

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CENTRO-OESTE, UNICENTRO-PR**

**EFEITO DA ANGULAÇÃO DE FEIXES NO DESEMPENHO  
OPERACIONAL E NA QUALIDADE DAS CEPAS DE EUCALIPTO NO  
SISTEMA DE COLHEITA *FULL TREE***

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**JOYCE LUIZE CAETANO DE OLIVEIRA**

**IRATI-PR  
2022**

**JOYCE LUIZE CAETANO DE OLIVEIRA**

**EFEITO DA ANGULAÇÃO DE FEIXES NO DESEMPENHO E NA QUALIDADE  
DAS CEPAS DE EUCALIPTO NO SISTEMA DE COLHEITA *FULL TREE***

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Centro-Oeste, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, área de concentração em Colheita Florestal, para a obtenção do título de Mestre.

Prof. Dr. Eduardo da Silva Lopes  
Orientador

Dr. Felipe Martins de Oliveira  
Coorientador

Prof. Dr. Henrique Soares Koehler  
Coorientador

IRATI-PR  
2022

Catálogo na Publicação  
Rede de Bibliotecas da UNICENTRO

O48e

Oliveira, Joyce Luize Caetano de

Efeito da angulação de feixes no desempenho e na qualidade das cepas de eucalipto no sistema de colheita *full tree* / Joyce Luize Caetano de Oliveira. -- Irati, 2022.

xv, 48f. : il. ; 28 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual do Centro-Oeste, Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, área de concentração em Colheita Florestal, 2022.

Orientador: Eduardo da Silva Lopes

Coorientador: Felipe Martins de Oliveira

Coorientador: Henrique Soares Koehler

Banca examinadora: Eduardo da Silva Lopes, Jean Alberto Sampietro, Millana Bürger Pagnussat

Bibliografia

1. Colheita da madeira. 2. Corte e extração da madeira. 3. Operações florestais. 4. Skidder. I. Título. II. Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais.

| CDD 634.9

“Sempre que olho pra trás e vejo onde cheguei, eu vejo como Deus cuidou de mim, por isso eu não parei. Sem Ele eu não venceria tudo o que venci, com minhas próprias forças eu não estaria aqui.”

Sempre esteve aqui - Leandro Borges

A Deus, dedico.



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CENTRO-OESTE/UNICENTRO  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO - PROPESP  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS - PPGF



## TERMO DE APROVAÇÃO

Defesa Nº 166

**Joyce Luize Caetano de Oliveira**

**"EFEITO DA ANGULAÇÃO DE FEIXES NO DESEMPENHO OPERACIONAL E NA QUALIDADE DAS CEPAS DE EUCALIPTO NA COLHEITA FULL TREE".**

Dissertação aprovada em 16/12/2022, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre, no Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, área de concentração em Manejo Sustentável de Recursos Florestais, da Universidade Estadual do Centro-Oeste, pela seguinte Banca Examinadora:

Impresso com recursos públicos por assinatura em UNICENTRO

Prof. Dr. Jean Alberto Sampietro  
Universidade do Estado de Santa Catarina  
Primeiro Examinador

Profª. Dra. Millana Bürger Pagnussat  
Universidade Estadual do Centro-Oeste  
Segunda Examinadora

Prof. Dr. Eduardo da Silva Lopes  
Universidade Estadual do Centro-Oeste  
Orientador e Presidente da Banca Examinadora

Irati - PR  
2022

Home Page: <http://www.unicentro.br>

**Campus Santa Cruz:** Rua Salvatore Renna – Padre Salvador, 875, Bairro Santa Cruz – Cx. Postal 3010 – Fone: (42) 3621-1000 – FAX: (42) 3621-1090  
CEP 85.015-430 – GUARAPUAVA – PR

**Campus Cedeteg:** Alameda Élio Antonio Dalla Vecchia, 838, Bairro Vila Carli – Fone: (42) 3629-8100 – CEP 85.040-167 – GUARAPUAVA – PR

**Campus de Irati:** Rua Professora Maria Roza Zanon de Almeida, Bairro Engenheiro Gutierrez – Cx. Postal, 21 – Fone: (42) 3421-3000  
CEP 84.505-677 – IRATI – PR

## AGRADECIMENTOS

À Deus, meu Criador. Até aqui me ajudou o Senhor. Sem sua bondosa mão eu não chegaria até aqui.

À Universidade Estadual do Centro-Oeste, por intermédio do programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, pela formação científica.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de nível Superior - CAPES, pelo suporte financeiro através da concessão de bolsa de estudo.

Ao Prof. Dr. Eduardo da Silva Lopes, pela orientação e ensinamentos durante o desenvolvimento deste trabalho.

Aos coorientadores Prof. Dr. Henrique Soares Koehler e Dr. Felipe Martins de Oliveira, pela coorientação, acolhimento e amizade durante esta jornada. Em especial ao Dr. Felipe Martins de Oliveira, pelo incentivo à minha inscrição no programa.

A empresa e seus colaboradores, pela recepção e oportunidade de obter mais conhecimento prático da área florestal.

A Ivan Cleiton da Silva, Millana Burger Pagnussat e Paulo Candido pelo auxílio e amizade e a troca de experiências e conhecimentos.

De modo especial as amigas Eleuza e Sabrina Souza, pelo incentivo a minha entrada no programa.

Ao meu pai José Luiz Soares de Oliveira, por estar sempre ao meu lado sendo um grande parceiro.

A Giancarlo Marchiori, amor e amigo, pelo auxílio e apoio nessa jornada.

A tantas pessoas incríveis, amigos e família que torceram e oraram por mim nessa jornada, a minha gratidão!

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS .....	x
LISTA DE TABELAS .....	xii
LISTA DE SIMBOLOS E ABREVIATURAS .....	xiii
RESUMO .....	xiv
ABSTRACT .....	xv
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVOS.....	3
2.1 Objetivo geral .....	3
2.2 Objetivos específicos.....	3
3. REFERENCIAL TEÓRICO.....	4
3.1 Colheita da madeira .....	4
3.2 Sistemas de colheita da madeira.....	4
3.3 Variáveis de influência no corte e extração da madeira .....	5
3.4 Planejamento da disposição de feixes de árvores na colheita de madeira.....	7
3.5 A qualidade na colheita de madeira.....	7
3.5.1 Altura de corte .....	8
3.5.2 Cobertura das cepas por resíduos da colheita de madeira .....	8
3.5.3 Danos físicos as cepas .....	8
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	9
4.1 Caracterização da área de estudo.....	9
4.2 Sistema de colheita da madeira avaliado.....	10
4.3 Tratamentos avaliados no estudo.....	11
4.3.1 Tratamento I .....	11
4.3.2 Tratamento II.....	11
4.4 Procedimento experimental .....	12
4.5 Coleta de dados.....	13
4.5.1 Estudo de tempos e movimentos .....	13
4.6 Indicadores de desempenho operacional .....	14
4.6.1 Produtividade.....	15
4.6.2 Rendimento energético .....	15
4.7 Análise de custos .....	16
4.7.1 Custos fixos .....	17
4.7.2 Custos variáveis.....	18
4.7.3 Custo de administração.....	19

4.7.4 Custo operacional total .....	19
4.7.5 Custo de produção .....	20
4.8 Análise de qualidade das cepas .....	20
4.8.1. Procedimentos de amostragem .....	20
4.8.2 Variáveis de influência na qualidade das cepas.....	22
4.9 Análise estatística dos dados .....	24
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	25
5.1 Intensidade amostral .....	25
5.2 Feller buncher .....	25
5.2.1 Análise dos ciclos operacionais.....	25
5.2.2 Indicadores de desempenho.....	28
5.2.2.1 Produtividade.....	28
5.2.2.2 Rendimento energético .....	29
5.2.3 Análise de custos .....	29
5.3 Skidder.....	30
5.3.1 Análise dos ciclos operacionais.....	30
5.3.2 Indicadores de desempenho.....	34
5.3.2.1 Produtividade.....	34
5.3.3 Análise de custos .....	35
5.4 Avaliação da qualidade das cepas .....	35
5.4.1 Altura das cepas.....	35
5.4.2 Cepa coberta por solo ou resíduos florestais .....	36
5.4.3 Danos físicos ocasionados pelos rodados das máquinas .....	37
5.4.4 Descolamento da casca das cepas.....	39
5.4.5 Cisalhamento das cepas .....	40
5.4.6 Análise comparativa da qualidade das cepas.....	43
6. CONCLUSÕES .....	44
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	45

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização da área de estudo.....	9
Figura 2. Ângulo de formação dos feixes de árvores no tratamento I.....	11
Figura 3. Ângulo de formação dos feixes de árvores no tratamento II. ....	12
Figura 4. Procedimento de amostragem da qualidade das cepas e disposição das parcelas na área de estudo. ....	21
Figura 5. Divisão da cepa em quadrantes para definição do percentual de área afetada.....	21
Figura 6. Medição da altura das cepas.....	22
Figura 7. Cepa coberta por resíduos da colheita de madeira. ....	22
Figura 8. Danos físicos ocasionados pelos rodados das máquinas.....	23
Figura 9. Descolamento da casca da cepa. ....	23
Figura 10. Cisalhamento da cepa (a); Presença de espeto (b). ....	24
Figura 11. Tempos médios do ciclo operacional do feller buncher nas angulações de formação de feixes a 17° e a 45°.....	26
Figura 12. Indicação de abordagem e angulação de derrubada do feller buncher para disposição dos feixes a 17° (a) e a 45° (b). ....	27
Figura 13. Tempos médios do ciclo operacional da extração do skidder nas angulações de formação de feixes a 17° e a 45°.....	31
Figura 14. Condições observadas dos pneus do skidder na extração da madeira em ambas as angulações. ....	32
Figura 15. Manobra realizada na angulação de 17° para a organização dos feixes no estaleiro. ....	33
Figura 16. Altura das cepas nas angulações de formação de feixes de árvores a 17° e a 45°...35	
Figura 17. Cepas cobertas por resíduos florestais e/ou solo nas angulações de formação de feixes de árvores a 17° e a 45°.....	36
Figura 18. Análise visual de cepas cobertas por solo ou resíduos florestais. ....	37
Figura 19. Danos físicos ocasionados pelos rodados das máquinas nas angulações de formação de feixes a 17° e a 45°.....	38
Figura 20. Análise visual dos danos físicos ocasionados as cepas pelos rodados das máquinas nas angulações de formação de feixes de 17° e a 45°.....	38
Figura 21. Descolamento da casca das cepas nas angulações de formação de feixes a 17° e a 45°.....	39

Figura 22. Análise visual do descolamento da casca das cepas nas angulações de formação de feixes a 17° e a 45°.....	40
Figura 23. Cisalhamento nas cepas nas angulações de formação de feixes a 17° e a 45°. ....	41
Figura 24. Análise visual do cisalhamento nas cepas nas angulações de formação de feixes de 17° e a 45°.....	42
Figura 25. Limpeza para destravar o disco de corte do feller buncher.....	42

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Características do povoamento florestal estudado.....	9
Tabela 2. Características do feller buncher e skidder avaliados no estudo. ....	10
Tabela 3. Características da área dos tratamentos. ....	13
Tabela 4. Subdivisão do ciclo operacional do feller buncher e do skidder. ....	14
Tabela 5. Premissas utilizadas para os cálculos dos custos fixos e variáveis do feller buncher e do skidder. ....	16
Tabela 6. Número de repetições (ciclos) necessários das máquinas avaliadas. ....	25
Tabela 7. Tempos médios do ciclo operacional do feller buncher nas angulações a 17° e a 45°. ....	27
Tabela 8. Valores médios de produtividade por ciclo operacional do feller buncher. ....	28
Tabela 9. Valores médios de produtividade por ciclo operacional do feller buncher. ....	30
Tabela 10. Tempos médios do ciclo operacional do skidder nas angulações a 17° e a 45°.....	32
Tabela 11. Valores médios de produtividade por ciclo operacional do skidder.....	34
Tabela 12. Médias dos parâmetros de qualidade das cepas avaliados estatisticamente.....	43

## LISTA DE SIMBOLOS E ABREVIATURAS

cfa	Clima equatorial
cm	Centímetro
EO	Eficiência Operacional
g/Kw/h	Gramas por quilowatt por hora
ha <sup>-1</sup>	Hectare
Kg	Quilograma
Kw	Quilowatt
l.h <sup>-1</sup>	Litro por hora efetiva corrigida
l.m <sup>-3</sup>	Litro por metro cúbico
l.mês <sup>-1</sup>	Litros por mês
m	Metro
m <sup>3</sup>	Metro cúbico
m <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup>	Metro cúbico por hora efetiva corrigida
m <sup>3</sup> . mês <sup>-1</sup>	Metro cúbico por mês
m <sup>3</sup> . PMH <sup>-1</sup>	Metro cúbico por hora efetiva ou hora máquina programada
m <sup>3</sup> /he	Metro cúbico por hora efetiva
R\$.h <sup>-1</sup>	Reais por hora efetiva
R\$.m <sup>3</sup>	Reais por metro cúbico
R\$. mês <sup>-1</sup>	Reais por mês
R\$/he	Reais por hora efetiva

## RESUMO

Oliveira, Joyce Luize Caetano de. Efeito da angulação de feixes no desempenho e na qualidade das cepas de eucalipto no sistema de colheita *full tree*.

A colheita de madeira representa elevados custos na cadeia de produção, implicando na necessidade de maior eficiência operacional para suprir a demanda da indústria em um fluxo constante de abastecimento. Por isso, garantir ganhos operacionais que tragam maior agilidade para as máquinas de alto potencial produtivo é a chave para a redução dos custos operacionais e de produção. Esta pesquisa objetivou avaliar o efeito da angulação na formação dos feixes de árvores no corte com *feller buncher* e arraste com *skidder*, na capacidade produtiva das máquinas e na qualidade das cepas de eucalipto para o manejo de talhadia e avaliação dos custos do sistema. A pesquisa foi realizada na região de Itararé, estado de São Paulo contemplando o sistema *full tree*, em uma floresta plantada com *Eucalyptus sp.*, homogênea, clonal, com idade de 9 anos em primeira rotação, cuja madeira era destinada à produção de celulose e papel. Na área estudada foi realizado o corte raso, preservando a integridade das cepas objetivando a rebrota para a formação de um novo povoamento na área. O solo predominante na região é o latossolo vermelho escuro, com predominância de relevo plano, como clima temperado, sem estação seca e com verão quente. A análise operacional foi realizada por meio de um estudo de tempos e movimentos nas atividades de corte e extração por meio da subdivisão em atividades parciais, utilizando o método de cronometragem em tempos contínuos para a determinação dos tempos do ciclo operacional de cada máquina. A produtividade foi determinada em metros cúbicos por hora efetiva ( $m^3/he$ ) por meio da quantificação do número de árvores cortadas e extraídas, cujos valores foram multiplicados pelo volume médio individual das árvores, em razão das horas efetivas de trabalho. O rendimento de combustível das máquinas foi obtido pela razão entre o consumo específico efetivo de combustível pelas máquinas, em litros por hora efetiva e a produtividade média de madeira com casca. A avaliação da qualidade das cepas remanescentes, ocorreu após a colheita da madeira, sendo adotado o uso de trena e avaliação visual em quadrantes analisando os parâmetros: altura de corte da cepa, presença de sujeira na cepa, danos ocasionados pelos rodados das máquinas e presença de cisalhamento na cepa. A análise econômica englobou os parâmetros do custo operacional total. Os dados foram avaliados por meio do delineamento inteiramente casualizado (DIC). E testados por meio da ANOVA - análise de variância, sendo as médias comparadas entre si pelo teste de Tukey, ao nível de significância de 5%. A suficiência da intensidade amostral foi verificada pelo método de Stein (2000), enquanto as análises foram efetuadas com a utilização do programa Assistat, versão 7.7. Os resultados apontaram que, em geral, a angulação de 45° demandou menor tempo total do ciclo operacional do *feller buncher* e não impactou significativamente nos tempos do ciclo operacional do *skidder*. Deste modo a produtividade do sistema na angulação de feixes a 45° foi mais promissora, tendo aumentado a produtividade. Em relação aos danos às cepas, o parâmetro de qualidade mais afetado foi o cisalhamento das cepas na angulação a 17°, proveniente da falta de afiação do disco de corte do *feller buncher* e pelo acúmulo de solo e serragem dentro do disco. A angulação a 45° teve o melhor resultado em termos de qualidade das cepas. Foi possível concluir que o procedimento de disposição dos feixes de árvores pode impactar as operações de colheita da madeira, sendo necessário ser considerado no microplanejamento de forma a potencializar os ganhos das operações florestais.

## ABSTRACT

Oliveira, Joyce Luize Caetano de. Effect of beam angulation on the performance and quality of eucalyptus strains in the full tree harvesting system.

Wood harvesting represents high costs in the production chain, implying the need for greater operational efficiency to meet industry demand in a constant supply flow. Therefore, ensuring operational gains that bring greater agility to machines with high production potential is the key to reducing operating and production costs. This research aimed to evaluate the effect of angulation on the formation of tree bundles when cutting with a feller buncher and dragging with a skidder, on the productive capacity of the machines and on the quality of the eucalyptus stumps for coppicing management and evaluation of system costs. The research was carried out in the region of Itararé, São Paulo state, contemplating the full tree system, in a forest planted with *Eucalyptus* sp., observed, clonal, aged 9 years in the first rotation, whose wood was destined to the production of cellulose and paper. In the area studied, a shallow cut was carried out, preserving the integrity of the strains, aiming at the regrowth for the formation of a new population in the area. The predominant soil in the region is dark red latosol, with a predominance of flat relief, with a temperate climate, without a dry season and with hot summers. The operational analysis was carried out through a study of times and movements, in the activities of cutting and extraction through the subdivision in partial activities, using the method of timing in continuous times for the determination of the times of the operational cycle of each machine. Productivity was determined in cubic meters per effective hour ( $m^3/he$ ) by quantifying the number of trees cut and extracted, whose values were multiplied by the individual average volume of trees, based on the effective hours of work. The fuel efficiency of the machines was obtained by the ratio between the effective specific consumption of fuel by the machines, in liters per effective hour and the average productivity of wood with bark. The evaluation of the quality of the remaining stumps took place after harvesting the wood, adopting the use of a measuring tape and visual evaluation in quadrants analyzing the parameters: cutting height of the stump, presence of dirt in the stump, damage caused by the wheels of the machines and presence of shear in the stump. The economic analysis included the parameters of the total operating cost. Data were evaluated using a completely randomized design (DIC). And tested using ANOVA - analysis of variance, with the averages compared by Tukey's test, at a significance level of 5%. The sufficiency of the sampling intensity was verified using the Stein method (2000), while the analyzes were carried out using the Assistat program, version 7.7. The results showed that, in general, the 45° angulation required less total feller buncher operating cycle time and did not significantly impact the skidder operating cycle times. In this way, the productivity of the system in the beam angulation at 45° was more promising, having increased the productivity. Regarding damage to the stumps, the most affected quality parameter was the shearing of the stumps at an angle of 17°, resulting from the lack of sharpening of the feller buncher cutting disc and the accumulation of soil and sawdust inside the disc. The 45° angulation had the best result in terms of strain quality. It was possible to conclude that the arrangement procedure of the tree bundles can impact the wood harvesting operations, being necessary to be considered in the microplanning in order to maximize the gains of the forestry operations.

## 1. INTRODUÇÃO

A colheita de madeira é um conjunto de operações que preparam a madeira para o uso fabril, por meio das etapas de corte e extração, sendo etapas complexas e de elevados custos operacionais e de produção, podendo representar até 60% do custo final da madeira em pátio fabril (MALINOVSKI *et al.*, 2014).

No Brasil, segundo Fernandes *et al.* (2009) predominam a utilização dois sistemas de colheita da madeira: *cut-to-length* (CTL) e *full tree* (FT). No sistema *full tree*, a árvore é derrubada e empilhada pelo *feller buncher*, que organiza as árvores em feixes dispostos sobre o terreno no interior do talhão, sendo em seguida, os feixes arrastados pelo *skidder* até as margens do talhão, onde as árvores são processadas em toras para o transporte final (SANT'ANNA, 2014).

A colheita de madeira é influenciada por diversas variáveis que impactam a capacidade operacional das máquinas, a qualidade das operações e produto e os custos de produção. As principais variáveis que podem influenciar a operação, a qualidade e a produtividade da colheita da madeira são: declividade do terreno, espécie, diâmetro da base das árvores, diâmetro dos galhos, volume individual das árvores, espaçamento, modelo de manejo, tipo de equipamento, a necessidade de sortimento, a distância média de extração, as características do estaleiro, dentre outros (MALINOVSKI *et al.*, 2014; SEIXAS e CASTRO, 2014; BASSOLI *et al.*, 2020; SCHETTINO *et al.*, 2022).

Devido à complexidade das operações de corte e extração na colheita da madeira, bem como o custo que esta representa, o planejamento eficiente das atividades torna-se de fundamental importância para o sucesso do empreendimento florestal. O microplanejamento, segundo Machado e Lopes (2014) envolve as operações que ocorrerão dentro dos talhões, onde são definidos a marcação dos eitos de corte e estabelecida a melhor forma de retirada da madeira de dentro dos talhões. No corte das árvores, o planejamento referente ao direcionamento da derrubada e empilhamento das árvores é um dos principais itens avaliados, bem como as faixas de derrubada e as rotas de extração (SANT'ANNA, 2014). Com relação às variáveis que influenciam a produtividade e a qualidade da operação relacionados ao microplanejamento, Martins *et al.* (2009); Malinovski *et al.* (2014) e Miyajima *et al.* (2019) citam a angulação na formação dos feixes de árvores como uma variável que pode impactar diretamente as operações de colheita da madeira no sistema *full tree*.

Atualmente ainda existe uma carência de estudos sobre como esse procedimento operacional em relação ao real impacto no rendimento das máquinas de forma simultânea,

compreendendo as operações de corte e extração, bem como a qualidade das cepas remanescentes em relação à capacidade de brotação e condução do povoamento por talhadia.

Por isso, esta pesquisa tem por proposto investigar a hipótese que diferentes angulações na formação dos feixes de árvores poderão afetar a produtividade do *feller buncher* e *skidder* no sistema de colheita *full tree*, bem como a qualidade das cepas, que por consequência, poderá afetar o desenvolvimento da rebrota do eucalipto.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

Avaliar o efeito de duas angulações de disposição dos feixes de árvores no desempenho operacional do *feller buncher* e *skidder*, e na qualidade das cepas para condução de rebrota em povoamento de eucalipto.

### **2.2 Objetivos específicos**

- a) Avaliar a distribuição dos tempos do ciclo operacional das máquinas ao nível dos elementos do ciclo de trabalho nas operações de corte e extração em ambas angulações de disposição dos feixes de árvores;
- b) Determinar os indicadores de desempenho das máquinas nas operações de corte e extração em ambas angulações de disposição dos feixes de árvores;
- c) Avaliar os danos causados nas cepas pelo tráfego das máquinas nas operações de corte e extração em ambas angulações de disposição dos feixes de árvores; e
- d) Projetar a partir de premissas os custos operacionais e de produção das máquinas em termos unitários e mensais.

### **3. REFERENCIAL TEÓRICO**

#### **3.1 Colheita da madeira**

A colheita de madeira é caracterizada, segundo Machado *et al.* (2014), como o conjunto de procedimentos operacionais que preparam a madeira, extraíndo-a do interior dos povoamentos para as margens dos talhões ou pátios intermediários, onde então a madeira é transportada para o local de consumo final. É uma atividade de elevado custo que pode representar mais de 50% do valor da madeira alocada em pátio fabril, sendo composta pelas etapas de corte e extração.

O corte das árvores envolve as atividades de derrubada, desgalhamento, traçamento e empilhamento da madeira. Sant'Anna (2014) destaca a importância do planejamento nesta atividade, onde fatores como as características do terreno, a sequência e direção de derrubada e as vias de extração precisam ser consideradas, facilitando a etapa seguinte, garantindo a segurança da operação, e principalmente, a produtividade das operações florestais. A atividade de extração corresponde à remoção da madeira derrubada do interior dos talhões até a margem da estrada ou pátio intermediário, visando o processamento final (Seixas e Castro, capítulo IV, 2014). Existem diferentes métodos e sistemas para a realização da colheita de madeira, que devem ser determinados visando potencializar a produtividade das operações.

#### **3.2 Sistemas de colheita da madeira**

O sistema de colheita da madeira é um conjunto de operações integradas que são realizadas envolvendo atividades parciais e que permitem o fluxo contínuo de madeira, sendo classificado quanto ao comprimento das toras e a forma que a madeira apresenta no momento da extração, e também de acordo com o local de processamento dessa madeira (Machado *et al.*, 2014).

No Brasil, segundo Fernandes *et al.* (2009) predominam a utilização de dois sistemas de colheita da madeira: *cut to length* e *full tree*. No sistema *cut to length* (toras curtas) as árvores são derrubadas e processadas no interior do talhão, sendo em seguida extraída na forma de toras com até 6 m. O sistema *full tree* (árvores inteiras) as árvores são derrubadas e dispostas em feixes no interior do talhão, sendo em seguida os feixes arrastados até a margem do talhão para o processamento da madeira. A escolha do sistema e método de colheita da madeira a ser empregado fundamenta-se pela finalidade da madeira, características das áreas operacionais

(povoamento florestal e declividade do terreno), regime de manejo, dentre outros (Machado *et al.*, 2014).

Segundo Fernandes *et al.* (2010), o sistema de árvores inteiras (*full tree*) emprega comumente o uso das máquinas *feller buncher* e *skidder*. O *feller buncher* é uma máquina florestal cortador-acumulador, equipada normalmente com rodados de esteiras, composta por um braço hidráulico e cabeçote com disco de corte e braços acumuladores, acionados por comandos hidráulicos, sendo responsável por realizar o corte e acúmulo das árvores, formando então feixes de árvores dentro da capacidade máxima de acúmulo do cabeçote, depositando-os sobre o terreno em diferentes angulações.

Os autores Nascimento *et al.* (2011), Magagnotti *et al.* (2012), Machado *et al.* (2014), destacam o potencial de corte do *feller buncher*, que permite realizar o corte das árvores próximo ao solo e a precisão com que direciona a queda do feixe de árvores, de forma adequada sobre o terreno e de forma alinhada para facilitar a extração.

O *skidder* é uma máquina florestal arrastadora e articulada, normalmente com rodados de pneus com tração 4x4 ou 6x6 e uma garra (pinça hidráulica) que realiza a extração na forma de arraste dos feixes de árvores, do interior até a margem do talhão, onde então as árvores são processadas em toras para o posterior transporte final da madeira.

As principais vantagens do sistema *full tree* descritas por Machado *et al.* (2014) são a elevada produtividade, principalmente nas árvores de maior volume médio individual, a concentração dos resíduos da colheita da madeira na margem do talhão para aproveitamento da biomassa, a maior facilidade na produção de madeira com diferentes sortimentos, e a concentração das atividades que permite um maior controle operacional (Malinowski *et al.*, 2014). O mesmo autor ainda destaca algumas desvantagens deste sistema, como a exigência de máquina de maior potência, necessidade de um eficiente planejamento das operações para evitar pontos de estrangulamento das operações e maior possibilidade de compactação de solos devido ao uso de máquinas pesadas.

### **3.3 Variáveis de influência no corte e extração da madeira**

O corte, como a primeira etapa operacional da colheita de madeira é uma atividade complexa, que pode ser influenciada por variáveis inerentes à operação, e por isso, deve ser planejada com antecedência, pois poderá afetar as atividades subsequentes (Sant'Anna, 2014). A extração é um ponto crítico da colheita de madeira, sendo também influenciada por fatores que devem ser considerados dentro do planejamento operacional (Seixas e Castro, 2014).

As variáveis que influenciam a produtividade do corte e extração florestal nas operações de colheita de madeira, segundo Malinovski *et al.* (2006) são:

- a) Variáveis relacionadas ao povoamento florestal - Espécie, espaçamento na linha e na entrelinha, diâmetro da base da árvore, volume individual das árvores, comprimento da copa, peso da árvore, diâmetro da base dos galhos, tortuosidade e fustes bifurcados, volume por hectare, árvores bifurcadas, etc.
- b) Variáveis relacionadas ao terreno - Declividade, tipo e capacidade de sustentação do solo, alinhamento e inclinação lateral, altura de toco, pedregosidade, leiras, sub-bosque, etc.
- c) Variáveis relacionadas ao planejamento operacional - Qualidade da madeira da extração, distância média de extração, tipo e dimensões do estaleiro, altura das árvores, sortimentos, comprimento das toras, qualidade da madeira do corte, tipo de intervenção, etc.

A produtividade do *feller buncher* é influenciada segundo Seixas e Castro (2014), principalmente pelo espaçamento na linha de plantio, diâmetro da base das árvores, comprimento da copa, altura total da árvore, árvores bifurcadas na base, declividade do terreno, tipo de solo e capacidade de sustentação, e alinhamento e inclinação lateral da máquina.

Na extração com *skidder*, a produtividade é afetada pelo espaçamento na entrelinha do plantio, diâmetro da base das árvores, peso e volume individual das árvores, comprimento da copa, altura total, diâmetro dos galhos, tortuosidade e fuste bifurcado, pela declividade do terreno, tipo de solo e capacidade de sustentação, alinhamento e inclinação lateral da máquina, presença de leiras, altura dos tocos, distância média de extração, qualidade da madeira no corte e na extração e pelo tipo de intervenção (MALINOVSKI *et al.*, 2006).

Miyajima *et al.* (2019) estudando a influência da disposição dos feixes de *Eucalyptus sp.* com 11 anos de idade em primeira rotação nos ângulos de 0°, 45° e 90° em relação a estrada em área de 3,80 ha no estado de Minas Gerais, e relevo plano, povoamento clonal com VMI de 0,38 m<sup>3</sup> no sistema de colheita de árvores inteiras, utilizando um *feller buncher* formando feixes com 6 árvores, verificou que, a disposição dos feixes a 45° apresentou maiores produtividades na atividade de corte. Na produtividade da atividade de extração com o *skidder* não houve diferença significativa entre as angulações, sendo a produtividade influenciada pela distância média de arraste de 250 m.

### **3.4 Planejamento da disposição de feixes de árvores na colheita de madeira**

As operações de colheita da madeira devem ser planejadas de forma eficiente e minuciosa, visando antecipar os problemas que normalmente a afetam, considerando os custos e infraestrutura de apoio. Esse planejamento é realizado em níveis, seguindo uma escala hierárquica de planejamento: estratégico, gerencial e operacional (MACHADO e LOPES, 2014).

A disposição dos feixes de árvores, considerada no microplanejamento é elencado como um dos principais pontos a serem considerados, por ser um fator importante que poderá afetar a capacidade produtiva das máquinas nas operações de corte e extração (NASCIMENTO *et al.*, 2012; SANT'ANNA, 2014; MACHADO e LOPES, 2014).

O corte das árvores com *feller buncher* é destacado por Magagnotti *et al.* (2012), em relação à precisão com que direciona a queda dos feixes de árvores, próximo as árvores em pé ou entre as linhas de plantio, e o alinhamento dos feixes sobre o terreno facilitando a extração.

### **3.5 A qualidade na colheita de madeira**

A qualidade não diz respeito somente ao produto final de uma cadeia de produção, mas também compreende o processo da atividade florestal (RESENDE, 2000). Quando por conveniências econômicas uma empresa decide formar uma nova floresta a partir das cepas remanescentes, a colheita de madeira após a primeira rotação, por proporcionar menores custos dispensando o preparo de solo e a aquisição de mudas, com menores ciclos de corte, alguns parâmetros de qualidade devem ser avaliados (JACOVINE, 2005; CACAU *et al.*, 2008).

A colheita de madeira pode causar danos às cepas comprometendo o índice de rebrota, e por isso, a decisão pela condução por meio de cepas remanescentes deve ser realizada com antecedência, podendo implicar em cuidados nos procedimentos nas operações de colheita da madeira (TEWARI *et al.*, 2004).

A rebrota é afetada segundo Klein *et al.* (1997) por fatores que se manejados corretamente, permitem que a brotação do eucalipto ocorra de forma satisfatória, principalmente em relação aos fatores operacionais que influenciam e interferem na emissão de brotação e crescimento inicial da floresta.

Os principais fatores operacionais citados por Ferrari (2004) que influenciam em grande maioria a qualidade e a produtividade da rebrota das cepas do eucalipto são: altura de corte, cobertura das cepas por solo ou resíduos da colheita de madeira, danos físicos nas cepas como

o descascamento, rachaduras e espetos, sendo tais problemas também relatados em estudos realizados por Klein *et al.*, (1997) e Stape (1997).

### **3.5.1 Altura de corte**

A altura de corte, segundo Ferrari (2004), é um importante fator no desenvolvimento de brotos na cepa do eucalipto. Esta altura condiciona a presença e o número de gemas ativas, tornando maior a probabilidade de sobrevivência das brotações, sendo que Foelkel (2014) recomenda que as cepas estejam entre 10 a 15 cm de altura.

### **3.5.2 Cobertura das cepas por resíduos da colheita de madeira**

De acordo com Foelkel (2014) e Klein *et al.* (1997) a disposição dos resíduos (folhas, galhos e cascas) provenientes da floresta e gerados pelas operações de colheita da madeira prejudicam a brotação do eucalipto pelo sombreamento nas cepas pelos resíduos. Ferrari (2004) menciona que as cepas necessitam de aeração, água e iluminação. Outro motivo é o fato que esses resíduos em épocas de estiagem se tornam material combustível, aumentando a probabilidade de propagação de fogo.

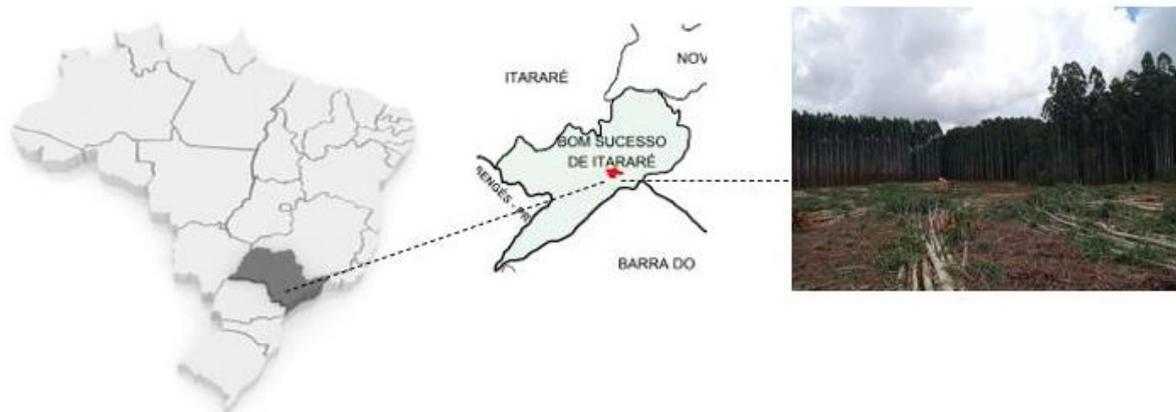
### **3.5.3 Danos físicos as cepas**

A extração da madeira tem elevada responsabilidade por danos mecânicos nas cepas, comprometendo a integridade parcial ou total da cepa, prejudicando as gemas que formarão os brotos e reduzindo a probabilidade de rebrota (Klein *et al.*, 1997; Fenner, 2014). Os danos físicos podem ser: escoriações, perda da casca, rachaduras, cisalhamento e formação de espetos na secção transversal. Segundo Fenner (2014), durante o corte das árvores, algumas cepas sofrem danos devido ao cisalhamento do corte das máquinas sendo também prejudicadas pelos rodados que ao passar sobre as cepas podem influenciar as futuras brotações e a produtividade do novo ciclo.

## 4. MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 Caracterização da área de estudo

O estudo foi realizado em uma empresa florestal localizada na região de Itararé, estado de São Paulo, entre as coordenadas geográficas 24° 19' 04" latitude Sul e 49° 08' 38" longitude Oeste, conforme ilustrado na Figura 1.



**Figura 1.** Localização da área de estudo.

Os dados foram coletados nas operações de colheita da madeira em uma floresta plantada, homogênea com clones de *Eucalyptus spp.*, com idade de 9 anos em primeira rotação. Na área estudada foi realizado o corte raso, preservando a integridade das cepas para a constituição de um novo povoamento por meio de condução de rebrota (talhadia), sendo a madeira destinada à produção de celulose e papel. O clima da região é definido pela classificação de Köppen como clima temperado (cfa), sem estação seca e com verão quente. O relevo era plano e o solo classificado como latossolo vermelho escuro (Ferraz, 2010).

A Tabela 1 apresenta as características do povoamento florestal estudado.

**Tabela 1.** Características do povoamento florestal estudado.

Características do povoamento	Informações
Espaçamento (m)	3 x 2
Volume médio individual das árvores (m <sup>3</sup> /árv)	0,37
Densidade de árvores do povoamento (árv/ha)	1.666
Relevo	Plano

## 4.2 Sistema de colheita da madeira avaliado

O sistema de colheita da madeira utilizado pela empresa era árvores inteiras (*full tree*), onde as árvores eram extraídas inteiras sem as raízes, do interior até a margem dos talhões. Nesse sistema de colheita da madeira, o eito de corte era formado por 4 linhas de árvores, que foram cortadas e organizadas em feixes pelo *feller buncher*, sendo posteriormente arrastados pelo *skidder* para a margem do talhão, onde então eram processados em toras pelo processador florestal.

Neste estudo foram avaliados apenas a derrubada das árvores com o *feller buncher* e o arraste com o *skidder*. As especificações técnicas das máquinas utilizadas na empresa são apresentadas na Tabela 2.

**Tabela 2.** Características do *feller buncher* e *skidder* avaliados no estudo.

Atividade	Máquina	Especificações técnicas
Derrubada	 <i>Feller buncher</i>	Marca <i>Tigercat</i> , modelo 845D, peso operacional de 25.900 Kg, com potência do motor a 2.200 rpm de 212kW, medindo comprimento 4,9 m, altura de 3,36 m, e largura de 3,38 m. Equipado com rodados de esteiras e cabeçote de 2.245 Kg, disco de corte de 50 mm, peso de 1.000 Kg, com potência de 1.500 rpm e um raio máximo de corte de 8,05 m.
Arraste	 <i>Skidder</i>	Marca <i>Tigercat</i> , modelo 635D, peso operacional de 21.430 Kg, com potência do motor a 2.200 rpm de 194 kW, medindo comprimento 9,35 m, altura de 3,15 m, e largura de 3,33 m. Equipado com rodados de pneus e garra frontal com raio máximo de abertura de 3,81 m.

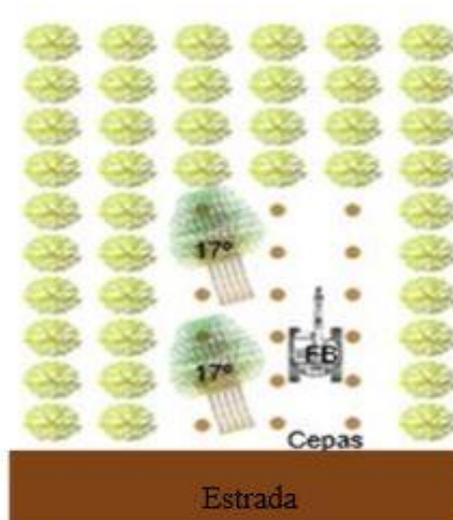
Fonte: Catálogo Tigercat.

### 4.3 Tratamentos avaliados no estudo

Foram alocadas duas parcelas amostrais em uma área de 4 ha, sendo uma para cada tratamento medindo 200 m x 100 m, afim de testar a hipótese de que os ângulos de formação dos feixes de árvores influenciam na produtividade das operações de corte e extração e na qualidade das cepas remanescentes para a condução da talhadia.

#### 4.3.1 Tratamento I

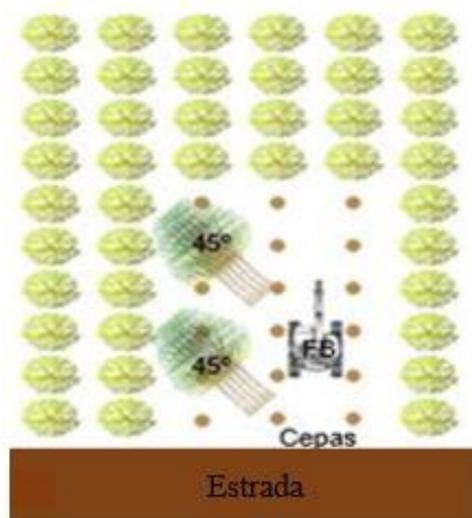
Os ângulos de feixes de árvores foram dispostos a  $17^\circ$  do sentido estrada plantio - O *feller buncher* realizou o corte e a formação dos feixes de árvores sobre o terreno no interior do talhão com uma angulação a  $17^\circ$  em relação ao alinhamento do plantio e no sentido da estrada, mantendo a base dos feixes das árvores direcionadas ao sentido de extração (Figura 2) realizada pelo *skidder* em uma distância média de 100 m.



**Figura 2.** Ângulo de formação dos feixes de árvores no tratamento I.

#### 4.3.2 Tratamento II

Os ângulos de feixes de árvores foram dispostos a  $45^\circ$  - O *feller buncher* realizou o corte e a formação dos feixes de árvores sobre o terreno no interior do talhão com uma angulação a  $45^\circ$  em relação ao alinhamento do plantio e sentido da estrada (Figura 3), onde posteriormente foi realizada a extração com *skidder* em uma distância média de 100 m.



**Figura 3.** Ângulo de formação dos feixes de árvores no tratamento II.

#### 4.4 Procedimento experimental

Foi realizado um estudo de tempos e movimentos piloto das máquinas nas operações de corte e extração das árvores para a definição do número mínimo de ciclos operacionais necessários para delimitar as parcelas amostrais, considerando um erro amostral máximo de 10%, devido à heterogeneidade das operações de colheita da madeira, por meio do uso da metodologia proposta por Barnes (1999).

$$n \geq \frac{t^2 \times CV^2}{E^2}$$

Em que: n = número mínimo de ciclos necessários; t = valor de t da tabela *Student*, para o nível de probabilidade desejado e (n-1) graus de liberdade; CV = coeficiente de variação; e E = erro percentual admissível.

Na sequência, de posse do número mínimo de ciclos operacionais necessários obtidos para o *feller buncher* e o *skidder*, as parcelas amostrais para a coleta de dados nos tratamentos I e II foram demarcadas em campo.

**Tabela 3.** Características da área dos tratamentos.

<b>Características</b>	<b>Medidas</b>
Área total da pesquisa (ha)	4
Quantidade de parcelas	2
Dimensão das parcelas (m × m)	200 × 100
Distância média de arraste (m)	100

#### **4.5 Coleta de dados**

O experimento foi avaliado por meio do delineamento inteiramente casualizado (DIC). A coleta de dados foi baseada na realização de um estudo de tempos e movimentos das operações de corte e extração em ambos os tratamentos, determinando os tempos consumidos no ciclo operacional, a produtividade e o rendimento de combustível das máquinas em ambos os tratamentos.

##### **4.5.1 Estudo de tempos e movimentos**

Foi realizado utilizando o método de cronometragem em tempos contínuos, onde a medição do tempo foi feita sem a detenção do cronômetro. O apontamento do tempo foi realizado a partir da leitura do cronômetro ao final de cada atividade parcial concluído pelas máquinas. Durante o estudo foram avaliados um *feller buncher* e um *skidder*, sendo utilizadas as mesmas máquinas e operadores em ambos os tratamentos, sendo que os operadores possuíam a mesma experiência profissional. O turno de trabalho avaliado foi o diurno compreendido entre as 5h às 15h30, com realização de pausa de 1 hora para a realização da refeição. Nesse estudo, os dados foram coletados durante 30 dias com início às 06h30.

Foram coletados dados do *feller buncher* na realização do corte nas angulações de 17°, e em seguida, na angulação a 45°, e por consequência, iniciou-se a extração nas angulações de 17° e 45°.

Os dados foram registrados em formulários específicos, elaborados para ambas as atividades, onde para cada ciclo operacional do *feller buncher* e do *skidder* avaliados foram anotados: quantidades de árvores cortadas e o número de feixes extraídos, distância média de extração, dados de identificação do talhão e das máquinas, horímetro inicial e horímetro final das máquinas e a angulação da parcela.

Para a determinação e análise dos tempos parciais produtivos, o ciclo operacional de cada máquina avaliada foi subdividido em atividades parciais, como ilustrado na Tabela 4. O

cálculo do tempo demandado para cada atividade parcial das máquinas foi feito subtraindo o tempo em que terminou cada atividade parcial do seu tempo inicial.

**Tabela 4.** Subdivisão do ciclo operacional do *feller buncher* e do *skidder*.

<b>Máquina</b>	<b>Elementos do ciclo operacional</b>	<b>Descrição</b>
<b><i>Feller buncher</i></b>	BC - Busca e Corte	Iniciou com o cabeçote apoiado na base da primeira árvore do ciclo operacional a ser cortada e finalizou quando a última árvore completou a capacidade de acúmulo do cabeçote da máquina, incluindo o deslocamento da máquina.
	BE - Empilhamento	Iniciou ao final do corte da última árvore do ciclo operacional que completou a capacidade de acúmulo do cabeçote do <i>feller buncher</i> e finalizou com o depósito do feixe de árvores sobre a superfície do solo.
<b><i>Skidder</i></b>	DV - Deslocamento vazio	Iniciou com o deslocamento da máquina partindo da margem do talhão para o interior do talhão e finalizou ao chegar aos feixes de árvores a serem arrastados pela máquina.
	MC - Manobra e Carga	Iniciou com a realização da manobra da máquina para aproximar-se e coletar os feixes de árvores finalizou com a coleta dos feixes.
	DC - Deslocamento Carregado	Iniciou com o deslocamento da máquina, arrastando os feixes de árvores do interior para a margem do talhão.
	MD - Manobra e Descarga	Iniciou com a manobra pela máquina no estaleiro e finalizou com a abertura da garra para descarregar o feixe de árvores na margem da estrada.

#### 4.6 Indicadores de desempenho operacional

Os indicadores de desempenho operacional do *feller buncher* e *skidder* avaliados em ambos os tratamentos foram: produtividade e rendimento energético descritos a seguir.

Com relação a eficiência operacional, esse dado foi obtido junto a empresa, sendo a eficiência operacional média alcançada pelo *feller buncher* e *skidder* no período da pesquisa foram de 54% e 64%, respectivamente.

#### 4.6.1 Produtividade

A produtividade do *feller buncher* e *skidder* em ambos os tratamentos foram determinadas em metros cúbicos por hora efetiva (m<sup>3</sup>/he), ou seja, sem considerar as interrupções operacionais, por meio da quantificação do número de árvores cortadas e extraídas, cujos valores livres de interrupções foram multiplicados pelo volume médio individual das árvores (VMI), sendo tal informação obtida do inventário pré-corte da empresa, e dividido pela hora efetiva de trabalho, conforme proposto por Simões *et al.* (2014). Posteriormente a produtividade efetiva foi corrigida pela eficiência operacional obtida.

$$PR = \frac{n \times VMI}{TE}$$

Em que: PR = Produtividade da máquina (m<sup>3</sup>/he); n = Número de árvores cortadas e extraídas; V = Volume médio individual das árvores (m<sup>3</sup>); TE = tempo efetivo de trabalho (hora).

#### 4.6.2 Rendimento energético

O rendimento de combustível das máquinas refere-se à massa de combustível consumida para produção em uma unidade de tempo, obtida pela razão entre o consumo específico efetivo de combustível da máquina na execução da operação e a produtividade média de madeira, por meio do uso da expressão conforme o proposto por Nascimento *et al.* (2011):

$$RE = \frac{CE}{PR}$$

Em que: RE = Rendimento energético (g.kw.m<sup>3</sup>); CE = Consumo específico de combustível (g.kw.he); PR = Produtividade (m<sup>3</sup>/he).

O consumo de combustível (l/he) do *feller buncher* e *skidder* avaliados foi obtido junto a empresa, como o consumo médio de combustível por hora efetiva pelas máquinas, no período da pesquisa sendo, o consumo do *feller buncher* de 40,7 litros, para o *skidder* o consumo foi de 35,0 litros.

#### 4.7 Análise de custos

As análises de custos do *feller buncher* e do *skidder*, bem como do sistema de colheita da madeira em ambos os tratamentos foi realizado como base nos custos fixos e variáveis, cujas informações (Tabela 5) foram obtidas na literatura especializada e no mercado, não tendo qualquer relação com a realidade da empresa florestal onde foi conduzida essa pesquisa. Os custos foram determinados pelo método contábil, com valores estimados e reais.

**Tabela 5.** Premissas utilizadas para os cálculos dos custos fixos e variáveis do *feller buncher* e do *skidder*.

<b>Dados considerados</b>	<b><i>Feller buncher</i></b>	<b><i>Skidder</i></b>
Nº de turnos de trabalho	2	2
Duração do turno (horas)	10	10
Dias úteis de trabalho (mês)	22	22
Dias úteis de trabalho (ano)	264	264
Eficiência operacional da máquina (%)	54	64
Produtividade efetiva da máquina na angulação de feixes de árvores a 17°	137,15	119,6
Produtividade efetiva da máquina na angulação de feixes de árvores a 45°	152,87	115,0
Valor de aquisição da máquina + cabeçote (R\$)	2.000.000,00	1.500.000,00
Valor de revenda (residual) (%)	20	20
Vida útil da máquina (anos)	8	8
Taxa de juros anual (%)	8	8
Taxa de seguros anual (%)	4	4
Salário base do operador (R\$/mês)	3.000,00	3.000,00
Nº de operadores da máquina	2	2
Encargos sociais (%)	80	80
Despesas sociais (R\$/ operador/ mês)	600,00	600,00
Quilometragem de transporte de pessoal (km/mês)	3.500	3.500
Quilometragem de transporte da máquina (km/mês)	100	100
Preço por km no transporte de pessoal (R\$/km)	2,00	2,00
Preço por km no transporte de máquina (R\$/km)	10,00	10,00
Custo de administração (%)	8	8
Consumo de óleo diesel (litro/hora)	40,7	35,0
Preço do óleo diesel (R\$/litro)	6,28	6,28
Preço do lubrificante e graxa (R\$/litro)	57,00	57,00
Índice de lubrificante e graxa (%)	30	25
Preço do óleo hidráulico (R\$/litro)	29,00	29,00
Índice de óleo hidráulico (%)	50	50

#### 4.7.1 Custos fixos

Os custos fixos referem-se, segundo Rodrigues (2018), aos custos relacionados à aquisição das máquinas, e independem da produção, ou seja, não variam com a produção alcançada pela máquina ou horas de operação. São definidos pela depreciação, juros e seguros.

##### a) Depreciação

O custo de depreciação ocorre pela desvalorização da máquina com o passar do tempo e pelo desgaste da máquina, peças e da tecnologia que acaba sendo ultrapassada (SILVA *et al.*, 2014), sendo neste estudo a depreciação do *feller buncher* e *skidder* foi obtida pela expressão proposta por Rodrigues (2018):

$$Dp = \frac{(Va - Vr)}{(N \times he)}$$

Em que: Dp = Depreciação (R\$/he); Va = Valor de aquisição da máquina (R\$/he); Vr = Valor residual da máquina (%); N = Vida útil da máquina (anos); e he = Horas efetivas de trabalho por ano.

##### b) Juros e seguros

O custo de juros refere-se ao investimento médio anual - IMA, que é o pagamento pelo uso de capital, verificando o custo de oportunidade das máquinas e equipamentos que tem vida útil limitada (Canto, 2009; Silva *et al.*, 2014).

Os seguros são uma segurança para a empresa, diminuindo riscos, principalmente financeiros, em casos de sinistros como acidentes e incêndios envolvendo as máquinas e equipamentos (Silva *et al.*, 2014). Considera-se para o cálculo de 5 a 10% do valor de aquisição de máquinas e equipamentos. Os juros e seguros foram obtidos pelo proposto por Silva *et al.* (2014) e Rodrigues (2018):

$$IMA = \frac{(Va - Vr) \times (N + 1)}{2 \times N} + Vr$$

Em que: IMA = Investimento Médio anual (R\$); Va = Valor de aquisição da máquina (R\$); Vr = Valor residual da máquina (%); e N = Vida útil estimada da máquina (anos).

$$JS = \frac{IMA \times i}{he}$$

Em que: JS = Custos de juros + seguros (R\$/he); IMA = Investimento Médio Anual (R\$); i = Taxa de juros + seguros anuais (%); e he = Horas efetivas de trabalho (ano).

#### 4.7.2 Custos variáveis

Estes custos variam conforme a produção e as horas de uso das máquinas (Leite *et al.*, 2012). De acordo com Rodrigues (2018), o custo variável é composto pelos custos de combustível, lubrificantes e graxas, óleo hidráulico, custo de mão de obra (manutenção e reparos, transporte de pessoal, transporte de máquinas, remuneração de pessoal) e custo de administração.

Os custos variáveis foram obtidos pelo método utilizado por Silva *et al.*, (2014) e Rodrigues (2018).

##### a) Custo de combustível

$$C = Pu \times c$$

Em que: C = Custo de combustível (R\$/he); Pu = Preço do litro de combustível (R\$/l); e c = Consumo de combustível.

##### b) Custo de lubrificantes e graxas

$$L = IL \times C$$

Em que: L = Custo de óleos lubrificantes e graxas (R\$/he); IL = Índice de custos de óleos lubrificantes e graxas (%); C = Custo de combustível (R\$/he).

##### c) Custo de óleo hidráulico

$$OH = IOH \times C$$

Em que: OH = Custo de óleo hidráulico (R\$/he); IOH = Índice de custos de óleo hidráulico (%); e C = Custo de combustível (R\$/he).

d) Custo de mão de obra - Manutenção e reparos

$$ME = \frac{V_m}{N \times he} \times 0,50 + \frac{V_i}{N \times he} \times 0,25$$

Em que: ME = Custo de manutenção e reparos (R\$/he);  $V_m$  = Valor de aquisição da máquina base (R\$);  $V_i$  = Valor de aquisição do implemento (R\$); N = Vida útil econômica estimada da máquina (anos); e he = Horas efetivas trabalhadas (ano).

e) Transporte de pessoal e transporte de máquinas

$$CTP = \frac{km \times P}{he / 12}$$

Em que: km = Quilômetros rodados (mês); P = Preço (R\$/km); he = Horas efetivas de trabalho (ano).

f) Custo de remuneração de pessoal

$$CRP = \frac{S \times np \times 12}{he} \times ES + \frac{DS \times np \times 12}{he}$$

Em que: CRP = Custo de remuneração de pessoal (R\$/he); S = Salário base do operador (R\$/he); np = Número total de operadores para cada máquina; e ES = Encargos sociais (%), DS = Despesas sociais (R\$).

#### 4.7.3 Custo de administração

$$CAD = CF + CV \times K$$

Em que: CAD = Custo de administração (R\$/he); CF = Custo fixo; CV = Custo variável; K = Índice (K) varia de 5 a 15% dos custos da máquina e de pessoal.

#### 4.7.4 Custo operacional total

O custo operacional engloba o somatório dos custos fixos (depreciação, juros e seguros) e custos variáveis (combustível, lubrificantes e graxa, óleo hidráulico, manutenção e reparo, remuneração de pessoal, transporte de pessoal e de máquinas) e custos administrativos, sendo o resultado em reais por hora efetiva de trabalho (Nascimento, 2011; Machado, 2014; Rodrigues, 2018).

Para a obtenção do custo operacional total foi utilizada a expressão proposta por Rodrigues (2018):

$$COT=CF+CV+CAD$$

Em que: COT = Custo operacional total (R\$/he); CF = Custos fixos (R\$/he); CV = Custos variáveis (R\$/he); CAD = Custo de administração (R\$/he).

#### 4.7.5 Custo de produção

O custo de produção foi obtido pela razão dos custos operacionais pela produtividade, por meio da equação proposta por Nascimento *et al.* (2011):

$$CPr = \frac{COT}{Prod}$$

Em que: CPr = Custo de produção da máquina analisada (R\$/m<sup>3</sup>); COT = Custo operacional total da máquina analisada (R\$/he); Prod = Produtividade da máquina analisada (m<sup>3</sup>/he).

#### 4.8 Análise de qualidade das cepas

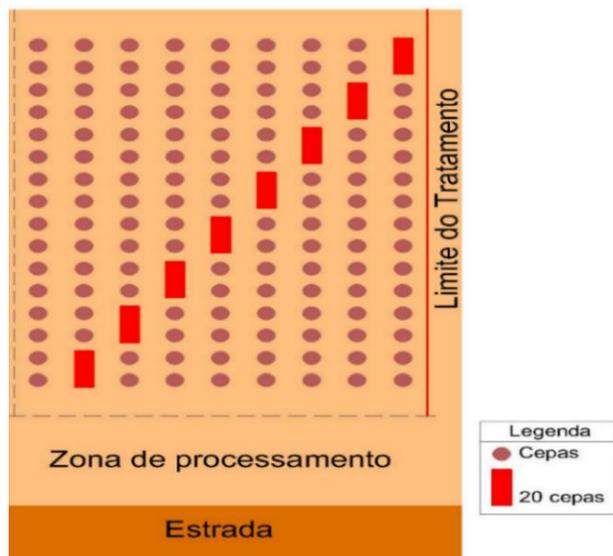
A qualidade das cepas foi avaliada após a finalização das operações de colheita da madeira, sendo analisadas a qualidade das cepas remanescentes por meio dos parâmetros: altura da cepa, cepa coberta por resíduos da colheita de madeira, danos físicos causados pelos rodados das máquinas, descolamento da casca e presença de cisalhamento nas cepas, sendo essas as principais características que podem comprometer o índice de rebrota do eucalipto na condução da talhadia (Klein *et al.*, 1997; Foelkel, 2014).

Para a coleta da qualidade das cepas, os dados foram anotados em formulários de campo desenvolvidos para a atividade. Inicialmente, procedeu-se à definição do procedimento de amostragem para a coleta de dados.

##### 4.8.1. Procedimentos de amostragem

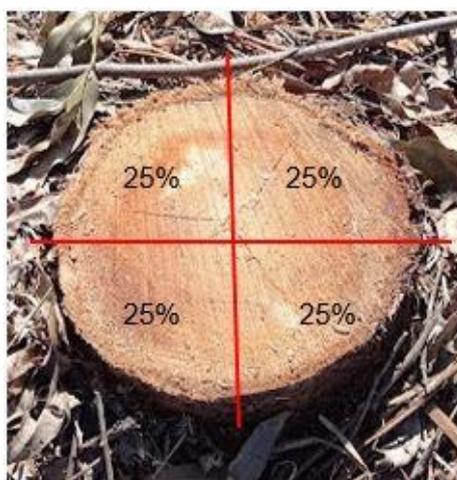
Foram medidas e avaliadas 20 cepas em cada uma das oito parcelas amostrais alocadas em diagonal em cada tratamento, sendo utilizado um delineamento inteiramente casualizado. Considerando o efeito de borda, denominado zona de processamento (Figura 4) devido os danos causados nas primeiras cinco linhas de cepas remanescentes pela abertura do talhão e o

processamento das árvores pelas máquinas, as parcelas foram alocadas na área a partir da 6ª linha de cepas (Oliveira, 2022).



**Figura 4.** Procedimento de amostragem da qualidade das cepas e disposição das parcelas na área de estudo.

A avaliação da altura das cepas foi obtida diretamente com o auxílio de uma trena. Para as variáveis avaliadas visualmente, utilizou-se a referência de quadrantes para a determinação da porcentagem de área de cepa afetada (Figura 5). Foi atribuído o valor 25% para cada uma das quatro partes que se encontrassem afetadas, que somadas representaram o percentual de área afetada nas cepas, conforme procedimento adotado pela empresa.



**Figura 5.** Divisão da cepa em quadrantes para definição do percentual de área afetada.

#### 4.8.2 Variáveis de influência na qualidade das cepas

##### a) Altura das cepas

Corresponde à medida entre a parte superior da cepa em relação ao nível do solo. A altura da cepa foi obtida diretamente com o auxílio de uma trena a partir da superfície do solo, considerando sempre o lado mais alto para a medição (Figura 6). As cepas classificadas conformes possuíam altura entre 10 a 15 cm (KLEIN *et al.*, 1997; FOELKEL, 2014).



**Figura 6.** Medição da altura das cepas.

##### b) Cepa coberta por resíduos da colheita florestal

Esse parâmetro foi caracterizado pela presença de solo ou resíduos da colheita de madeira (folhas, cascas e galhos) que cobriam parcialmente ou totalmente a cepa (Figura 7), sendo avaliada visualmente e seguindo a divisão em quadrantes.



**Figura 7.** Cepa coberta por resíduos da colheita de madeira.

c) Danos físicos ocasionados pelos rodados das máquinas

Esse dano físico é caracterizado pelo dilaceramento ou esmagamento da cepa, sendo ocasionado no momento do deslocamento e passagem dos rodados das máquinas, normalmente devido ao peso e tracionamento dos rodados no momento das etapas de corte e extração. Os danos físicos foram avaliados visualmente (Figura 8) seguindo a divisão em quadrantes.



**Figura 8.** Danos físicos ocasionados pelos rodados das máquinas.

d) Descolamento da casca das cepas

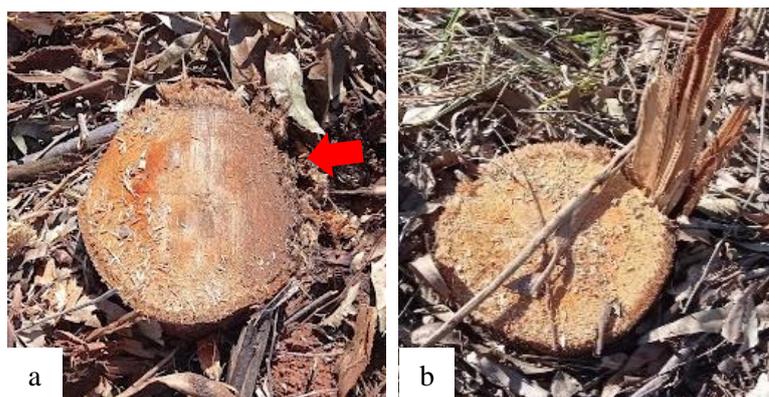
A casca que envolve a cepa e protege os tecidos do lenho é removida ou afastada total ou parcialmente por dano físico provocado na cepa (Figura 9). Essa variável foi avaliada visualmente por meio da divisão em quadrantes.



**Figura 9.** Descolamento da casca da cepa.

#### e) Cisalhamento das cepas

É um desgaste provocado pela ferramenta de corte da árvore, quando perde a afiação (Rezende, 2000; Sant’anna, 2014; Machado, 2014) causando uma característica “arrepiciada” que ocorre principalmente na borda transversal do corte da cepa e muitas vezes apresentam-se como espetos (Figura 10).



**Figura 10.** Cisalhamento da cepa (a); Presença de espeto (b).

#### 4.9 Análise estatística dos dados

O experimento foi avaliado por meio do delineamento inteiramente casualizado (DIC). Os tempos dos elementos do ciclo operacional e a produtividade do *feller buncher* e do *skidder* avaliados nas angulações de formação de feixes a 17° e a 45° foram testados por meio da Anova - análise de variância, sendo as médias comparadas entre si pelo teste de Tukey, ao nível de significância de 5%, para verificar diferenças estatísticas entre os tratamentos.

A análise de qualidade das cepas foi avaliada também por meio do delineamento inteiramente casualizado (DIC), com oito parcelas abrangendo um total de 160 repetições por tratamento. As variáveis altura, sujeira, danos físicos, descolamento de casca e cisalhamento das cepas foram testados por meio da Anova - análise de variância, sendo as médias comparadas pelo teste de Tukey, ao nível de significância de 5% para verificar as diferenças estatísticas entre si.

A suficiência da intensidade amostral foi verificada pelo método de Stein (2000), enquanto as análises foram efetuadas com a utilização do programa Assistat, versão 7.7.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Intensidade amostral

As intensidades amostrais calculadas e executadas observando cada ciclo operacional das máquinas são apresentadas na Tabela 4, ressaltando que para ambos tratamentos estudados, houve suficiência amostral tanto para o *feller buncher* e *skidder*.

**Tabela 6.** Número de repetições (ciclos) necessários das máquinas avaliadas.

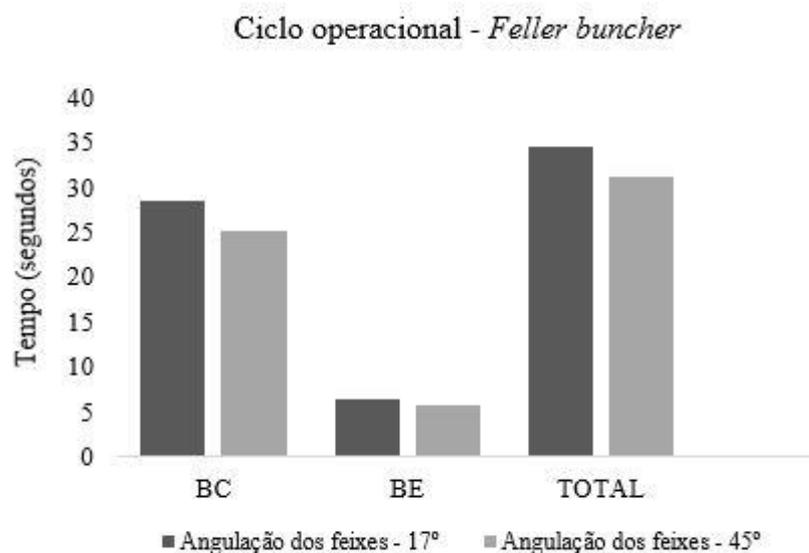
Tratamento	Máquina	Calculada	Efetuada
17°	<i>Feller buncher</i>	56	356
	<i>Skidder</i>	68	72
45°	<i>Feller buncher</i>	64	672
	<i>Skidder</i>	137	140

Uma vez verificada a suficiência amostral, todos os tratamentos tiveram 70 repetições, calculadas pela média dos valores obtidos, de forma proporcional. Este procedimento foi efetuado para que todos os tratamentos tivessem o mesmo número de repetições para efetuar as análises estatísticas. Para o *feller buncher* a 17°, por exemplo, que possuía 356 amostras, foram retiradas as médias de cada cinco amostras, tendo o resultado considerado como sendo uma repetição.

### 5.2 Feller buncher

#### 5.2.1 Análise dos ciclos operacionais

Os tempos médios consumidos para as atividades efetivas do ciclo operacional do *feller buncher* no corte e formação de feixes na angulação de 17° foi 34,6 segundos e na angulação de 45° de 31,1 segundos. Portanto, pode-se observar que os feixes formados na angulação de 45° empregou um menor tempo médio total para a realização das operações realizadas pelo *feller buncher* (Figura 11).



BC - Busca e Corte; BE - Basculamento e Empilhamento.

**Figura 11.** Tempos médios do ciclo operacional do *feller buncher* nas angulações de formação de feixes a 17° e a 45°.

Como pode ser observada, a atividade parcial que consumiu o maior tempo em ambas as angulações foi na atividade de busca e corte, que representou a maior parte do tempo do ciclo operacional consumido. Desta forma, observa-se que a operação em ambas as angulações impactou da mesma forma nas duas atividades parciais do ciclo operacional do *feller buncher*.

Tal resultado foi similar ao encontrado por Miyajima *et al.* (2019), na colheita de *Eucalyptus sp.* em área plana no estado de Minas Gerais no sistema *full tree*, onde analisando a disposição dos feixes no talhão na angulação de 90° e 45°, verificou também que para a disposição de 45°, o *feller buncher* consumiu os menores tempos do ciclo operacional, e por consequência, no consumo do tempo total.

Os tempos médios em cada atividade parcial do ciclo operacional (Tabela 7) apresentaram diferenças estatísticas significativas, indicando que, a angulação dos feixes a 45° apresentou um menor tempo consumido para a realização das atividades parciais de BC, assim como para a atividade de BE, demonstrando, portanto, a potencial aplicabilidade desta angulação para a formação de feixes de árvores nas condições estudadas, principalmente em relação ao relevo que foi caracterizado como plano.

**Tabela 7.** Tempos médios do ciclo operacional do feller buncher nas angulações a 17° e a 45°.

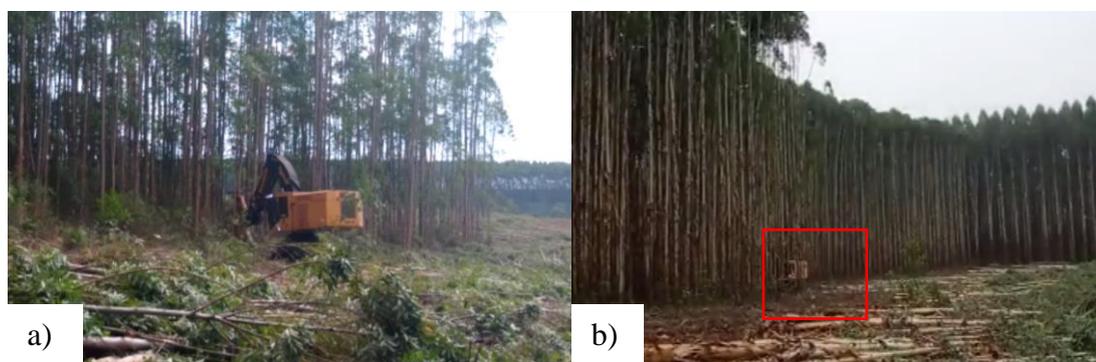
Tempo médio dos elementos do ciclo operacional (segundos/m <sup>3</sup> )			
Angulação	BC	BE	Tempo total
17°	28,0 b	6,5 b	34,6 b
45°	25,1 a	5,9 a	31,1 a

BC - Busca e Corte; BE - Basculamento e Empilhamento. Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de *Tukey* ao nível de 5% de significância.

Bassoli *et al.* (2020) avaliando a influência da largura da faixa de trabalho na operação de corte de eucalipto com *feller buncher* encontrou que, para o eito de corte composto por 4 linhas, houve um tempo médio total para a atividade de 38,2 segundos.

A atividade de BC representou na angulação de 17° um percentual de 81,2% do tempo total consumido das atividades parciais do ciclo operacional do *feller buncher*, enquanto no BE representou 18,8% do tempo total. Já na angulação a 45°, a BC ocupou 80,9% do tempo percentual do ciclo operacional da máquina e o BE o valor de 19,1%.

Esse resultado pode estar relacionado ao fato de que conforme se aumenta o ângulo de giro do cabeçote, há a tendência de aumento no tempo do elemento BC (Miyajima *et al.*, 2019). O posicionamento do cabeçote do *feller buncher* é diferente na realização do corte, como é evidenciado na angulação da máquina em relação ao eito de corte, indicando a posição em ambas as angulações avaliadas na Figura 12a e 12b, bem como pelo potencial de corte do *feller buncher* (Nascimento *et al.*, 2011; Magagnotti *et al.*, 2012; Machado *et al.*, 2014), e a capacidade de acúmulo de árvores para a formação dos feixes em função das características do povoamento em relação ao volume médio individual das árvores.



**Figura 12.** Indicação de abordagem e angulação de derrubada do *feller buncher* para disposição dos feixes a 17° (a) e a 45° (b).

Esse estudo valida a porcentagem de tempo dos elementos do ciclo operacional do *feller buncher* encontradas por Simões *et al.* (2010), que ao avaliarem técnica e economicamente a colheita de eucalipto de segundo corte em povoamento homogêneo e seminal, com 7 anos de idade e usando um *feller buncher* em um eito composto por 4 linhas de corte, obtiveram resultados indicando que a atividade parcial de busca e corte representou em média 70,8% do tempo total do ciclo operacional.

Moreira *et al.* (2004) por sua vez, avaliando o corte de *Eucalyptus grandis* com *feller buncher* em relevo plano, em regime de segunda talhadia e com a formação dos feixes de árvores a 45° obtiveram a busca e corte como a atividade parcial que demandou o maior tempo do ciclo operacional, representando 50% do tempo total do ciclo operacional.

## 5.2.2 Indicadores de desempenho

### 5.2.2.1 Produtividade

O *feller buncher* apresentou uma produtividade média na angulação de formação dos feixes a 17° de 137,15 m<sup>3</sup>. h<sup>-1</sup>, que corresponde a 465 árvores derrubadas por hora efetiva de trabalho. Na angulação de feixes a 45°, a produtividade foi de 152,87 m<sup>3</sup>. h<sup>-1</sup>, onde foram derrubadas 488 árvores. Essas produtividades foram favorecidas pela realização da operação em terreno plano, a experiência do operador e a capacidade de corte das árvores pelo *feller buncher*.

Como pode ser observada na Tabela 8, a formação de feixes de árvores pelo *feller buncher* na angulação de 45° foi mais promissora. A utilização da formação na angulação a 17° pode representar até 6.886 m<sup>3</sup>. mês<sup>-1</sup> inferior à formação de feixes na angulação a 45°.

**Tabela 8.** Valores médios de produtividade por ciclo operacional do *feller buncher*.

Angulação dos feixes	Indicadores de Desempenho			
	PE (m <sup>3</sup> . he)	EO (%)	PR (m <sup>3</sup> . h <sup>-1</sup> )	PM (m <sup>3</sup> . mês <sup>-1</sup> )
17°	253,99	54	137,15	60.346
45°	283,11	54	152,87	67.232

PE = Produtividade efetiva; EO = Eficiência operacional; PR = Produtividade corrigida; PO = Produção mensal.

Bassoli *et al.* (2020) avaliando a influência da largura da faixa de trabalho na operação de corte de *Eucalyptus* com um *feller buncher* em área plana no estado de São Paulo, encontraram uma produtividade de 135,10 m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup> para um eito operacional composto por quatro linhas de plantio com os feixes de árvores formados a 45° no solo em relação ao sentido de deslocamento da máquina, sendo o valor inferior a produtividade encontrada nessa pesquisa para a angulação de 45° que foi de 152,87 m<sup>3</sup>. h<sup>-1</sup>.

### 5.2.2.2 Rendimento energético

O rendimento energético do *feller buncher* na angulação de feixes a 17° foi de 1,0 g.kw.m<sup>3</sup>, em função do consumo específico de combustível de 138,38 g.kW.h<sup>-1</sup>. Para a angulação a 45°, o rendimento energético alcançado foi de 1,5 g.kw.m<sup>3</sup>, sendo o consumo específico de combustível de 236,06 g.kW.h<sup>-1</sup>. A angulação de feixes a 17° teve um melhor rendimento energético comparado a angulação de feixes a 45°, devido a diferença de 2,4 horas efetivas trabalhadas entre uma angulação.

Avaliando operacional e economicamente um *feller buncher* na colheita de *Eucalyptus* formando feixes de árvores nas angulações de 30° e 45° em relação ao alinhamento do plantio no estado de São Paulo em relevo plano, Moreira *et al.* (2004) encontrou um rendimento energético de 4,0 g.kw.m<sup>3</sup> na angulação de feixes a 30° e de 4,4 g. kw. m<sup>3</sup> na angulação de 45°. Na avaliação feita por Nascimento *et al.* (2011) no estado de Minas Gerais, em povoamento de *Eucalyptus* utilizando um *feller buncher* nas angulações de 45° e 90° encontraram um rendimento energético de 3,8 g.kw.m<sup>3</sup> para ambas as angulações em razão de um consumo específico de combustível de 185,34 g.kW.h<sup>-1</sup>.

### 5.2.3 Análise de custos

Considerando os custos fixos e variáveis, e o custo de administração, chegou-se ao custo operacional por hora efetivamente trabalhada de R\$ 546,68 para o *feller buncher* em ambas as angulações avaliadas.

O custo operacional (Tabela 9) é relacionado a produtividade alcançada pelo *feller buncher*. Quanto maior a produtividade alcançada pela máquina, menor será o custo de produção (Rodrigues, 2018).

**Tabela 9.** Valores médios de produtividade por ciclo operacional do *feller buncher*.

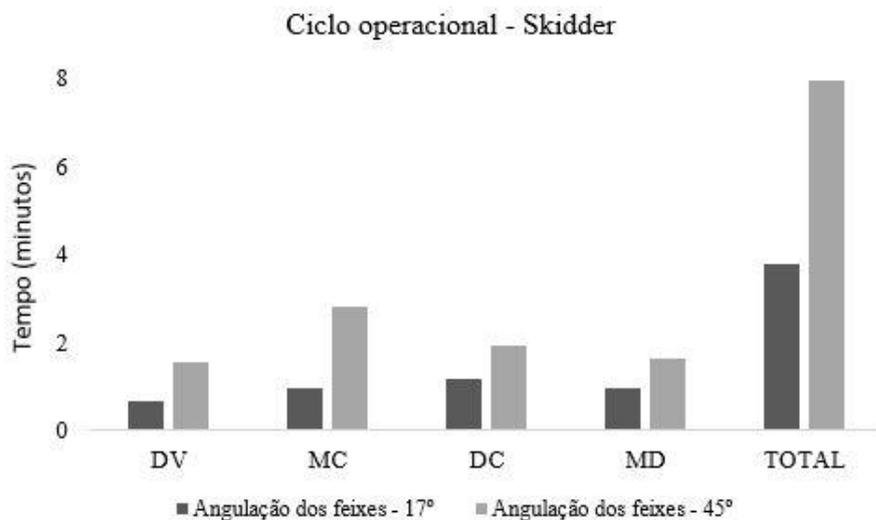
Máquina	Angulação	Custo operacional (R\$/m <sup>3</sup> )
<i>Feller buncher</i>	17°	3,98
	45°	3,57

Na avaliação técnica e econômica de um *feller buncher* em povoamento de *Eucalyptus* no estado de Minas Gerais em relevo plano, Nascimento *et al.* (2011), considerando uma taxa de juros de 12% ao ano e eficiência operacional de 60%, obteve um custo operacional total de R\$ 192,36 por hora efetiva nos ângulos de formação de feixes a 45° e 90°. O custo de produção na angulação a 45° foi de R\$ 0,98/m<sup>3</sup> e a 90° de R\$ 0,97/m<sup>3</sup>. Já Miyajima *et al.* (2019) avaliando os ângulos de formação de feixes de *Eucalyptus* em relação a estrada a 45° e a 90° por um *feller buncher* em relevo suave ondulado, obteve um custo de produção para a angulação a 90° de R\$ 14,23/m<sup>3</sup>, representando 12% do volume total produzido, sendo a angulação necessária para a abertura do eito e a 45° de R\$ 6,57/m<sup>3</sup>, em consequência do menor giro do cabeçote da máquina.

### 5.3 Skidder

#### 5.3.1 Análise dos ciclos operacionais

O tempo médio consumido para as atividades efetivas do ciclo operacional do *skidder* na extração dos feixes de árvores nas angulações de 17° e 45° (Figura 13) foi muito similar, onde apresentou um aumento próximo a dois minutos no tempo do ciclo operacional na angulação de 45°.



DV - Deslocamento Vazio; MC - Manobra para Carregamento; DC - Deslocamento carregado; MD - Manobra para Descarregamento.

**Figura 13.** Tempos médios do ciclo operacional da extração do *skidder* nas angulações de formação de feixes a 17° e a 45°.

A derrubada das árvores com angulação dos feixes a 45° consumiu um maior tempo na realização das atividades que compõem o ciclo operacional. A atividade parcial de MC demandou um tempo médio de 2,83 minutos, enquanto o DC um tempo médio de 1,94 minutos. As atividades parciais de DV e MC apresentaram os menores tempos médios consumidos na realização da extração na angulação dos feixes a 17°, com 0,68 minutos e 0,95 minutos, respectivamente. Porém, deve ser ressaltado que a angulação de disposição dos feixes sobre o terreno não impactou tais elementos do ciclo operacional. Foi observado que, apesar do clima do estado de São Paulo se manter ensolarado durante os dias de coleta dos dados, os finais de tarde e noite eram chuvosos, contribuindo para o aumento da umidade do solo e da madeira. Outro aspecto diz respeito às condições dos pneus do *skidder*, pneus que estavam já no fim de sua vida útil, gerando demasiada patinagem e perda de tempo produtivo (Figura 14).



**Figura 14.** Condições observadas dos pneus do *skidder* na extração da madeira em ambas as angulações.

Os resultados da análise estatística dos tempos médios dos elementos do ciclo operacional efetivo do *skidder* na extração de feixes de árvores a 17° e 45° (Tabela 10) apresentaram diferença estatística significativa.

**Tabela 10.** Tempos médios do ciclo operacional do *skidder* nas angulações a 17° e a 45°.

<b>Tempo médio dos elementos do ciclo operacional (minutos)</b>					
<b>Angulação</b>	<b>DV</b>	<b>MC</b>	<b>DC</b>	<b>MD</b>	<b>Tempo total</b>
<b>17°</b>	0,68 a	0,95 a	1,18 a	0,96 a	3,77 a
<b>45°</b>	1,55 b	2,83 b	1,94 b	1,64 b	7,96 b

DV - Deslocamento Vazio; MC - Manobra para Carregamento; DC - Deslocamento carregado; MD - Manobra para Descarregamento. Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Outro fator que foi observado e deve ser destacado foi em relação à extração dos feixes de árvores formados na angulação de 17° foi o maior equilíbrio entre os tempos das atividades parciais do ciclo operacional, devido ao elevado tempo consumidos com as manobras para o carregamento e descarregamento da madeira. O maior percentual de tempo consumido pelo *skidder* na angulação de 17° foi para a atividade parcial DC representando 31,3 % do tempo total, seguido das atividades MC e MD que representaram ambas 25% do tempo total, enquanto o DV representou 18,1%.

Para o *skidder* realizando a extração na angulação de 45°, a atividade de MC consumiu um maior tempo percentual total dos ciclos representando 35,6%. As atividades DC e MD representaram respectivamente 24,4% e 2,6% seguido de DV 19,4%. O maior tempo consumido

pela máquina na realização da manobra e carregamento dos feixes na angulação de 45° pode ser explicado pela maior dificuldade da máquina em apanhar os feixes e realizar o giro visando o início da viagem carregado (Figura 15).



**Figura 15.** Manobra realizada na angulação de 17° para a organização dos feixes no estaleiro.

Avaliando a influência da disposição dos feixes de árvores nas angulações a 45° e a 90° na produtividade e custos de um *skidder* em povoamento de *Eucalyptus* e relevo plano, Miyajima *et al.* (2019) verificaram que os elementos do ciclo operacional que apresentaram maior percentual do tempo produtivo foi a manobra para carregamento como 33% do tempo na angulação de 45° e de 35% na angulação dos feixes a 90°.

## 5.3.2 Indicadores de desempenho

### 5.3.2.1 Produtividade

O *skidder* apresentou uma produtividade média no arraste de feixes formados na angulação de 17° de 115 m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup>, correspondendo a 116 feixes de árvores arrastados por hora efetiva de trabalho na condição de realização do estudo, sendo arrastado feixes com uma média de 22 árvores. No arraste dos feixes de árvores formados na angulação de 45°, a produtividade da máquina foi de 119,60 m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup>, sendo arrastados 125 feixes de árvores por hora efetiva de trabalho, com média de 24 árvores por feixe. A diferença entre a produtividade da máquina entre os cenários de angulações dos feixes se deve principalmente às maiores necessidades de manobras da máquina para a realização do carregamento na situação com os feixes empilhados na angulação e a 17°, e por consequência, ocorreu um aumento na distância de deslocamento da máquina para a realização do arraste até a margem do talhão.

Como pode ser observado na Tabela 11, o arraste dos feixes de árvores pelo *skidder* formados na angulação de 45° foi mais promissora, representando dentro de uma previsão, um volume de até 2.024 m<sup>3</sup>. mês<sup>-1</sup> superior em relação aos feixes formados na angulação a 17°.

**Tabela 11.** Valores médios de produtividade por ciclo operacional do skidder.

Angulação do feixe	Indicadores de Desempenho			
	PE (m <sup>3</sup> .he)	EO (%)	PR (m <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup> )	PO (m <sup>3</sup> .mês <sup>-1</sup> )
17°	179,70	64	115,00	50.600
45°	186,90	64	119,60	52.624

PE = Produtividade efetiva; EO = Eficiência operacional; PR = Produtividade corrigida pela eficiência operacional; PO = Produção mensal.

### 5.3.2.2 Rendimento energético

O rendimento energético na angulação dos feixes de árvores formados a 17° foi de 1,1 g.kw.m<sup>3</sup>, em função do consumo específico de combustível da máquina de 129,0 g.kW.h<sup>-1</sup>. Para a angulação de 45°, o rendimento energético da máquina alcançou 1,9 g.kw.m<sup>3</sup>, sendo o consumo específico de combustível de 237,0 g.kW.h<sup>-1</sup>. O aproveitamento de combustível pela máquina no arraste dos feixes de árvores formados a 17° teve melhor rendimento energético comparado a angulação de 45° devido a diferença de 4,2 horas efetivas trabalhadas entre uma angulação e outra.

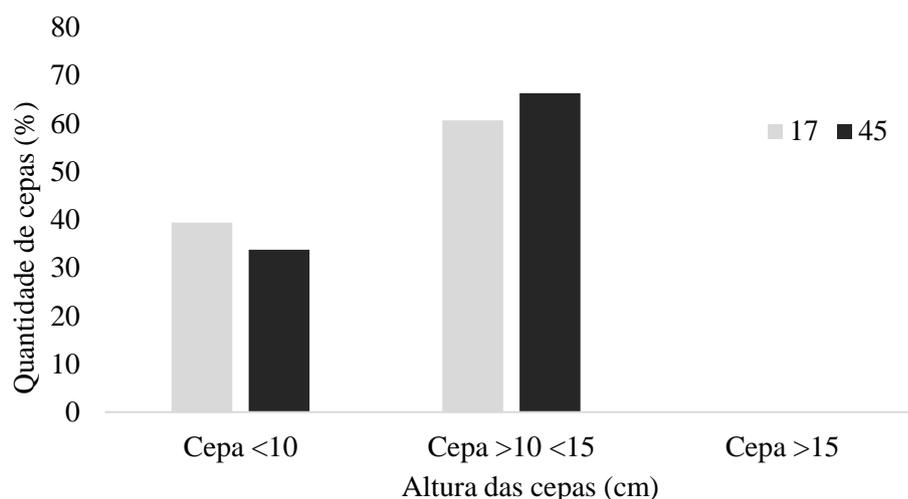
### 5.3.3 Análise de custos

Considerando os custos fixos, variáveis e administração, chegou-se ao custo operacional por hora efetivamente trabalhada de R\$ 444,18 para o *skidder* em ambas as angulações avaliadas. O custo operacional sendo relacionado com a produtividade alcançada pelo *skidder* na angulação de feixes a 17° resultou em um custo de produção de R\$ 3,86/m<sup>3</sup> e para a angulação de feixes a 45°, R\$ 3,71/m<sup>3</sup>.

## 5.4 Avaliação da qualidade das cepas

### 5.4.1 Altura das cepas

Na Figura 16 é ilustrado os resultados das alturas das cepas encontradas nos tratamentos de angulações dos feixes das árvores a 17° e 45°. Como pode ser observado, a maioria dos valores de cepas obtidas estavam dentro do valor de referência entre 10 e 15 cm esperado pela empresa. Na angulação de 17°m as cepas entre 10 e 15 cm de altura totalizaram 61% e na angulação de 45° o valor de 70%, ressaltando que não foi encontrado cepas com alturas superiores a 15 cm. Na angulação de 17°, as cepas com alturas menores que 10 cm representaram 40% do total de cepas avaliadas, enquanto na angulação de 45° representaram 33%.



**Figura 16.** Altura das cepas nas angulações de formação de feixes de árvores a 17° e a 45°.

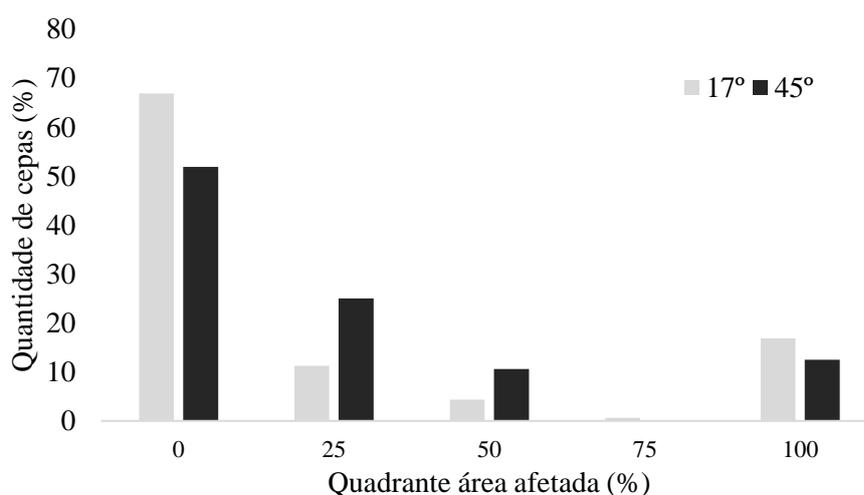
Um fator que pode ter contribuído para que a altura das cepas em ambos os tratamentos se mantivesse dentro dos padrões esperados pela empresa foi a declividade do terreno ser plano,

favorecendo assim, a visibilidade do operador da máquina e também deve ser considerado o favorecimento para o melhor posicionamento do cabeçote da máquina no momento de realização do corte das árvores. Reboleto *et al.* (2017) analisando a qualidade do corte de eucalipto em diferentes declividades de terreno, constatou que até na declividade de 20°, as cepas permaneceram dentro da altura recomendada, sendo considerado neste estudo cepas com altura máxima de 10 cm, enquanto em declividades de 30°, as alturas das cepas chegaram a uma média de 12,5 cm.

A altura das cepas é um fator controverso do ponto de vista da qualidade para condução de rebrota. De acordo com Pereira *et al.* (1980) e Baena *et al.* (1983) uma altura superior das cepas aumentam a porcentagem de brotação, enquanto Zen (1987) observou que a altura da cepa não afetou o vigor e o número de brotos por cepa. Por outro lado, deve ser considerado que cepas com alturas acima do limite estabelecido pela empresa acarretam em perdas de madeira e prejudica a operação de arraste pelo *skidder*, com maiores chances de ocasionar danos nos rodados da máquina.

#### 5.4.2 Cepa coberta por solo ou resíduos florestais

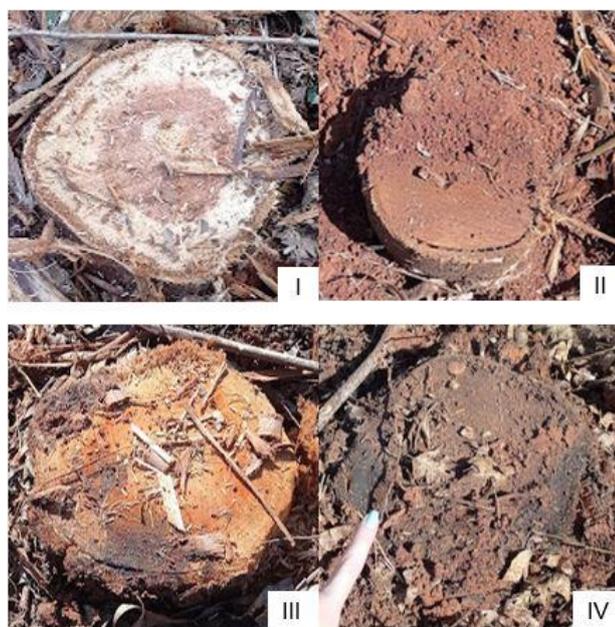
Os resultados apontaram que as maiores partes das cepas não apresentaram com as suas superfícies cobertas por solo ou resíduos florestais. Na Figura 17 pode-se observar a porcentagem de área de cepa afetada pelos resíduos e/ou solo nas angulações de 17° e 45°. Em ambas as angulações, houve um maior índice de cepas limpas e livres de resíduos e/ou solo.



**Figura 17.** Cepas cobertas por resíduos florestais e/ou solo nas angulações de formação de feixes de árvores a 17° e a 45°.

Na angulação de 17° e 45°, 20% e 16% das cepas estavam 100%, respectivamente, ressaltando que apesar do menor índice na angulação de disposição das árvores a 45°, sempre é uma preocupação essas ocorrências podendo ocasionar falhas no futuro plantio. Segundo alguns autores (Zen, 1987; Klein *et al.*,1997) observaram que apesar da altura da cepa não ter afetado o vigor e o número de brotos por cepa, a cobertura dos tocos por galhos, folhas, cascas, madeira e solo poderá prejudicar a brotação, em função da ausência ou diminuição de luz. Em estudos com *Eucalyptus grandis*, os autores verificaram que cepas livres de resíduos de colheita da madeira e solo na altura de 10 cm obtiveram 95,4% de sobrevivência das brotações.

Na Figura 18 é ilustrada a análise visual dos quadrantes das cepas cobertas por solo ou resíduos florestais em ambos os tratamentos.

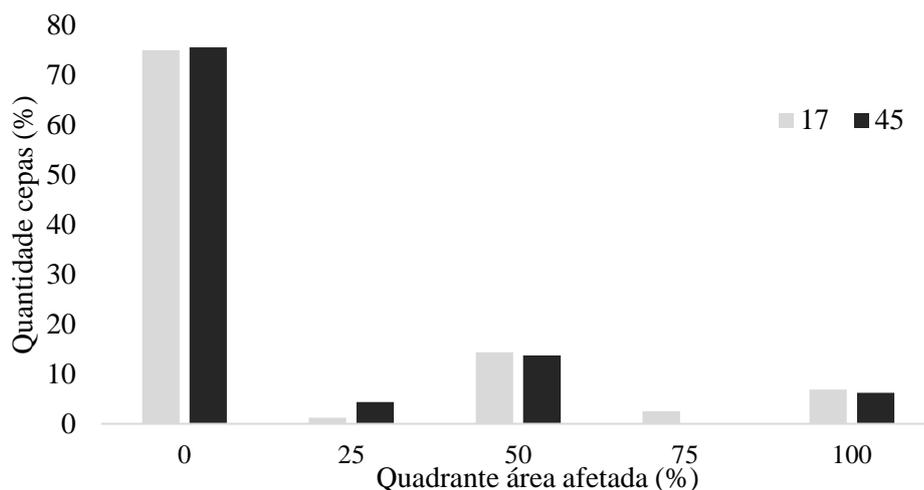


I - Cepa coberta 25%; II - Cepa coberta 50%; III - Cepa coberta 75%; IV - Cepa coberta 100%.

**Figura 18.** Análise visual de cepas cobertas por solo ou resíduos florestais.

#### 5.4.3 Danos físicos ocasionados pelos rodados das máquinas

As cepas foram avaliadas também quanto à presença de danos físicos causados pelos rodados do *feller buncher* e do *skidder* nas angulações de 17° e 45°. Na Figura 19 é ilustrado os danos encontrados, onde observa-se que, tanto na angulação de 17° quanto de 45° houve baixo índice de cepas danificadas pelos rodados das máquinas. Foi ainda observado a ocorrência em ambas as angulações em torno de 10% de cepas afetadas em 100% de sua área.



**Figura 19.** Danos físicos ocasionados pelos rodados das máquinas nas angulações de formação de feixes a 17° e a 45°.

As angulações foram trabalhadas a favor do alinhamento de plantio tanto quanto possível, evitando que os materiais rodantes das máquinas passassem por cima das cepas. Isso para assegurar cepas mais intactas e otimizar a vida útil dos rodados, melhorando ainda o tempo de deslocamento da máquina e o conforto do operador. Na Figura 20 é mostrada uma análise visual dos quadrantes das cepas danificadas pelos rodados das máquinas em ambos os tratamentos de angulações dos feixes de árvores.



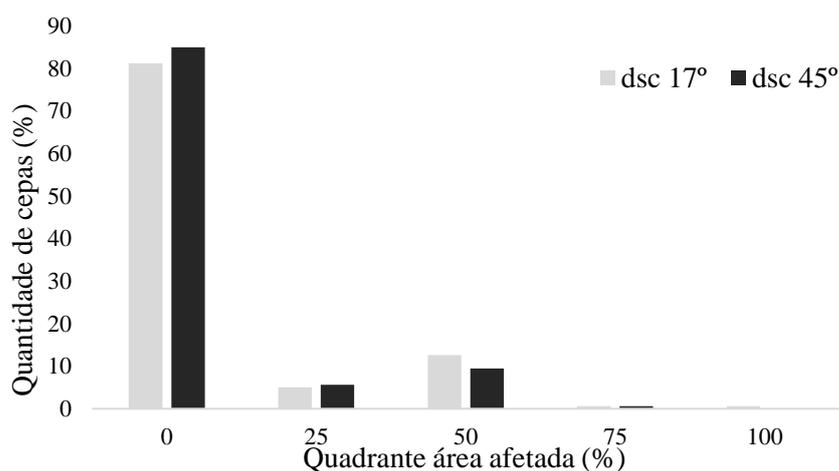
I - Cepa com 25% de danos ocasionados por rodados; II - Cepa com 50% de danos ocasionados por rodados; III - Cepa com 75% de danos ocasionados por rodados; IV - Cepa com 100% de danos ocasionados por rodados.

**Figura 20.** Análise visual dos danos físicos ocasionados as cepas pelos rodados das máquinas nas angulações de formação de feixes de 17° e a 45°.

A elevada taxa inicial de crescimento da rebrota corresponde a presença de um sistema radicular já formado, o que facilita a absorção de água e nutrientes em função das reservas orgânicas e inorgânicas presentes nas raízes e cepas estabelecidas, bem como a capacidade de emitir brotações, pelas gemas dormentes ou adventícias presentes nas cepas e raízes (DORNELAS, 2011). A taxa de sobrevivência é influenciada pelo número de brotos por cepa, sendo que as cepas com maior número de brotações apresentam maiores chances de sobrevivência aos possíveis ataques de pragas e doenças (SOUZA *et al.*, 2012).

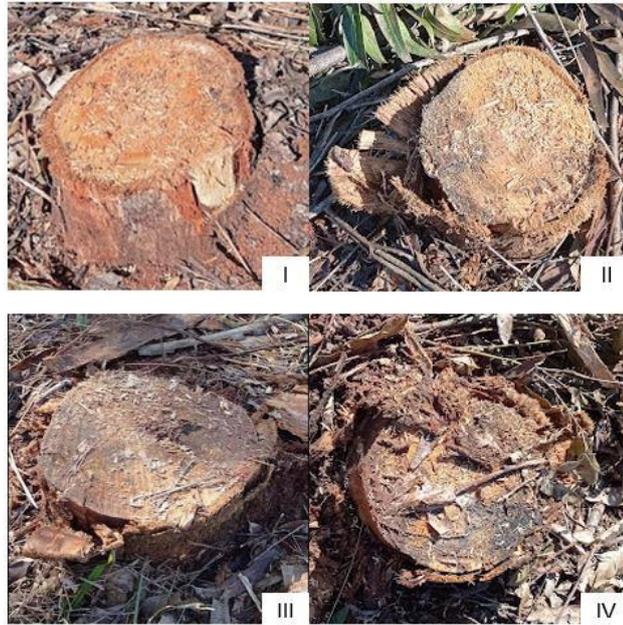
#### 5.4.4 Descolamento da casca das cepas

O descolamento da casca das cepas também pode ser considerado um dano provocado pelos rodados das máquinas de colheita da madeira. Na Figura 21 é apresentado os resultados encontrados nas cepas nos tratamentos de 17° e 45°. Em ambas as angulações de feixes de árvores, houve baixo índice de descolamento da casca das cepas, sendo que em torno de 80% das cepas não apresentaram descolamento de casca na angulação de 45°, ressaltando que em ambas as angulações não houve cepas com 100% de descolamento de casca. As ocorrências de cepas com esse tipo de problema se mantiveram entre 25 e 50% de área afetada das cepas, todavia com baixo percentual de ocorrências, em torno de 10% das cepas em ambas as angulações.



**Figura 21.** Descolamento da casca das cepas nas angulações de formação de feixes a 17° e a 45°.

Na Figura 22 é ilustrado uma análise visual dos quadrantes das cepas que apresentaram descolamento da casca em ambos os tratamentos.



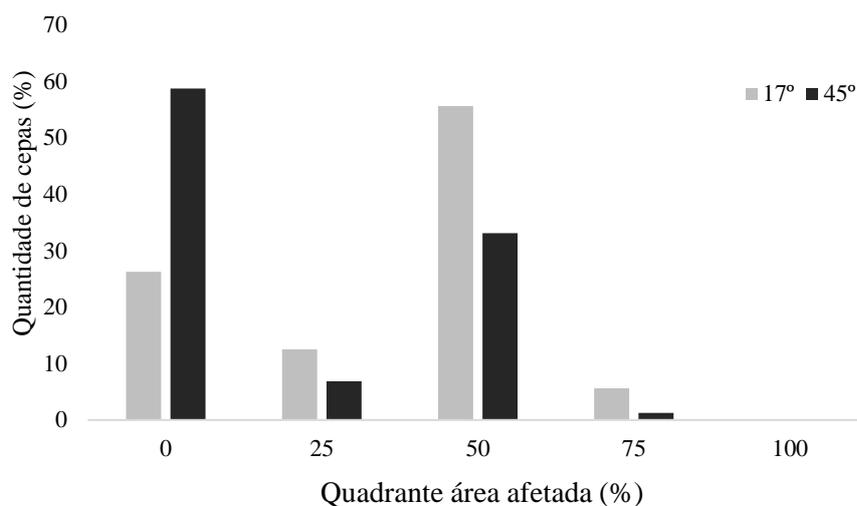
I - Cepa com 25% de descolamento de casca; II - Cepa com 50% de descolamento de casca; III - Cepa com 75% de descolamento de casca; IV - Cepa com 100% de descolamento de casca.

**Figura 22.** Análise visual do descolamento da casca das cepas nas angulações de formação de feixes a 17° e a 45°.

A extração da madeira pelo *skidder* é um dos grandes responsáveis por possíveis danos físicos nas cepas. De acordo com Klein *et al.* (1997) esse descolamento parcial ou total da casca da cepa reduz as possibilidades de brotação. Ainda, como aspectos negativos da talhadia, Matthews (1994) menciona: madeiras de baixo valor devido as suas menores dimensões; remoção de nutrientes a cada ciclo curto de colheita da madeira; e danos às cepas e às brotações pela colheita e o manejo de paisagem. Segundo Cozzo (1955), quanto mais baixo o corte da árvore, melhor será a qualidade e o tipo de broto formado em *Eucalyptus*. Entretanto, ao estudar a condução de plantios de *Eucalyptus* em sistema de talhadia, Ferrari *et al.* (2005) menciona que a altura de corte do tronco das árvores condiciona o número de gemas ativas remanescentes com possibilidade de brotação, ou seja, quanto maior a altura de corte maior é a probabilidade de sobrevivência.

#### 5.4.5 Cisalhamento das cepas

Houve maior índice de cisalhamento das cepas na angulação de formação de feixes a 17°, sendo tais resultados mostrados na Figura 23.



**Figura 23.** Cisalhamento nas cepas nas angulações de formação de feixes a 17° e a 45°.

É possível observar um elevado índice de cepas danificadas com maior ocorrência no quadrante de 50%, perfazendo em torno de 58% das cepas na angulação a 17° e de 36% das cepas na angulação a 45°, ressaltando que tanto neste quadrante quanto os demais, a angulação dos feixes a 45° favoreceu à menor ocorrência de danos às cepas em relação ao cisalhamento. Importante mencionar Reboleto *et al.* (2017) que diz que este tipo de dano prejudica a emissão de brotos nas cepas, danificam as toras e acarreta perda em parte da madeira de maior valor agregado.

A análise visual da presença de cisalhamento nas cepas é ilustrada na Figura 24, onde verifica-se um aspecto arrepiado na cepa remanescente quando ocorreu em maior grau, deixando espeto conforme ilustrado na imagem I e comprometendo a primeira tora.



I - Cepa com 25% de cisalhamento; II - Cepa com 50% de cisalhamento; III - Cepa com 75% de cisalhamento; IV - Cepa com 100% de cisalhamento.

**Figura 24.** Análise visual do cisalhamento nas cepas nas angulações de formação de feixes de 17° e a 45°.

Importante ressaltar ainda que, a ocorrência da elevada taxa de cisalhamento nas cepas na angulação de 17° foi proveniente principalmente pela falta de afiação do disco de corte do *feller buncher* na etapa do corte, sendo esse procedimento importante de ser executado pela equipe de manutenção. Outro problema relacionado diz respeito ao trabalho de corte do disco ser prejudicado pelo acúmulo de serragem e solo no interior do cabeçote, prendendo o disco, devido a umidade presente no ambiente. A Figura 25 ilustra a limpeza do disco de corte.



**Figura 25.** Limpeza para destravar o disco de corte do *feller buncher*.

Neste sentido, este fator deve ser considerado com maior cuidado, evitando possíveis incidentes e maior gravidade do dano. Klein (1997) estabeleceu como danos que ocasionam maior impacto na mortalidade das brotações, o caso de cepas cobertas, cepas com cisalhamento e por fim cepas atacadas por formigas.

#### 5.4.6 Análise comparativa da qualidade das cepas

Os dados médios obtidos dos parâmetros de qualidade das cepas avaliadas são apresentados na Tabela 12, os quais foram analisados estatisticamente pelo teste de *Tukey*. Não houve diferenças significativas os parâmetros de qualidade das cepas avaliados ocasionados pelo tráfego das máquinas de colheita da madeira entre os modelos de angulações dos feixes das árvores, exceto para o cisalhamento das cepas onde se observou maior ocorrência de danos na angulação de 17° ao nível de 1% de probabilidade ( $p < 0.01$ ).

**Tabela 12.** Médias dos parâmetros de qualidade das cepas avaliados estatisticamente.

Angulação	Altura (cm)	Sujeira (%)	Danos físicos (%)	Descolamento de cascas (%)	Cisalhamento (%)
17°	10,0 a	22,3 a	16,2 a	8,9 a	35,1 b
45°	9,8 a	24,0 a	14,2 a	6,5 a	19,2 a

A causa da maior ocorrência deste cisalhamento se deu principalmente pelas condições do disco de corte do *feller buncher*, onde se observou frequentes quebras das vídeas do cabeçote de corte da máquina, que foram reparadas pelo setor de manutenção, todavia, não apresentaram a mesma propriedade de corte anterior.

## 6. CONCLUSÕES

A angulação de disposição dos feixes de árvores no talhão não afetou o tempo do ciclo operacional do *feller buncher* e do *skidder*, porém a disposição na angulação de 45° contribuiu para o aumento da agilidade da máquina na busca e corte das árvores com conseqüente redução do tempo de operação, bem como contribuiu para a redução das manobras do *skidder* para apanhar o feixe e no deslocamento da máquina.

A formação dos feixes de árvores na angulação de 45° contribuiu para a maior produtividade do *feller buncher* e do *skidder*, favorecido principalmente pela realização da operação em terreno plano e redução da necessidade de manobras por parte das máquinas.

Nas condições operacionais avaliadas neste trabalho, a angulação dos feixes de árvores dispostas a 45° se mostrou mais promissora, podendo acarretar em ganhos operacionais consistentes e auxiliar no planejamento da colheita de madeira. Todavia, os resultados obtidos referem-se à colheita de madeira realizada para eucalipto e em condições de relevo plano, podendo haver variações quando da realização das operações em terreno com declividade.

Em relação aos parâmetros de qualidade, a angulação dos feixes das árvores não impactou diretamente as cepas remanescentes no talhão. Notou-se a ocorrência de maior problema em relação ao cisalhamento das cepas, explicado pelas condições de operação do disco de corte do *feller buncher*.

A disposição dos feixes de árvores sobre o terreno na angulação de 45° de modo geral favoreceu os deslocamentos das máquinas, contribuindo para a ocorrência de menores índices de danos nas cepas.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BAENA, E. S.; *et al.* Efeitos de algumas práticas silviculturais na brotação de *Eucalyptus saligna*. **Silvicultura**, v.8, n.32, p.617-620, 1983.

BARNES, R. M. **Estudo de movimentos e de tempos:** projeto e medida do trabalho. 6 ed. São Paulo: E. Blucher, 1999. 635p.

BARROS, A. P. S.; FREITAS, L. C.; LEITE, E. S.; LUZ, D. S.; SILVA, L. F.; SENA, B. S.; SANTOS, J. C. Influência do volume por árvore e da distância de extração no desempenho do *skidder* em povoamentos de eucalipto. **Scientia Forestalis**, 49 (131), e3612, <<https://doi.org/10.18671>> Scifor. v.49, n.131, 2019.

BASSOLI, H. M.; MIYAJIMA, R. H.; PALUDO, V.; FENNER, P. T. Influência da largura da faixa de trabalho na operação de corte com *feller buncher*. **Advances Forestry Science**, v.7, n.2, p. 1067-1072, 2020.

CACAU, F. V.; REIS, G. G.; REIS, M. G. F.; LEITE, H. G. ALVES, F. F.; SOUZA, F. C. Decepa de plantas jovens de eucalipto e manejo de brotações em um sistema agroflorestal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.43, n.11, p. 1457-1465, nov, 2008.

FERNANDES, H. C.; LOPES, S. E.; TEIXEIRA, M. M.; RINALDI, P. C. N.; FERNANDES, P.S. Avaliação técnica e econômica de um *feller buncher* operando em diferentes produtividades. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa - MG, v.19, n.3, p.210 - 218, mai - jun 2011.

FERNANDES, H. C.; BRITO, A. B.; MINETTI, L. J.; SANTOS, N. T.; RINALDI, P. C. N. Avaliação ergonômica da cabine de um trator florestal. **Revista Ceres**, v.57, n.3, p. 307-314, 2010.

FERNANDES, H. C.; LOPES, S. E.; TEIXEIRA, M. M.; MINETTE, L. J.; RINALDI, P. C. N.; BERNARDES, A. M. Avaliação das características técnica e econômica de um sistema de colheita florestal de árvores inteiras. **Scientia Forestalis**, v. 37, n.83, p. 225-232, 2009.

FERRAZ, J. R.; **Plano municipal de desenvolvimento rural sustentável.** Itararé - SP, p. 43, 2010.

FERRARI, M. P.; FERREIRA, C. A.; SILVA, H. D. Condução de plantios de *Eucalyptus* em sistema de talhadia. **EMBRAPA FLORESTAS:** Colombo - PR. 28 p. (Documentos/Embrapa Florestas, ISSN 1517-526x; 104) ISSN 1679-2599 - 2004.

FOELKEL, C. **O problema dos tocos residuais das florestas plantadas de eucalipto.** Eucalyptus Newsletter, n.45, fev. 2014.

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

KLEIN, J. E. M.; BORTOLAS, E. P.; ASSIS, T. F.; PERRANDO, E. R. **Fatores operacionais que afetam a regeneração do *Eucalyptus* manejado por talhadia**. Piracicaba: IPEF. v.11, n.30, p.10, 1997.

LEITE, E. S.; FERNANDES, H. C.; GUEDES, I. L.; AMARAL, E. J.; LACERDA, G. L. Utilização de guindaste na extração de madeira em região montanhosa. *Revista Árvore*, Viçosa, v. 36, n.1, p.195-201, 2012.

MACHADO, C. C. **Colheita florestal**. 3 ed. Viçosa: UFV, 2014. 543 p.

MACHADO, C. C.; LOPES, E. S. Planejamento. In: MACHADO, C. C.; **Colheita Florestal**. 3 ed. Viçosa: UFV, 2014. p. 206-252.

MAGAGNOTTI, N.; SPINELLI, R.; GULDNER, O.; ERLER, J. Site impact after motor manual and mechanised thinning in Mediterranean pine plantations. **Biosystems Engineering**, Londres, v.113, p. 140-147, 2012.

MALINOVSKI, J. R.; CAMARGO, C. M. S.; MALINOVSKI, R. A.; MALINOVSKI, R. A. Sistemas. In: MACHADO, C. C. **Colheita Florestal**. Viçosa: UFV, Imp. Univ., 2 ed., 2008.

MALINOVSKI, J. R.; CAMARGO, C. M. S.; MALINOVSKI, R. A.; MALINOVSKI, R. A.; CASTRO, G. P. Sistemas. In: MACHADO, C. C. **Colheita Florestal**. 3 ed. Viçosa: UFV, 2014. p. 178 - 205.

MALINOVSKI, R. A; MALINOVSKI, R. A; MALINOVSKI, J.R; YAMAJI, F. M. Análise das variáveis de influência na produtividade das máquinas de colheita de madeira em função das características físicas do terreno, do povoamento e do planejamento operacional florestal. **Floresta**, v.36, n.2, p.169-182, 2006.

MATTHEWS, J. D. **Silvicultural systems**. Oxford: Clarendon Press, 1994. 283p.

MIYAJIMA, R. H.; BRITTO, P. C.; TONIN, R. P.; MILLANI, T. M.; FENNER, P. T. Influência da disposição dos feixes de árvores em diferentes angulações na produtividade e custos de um sistema de árvores inteiras. **Scientia Forestalis**, v. 47, n.124, p. 655 - 666, 2019.

MOREIRA, F. M. T.; SOUZA, A. P.; MACHADO, C. C.; MINETTI, L. J.; SILVA, K. R. Avaliação operacional e econômica do *feller buncher* em dois sub-sistemas de colheita de florestas de eucalipto. **Revista Árvore**, v.28, n.2, p. 199-205, 2004.

NASCIMENTO, A. C.; LEITE, A. M. P.; SOARES, T. S.; FREITAS, L. C. Avaliação técnica e econômica da colheita florestal com *feller buncher*. **Cerne**, v.17, n.1, p. 9-15, 2011.

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

PEREIRA, A. R.; PAULA NETO, RAMALHO, L.R. **Determinação do número de brotos em brotações de *Eucalyptus spp.*** Viçosa, SIF, 1980, 11p. (Boletim Técnico nº 10).

REBOLETO, I.; FIEDLER, N. C.; BERUDE, L. C.; JUVANHOL, R. S.; CANZIAN, W. P.; CARMO, F. C. A. Análise da qualidade do corte semimecanizado de eucalipto em diferentes declividades. **Agropecuária Científica no Semiárido** - v.12, n.3, p. 268-272, 2016.

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

RIBEIRO, N.; SIOTE, A. A.; GUEDES, B. S.; STAISS, C. **Manual de silvicultura tropical**. Maputo: Universidade Eduardo Mondlane. FAO, 125 p, 2002.

SANT'ANNA, C. M. Corte. In: MACHADO, C. C.; **Colheita Florestal**. 3 ed. Viçosa: UFV, 2014. p. 74-105.

SEIXAS, F.; CASTRO, G. P. Extração. In: MACHADO, C. C.; **Colheita Florestal**. 3 ed. Viçosa: UFV, 2014. p. 106-161.

SILVA, M. L. MIRANDA, G. M.; CORDEIRO, S. A.; LEITE, E. S. Custos. In: MACHADO, C. C.; **Colheita Florestal**. 3 ed. Viçosa: UFV, 2014. p. 253-287.

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

SIMÕES, D.; IAMONTI, I. C.; FENNER, P. T. Avaliação técnica e econômica do corte de eucalipto com *feller buncher* em diferentes condições operacionais. **Ciência Florestal**, v.20, n.4, p.649-656, 2010.

SOUZA, F. C.; REIS, G. G.; REIS, M. G.. Sobrevivência e Diâmetro de Plantas Intactas e Brotações de Clones de Eucalipto. **Floresta e Ambiente**, v.19; p. 44-54; 2012.

STAPE, J. L. Planejamento global e normatização de procedimentos operacionais da talhadia simples em *Eucalyptus*. **Série técnica IPEF**, São Paulo, v.11, n.30, p. 51-62, 1997.

TEWARI, S. K.; KATIYAR, R. S; BALAK RAM, P. N. M. Effect of age and season of harvesting on the growth, coppicing characteristics and biomass productivity of *Leucaena leucocephala* and *Vitex negundo*. **Biomass and Bioenergy**, v.26, p. 229-234, 2004.

WADOUSKI, L. H. Fatores determinantes da produtividade e dos custos na colheita de madeira. In: Seminário de atualização sobre sistemas de colheita de madeira e transporte florestal, 10, 1998, Curitiba. **Anais...**Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 1998. p. 77-84.

ZEN, S. Influência da altura de corte na brotação de Australian *Eucalyptus* spp. Série técnica IPEF, Piracicaba, v.4, n.11, p.3032, jun 1987.

ANEXO

Anexo I - Ficha de campo formulada para uso na avaliação da qualidade das cepas.

<b>Projeto</b>	<b>Talhão</b>	<b>Espécie</b>	<b>Angulação</b>	<b>Repetição</b>

<b>Cepa n°</b>	<b>Parâmetros de avaliação de qualidade das cepas</b>				<b>Cisalhamento (%)</b>
	<b>Altura (cm)</b>	<b>Sujeira (%)</b>	<b>Danos/rodados (%)</b>	<b>Descolamento casca (%)</b>	
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					