DE *Pinus taeda* L.**

### **5.1 INTRODUÇÃO**

A rede viária é um elemento fundamental na implantação de um empreendimento florestal, pois é utilizada desde a abertura da área para o preparo do solo, servindo também de acesso ao povoamento, para as operações de manejo e proteção florestal. Entretanto, é durante a colheita e o transporte de madeira que ela assume papel de destaque, influenciando significativamente no valor final do produto (ZAGONEL et al. 2008).

As estradas têm recebido muita atenção nos últimos anos devido à sua função sobre as paisagens rurais e florestais e por seu papel na eficiência das operações de extração e transporte florestal (GRIGOLATO et al., 2013). De forma geral, as estradas possuem funções sociais, ambientais e econômicas, sendo o atendimento às demandas das operações de extração e transporte da madeira uma das economicamente mais importantes.

O planejamento da rede viária florestal se dá antes da implantação do povoamento, onde são definidas a densidade de estradas em cada área. Porém, é no microplanejamento que se define quais estradas serão utilizadas e qual será o investimento nas mesmas. A definição do investimento em estradas nesse processo é essencial, visando à otimização dos recursos e o ponto ótimo entre os custos de extração, construção e manutenção de estradas e a perda de área produtiva.

Assim, nesse processo é de grande importância se considerar como serão realizadas as operações de extração da madeira, uma vez que esta etapa da colheita é o principal fator que irá determinar o dimensionamento da densidade de estradas, em função das características e peculiaridades de cada equipamento de extração utilizado, além das características das operações, visando as melhores alternativas econômicas (ZAGONEL et al., 2008).

Entretanto, a utilização da densidade ótima de estradas deve ter ressalvas, pois o emprego da DOE pode ser inviável, principalmente em situações aonde a rede de estradas já foi implantada. Diante disso, uso da densidade aceitável de estradas é uma opção, visando reduzir gastos excedentes e viabilizando as operações.

Dessa forma, o planejamento e manutenção da rede viária devem ser contemplados nos processos estratégicos da logística de produção florestal, pois interfere diretamente no desempenho geral da empresa florestal (GUIMARÃES, 2004).

O objetivo deste capítulo foi determinar o ponto economicamente ótimo e aceitável entre a densidade de estradas em povoamentos florestais de *Pinus taeda* L. em diferentes situações de desbastes e corte raso.

## 5.2 MATERIAL E MÉTODOS

### 5.2.1 Localização das áreas de estudo

O estudo foi realizado nas mesmas áreas que o item 4.2.1.

### 5.2.2 Características operacionais das áreas de estudo

A avaliação da densidade ótima de estradas florestais foi realizada nas mesmas áreas do item 4.2.2.

### 5.2.3 Características técnicas e operacionais das estradas florestais

No presente estudo foram avaliadas áreas onde houve operações de reconstrução e manutenção de estradas florestais, pois não houve operações de construção de estradas, uma vez que a malha viária na empresa já estava consolidada.

A reconstrução é a renovação completa dos padrões de serviço da estrada, tendo como objetivo elevar sua capacidade operacional (BAESSO e GONÇALVES, 2003). Nas situações avaliadas, as estradas foram reconstruídas antes do início das operações de colheita e transporte com intuito de haver estabilização do leito de forma mais efetiva. As atividades realizadas foram à regularização do leito da estrada, revestimento com material, material e transporte de material e o fechamento da área.

Já a manutenção das estradas é o conjunto de operações normalmente executadas uma ou várias vezes no ano, com objetivo de manter todos os elementos da estrada com o mínimo possível de alterações, e com as mesmas características e condições que apresentavam logo após sua reconstrução. Em geral, a manutenção das estradas era realizada durante as operações de colheita e transporte, onde eram retirados sedimentos do leito da estrada (regularização do leito) e realizado o revestimento com material, quando necessário. As atividades realizadas foram à regularização do leito da estrada, revestimento com material, material e transporte de material.

Devido à especificidade do uso e reconstrução das estradas primárias, as avaliações realizadas no presente estudo contemplam somente as estradas florestais secundárias e terciárias.

#### **5.2.4 Determinação da densidade ótima de estradas florestais**

A determinação da (DOE) foi realizada para cada situação operacional avaliada (desbaste e corte raso), sendo utilizado o método indireto, baseado nos trabalhos de FAO (1974), Pereira Neto (1995), Zagonel (2005) e Souza (2011).

Os custos operacionais e a produtividade dos equipamentos utilizados nas operações de estradas foram disponibilizados pela empresa.

#### **5.2.5 Custos com reconstrução**

A partir dos custos operacionais e a produtividade das máquinas foram calculados os custos de produção para a reconstrução das estradas para cada atividade, conforme a fórmula:

$$CP = CO/PR$$

Em que:

*CP = Custo de produção (R\$/m); CO = Custo operacional (R\$/h); PR = Produtividade (m/h);*

O custo de operações de reconstrução de estradas foi calculado pelo somatório dos custos de produção de cada atividade, de acordo com a fórmula:

$$COR = RL + RM + FM + TM + MT$$

Em que:

*COR = Custo de operações de reconstrução (R\$/m); RL = Custo de Regularização do leito (R\$/m); RM = Custo de Revestimento com material (R\$/m); FM = Custo de Fechamento (R\$/m); TM = Custo de Transporte de material (R\$/m); MT = Custo de material (R\$/m);*

Para a determinação do custo de reconstrução total para cada área de estudo, foram obtidos com a empresa as informações de volume total colhido e quantidade de malha viária existente (densidade de estradas), e aplicado a seguinte fórmula:

$$CC = (COR * DE)/V$$

Em que:

$CC$  = Custo de reconstrução de estradas (R\$/m<sup>3</sup>);  $COR$  = Custo de operações de reconstrução (R\$/m);  $DE$  = Densidade de estradas (m/ha);  $V$  = Volume total colhido (m<sup>3</sup>)

Os custos com depreciação de estradas foram calculados com base em Pereira Neto (1995), e apenas para a reconstrução de estradas, que são realizadas sempre que há intervenção nas áreas. Os custos de depreciação correspondem àqueles provenientes de bens que não são consumidos em um ano, ou seja, bens de capital. Estes custos se referem aos custos inerentes do processo natural de desvalorização pelo qual passam os ativos, ao longo de sua vida útil. As causas da existência desses custos são as desvalorizações que ocorrem com o passar do tempo, em razão do uso, ou pela obsolescência tecnológica, com o surgimento de máquinas mais modernas e eficientes (SPEIDEL, 1966 apud ZAGONEL, 2005).

O período de depreciação avaliado considerou os intervalos entre as intervenções de colheita, desbastes e corte raso. Levando em consideração que as intervenções ocorrem nos anos 8 (primeiro desbaste), 13 (segundo desbaste), 18 (terceiro desbaste) e 25 (corte raso), a depreciação considerou os seguintes intervalos de tempo: 5 anos para o primeiro desbaste; 7 anos para o terceiro desbaste; e 8 anos para o corte raso, aplicando-se a fórmula:

$$DP = CC/IT$$

Em que:

$DP$  = Depreciação (R\$/m);  $CC$  = Custo de reconstrução (R\$/m);  $IT$  = Intervalo entre operações (anos);

Machado (2002) cita como custo de oportunidade nos custos de estradas o uso da terra e o custo de capital empregado na reconstrução. Segundo USDA (2001) apud Marcelino (2007), o custo de oportunidade do capital foi calculado de acordo com a fórmula:



$$Coc = ((Vi + Vf)/2) * i$$

Em que:

*Coc = custo anual de oportunidade do capital (R\$/m.ano); Vi = valor de investimento inicial (ou de reconstrução) (R\$/m); Vf = valor final do investimento (R\$/m); i = taxa de juros (4% a.a.).*

Não foi considerado o valor final do investimento (Vf), portanto, a equação utilizada para este estudo segue abaixo:

$$Coc = (Vi/2) * i$$

O custo de reconstrução de estradas foi composto pelo somatório da depreciação e dos custos de oportunidade.

#### **5.2.6 Custos com manutenção**

O custo de operações de manutenção de estradas foi calculado pelo somatório dos custos de produção das atividades, de acordo com a fórmula:

$$COM = RL + RM + TM + MT$$

Em que:

*COM = Custo de operações de manutenção (R\$/m); RL = Custo de Regularização do leito (R\$/m); RM = Custo de Revestimento com material (R\$/m); TM = Custo de Transporte de material (R\$/m); MT = Custo de material (R\$/m);*

O custo total de manutenção de estradas para cada área foi calculado de acordo com a fórmula:

$$CM = (COM * DE)/V$$

Em que:

*CM = Custo de manutenção de estradas (R\$/m³); COM = Custo de operações de manutenção (R\$/m); DE = Densidade de estradas (m/ha); V = Volume total colhido (m³)*

Este custo não foi depreciado, pois se considerou que o mesmo é para aquele período específico.

### 5.2.7 Custo de perda de área produtiva

O custo de perda de área produtiva representa o valor da madeira que seria produzido anualmente nas áreas ocupadas pelas estradas. Para a determinação do custo de perda de área produtiva, foi calculado o custo da terra ocupada pelas estradas e a receita gerada, e posteriormente realizado um fluxo de caixa para a obtenção do valor presente líquido (VPL).

Para os cálculos, utilizou-se as informações obtidas pela empresa de preço da terra (4.861,00/ha), volume por hectare (considerado o volume produzido em cada intervenção no povoamento, 141,00 m<sup>3</sup>/ha para a área 1, 190,00 m<sup>3</sup>/ha para a área 2 e 614,00 m<sup>3</sup>/ha para a área 3) e preço da madeira em pé (40,00 R\$/T para a área 1, 78,90 R\$/T para a área 2 e 177,70 R\$/T para a área 3).

O custo da terra na área com estradas foi obtido pelo produto do preço da terra e a área ocupada pelas estradas:

$$Cte = Pt * Ae$$

Em que:

*Cte: Custo da terra na área com estradas (R\$); Ae: Área ocupada pelas estradas (ha); Pt: Preço da terra (R\$/ha);*

Aplicou-se a seguinte fórmula para o cálculo da receita total na área com estradas:

$$Rte = Ae * V * Pme$$

Em que:

*Rte: Receita total na área com estradas (R\$); Ae: Área ocupada pelas estradas (ha); V: Volume de madeira (m<sup>3</sup>/ha); Pme: Preço da madeira em pé (R\$/T);*

Para a obtenção do custo anual de perda de área de produção, foi realizado um fluxo de caixa, considerando como custo de implantação do povoamento no ano 1 o custo da terra, e como receitas as obtidas nas áreas ocupadas com estradas nos anos de intervenção 8, 13, 18 e 25.

Depois de realizado o fluxo de caixa, obteve-se o valor presente líquido total da perda de área produtiva, utilizando uma taxa de juros de 4% (utilizado pela empresa). Para a transformação na unidade requerida (R\$/m<sup>3</sup>), dividiu-se o valor pelo volume total a ser colhido em cada área.

#### **5.2.8 Custo de extração**

O custo de extração foi calculado conforme o capítulo I, sendo simuladas diferentes distâncias de extração para equivalentes densidades de estradas, estimando-se a produtividade por meio das equações ajustadas para cada máquina de extração. Para os demais fatores influentes que participavam das equações de estimativa da produtividade, foram considerados valores médios.

#### **5.2.9 Densidade ótima de estradas**

O custo total de estradas foi calculado pelo somatório dos custos com reconstrução, manutenção, extração e perda de área produtiva.

$$CTE = CC + CM + C_{ext} + C_{pap}$$

Em que:

*CTE = Custo total de estradas (R\$/m<sup>3</sup>); CC = Custos de reconstrução (R\$/m<sup>3</sup>); CM = Custos de manutenção (R\$/m<sup>3</sup>); C<sub>ext</sub> = Custos de extração (R\$/m<sup>3</sup>); C<sub>pap</sub> = Custos de perda de área produtiva (R\$/m<sup>3</sup>);*

A densidade ótima de estradas florestais foi determinada por meio da determinação do custo total mínimo de estradas, obtidos por meio de um gráfico.

#### **5.2.10 Densidade aceitável de estradas**

Para o cálculo da DAE foi utilizado a metodologia apresentada por Malinovski (2013), utilizando um percentual de 2% acima do custo total mínimo, onde os custos de reconstrução e manutenção, extração e perda de área produtiva, também variaram em função do custo total.

### 5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os custos atuais, ótimo e aceitável de produção de reconstrução e manutenção de estradas, de extração, e de perda de área produtiva para as quatro operações estão descritas na tabela 13. O custo de produção total em primeiro desbaste foi de 27,27 R\$/m<sup>3</sup>, em terceiro desbaste de 32,45 R\$/m<sup>3</sup>, em corte raso CTL de 20,54 R\$/m<sup>3</sup> e em sistema de árvores inteiras de 13,12 R\$/m<sup>3</sup>.

Tabela 15 - Custos de produção de reconstrução e manutenção de estradas, de extração e de perda de área produtiva para os valores atuais, ótimos e aceitáveis de densidade de estradas, distância média de extração e espaçamento entre estradas em primeiro e terceiro desbaste e corte raso em sistema de toras curtas e árvores inteiras.

Variáveis	Custo de produção atual (R\$/m <sup>3</sup> )			
	1º Desbaste	3º Desbaste	Corte raso - CTL	Corte raso - FT
CC	1,48	7,61	0,71	0,71
CM	1,67	4,88	3,06	3,06
Cext	17,22	10,60	8,13	1,53
Cpap	6,20	8,75	7,57	7,57
<b>CT</b>	<b>26,57</b>	<b>31,84</b>	<b>19,47</b>	<b>12,87</b>
DE (m/ha)	45,28	95,08	92,02	92,02
DME (m)	93,60	82,08	64,56	64,56
EE (m)	220,86	105,18	108,67	108,67
Variáveis	Custo de produção ótimo (R\$/m <sup>3</sup> )			
	1º Desbaste	3º Desbaste	Corte raso - CTL	Corte raso - FT
CC	0,66	1,33	0,12	0,18
CM	0,74	0,85	0,52	0,76
Cext	19,30	11,09	11,07	3,07
Cpap	2,76	1,53	1,29	1,88
<b>CT</b>	<b>23,47</b>	<b>14,80</b>	<b>12,99</b>	<b>5,88</b>
DOE (m/ha)	20,18	16,60	15,63	22,85
DMOE (m)	210,00	470,00	380,00	260,00
EOE (m)	495,49	602,28	639,65	437,65
Variáveis	Custo de produção aceitável (R\$/m <sup>3</sup> )			
	1º Desbaste	3º Desbaste	Corte raso - CTL	Corte raso - FT
CC	0,92	1,73	0,19	0,21
CM	1,04	1,11	0,82	0,90
Cext	18,17	10,28	10,22	2,66
Cpap	3,87	1,99	2,04	2,22
<b>CT</b>	<b>24,00</b>	<b>15,12</b>	<b>13,27</b>	<b>5,99</b>
DAE (m/ha)	28,26	21,68	24,75	27,00
DMAE (m)	150,00	360,00	240,00	220,00
EAE (m)	353,92	461,32	403,99	370,32

Legenda: CC: Custo de Reconstrução; CM: Custo de manutenção; Cext: Custo de extração; Cpap: Custo de perda de área produtiva; CT: Custo total; DE: Densidade de estradas; DME: Distância média de extração; EE: Espaçamento entre estradas; DOE: Densidade ótima de estradas; DMOE: Distância média ótima de extração; EOE: Espaçamento ótimo entre estradas; DAE: Densidade aceitável de estradas; DMAE: Distância média aceitável de extração; EAE: Espaçamento aceitável entre estradas.

Fonte: Elaborada pela autora, 2016.

Comparando a densidade de estradas, observa-se que o primeiro desbaste teve a menor densidade de estradas (DE) 45,28 m/ha e uma distância de extração (DME) de 136,24 metros. A DE em terceiro desbaste foi de 95,08 m/ha, e DME de 161,75 m. Em corte raso a DE atual era de 92,02, e a DME em sistema CTL de 131,74 m e em sistema FT 108,10 m.

A DE e espaçamento entre estradas (EE) das operações de corte raso CTL e FT foram as mesmas, pois foram analisadas na mesma área. A DME para o corte raso CTL foi de 131,74 m, já para o sistema FT foi de 108,10 m. O custo de produção do sistema de toras curtas foi em torno de 40% maior que em sistema de árvores inteiras, ocasionado pelo maior custo de extração do *forwarder* em relação ao *skidder*.

A DOE para o primeiro desbaste foi de 25,70 m/ha e a sua utilização reduziria aproximadamente 2,05 R\$/m<sup>3</sup> de madeira produzida. A distância média de extração passaria de 136,24 m para 240 m. Em terceiro desbaste, a DOE foi de 26,07 m/ha reduzindo cerca de 14,49 R\$/m<sup>3</sup> de madeira produzida. A DMOE foi de 590 m, porém, o uso dessa distância dificultaria a operação, devido às condições de declividade e acesso as áreas, além da diminuição da produtividade da máquina.

Em corte raso em sistema CTL o custo de produção foi de 14,48 R\$/m<sup>3</sup> e DOE de 20,55 m/ha. A economia na produção de madeira com a utilização da DOE seria de 6,06 R\$/m<sup>3</sup>. A DMOE é 4,5 vezes maior, gerando um aumento de 23 % no custo de extração. Há de se fazer uma ressalva quanto à utilização dessa distância de extração, pois a mesma tende a diminuir a produtividade da máquina e dificultar a operação. Em corte raso em sistema FT, o custo de produção foi de 7,61 R\$/m<sup>3</sup> e DOE de 32,09 m/ha, o emprego da DOE reduziria em 5,51 R\$/m<sup>3</sup> de madeira produzida. Esta distância de extração acarreta em dificuldades operacionais, visto que o aumento desta variável afeta mais a operação do *skidder* que do *forwarder*.

Entre as operações de desbastes, a DOE foi semelhante para ambas às situações. O custo de produção do primeiro desbaste foi superior ao terceiro desbaste, o que pode ser explicado pelo alto custo de extração, que representa cerca de 80 % do custo de produção, pois, em primeiro desbaste, a produtividade da máquina é menor, acarretando em maiores custos de produção.

Observa-se que a DOE para o corte raso em sistema FT é superior ao sistema CTL, pois o *skidder* é mais influenciado pelo aumento da distância de extração que o *forwarder*, o que impacta na maior quantidade de estradas necessárias para a extração. O custo total de produção do corte raso em sistema FT foi 47 % menor que o custo do sistema CTL, já a densidade de estradas foi 36 % maior. Cabe salientar, que apesar dos custos de extração do

*skidder* serem menor que do *forwarder*, a comparação é somente para a operação de extração, não levando em consideração o corte e o processamento.

Comparando os dois sistemas de forma geral, apesar de possuir os maiores custos de extração, o sistema CTL possui vantagens em relação ao FT tais como: menor custo total de produção; menor quantidade de pessoas, devido a menor quantidade de máquinas; logística das operações, mais fácil movimentar duas máquinas; menor impacto ao solo; possibilidade de carregamento de caminhões; possibilidade de realização de desbastes; entre outros. Já o sistema FT possui maior capacidade produtiva; maior facilidade de trabalhar em árvores de maior dimensão; possibilidade de utilização dos resíduos para biomassa; entre outros.

A DAE para o primeiro desbaste foi de 1,50 R\$/m<sup>3</sup>, 14,12 R\$/m<sup>3</sup> para o terceiro desbaste, 5,76 R\$/m<sup>3</sup> para o corte raso em sistema CTL e 5,35 R\$/m<sup>3</sup> para o sistema FT.

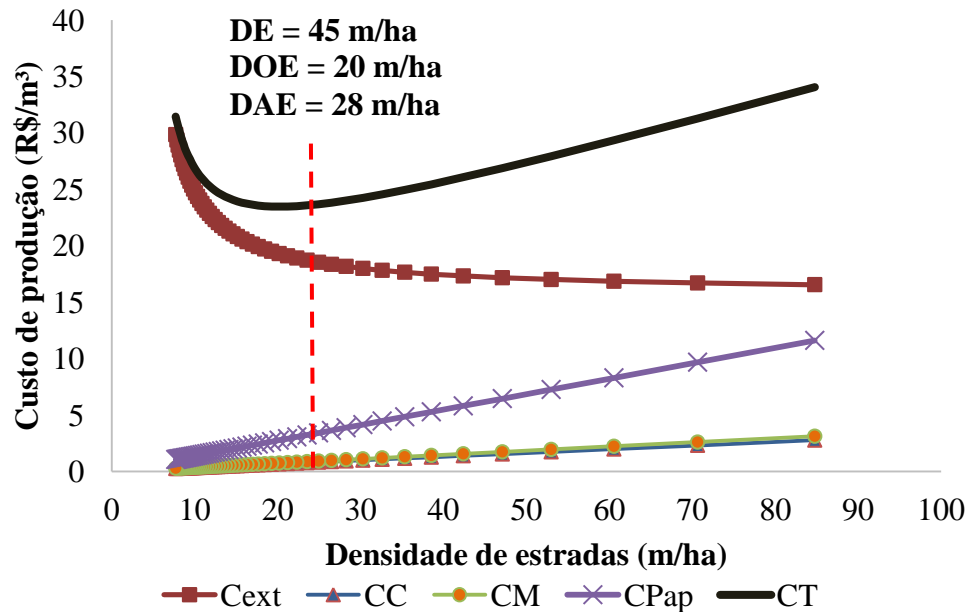
A utilização da DAE resultou em valores mais coesos de distância média de extração, sendo de 320 m para o primeiro desbaste, 480 m para o terceiro desbaste, 430 m para o corte raso em sistema CTL e 260 m para o sistema FT. Embora os valores de distância de extração tenham reduzido a valores mais condizentes com a realidade, a extração em distâncias acima de 300 m para o *forwarder* e acima de 150 m para o *skidder*, impactam na redução da produtividade e aumento dos custos.

A figura 13 representa a variação do custo de reconstrução, custo de manutenção, custo de extração, perda de área produtiva e custo total em função da densidade de estradas para o primeiro desbaste.

Em primeiro desbaste a densidade ótima de estradas foi de 20 m/ha, reduzindo cerca de 55 % a densidade de estradas atual e aproximadamente 12 % o custo de produção. A densidade aceitável de estradas foi de 28 m/ha, reduzindo cerca de 38 % a densidade atual de estradas e em torno de 10 % o custo de produção.

Em operações de terceiro desbaste a DOE foi de 16 m/ha e a DAE de 22 m/ha (figura 14). A redução da quantidade de estradas com a utilização da DOE seria de 83%, o que acarretaria na diminuição de 17,04 R\$/m<sup>3</sup> de madeira produzida nesta operação. Já com a DAE, a redução seria de 77 % na densidade de estradas e um custo de 16,72 R\$/m<sup>3</sup>.

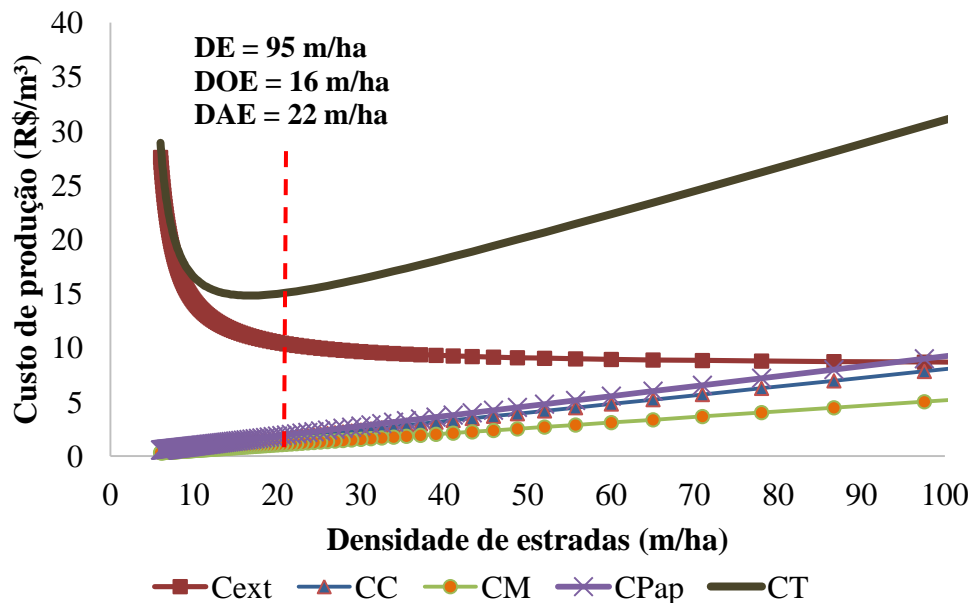
Figura 13 - Relação entre a densidade de estradas e os custos de reconstrução e manutenção de estradas, custos de extração e perda de área produtiva para o primeiro desbaste.



Legenda: DE: Densidade atual de estradas; DOE: Densidade ótima de estradas; DAE: Densidade aceitável de estradas; Cext: Custo de extração; CC: Custo de reconstrução; CM: Custo de manutenção; Pap: Custo de perda de área produtiva

Fonte: Elaborada pela autora, 2016.

Figura 14 - Relação entre a densidade de estradas e os custos de reconstrução e manutenção de estradas, custos de extração e perda de área produtiva para o terceiro desbaste.

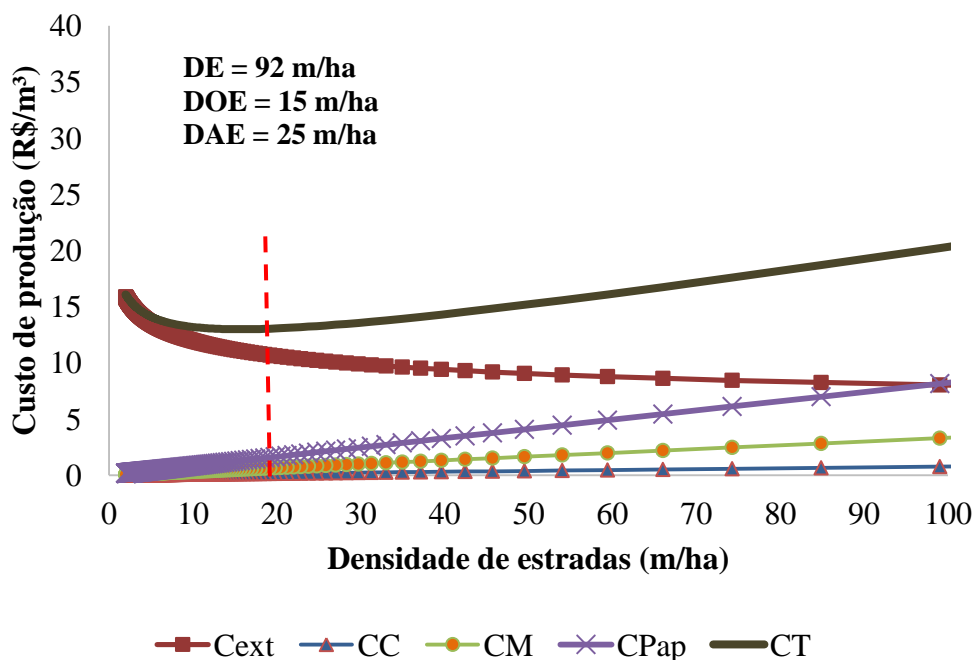


Fonte: Elaborada pela autora, 2016.

A DOE em corte raso em sistema de toras curtas (figura 15) foi 83 % menor que a DE atual da área. A densidade ótima de estradas encontrada foi de 15 m/ha e a aceitável de 25

m/ha. Com a utilização da DOE, haveria uma redução de 76 m/ha de estradas nesta área, resultando na economia de 6,47 R\$/m<sup>3</sup> de madeira produzida. Já com a DAE, a redução seria de 67 m/ha e 6,20 R\$/m<sup>3</sup>.

Figura 15 - Relação entre a densidade de estradas e os custos de reconstrução e manutenção de estradas, custos de extração e perda de área produtiva para o corte raso em sistema de toras curtas.



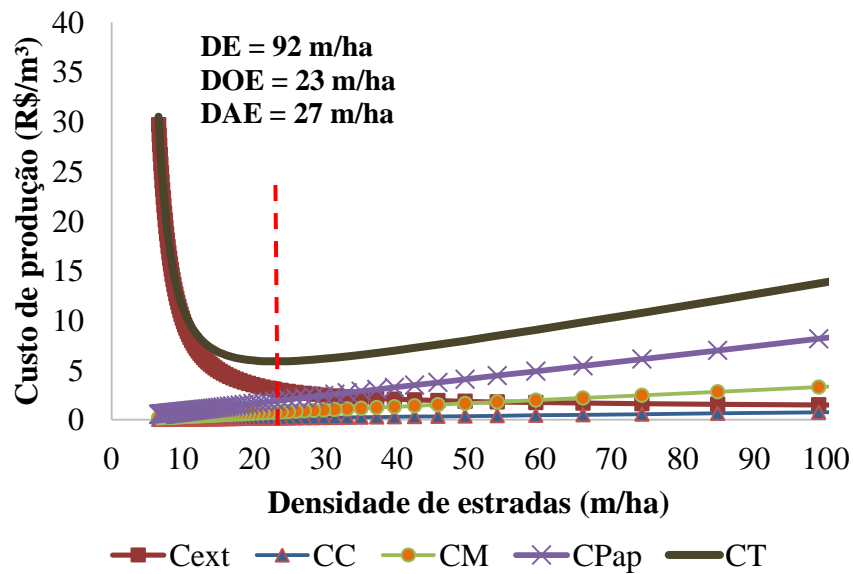
Fonte: Elaborada pela autora, 2016.

A DOE em corte raso em sistema de árvores inteiras (figura 16) foi de 23 m/ha, com esta densidade, haveria uma redução de 75 % na quantidade de estradas, gerando uma economia de 6,99 R\$/m<sup>3</sup>. Já a densidade aceitável de estradas foi de 27 m/ha, e custo de produção de 5,99 R\$/m<sup>3</sup>.

A quantidade de estradas para operações de corte raso em sistema de toras curtas é inferior ao de árvores inteiras. O *skidder* é mais influenciado pela distância de extração que o *forwarder*, necessitando de maior quantidade de estradas para realizar a extração. A DOE para o sistema FT foi 43% maior que em sistema CTL.



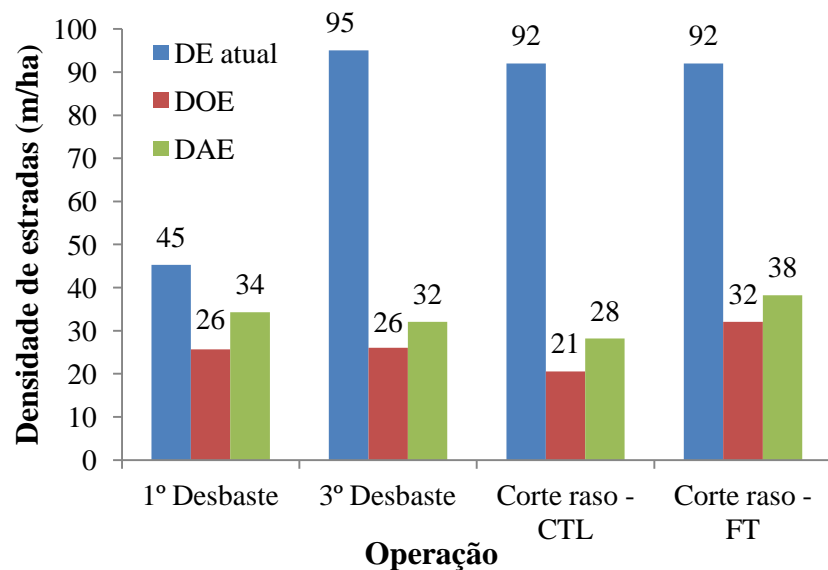
Figura 16 - Relação entre a densidade de estradas e os custos de reconstrução e manutenção de estradas, custos de extração e perda de área produtiva para o corte raso em sistema de árvores inteiras.



Fonte: Elaborada pela autora, 2016.

A figura 17 representa a relação entre a densidade de estradas atual, a densidade ótima e a aceitável.

Figura 17 - Relação entre a densidade de estradas atual e a densidade ótima de estradas para operações de primeiro e terceiro desbaste e corte raso em sistema de toras curtas e árvores inteiras.



Fonte: Elaborada pela autora, 2016.

Observa-se que em todas as operações, a DE atual é superior à ótima e à aceitável. Assim, recomenda-se rever o planejamento das operações visando à redução das estradas

excedentes. Chegar à densidade ótima muitas vezes é difícil, pois a condição da área e das operações às vezes não permite, sobretudo, devido à malha viária estar consolidada e também devido à alta onerosidade para custo de construção de novas estradas. Se não for possível utilizar a DOE, sugere-se o uso da DAE, uma vez que neste ponto a variação no custo total de produção será de somente 2 %.

De acordo com Zagonel (2005), a otimização da rede viária é uma alternativa estratégica importante para a redução nos custos de produção de matéria prima, investimentos em construção e manutenção de estradas e perda de áreas de efetivo plantio.

A construção de novas estradas visando a DOE ou a DAE durante o manejo pode ser inviável, pois há necessidade do corte das árvores para a abertura das estradas, o que foge do planejamento da colheita e de venda da madeira. Uma alternativa seria a readequação das estradas no momento do corte raso, assim, não são necessárias grandes mudanças durante as operações.

### 5.3 CONCLUSÕES

Neste capítulo, de acordo com as análises e discussão dos resultados, as principais conclusões foram:

- A densidade ótima de estradas foi próxima para as duas situações de desbastes, já para o corte raso, o sistema de toras curtas obteve uma densidade menor quando comparado ao sistema de árvores inteiras;
- O aumento da quantidade de estradas em um povoamento acarreta em menores custos de extração, pois a máquina percorre distâncias menores para completar seu ciclo operacional. Já os custos com reconstrução, manutenção e perda de área produtiva aumentam, pois há mais estradas para realizar a manutenção e menos área de efetivo plantio.
- A utilização da DOE e DAE reduz os custos totais de produção de madeira, porém deve ser utilizada com ressalvas visto que as mesmas são determinadas somente de maneira econômica, sem considerar as variáveis operacionais, ocasionando em situações difíceis de serem realizadas a campo;
- Recomenda-se o replanejamento das operações visando reduzir a quantidade de estradas existentes diminuindo assim os custos totais de produção.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nas análises e resultados dos dois capítulos conduzidos neste trabalho, são tecidas as seguintes considerações:

- A diminuição dos tempos improdutivos (interrupções e paradas do operador) podem melhorar a eficiência das máquinas de extração em ambas as operações e sistemas, aumentando a produtividade e diminuindo o custo de produção;

- As equações ajustadas devem ser utilizadas com ressalva, utilizando-as em situações semelhantes ao estudo;

- Em desbastes, a densidade ótima de estradas foi próxima, porém a distância média de extração foi maior para o terceiro desbaste. Em terceiro desbaste o volume produzido é maior que em primeiro desbaste, e a extração em maiores distâncias não impactará em sua produtividade, pois os feixes de toras estarão mais próximos, aumentando a produtividade;

- Comparando as máquinas avaliadas na operação de corte raso neste estudo, *forwarder* e *skidder*, este passa a maior parte do seu ciclo operacional em deslocamentos, sendo mais sensível ao aumento da distância de extração, necessitando de maior quantidade de estradas para a extração. Já o *forwarder* passa a maior parte do seu ciclo em carregamentos e descarregamentos, não sendo tão influenciado pela distância de extração e, consequentemente, necessitando de menor quantidade de estradas;

- Deve-se fazer um replanejamento de ambas as áreas buscando uma malha viária dentro da densidade aceitável, resultando em menores custos e maiores receitas à empresa.

- Há poucos estudos sobre as operações de colheita e densidade de estradas em sistema de toras curtas para povoamentos de *Pinus taeda* L. manejados para uso múltiplo, o que dificulta a discussão dos dados.

- Esta pesquisa permitiu a obtenção de vários resultados que nortearão novos estudos, porém, algumas questões poderiam ser estudadas, tais como: avaliar a densidade de estradas para outras situações de manejo; avaliar de forma mais incisiva a influência da declividade na densidade de estradas; definir, por meio de programas de sistemas de informações geográficas, a rota ótima para se construir uma estrada.



## 7 REFERÊNCIAS

ABDI, E. et al. A GIS-MCE based model for forest road planning. **Journal of Forest Science**, v. 55, n. 4, p. 171-176, 2009.

ABELI, W. S. et al. Road alignment and gradient issues in the maintenance of logging roads in Tanzania. **Journal of Forest Engineering**, v. 11, n. 2, p. 15-20, 2000.

A=LVES, G. C. et al. Desempenho do *skidder* em três condições de relevo na extração de madeira. **Enciclopédia biosfera**, v. 10, n. 19, p. 732-742, 2014.

ALVAREZ et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v.22, n. 6, p. 711-728, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE – ABIMCI. **Estudo Setorial 2007: Indústria de Madeira Processada Mecanicamente**. 2007. Disponível em: <<http://www.abimci.com.br/wp-content/uploads/2014/02/2007.pdf>>. Acesso em: 28 ago. 2016.

ARCE, J. E.; MACDONAGH, P.; FRIEDL, R. A. Geração de padrões ótimos de corte através de algoritmos de traçamento aplicados a fustes individuais. **Revista Árvore**, v. 28, n. 2, p. 383-391, 2004.

BAESSO, D. P.; GONÇALVES, F. L. **Estradas rurais: Técnicas adequadas de manutenção**. Florianópolis: DER, 2003. 236 p.

BANTEL, C. A. **Estudo de diferentes sistemas de colheita de *Eucalyptus* spp em área montanhosa**. 2010. 166 f. Tese (Doutorado em agronomia) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu, 2010.

BAVAGHAR, M. P. Comprehensive productivity models for tracked and wheeled skidders in the Hyrcanian Forest of Iran. **Research Journal of Forest**, v. 4, n. 2, p. 65-71, 2010.

BERTIN, V. A. S. **Análise de dois modais de sistemas de colheita mecanizados de eucalipto em 1ª rotação**. 2010. 82 f. Dissertação (Mestrado em agronomia) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu, 2010.

BIRRO, M. H. B. et al. Avaliação técnica e econômica da extração de madeira de eucalipto com “*track-skidder*” em região montanhosa. **Revista Árvore**, v. 28, n. 2, p. 207-217, 2002.

BRAZ, E. M. Otimização da rede de estradas secundárias em projetos de manejo sustentável de floresta tropical. **Circular técnica Embrapa**, Rio Branco, n. 15, 1997. 36 p.

BRAZ, E. M. et al. Plano de exploração sob critérios de manejo florestal de baixo impacto. **Circular técnica Embrapa**, Rio Branco, n. 27, 1998. 20 p.

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

CABRAL, O. M. **Avaliação operacional da colheita de madeira em desbastes de *Pinus taeda* L.**. 2014. 111 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Estadual do Centro-Oeste, Irati, 2014.

CAMPOS, R. F. **Avaliação da densidade de estradas em propriedades rurais no sul do ES**. 2014. 33 f. Monografia – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2014.

CANTO, J. L. **Diagnóstico da colheita e transporte florestal em propriedades rurais fomentadas no estado do Espírito Santo**. 2006. 128 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2006.

CARMO, F. C. A. **Análise operacional da colheita florestal no sul da Bahia**. 2013. 50 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal do Espírito Santo, Espírito Santo, 2013.

CARMO, F. C. A. et al. Análise da densidade ótima de estradas florestais em propriedades rurais. **Cerne**, v. 19, n. 3, p. 451-459, 2013.

CASTRO, G. P. **Estudo, revisão e discussão de conceitos e temas abordados na colheita florestal mecanizada**. 2011. 107 f. Monografia – Faculdade Jaguariáiva, Jaguariáiva, 2011.

CECHIN, N. F. **Análise da eficiência e do desempenho operacional das máquinas e dos equipamentos utilizados no corte raso de povoamentos florestais na região do planalto norte de Santa Catarina**. 2000. 136 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000.

CORDEIRO, L. Sistema de prevenção e controle de incêndios florestais na Klabin Paraná. In: WORKSHOP INCÊNDIOS FLORESTAIS: Ações da iniciativa privada e do Setor Público, 2000, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: SIF, 2000. p. 1-24.

CORRÊA, C. M. C. **Perdas de solo e a qualidade da água procedente de estrada de uso florestal no planalto catarinense**. 2005. 158 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

CORRÊA, C. M. C.; MALINOVSKI, J. R.; ROLOFF, G. Bases para planejamento de rede viária em reflorestamento no sul do Brasil. **Floresta**, v. 36, n. 2, p. 169-182, 2006.

DEAN, D. J. Finding optimal routes for networks of harvest site access roads using GIS-based techniques. **Canadian Journal of Forest Resources**, v. 27, n. 1, p. 11-22, 1997.

DINIZ, C. C. C.; LOPES, E. S. Extração de madeira de diferentes sortimentos com o trator florestal *forwarder* sob regime de desbaste. In: SEMINÁRIO DE ATUALIZAÇÃO SOBRE SISTEMAS DE COLHEITA DE MADEIRA E TRANSPORTE FLORESTAL, 7., 2014, Curitiba. **Anais...** Curitiba: FUPEF, 2014. p. 106-108.

DRAPER, N. R.; SMITH, H. **Applied regression analysis**. 2. ed. New York: JOHN AND WILEY, 1981. 407 p.

DUARTE, R. C. G. **Sistemas de corte florestal mecanizado**. 1994. 21 p. Monografia – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1994.

EMBRAPA. **Serviço nacional de levantamentos de solo**. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Brasília: EMBRAPA Solos, 1999. 412 p.

ENACHE, A. et al. An integrative decision support tool for assessing forest road options in a Mountainous Region in Romania. **Croatian Journal of Forest Engineering**, v. 34, n. 1, p. 43-60, 2013.

FANNIN, R. J.; LORBACH, J. **Guide to forest road engineering in mountainous terrain**. Rome: Food and Agriculture organization of the United Nations, 2007.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS – FAO. **Manual of forest inventory, with special reference to mixed tropical forest**. Roma, 1974. 207 p.

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

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

GHAFFARIYAN, M. R. Evaluating the machine utilisation rate of *harvester* and *forwarder* using on-board computers in Southern Tasmania (Australia). **Journal of Forest Engineering**, v. 61, n. 7, p. 277-281, 2000.

GRIGOLATO, S.; PELLEGRINI, M.; CAVALLI, R.; Temporal analysis of the traffic loads on forest road networks. **Iforest**, v. 6, p. 255-261, 2013.

GUIMARÃES, H. S. A logística como fator decisivo das operações de colheita e transporte florestal. In: SEMINÁRIO DE ATUALIZAÇÃO SOBRE SISTEMAS DE COLHEITA E TRANSPORTE FLORESTAL, 13., 2004, Curitiba. **Anais...** Curitiba: UFPR, 2004.

HAYATI, E.; MAJNOUNIAN, B.; ABDI, E. Qualitative evaluation and optimization of forest road network to minimize total costs and environmental impacts. **Iforest**, v. 5, p. 121-125, 2012.

HEINIMANN, H. R. A computer model to differentiate skidder and cable yarder based road network concepts on steep slopes. **Journal of Forest Research**, v. 3, p. 1-9, 1998.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Dados e estatísticas**. 2016. Disponível em: <<http://iba.org/pt/dados-e-estatisticas>>. Acesso em: 07 nov. 2016.

JACOVINE, L. A. G. et al. Avaliação da qualidade operacional em cinco subsistemas de colheita florestal. **Revista Árvore**, v. 29, n. 3, p. 391-400, 2005.

JOURGHOLAMI, M.; ABDI, E.; CHUNG, W.; Decision making in forest road planning considering both skidding and road costs: a case study in the Hyrcanian Forest ai Iran. **Iforest**, v. 6, p. 59-64, 2013.

KELLER, G.; SHERAR, J. **Engenharia de estradas de baixo volume de tráfego**: Manual de campo para as melhores práticas de gestão em estradas de baixo volume de tráfego. Washington, DC: Serviço Florestal USDA e Instituto Politécnico da Virginia para USAID. 2010. 183 p.



KIRBY, M.; HAGER, W.; WONG, W. Simultaneous planning of woodland management and transportation alternatives. **TIMS Studies in the Management Sciences**, v. 21, n. 1, p. 371-387, 1986.

KYHMAIER, M.; STAMPFER, K. Development of a multi-attribute spatial decision support system in selecting timber harvesting systems. **Croatian Journal of Forest Engineering**, v. 31, n. 2, p. 75-88, 2010.

LEDOUX, C. B. **Mechanized systems for harvesting eastern hardwoods**. Newtown Square: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northern Research Station, 2010. 13 p.

LEITE, E. S.; et al. Modelagem do desempenho da extração de madeira com pelo “forwarder”. **Revista Árvore**, v. 38, n. 5, p. 879-887, 2014.

LINHARES, M. et al. Eficiência e desempenho operacional de máquinas *harvester* e *forwarder* na colheita florestal. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 42, n. 2, p. 212-219, 2012.

LOPES, E. S. **Aplicação do programa SNAP III (*Scheduling and Network Analysis Program*) no planejamento da colheita e do transporte florestal**. 2001. 156 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001.

LOPES, S. E. Avaliação técnica e econômica de um “*skidder*” operando em diferentes produtividades e distâncias de extração. **Ciências e Agrotecnologia**, v. 33, n. 6, p. 1621-1626, 2009.

LOPES, E. S.; et al. Análise técnica e de custos do *harvester* e *forwarder* em um povoamento de eucalipto. **Enciclopédia biosfera**, v. 11, n. 21, p. 159-174, 2015.

LOPES, E. S.; MACHADO, C. C.; SOUZA, A. P. Classificação e custos de estradas em florestas plantadas na região sudeste do Brasil. **Revista Árvore**, v. 26, n. 3, p. 329-338, 2002.

LOPES, S. E. et al. Avaliação técnica e econômica de uma garra traçadora operando em diferentes produtividades. **Scientia Forestalis**, v. 36, n. 79, p. 215-222, 2008.

MAC DONAGH, P. M. **Avaliação técnico-econômica da extração de *Pinus* spp. utilizando tratores com garra no sul do Brasil**. 1994. 156 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1994.

MACHADO, C. C. **Exploração Florestal - V Parte**. Viçosa: UFV, 1985. 138 p.

MACHADO, C. C. **Sistema brasileiro de classificação de estradas florestais (SIBRACEF)**: Desenvolvimento e relação com o meio de transporte florestal rodoviário. 1989. 213 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1989.

MACHADO, C. C. **Construção e conservação de estradas rurais e florestais**. Viçosa: UFV, 2013. 441 p.

MACHADO, C. C.; MALINOVSKI, J. R. **Rede viária florestal**. Curitiba: FUPEF, 1986. 156 p.

MACHADO, C. C.; LOPES, E. S.; BIRRO, M. H. B. **Elementos básicos do transporte florestal rodoviário**. Viçosa: UFV, 2000. 167 p.

MACHADO, C. C.; PEREIRA, R. S.; SANT'ANNA, G. L. Estradas florestais: o fator determinante do transporte rodoviário florestal. **Revista da Madeira**, v. 74, 2003. Disponível em: <[www.remade.com.br](http://www.remade.com.br)>. Acesso em 14: de fev. 2016.

MACHADO, C. C.; SILVA, E. N.; PEREIRA, S. R.; CASTRO, G. P.; O setor florestal brasileiro e a colheita florestal. In: MACHADO, C. C. **Colheita florestal**. Viçosa: UFV, 2014. p. 15-45.

MADERNA, J. G. **Interrelações da rede viária florestal**. Curitiba: [s.n.], 2002. Exame de qualificação Curso de Pós Graduação em Engenharia Florestal da UFPR, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.

MALINOVSKI, J. R. et al. Sistemas. In: MACHADO, C. C. **Colheita florestal**. Viçosa: UFV, 2014. p. 178-205.

MALINOVSKI, J. R. **Meeting on harvesting, transport, ergonomics and safety in plantation forestry**. Texas: Universidade do Texas, 1987. 425 p.

MALINOVSKI, R. A. Densidade de estradas. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE INFRAESTRUTURA FLORESTAL, 1., 2013, Curitiba. **Anais...** Curitiba, 2013.

MALINOVSKI, R. A. **Programa computacional de simulação para análises de sistemas de colheita de madeira**. 1999. 152 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1999.

MALINOVSKI, R. A. **Modelo matemático para otimização dos custos operacionais de transporte de toras com base na qualidade de estradas**. 2010. 180 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

MALINOVSKI, J. R.; PERDONCINI, W. C. **Estradas Florestais**. Irati: Publicação Técnica do Colégio de Irati, 1990. 100 p.

MALINOVSKI, R. A. et al. 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**, v. 36, n. 2, p. 169-182, 2006.

MARCELINO, F. A. **Avaliação dos sistemas de redes viárias florestais em função dos custos e do risco de erosão**. 2007. 142 f. Tese (Doutorado em agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2007.

MARTINS, E. **Contabilidade de custos**. São Paulo: Atlas, 1995. 312 p.

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

MINETTE, L. J. Avaliação técnica da operação de extração de *Eucalyptus* spp. Utilizando o trator autocarregável e o trator florestal transportador "*forwarder*" na região sul da Bahia. **Engenharia na Agricultura**, v. 16, n. 3, p. 312-317, 2008.

MINETTE, L. J. et al. Análise técnica e econômica do *forwarder* em três subsistemas de colheita de florestas de eucalipto. **Revista Árvore**, v. 28, n. 1, p. 91-97, 2004.

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

MOUSAVI, R. et al. Evaluation of full tree skidding by HSM-904 *skidder* in patch cutting of aspen plantation in Northern Iran. **Journal of Forest Engineering**, v. 58, n. 2, p. 79-87, 2012.

MURTHY, A. R. Selection of least cost paths for extraction of forest produce using remote sensing and GIS. In: MAP INDIA CONFERENCE, 2003, New Delhi. **Anais...** New Delhi: GIS Development, 2003. p. 1-9.

NAJAFI, A.; RICHARDS, E.W. Designing a forest road network using mixed integer programming. **Croatian Journal of Forest Engineering**, v. 34, n. 1, p. 17-30, 2013.

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

PEREIRA, A. L.; LOPES, E. S.; DIAS, A. N. Análise técnica e de custo do *feller buncher* e *skidder* na colheita de madeira em diferentes produtividades do povoamento. **Ciência Florestal**, v. 25, n. 4, p. 981-989, 2015.

NOVAIS, L. F. **Análise da colheita florestal mecanizada em povoamentos de *Eucalyptus* spp na região de Coronel Fabriciano - MG**. 2006. 33 f. Monografia – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2006.

OLIVEIRA, D. **Aspectos técnicos e custos de sistemas de colheita de madeira em povoamentos de *Eucalyptus grandis* de baixo volume individual**. 2013. 16 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Estadual do Centro-Oeste, Irati, 2013.

OLIVEIRA, D. et al. Análise técnica e econômica do trator florestal arrastador. In: SEMINÁRIO DE ATUALIZAÇÃO FLORESTAL, 2., 2010, Irati. **Anais...** Irati: Unicentro, 2010.

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

PELLEGRINI, M.; GRIGOLATO, S.; CAVALLI, R. Spatial multi-criteria decisions process to define maintenance priorities of forest road network: In application in the Italian alpine region. **Croatian Journal Forest Engineering**, v. 34, n. 1, p. 31-42, 2013.

PEREIRA NETO, S. D. **Análise econômica da densidade de estradas nas áreas de produção de *Eucalyptus***. 1995. 146 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1995.

POPOVICI, V.; BEREZIUC, R.; CLINCIU, I. Extinderea rețelei de drumuri pentru accesibilizarea fondului forestier și, în general, a pădurii (Extension of road network for improving the access to forests and forest fund). **Bucovina Forestiera**, v. 11, n. 2, p. 36-40, 2003.

QUADROS, D. S. **Análise econômica de empresas prestadoras de serviço florestal em duas regiões do estado de Santa Catarina**. 2009. 115 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

RAMOS, J. R.; **Análise técnica da colheita florestal mecanizada em desbaste na região norte pioneira do Paraná**. 2015. 40 f. Monografia – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

RAMOS, J. R.; et al. Análise técnica de um sistema de colheita mecanizada de toras curtas em desbaste na região norte pioneira do Paraná. **Enciclopédia biosfera**, v. 13, n. 23, p. 1764-1777, 2016.

REZENDE, J. L. et al. **Análise técnica e de custos de métodos de colheita e transporte florestal**. Lavras: UFLA, 1997.

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

ROCHA, E. S. et al. Avaliação da densidade ótima de estradas florestais em dois sistemas de exploração florestal no estado do Pará. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 47, p. 49-58, 2007.

RYAN, T. et al. **Forest Road Manual**: Guidelines for the design, construction and management of forest roads. Dublin: COFORD, 2004. 170 p.

SALMERON, A. A mecanização da exploração florestal. **Circular Técnica IPEF**, 1980. 10 p.

SAMPIETRO, J. A. **Compactação de cambissolo e neossolos causada pela colheita de madeira com *feller-buncher* e *skidder***. 2010. 137 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Estadual do Centro-Oeste, Irati, 2010.

SAMPIETRO, J. A. et al. Custos de operações de colheita em corte raso de povoamentos de pinus manejados para multiprodutos. In: XII SIMPÓSIO FLORESTAL CATARINENSE, 12., 2016, Lages. **Anais...** Lages: UDESC, 2016.

SANT'ANNA JUNIOR, M. Mercado de produtos florestais – oportunidades e ameaças. In: SEMINÁRIO DE ATUALIZAÇÃO SOBRE SISTEMAS DE COLHEITA DE MADEIRA E TRANSPORTE FLORESTAL, 12., 2002, Curitiba. **Anais...** Curitiba: FUPEF, 2002. p. 162-179.

SANTOS, P. H. A. et al. Produtividade e custos de extração de madeira de eucalipto com *clambunk skidder*. **Revista Árvore**, v. 37, n. 3, p. 511-518, 2013.

SEIXAS, F. Extração florestal. In: MACHADO, C. C. **Colheita florestal**. 2. ed. Viçosa: UFV, 2008. p. 97-145.

SEIXAS, F.; CASTRO, G. P. Extração. In: MACHADO, C. C. **Colheita florestal**. 3. ed. Viçosa: UFV, 2014. p. 106-177.

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

SILVA, M. L. da; JACOVINE, L. A. G.; VALVERDE, S. R. **Economia florestal**. Viçosa: UFV, 2002. 178 p.

SILVA, P. H. B. **Planejamento otimizado da colheita florestal por blocos talhões integrado à rede de estradas**. 2015. 71 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

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

SOARES, R. V. **Prevenção e controle de incêndios florestais**. Curitiba: FUPEF, 1982. 69 p.

SOARES, N. S.; SOUSA, E. P.; SILVA, M. L. Importância do setor florestal para a economia brasileira. In: XLVI CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL, 46., 2008, Viçosa. **Anais...** Viçosa: UFV, 2008.

SOUZA, C. M. G. **Densidade ótima de estradas para povoamentos de teca (*Tectona grandis* L.f.) no estado de Mato Grosso**. 2011. 55 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Mato Grosso, 2011.

STAMPFER, K. **Harvesting Systems for Mountainous Regions – Course Script**. Vienna: Institute of Forest Engineering, Department of Forest and Soil Sciences, University of Natural Resources and Life Sciences – BOKU, 2007.

STERENCZAK, K.; MOSKALIK, T. Use of LIDAR-based digital terrain model and single tree segmentation data for optimal forest skid trail network. **Iforest**, v. 8, p. 661-667, 2014.

UHL, E. Welche Holzernte und- Bringungsverfahren gibt es für steile Lagen? **LWF Aktuell**, n. 39, p. 16-18, 2003.

ZAGONEL, R.; CORRÊA, C. M. C.; MALINOVSKI, J. R. Densidade ótima de estradas de uso florestal em áreas de relevo plano em povoamentos de *Pinus taeda* no planalto catarinense. **Scientia Forestalis**, v. 36, n. 77, p. 33-41, 2008.

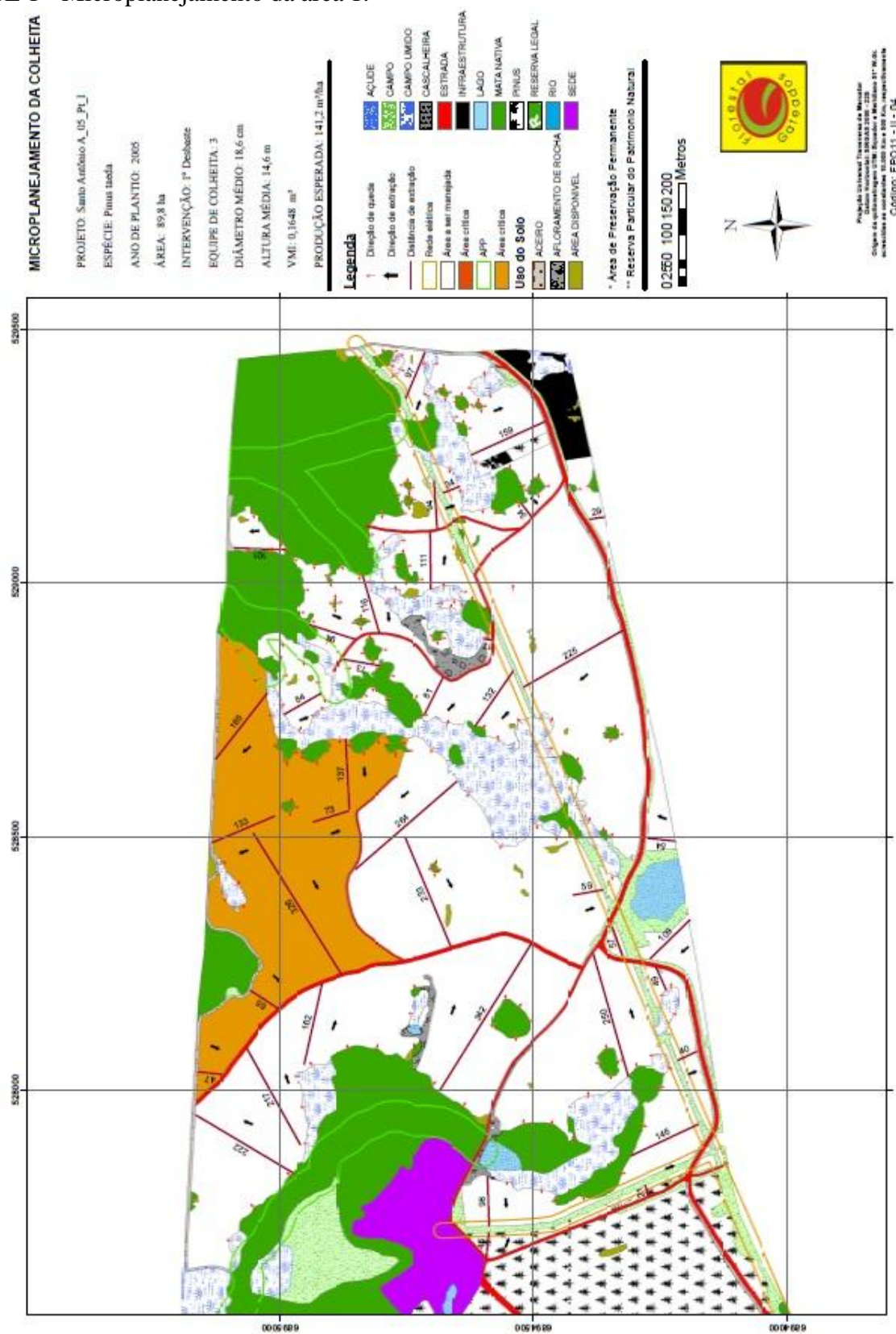
ZAGONEL, R. **Análise da sensibilidade ótima de estradas de uso florestal em relevo plano de áreas com produção de *Pinus taeda***. 2005. 108 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.





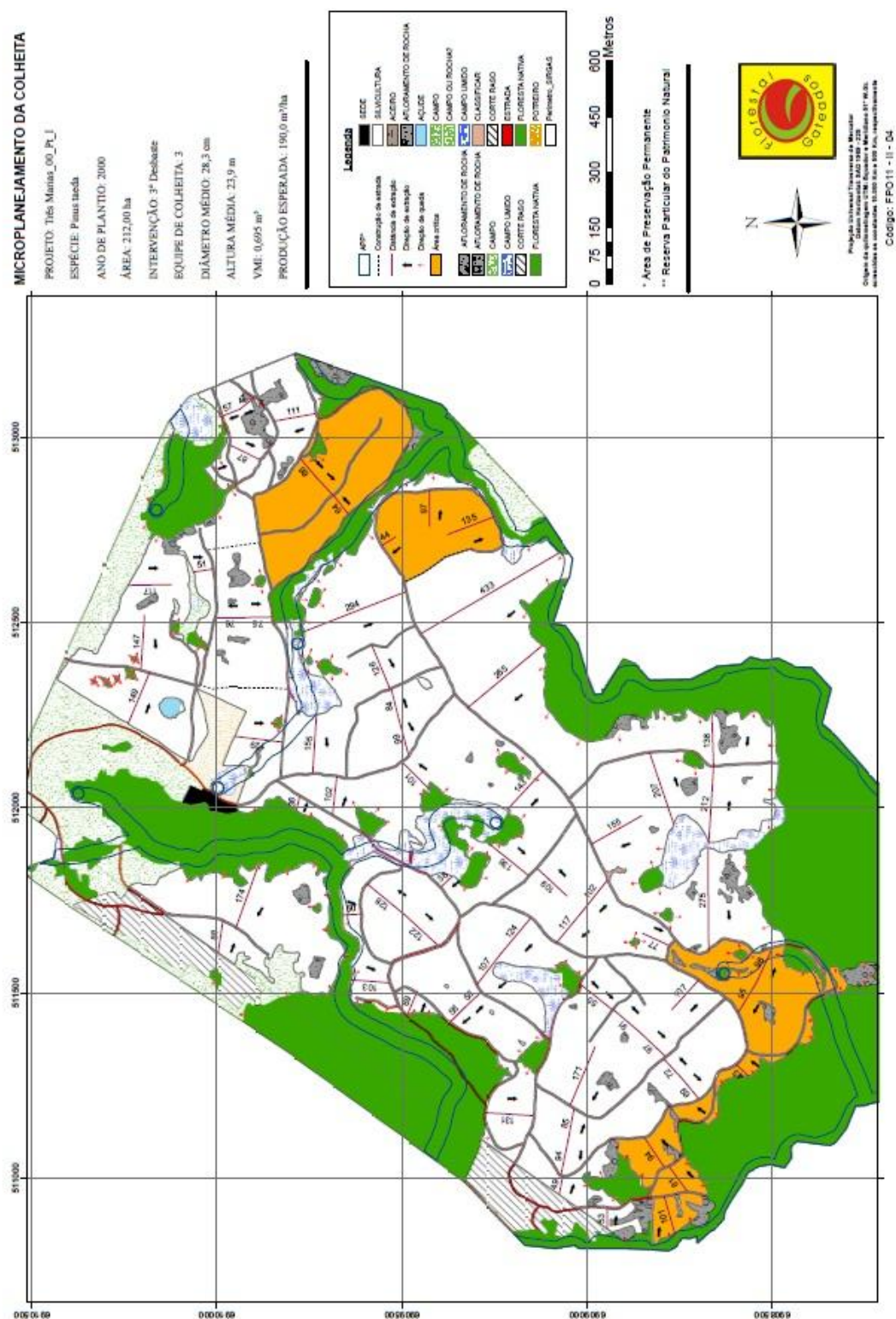
## 8 APÊNDICES

## APÊNDICE 1 - Microplanejamento da área 1.



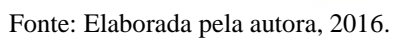
Fonte: Elaborada pela autora, 2016.

## APÊNDICE 2 - Microplanejamento da área 2.



Fonte: Elaborada pela autora, 2016.





APÊNDICE 04 - Análise de variância em fatorial para as fases do ciclo operacional, tempo total do ciclo efetivo e produtividade em função da classe de distância, declividade, sentido de operação e volume por tora, para o *forwarder* na extração de madeira em primeiro desbaste.

Fator de Variação	VV	CR	VDC	Valor F e Significância			TT
				VC	MD	TT	
A: Classe de distância	9,32 **	3,40 **	0,69 ns	7,15 **	3,29 *	3,35 *	
B: Classe de declividade	1,52 ns	0,15 ns	0,01 ns	0,41 ns	0,00 ns	0,00 ns	
C: Classe de vol/tora	0,48 ns	2,07 ns	5,33 **	0,45 ns	0,71 ns	1,58 ns	
D: Sentido	2,48 ns	0,77 ns	1,31 ns	2,22 ns	0,21 ns	0,47 ns	
A x B	-	-	-	-	-	-	
A x C	0,06 ns	0,26 ns	0,04 *	0,87 ns	0,01 *	0,49 ns	
A x D	0,70 ns	0,70 ns	0,88 ns	0,03 *	0,60 ns	0,80 ns	
B x C	-	-	-	-	-	-	
B x D	-	-	-	-	-	-	
C x D	-	-	-	-	-	-	

Legenda: VV: Viagem Vazio; CR: Carregamento; VDC: Viagem Durante a Carga; VC: Viagem Carregado; MD: Manobra e Descarregamento; TT: Tempo total do ciclo; Prod.: Produtividade nominal.  
Fonte: Elaborada pela autora, 2016.

APÊNDICE 05 - Análise de variância em fatorial para as fases do ciclo operacional, tempo total do ciclo efetivo e produtividade em função da classe de distância, declividade e volume por tora, para o *forwarder* na extração de madeira em terceiro desbaste.

Fator de Variação	VV	MC	VC	MD	TT	Prod. (m³/h)
	Valor F e Significância					
A: Classe de distância	5,46 **	0,23 ns	1,15 ns	0,69 ns	2,25 ns	0,45 ns
B: Classe de declividade	0,04 ns	6,28 *	1,10 ns	4,36 *	5,95 *	0,00 ns
C: Classe de volume/tora	1,02 ns	30,40 **	4,86 *	3,78 ns	16,12 **	2,58 ns
A x B	0,95 ns	1,02 ns	0,24 ns	0,48 ns	1,10 ns	1,05 ns
A x C	0,25 ns	1,11 ns	1,61 ns	0,39 ns	0,28 ns	0,41 ns
B x C	0,22 ns	1,82 ns	0,11 ns	0,05 ns	0,85 ns	1,50 ns

Legenda: VV: Viagem Vazio; MC: Manobra e Carregamento; VC: Viagem Carregado; MD: Manobra e Descarregamento; TT: Tempo total do ciclo; Prod.: Produtividade nominal.

Fonte: Elaborada pela autora, 2016.

APÊNDICE 06 - Análise de variância em fatorial para as fases do ciclo operacional, tempo total do ciclo efetivo e produtividade em função da classe de distância, declividade, sentido de operação, presença de afloramento rochoso e sortimento, para o *forwarder* na extração de madeira em corte raso em sistema de colheita de toras.

Fator de Variação	VV	CR	VDC	VC	MD	TT	P <sub>n</sub>
	Valor F e Significância						
Classe de distância	28,72**	4,54**	4,15**	19,67**	3,68**	12,46**	
Classe de declividade	0,04 ns	2,47 ns	0,24 ns	6,30**	1,63 ns	1,06 ns	
Sentido de operação	4,51*	0,18 ns	1,53 ns	1,53 ns	0,01 ns	0,45 ns	
Afloramento rochoso	28,26**	6,56*	17,64**	5,17*	12,50**	26,07**	
Classe de volume/tora	2,42 ns	14,07**	5,20**	4,42**	1,96 ns	5,35**	
Distância x Declividade	1,28 ns	1,94 ns	2,68*	2,12 ns	0,61 ns	1,95 ns	
Distância x Sentido	1,94 ns	1,12 ns	2,83*	0,49 ns	0,51 ns	1,13 ns	
Distância x Afl. rochoso	1,51 ns	0,75 ns	2,22 ns	0,54 ns	0,35 ns	1,06 ns	
Distância x volume/tora	0,39 ns	0,95 ns	0,99 ns	1,42 ns	0,95 ns	1,21 ns	
Declividade x Sentido	1,89 ns	0,10 ns	0,03 ns	3,56 ns	1,95 ns	1,44 ns	
Declividade x Afl. rochoso	0,99 ns	4,18*	1,24 ns	4,10*	2,01 ns	5,34**	
Declividade x volume/tora	0,60 ns	1,16 ns	2,01 ns	0,48 ns	0,44 ns	0,82 ns	
Sentido x Afl. rochoso	0,03 ns	2,19 ns	0,44 ns	7,18**	0,01 ns	1,94 ns	
Sentido x volume/tora	0,03 ns	0,03 ns	0,38 ns	0,67 ns	0,14 ns	0,01 ns	
Afl. rochoso x volume/tora	1,44 ns	1,49 ns	1,94 ns	0,76 ns	0,89 ns	1,71 ns	

Legenda: VV: Viagem Vazio; CR: Carregamento; VDC: Viagem Durante a Carga; VC: Viagem Carregado; MD: Manobra e Descarregamento; TT: Tempo total do ciclo; Prod.: Produtividade nominal.  
Fonte: Elaborada pela autora, 2016.

APÊNDICE 07 - Análise de variância em fatorial para as fases do ciclo operacional, tempo total do ciclo efetivo e produtividade em função da classe de distância, declividade e sentido de operação, para o *skidder* na extração de madeira em corte raso em sistema de colheita de árvores inteiras.

Fator de Variação	VV	MC	VC	MD	TT	Prod
	Valor F e Significância					
A: Classe de distância	10,45 **	8,94 **	14,41 **	2,27 ns	22,18 **	8,12 *
B: Classe de declividade	2,72 *	1,01 ns	1,63 ns	3,38 **	3,05 ns	3,58 *
C: Sentido	18,05 **	32,19 **	10,77 **	0,21 ns	26,59 **	4,94 *
A*B	1,39 ns	0,79 ns	1,00 ns	0,86 ns	1,07 ns	1,33 n
A*C	2,08 ns	3,89 **	3,34 *	0,86 ns	2,82 *	0,05 n

Legenda: VV: Viagem Vazio; MC: Manobra e Carregamento; VC: Viagem Carregado; MD: Manobra e Descarregamento; TT: Tempo total do ciclo; Prod.: Produtividade nominal.

Fonte: Elaborada pela autora, 2016.



APÊNDICE 08 - Resultados obtidos por meio do teste de médias das fases do ciclo operacional e da produtividade em função da classe de distância para a atividade de baldeio de madeira pelo *forwarder* em corte raso.

Fase do ciclo (minutos)	Classe de distância (metros)						Média
	0-50	50-100	100-150	150-200	200-250	>250	
VV	0,79 e (±0,34)	0,99 d (±0,15)	1,89 cd (±0,18)	2,60 bc (±0,21)	3,28 a (±0,27)	4,66 ab (±0,36)	1,96
CR	5,22 b (±1,21)	6,81 b (±0,54)	9,63 a (±0,65)	10,21 a (±0,73)	12,23 a (±0,96)	9,16 ab (±1,28)	8,73
VDC	0,97 bc (±0,59)	1,46 c (±0,26)	2,43 bc (±0,31)	2,94 ab (±0,36)	4,10 a (±0,46)	2,33 abc (±0,62)	2,27
VC	0,57 d (±0,39)	1,27 d (±0,17)	2,37 c (±0,21)	3,48 bc (±0,24)	2,93 b (±0,31)	4,86 a (±0,41)	2,29
MD	4,33 b (±0,88)	6,72 ab (±0,39)	7,93 a (±0,47)	8,06 a (±0,54)	8,41 a (±0,70)	9,28 a (±0,93)	7,43
TT	11,88 c (±2,35)	17,25 c (±1,05)	24,25 b (±1,26)	27,32 ab (±1,44)	30,95 ab (±1,86)	30,30 a (±2,49)	22,69
Produtividade (m <sup>3</sup> /h)	30,87 ab (±4,04)	37,06 a (±1,81)	28,44 b (±2,16)	21,40 b (±2,46)	19,44 b (±3,19)	25,01 ab (±4,25)	29,05

Legenda: VV: Viagem Vazio; CR: Carregamento; VDC: Viagem Durante a Carga; VC: Viagem Carregado; MD: Manobra e Descarregamento; TT: Tempo total do ciclo; Prod.: Produtividade nominal.  
Fonte: Elaborada pela autora, 2016.

APÊNDICE 09 - Resultados obtidos por meio do teste de médias das fases do ciclo operacional e da produtividade em função da classe de declividade para a atividade de baldeio de madeira pelo *forwarder* em corte raso.

Fase do ciclo (minutos)	Classe de declividade (graus)			Média
	< 0,10	10 ≥ 20	> 20	
VV	1,54 b (±0,14)	2,58 a (±2,58)	3,31 a (±3,31)	<b>1,96</b>
CR	7,53 b (±0,40)	10,65 a (±12,13)	12,12 a (±1,14)	<b>8,73</b>
VDC	1,82 b (±0,20)	2,83 a (±0,31)	4,04 a (±0,55)	<b>2,27</b>
VC	1,73 b (±0,15)	3,18 a (±3,95)	3,95 a (±0,42)	<b>2,29</b>
MD	7,03 b (±0,30)	8,39 ab (±0,47)	7,52 a (±0,84)	<b>7,43</b>
TT	19,65 b (±0,86)	27,63 a (±1,34)	30,95 a (±2,41)	<b>22,69</b>
Produtividade (m <sup>3</sup> /h)	32,37 a (±1,36)	24,94 b (±2,14)	15,87 b (±3,85)	<b>29,05</b>

Legenda: VV: Viagem Vazio; CR: Carregamento; VDC: Viagem Durante a Carga; VC: Viagem Carregado; MD: Manobra e Descarregamento; TT: Tempo total do ciclo; Prod.: Produtividade nominal.  
Fonte: Elaborada pela autora, 2016.

APÊNDICE 10 - Resultados obtidos por meio do teste de médias das fases do ciclo operacional e da produtividade em função da classe de volume por tora para a atividade de baldeio de madeira pelo *forwarder* em corte raso.

Fase do ciclo (minutos)	Classe de volume/tora (m <sup>3</sup> /tora)				Média
	≤ 0,1	0,1 ≥ 0,2	0,2 ≥ 0,3	> 0,3	
VV	1,98 a (±0,28)	1,79 a (±0,62)	1,96 a (±0,19)	1,99 a (±0,22)	<b>1,96</b>
CR	12,78 b (±0,69)	9,31 b (±1,54)	7,60 ab (±0,47)	7,61 a (±0,55)	<b>8,73</b>
VDC	3,59 a (±0,35)	1,46 ab (±0,79)	2,09 b (±0,24)	1,76 b (±0,28)	<b>2,27</b>
VC	2,05 a (±0,30)	3,26 a (±0,68)	2,31 a (±0,21)	2,29 a (±0,24)	<b>2,29</b>
MD	8,42 a (±0,53)	7,40 ab (±1,19)	6,72 b (±0,36)	7,79 ab (±0,43)	<b>7,43</b>
TT	28,82 a (±1,62)	23,24 ab (±3,63)	20,69 b (±1,10)	21,44 b (±1,31)	<b>22,69</b>
Produtividade (m <sup>3</sup> /h)	10,33 b (±1,88)	21,14 b (±4,21)	34,65 a (±1,28)	34,39 a (±1,52)	<b>29,05</b>

Legenda: VV: Viagem Vazio; CR: Carregamento; VDC: Viagem Durante a Carga; MC: VC: Viagem Carregado; MD: Manobra e Descarregamento; TT: Tempo total do ciclo; Prod.: Produtividade nominal.  
Fonte: Elaborada pela autora, 2016.

APÊNDICE 11 - Resultados obtidos por meio do teste de médias das fases do ciclo operacional e da produtividade em função da classe de distância para a atividade de arraste de madeira pelo *skidder* em corte raso.

Fase do ciclo	Classe de distância (metros)					Média
	0-50	50-100	100-150	150-200	>200	
VV	0,58 bc ( $\pm 0,07$ )	0,60 c ( $\pm 0,03$ )	0,75 b ( $\pm 0,03$ )	0,93 a ( $\pm 0,05$ )	1,24 a ( $\pm 0,12$ )	<b>0,71</b>
MC	0,37 c ( $\pm 0,08$ )	0,49 c ( $\pm 0,03$ )	0,62 b ( $\pm 0,04$ )	0,78 ab ( $\pm 0,05$ )	1,09 a ( $\pm 0,13$ )	<b>0,58</b>
VC	0,77 c ( $\pm 0,07$ )	0,85 c ( $\pm 0,03$ )	1,09 b ( $\pm 0,03$ )	1,27 a ( $\pm 0,05$ )	1,38 ab ( $\pm 0,13$ )	<b>0,99</b>
MD	0,96 a ( $\pm 0,09$ )	1,06 a ( $\pm 0,04$ )	1,18 a ( $\pm 0,06$ )	1,25 a ( $\pm 0,04$ )	1,36 a ( $\pm 0,15$ )	<b>1,13</b>
TT	2,69 c ( $\pm 0,19$ )	2,99 c ( $\pm 0,07$ )	3,64 b ( $\pm 0,09$ )	4,23 a ( $\pm 0,13$ )	5,07 a ( $\pm 0,31$ )	<b>29,91</b>
Produtividade (m <sup>3</sup> /h)	150,83 ab ( $\pm 10,18$ )	141,61 a ( $\pm 4,47$ )	123,87 bc ( $\pm 6,58$ )	99,51 d ( $\pm 3,87$ )	82,52 cd ( $\pm 16,27$ )	<b>128,6</b>

Legenda: VV: Viagem Vazio; MC: Manobra e Carregamento; VC: Viagem Carregado; MD: Manobra e Descarregamento; TT: Tempo total do ciclo; Prod.: Produtividade nominal.

Fonte: Elaborada pela autora, 2016.

APÊNDICE 12 - Resultados obtidos por meio do teste de médias das fases do ciclo operacional e da produtividade em função da classe de declividade para a atividade de arraste de madeira pelo *skidder* em corte raso.

Fase do ciclo	Classe de declividade (graus)	
	< 0,10	> 0,10
VV	0,74 a ( $\pm 0,02$ )	0,48 b ( $\pm 0,06$ )
	<b>0,71</b>	
MC	0,59 a ( $\pm 0,02$ )	0,53 a ( $\pm 0,06$ )
	<b>0,58</b>	
VC	1,01 a ( $\pm 0,02$ )	0,87 b ( $\pm 0,06$ )
	<b>0,99</b>	
MD	1,14 a ( $\pm 0,03$ )	1,01 a ( $\pm 0,07$ )
	<b>1,13</b>	
TT	3,49 a ( $\pm 0,06$ )	2,90 b ( $\pm 0,17$ )
	<b>3,42</b>	
Produtividade (m <sup>3</sup> /h)	127,19 a	140,76 a
	<b>128,6</b>	

Legenda: VV: Viagem Vazio; Manobra e Carregamento; VC: Viagem Carregado; MD: Manobra e Descarregamento; TT: Tempo total do ciclo; Prod.: Produtividade nominal.

Fonte: Elaborada pela autora, 2016.

APÊNDICE 13 - Resultados obtidos por meio do teste de médias das fases do ciclo operacional e da produtividade em função do sentido da operação para a atividade de arraste de madeira pelo *skidder* em corte raso.

Fase do ciclo	Sentido	
	Active	Declive Média
VV	0,69 b (±0,02)	1,13 a (±0,08) <b>0,71</b>
MC	0,55 b (±0,02)	1,13 a (±0,09) <b>0,58</b>
VC	0,98 b (±0,02)	1,35 a (±0,09) <b>0,99</b>
MD	1,13 a (±0,02)	1,04 a (±0,11) <b>1,12</b>
TT	3,35 b (±0,06)	4,65 a (±0,24) <b>3,42</b>
Produtividade (m <sup>3</sup> /h)	129,73 a (±2,75)	108,13 a (±11,77) <b>128,6</b>

Legenda: VV: Viagem Vazio; MC: Manobra e Carregamento; VC: Viagem Carregado; MD: Manobra e Descarregamento; TT: Tempo total do ciclo; Prod.: Produtividade nominal.

Fonte: Elaborada pela autora, 2016.

APÊNDICE 14 - Estatística descritiva para as variáveis do ciclo operacional, produtividade e fatores influentes para o *forwarder* em operação de primeiro desbaste.

Variável	N	Média	Desv. Pad.	CV (%)	Mínimo	Máximo	Média	Assimetria
VV (min.)	41	2,24	1,23	54,80%	0,52	6	5,48	2,07
CR (min.)	41	16,58	5,73	34,53%	3,55	35,85	32,3	2,80
VDC (min.)	41	4,11	4,11	100,00%	0,15	20,03	19,88	5,13
VC (min.)	41	3,67	2,52	68,81%	0,62	10,48	9,86	3,33
MD (min.)	41	9,68	3,05	31,52%	1,98	18,7	16,72	1,17
TT ciclo (min.)	41	36,28	10,60	29,21%	9,95	58,58	48,63	0,27
Declividade (graus)	41	5,60	2,15	38,38%	0,9	10,2	9,3	0,14
Distância (m)	41	136,24	82,56	60,60%	31	461	430	4,40
Vol/ciclo(m³)	41	6,32	1,43	22,69%	1,53	8,3	6,77	-3,24
Volume/tora (m³)	41	0,03	0,02	61,07%	0,02	0,08	0,06	6,22
Produtividade nominal (m³/h)	41	10,90	2,91	26,72%	6,28	17,9	11,62	1,85
Produtividade efetiva (m³/he)	41	9,24	2,47	26,73%	5,32	15,18	9,86	1,85

Legenda: VV: Viagem Vazio; CR: Carregamento; VDC: Viagem Durante a Carga; VC: Viagem Carregado; MD: Manobra e Descarregamento; TT: Tempo total do ciclo; Vol/ciclo: Volume por ciclo; Vol/tora: Volume por tora; Desv. Pad.: Desvio Padrão; CV (%): Coeficiente de variação; W: Coeficiente de normalidade de Shapiro-Wilk.

Fonte: Elaborada pela autora, 2016.

APÊNDICE 15 - Estatística descritiva para as variáveis do ciclo operacional, produtividade e fatores influentes para o *forwarder* em operação de terceiro desbaste.

Variável	N	Média	Desv. Pad.	CV (%)	Mínimo	Máximo	Média	Assimetr
VV (min.)	47	2,43	0,99	40,84%	0,42	4,22	3,80	-1,03
MC (min.)	47	14,97	3,38	22,61%	9,38	25,48	16,10	3,27
VC (min.)	47	2,86	1,88	65,65%	0,30	7,13	6,83	1,37
MD (min.)	47	9,65	2,25	23,32%	3,78	15,80	12,02	0,24
TT ciclo (min.)	47	29,91	5,04	16,84%	18,47	42,17	23,70	0,10
Declividade (graus)	43	9,09	3,70	40,69%	1,20	16,20	15,00	-1,43
Distância (m)	47	161,75	77,14	47,69%	10,00	293,20	283,20	-0,13
Vol/ciclo(m³)	47	8,15	2,30	28,28%	4,06	16,43	12,37	3,77
Volume/tora (m³)	47	0,07	0,04	58,76%	0,04	0,20	0,16	6,34
Produtividade nominal (m³/h)	47	16,45	3,94	23,95%	8,82	25,74	16,92	0,70
Produtividade efetiva (m³/he)	47	12,06	2,89	23,95%	6,46	18,88	12,42	0,70

Legenda: VV: Viagem Vazio; MC: Manobra e Carregamento; VC: Viagem Carregado; MD: Manobra e Descarregamento; TT: Tempo total do ciclo; Vol/ciclo: Volume por ciclo; Vol/tora: Volume por tora; Desv. Pad.: Desvio Padrão; CV (%): Coeficiente de variação; W: Coeficiente de normalidade de Shapiro-Wilk.  
 Fonte: Elaborada pela autora, 2016.



APÊNDICE 16 - Estatística descritiva para as variáveis do ciclo operacional, produtividade e fatores influentes para o *forwarder* em operação de corte raso.

Variável	N	Média	Desv. Pad.	CV (%)	Mínimo	Máximo	Média	Assimetria
VV (min.)	147	1,96	1,50	76,45%	0,07	7,92	7,85	6,44
CR (min.)	147	8,73	4,28	49,02%	2,48	20,42	17,94	4,43
VDC (min.)	147	2,27	2,03	89,51%	0,1	11,8	11,7	11,06
VC (min.)	147	2,29	1,66	72,23%	0,27	10,63	10,36	7,27
MD (min.)	147	7,43	2,97	39,89%	0,45	16,17	15,72	2,06
TT ciclo (min.)	147	0,02	0,01	41,92%	0,01	0,03	0,02	3,74
Declividade (graus)	147	8,19	6,05	73,87%	0,9	27,7	26,8	4,94
Distância (m)	147	131,74	73,08	55,47%	32,1	493,7	461,6	6,43
Vol/ciclo(m³)	147	9,94	4,60	46,29%	1,17	19,25	18,08	0,16
Volume/tora (m³)	147	0,24	0,11	44,52%	0,03	0,39	0,36	-4,34
Produtividade nominal (m³/h)	147	29,05	14,20	48,87%	4,81	62,78	57,97	0,76
Produtividade efetiva (m³/he)	147	19,88	9,72	48,87%	3,29	42,96	39,67	0,76

Legenda: VV: Viagem Vazio; CR: Carregamento; VDC: Viagem Durante a Carga; VC: Viagem Carregado; MD: Manobra e Descarregamento; TT: Tempo total do ciclo; Vol/ciclo: Volume por ciclo; Vol/tora: Volume por tora; Desv. Pad.: Desvio Padrão; CV (%): Coeficiente de variação; W: Coeficiente de normalidade de Shapiro-Wilk.

Fonte: Elaborada pela autora, 2016.

APÊNDICE 17 - Estatística descritiva para as variáveis do ciclo operacional, produtividade e fatores influentes para o *skidder* em operação de corte raso.

Variável	N	Média	Desv. Pad.	CV (%)	Mínimo	Máximo	Média	Assimetria
VV (min.)	368	0,71	0,38	53,35%	0,03	2,43	2,4	7,13
MC (min.)	368	0,58	0,43	73,36%	0,02	3,1	3,08	13,31
VC (min.)	368	1,00	0,42	41,67%	0	2,22	2,22	4,94
MD (min.)	368	1,13	0,46	40,67%	0	2,62	2,62	3,81
TT ciclo (min.)	368	3,42	1,08	31,66%	1,12	7,18	6,06	5,15
Declividade (graus)	336	4,00	2,73	68,30%	0,02	15	14,98	8,46
Distância (m)	368	108,10	43,66	40,39%	20	284	264	6,20
Vol/ciclo(m³)	368	6,84	2,33	34,08%	2,38	14,28	11,9	-0,76
Produtividade nominal (m³/h)	365	128,60	51,47	40,02%	28,28	273,45	245,17	3,32
Produtividade efetiva (m³/he)	368	72,36	29,81	41,20%	0	155,13	155,13	2,64

Legenda: VV: Viagem Vazio; MC: Manobra e Carregamento; VC: Viagem Carregado; MD: Manobra e Descarregamento; TT: Tempo total do ciclo; Vol/ciclo: Volume por ciclo; Desv. Pad.: Desvio Padrão; CV (%): Coeficiente de variação; W: Coeficiente de normalidade de Shapiro-Wilk.  
 Fonte: Elaborada pela autora, 2016.

APÊNDICE 18 - Matriz de coeficientes de correlação linear de Pearson (r) entre as variáveis do ciclo operacional, produtividade e fatores influentes para operações de extração com *forwarder* em primeiro desbaste de pinus.

Variável	VV	CR	VDC	VC	MD	TT	Prod.	Dist.	Decliv
VV	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CR	0,18 ns	-	-	-	-	-	-	-	-
VDC	-0,06 ns	0,25 ns	-	-	-	-	-	-	-
VC	0,35*	0,38*	-0,12 ns	-	-	-	-	-	-
MD	0,17 ns	0,46 ns	-0,05 ns	0,34*	-	-	-	-	-
TT	0,32*	0,88**	0,47**	0,53**	0,62**	-	-	-	-
Produtividade	-0,30 ns	-0,44**	-0,40*	-0,43**	0,18 ns	-0,58**	-	-	-
Distância	0,73**	0,29 ns	-0,20 ns	0,68**	0,39*	0,43**	-0,31 ns	-	-
Declividade	0,01 ns	0,23 ns	0,31*	0,06 ns	0,09 ns	0,29 ns	-0,40**	-0,01 ns	-
Vol/tora	-0,09 ns	0,21 ns	0,51**	-0,11 ns	-0,26 ns	0,20 ns	-0,26 ns	-0,07 ns	-0,00 r
Vol/ciclo	0,09 ns	0,48**	0,14 ns	0,09 ns	0,51**	0,50**	0,38*	0,16 ns	-0,04 r

Legenda: VV: Viagem Vazio; CR: Carregamento; VDC: Viagem Durante a Carga; VC: Viagem Carregado; MD: Manobra e Descarregamento; TT: Tempo total do ciclo; Prod.: Produtividade; Dist: Distância de extração; Decliv: Declividade; Vol/ciclo: Volume por ciclo; Vol/tora: Volume por tora.

Fonte: Elaborada pela autora, 2016.

APÊNDICE 19 - Matriz de coeficientes de correlação linear de Pearson (r) entre as variáveis do ciclo operacional, produtividade e fatores influentes para operações de extração com *forwarder* em terceiro desbaste de pinus.

Variável	VV	MC	VC	MD	TT	Prod.	Dist.	Decliv.	Vol/t
VV	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MC	0,22 ns	-	-	-	-	-	-	-	-
VC	0,45**	-0,25 ns	-	-	-	-	-	-	-
MD	0,08 ns	0,31*	-0,10 ns	-	-	-	-	-	-
TT	-0,55**	0,76**	-0,25 ns	0,64**	-	-	-	-	-
Produtividade	-0,11 ns	-0,02 ns	-0,20 ns	-0,14 ns	-0,17 ns	-	-	-	-
Distância	0,76**	0,09 ns	0,50**	0,10 ns	0,44**	-0,32 ns	-	-	-
Declividade	0,20 ns	-0,14 ns	0,29 ns	-0,14 ns	-0,02 ns	-0,10 ns	0,50**	-	-
Vol/tora	0,22 ns	0,62**	-0,17 ns	0,24 ns	0,50**	0,30*	0,10 ns	0,18 ns	-
Vol/ciclo	0,27 ns	0,51**	-0,05 ns	0,31*	0,51**	0,75**	0,26 ns	-0,07 ns	0,64

Legenda: VV: Viagem Vazio; MC: Manobra e Carregamento; VC: Viagem Carregado; MD: Manobra e Descarregamento; TT: Tempo total do ciclo; Prod.: Produtividade; Dist: Distância de extração; Decliv: Declividade; Vol/ciclo: Volume por ciclo; Vol/tora: Volume por tora.

Fonte: Elaborada pela autora, 2016.

APÊNDICE 20 - Matriz de coeficientes de correlação linear de Pearson (r) entre as variáveis do ciclo operacional, produtividade e fatores influentes para operações de extração com *forwarder* em corte raso de pinus.

Variável	VV	CR	VDC	VC	MD	TT	Prod.	Dist.	Decliv.	Vo
VV	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CR	0,25**	-	-	-	-	-	-	-	-	-
VDC	0,24**	0,71**	-	-	-	-	-	-	-	-
VC	0,61**	0,25**	0,10ns	-	-	-	-	-	-	-
MD	0,22*	0,68**	0,39**	0,29**	-	-	-	-	-	-
TT	0,51**	0,91**	0,72**	0,50**	0,80**	-	-	-	-	-
Produtividade	-0,32**	-0,50**	-0,44**	-0,27**	-0,16*	-0,47**	-	-	-	-
Distância	0,69**	0,34**	0,31**	0,65**	0,30**	0,54**	-0,38**	-	-	-
Declividade	0,43**	0,43**	0,38**	0,46**	0,20*	0,49**	-0,41**	0,30**	-	-
Vol/tora	-0,00ns	-0,51**	-0,32**	0,05ns	-0,19*	-0,35**	0,67**	-0,11ns	-0,11ns	-
Vol/ciclo	0,04ns	0,11ns	-0,01ns	0,12ns	0,44**	0,21**	0,67**	0,02ns	-0,06ns	0,

Legenda: VV: Viagem Vazio; CR: Carregamento; VDC: Viagem Durante a Carga; VC: Viagem Carregado; MD: Manobra e Descarregamento; TT: Tempo total do ciclo; Prod.: Produtividade; Dist: Distância de extração; Decliv: Declividade; Vol/ciclo: Volume por ciclo; Vol/tora: Volume por tora.

Fonte: Elaborada pela autora, 2016.

APÊNDICE 21 - Matriz de coeficientes de correlação linear de Pearson (r) entre as variáveis do ciclo operacional, produtividade e fatores influentes para operações de extração com *skidder* em corte raso de pinus.

Variável	VV	MC	VC	MD	TT	Prod.	Dist.	Decliv.
VV	-	-	-	-	-	-	-	-
MC	0,26**	-	-	-	-	-	-	-
VC	0,35*	0,30**	-	-	-	-	-	-
MD	0,09ns	0,11*	0,15**	-	-	-	-	-
TT	0,56**	0,66**	0,71**	0,56**	-	-	-	-
Produtividade	-0,34**	-0,36**	-0,31**	0,30**	-0,52**	-	-	-
Distância	0,37**	0,35**	0,44**	0,16**	0,52**	-0,33**	-	-
Declividade	-0,01ns	-0,07ns	-0,13*	0,05ns	-0,08ns	-0,13*	-0,12*	-
Vol/ciclo	0,01ns	0,14**	0,27**	0,15**	0,26**	0,64**	0,04ns	-0,22

Legenda: VV: Viagem Vazio; MC: Manobra e Carregamento; VC: Viagem Carregado; MD: Manobra e Descarregamento; TT: Tempo total do ciclo; Prod.: Produtividade; Dist: Distância de extração; Decliv: Declividade; Vol/ciclo: Volume por ciclo.

Fonte: Elaborada pela autora, 2016.