



ANA CAROLINA GARCIA DIAS

**INFLUÊNCIA DA DISTÂNCIA E DECLIVIDADE DO
TERRENO NA PRODUTIVIDADE DA ATIVIDADE DE
BALDEIO DE TORAS CURTAS**

**LAVRAS-MG
2023**

ANA CAROLINA GARCIA DIAS

**INFLUÊNCIA DA DISTÂNCIA E DECLIVIDADE DO TERRENO NA
PRODUTIVIDADE DA ATIVIDADE DE BALDEIO DE TORAS CURTAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal de Lavras, como parte
das exigências do curso de Engenharia
Florestal, para a obtenção do título de Bacharel.

Dra. Thiza Falqueto Altoé
Orientadora

LAVRAS-MG
2023

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

Dias, Ana Carolina Garcia.

Influência da distância e declividade do terreno na
produtividade da atividade de baldeio de toras curtas/ Ana Carolina
Garcia Dias. - 2023.

39 p.

Orientador(a): Thiza Falqueto Altoé.

TCC Graduação - Universidade Federal de Lavras, 2023.
Bibliografia.

1. Baldeio de toras curtas. 2. Declividade do terreno. 3.
Produtividade. I. Altoé, Thiza Falqueto. II. Título.

ANA CAROLINA GARCIA DIAS

**INFLUÊNCIA DA DISTÂNCIA E DECLIVIDADE DO TERRENO NA
PRODUTIVIDADE DA ATIVIDADE DE BALDEIO DE TORAS CURTAS**

***INFLUENCE OF DISTANCE AND SLOPE OF THE LAND ON THE
PRODUCTIVITY OF THE SHORT LOG SHAPING ACTIVITY***

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal de Lavras, como parte
das exigências do curso de Engenharia
Florestal, para a obtenção do título de Bacharel.

APROVADO em 13 de julho de 2023.

Prof. Dr. Samuel José Silva Soares da Rocha

UFLA

Dr^a. Thiza Falqueto Altoé

UFLA

Dr. Kalill José Viana da Páscoa

UFLA

Dra. Thiza Falqueto Altoé
Orientadora

**LAVRAS-MG
2023**

AGRADECIMENTOS

À Deus por me guiar e abençoar durante toda a minha trajetória de vida até aqui.

À minha família, em especial ao meu avô, Joaquim de Assis (*in memoriam*), por ser exemplo de dedicação, disciplina e honestidade.

À minha mãe, Viviane Garcia Dias, por ser meu porto seguro, e estar comigo em todos os momentos com todo seu amor e suas orações.

Ao meu pai, Jorge Luis Dias, por ser meu amigo incondicional e se fazer presente nos momentos mais desafiadores.

À minha tia Rosângela Garcia Leal, por apoiar na formação quando mais precisei.

A todos os meus amigos de Lavras, em especial Franciane Almeida, com quem dividi minhas conquistas e desafios diariamente nessa trajetória, sempre me apoiando e contribuindo para meu crescimento.

A minha orientadora, Thiza Falqueto Altoé, que esteve sempre disponível me auxiliando e apoiando para a conclusão desse trabalho.

A empresa pela oportunidade de estágio e profissional, desenvolvendo em mim habilidades que farão grande diferença em minha carreira.

A toda equipe do módulo de baldeio SP10, em especial, Reinaldo Di Angelis, Ranali Ozório e Lucas Santos pela amizade e apoio dados durante a realização de todo o trabalho.

Ao NEMAF, por me desenvolver em trabalhos em equipe e contribuir para a minha formação profissional.

E a todos que contribuíram de alguma forma em minha jornada, sou imensamente grata! Muito obrigada!

“Pois nada é impossível para Deus” (Lucas 1:37)

RESUMO

A extração da madeira constitui a fase de maior complexidade e maior custo dentro de um processo de colheita florestal. O método de extração aplicado em cada sistema, é definido de acordo com diversas variáveis operacionais, que interferem diretamente na produtividade e no custo da produção, tais como topografia do terreno, volume da madeira, tipo de solo, condições climáticas, disponibilidade tecnológica, distância do deslocamento e mão de obra. Quando a extração da madeira é realizada em terrenos declivosos, o processo se torna ainda mais complexo, exigindo um maior planejamento das operações e a utilização de equipamentos específicos capazes de atender o nível de produtividade e manter o custo da produção viável de implantação. Desta forma, o objetivo deste trabalho foi analisar os impactos na produtividade de um processo de extração de madeira de toras curtas, causados pela variação da inclinação em áreas declivosas, com e sem a utilização do guincho auxiliar de tração. Neste trabalho é apresentado um estudo de caso realizado em uma área de colheita de madeiras comerciais de eucalipto, em uma empresa de base florestal localizada no interior de São Paulo. Para a extração, foi utilizado o *Forwarder Ponsse*, equipado com um guincho auxiliar de tração. O experimento considera duas faixas diferentes de inclinação do terreno, sendo: de 0° a 27° o baldeio convencional (sem uso de guincho de tração auxiliar) e de 27° a 35° o baldeio ancorado (com uso de guincho de tração auxiliar) e as medições para a realização do teste foram feitas por meio do estudo de tempos e movimentos (ETM). A análise dos resultados foi realizada por meio do delineamento em blocos casualizados (DBC) e pela modelagem da produtividade em função das variáveis de inclinação e distância percorrida. Os resultados obtidos neste trabalho, mostram que a média da produtividade do processo tem uma diferença muito significativa quando se compara os métodos ancorado e convencional, sendo que a média da produtividade no método convencional é significativamente maior. A análise também mostrou que a média da produtividade em relação aos operadores não é significativa. Na modelagem do sistema, foi possível obter uma equação que relaciona a produtividade em função da inclinação do terreno, sendo que a variável inclinação apresenta correlação significativa e negativa, para todos os métodos analisados, ou seja, a produtividade de baldeio decresce à medida que a inclinação do terreno aumenta.

Palavras-chave: Produtividade. Distância. Colheita Florestal. Baldeio de toras curtas. Declividade.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Investimentos do setor florestal, nos anos de 2019 e 2020	13
Figura 2: Balança comercial do setor florestal, nos anos de 2021, 2022 e princípio de 2023..	14
Figura 3: Mapa dos produtores de celulose e papel no Brasil em 2020.....	15
Figura 4: Esquema simplificado do processo de colheita	17
Figura 5: <i>Forwarder</i>	18
Figura 6: Guincho Auxiliar de Tração	19
Figura 7: Localização da Fazenda Santa Rita V, onde foi realizado este trabalho	20
Figura 8: Gráfico de precipitação e temperatura de Guaratinguetá – SP, no ano de 2022	21
Figura 9: <i>Forwarder Ponsse</i> , modelo <i>Elephant King</i> – equipamento utilizado no estudo	24
Figura 10: Guincho de tração auxiliar HERZOG HSW9-S1.....	25
Figura 11: Câmera e controle do guincho de tração auxiliar	25
Figura 12: Imagens do processo de cubagem	26
Figura 13: Gráfico <i>Boxplot</i> da Produtividade x Inclinação do terreno	30
Figura 14: Gráfico da Produtividade de baldeio em função da inclinação do terreno	32

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Informações sobre a área e declividade das Unidades de Produção; idade, volume e Incremento médio anual (IMA - que mede o crescimento médio da floresta até aquela idade) das árvores, coletadas no Inventário Pré-Corte (IPC).....	22
Tabela 2: Atividades parciais do ciclo operacional do baldeio	23
Tabela 3: Parâmetros registrados no ciclo operacional do <i>forwader</i> durante o experimento...	28
Tabela 4: Análise de variância da produtividade do baldeio de acordo com o método utilizado.....	28
Tabela 5: Análise de variância da regressão da produtividade em função da inclinação do terreno e da distância de baldeio.....	30
Tabela 6: Análise de variância da regressão da produtividade em função da inclinação do terreno para a atividade de baldeio.....	31

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	10
2	OBJETIVOS.....	12
2.1	Objetivo geral.....	12
2.2	Objetivos específicos	12
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
3.1	Setor Florestal Brasileiro.....	13
3.2	Sistema de Colheita de Madeira	15
3.3	Extração Florestal.....	16
3.4	<i>Forwarder</i>	18
3.5	Guincho auxiliar de tração.....	18
4	MATERIAIS E MÉTODOS	20
4.1	Caracterização da área de estudo	20
4.2	Coleta de dados	22
4.3	Etapas do baldeio	23
4.4	Equipamentos.....	24
4.5	Operadores	26
4.6	Cubagem.....	27
4.7	Produtividade do Baldeio	28
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	29
5.1	Delineamento em Blocos Casualizados.....	29
5.2	Modelagem da Produtividade	31
6	CONCLUSÃO.....	35
	REFÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	36
	ANEXO A – FAZENDA SANTA RITA V: MICROPLANEJAMENTO DA COLHEITA	

1 INTRODUÇÃO

A colheita florestal é definida como uma cadeia produtiva composta por etapas de atividades parciais, que abrangem desde a derrubada das árvores até a disposição da madeira na indústria consumidora (MALINOVSKI & MALINOVSKI, 1998).

De modo geral, o sistema de colheita de madeira engloba as seguintes atividades: (1) corte: inclui os procedimentos de derrubada, desgalhamento e traçamento das árvores em toras ou toretes; (2) descasque: separação da casca do tronco, de acordo com as necessidades do produto final; (3) extração ou baldeio: fase relacionada a remoção da madeira do local de corte até o local de carregamento; (4) carregamento: disposição da madeira extraída nos veículos de transporte; (5) transporte: consiste no transporte da madeira até o centro de consumo; (6) descarregamento: retirada da madeira do veículo de transporte e colocação no pátio da empresa consumidora (SOUZA, PIRES, & SILVEIRA, 2008).

A análise desse sistema envolvendo os aspectos técnicos e econômicos, proporciona uma compreensão abrangente do processo, facilitando a detecção de falhas, gargalos da produção e pontos críticos. Desta forma, pode-se utilizar de técnicas de melhorias para a obtenção de um sistema de colheita florestal mais produtivo e com menos falhas em cada atividade.

A análise técnica das atividades florestais propicia o mapeamento e diagnóstico do sistema no âmbito da produtividade, tempo e eficiência. Já o estudo econômico da produção, busca a redução dos custos e o aumento da produtividade sem a redução da qualidade da tora. As duas análises devem fazer parte do planejamento operacional, de forma a obter um processo otimizado e passível de implantação prática.

Analisando as etapas da atividade florestal, desde o preparo inicial do solo, plantio, tratamentos culturais até a colheita e transporte, verifica-se que, a colheita de madeira é uma das fases mais importantes economicamente, pois é a atividade que mais onera o custo de produção (REZENDE; PEREIRA & OLIVEIRA, 1983). De acordo com Malinovski (2008) e Morais (2012), quando a atividade de colheita está associada à de transporte florestal, corresponde 60-70% dos custos totais da madeira posta em fábrica.

Devido a relevância e vasta diversidade de culturas florestais, a disputa por terras cultiváveis têm se tornado cada vez maior. Contudo, a dificuldade em se obter áreas em locais de maior viabilidade, tem forçado as empresas a buscar terras mais remotas para a implantação

de florestas, bem como terrenos acidentados e degradados. O que só é factível graças ao surgimento de tecnologias específicas dos equipamentos.

A inclinação do terreno é um dos fatores críticos para a colheita florestal. A ocupação de florestas de produção nestas áreas de alta declividade, resulta na necessidade de um eficaz processo de mecanização das operações florestais, a fim de colher e transportar madeira em condições tão extremas (ARAÚJO, 2019, p.17). Para esta finalidade, é necessário a implantação de tecnologia especialmente adaptada a essas condições, com equipamentos específicos e com alto custo operacional.

Uma dessas tecnologias é o guincho auxiliar de tração, que é um dos componentes que são utilizados para a extração de madeiras em terrenos com declividades acentuadas, onde o guincho é ancorado em um toco ou árvore permitindo uma melhor distribuição da potência entre os rodados da máquina, o que aumenta sua capacidade de tracionamento e conseqüente melhor desempenho em locomover-se por áreas acidentadas (LOPES, TONHATO, RODRIGUES & SERPE, 2016).

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Analisar o impacto na produtividade volumétrica em madeira (m^3/h) da atividade de baldeio de toras longas, em função da distância e da declividade do terreno, com e sem o uso do guincho auxiliar de tração.

2.2 Objetivos específicos

1. Avaliar a diferença de produtividade na operação de baldeio ancorada e convencional;
2. Analisar o impacto da distância e da declividade no volume carregado no *forwarder*;
3. Determinar o rendimento do *forwarder* nas situações avaliadas;
4. Avaliar a produtividade de baldeio - volume de madeira baldeada por hora efetivamente trabalhada.

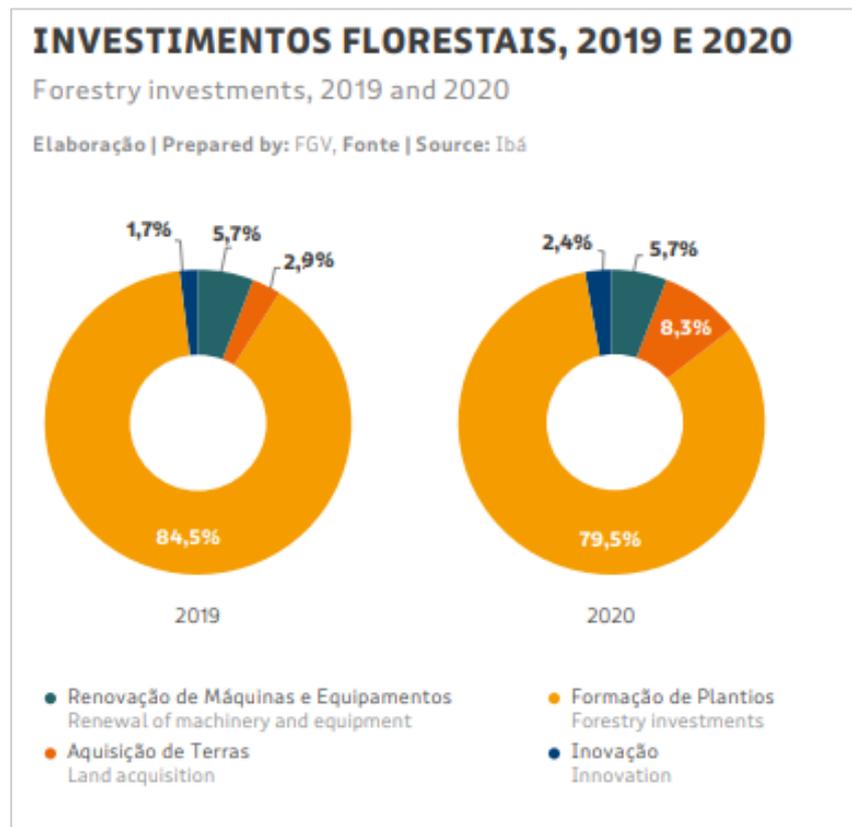
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Setor Florestal Brasileiro

O setor de árvores plantadas tem um impacto significativo na economia brasileira, sendo um dos pilares da indústria nacional, marcado por grandes investimentos, geração de empregos, renda e avanço na arrecadação de tributos. De acordo com o Ibá (Indústria Brasileira de Árvores), os projetos no setor visam aumento dos plantios, ampliação de fábricas e novas unidades, com investimentos da ordem de R\$ 35,5 bilhões até 2023.

O gráfico mostrado na Figura 1 abaixo, apresenta a evolução das modalidades de investimento no setor florestal nos anos de 2019 e 2020, mostrando que a aquisição de terras para novos plantios está crescendo significativamente, bem como o investimento na renovação de máquinas e equipamentos para a modernização do setor.

Figura 1: Investimentos do setor florestal, nos anos de 2019 e 2020.



Fonte: FVG / Ibá.

A balança comercial do setor florestal apresentado na Figura 2, mostra que a produção de celulose e papel representam a maior parte dos rendimentos e demonstra um crescimento entre os anos de 2021 e 2022.

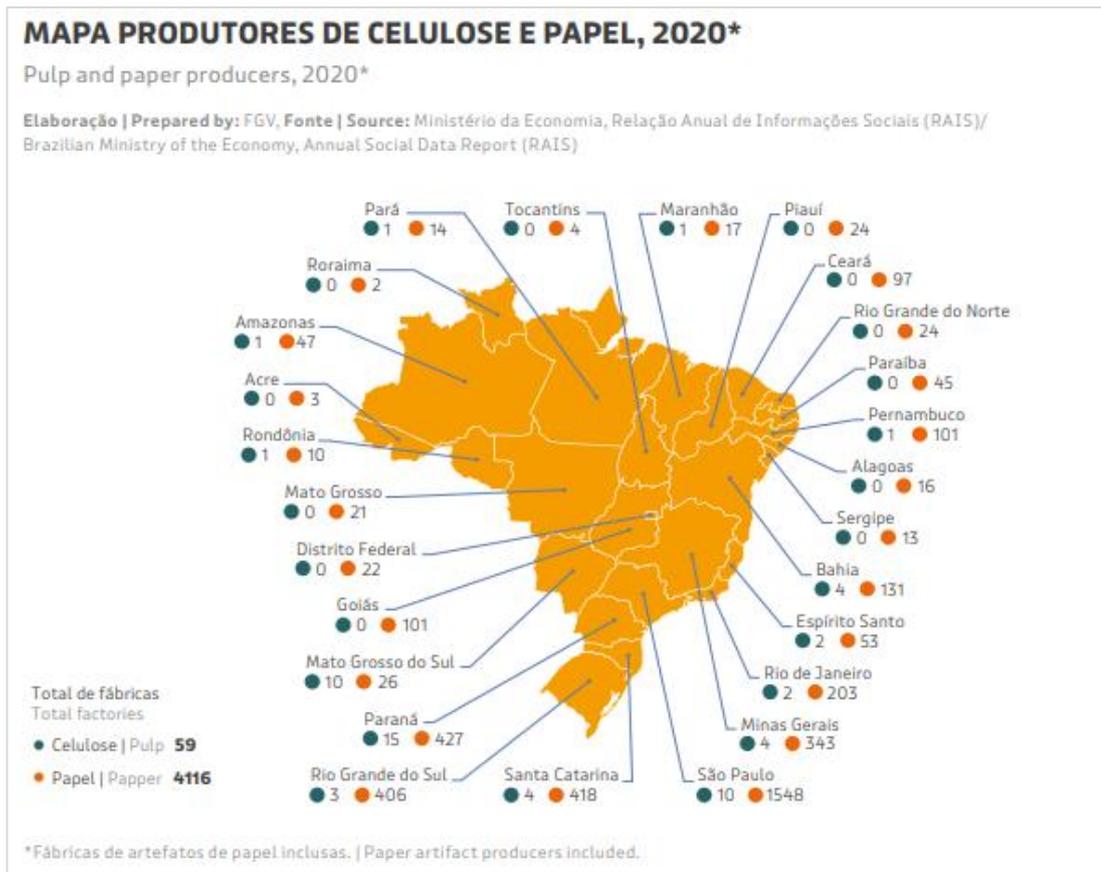
Figura 2: Balança comercial do setor florestal, nos anos de 2021, 2022 e princípio de 2023.

Balança Comercial do Setor - US\$ Milhões FOB						
Sector's Trade Balance - US\$ Million FOB						
	2021	2022	Var. %	Jan-Mar / Jan-Mar		
				2022	2023	Var. %
Exportações / Export	8.989	11.568	28,7	2.469	2.895	17,3
- Celulose / Pulp	6.731	8.387	24,6	1.719	2.257	31,3
- Papel / Paper	1.905	2.700	41,7	629	568	-9,7
- Painéis de Madeira / Wood Panels	347	478	37,8	120	69	-42,5
- Carvão Vegetal / Charcoal	6	3	-50,0	1	1	0,0
Importações / Import	1.061	1.105	4,1	232	288	24,1
- Celulose / Pulp	216	191	-11,6	40	49	22,5
- Papel / Paper	818	900	10,0	188	236	25,5
- Painéis de Madeira / Wood Panels	13	3	-76,9	1	0	-
- Carvão Vegetal / Charcoal	14	11	-21,4	3	3	0,0
Saldo / Balance	7.928	10.463	32,0	2.237	2.607	16,5
- Celulose / Pulp	6.515	8.196	25,8	1.679	2.208	31,5
- Papel / Paper	1087	1.800	65,6	441	332	-24,7
- Painéis de Madeira / Wood Panels	334	475	42,2	119	69	-42,0
- Carvão Vegetal / Charcoal	-8	-8	-	-2	-2	-

Fonte: Comex Stat – Relatório de Estatísticas da Indústria Brasileira de árvores do 1º trimestre de 2023.

No Brasil, a produção de papel e celulose se concentra majoritariamente nas regiões Sul e Sudeste. No segmento de papel, os maiores destaques de produção são em São Paulo, Paraná e Santa Catarina, e no segmento de celulose, destacam-se o Paraná, Mato Grosso do Sul e São Paulo, como mostra a Figura 3 abaixo.

Figura 3: Mapa dos produtores de celulose e papel no Brasil em 2020.



Fonte: Ministério da Economia, Relação Anual de Informações Sociais (RAIS) – Relatório Anual
Ibá, 2021.

3.2 Sistema de Colheita de Madeira

Segundo Malinovski (2002), um sistema de colheita de madeira se refere ao conjunto de elementos e processos que abrangem toda a cadeia de produção e atividades parciais, compreendendo desde a derrubada até a madeira posta no pátio da indústria. A definição do sistema a ser adotado deve considerar variáveis como a finalidade da madeira, experiência e habilidade da mão de obra, espécie florestal, produtividade, distância de arraste, transporte e desempenho da máquina (LIMA; LEITE, 2008). Para cada modelo e condições específicas do processo industrial, existe um sistema de colheita mais adequado.

De acordo com Machado (2014), os sistemas de colheita podem ser classificados quanto à forma da madeira na fase de extração, ao local onde é realizado o processamento final e ao grau de mecanização. Quanto à forma da madeira, são classificados em: sistemas de toras curtas (*cut*

to length), sistema de toras longas (*tree-length*), sistema de árvores inteiras (*full-tree*), cavaqueamento (*chipping*) e sistema de árvores completas (*whole-tree*) (RUDEK, 2015). No Brasil, os sistemas mais utilizados são o sistema de toras curtas, sistema de toras longas e sistema de árvores inteiras, que de acordo com Morais (2012) e Rudek (2015), são definidos como:

- Sistema de toras curtas (*cut to length*): nesse sistema todas as operações são realizadas no canteiro de corte, sendo que a madeira é transportada em forma de toras de 1 a 6 metros de comprimento. É o sistema mais comum no Brasil, embora não seja o mais indicado em terrenos acidentados, pois a mecanização nesse caso precisa que o terreno permita o tráfego dos equipamentos.

- Sistema de toras longas (*tree-length*): nesse sistema a árvore é apenas semiprocessada no canteiro de corte – derrubada, desganhada e destopada. O tratamento final – descascamento, toragem e seleção - é executado na estrada ou em um pátio intermediário. É um tipo de sistemas mais adequado para terrenos acidentados e exige equipamentos de maior potência, devido ao peso e dimensão das toras.

- Sistema de árvores inteiras (*full-tree*): nesse sistema a árvore é derrubada no canteiro de corte e em seguida é transportada para uma estrada ou pátio intermediário, onde são realizadas as operações de desganhamento, destopamento, traçamento e empilhamento. A vantagem desse sistema é a facilidade de operação em áreas de maior declividade, maior produtividade e menor custo de produção. É aplicável em terrenos planos ou acidentados e permite um alto grau de mecanização. Porém, apresenta maior dano ambiental, pela compactação do solo.

3.3 Extração Florestal

A extração florestal ou baldeio, refere-se ao deslocamento da madeira do local do corte, até a margem ou pátio intermediário. O método de extração da madeira é definido de acordo com diversas variáveis operacionais, que interferem diretamente na produtividade e no custo da produção, tais como topografia do terreno, volume da madeira, tipo de solo, condições climáticas, disponibilidade tecnológica, distância do deslocamento, mão de obra etc.

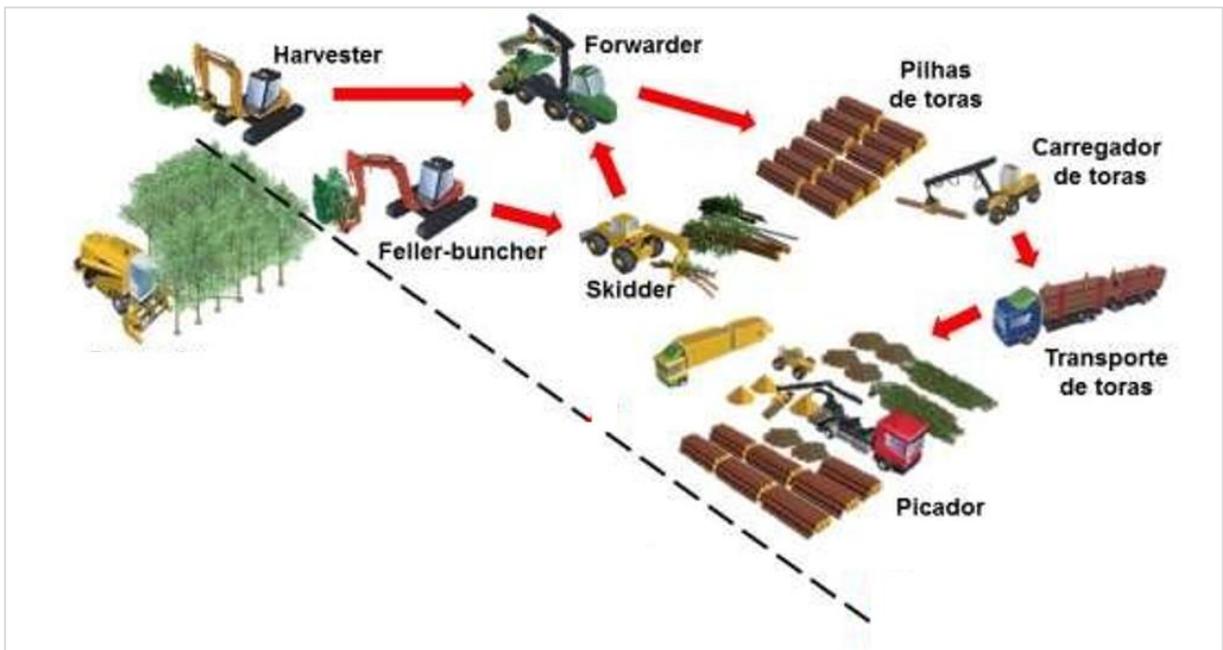
A extração da madeira constitui a fase de maior complexidade e maior custo dentro do processo de colheita. Para que o sistema seja viável economicamente é fundamental que esta

etapa seja realizada de forma planejada e que os equipamentos utilizados estejam adequados, de acordo com as características específicas de cada processo.

Quando a extração da madeira é realizada em terrenos declivosos, a atividade se torna ainda mais complexa, exigindo um alto nível de planejamento das operações e o uso de máquinas e equipamentos específicos para estas condições, de forma a reduzir os custos de produção e os potenciais impactos que as operações podem ocasionar ao meio ambiente (LOPES, TONHATO, RODRIGUES & SERPE, 2016). Devido às dificuldades dessas operações nestas condições, e diante da necessidade de aumentar a produtividade, grandes maquinários como *harvester* e *forwarder* passaram a ser utilizados nessas situações.

O esquema da Figura 4 abaixo apresenta de forma simplificada os equipamentos mais comuns utilizados nas etapas da colheita florestal.

Figura 4: Esquema simplificado do processo de colheita.

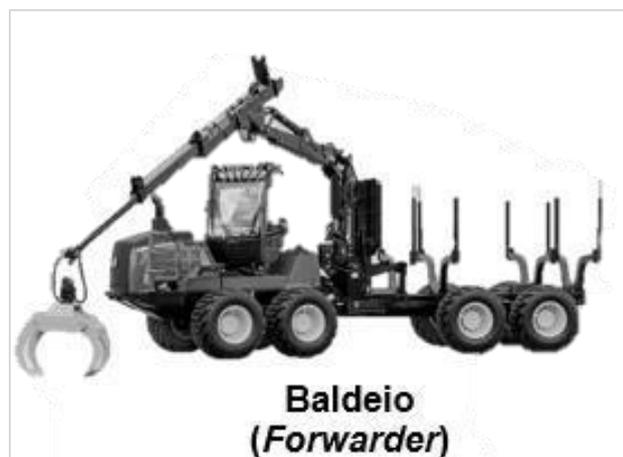


Fonte: Adaptado de: https://www.researchgate.net/figure/Figura-2-Esquema-simplificado-do-processo-de-colheita-convencional-e-colheita-de-SFCR_fig6_322233884 (Acesso em 05/06/2023)

3.4 *Forwarder*

O *Forwarder*, mostrado Figura 5, é um equipamento florestal desenvolvido para transportar a madeira do local onde foi colhida até a estrada, onde será transportada por caminhões ou trem até seu destino final. O *forwarder* é equipado com uma grua e uma garra, responsáveis por coletar e içar a madeira até o espaço de carga, comumente chamado de caixa de carga. Nesse equipamento, a madeira transportada não tem contato com o solo. Pode possuir tração em quatro, seis ou oito rodas.

Figura 5: *Forwarder*.



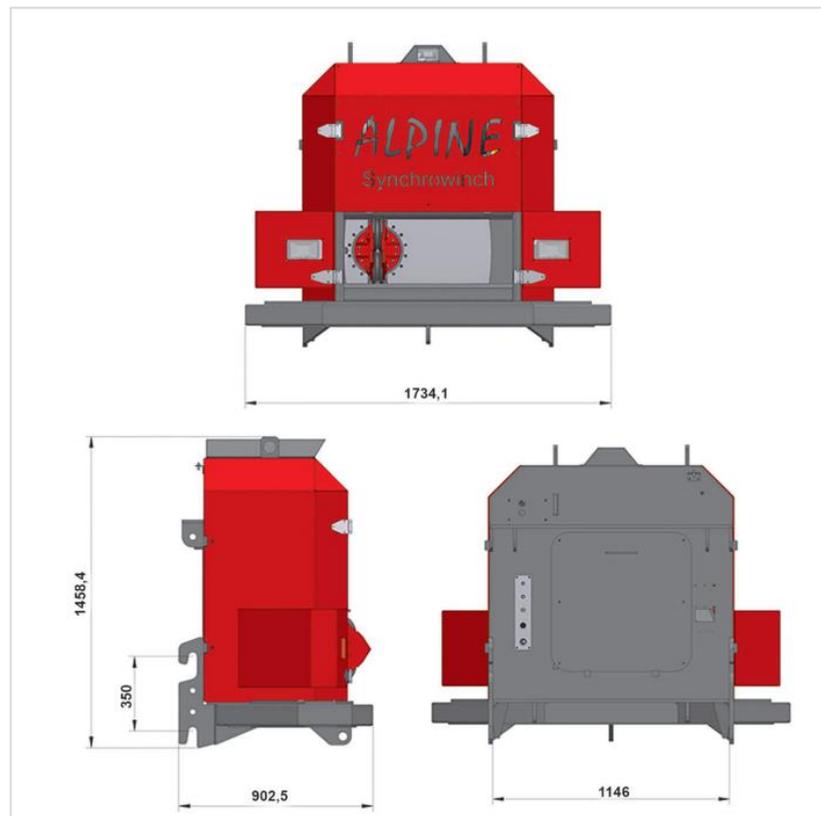
Fonte: https://issuu.com/felipeflorestal/docs/2022._jacobs_coelho_e_oliveira._m_todo_jack-knife

(Acesso em 05/06/2023)

3.5 **Guincho auxiliar de tração**

O guincho auxiliar de tração, mostrado na Figura 6 abaixo, é um dos componentes que são utilizados para a extração de madeiras em terrenos com declividades acentuadas, e seu funcionamento se dá da seguinte forma: o guincho é ancorado em um toco ou árvore permitindo uma melhor distribuição da potência entre os rodados da máquina, o que aumenta sua capacidade de tracionamento e consequente melhor desempenho em locomover-se por áreas acidentadas (LOPES et al., 2016). Porém os impactos da utilização desse equipamento no processo ainda estão sendo estudados, para que se comprove sua viabilidade em termos de custo operacional e o aumento da produtividade.

Figura 6: Guincho Auxiliar de Tração.



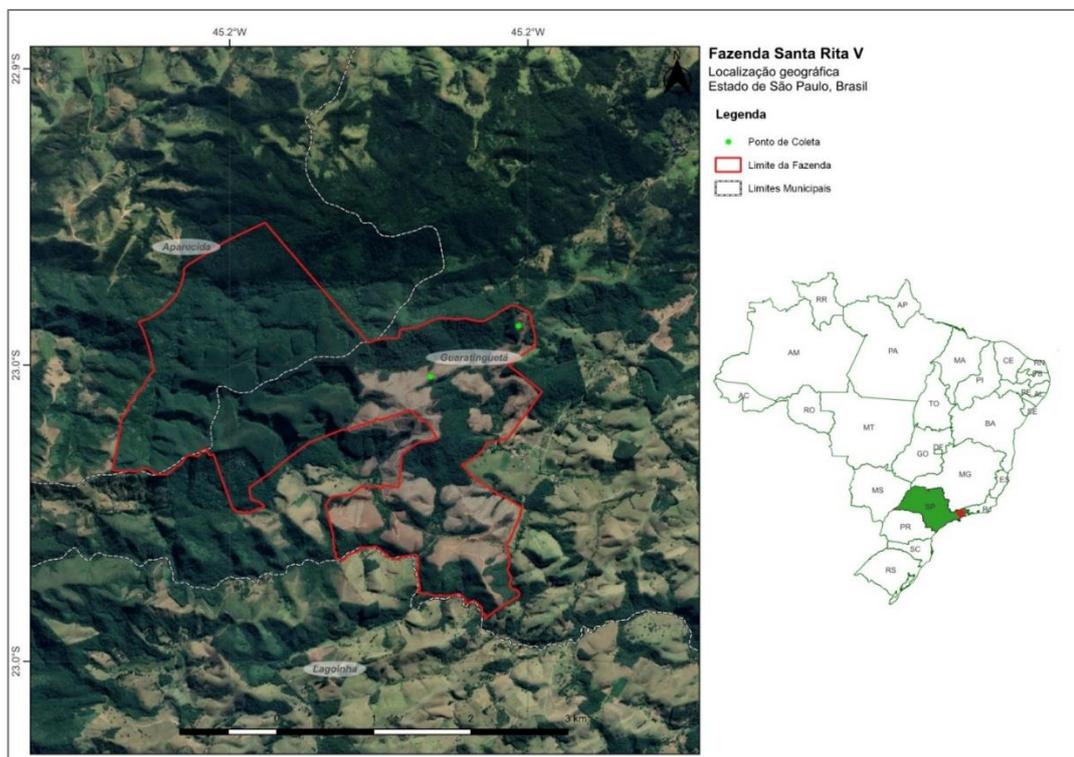
Fonte: *Datasheet Alpine Synchronwinch.*

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Caracterização da área de estudo

O trabalho foi realizado na Fazenda Santa Rita V, de propriedade de uma empresa produtora de papel e celulose. A Fazenda está localizada no município de Guaratinguetá, estado de São Paulo, definida pelas coordenadas geográficas 22°59'42" latitude Sul e 45°11'08" longitude ao Oeste. A Figura 7 abaixo mostra uma visão da localização da Fazenda e proximidades.

Figura 7: Localização da Fazenda Santa Rita V, onde foi realizado este trabalho.

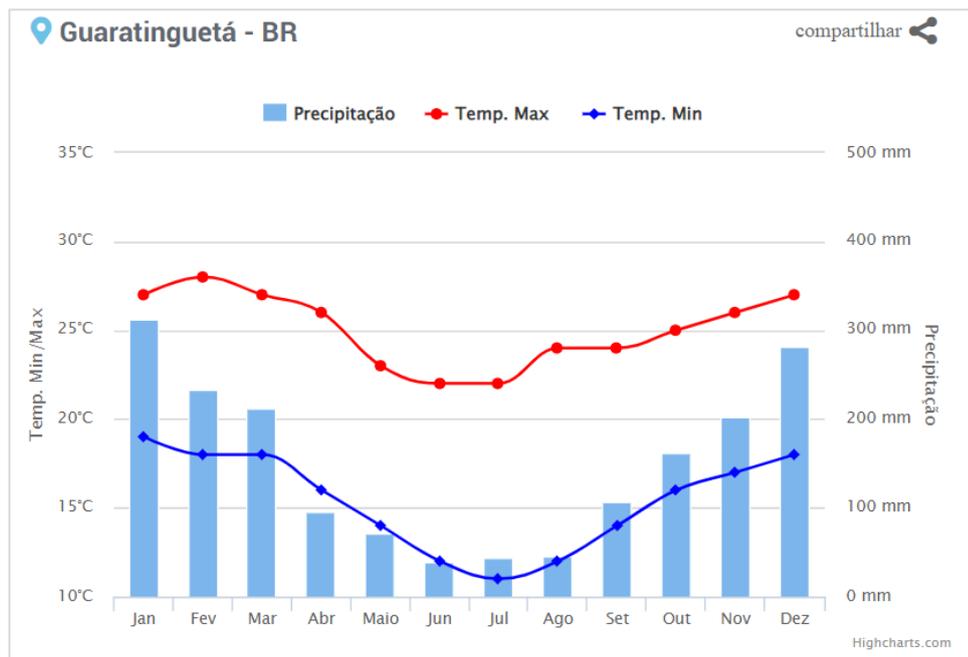


Fonte: Do autor (2023).

O local possui uma elevação de 913 metros acima do nível do mar. De acordo com o Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), o clima da região é definido como Aw, pela classificação climática de *Köppen-Geiger*, com as médias anuais de temperatura de 26,8 °C e pluviosidade de 1142 mm. O verão

é quente e com presença constante de chuvas, enquanto o inverno é seco. O trabalho foi realizado no mês de agosto, que é um período de seca, quando foi registrada uma precipitação de 35mm durante o mês, com temperatura mínima de 13°C e máxima de 24°C. O gráfico apresentado na Figura 8 abaixo mostra os dados de precipitação e temperaturas durante o ano na região.

Figura 8: Gráfico de precipitação e temperatura de Guaratinguetá – SP, no ano de 2022.



Fonte: <https://www.climatempo.com.br/climatologia/449/guaratingueta-sp> (Acesso em 07/06/2023)

Segundo Bazzan (2018), no município de Guaratinguetá ocorrem 4 classes de solos: Gleissolos, Cambissolos, Argissolos e Latossolos. Os Latossolos e Cambissolos são predominantes e representam 41% e 36% do município, respectivamente. Já os Gleissolos ocorrem em apenas 9% da área do município. Na porção sul, região onde foi realizado este trabalho, predominam Latossolos, Argissolos e Cambissolos associados à Serra do Mar.

A Fazenda Santa Rita V possui 315,79 hectares (ha), divididos entre onze Unidades de Produção (UP). A espécie cultivada é o clone VT01 e VT02, que se trata de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*. A floresta está em seu primeiro ciclo e possui 18 anos.

4.2 Coleta de dados

Este estudo foi desenvolvido nas UP's S1EZ05 e S1EZ07, onde estavam sendo realizados o baldeio da madeira já colhida.

Conforme procedimento operacional da empresa, a extração de madeira do talhão em áreas declivosas é realizada considerando-se três diferentes faixas de inclinação do terreno, são elas:

- 0° a 27°: baldeio convencional (sem uso de guincho de tração auxiliar);
- 27° a 35°: baldeio ancorado (com uso de guincho de tração auxiliar);
- > 35°: áreas onde a extração da madeira é feita pelo meio de arraste, com o uso de trator agrícola equipado com guincho.

Durante o trabalho, optou-se por áreas que atingiam até 35° de declividade, selecionadas através do mapa de microplanejamento da atividade, conforme o Anexo A. Porém em campo esse valor sofreu uma pequena variação.

A Tabela 1 abaixo apresenta as informações das unidades de produção coletadas no Inventário Pré-Corte (IPC).

Tabela 1: Informações sobre a área e declividade das Unidades de Produção; idade, volume e Incremento médio anual (IMA - que mede o crescimento médio da floresta até aquela idade) das árvores, coletadas no Inventário Pré-Corte (IPC).

UP*	Área (ha)	Idade na Colheita (anos)	IMA**	Volume (m ³)	VMI*** (m ³)	Volume Total (m ³)	Declividade do Terreno		
							0° a 27°	27° a 35°	35°
S1EZ05	29,36	18,32	38,76	710,18	0,28	20.850,76	78%	17%	5%
S1EZ07	60,13	18,27	37,58	686,54	0,44	41.281,76	84%	14%	2%

Sendo *UP= Unidade de produção; **IMA= Incremento médio anual (m³/ha/ano); ***VMI= Volume médio

Fonte: Do autor (2022).

O teste foi realizado durante o mês de agosto de 2022, nos dias 04, 11 e 12, no período das 08:00hs às 16:00hs, turno administrativo.

As medições para a realização do teste, foram feitas por meio do Estudo de Tempos e Movimentos (ETM), pelo método de tempo contínuo, em que o cronômetro não é interrompido durante o estudo. Basicamente, registra-se o tempo de início e fim de cada etapa realizada sem parar o cronômetro, mas identificando o nome da atividade executada. Por fim, o tempo de cada etapa é calculado por meio da subtração da hora de término da atividade pela hora em que ela foi iniciada.

4.3 Etapas do baldeio

Neste estudo, foram realizadas 12 viagens assistidas, coletando as seguintes informações: tempo de deslocamento vazio, tempo de deslocamento carregado, tempo de carregamento, tempo de descarregamento, tempo de ancoragem, tempo de desancoragem, distância percorrida, número de garradas necessárias para carregar e descarregar a caixa de carga, inclinação máxima alcançada, sentido de deslocamento vazio e carregado, número de toras carregadas e a cubagem das toras. Na Tabela 2 a seguir, estão descritas as definições adotadas referentes a cada etapa.

Tabela 2: Atividades parciais do ciclo operacional do baldeio.

Etapa	Descrição
Deslocamento vazio	Tempo de deslocamento do equipamento, sem carga em seu compartimento. Tempo gasto para o equipamento chegar até o local onde irá fazer o carregamento ou até o ponto de ancoragem.
Ancoragem	Tempo gasto para o operador realizar a ancoragem do GTA no toco e seus respectivos testes de resistência.
Carregamento	Tempo gasto durante o processo de retirada dos feixes de madeira no talhão, por meio da grua, para dentro da caixa de carga do equipamento.
Deslocamento carregado	Tempo de deslocamento do equipamento com a caixa de carga cheia. Tempo gasto com deslocamento do equipamento carregado até ponto de cargar (local onde irá empilhar a madeira retirada do talhão).
Desancoragem	Tempo gasto para tirar a tensão do cabo de aço do guincho e recolher o mesmo.
Descarregamento	Tempo gasto para retirar com a grua a madeira que está no compartimento de carga e empilhar na beira da estrada.

Fonte: Do autor (2022).

A distância percorrida em metros, corresponde a todo o percurso realizado desde o início do deslocamento vazio até o final do deslocamento com a máquina carregada. A inclinação máxima alcançada, em graus, corresponde ao ponto de maior inclinação no percurso realizado pela máquina para a remoção da madeira. Ambas as informações foram retiradas do computador de bordo das máquinas, que contempla um inclinômetro digital e medição de odômetro. Os tempos foram cronometrados por meio de um cronômetro digital e a cubagem foi feita tirando a medida de comprimento e diâmetros das duas pontas de cada tora que compunha a caixa de carga.

4.4 Equipamentos

A Figura 9 abaixo mostra a máquina utilizada neste estudo, o *Forwarder Ponsse* modelo *Elephant King*, com capacidade de transportar 18 toneladas de madeira em sua caixa de carga e equipado com guincho de tração auxiliar e esteira de tração nos oito pneus. A força de tração do guincho é de até 10 toneladas. Em todas as viagens, os dois operadores fizeram uso da mesma máquina, reduzindo assim, a variável relacionada a condição do equipamento.

Figura 9: *Forwarder Ponsse*, modelo *Elephant King* – equipamento utilizado no estudo:
(a) vista lateral e (b) vista da parte de trás.



(a)



(b)

Fonte: Do autor (2022).

O guincho de tração auxiliar utilizado foi o HERZOG HSW9-S1, mostrado na Figura 10 abaixo, equipado com uma câmera e controle, Figura 11.

Figura 10: Guincho de tração auxiliar *HERZOG HSW9-S1*– equipamento utilizado no estudo.



Fonte: Do autor (2022).

Figura 11: (a) Câmera e (b) controle do guincho de tração auxiliar, utilizados neste estudo.



(a)



(b)

Fonte: Do autor (2022).

4.5 Operadores

Foram selecionados dois operadores com diferentes tempos de experiência operacional, sendo um deles com 1 ano de operação e o outro com aproximadamente 30 anos.

4.6 Cubagem

A cubagem, essencialmente, objetiva obter variáveis que possibilitem quantificar o volume das árvores. Nesse sentido pode ser feita a partir da medição de diâmetros sucessivos ao longo do fuste da árvore com comprimentos pré-definidos (LEITE, 2002).

O cálculo do volume de madeira baldeado foi realizado pela cubagem das toras de cada caixa de carga. Contou-se com o apoio de uma equipe de três colaboradores, que fizeram uma medição de comprimento e duas medições de diâmetro em cada ponta da tora, em todas as toras que compunham a caixa de carga. Para medir o comprimento foi utilizada trena, e para as medições de diâmetro, suta. O processo de cubagem está registrado nas fotos da Figura 12.

Figura 12: Imagens do processo de cubagem: (a) realização das medições e (b) disposição das toras.



(a)



(b)

Fonte: Do autor (2022).

O volume individual das toras (cubagem) foi calculado pela equação abaixo:

$$Vol = \frac{(D_{MPF} + D_{MPG})}{2} * R_COMP$$

Sendo:

Vol = Volume individual da tora (m^3);

D_{MPF} = Diâmetro médio da ponta fina (m);

D_{MPG} = Diâmetro médio da ponta grossa (m);

R_COMP = Comprimento real da tora (m).

4.7 Produtividade do Baldeio

Por produtividade de baldeio, entende-se o volume de madeira baldeada em metros cúbicos, sem casca, extraída do talhão até a margem da estrada, por hora efetivamente trabalhada. A produtividade é obtida pela equação abaixo:

$$P_{balda} = \frac{vol}{t}$$

Em que:

P_{balda} = produtividade de baldeio (m^3/h);

vol = volume de madeira baldeada (m^3);

t = tempo efetivo de trabalho (horas).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 3 abaixo apresenta os resultados obtidos pelos registros experimentais no estudo de tempos e movimentos do ciclo operacional do *forwader*, das 12 viagens assistidas. Foram considerados os métodos ancorado e convencional, definidos em função do intervalo da inclinação, sendo: de 0° a 27° como baldeio convencional (sem uso de guincho de tração auxiliar) e de 27° a 35° como baldeio ancorado (com uso de guincho de tração auxiliar).

Tabela 3: Parâmetros registrados no ciclo operacional do *forwader* durante o experimento.

Viagem	Operador	Método	Volume (m ³)	Tempo (horas)	Produtividade (m ³ /h)	Distância (m)	Inclinação
1	1	Ancorado	9,2	0,5	17,4	373	33°
2	1	Ancorado	14,6	0,6	23,0	1102	28°
3	1	Ancorado	14,9	0,4	33,8	312	36°
4	2	Ancorado	18,1	0,5	33,4	600	39°
5	2	Ancorado	17,7	0,6	31,4	1066	37°
6	2	Ancorado	10,6	0,4	24,0	126	36°
7	1	Convencional	14,5	0,3	43,5	282	18°
8	1	Convencional	17,4	0,3	58,7	257	24°
9	1	Convencional	17,6	0,3	69,0	192	12°
10	2	Convencional	15,0	0,5	30,7	512	27°
11	2	Convencional	19,4	0,4	51,7	665	24°
12	2	Convencional	20,2	0,4	49,0	1023	24°

Fonte: Do autor (2022).

5.1 Delineamento em Blocos Casualizados

O delineamento em blocos casualizados (DBC) para a análise da produtividade, considerou cada operador como sendo um bloco e o fator método, sendo ancorado ou convencional. O resultado do DBC é apresentado na Tabela 4.

Tabela 4: Análise de variância da produtividade do baldeio de acordo com o método utilizado.

Fatores	GL	SQ	QM	Valor F	P-valor
Método	1	1624,01	1624,01	14,26	0,004372*
Bloco	1	52,92	52,92	0,4647	0,512575 ns
Resíduos	9	1024,83	113,87		

Sendo, Bloco: operadores do *forwader*, GL: graus de liberdade, SQ: soma dos quadrados, QM, quadrado médio, * significante a 5% de probabilidade e ns: não significativo.

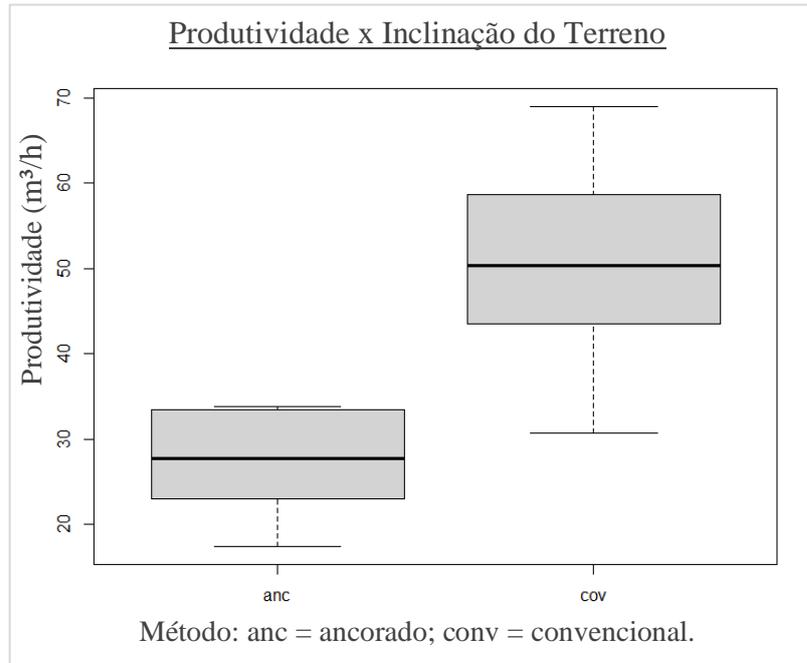
Fonte: Do autor (2022).

Nesta análise em DBC o método utilizado (ancorado ou convencional) foi significativo, porém o operador não, uma vez que o valor da probabilidade *P-valor* para o tipo de método deu 0,004372 e para o operador foi 0,512575. Desta forma, verifica-se que não é necessário tratar de forma diferente o operador, a base pode ser utilizada de forma unificada. Porém o método utilizado no baldeio, sendo ancorado ou convencional, influencia de forma significativa na produtividade do processo. Não foi necessário a realização de nenhum outro teste para diferenciação, uma vez que só foram consideradas duas categorias do método. Desta forma, pelo teste ANOVA conclui-se que os tratamentos foram diferentes.

As médias da produtividade em relação ao tipo de método utilizado foram 27,17 m³/h para o método ancorado e 50,43 m³/h para o método convencional. A média da produtividade em relação aos operadores foi de 38,8 m³/h.

Pelos valores obtidos, pode-se concluir que a diferença das médias da produtividade do processo ancorado e convencional, foi muito significativa, já a média da produtividade em relação aos operadores não se mostrou significativa.

Pelo gráfico *boxplot* apresentado na Figura 13, que mostra a produtividade em relação à inclinação separadas para o método ancorado e convencional, pode-se analisar e identificar algumas características dos dados obtidos no trabalho. Pela análise exploratória, verifica-se que no método convencional, a média da produtividade é maior, e os dados apresentam uma distribuição que se assemelha à Normal, onde 50% dos valores estão mais próximos da média. Já no método ancorado, a média é menor e os dados não possuem muita variabilidade, ou seja, são mais homogêneos. Pode-se verificar ainda, que os dados são consistentes, uma vez que não apresenta nenhum ponto de *outlier*.

Figura 13: Gráfico *Boxplot* da Produtividade x Inclinação do terreno.

Fonte: Do autor (2022).

5.2 Modelagem da Produtividade

A modelagem da produtividade de baldeio, em metros cúbicos por hora efetivamente trabalhada, foi realizada considerando a princípio duas variáveis: a inclinação e a distância percorrida. Para esta análise, foram utilizados os dados da Tabela 3.

A relação entre as variáveis consideradas foi modelada pela produtividade em função da inclinação e da distância percorrida. Neste cenário, os coeficientes são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5: Análise de variância da regressão da produtividade em função da inclinação do terreno e da distância de baldeio.

Parâmetros	Coefficientes	Erro padrão	Valor t	Pr(> t)
Intercepto	79,954372	12,328011	6,486	0,000113*
Inclinação	-1,404619	0,416257	-3,374	0,008199*
Distância	-0,002933	0,009821	-0,299	0,772015 ns

Sendo * significante a 5% de probabilidade e ns: não significativo.

Fonte: Do autor (2022).

Pela análise destes coeficientes, verifica-se que a variável distância não foi significativa no modelo da produtividade de baldeio. Desta forma, a distância foi descartada do modelo e foi considerada somente a inclinação. Neste cenário, os coeficientes obtidos para um nível de significância de 0,05% estão presentes na Tabela 6.

Tabela 6: Análise de variância da regressão da produtividade em função da inclinação do terreno para a atividade de baldeio.

Parâmetros	Coefficientes	Erro padrão	Valor t	Pr(> t)
Intercepto	79,0478	11,3912	6,939	0,00004*
Inclinação	-1,4289	0,3892	-3,671	0,00431*

Sendo * significante a 5% de probabilidade.

Fonte: Do autor (2022).

Pela análise de variância da regressão, tanto o intercepto quanto o parâmetro da inclinação, observa-se que o modelo obtido é significativo. O ajuste obteve um erro padrão residual de 10,73, com R^2 de 57,41%. Podemos verificar que essa variável apresenta correlação significativa e negativa, para todos os dados dos métodos considerados - ancorado e convencional. Ou seja, a produtividade de baldeio decresce à medida que a inclinação do terreno aumenta. Desta forma, pode-se estimar a produtividade em função da inclinação do terreno pela seguinte equação:

$$P_{balda} = 79,0478 - 1,4289 * Inc$$

Em que:

P_{balda} = produtividade de baldeio (m^3/h);

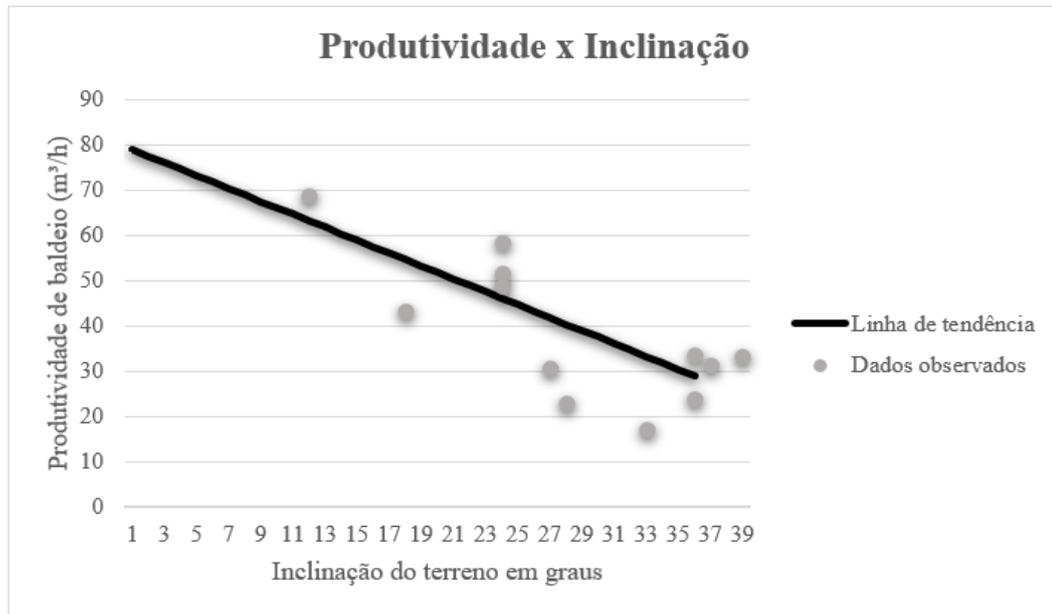
Inc = inclinação do terreno ($^\circ$);

O gráfico da Figura 14 abaixo mostra a relação da produtividade de baldeio em função da inclinação do terreno, calculada pela equação obtida, considerando os valores de declividade variando na faixa de 0° a 35° . Nesta situação, estima-se que para uma inclinação de zero graus, a produtividade seja de 79,0478 m^3/h e quando a inclinação aumenta para 35° a produtividade caia para 29,0363 m^3/h .

Pela modelagem obtida do sistema nas condições descritas, a cada acréscimo de 1° na inclinação do terreno, a produtividade média do baldeio cai 1,4289 m^3/h . Dessa forma considerando os valores extremos de declividades avaliadas, ou seja 0° e 35° , em uma hora de

trabalho o rendimento na situação mais inclinada deixa de baldear 50 m³ de madeira, já que as médias estimadas são de 79 m³ e 29 m³, respectivamente, para as condições citadas.

Figura 14: Gráfico da Produtividade de baldeio em função da inclinação do terreno.



Fonte: Do autor (2022).

Pela análise dos resultados obtidos no modelo da produtividade, podemos observar que, quando comparamos o método ancorado e convencional, para que se mantenha a relação linear da variável inclinação com a produtividade, é fundamental que se utilize o guincho de tração auxiliar. Sem ele, a produtividade teria um decréscimo maior quando houvesse um incremento na inclinação do terreno.

Os resultados obtidos neste trabalho, que relacionam a produtividade com a inclinação do terreno, corroboram com o que foi apresentado em Leite et al. (2014) e Moreira (2000), onde foi constatado que a produtividade do *forwarder* variou inversamente ao incremento da inclinação do terreno, em ambos os métodos avaliados. Porém, diferentemente do que foi apresentado neste trabalho, em Araújo (2019), constatou-se que a variável distância de extração possui correlação significativa na modelagem da produtividade, tanto em área sem guincho quanto em área de guincho. Essa divergência, possivelmente está relacionada ao fato de que, em Araújo (2019), diferentemente do que foi realizado neste trabalho, foi considerado no experimento as atividades “deslocamento vazio e deslocamento carregado”. Estes deslocamentos consumiram o segundo maior tempo do ciclo operacional nas situações

avaliadas, sendo que estas atividades são principalmente influenciadas pela distância de extração e pela velocidade de deslocamento do *forwarder*.

6 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos neste trabalho permitiram concluir que a diferença das médias da produtividade do processo de baldeio ancorado e convencional, foi muito significativa sendo calculadas como 27,16667 m³/h e 50,43333 m³/h respectivamente, já a diferença das médias da produtividade em relação aos operadores não se mostrou significativa. Essas médias também traduzem o rendimento do *forwarder* nessas duas situações. Dentre as variáveis avaliadas na modelagem, a que afetou a produtividade do baldeio de forma mais significativa foi a inclinação do terreno. Para cada acréscimo de 1° na inclinação do terreno, a produtividade média do baldeio cai 1,4289 m³/h.

REFÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, L. C. Modelagem da produtividade e da velocidade do *forwarder* em áreas inclinadas. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – UFVJM. Diamantina, 2019.

BAZZAN, T. Análise da suscetibilidade a escorregamentos no município de guaratinguetá/SP. Ano 2018. Divisão de Processamento de Imagens (DPI) do INPE. Disponível em: < http://wiki.dpi.inpe.br/lib/exe/fetch.php?media=ser300:trabalho_final_thiago_bazzan.pdf > Acesso em 21/07/2023.

FONSECA, J. S.; MARTINS, G. A. M. Curso de estatística. 3. ed. São Paulo: Atlas, 1982. 286p.

FREITAS, K. E. Análise técnica e econômica da colheita florestal mecanizada. 2005. 27p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.

IBÁ. Relatório anual 2022. Brasília: Ed. Indústria Brasileira de Árvores, 2022. 96p. Disponível em: < <https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorio-anual-iba2022-compactado.pdf> > Acesso em: 13 de junho de 2023.

IBÁ. Estatísticas da Indústria Brasileira de Árvores – 1º Trimestre de 2023. 5p. Disponível em <<https://www.iba.org/datafiles/publicacoes/cenarios/73-cenarios.pdf>> Acesso em: 13 de junho de 2023.

LEITE, E. S.; FERNANDES, H. C.; MINETTE, L. J.; SOUZA, A. P.; LEITE, H. G.; GUEDES, I. L. Modelagem do desempenho da extração de madeira pelo *forwarder*. Revista *Árvore*, Viçosa-MG, v.38, n.5, p.879-887, 2014.

LEITE, H.G.; ANDRADE, V.C.L. Um método para condução de Inventários Florestais sem o uso de equações volumétricas. Revista *Árvore*, v.26, n. 3, 2002.

LOPES, E. S.; TONHATO, L.; RODRIGUES, C. K.; SERPE, E. L. Declividade do terreno e distância de extração na produtividade do *forwarder* com guincho de tração auxiliar. *Nativa*, Sinop, v.4, n.6, p.347-352, nov./dez. 2016.

LOPES, I. L. E; ARAÚJO, L. A.; MIRANDA, E. N.; BASTOS, T. A.; GOMIDE, L. R.; CASTRO, G. P. A comparative approach of methods to estimate machine productivity in wood cutting. *International Journal of Forest Engineering*, v. x, p. 1-13, 2021.

MACHADO, C. C. Colheita florestal. 3ª ed. Viçosa: Editora UFV, 2014.

MALINOVSKI, J. R.; CAMARGO, C. M. S.; MALINOVSKI, R. A. Colheita Florestal. Ed Viçosa, MG: UFV, 2002, Cap. 6, p.145-167.

MALINOVSKI, J.R; CAMARGO, C.M.S.; MALINOVSKI, R.A.. Colheita Florestal. Ed. Viçosa UFV, 2008.

MALINOVSKI, R. A.; MALINOVSKI, J. R. Evolução dos Sistemas de Colheita de Pinus na Região Sul do Brasil. Curitiba, PR: FUPEF, 1998.

MORAIS, M. G. A. Colheita e transporte de madeira: terceirização x verticalização das operações. São Carlos. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2012.

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

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

RUDEK, A. Planejamento da colheita de madeira em região montanhosa com uso de modelagem espacial e programação linear inteira. Irati – PR. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Do Centro-Oeste, UNICENTRO-PR, 2015.

SOUZA, M. A. DE, PIRES, C. B., & SILVEIRA, F. C. Colheita florestal: mensuração e análise dos efeitos das variáveis controláveis e não controláveis no custo das atividades de corte e descasque mecanizado. *Revista De Contabilidade E Organizações*, 2(3), 73-99, 2008. Disponível em: <<https://doi.org/10.11606/rco.v2i3.34714>> Acesso em 13 de junho de 2023.

ANEXO A – FAZENDA SANTA RITA V: MICROPLANEJAMENTO DA COLHEITA

