



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E ENGENHARIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

LEANDRO CHRISTO BERUDE

**ANÁLISE OPERACIONAL DE MÉTODOS DE DESBASTE MECANIZADO EM
PLANTIOS DE *PINUS TAEDA***

Orientador: Prof. Dr. Nilton Cesar Fiedler

Coorientadores: Prof. Dr. Eduardo da Silva Lopes

Prof. Dr. Flávio Cipriano de Assis do Carmo

JERÔNIMO MONTEIRO – ES

FEVEREIRO - 2019

LEANDRO CHRISTO BERUDE

**ANÁLISE OPERACIONAL DE MÉTODOS DE DESBASTE MECANIZADO EM PLANTIOS
DE *PINUS TAEDA***

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Ciências Florestais na área de Concentração Ciências Florestais.

Orientador: Prof. Dr. Nilton Cesar Fiedler

Coorientadores: Prof. Dr. Eduardo da Silva Lopes

Prof. Dr. Flávio Cipriano de Assis do Carmo

Ficha catalográfica disponibilizada pelo Sistema Integrado de Bibliotecas - SIBI/UFES
e elaborada pelo autor

C556a Christo Berude, Leandro, 1994-
ANÁLISE OPERACIONAL DE MÉTODOS DE DESBASTE
MECANIZADO EM PLANTIOS DE *PINUS TAEDA* /
Leandro Christo Berude. - 2019.
69 f. : il.

Orientador: Nilton Cesar Fiedler.

Coorientadores: Eduardo da Silva Lopes, Flávio Cipriano de Assis do Carmo.

Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias e Engenharias.

1. Colheita de Madeira. 2. *Harvester*. 3. *Forwarder*. 4.
Planejamento Florestal. I. Fiedler, Nilton Cesar. II. Lopes, Eduardo da Silva. III.
Carmo, Flávio Cipriano de Assis do. IV. Universidade Federal do Espírito Santo.
Centro de Ciências Agrárias e Engenharias. V. Título.

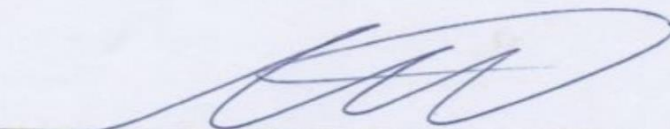
CDU: 630

**ANÁLISE OPERACIONAL DE MÉTODOS DE DESBASTE MECANIZADO EM
PLANTIOS DE *Pinus taeda***

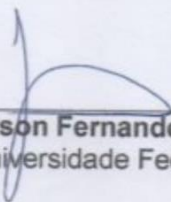
Leandro Christo Berude

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Ciências Florestais na Área de Concentração Ciências Florestais.

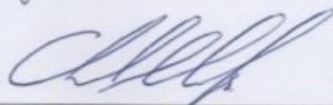
Aprovada em 22 de fevereiro de 2019.



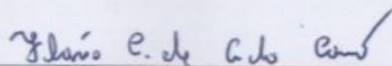
Prof. Dr. Renato Cesar Gonçalves Robert (Examinador externo)
Universidade Federal do Paraná



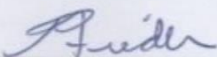
Prof. Dr. Gilson Fernandes da Silva (Examinador interno)
Universidade Federal do Espírito Santo



Prof. Dr. Eduardo da Silva Lopes (Coorientador)
Universidade Estadual do Centro-Oeste



Prof. Dr. Flávio Cipriano de Assis do Carmo (Coorientador)
Universidade Federal de Campina Grande



Prof. Dr. Nilton Cesar Fiedler (Orientador)
Universidade Federal do Espírito Santo

Aos meus pais, *Teresinha da Conceição Christo Berude* e *Manuel Berude Filho*, pelo apoio e incentivo incondicional em todas as etapas da minha vida.

DEDICO.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente as Energias que regem o Universo, por guiar meus passos, me conceder saúde, discernimento e força para que eu possa seguir evoluindo e em busca dos meus objetivos.

Aos meus pais, Manuel Berude Filho e Teresinha da Conceição Christo Berude pela educação, máximo empenho, incentivo e apoio de todas as maneiras que estiveram em seu alcance para que eu pudesse correr atrás dos meus sonhos.

Ao Professor Nilton Cesar Fiedler, pela orientação, ensinamentos transmitidos e amizade ao longo desses anos.

Ao Professor Eduardo da Silva Lopes, por me abrir as portas da UNICENTRO e do Paraná, me possibilitando enxergar a Colheita Florestal de forma mais abrangente e sob uma nova perspectiva. Obrigado por todo o conhecimento transmitido, por ser um exemplo de planejamento e ética e por todo o esforço para que este projeto de dissertação pudesse ser realizado.

A minha grande amiga e fiel companheira destes dois anos de mestrado, Dâmaris Nogueira Billo, por estar presente nos momentos mais marcantes neste período, me ajudando e apoiando, seja com conselhos, ajuda nos trabalhos e na coleta de dados ou momentos de descontração. Certamente aprendi e evolui muito ao seu lado durante esse tempo.

Ao Professor Flávio Cipriano de Assis do Carmo, o Flavinho, pela amizade e co-orientação. Aos Professores Renato Cesar Gonçalves Robert (UFPR) e Gilson Fernandes da Silva (UFES) pela participação na banca e correções na dissertação.

Ao Antônio Henrique Cordeiro Ramalho, pela amizade, cooperação e por companhia no Laboratório de Colheita.

A Alana Nadolny, pela disponibilidade, esforço e ajuda na coleta de dados.

A Carla Krulikowski Rodrigues, pela orientação e amizade e por toda a ajuda no processamento dos dados, na estatística e na parte escrita desta pesquisa.

A Rayssa Chaves Braga, pela amizade, por levar paz e energias positivas aos lugares onde passa e por ser minha companheira *fitness* nas corridas ao redor do Parque Aquático de Irati-PR.

A Lygia Maria Napoli, pela amizade e bons momentos compartilhados.

A Família Napoli: Alex Napoli, Andréa Napoli, Lygia Maria Napoli, Cayo Vinicius Napoli e Maria Eduarda Napoli, por abrirem as portas, ou melhor, porteiras da Chácara Reata e nos acolher com muito afeto, aconchego e animação.

A Leticia da Paschoa Manhães e Taís Moreira Rizo, pela amizade, apoio e conversas ao longo deste período.

Ao Prof. Rodrigo Sobreira Alexandre, coordenador do Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais da Universidade Federal do Espírito Santo, por sua ética e força de vontade em melhorar o Programa e disponibilidade em auxiliar os discentes.

A empresa Remasa Reflorestadora, e todos os seus colaboradores, pela parceria e colaboração para a realização desta pesquisa, não medindo esforços para que tudo saísse conforme o planejado.

A CAPES, pela concessão da bolsa, fato que foi crucial para a elaboração do presente trabalho.

RESUMO

BERUDE, Leandro Christo. **Análise operacional comparativa de métodos de desbaste mecanizado em plantios de *Pinus taeda***. 2019. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, ES. Orientador: Nilton Cesar Fiedler. Coorientadores: Prof. Dr. Eduardo da Silva Lopes Prof. Dr. Flávio Cipriano de Assis do Carmo.

Devido aos elevados custos da colheita de madeira, principalmente quando realizada em povoamentos submetidos ao desbaste, tornou-se necessário o desenvolvimento de novos modelos de operação. Dessa forma, o objetivo deste estudo foi realizar uma análise operacional comparativa entre dois modelos de desbastes em povoamentos de *Pinus taeda* L. na região centro-sul do estado do Paraná, gerando informações para o planejamento, redução de custos e melhor aproveitamentos dos recursos florestais. O primeiro modelo testado foi o de 5ª linha, convencionalmente utilizado nas empresas, que consiste na remoção sistemática da linha central permitindo a entrada das máquinas no interior do talhão e de duas linhas adjacentes, de forma seletiva. O segundo modelo testado foi o de 7ª linha, com remoção sistemática da linha central e seletiva de árvores nas três linhas adjacentes. Foi realizado um estudo de tempos e movimentos das máquinas de corte (*harvester*) e extração (*forwarder*) em ambos os tratamentos de desbaste, comparando os tempos dos ciclos operacionais, determinando a eficiência operacional, produtividade, custos operacionais e de produção e rendimento energético das máquinas. Foi realizada ainda uma análise da qualidade das operações em relação ao comprimento das toras, altura das cepas e danos causados pelas máquinas nas árvores remanescentes. Os resultados mostram que o modelo de desbaste realizado na 5ª linha apresentou ciclos operacionais mais curtos para ambas máquinas, com produtividade média do *harvester* de 17,82 m³.he⁻¹ e 14,36 m³.he⁻¹ e do *forwarder* de 24,21 m³.he⁻¹ e 20,42 m³.he⁻¹ para os tratamentos de 5ª e 7ª linha, respectivamente. O custo de produção foi de 10,47 R\$.m⁻³ no desbaste realizado na 5ª linha e de 12,64 R\$.m⁻³ na 7ª linha. Os tratamentos apresentaram distribuição de danos nas árvores remanescentes de forma similar. A maior quantidade de danos foi causada pelo *harvester*, em contrapartida os danos de maiores dimensões foram causados pelo *forwarder*.

Palavras-Chave: Colheita de Madeira; *Harvester*; *Forwarder*; Planejamento Florestal.

ABSTRACT

BERUDE, Leandro Christo. **Comparative operational analysis of mechanized thinning methods in *Pinus taeda* plantations**. 2019. Dissertation (Master of Forest Science) - Federal

Due to the high costs of harvesting wood, especially when carried out in stands subjected to thinning, it became necessary to develop new models of operation. Thus, the objective of this study was to perform a comparative operational analysis between two models of slabs in *Pinus taeda* L. stands in the central-southern region of the state of Paraná, generating information for planning, cost reduction and better utilization of forest resources. The first model tested was the 5th line, conventionally used in companies, which consists of the systematic removal of the central line allowing the entry of the machines inside the field and of two adjacent lines, in a selective way. The second model tested was the 7th line, with systematic removal of the central and selective line of trees in the three adjacent lines. A study of the times and movements of the harvester and forwarder machines was carried out in both thinning treatments, comparing the times of the operational cycles, determining the operational efficiency, productivity, operating and production costs and energy yield of machines. An analysis was also made of the quality of the operations in relation to the length of the logs, height of the strains and damage caused by the machines in the remaining trees. The results show that the roughing model performed in the 5th line had shorter operating cycles for both machines, with a mean harvester productivity of $17.82 \text{ m}^3.\text{he}^{-1}$ and $14.36 \text{ m}^3.\text{he}^{-1}$ and the forwarder of $24.21 \text{ m}^3.\text{he}^{-1}$ and $20.42 \text{ m}^3.\text{he}^{-1}$ for the 5th and 7th row treatments, respectively. The cost of production was $10.47 \text{ R}\$. \text{m}^{-3}$ in the thinning carried out in the 5th line and $12.64 \text{ R}\$. \text{m}^{-3}$ in the 7th line. The treatments presented a similar distribution of damages in the remaining trees. The largest amount of damage was caused by the harvester, in contrast the larger damages were caused by the forwarder.

Keywords: Forest Harvest; Harvester; Forwarder; Forest Planning.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Características dendrométricas do povoamento.....	28
Tabela 2. Caracterização do ciclo operacional das máquinas avaliadas.....	32
Tabela 3. Características das toras produzidas em relação ao sortimento.	36
Tabela 4. Check-list utilizado na avaliação dos danos em árvores remanescentes após operações de desbaste mecanizado em povoamentos de <i>Pinus taeda</i>	38

Tabela 5. Classes dos danos causados nas árvores remanescentes do povoamento em função da área.	39
Tabela 6. Classes de intensidade dos danos.	40
Tabela 7. Localização do quadrante do dano em relação a trilha de operação.....	40
Tabela 8. Parâmetros estatísticos do estudo piloto utilizado no cálculo da amostragem dos ciclos operacionais das máquinas avaliadas no desbaste.....	43
Tabela 9. Tempos médios do ciclo operacional do harvester em povoamentos de Pinus taeda nos tratamentos de desbaste de 5ª e 7ª linha.	44
Tabela 10. Valores médios de tempo de cada elemento do ciclo operacional do Forwarder para ambos os tratamentos avaliados	45
Tabela 11. Eficiência operacional, produtividade, consumo de combustível e rendimento energético do <i>harvester</i> e <i>forwarder</i> em povoamento de Pinus taeda nos tratamentos de desbaste de 5ª e 7ª linha.	47
Tabela 12. Custo de produção das máquinas em relação aos tratamentos.	50
Tabela 13. Média e desvio padrão das alturas de cepas e volume desperdiçado de madeira em relação ao tratamento.....	53
Tabela 14. Teste Tukey a 5% de confiança para avaliar se há diferença estatísticas na ocorrência de danos nas árvores remanescentes causados pelas máquinas de colheita.	54

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Tipos de desbaste; (a) Desbaste seletivo; (b) Desbaste sistemático; (c) Desbaste misto.	22
Figura 2. Área de estudo da pesquisa.	27
Figura 3. Máquinas avaliadas: (a) <i>harvester</i> ; e (b) <i>forwarder</i>	28
Figura 4. Modelo de desbaste de 5ª linha.	29
Figura 5. Modelo de desbaste de 7ª linha.	30
Figura 6. Fotografia aérea de umas das áreas do experimento durante a execução do desbaste.	30
Figura 7. Mensuração da altura das cepas.....	37
Figura 8. Classes de localização dos danos nas árvores remanescentes.....	38
Figura 9. Obtenção da área do dano.	39
Figura 10. Marcação dos danos (a) causados pelo <i>harvester</i> (b) e pelo <i>forwarder</i> (c).41	
Figura 11. Distribuição percentual dos elementos do ciclo operacional no tempo total do <i>forwarder</i> ; (a) Tratamento 1; e (b) Tratamento 2.	46
Figura 12. Distribuição percentual dos componentes do custo da operação de desbaste do <i>harvester</i> e do <i>forwarder</i>	49
Figura 13. Classes de comprimento das toras para os sortimentos de laminação e serraria.	51
Figura 14. Classes de comprimento das toras para o sortimento de celulose.....	52
Figura 15. Distribuição das frequências das classes de altura das cepas em relação ao tratamento.	53
Figura 16. Percentual de árvores com danos em relação a linha e percentual de danos causados pelas máquinas em cada linha para o tratamento de 5ª linha.	55
Figura 17. Percentual de árvores com danos em relação a linha e percentual de danos causados pelas máquinas em cada linha para o tratamento de 7ª linha.	56
Figura 18. Distribuição percentual dos danos causados nas árvores remanescentes em relação a trilha de operação.	57
Figura 19. Distribuição percentual dos danos causados nas árvores remanescentes em relação ao sortimento da tora e a máquina.	58
Figura 20. Distribuição percentual das classes de intensidade de danos nas árvores remanescentes em relação ao tratamento e a máquina; Tratamento 1 (a); e Tratamento 2 (b).	59

Figura 21. Distribuição percentual das classes de dimensão dos danos nas árvores remanescentes em relação a máquina no modelo de desbaste de 5ª linha..... 60

Figura 22. Distribuição percentual das classes de dimensão dos danos nas árvores remanescentes em relação a máquina no modelo de desbaste de 7º linha..... 60

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
2. OBJETIVOS	17
2.1 Objetivo geral.....	17
2.2 Objetivos específicos	17
3. REVISÃO DE LITERATURA	18
3.1 O Setor florestal brasileiro	18
3.2 Produção de florestas de <i>Pinus</i> no estado do Paraná.....	18
3.3 Desbaste.....	19
3.3.1 Tipos de desbaste	20
3.3.1.1 Desbaste sistemático	21
3.3.1.2 Desbaste seletivo	21
3.3.1.3 Desbaste misto.....	21
3.4 Mecanização das operações de desbaste.....	22
3.5 Aspectos operacionais do desbaste	23
3.6 Custos da operação do desbaste	24
3.7 Qualidade das operações no desbaste mecanizado	24
3.8 Danos nas árvores remanescentes causados pelo desbaste.....	25
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	27
4.1 Caracterização do local de estudo.....	27
4.2 Caracterização do povoamento florestal.....	27
4.3 Caracterização do sistema de colheita de madeira	28
4.4 Descrição dos modelos de desbaste avaliados	29
4.4.1 Modelo de desbaste de 5ª linha: Tratamento 01	29
4.4.2 Modelo de desbaste de 7ª linha: Tratamento 02.....	30
4.5 Instalação da área experimental.....	30
4.5.1 Preparo e inventario florestal da área para aplicação dos tratamentos	31
4.6 Coleta de dados.....	31
4.6.1 Análise técnica das máquinas nas operações de corte e extração ..	31
4.6.1.1 Tempos médios dos ciclos operacionais.....	32
4.6.1.2 Eficiência Operacional.....	32
4.6.1.3 Produtividade	33
4.6.1.4 Consumo específico de combustível.....	33
4.6.1.5 Rendimento energético	33
4.6.2 Análise de custos das máquinas.....	34

4.6.2.1	Custo operacional	34
4.6.2.2	Custo de produção	35
4.6.3	Análise da qualidade das operações de desbaste	35
4.6.3.1	Comprimento das toras	36
4.6.3.2	Altura das cepas.....	36
4.6.4	Quantificação dos danos nas árvores remanescentes.....	37
4.7	Análises dos dados.....	41
5.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	43
5.1	Análise técnica.....	43
5.1.1	Análise dos ciclos operacionais das máquinas	43
5.1.2	Eficiência operacional, produtividade, consumo específico e rendimento energético.....	47
5.2	Análise de custos.....	48
5.2.1	Custos operacionais.....	48
5.2.2	Custos de produção	49
5.3	Qualidade das operações no desbaste.....	50
5.3.1	Comprimento das toras	50
5.3.3	Altura das cepas.....	53
5.4	Quantificação dos danos causados nas arvores remanescentes	54
6.	CONCLUSÕES	62
7.	RECOMENDAÇÕES	63
8.	REFERÊNCIAS.....	64
	ANEXOS	69

1. INTRODUÇÃO

O desbaste é uma das práticas silviculturais de maior importância aplicadas no manejo de florestas destinadas à produção de madeira com maior valor agregado (GAUTHIER *et al.*, 2015). De acordo com Karlsson (2013) e Campos e Leite (2017), o desbaste é uma técnica que consiste na retirada de algumas árvores do povoamento de forma planejada, permitindo alcançar melhor qualidade da floresta, aumento do crescimento dos indivíduos remanescentes e geração de renda.

O desbaste aplicado de forma mecanizada é uma técnica relativamente nova e muitos estudos ainda precisam ser realizados visando alcançar o melhor desempenho das máquinas, a obtenção de maiores níveis de produtividade, menores custos de produção e melhor qualidade das operações. Segundo Spinelli (2009), essa é uma tarefa complexa e onerosa que exige grande esforço devido à realização do trabalho em espaços restritos, ocasionando baixo desempenho das máquinas e elevados custos de produção.

O custo da colheita é considerado elevado, sendo que, de acordo com Machado (2014), representa mais de 50% do custo total da madeira posta na indústria. Em plantios submetidos ao desbaste, este custo tende a ser ainda maior, sendo, portanto, necessário a realização de pesquisas e o desenvolvimento constante de novas tecnologias para o setor, visando reduzir o custo final da atividade.

O processo de inovação tecnológica aplicada na colheita de madeira, principalmente na indústria de máquinas, segundo Lopes (2010), permitiu o desenvolvimento de máquinas e equipamentos mais robustos, confiáveis e ambientalmente corretos. Além disso, favoreceu a criação de novos modelos de desbaste, que possibilitaram maior produtividade, menor custo e a minimização dos problemas enfrentados pelo desbaste mecanizado.

Entretanto, ainda existem problemas enfrentados na realização de desbastes de forma mecanizada, entre eles, destacam-se os danos causados nas árvores remanescentes do povoamento e a dificuldade de manter o padrão de qualidade das operações de colheita da madeira devido ao limitado espaço que as máquinas têm para efetuar as operações de corte e extração da madeira no interior do povoamento (SPINELLI, 2004).

Além disso, existem dificuldades encontradas pelas máquinas de colheita na realização das etapas de corte (derrubada, processamento e empilhamento) devido além da restrição de espaço, ao fato da necessidade de operar sem que as máquinas e as árvores colhidas entrem em contato com as árvores remanescentes, o que pode provocar danos nas mesmas. Segundo Tavankar et al. (2015), os danos nas árvores remanescentes podem ser de diversas magnitudes, afetando as atividades metabólicas, além de favorecer a propagação de patógenos, que podem afetar a qualidade da madeira e até mesmo a morte da árvore.

Considerando os novos modelos de desbaste disponibilizados pelo desenvolvimento tecnológico das máquinas de colheita e a falta de pesquisas dentro desta temática, torna-se necessário a realização de estudos com a finalidade de analisar a produtividade, os custos, a qualidade das operações de colheita e os danos causados pelas máquinas de corte e extração de madeira nos diferentes modelos de desbastes mecanizados.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Realizar uma análise operacional comparativa entre dois modelos de desbaste mecanizado em povoamentos de *Pinus taeda* L. na região Centro-Sul do estado do Paraná, visando subsidiar o planejamento das operações, o aumento de produtividade, redução de custos e o melhor aproveitamentos dos recursos florestais.

2.2 Objetivos específicos

- a)** Analisar tecnicamente as atividades de corte e extração em dois modelos de desbastes, determinando a distribuição dos tempos operacionais, a eficiência operacional, a produtividade e o rendimento energético das máquinas;
- b)** Determinar os custos operacionais e de produção das operações em ambos os modelos de desbaste;
- c)** Avaliar a qualidade das operações de corte e extração nos dois modelos de desbastes; e
- d)** Quantificar os danos causados pelas máquinas nas árvores remanescentes do povoamento em ambos os modelos de desbastes.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 O Setor florestal brasileiro

Até o final da década de 60, a exploração florestal no Brasil era quase que exclusivamente oriunda de florestas nativas. A implantação de florestas de rápido crescimento proporcionou novo impulso ao setor florestal brasileiro, ocorrido por meio da criação da política governamental de incentivos fiscais (MACHADO et al., 2014).

De acordo com Pereira (2003), a partir de então, as florestas provenientes de reflorestamento passaram a assumir o fornecimento de matéria-prima para quase todos os produtos florestais. Os movimentos ambientalistas e a crescente necessidade imposta pela própria economia de base florestal, levaram o Brasil a promover uma substituição do uso das matas nativas por florestas plantadas no suprimento de seus produtos florestais.

Segundo a Indústria Brasileira de Árvores – IBÁ (2017), o setor de florestas plantadas é atualmente responsável por 1,1% de toda a riqueza gerada no País, 6,2% do produto interno bruto (PIB) industrial e geração de R\$ 11,4 bilhões de tributos por ano. Além disso, o setor se destaca pela sua importância para a sociedade em termos econômicos, sociais e ambientais, sendo responsável, em 2016, pela geração de 3,7 milhões de empregos, sendo 510 mil empregos diretos. Além disso, a área total de árvores plantadas totalizou 7,84 milhões de hectares em 2016, apresentado um crescimento de 0,5% em relação ao ano de 2015. Desse total os plantios de pinus ocupam 1,6 milhões de hectares e concentram-se principalmente na região Sul do País, onde estão concentrados 88% dos plantios nacionais.

3.2 Produção de florestas de *Pinus* no estado do Paraná

O estado do Paraná é o maior produtor de *Pinus* no Brasil, responsável por 42% da produção nacional, sendo este gênero a principal cultura florestal do estado, com mais 700 mil hectares plantados, superando a cultura do eucalipto com 340 mil hectares. A região centro-sul do estado é onde se concentram as maiores áreas de plantios, com mais de 600 mil hectares plantados. Essa maior concentração de *Pinus* se deve ao fato de que o estado possui as melhores

condições edafoclimáticas para esse gênero e alocar os principais centros processadores de sua madeira (EISFELD, 2015; IBÁ, 2017).

Segundo Aguiar (2014), dentre as espécies do gênero *Pinus sp.* plantados na região, o *Pinus taeda* é a mais importante comercialmente, se destacando por apresentar um elevado incremento volumétrico em regiões mais frias e um menor teor de resina em sua madeira, quando comparada ao *Pinus elliottii*.

A madeira de pinus é comercializada no mercado e utilizada para diversos fins industriais, como produção de celulose, papel de alta resistência para embalagens, madeira para serraria, construção civil, movelaria, laminados, compensados, entre muitos outros (SCHIMIZU, 2010).

A grande demanda por essa madeira faz com que as empresas busquem continuamente elevar os índices de produtividade dos plantios. De acordo com IBÁ (2017), a produtividade média do *Pinus* no Brasil é de 30,5 m³.ha⁻¹ por ano, porém, plantios no Sul do Brasil vêm alcançando incrementos médios anuais (IMA) superiores a 40 m³.ha⁻¹ por ano e níveis de produtividade entre os maiores do mundo para essa espécie (LIMA, 2013).

Esses resultados encontrados se devem além dos fatores edafoclimáticos da região propícios ao desenvolvimento da espécie, aos tratos silviculturais empregados nos plantios, em que o principal deles é a técnica do desbaste (IBÁ, 2017).

3.3 Desbaste

A execução de desbastes constitui em um dos principais tratamentos silviculturais aplicados no manejo de povoamentos florestais destinados à produção de madeira. Segundo Campos e Leite (2017), é uma técnica que consiste na retirada de algumas árvores do povoamento, de forma planejada, permitindo alcançar melhor qualidade e aumento do crescimento futuro da floresta.

O principal objetivo do desbaste é aumentar o crescimento individual das árvores remanescentes do povoamento, afim de atingir maior valor comercial por meio da regularização da competição dos fatores de crescimento (luz, água e nutrientes) entre indivíduos (DAVEL, 2009; OLIVEIRA, 2009). O desbaste busca ainda melhorar o padrão do povoamento, principalmente em qualidade, por meio

da retirada de indivíduos com má formação de fuste, baixo crescimento e menor qualidade (SCOLFORO, 1997).

De acordo com Spinelli (2004), o desbaste tem como objetivo secundário a busca por lucro antecipado, que pode ser utilizado para pagar os custos de implantação e manutenção do povoamento, além de evitar perdas pela não utilização de árvores que poderiam morrer por causa da competição.

De acordo com Davel (2009), o momento mais oportuno para a realização do desbaste é indicado pelo fechamento das copas das árvores, que indica o ponto mais intenso da falta de espaço e de maior competição entre as árvores, sendo então necessário a regulação da densidade do povoamento.

A densidade do desbaste definida por Crechi et al. (2005) como o percentual de árvores a serem retiradas do talhão no momento do desbaste. A correta regulação da densidade do desbaste é a chave para uma boa condução do povoamento em conformidade com os objetivos planejados, possibilitando a predição das condições futuras do povoamento (RETSLAFF et al., 2016).

3.3.1 Tipos de desbaste

A realização do desbaste em plantios florestais pode ser classificada conforme os custos de operação, com os tipos de árvores que serão removidas ou permanecerão no povoamento e o formato da remoção das árvores (FINGER e SCHNEIDER, 1999).

Em relação aos custos de operação, Spinelli e Magagnotti (2010) classificam o desbaste em pré-comercial e comercial, sendo o primeiro, realizado em plantios muito jovens, quando o valor dos produtos obtidos ainda não subsidia os custos das operações de corte e extração da madeira, sendo considerado sua aplicação incomum no Brasil e realizado apenas para atender questões do manejo visando atingir maior benefício futuro.

Lageson (1997) classifica o desbaste como “desbaste por baixo” ou “desbaste pelo alto”, levando-se em conta as árvores que permanecerão no povoamento ou que serão retiradas. Estes tipos de desbastes são determinados pela relação entre a média do Diâmetro à Altura do Peito (DAP) das árvores eliminadas e das árvores remanescentes, definindo assim, uma relação de desbaste (RD). No Brasil, Sixel (2008), explica que o tipo usualmente utilizado é

o desbaste por baixo, onde o DAP das árvores retiradas é menor em relação as árvores remanescentes, ou seja, são removidas as árvores inferiores (dominadas ou defeituosas), deixando as árvores de maiores diâmetros. Esse método permite melhores resultados na produção e na qualidade da madeira.

Em relação a classificação do desbaste quanto ao formato de remoção das árvores, Muller *et al.* (2006) apresentam as seguintes formas: sistemático, seletivo e misto.

3.3.1.1 Desbaste sistemático

É o desbaste que consiste na remoção de todas as árvores em intervalos de linhas preestabelecidas no talhão. Esta remoção é feita sem avaliação prévia das árvores, não sendo levada em conta a classe das copas ou a qualidade das árvores que serão retiradas. O único critério variável é a intensidade do desbaste, o que acarreta perda na produtividade da floresta. Por esse motivo é indicado apenas para povoamentos altamente uniformes, nos quais as árvores pouco se diferenciaram entre si (MULLER *et al*, 2006; SIXEL, 2008).

3.3.1.2 Desbaste seletivo

Consiste na retirada de algumas árvores segundo certas características pré-estabelecidas, que variam de acordo com o propósito que se destina a produção. Para a escolha dessas árvores é necessária a prévia seleção no campo, situação que não ocorre no desbaste sistemático. O sistema mais empregado é o seletivo por baixo, que consiste na remoção das árvores inferiores (dominadas ou defeituosas), deixando as árvores de maiores diâmetros. Esse método é mais trabalhoso, porém, permite melhores resultados na produção e na qualidade da madeira. As desvantagens são o elevado custo da operação e a maior dificuldade de extração das árvores (SIXEL, 2008).

3.3.1.3 Desbaste misto

Consiste na combinação entre as características dos dois desbastes anteriores, onde primeiramente é aplicado o desbaste sistemático e, consecutivamente, o seletivo até alcançar à percentagem de remanescentes desejada (BURGIN, 2016). Esse tipo de desbaste geralmente é usado em

operações totalmente mecanizadas, onde as linhas sistemáticas são feitas para permitir a entrada das máquinas no talhão, e posteriormente, permitir a realização do desbaste seletivo de forma mecanizada.

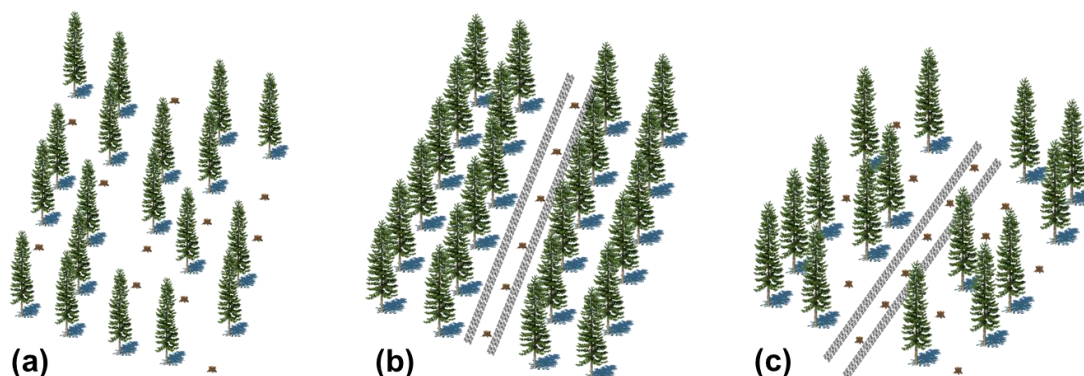


Figura 1. Tipos de desbaste; (a) Desbaste seletivo; (b) Desbaste sistemático; (c) Desbaste misto. Fonte: o autor.

3.4 Mecanização das operações de desbaste

A entrada das máquinas de colheita de madeira no interior do talhão para executar as operações de desbaste passou a ser uma necessidade (SPINELLI, 2004). De acordo com Lima e Leite (2017), a mecanização florestal proporciona o aumento da produtividade, diminuição de riscos e acidentes operacionais e o controle e redução dos custos de produção.

Porém, na realização do desbaste, as máquinas trabalham em espaços reduzidos e com muitas limitações operacionais no interior dos povoamentos. Spinelli et al. (2004) afirmam que os desbastes são operações que apresentam grande dificuldade de execução, devido as árvores remanescentes limitarem a mobilidade das máquinas no interior da floresta, além do elevado custo de produção e baixo valor das árvores retiradas.

Para diminuir os custos da colheita de madeira, a escolha do sistema de colheita adequado é essencial. Silva *et al* (2003) afirmam que para o emprego de um sistema de colheita da madeira é necessário entender sobre as possíveis variáveis que interferem no rendimento das máquinas, possibilitando o uso de técnicas que melhorem a eficiência operacional, a maximize a produtividade e reduza os custos.

De acordo com Machado et al. (2014), a escolha de um sistema de desbaste mecanizado depende de vários fatores, tais como: solo, relevo,

condições climáticas, tamanho e uso da madeira, incremento do talhão, regime de manejo e sistema de colheita da madeira. Malinovski et al. (2008) mencionaram também aspectos operacionais como o uso final da madeira, o tipo e intensidade de desbaste.

3.5 Aspectos operacionais do desbaste

A realização de estudos com o objetivo de conhecer as variáveis e os fatores técnicos que interferem no rendimento das máquinas e equipamentos da colheita de madeira é uma preocupação constante das empresas florestais, visando ao desenvolvimento de técnicas que melhorem o desempenho operacional e a eficiência das máquinas, maximizando a produtividade e reduzindo os custos de produção (Silva et al. 2003).

Nas operações de colheita da madeira existem fatores técnicos, econômicos e ergonômicos que interferem diretamente na capacidade operacional das máquinas e, conseqüentemente, no custo final da madeira (MACHADO, 2014). E dentre os principais fatores que influenciam na produtividade do desbaste, Burgin (2016) cita: o diâmetro das árvores, o volume médio individual (VMI), volume por hectare, declividade do terreno, espaçamento, produção de sortimentos, comprimento da madeira e experiência do operador. Em relação ao *harvester* ainda podemos citar o tipo de rodado (pneu ou esteira), especificações do cabeçote, alcance da grua e para o *forwarder* a capacidade de carga e distância de extração.

A execução das operações de desbaste é ainda mais difícil e complexa em comparação com o corte raso, sendo que um dos principais fatores deve-se à necessidade de eliminação de somente algumas árvores, enquanto as árvores remanescentes limitam o tipo de máquina a ser utilizada e a mobilidade da mesma no interior do talhão (SPINELLI e NATI, 2009; SPINELLI e MAGAGNOTTI, 2010).

Mederski (2006) afirma que outro fator que colabora para a baixa produtividade das máquinas nas operações de desbaste está relacionado ao pequeno tamanho e distribuição irregular das árvores no interior da floresta. De acordo com Petty e Karha (2008), além do pequeno volume das árvores, a produtividade das máquinas é influenciado pela menor quantidade de árvores por unidade de área.

3.6 Custos da operação do desbaste

MACHADO e LOPES (2008), afirmam que a colheita e o transporte são responsáveis por mais da metade do custo final da madeira colocada no centro consumidor, os quais podem ser divididos em custos fixos e variáveis.

De acordo com o SEBRAE (2016), são considerados custos fixos aqueles gastos que permanecem constantes, independente de aumentos ou diminuições na quantidade produzida (custo de maquinário). Já os custos variáveis são aqueles que sofrem alterações na mesma proporção das variações no volume trabalhado (exemplo: custos de manutenção e combustíveis).

O custo operacional de uma máquina, segundo HARRY et al. (1991), é o somatório de todos os custos resultantes de sua aquisição e operação. O seu conhecimento é uma etapa de fundamental importância para o planejamento e o controle de sua utilização. A variação deste custo é influenciada, principalmente, pela eficiência operacional e pela jornada de trabalho.

Os custos de produção da atividade de desbaste tendem a ser ainda mais elevados, devido a menor produtividade das máquinas e o baixo volume dos produtos produzidos, principalmente na realização do 1º desbaste, onde não é possível a produção de madeira nos sortimentos mais nobres e de maior valor comercial (KÄRHA, 2008).

A redução dos custos da colheita, segundo Rezende et. al. (1997), é vital para qualquer empresa, uma análise detalhada e por partes dos custos nos diferentes métodos de colheita tem um papel importante no entendimento dos mesmos, além de facilitar os estudos com o objetivo de reduzi-los.

Por esse motivo, a seleção de máquinas adequadas, a realização de pesquisas e o desenvolvimento de melhorias na maneira como são realizados os desbastes, visando redução de custos operacionais, são necessidades contínuas das empresas do setor florestal.

3.7 Qualidade das operações no desbaste mecanizado

O controle de qualidade não deve estar voltado apenas para o produto final obtido, mas também para todo o processo que envolve a atividade florestal (REZENDE, 2000). A colheita de madeira por ser a atividade de maior custo dentro do processo produtivo florestal, de acordo com Trindade et al. (2007), é a

que traz maior retorno com a implementação de programas de qualidade, podendo-se colher os resultados quase que imediatamente.

Uma das várias definições de qualidade, Trindade et al. (2012) cita como a ausência de deficiências e a minimização ou extinção dessas deficiências durante o desbaste, acarretando uma série de benefícios, como redução do desperdício de madeira, melhoria no desempenho operacional das máquinas, redução dos custos de produção e maximização dos lucros.

Uma das ferramentas de controle de qualidade muito utilizada no setor florestal é a padronização, definida por Trindade et al. (2007) como a uniformização de um processo repetitivo, facilitando a sua reprodução e controle. A adoção de um procedimento padrão de trabalho, além de prevenir os erros, facilita a procura por causas dos problemas em cada etapa do processo, e possibilitando a sua melhoria contínua.

Para gerar uma base de informações que permita propor melhorias nas atividades operacionais e melhorar o controle de qualidade é necessário o monitoramento e gerenciamento das atividades operacionais, avaliações da qualidade do produto, sendo essa uma importante ferramenta para a adoção de medidas preventivas e corretivas ao longo de todo o ciclo florestal.

3.8 Danos nas árvores remanescentes causados pelo desbaste

No desbaste, os danos nas árvores remanescentes do povoamento são ferimentos causados pelas máquinas ou pelas árvores que estão sendo removidas, podendo ocorrer em diversos graus de magnitude. Segundo Cabral (2015), os danos são muito comuns após a realização das operações de desbaste mecanizado, ocorrendo de forma imediata, danos diretos do tipo físico e posteriormente, danos indiretos, conforme a sua magnitude, podendo reduzir o crescimento da floresta.

Segundo Landford e Stokes (1995), as lesões provocadas pelo impacto das máquinas nas árvores remanescentes no interior da floresta são difíceis de serem evitadas devido à restrição do espaço em que as máquinas operam. Essas lesões comprometem a qualidade do produto final, causando desvalorização comercial significativa devido à redução dos atributos físicos da madeira.

De acordo com Cabral (2015), a ocorrência de danos nas árvores remanescentes em operações de desbaste não é somente uma questão operacional na colheita de madeira. O manejo tem participação ao permitir a realização dos desbastes tardios, onde com o avanço da idade do povoamento ocorre o fechamento das copas e possibilita a ocorrência de danos maiores na floresta.

A ocorrência de ferimentos nas árvores remanescentes do talhão pode ocasionar injúrias nas árvores dificultando suas atividades metabólicas, como a fotossíntese, e em casos mais graves pode provocar até mesmo a morte dos indivíduos. Lineros et al. (2003) ainda afirmam que, a ocorrência de ferimentos pode favorecer o ataque de insetos e outros patógenos, além da diminuição da qualidade tecnológica e que todos esses fatores acarretam perdas econômicas para a floresta.

Malinovski et al. (2008), explicam que é imprescindível conhecer a quantidade de árvores remanescentes que poderá ficar comprometida com injúrias. Sirén (2001) complementa informando que a avaliação dos níveis de danos na floresta remanescente deve ser empregada no estudo econômico global das operações de desbaste.

Cabral (2015), estudando danos em dois modelos de desbaste encontrou um percentual de 13 a 17% de danos nas árvores remanescentes, sendo que a maioria dos ferimentos eram ocasionados pela movimentação da grua do *harvester*. Lopes (2018), pesquisando a ocorrência de danos em diferentes declividades encontrou que os danos causados pelo *harvester* nas árvores remanescentes foi de 19,2 e 16,2% nas declividades de 0 a 10° e 10,1 a 20°, respectivamente, enquanto o *forwarder* afetou 16,8% das árvores na declividade de 0 a 10° e 12,8% na declividade de 10,1 a 20°.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Caracterização do local de estudo

O estudo foi conduzido no município de Pinhão, região centro-sul do estado do Paraná, em áreas de uma empresa florestal produtora de toras para atendimento ao mercado consumidor. A área de estudo foi estabelecida sob relevo suave ondulado (0 a 8%), representada na Figura 2.

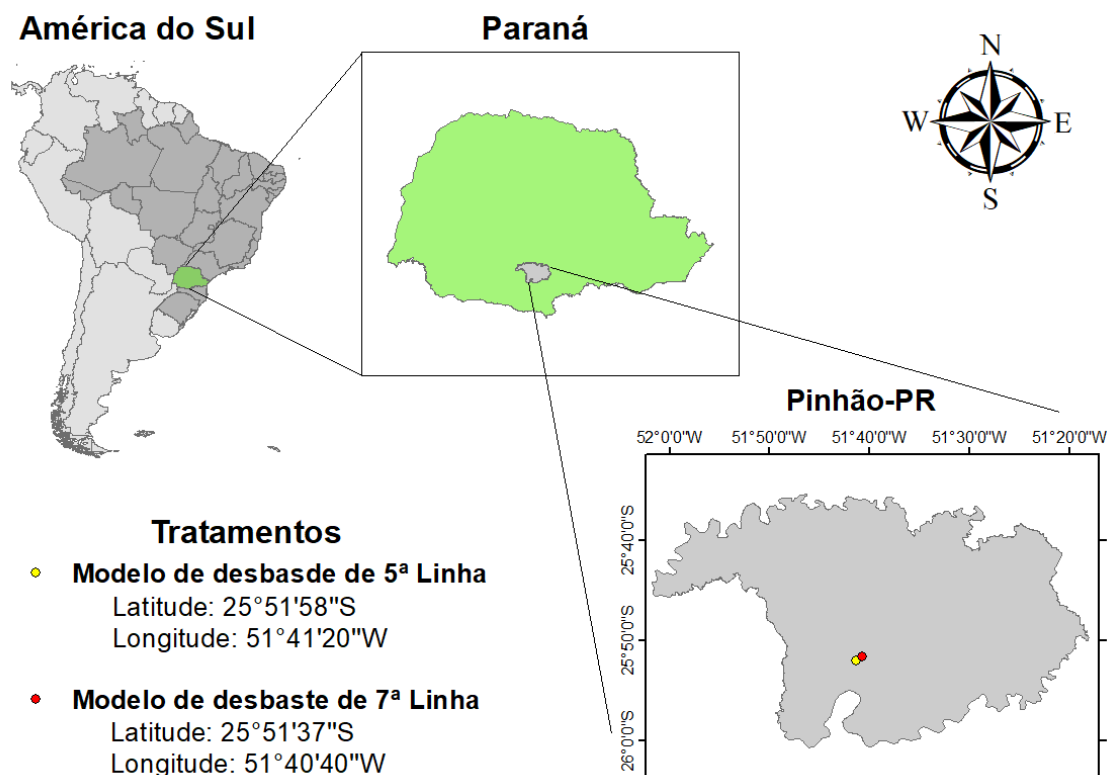


Figura 2. Área de estudo da pesquisa.

O clima da região da pesquisa é classificado, de acordo com Köppen, como temperado (Cfb), com temperatura média no mês mais frio abaixo de 18°C (mesotérmico), com verões frescos, temperatura média no mês mais quente abaixo de 22°C e sem estação seca definida. A precipitação média mensal é de 176,25 mm (IAPAR, 2017).

4.2 Caracterização do povoamento florestal

A pesquisa foi realizada em uma área de aproximadamente 8 hectares de povoamento homogêneo de *Pinus taeda* L., plantados em 2008 (10 anos) com espaçamento de 2,5 x 2,5 m (1600 árvores por hectare), sendo submetida ao primeiro desbaste.

Inicialmente foi realizado um inventário para levantamento das características dendrométricas do povoamento (Tabela 1).

Tabela 1. Características dendrométricas do povoamento.

Característica	Valor
Idade (anos)	10
DAP (cm)	20,37 ± 4,92
Altura média (m)	15,79 ± 1,14
Altura dominante (m)	17,61 ± 0,54
Volume médio individual (m ³)	0,254 ± 0,113

Em que: DAP = diâmetro a 1,30 m do solo.

4.3 Caracterização do sistema de colheita de madeira

O sistema de colheita da madeira utilizado foi de toras curtas (*cut-to-length*), composto por um *harvester* e um *forwarder*, onde a primeira máquina realizava a operação de corte, processamento e empilhamento da madeira em forma de tora no interior do talhão, enquanto a segunda realizava o baldeio das toras até a margem das estradas (Figura 3).



Figura 3. Máquinas avaliadas: (a) *harvester*, e (b) *forwarder*.

O *harvester* estudado possuía motor de 228 cv, com 19,25 toneladas, rodados de pneus equipados com semiesteira, tração 6 x 6 e equipado com um cabeçote processador com 1,33 toneladas, com 6 facas de desgalhamento (4 móveis e 2 fixas), diâmetro máximo de corte de 750 mm, com sabre e corrente.

O *forwarder* estudado possuía motor de 183 cv, rodados de pneus com tração 8 x 8 e equipados com semiesteiras. A grua apresentava alcance de 10m para ambos os lados, a garra com área útil de 0,36 m², e o compartimento de carga com capacidade de 15 toneladas.

A extração de madeira era realizada de acordo com a classe do sortimento, em que em uma viagem eram baldeadas as toras do sortimento de celulose, e em seguida, realizado o baldeio das toras de laminação e serraria.

4.4 Descrição dos modelos de desbaste avaliados

O sistema de colheita da madeira utilizado foi integralmente mecanizado, fazendo-se necessário a remoção de algumas linhas no povoamento de forma sistemática, ou seja, removendo todas as árvores de uma linha, de forma a permitir a entrada das máquinas no interior do talhão. Nas demais linhas o desbaste ocorreu de forma seletiva, sendo que as árvores escolhidas para serem removidas aquelas que apresentaram menor crescimento, bifurcação e tortuosidades. Foram retiradas porcentagens diferentes no desbaste seletivo de cada tratamento de forma que a soma do desbaste sistemático e seletivo fosse 51% em ambos os tratamentos.

Os tratamentos avaliados se diferenciaram entre si pelo intervalo entre as linhas removidas de forma sistemática (4 linhas e 6 linhas).

4.4.1 Modelo de desbaste de 5ª linha: Tratamento 01

O modelo de desbaste de 5ª linha é considerado o modelo de desbaste convencional adotado pela empresa, consistindo na remoção total da quinta linha de plantio de forma sistemática e a realização do desbaste seletivo nas duas linhas adjacentes, conforme a Figura 4.

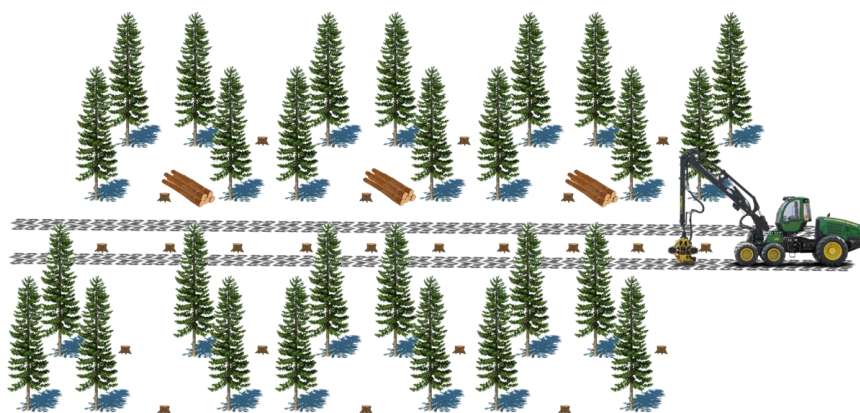


Figura 4. Modelo de desbaste de 5ª linha.

4.4.2 Modelo de desbaste de 7ª linha: Tratamento 02

O modelo de desbaste de 7ª linha foi o tratamento testado nesta pesquisa, consistindo na remoção total da sétima linha de forma sistemática e a realização do desbaste seletivo nas três linhas adjacentes, conforme a Figura 5.

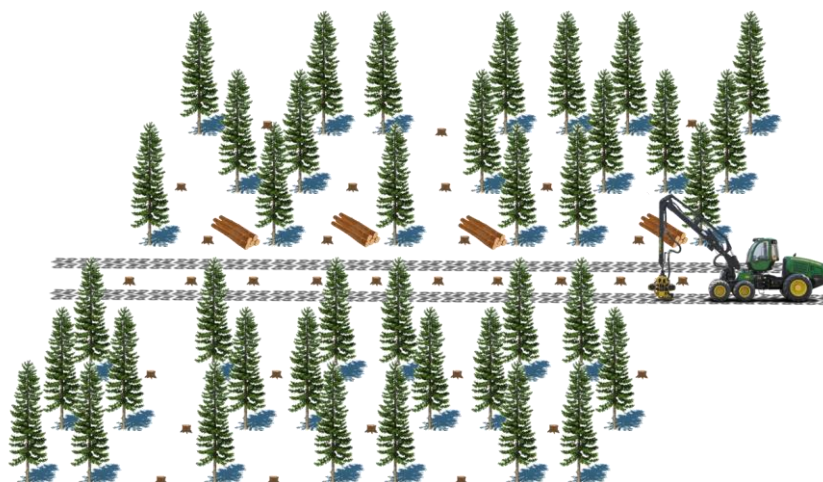


Figura 5. Modelo de desbaste de 7ª linha.

4.5 Instalação da área experimental

A área experimental foi estabelecida em talhões que apresentaram condições de homogeneidade, permitindo a aplicação dos dois tratamentos em uma mesma área (Figura 6).



Figura 6. Fotografia aérea de umas das áreas do experimento durante a execução do desbaste.

4.5.1 Preparo e inventario florestal da área para aplicação dos tratamentos

Após a definição da localização do experimento, foi feita a alocação física e a demarcação dos limites das áreas dos tratamentos. Em sequência, no mês de novembro 2017, foi realizado o inventário na forma de censo das árvores, obtenção das características dendrométricas e a marcação das árvores e serem retiradas no desbaste.

4.6 Coleta de dados

Os dados foram coletados em campo no mês de fevereiro de 2018, iniciando-se pela coleta de dados dos tempos operacionais do *harvester* e do *forwarder* e obtenção dos dados relativos à produtividade e custos das máquinas. Após a realização da colheita da madeira foram avaliados a qualidade das toras, a altura das cepas e quantificados os danos causados pelas máquinas nas árvores remanescentes.

4.6.1 Análise técnica das máquinas nas operações de corte e extração

As coletas de dados foram feitas a partir de estudos de tempos e movimentos, por meio do método de cronometragem de tempos contínuos, com o uso de cronômetro digital, prancheta e formulários específicos para registro dos dados. As operações de corte e extração da madeira foram subdivididas em fases do ciclo de trabalho, conforme apresentado na Tabela 2. O número mínimo de repetições por fase da atividade foi definido com o uso de um estudo de tempos piloto para se utilizar a Equação 01, usada por Conaw (1977):

$$n \geq \frac{t^2 \times s^2}{E^2} \quad (\text{Eq. 1})$$

Em que: n = número de amostras necessárias; t = valor tabelado a 5% de probabilidade (distribuição t de Student); s² = variância da amostra; e e = erro admissível a 5%.

Tabela 2. Caracterização do ciclo operacional das máquinas avaliadas.

Harvester	
Busca e Corte	Tempo compreendido pela movimentação do braço e do cabeçote da máquina na procura de uma árvore, iniciando no começo da movimentação da grua e finalizando com a separação da árvore da cepa.
Processamento	Realização das atividades de desgalhamento, descascamento, toragem, destopamento e empilhamento da madeira.
Deslocamento da máquina	Movimento da máquina, caracterizado pelo acionamento do pneu e finalizando com a sua interrupção.
Interrupções	Paradas no ciclo operacional da máquina por motivos diversos.
Forwarder	
Deslocamento Vazio	Deslocamento do <i>forwarder</i> da margem do talhão até o local da primeira pilha de toras a ser carregada no interior do talhão.
Carregamento	Colocação da madeira empilhada no campo no compartimento de carga do <i>forwarder</i> . Inicia-se com o movimento da grua em direção a pilha e finaliza com o posicionamento da grua sobre o compartimento de carga da máquina carregada.
Deslocamento Carregado	Extração da madeira do interior do talhão até a margem da estrada.
Descarregamento	Retirada da madeira do compartimento de carga e empilhamento na margem da estrada.
Interrupções	Paradas no ciclo operacional da máquina por motivos diversos.

4.6.1.1 Tempos médios dos ciclos operacionais

A obtenção dos tempos médios de cada elemento do ciclo operacional das máquinas de colheita de madeira foi realizada com o objetivo de gerar medidas comparativa entre os dois tratamentos testados.

4.6.1.2 Eficiência Operacional

É a porcentagem do tempo efetivamente trabalhado em relação ao tempo total programado para o trabalho (Equação 02).

$$E_o = \frac{HE}{HP} \times 100 \quad (\text{Eq. 2})$$

Em que: EO= Eficiência Operacional (%); HE= Horas efetivamente trabalhadas (h); e HP= Horas programadas para trabalho (h).

4.6.1.3 Produtividade

A determinação da produtividade do *harvester* e do *forwarder* foi obtida com base no volume médio por árvore, distribuídas nas classes volumétricas, sendo esses dados fornecidos pelo inventário florestal (Equação 03).

$$\text{Prod} = \frac{n_a \times v_a}{h_e} \quad (\text{Eq. 3})$$

Em que: Prod= Produtividade ($\text{m}^3 \text{h}^{-1}$); n_a = número de árvores colhidas; v_a = volume médio por árvore (m^3); e h_e = horas efetivas de trabalho (h).

4.6.1.4 Consumo específico de combustível

O consumo específico de combustível (CE) foi expresso por unidade de potência nominal do trator (Pt) e calculado para cada máquina do sistema de colheita da madeira avaliado (Equação 04).

$$\text{CE} = \frac{D \times C}{P_t} \quad (\text{Eq. 4})$$

Em que: CE = Consumo específico de combustível ($\text{g Kw}^{-1} \text{h}^{-1}$); D = Densidade do combustível (g L^{-1}), sendo considerado 853 g L^{-1} para diesel; C = Consumo de combustível por hora (L h^{-1}); e P_t = Potência nominal do trator (kW).

4.6.1.5 Rendimento energético

O rendimento energético (RE) foi calculado pela divisão do consumo específico de combustível (CE) pela produtividade (Pr) de cada máquina avaliada (Equação 05).

$$\text{RE} = \frac{\text{CE}}{\text{Prod}} \quad (\text{Eq. 5})$$

Em que: RE = Rendimento energético ($\text{g Kw}^{-1} \text{m}^3$); CE = Consumo específico de combustível ($\text{g kW}^{-1} \text{h}^{-1}$); e Pr = Produtividade da máquina ($\text{m}^3 \text{h}^{-1}$).

4.6.2 Análise de custos das máquinas

Para a análise dos custos foi calculado o custo operacional por hora trabalhada das máquinas e o custo de produção com base nos dados fornecidos pela empresa.

No cálculo dos custos operacionais, foram obtidos os custos fixos, aqueles que não variam dependente das horas trabalhadas, (depreciação, juros e seguros), e os custos variáveis (combustíveis, óleo hidráulico, lubrificantes e graxas, manutenção e reparos); pessoal operacional (salário e encargos sociais); e os custos de administração. Estimados pela metodologia proposta por Miyata (1980);

4.6.2.1 Custo operacional

a) Custos fixos

- **Juros e seguros**

Os juros e seguros ($JS=R\$ hf^{-1}$) foram calculados pela aplicação de uma taxa de juros ao investimento, correspondente ao capital proporcionado por agência financeira (Equações 06 e 07).

$$JS = \frac{IMA \times i}{Hf} \quad (\text{Eq. 6})$$

Em que: JS= juros e seguros ($R\$.hf^{-1}$); ; IMA – Investimento médio anual; i = taxa anual de juros simples (%); Hf = horas efetivas de uso anual.

$$IMA = \frac{Va[(t+1)+Vr(t-1)]}{(2 \times t)} + Vr \quad (\text{Eq. 7})$$

Em que: Va = valor de aquisição da máquina (R\$); Vr = valor residual da máquina (R\$); t= vida útil em anos.

- **Depreciação**

A depreciação é um modo de recuperar o investimento original de uma máquina. Foi utilizada para o cálculo a formula da depreciação linear, conforme observa-se na Equação 08:

$$D = \frac{Va - Vr}{H} \quad (\text{Eq. 8})$$

Em que: D = Depreciação (R\$); Va = Valor de aquisição da máquina (R\$); Vr = valor residual (R\$); H= vida econômica da máquina (horas totais).

b) Custos variáveis

São os custos que variam, proporcionalmente, com a quantidade produzida ou com o uso da máquina, tais como os custos de combustível, lubrificantes, óleo hidráulico e manutenção e reparos.

c) Remuneração de pessoal

São custos variáveis, sendo formados pelos custos diretos e indiretos com os operadores das máquinas.

d) Custo de Administração

São os custos indiretos, relacionados com a administração do trabalho e maquinário. Neste caso foram obtidos através de dados fornecidos pela empresa.

4.6.2.2 Custo de produção

O cálculo do custo de produção foi realizado pela divisão dos custos operacionais (R\$ h⁻¹) pela produtividade (m³ h⁻¹) de cada máquina em ambos os tratamentos, obtendo-se assim, o custo por metro cúbico (m³) de madeira produzido.

4.6.3 Análise da qualidade das operações de desbaste

Para o estudo de qualidade das operações de desbaste foram analisados o comprimento das toras em cada sortimento e a altura das cepas em ambos os tratamentos.

Cada sortimento de madeira possui características de diâmetro, comprimento e valor comercial diferente. A empresa onde foi realizada a pesquisa utilizava três sortimentos diferentes de madeira (celulose, laminação e

serraria), cuja as características de cada sortimento estão apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3. Características das toras produzidas em relação ao sortimento.

Características	Sortimento		
	1	2	3
Diâmetro menor (m)	> 0,18	> 0,14 até 018	> 0,08 até 14
Comprimento da tora (m)	2,60	2,60	3,60
Valor Comercial	Alto	Médio	Baixo
Destino	Serraria	Laminação	Celulose

4.6.3.1 Comprimento das toras

O comprimento das toras é um dos fatores mais utilizados para se avaliar a qualidade da colheita de madeira, principalmente quando se corta madeira para laminação e serraria, onde neste caso, se a tora é cortada com o comprimento menor do que o especificado a madeira fica imprópria para tal uso e ocasiona seu descarte.

Ao contrário, se a madeira é cortada em um comprimento maior do que o especificado, ocorre um desperdício de madeira e por consequência reduz o lucro final do investimento florestal, além de que toras com o comprimento maior do que o especificado podem causar problemas no carregamento e transporte.

Para se avaliar a qualidade das toras seccionadas, foi medido o comprimento das mesmas com o uso de uma fita métrica em cada um dos sortimentos e em ambos tratamentos. Posteriormente foi realizada a tabulação para comparação da medida real encontrada em campo com a medida padrão especificada para cada sortimento.

4.6.3.2 Altura das cepas

A altura das cepas é compreendida entre a parte superior do toco remanescente em relação ao nível do solo. O padrão recomendado e desejado pela empresa foi de até 10 cm, sendo que cepas com alturas acima indicavam haver desperdício de madeira.

Foram medidas as alturas das cepas com o auxílio de uma fita métrica (Figura 7), com o intuito de comparar o valor médio obtido nos dois tratamentos

com o valor recomendado e posterior cálculo do volume desperdiçado de madeira ($m^3 \text{ ha}^{-1}$).



Figura 7. Mensuração da altura das cepas.

Para análise da perda de volume de madeira foi quantificado o volume médio de madeira desperdiçado em cada cepa e posteriormente foram extrapolados os valores para um hectare com o uso da Equação 09.

$$V = \left[\frac{(\pi \times D^2)}{40.000} \right] \times h \times f \quad (\text{Eq. 9})$$

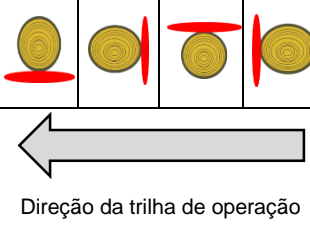
Em que: V = Volume desperdiçado de madeira por hectare (m^3); D = diâmetro médio das cepas (18,29 cm); π = 3,141592654 h = altura média remanescente acima de 10 cm (m); f = 816 (fator de conversão para hectare = $1600 \times 0,51$).

4.6.4 Quantificação dos danos nas árvores remanescentes

A quantificação e análise dos danos nas árvores remanescentes do povoamento em ambos os modelos de desbaste foi realizada com base em um inventário de danos, sendo coletados dados de quantidade, intensidade e parte das árvores que obtiveram injúrias, bem como a localização das árvores afetadas

no talhão em relação a trilha de operação e a máquina responsável pelo dano. Os dados foram coletados através de uma ficha própria para análise de danos adaptada de Cabral (2015) e apresentada na Tabela 4.

Tabela 4. *Check-list* utilizado na avaliação dos danos em árvores remanescentes após operações de desbaste mecanizado em povoamentos de *Pinus taeda*.

Nº	Localização do dano			Classe de dimensão do dano (cm)	Intensidade do dano			Localização do dano ou ferida em relação a trilha de operação	Colocação da árvore em relação a linha de desbaste sistemático	Máquina causadora do dano	
	Toras de serraria (*)	Toras de laminação (*)	Toras de celulose (*)		Leve *	Moderado *	Intenso *			Harvester	Forwarder
				0 a 50 >50 a 100 >100 a 150 >150 a 200 >200					1ª, 2ª ou 3ª linha. Lado esquerdo ou direito		
1											
2											

Fonte: Adaptado de Cabral (2015).

a) Localização dos danos em relação ao sortimento

A localização dos danos nas árvores foi avaliada com base na árvore média do povoamento, avaliando se o dano ocorria na tora destinada a serraria, laminação ou celulose (Figura 8).

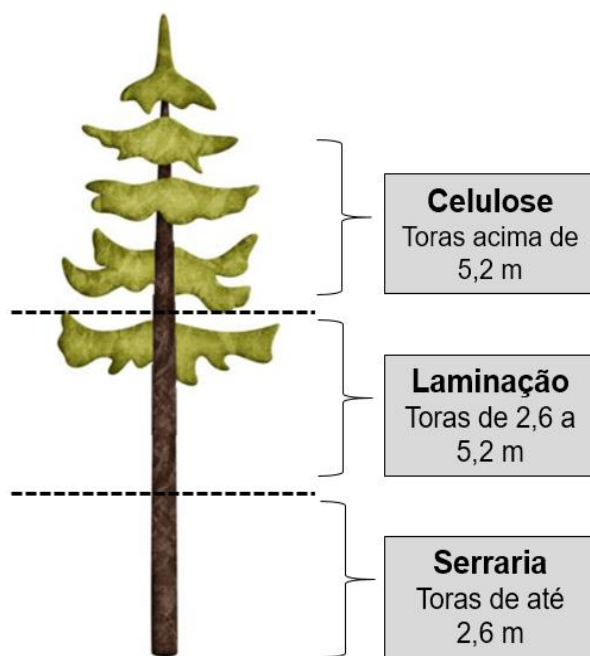


Figura 8. Classes de localização dos danos nas árvores remanescentes.

b) Dimensão dos danos

A dimensão dos danos nas árvores remanescentes do povoamento foi mensurada com o auxílio de uma folha plástica transparente quadriculada com quadrados de 1 cm² (Figura 9).



Figura 9. Obtenção da área do dano.

As áreas dos danos causado nas árvores remanescentes foram divididos em cinco classes, conforme apresentado na Tabela 5.

Tabela 5. Classes dos danos causados nas árvores remanescentes do povoamento em função da área.

Classes de área	Área dos danos (cm²)
1	0 a 50
2	> 50 a 100
3	> 100 a 150
4	> 150 a 200
5	> 200

c) Intensidade dos danos

A classificação quanto a intensidade dos danos nas árvores foi feita com base na profundidade do ferimento de acordo com a Tabela 6.

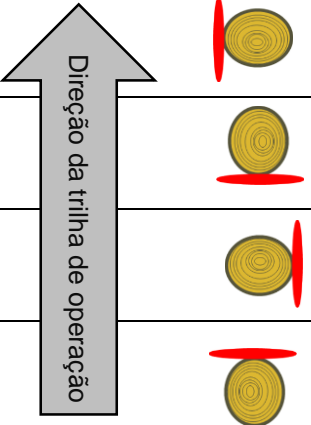
Tabela 6. Classes de intensidade dos danos.

Classe de intensidade	Critério utilizado
1 – Leve	Retirada da casca externa, não ocorrendo exposição dos tecidos internos.
2 – Moderado	Retirada da casca externa com exposição do tecido interno.
3 – Intenso	Retirada da casca com danos ao câmbio com a exposição da madeira.

d) Localização do dano em relação a trilha de operação

A localização dos danos em relação à trilha de operação foi determinada com a divisão do tronco da árvore em quatro quadrantes, conforme apresentado na Tabela 7.

Tabela 7. Localização do quadrante do dano em relação a trilha de operação.

Classe de Localização	Localização do dano na árvore	Ilustração
1	Face do dano voltado para a trilha de operação.	
2	Face do dano voltado para o lado da estrada.	
3	Face do dano voltado para o lado oposto a trilha de operação.	
4	Face do dano voltada para o povoamento do lado oposto à estrada.	

e) Localização da árvore em relação a trilha de operação

A localização da árvore em relação a trilha de operação foi analisada identificando se o dano se encontrava na árvore da primeira, segunda ou terceira linha em relação a linha removida de forma sistemática, e do lado esquerdo ou direito da máquina.

f) Máquina causadora dos danos

Por fim, foi verificado se o dano foi causado pela operação de corte (*harvester*) ou extração (*forwarder*). Após a operação do *harvester* as árvores danificadas pelo mesmo eram marcadas, só então o *forwarder* começava a operar na área, permitindo assim a posterior identificação da máquina causadora do dano na árvore. Para diferenciar os danos entre as máquinas foi utilizado tintas em cores diferentes para o *harvester* e para o *forwarder*, conforme apresentado na Figura 10.

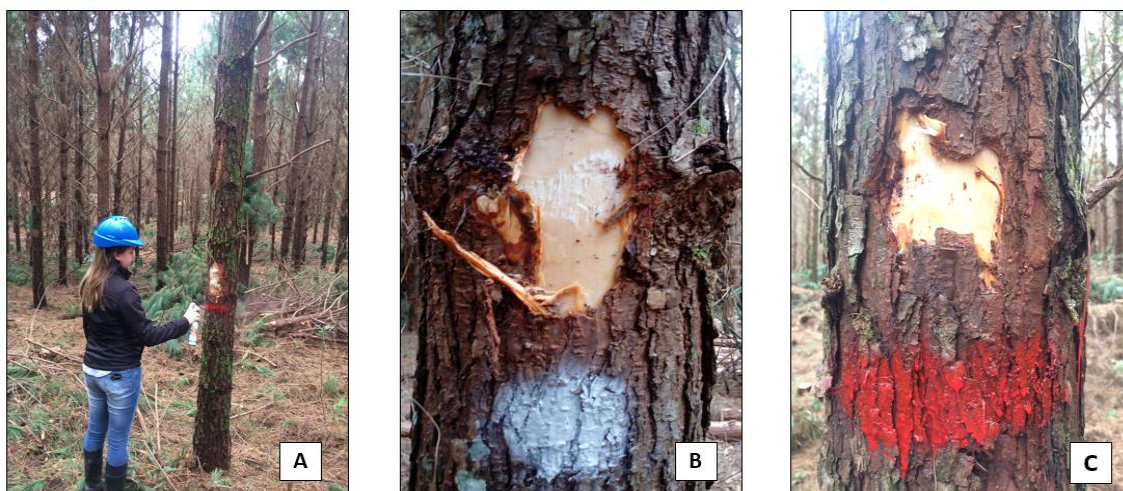


Figura 10. Marcação dos danos (a) causados pelo *harvester* (b) e pelo *forwarder* (c).

4.7 Análises dos dados

Para a análise técnica do *harvester* e do *forwarder* foram comparados os elementos operacionais entre os tratamentos (5ª linha e 7ª linha) considerando como repetição os ciclos operacionais das máquinas. Primeiramente foi realizado o teste de normalidade de Kolmogorov-smirnov e verificado não normalidade dos dados, por este motivo, aplicou-se o teste de homogeneidade das variâncias de Levene. Por fim, para comparação das médias foi realizado o teste de Wilcoxon para amostras independentes. Todos os testes foram realizados a nível de 5% de significância com auxílio do *software* Acition 2.8.

Para a análise de custos e de qualidade foi utilizado estatística descritiva e todos os procedimentos foram realizados no *software* Excel.

Para a análise estatística de danos nas árvores remanescentes, primeiramente foi verificado a existência ou não de diferença significativa das ocorrências de danos entre os tratamentos e as máquinas utilizadas no estudo.

Foi realizado, por meio do *software Sisvar 5.6*, teste Tukey e análise de variância a nível de 5% de confiança. Pelo fato dos dados se apresentarem em porcentagem, foi necessário realizar a transformação dos mesmos, sendo os dados transformados em arco cosseno. As demais análises de danos nas árvores remanescentes foram comparadas utilizando-se estatística descritiva, por meio da apresentação dos valores percentuais de danos de cada variável estudada em ilustrações temáticas.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Análise técnica

Na Tabela 8 é apresentada o número mínimo de ciclos operacionais que foram necessários para avaliação das máquinas de colheita da madeira em ambos os modelos de desbaste em função da duração total de cada ciclo operacional. No estudo de tempos e movimentos foram mensurados 2.072 e 2.301 ciclos operacionais para o *harvester* e 51 e 60 ciclos para o *forwarder*, nos tratamentos de 5ª e 7ª linha, respectivamente, sendo o total de ciclos necessários para atender o limite de erro admitido de 359 e 460 para o *harvester* e 48 e 38 ciclos para o *forwarder*.

Tabela 8. Parâmetros estatísticos do estudo piloto utilizado no cálculo da amostragem dos ciclos operacionais das máquinas avaliadas no desbaste.

Parâmetros Estatísticos	<i>Harvester</i>		<i>Forwarder</i>	
	Tratamentos			
	5º Linha	7ª Linha	5º Linha	7ª Linha
Duração média do ciclo operacional (s)	28	32	1281	1527
Mediana (s)	27	29	1143	1453
Valores mínimos das unidades amostrais (s)	3	3	550	377
Valores máximos das unidades amostrais (s)	108	129	2842	2556
Número total de ciclos cronometrados	2072	2301	51	60
Desvio padrão das amostras (S)	13	16	586	541
Coeficiente de variação (CV%)	48	55	51	37
Erro admissível (%)	5	5	12	12
Número mínimo de observações (n)	359	460	48	38

Em que: s = segundos

5.1.1 Análise dos ciclos operacionais das máquinas

a) *Harvester*

Na Tabela 9 são apresentados os valores médios dos tempos dos ciclos operacionais do *harvester*, onde se verifica que houve diferença estatística significativa em todos os elementos do ciclo operacional, que acarretou diferença no tempo total do ciclo operacional nos tratamentos de 5ª e 7ª linha

Tabela 9. Tempos médios do ciclo operacional do harvester em povoamentos de *Pinus taeda* nos tratamentos de desbaste de 5ª e 7ª linha.

Elementos	Modelo de desbaste				p-valor
	5ª linha		7ª linha		
	Tempo (s)	Porcentagem (%)	Tempo (s)	Porcentagem (%)	
BC	7	24	8	25	<0,001*
PR	19	68	21	65	<0,001*
DL	2	7	3	10	<0,001*
TT	28	100	32	100	<0,001*

Em que: BC: Busca e Derrubada; PR: Processamento; DL: Deslocamento; TT: Total.

* significativo ao nível de 5% de probabilidade de erro; e ^{ns} não significativo ao nível de 5% de probabilidade de erro.

O processamento da madeira consumiu o maior tempo do ciclo operacional nos tratamentos de 5ª e 7ª linha, com aproximadamente 68% e 65%, respectivamente. De acordo com Silva (2008), isto se deve ao envolvimento de diversas atividades na etapa de processamento, como desganhamento, destopamento, traçamento e empilhamento, além da necessidade da separação das pilhas de toras por classe de sortimento.

Todos os elementos do ciclo operacional do *harvester* (busca e derrubada, processamento e deslocamento) apresentaram tempos médios significativamente maiores no tratamento de 7ª linha.

Para a etapa busca e corte, o maior tempo de duração do tratamento de 7ª linha pode ser explicado pela maior distância e dificuldade da máquina alcançar as árvores da 3ª linha, onde muitas vezes, a visão do operador ficava obstruída por árvores remanescentes da 1ª e 2ª linha. Já o maior tempo de duração na etapa de processamento no modelo de desbaste 2 foi causada pela necessidade do operador arrastar a árvore da 3ª linha para a linha sistemática para dar início ao descascamento e traçamento. Cabral (2018) acrescenta que este modelo de desbaste trabalha com um maior número de árvores em uma mesma posição da máquina, gerando maior quantidade de toras que deveriam ser empilhadas e organizadas, bem como, uma maior quantidade de galhos causando maiores demoras.

No deslocamento também houve diferença significativa entre os tratamentos. Esta fase do ciclo foi maior no modelo de desbaste de 7ª linha. Embora no modelo de 7ª linha a grua tenha capacidade de alcançar um maior número de árvores sem a máquina se deslocar, as árvores da 1ª e 2ª linha muitas

vezes acabavam dificultando e obstruindo a visão do operador e a passagem da grua para colher a 3ª linha do ramal, forçando assim a máquina a se deslocar para encontrar uma posição mais favorável que permitisse o corte.

O maior tempo do ciclo operacional no modelo de desbaste de 7ª linha se dá por conta da dificuldade de se colher as árvores da 3ª linha dos ramais.

b) *Forwarder*

Na Tabela 10 são apresentados os tempos médios de cada elemento do ciclo operacional dos dois tratamentos. Nota-se que há diferença estatística significativa entre os tratamentos em relação ao carregamento, viagem carregado, descarregamento e tempo total do ciclo operacional.

Tabela 10. Valores médios de tempo de cada elemento do ciclo operacional do *Forwarder* para ambos os tratamentos avaliados

Elementos	Tratamentos		p-valor
	5ª linha	7ª linha	
	Tempo (s)	Tempo (s)	
VV	147	153	0,6477 ^{ns}
CG	789	950	0,0039*
VC	91	123	0,0026*
DG	253	301	0,0122*
TT	1.280	1.527	0,0005*

Em que: VV: Viagem vazio; CG: Carregamento; VC: Viagem carregado; DG: Descarregamento; TT: Total. * significativo ao nível de 5% de probabilidade de erro; e ^{ns} não significativo ao nível de 5% de probabilidade de erro.

O tempo médio do carregamento foi significativamente maior no tratamento de 7ª linha. Este resultado pode ser atribuído à capacidade da grua do *forwarder*, que trabalhando no tratamento de 5ª linha conseguia alcançar as toras do eito adjacente. Embora o tratamento de 7ª linha possuir pilhas com maior número de toras, no tratamento de 5ª linha, o fato do *forwarder* estar extraindo as toras de dois eitos simultaneamente reduzia a necessidade de descolamento da máquina durante o carregamento, tornando assim, o carregamento neste tratamento mais eficiente.

Os tempos médios dos elementos viagem carregado e descarregamento também foram significativamente maiores no tratamento de 7ª linha, sendo que

resultados ocorreram devido ao estaleiro do sortimento de serraria estar situado a uma distância maior neste tratamento.

As distribuições percentuais dos tempos do ciclo operacional do *forwarder* de ambos os tratamentos estudados estão apresentadas na Figura 11.

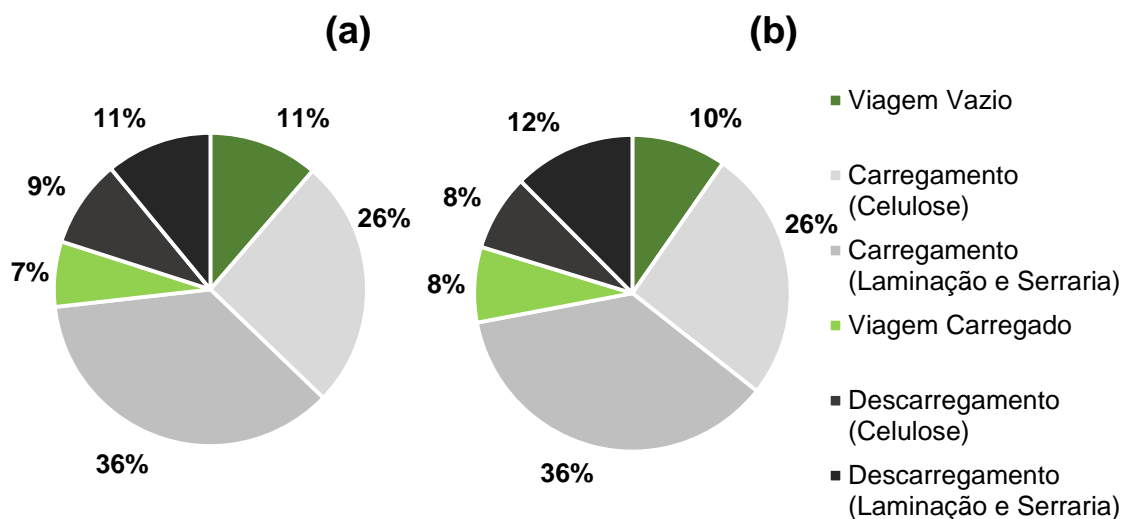


Figura 11. Distribuição percentual dos elementos do ciclo operacional no tempo total do *forwarder*, (a) Tratamento 1; e (b) Tratamento 2.

O ciclo operacional da extração de madeira com o *forwarder* apresentou distribuição percentual semelhante entre os tratamentos. O carregamento foi o elemento do ciclo que consumiu a maior parte do tempo (62%), sendo 36% do tempo realizando o carregamento das toras destinadas à laminação e serraria e 26% do tempo carregando as toras destinadas a celulose, em ambos os tratamentos.

O carregamento das toras de celulose ocorreu de maneira mais rápida em relação as toras de laminação e serraria. Tal fato se explica pela maior quantidade de toras de celulose produzidas em relação aos demais sortimentos, fato comum na realização de primeiro desbaste, que contribuiu para a confecção de pilhas com maior volume de madeira, ocasionando, conseqüentemente, a redução do deslocamento do *forwarder* para preencher o compartimento de carga, diminuindo assim, o tempo de carregamento. Além disso, o fato da máquina estar realizando o carregamento de apenas um sortimento, a organização das toras no compartimento de carga ocorre de maneira mais rápida e fácil.

O descarregamento das toras de celulose também ocorreu em menor intervalo de tempo em relação as toras destinadas à laminação e serraria, visto que, isso acontece, pois, o descarregamento das toras de laminação e serraria, por haver dois sortimentos distintos, a máquina precisa se descolar no estaleiro para descarregar os sortimentos em lugares diferentes.

5.1.2 Eficiência operacional, produtividade, consumo específico e rendimento energético

Na Tabela 11 são apresentados os resultados de eficiência operacional, produtividade, consumo de combustível e rendimento energético do *harvester* e *forwarder* nos tratamentos de desbaste de 5ª e 7ª linha.

Tabela 11. Eficiência operacional, produtividade, consumo de combustível e rendimento energético do *harvester* e *forwarder* em povoamento de *Pinus taeda* nos tratamentos de desbaste de 5ª e 7ª linha.

Tratamento	EO (%)	Prod (m ³ .ha ⁻¹)	CE (g.kW ⁻¹ .h ⁻¹)	RE (g.kW ⁻¹ .m ³)
Harvester				
5ª Linha	64,85	17,82	83,95	4,71
7ª Linha		14,36		5,85
Média	64,85	16,11	83,95	5,28
Forwarder				
5ª Linha	74,33	24,21	79,36	3,28
7ª Linha		20,42		3,89
Média	74,33	22,32	79,36	3,56

Em que: EO = Eficiência Operacional; Prod = Produtividade; CE = Consumo Específico de Combustível; RE = Rendimento Energético.

Os valores de eficiência operacional das máquinas foram determinados a partir das médias obtidas em ambos os tratamentos de desbaste, considerando-se que em função do tempo de coleta dos dados não é possível concluir a influência dos tratamentos neste parâmetro. A eficiência operacional média do *harvester* foi de 64,85% e a do *forwarder* foi de 74,33%.

O volume total produzido no primeiro desbaste no tratamento de 5ª linha foi de 116,83 m³.ha⁻¹ de madeira, enquanto no tratamento de 7ª linha foram produzidos 110,73 m³.ha⁻¹. Este menor volume produzido no tratamento de 7ª linha deve-se ao fato deste modelo de desbaste proporcionar a melhor seleção

das árvores a serem colhidas, permitindo assim a retirada de árvores de menores volumes, bifurcadas e tortas.

Este resultado evidencia uma vantagem do tratamento de 7ª linha, que é deixar árvores de maior volume e qualidade para serem colhidas no segundo desbaste e no corte raso, que é quando a madeira é vendida por um maior valor comercial.

A produtividade do *harvester* e do *forwarder* foram de 17,82 e 14,36 m³.he⁻¹ e de 24,21 e 20,42 m³.he⁻¹ nos tratamentos de 5 e 7ª linha, respectivamente. A maior produtividade de ambas as máquinas no tratamento de 5ª linha se deve ao ciclo operacional das mesmas serem menor neste tratamento, devido a grua trabalhar mais próximo da máquina e a necessidade de maior cuidado e atenção do operador ao colher as árvores no modelo de 7ª linha.

De acordo com Rodrigues (2017), o conhecimento do consumo de combustível é essencial para a determinação da quantidade de combustível necessária para produzir uma unidade de potência na unidade de tempo, representando o investimento para a geração de cada metro cúbico (m³) de madeira na operação de desbaste. O consumo específico de combustível do *harvester* foi de 83,95 g.kW⁻¹.h⁻¹, resultando em um rendimento energético médio de 5,28 g kW⁻¹ m³, considerando este valor médio para ambos os tratamentos.

O consumo específico de combustível do *forwarder* médio dos tratamentos foi de 79,36 g kW⁻¹ h⁻¹, resultando em um rendimento energético médio de 5,28 g kW⁻¹ m³.

5.2 Análise de custos

5.2.1 Custos operacionais

Para o cálculo dos custos da operação de desbaste foi considerado uma taxa de juros e seguros de 8% ao ano. O custo do *harvester* foi de R\$ 239,60 por hora efetivamente trabalhada, valor similar ao encontrado por Lopes et al (2007), que obteve R\$ 252,27 por hora efetiva de trabalho. O custo do *forwarder* foi de R\$ 200,38 por hora efetivamente trabalhada, valor acima dos R\$ 158,55 he⁻¹ encontrado por Lopes et al (2016), estudando o efeito do sortimento da madeira na produtividade e custo do *forwarder* no desbaste comercial de *Pinus taeda*.

Estes valores somados representam um custo total de R\$ 439,98 cuja distribuição percentual está apresentada na Figura 12.

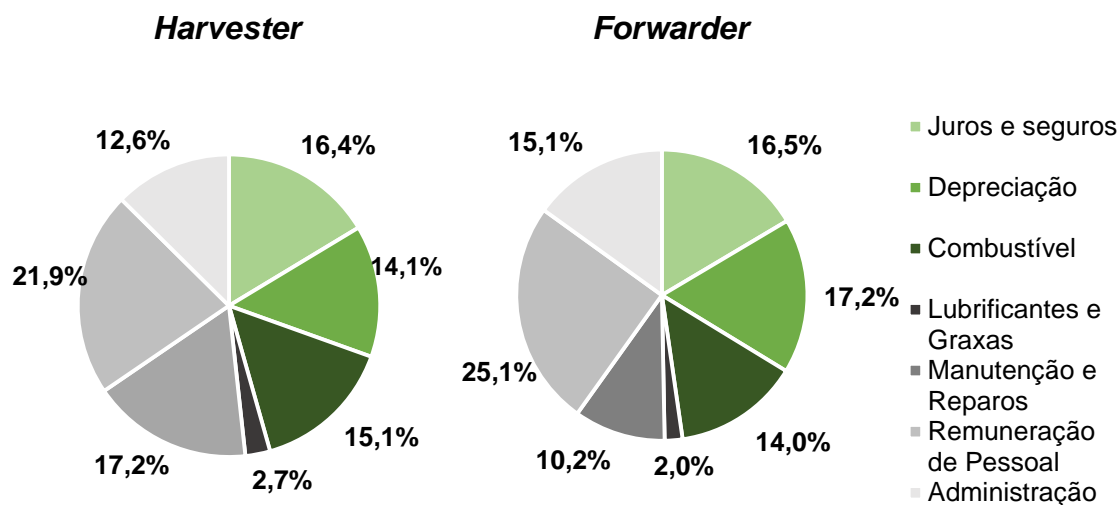


Figura 12. Distribuição percentual dos componentes do custo da operação de desgaste do *harvester* e do *forwarder*.

Como pode ser visto na Figura 11, os custos fixos (depreciação, juros e seguros) corresponderam juntos, a 30,5% e a 34% dos custos operacionais totais para o *harvester* e para o *forwarder*, respectivamente. Os custos variáveis corresponderam a 35% e a 26,2% dos custos totais para o *harvester* e para o *forwarder*, respectivamente. Esta diferença percentual dos custos variáveis entre as máquinas deve-se ao maior custo de manutenção e reparo do *harvester* (7% maior do que o *forwarder*), fato que é explicado devido à maior complexidade da operação executada pelo *harvester* e maior complexidade da sua grua e cabeçote, partes que representam a maior parte da necessidade de manutenção e reparo da máquina. Os custos de remuneração de pessoal e de administração corresponderam a 21,9% e a 12,6% para o *harvester* e a 25,1% e a 15,1% para o *forwarder* dos custos operacionais totais.

5.2.2 Custos de produção

Na Tabela 12 são apresentados a produtividade, o custo operacional e o custo de produção em ambos os tratamentos estudados.

Tabela 12. Custo de produção das máquinas em relação aos tratamentos.

	Máquina	Tratamento	
		5ª linha	7ª Linha
Produtividade (m ³ .he ⁻¹)	<i>Harvester</i>	17,82	14,36
	<i>Forwarder</i>	24,21	20,42
	Total	42,03	34,78
Custo operacional (R\$.he ⁻¹)	<i>Harvester</i>		239,60
	<i>Forwarder</i>		200,38
	Total		439,98
Custo de produção (R\$.m ⁻³)	<i>Harvester</i>	13,45	16,69
	<i>Forwarder</i>	8,28	9,81

Como pode ser observado na Tabela 12, o custo de produção do *harvester* no tratamento de 7ª linha foi de R\$ 16,69 m³, sendo este valor 24% maior do que o encontrado no tratamento de 5ª linha. Estes valores são maiores do que os encontrados por Burgin (2016) avaliando os custos do *harvester* no desbaste de *Pinus taeda*, onde o autor obteve valores médios de R\$ 9,40 m³.

O custo de produção do *forwarder* foi de R\$ 8,28 m³ e R\$ 9,81 m³ para os tratamentos de 5ª e 7ª, respectivamente. Estes valores são menores do que o encontrado por Lopes et al (2016) estudando o efeito do sortimento da madeira no custo que encontrou valores acima de R\$ 9,97 m³.

O custo de produção do tratamento de desbaste de 7ª linha foi relativamente maior do que o tratamento de 5ª linha, representando um custo adicional de 20,7%.

5.3 Qualidade das operações no desbaste

5.3.1 Comprimento das toras

Na Figura 13 é apresentada a distribuição das classes de comprimento de toras para os sortimentos de laminação e serraria.

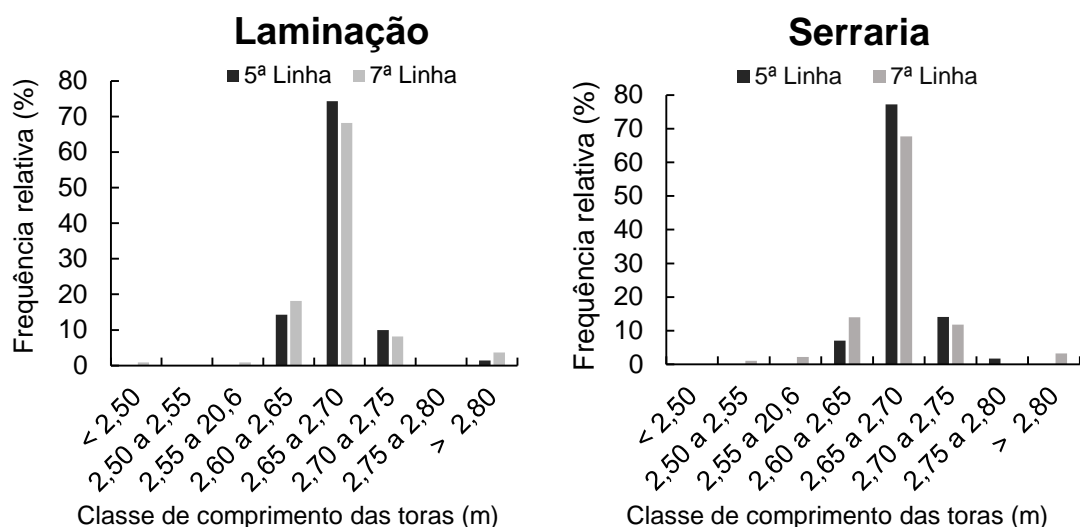


Figura 13. Classes de comprimento das toras para os sortimentos de laminação e serraria.

A classe de comprimento considerada ideal foi de 2,60 a 2,65 m para as toras dos sortimentos destinados à laminação e serraria, sendo que toras com comprimento acima deste valor foram consideradas como desperdício da madeira e toras menores do que 2,60 m, sendo consideradas impróprias, devendo ser descartadas para tal uso e remanejadas para o sortimento de celulose.

Para as toras destinadas à laminação, apenas 14% no tratamento de 5ª linha e 18% no tratamento de 7ª linha encontram-se dentro da classe ideal. A maior porcentagem das toras apresentaram desperdício de madeira, 86% no tratamento de 5ª linha e 80% no tratamento de 7ª linha, sendo que a maior parte dessas toras (74 e 68 % para os tratamentos de 5ª e 7ª linha, respectivamente) encontram-se na classe de comprimento de 2,65 a 2,70m, onde a um desperdício de madeiras de 5 a 10 cm por tora.

Para as toras do sortimento de serraria, apenas 7% das toras no tratamento de 5ª linha e 14% no tratamento de 7ª linha encontram-se dentro com comprimento considerado ideal, sendo que a grande maioria das toras (93% e 83% para os tratamentos de 5ª e 7ª linha, respectivamente) excediam este comprimento e apresentavam desperdício de madeira. Para Bembenek et al. (2015) e Mederski et al. (2018), toras com dimensões acima do especificado podem ser justificadas pela perda de contato das facas e rolos do cabeçote da máquina com o fuste, dificultando a correta medição do comprimento das toras processadas.

Na Figura 14 é apresentada a distribuição das classes de comprimento das toras da madeira destinada para celulose.

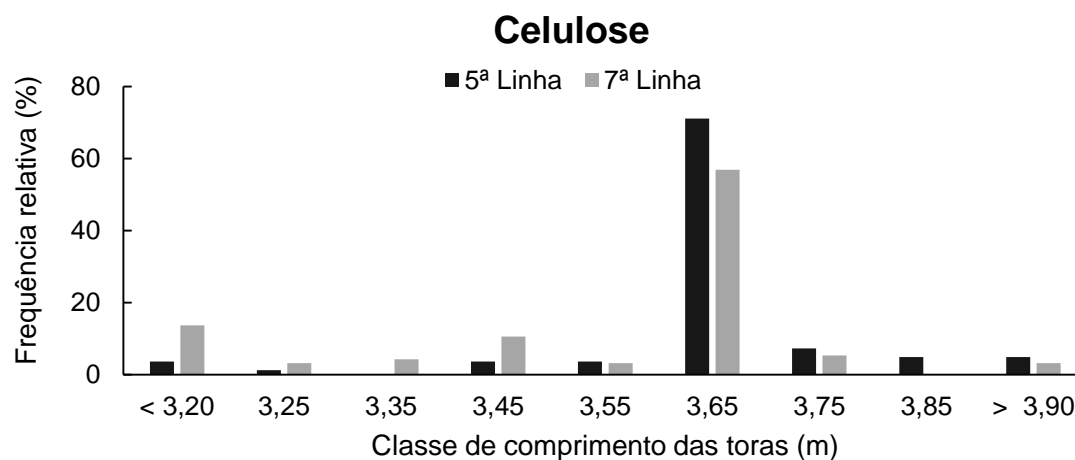


Figura 14. Classes de comprimento das toras para o sortimento de celulose.

O comprimento de tora estipulado para o sortimento de celulose é de 3,6 m, podendo variar até 3,7m, mas ao contrário das toras de laminação e serraria, para as toras destinadas à celulose são aceitas toras com o comprimento menor do que o especificado.

Os resultados apresentados na Figura 13 mostram que 71% das toras do tratamento de 5ª linha e 57% do tratamento de 7ª linha estão dentro do comprimento padrão, na faixa de 3,60 a 3,70m.

O tratamento de 7ª linha foi o tratamento que apresentou maior variação no comprimento das toras e o único modelo que apresentou toras com comprimento menor do que o especificado para o sortimento de laminação e serraria, 2 e 3% das toras, respectivamente. Isso pode ser explicado pelo fato do nível de seleção das árvores colhidas no primeiro desbaste deste tratamento ser mais rigoroso, eliminando assim maior porcentagem de árvores tortas, bifurcadas e pequenas, o que pode fazer com que as facas e rolos do cabeçote percam o contato com o fuste, dificultando a correta medição do comprimento das toras pelo cabeçote da máquina.

5.3.3 Altura das cepas

Na Figura 15 é apresentada a distribuição das classes de altura das cepas em relação ao tratamento.

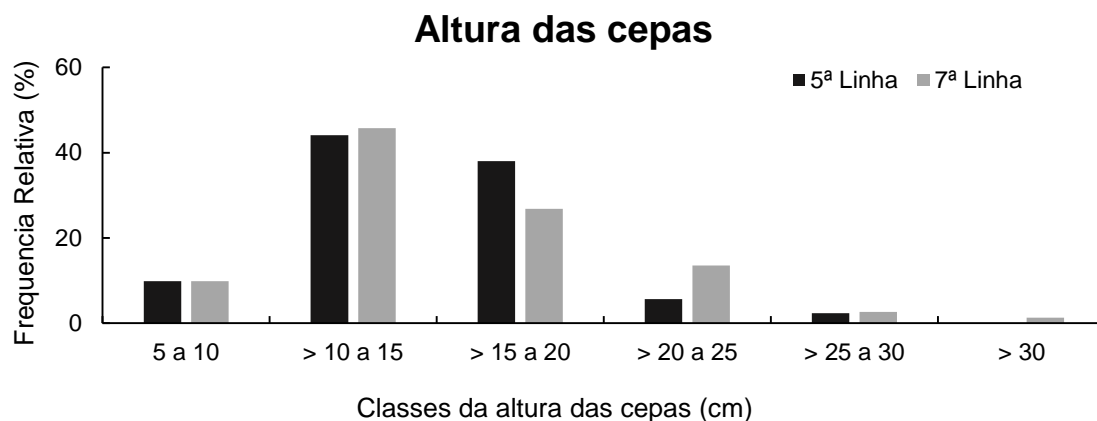


Figura 15. Distribuição das frequências das classes de altura das cepas em relação ao tratamento.

Como pode ser observado na Figura 15, em ambos os tratamentos avaliados, apenas 10% das cepas estavam dentro do padrão recomendado pela empresa, ou seja, 90% das cepas estavam acima do padrão especificado. Isso pode ser explicado pela maior dificuldade de visibilidade das árvores a serem removidas no desbaste seletivo nas linhas mais extremas da faixa de corte da máquina.

A grande maioria dos tocos, 44 e 46% nos tratamentos de 5ª e 7ª linha, respectivamente, encontram-se na classe de altura que varia de 10 a 15 cm de altura. Oliveira et al. (2017) avaliando a qualidade do corte com *harvester* em um plantio de *Pinus taeda* com 13 anos de idade constatou que 72,86% das cepas estavam acima do valor especificado.

Na Tabela 13 é apresentado a média e o volume desperdiçado de madeiras em ambos os tratamentos estudados.

Tabela 13. Média e desvio padrão das alturas de cepas e volume desperdiçado de madeira em relação ao tratamento.

Tratamento	Parâmetro (cm)	Média (cm)	Desvio padrão (cm)	Volume desperdiçado (m ³ .ha ⁻¹)
5ª Linha	10	12,5*	4,0	0,50
7ª Linha	10	12,9*	5,3	0,62

Em que: * significativo ao nível de 5% de probabilidade de erro (p-valor ≤0,05), entre parâmetro e as médias obtidas nos modelos de desbaste.

A partir da Tabela 13 é possível observar que no modelo de desbaste de 5ª linha a altura média das cepas foi de 12,5 cm e no modelo de 7ª linha essa altura foi de 12,9 cm, havendo diferença significativa entre os tratamentos estudados ao nível de 5% de probabilidade. A maior altura das cepas no modelo de desbaste de 7ª linha, principalmente as causadas na terceira linha de corte seletivo, pode ser atribuída à dificuldade de visibilidade causada pela grua da máquina e pelas árvores remanescentes do talhão.

O volume desperdiçado de madeira foi de 0,50 m³.ha⁻¹ no modelo de desbaste de 5ª linha e de 0,62 m³.ha⁻¹ no modelo de 7ª linha. Fiedler et al. (2013) avaliando a qualidade da madeira em diferentes declividades constatou que a perda de madeira pela não conformidade da altura das cepas foi de 0,30 m³.ha⁻¹ em áreas planas.

5.4 Quantificação dos danos causados nas árvores remanescentes

Na Tabela 14 são apresentados os resultados das análises estatísticas para a ocorrência de danos nas árvores remanescentes para a o *harvester* e o *forwarder* nos dois modelos de desbaste testados nesta pesquisa.

Tabela 14. Teste Tukey a 5% de confiança para avaliar se há diferença estatísticas na ocorrência de danos nas árvores remanescentes causados pelas máquinas de colheita.

Modelo de Desbaste	Porcentagem de danos causados nas árvores remanescentes pelas máquinas	
	<i>Harvester</i> (%)	<i>Forwarder</i> (%)
5ª linha	14,65 aA	6,25 aB
7ª linha	13,07 aA	6,17 aB

Em que: As letras maiúsculas representam os testes de média entre as duas máquinas (*harvester* e *forwarder*) em cada modelo de desbaste; e as letras minúsculas representam os testes de média dos tratamentos para cada uma das máquinas.

Como é possível observar na Tabela 1, não houve diferença estatística significativa no percentual de danos causados pelas máquinas operando nos modelos de desbaste de 5ª linha e de 7ª linha, ou seja, as máquinas causaram o mesmo percentual de danos em ambos os tratamentos de desbaste.

Como o *harvester* e o *forwarder* apresentaram o mesmo resultado operando nos dois tratamentos, é possível concluir que não houve diferença

significativa no percentual de danos causados nos dois tratamentos, porém a distribuição destes danos ocorrerem de forma diferente em cada modelo de desbaste, como é possível observar na Figura 3.

Comparando os dois tipos de máquinas utilizados nesta pesquisa, é possível observar que o *harvester* foi a máquina que causou a maior porcentagem de danos. Este fato se deve à operação realizada por esta máquina ser mais complexa, trabalhando em espaços reduzidos e sua grua precisava operar no meio das árvores remanescentes, enquanto o *forwarder* iniciava suas operações após as árvores colhidas e empilhadas nas margens das trilhas de operação, tornando seu trabalho mais simples e com maior visibilidade.

Nas Figuras 16 e 17 são apresentados o percentual de árvores com danos em relação a linha e percentual de danos causados pelas máquinas em cada linha para os tratamentos de 5ª e 7ª linha, respectivamente.

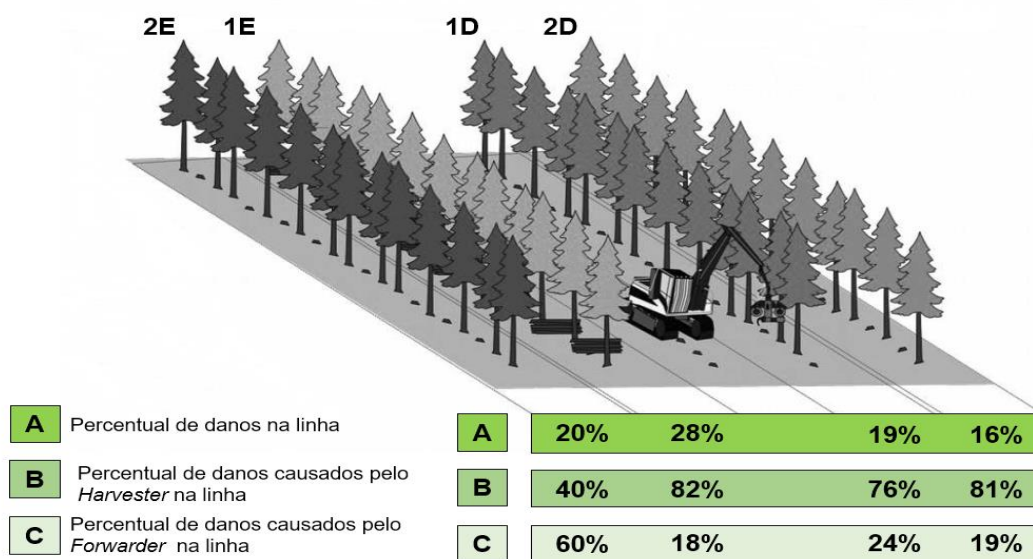


Figura 16. Percentual de árvores com danos em relação a linha e percentual de danos causados pelas máquinas em cada linha para o tratamento de 5ª linha.

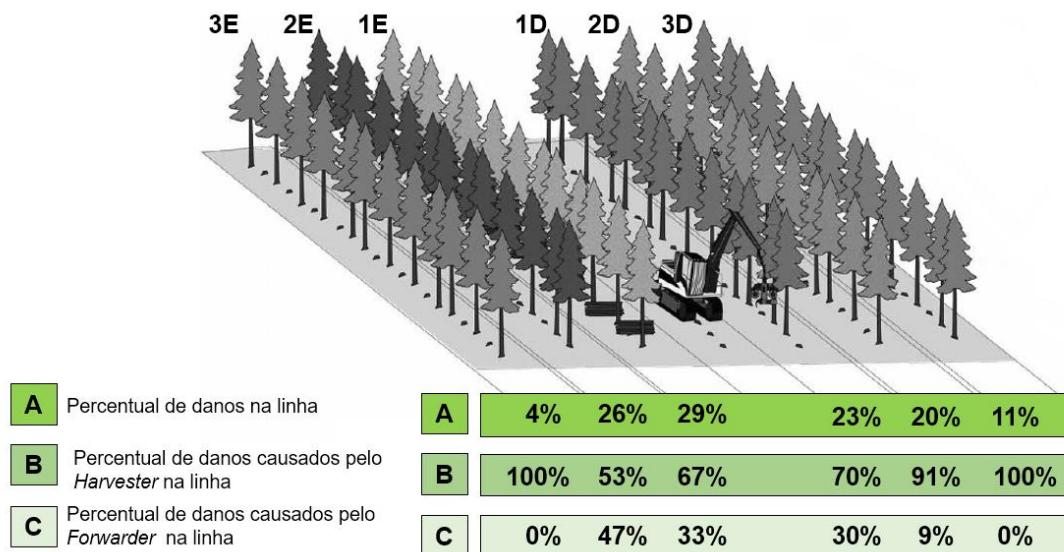


Figura 17. Percentual de árvores com danos em relação a linha e percentual de danos causados pelas máquinas em cada linha para o tratamento de 7ª linha.

A partir das Figuras 16 e 17 é possível observar que, os danos se concentravam em maior frequência nas linhas adjacentes à trilha de operação, do lado esquerdo, e em sua maioria, causados pelo *harvester*.

A explicação para a maioria dos danos serem causados nas linhas adjacentes à linha de operação é que elas estão mais próximas do campo de trabalho das máquinas. O *harvester* para colher uma árvore da 3ª linha necessitava movimentar a grua entre as árvores remanescentes da 1ª e 2ª linha, além disso, durante o processamento, a máquina usualmente executava o traçamento e o empilhamento entre a 1ª e 2ª linha da esquerda e a deposição dos resíduos nas mesmas linhas da direita, causando maior movimentação da grua nestas linhas.

A maior incidência de danos no lado esquerdo da trilha de operação foi devido ao fato desta região ser onde ocorria a maior movimentação da grua de ambas máquinas. É do lado esquerdo que o *harvester* realizava a maior parte do processamento e o empilhamento das toras, fazendo com que o *forwarder* trabalhasse extraindo madeira deste mesmo lado.

Devido ao fato do *harvester* realizar uma operação mais complexa e demorada em relação ao *forwarder*, além de trabalhar por mais tempo com a grua entre as linhas de árvores remanescentes, esta máquina foi responsável por causar a maior porcentagem de danos nas árvores remanescentes. Quanto

maior a movimentação da grua entre as árvores remanescentes, maior a probabilidade de causar danos nas mesmas.

Os danos também apresentaram distribuições percentuais diferentes de acordo com o lado de exposição das árvores remanescentes em relação a trilha de operação. Para avaliar esta distribuição, o tronco foi dividido em quatro quadrantes definidos com base na trilha de operação, como é apresentado na Figura 18.

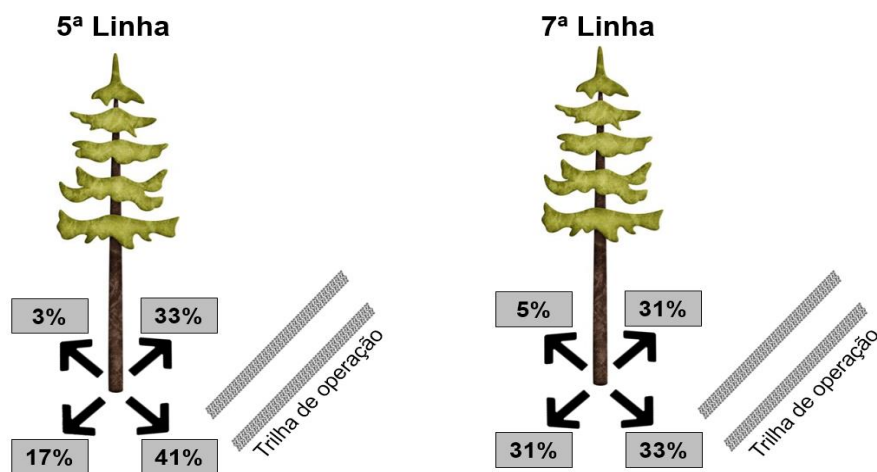


Figura 18. Distribuição percentual dos danos causados nas árvores remanescentes em relação a trilha de operação.

Como pode ser observado na Figura 18, o quadrante da árvore voltado para a trilha de operação foi onde ocorreu a maior percentagem de danos (41 e 33% nos tratamentos de 5ª e 7ª linha, respectivamente), seguido pelos quadrantes laterais. A maior distribuição dos danos nestes quadrantes ocorreu devido ao contato direto com partes das máquinas (grua, cabeçote, rodado e cabine).

O quadrante oposto à trilha de operação foi o lado que apresentou menor ocorrência de danos em ambos os tratamentos, justamente porque neste quadrante não ocorreu o contato dos rodados e da cabine da máquina e por haver menor movimentação da grua e do cabeçote.

Em se tratando de danos também é importante avaliar em que altura do fuste estes ocorrem, isto porque, no momento da colheita da madeira, para melhor aproveitamento das toras, o fuste é dividido em sortimentos de acordo com diâmetro menor da tora. O primeiro sortimento, aquele mais próximo do solo, apresentava a madeira com maior diâmetro, sendo este destinado para fins

mais nobres e normalmente vendidos por um valor maior em relação aos outros sortimentos.

Considerando as dimensões da árvore média do inventário da área de estudo, a primeira tora era destinada à serraria, a segunda tora para laminação e a partir terceira tora (acima de 5,20m de altura), a madeira era destinada para celulose.

A distribuição percentual dos danos nas diferentes classes de altura do fuste e a distribuição percentual da máquina causadora dos danos para cada sortimento são apresentados na Figura 19 para ambos os tratamentos.

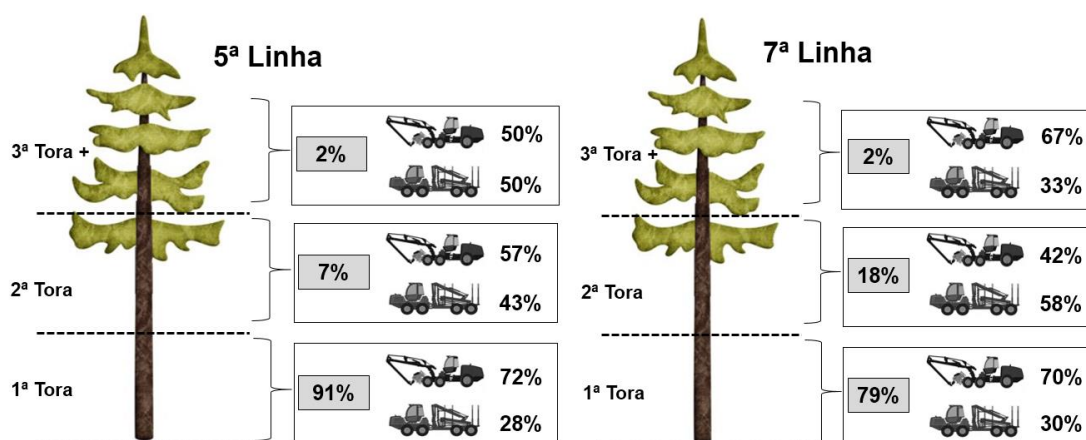


Figura 19. Distribuição percentual dos danos causados nas árvores remanescentes em relação ao sortimento da tora e a máquina.

De acordo com a Figura 19, a maior ocorrência de danos em ambos os tratamentos ocorreu na primeira tora do fuste (91 e 79% nos tratamentos de 5ª e 7ª linha, respectivamente). É nesta altura da árvore que o *harvester* realizava as operações de busca e corte e processamento das árvores, bem como a garra do *forwarder* passava a maior parte do tempo realizando o carregamento das toras.

Cabral (2015) afirma que, a maior ocorrência de danos na primeira tora deve ser uma preocupação, pois trata-se da secção comercial da árvore com maior valor agregado. Essa afirmação é confirmada neste trabalho, pois a primeira tora das árvores é a que possui maior diâmetro e, na maioria das vezes, é destinada para serraria, onde a empresa consegue vende-las por um maior valor comercial.

Frente a esta preocupação surge a necessidade de reforçar a importância da realização de estudos e melhorias no planejamento e na operação de

desbaste, assim como, o treinamento e conscientização dos operadores sobre os procedimentos operacionais visando minimizar as técnicas e práticas incorretas que podem favorecer a ocorrência de danos.

A Figura 20 apresenta a distribuição percentual das classes de intensidade de danos nas árvores remanescentes em relação a máquina para ambos os tratamentos.

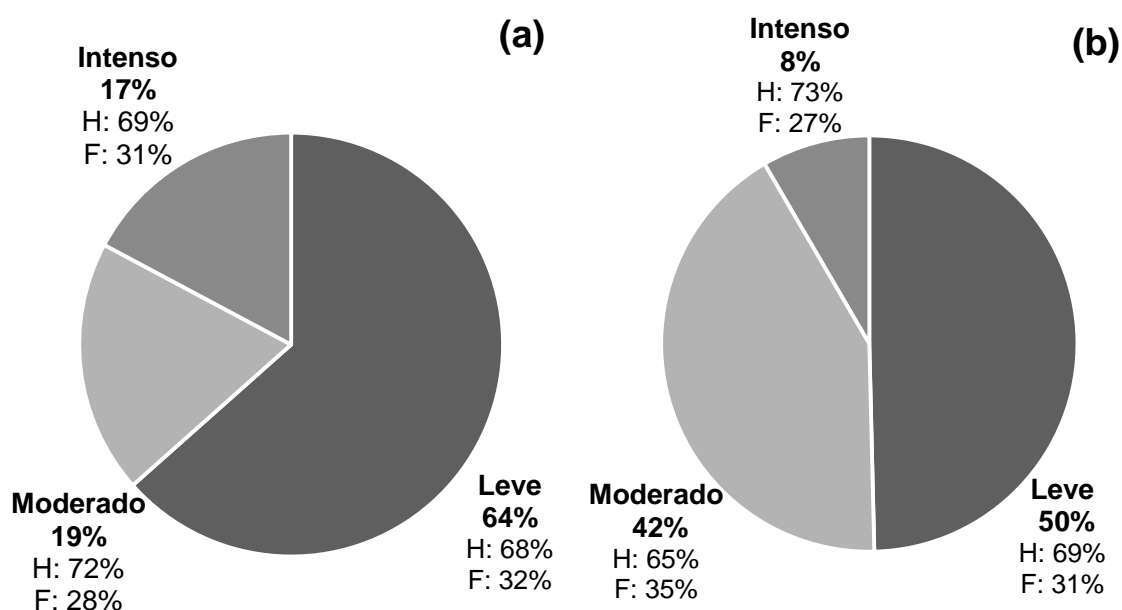


Figura 20. Distribuição percentual das classes de intensidade de danos nas árvores remanescentes em relação ao tratamento e a máquina; Tratamento 1 (a); e Tratamento 2 (b).

Em que: H = Percentual de danos causados pelo *harvester* e; F = Percentual de danos causados pelo *forwarder*.

Como é possível verificar na Figura 20, embora o tratamento de 5ª linha ter apresentado maior porcentagem de danos leves (64%) este também apresentou maior porcentagem de danos intensos (17%) em comparação com o tratamento de 5ª quinta linha.

Outro ponto importante a ser observado é que a distribuição de danos causados pelas máquinas se comportou de maneira similar entre as classes de intensidade de danos e entre os tratamentos. O percentual de danos causados pelo *harvester* variou de 65 a 73% enquanto o percentual de danos provocados pelo *forwarder* variou de 27 a 35%.

É importante ressaltar que, quanto maior a intensidade dos danos mais susceptível a árvore fica ao ataque de fungos e insetos que podem danificá-las,

comprometendo a qualidade tecnológica e o valor da madeira (LINEROS et al., 2003; RIBEIRO et al., 2002; VASILIAUSKAS, 2001).

Também foram analisadas as dimensões das feridas provocadas pelas máquinas em ambos os tratamentos. Para realizar tal análise, as feridas foram divididas em cinco classes de tamanhos e os resultados desta análise estão apresentados nas Figuras 21 e 22 para os tratamentos de 5ª e 7ª linha respectivamente.

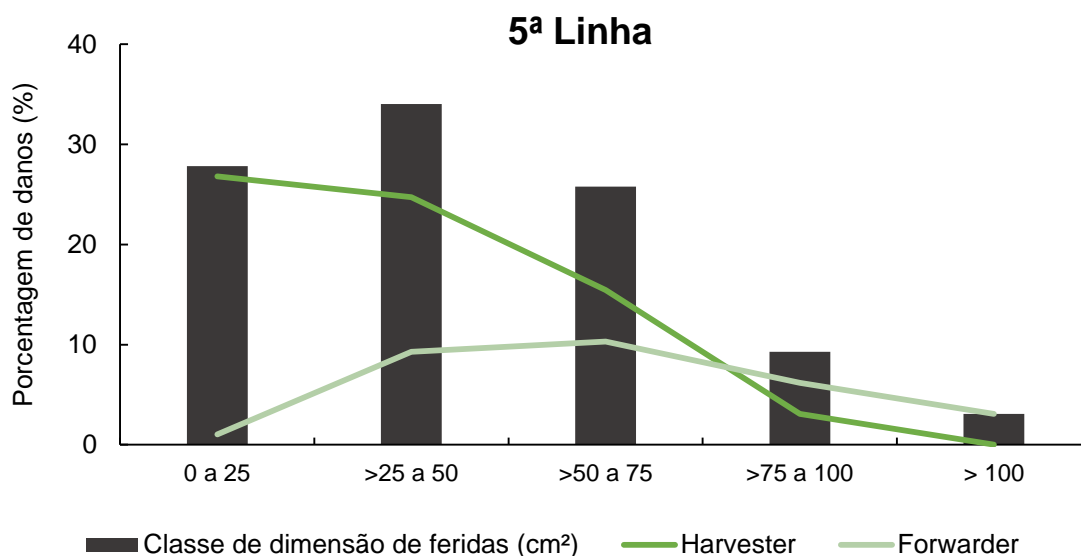


Figura 21. Distribuição percentual das classes de dimensão dos danos nas árvores remanescentes em relação a máquina no modelo de desbaste de 5ª linha.

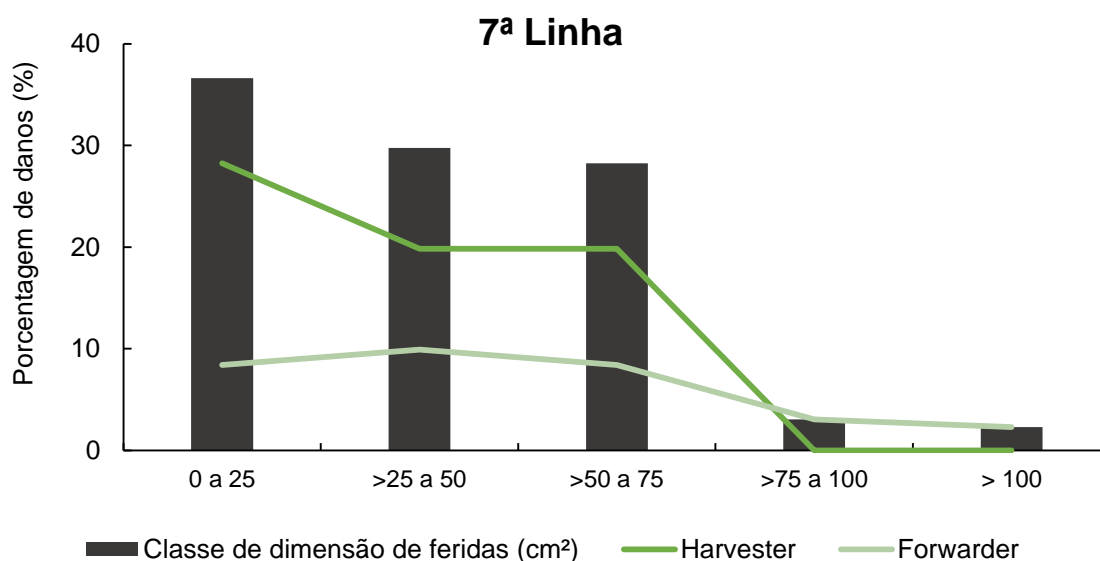


Figura 22. Distribuição percentual das classes de dimensão dos danos nas árvores remanescentes em relação a máquina no modelo de desbaste de 7ª linha.

A partir das Figuras 21 e 22 é possível observar que a distribuição dos danos em classes de dimensões se comporta de maneira similar em ambos os tratamentos, onde a maioria das feridas se encontram nas classes de dimensão menores, abaixo de 150 cm². Esses resultados vão ao encontro dos obtidos por Cabral (2015) e Droog (2016) que também encontraram danos nas classes de dimensões menores.

Segundo Sauter (1996), os danos de *Pinus* spp. nestas dimensões são do ponto de vista técnico factíveis de serem fechadas sem ocasionar problemas sanitários às árvores no futuro.

Os danos causados pelo *harvester* se encontram em sua maioria nas classes de dimensões menores, sendo as feridas nas classes de dimensões maiores causadas praticamente em sua totalidade pelo *forwarder*. A maior parte dos danos causados pelo *forwarder* ocorreram principalmente enquanto a máquina executava o carregamento, onde muitas das vezes, os movimentos de rotação da garra com as toras abraçadas acabam atingindo as árvores remanescentes provocando danos de maiores tamanhos.

6. CONCLUSÕES

- a) Os ciclos operacionais das máquinas foram mais curtos no tratamento de desbaste de 5ª linha, em função da complexidade do corte da 3ª linha seletiva no modelo de desbaste de 7ª linha.
- b) O modelo de desbaste de 5ª linha apresentou maior produtividade média e menor custo de produção para ambas as máquinas.
- c) A maior variação no comprimento das toras, altura das cepas e desperdício de madeira ocorreu no modelo de desbaste de 7ª linha, em função da dificuldade do *harvester* em colher as árvores da terceira linha do desbaste seletivo.
- d) Não houve diferença significativa na ocorrência de danos entre os modelos de desbaste, mas sim, entre as máquinas, devido a operação do *harvester* ser mais complexa, trabalhando em espaços restritos e pelo fato de precisar operar no meio das árvores remanescentes, enquanto o *forwarder*, por sua vez, iniciava suas operações após as árvores colhidas e empilhadas nas margens das trilhas de operação, tornando o trabalho facilitado.
- e) A maioria dos danos nas árvores ocorreram na 1ª tora do sortimento destinado à serraria, fato que é uma preocupação, pois trata-se da secção comercial da árvore com maior valor agregado.
- f) Os maiores danos foram observados nas árvores da 3ª linha e na base das árvores (primeira tora), devido à dificuldade de busca e corte e pela menor visibilidade do operador para visualização dessas árvores.
- g) A maior porcentagem dos danos foi causada pelo *harvester*, porém os danos de maior intensidade foram causados pelo *forwarder*.
- h) O melhor modelo de desbaste foi de 5ª linha, pois este apresentou maior produtividade, menores custos, toras e cepas com maior percentual dentro dos padrões recomendados e um percentual de danos estatisticamente igual ao modelo de desbaste de 7ª linha.

7. RECOMENDAÇÕES

Embora o modelo de desbaste de 5ª linha tenha apresentado melhores resultados em termos de produtividade, custos e qualidade das operações neste primeiro desbaste, é importante salientar que o modelo de desbaste de 7ª linha proporciona uma melhor seleção das árvores colhidas, deixando no povoamento árvores de maior volume e qualidade para serem colhidas no segundo desbaste ou no corte raso, quando a madeira possui maior valor comercial. Por este motivo para poder concluir com precisão qual o melhor modelo uma rotação do plantio, é necessário dar continuidade a pesquisa, acompanhando e analisando as operações no segundo desbaste e no corte raso, por meio de indicadores de produtividade, custos e qualidade, para então poder afirmar qual é o melhor modelo para uma rotação do plantio.

8. REFERÊNCIAS

AGUIAR, A. V.; SOUZA, V. A.; SHIMIZU, J. Y. **Espécies de pinus mais plantadas no Brasil**. 2ª ed. Embrapa Floresta. 2014. Disponível em: < https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Pinus/CultivodoPinus_2ed/Especies_Pinus_taeda.html >. Acesso em: Set. 2017.

BEMBENEK, M. et al. Length accuracy of logs from birch and aspen harvested in thinning operations. **Turkish Journal of Agriculture and Forestry**, v. 39, n. 6, p. 845-850, 2015. DOI: 10.3906/tar-1406-39

BURGIN, M. R. B. **Desempenho operacional e custos do Harvester no desbaste de *Pinus taeda***. Irati: UNICENTRO, 2016. 183P. Dissertação (Mestrado em ciência florestal) – Universidade Estadual do Centro-Oeste, 2016.

CABRAL, O. M. de J. V. **Avaliação operacional da colheita de madeira em desbastes de *Pinus taeda* L.** 2014. 94 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Estadual do Centro-Oeste, Irati.

CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração florestal: perguntas e respostas**. 5ª. Ed. Atual. e ampl. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2017. 636 p.

CONAW, P. L. **Estatística**. São Paulo, Edgard Blucher. 1977. 264p.

CRECHI, E.; FERNÁNDEZ, R.; FRIEDL, A.; FALHER, J. **Efectos de raleo en *Pinus taeda*, Norte Misionero**. Boletín Técnico IDIA XXI N° 8. Montecarlo: Estación Experimental INTA, p. 41-45. 2005.

DAVEL, M. **Manejo de plantaciones: Boletín Técnico**. Argentina: Centro de Investigación y Extensión Forestal Andino Patagónico, Universidad Nacional de la Patagonia, 16. p. 2009.

DROOG, A. F. **Avaliação de danos causados em povoamentos de *Pinus* submetidos ao desbaste mecanizado**. 44 p. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal). - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Estadual do Centro – Oeste, Irati, PR, 2016.

EISFELD, R. L.; NASCIMENTO, F. A. F. **Mapeamento dos plantios florestais do estado do Paraná: *Pinus* e *Eucalyptus***. Curitiba, Instituto de Florestas do Paraná, 2015. 76 p.

FIEDLER, N. C; CARMO, F. C. A.; SÃO TEAGO, G.B; CAMPOS, A. A; SILVA, E. N. Análise da qualidade da colheita florestal de eucalipto em diferentes declividades. **Científica Eletrônica de Engenharia Florestal**, v. 22, n.1, p.8, 2013.

FINGER, C. A.; SCHNEIDER, P. R. Determinação do Peso do Desbaste para Florestas de *Eucalyptus grandis* Hill Ex Maiden, com base no Índice de Espaçamento Relativo. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.9, n.1, p. 79-87. 1999.

GAUTHIER, M. M.; BARRETTE, M.; TREMBLAY, S. Commercial thinning to meet wood production objectives and develop structural heterogeneity: a case study in the Spruce-fir forest, Quebec, Canada. **Forests**, v. 6, p. 510-532, 2015.

HARRY, G. G.; FONTES J. M.; MACHADO, C. C.; SANTOS, S. L. **Análise dos efeitos da eficiência no custo operacional de máquinas florestais**. In: Simpósio Brasileiro sobre Exploração e Transporte Florestal, 1991, Belo Horizonte. Anais... Belo Horizonte: UFV/SIF, p. 57-75. 1991.

IAPAR – Instituto Agrônômico do Paraná. Secretaria da Agricultura e do Abastecimento, Londrina, PR. **Monitoramento Agroclimático do Paraná. Médias Históricas das Estações do IAPAR**. 2017.

IBÁ – INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Relatório IBÁ 2017**. Brasília, 2017. 80 p. Disponível em: < http://www.iba.org/images/shared/iba_2017.pdf>. Acesso em: 19 Set. 2017.

KÄRHA, K. Thinning intensity and the harvesting cost of first-thinning wood in scots pine stands. In: SUADICANI, K; TALBOT, B. **The Nordic-Baltic Conference on Forest Operations**. Working Papers N° 30. Horsholm: University of Copenhagen, Forest & Landscape Denmark, 2008. 92 p.

KARLSSON, L. **Silvicultural regimes and early biomass thinning in young, dense pine stands**. Umeå: Swedish University of Agricultural Sciences, 2013. 67 p.

LAGESON, H. Effects of thinning type on the *Harvester* productivity and on the residual stand. **Internacional Journal of Forest Engineering**, Umeå, v.8, n.2, p.7-14, 1997.

LANDFORD, B. L.; STOKES, B. J. Comparison of two thinning systems, Part I: Stand and site impact. **Forest and products journal**, v.45, n.4, p.74-96, 1995.

LIMA, J. S. S.; LEITE, A. M. P. Mecanização. In: MACHADO, C. C. (Org.). **Colheita florestal**. Viçosa: Editora UFV, p. 43-73. 2014.

LIMA, R; INOUE, M. T; FILHO, A. F; ARAÚJO, A. J; MACHADO, S. A. Efeito do espaçamento no desenvolvimento volumétrico de *Pinus taeda* L.. **Floresta e Ambiente**. [online]. 2013, vol.20, n.2, pp.223-230.

LINEROS, M.; ESPINOSA, M.; JIMENEZ, A. Dano a los arboles remanentes por sistema *harvester-forwarder* en raleo comercial de *Pinus radiata* D. Don. **Bosque**, Valdivia, v.24, n.1, p. 87-93, 2003.

LOPES, E. S.; CRUZINIANI, E.; DIAS, A. N.; FIEDLER, N. C. Avaliação técnica e econômica do corte de madeira de pinus com cabeçote *harvester* em diferentes condições operacionais. **Floresta**, v. 37, n. 3, p. 305-313, 2007.

LOPES, E.S. Capacitação profissional frente às inovações tecnológicas. **Opiniões**. jun. - ago. p. 41. 2010.

LOPES, E. S.; DINIS, C. C. C.; SERPE, E. L.; CABRAL, M. J. V. Efeito do sortimento da madeira na produtividade e custo do *forwarder* no desbaste comercial de *Pinus taeda*. **Scientia Forestalis**, Pracicaba, v. 44, n 109, p. 57-66, 2016.

MACHADO, C.C. (Org). **Colheita Florestal**. 3. Ed. Viçosa - MG: Editora UFV, 2014. v. 1. 543p.

MACHADO, C. C.; LOPES, E. S. Planejamento. In: MACHADO, C. C. (Ed.) **Colheita florestal**. 2. ed. Viçosa, MG: UFV, 2008. p. 185-230.

MALINOVSKI, J.; CAMARGO, C.; MALINOVSKI, R. Sistemas de colheita. In: MACHADO, C. **Colheita florestal**. 2da ed. Viçosa: Editora UFV, 2008. 501 p.

MEDERSKI, P. S. Comparison of harvesting productivity and cost in thinning operations with and without Midfield. **Forest Ecology and Management**. V.224, p.286-296, 2006.

MEDERSKI, P. S. et al. Investigation of log length accuracy and harvester efficiency in processing of oak trees. **Croatian Journal of Forest Engineering**, v. 39, n. 2, p. 173-181, 2018.

MULLER, P.; ANGELI, A. **Implantação e Manejo de Florestas Comerciais, Documentos Florestais**. N. 18. Piracicaba: IPEF, 14. p. 2006.

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

OLIVEIRA, G. S; SILVA, M. T. S; LAMBERT, L; SOARES, P. R. C; SAMPIETRO, J. A; NICOLETTI, M. F. Análise técnica, econômica e da qualidade em primeiro desbaste mecanizado. **Espacios**, v. 38, n. 26, p. 5, 2017.

PEREIRA, M. C. S. **Produção e consumo de produtos florestais: perspectivas para a região sul com ênfase em Santa Catarina**. Florianópolis: BRDE/AGFLO/GEPLA, 2003. 51 p.

PETTY, A; KARHA, K. Kembra supports and the profitability of small-sized wood harvesting from early thinnings in Finland. In: SUADICANI, K; TALBOT, B. **The Nordic-Baltic Conference on Forest Operations**. Working Papers N° 30. Horsholm: University of Copenhagen, Forest & Landscape Denmark, 2008. 92 p.

RETSLAFF, F. A. S; FILHO, A. F; MACHADO, S. A; ARCE, J. E; JASKIU. E. Diagrama de manejo da densidade para *Pinus taeda* no estado do Paraná. **Floresta**. Curitiba, PR, v. 46, n. 2, p. 185 - 195, 2016.

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

REZENDE, J. L. P., JACOVINE, L. A. G., LEITE, H. G. TRINDADE, C. Avaliação da qualidade na colheita florestal semimecanizada. **Scientia Forestalis**, Piracicaba. 57, p. 13-26, 2000.

RIBEIRO, N.; SITO, A.; GUEDES, B.; STAISS, C. **Manual de silvicultura tropical**. Maputo: Universidade Eduardo Mondlane, 2002. 123 p.

RODRIGUES, C. K; **Viabilidade do aproveitamento da biomassa energética na colheita de povoamento de Pinus em primeiro desbaste**. 2017, 115p. Tese (doutorado em ciências florestais). – Universidade Estadual do Centro – Oeste, Irati. 2016.

SAUTER, U. H. Modern highly mechanized wood harvesting systems: comparison for long and short wood cutting system using harvesting for thinning conifer stand in regard of stand damages, performance and volume output. In: SEMINÁRIO DE ATUALIZAÇÃO SOBRE SISTEMAS DE COLHEITA DE MADEIRA. 9., 1996, Curitiba. **Anais...** Curitiba: FUPEF, 1996

SCHIMIZU, J. Y., **Pinus na Silvicultura Brasileira**, Embrapa Florestas. Disponível em: http://ambientes.ambientebrasil.com.br/florestal/artigos/pinus_na_silvicultura_brasilera.html. Acesso em 30 de nov. de 2017.

SCOLFORO, J. **Manejo Florestal**. Lavras: UFLA/FAEPE. 438. p. 1997.

SEBRAE. **O que são custos fixos e custos variáveis**. Artigos. 2016. Disponível em: < <https://www.sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/ufs/ap/artigos/o-que-sao-custos-fixos-e-custos-variaveis> > Acesso em: 25 Set. 2017.

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

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

SIRÉN, M. Tree damage in single-Grip *harvester* thinning operations. **International Journal of Forest Engineering**. Vantaa, v.12, n.1, p.29-38, 2001.

SIXEL, R. M. M. **Sistemas de Manejo Florestal**. Instituto de Pesquisas estudos Florestais. Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais – IPEF. Piracicaba, 2008. Disponível em: < <http://www.ipef.br/silvicultura/manejo.asp> >. Acesso em: 19 set. 2017.

SPINELLI, R. **Harvesting of thinnings**. Florence: National Council for Research, Timber and Tree Institute, 6p, 2004.

SPINELLI, R; MAGAGNOTTI, N. Performace and cost of a new mini-*forwarder* for use in thinning operations. **Journal of Forest Research**, v.15, n.6, p.358-364, 2010.

SPINELLI, R; NATI, C. A low-investment fully mechanised operation for purê selection thinning of pine plantations. **Creation Journal of Forest Engineering**. v.2, n.30, p.89-97, 2009.

TAVANKAR, F.; BONYAD, A.; MARCHI, E.; VENANZI, R.; PICCHIO, R. Effect of logging wounds on diameter growth of beech (*Fagus orientalis* Lipsky) trees following selection cutting in Caspian forests of Iran. **New Zealand Journal of Forestry Science**. v. 45, n. 19. p. 40-49, 2015

TRINDADE, C.; JOSÉ REZENDE, L. P.; JACOVINE, L. A. G. SARTORIO, M. L. **Gestão e Controle da Qualidade na Atividade Florestal**. Viçosa: Editora UFV, 2012. 253p.

TRINDADE, C.; JOSÉ REZENDE, L. P.; JACOVINE, L. A. G. SARTORIO, M. L. 2 ed. **Ferramentas da Qualidade - Aplicação na atividade florestal**. Viçosa: Editora UFV, 2007. 158p.

VASILIAUSKAS, R. Damage to trees due to forestry operations and its pathological significance in Tepemperate Forests. **Journal of Forestry**, Uppsala, v.74, n.4, p.319-336, 2001.

ANEXOS

1. Tabela de custos formulada de acordo com os dados fornecidos pela empresa.

Custo por Hora			
Máquina	Juros e seguros		Total
<i>Harvester</i>	R\$	39,21	R\$ 72,22
<i>Forwarder</i>	R\$	33,01	
IMA			
<i>Harvester</i>	R\$	1.186.138,83	
<i>Forwarder</i>	R\$	1.477.300,00	
Depreciação		Total	
<i>Harvester</i>	R\$	33,81	R\$ 68,37
<i>Forwarder</i>	R\$	34,56	
Combustível		Total	
<i>Harvester</i>	R\$	36,26	R\$ 64,31
<i>Forwarder</i>	R\$	28,05	
Óleos Lubrificantes e Graxas		Total	
<i>Harvester</i>	R\$	6,36	R\$ 10,32
<i>Forwarder</i>	R\$	3,96	
Manutenção		Total	
<i>Harvester</i>	R\$	41,22	R\$ 61,62
<i>Forwarder</i>	R\$	20,40	
Remuneração de Pessoal		Total	
<i>Harvester</i>	R\$	52,57	R\$ 102,80
<i>Forwarder</i>	R\$	50,23	
Custos Administrativos		Total	
<i>Harvester</i>	R\$	30,17	R\$ 60,34
<i>Forwarder</i>	R\$	30,17	
Custo Total		Total	
<i>Harvester</i>	R\$	239,60	R\$ 439,98
<i>Forwarder</i>	R\$	200,38	