

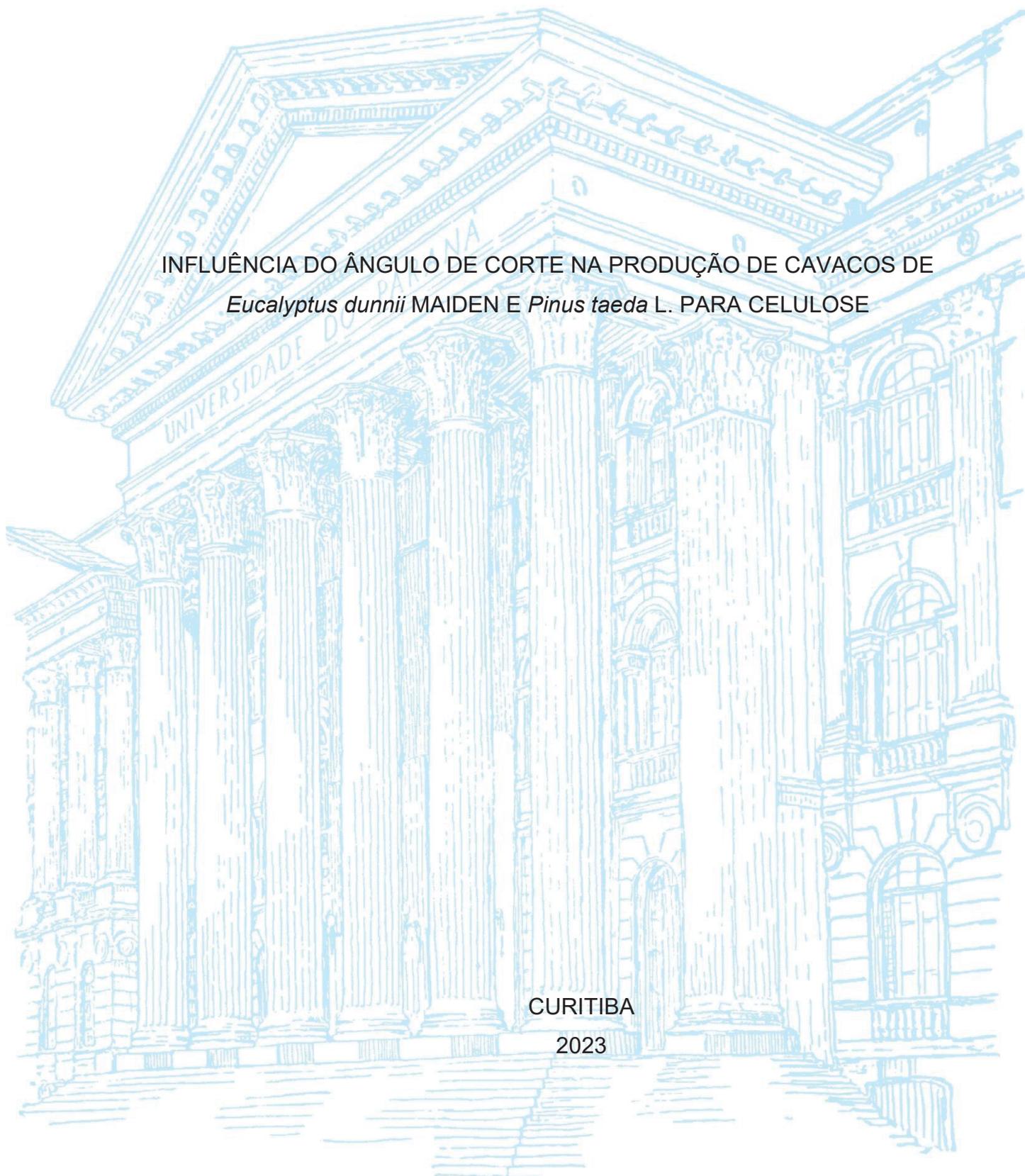
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

ALINE DURIGAN

INFLUÊNCIA DO ÂNGULO DE CORTE NA PRODUÇÃO DE CAVACOS DE
Eucalyptus dunnii MAIDEN E *Pinus taeda* L. PARA CELULOSE

CURITIBA

2023



ALINE DURIGAN

INFLUÊNCIA DO ÂNGULO DE CORTE NA PRODUÇÃO DE CAVACOS DE
Eucalyptus dunnii MAIDEN E *Pinus taeda* L. PARA CELULOSE

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Dimas Agostinho da Silva.

Coorientador: Prof. Dr. Thiago Campos Monteiro.
Coorientador: Prof. Dr. Renato Cesar Gonçalves Robert.

CURITIBA

2023

Ficha catalográfica elaborada pela
Biblioteca de Ciências Florestais e da Madeira - UFPR

Durigan, Aline

Influência do ângulo de corte na produção de cavacos de *Eucalyptus dunnii* Maiden e *Pinus taeda* L. para celulose / Aline Durigan. - Curitiba, 2024.
1 recurso on-line : PDF

Orientador: Prof. Dr. Dimas Agostinho da Silva

Coorientadores: Prof. Dr. Thiago Campos Monteiro

Prof. Dr. Renato Cesar Gonçalves Robert

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. Defesa: Curitiba, 30/10/2023.

1. Cavacos - Classificação. 2. Cavacos - Qualidade. 3. Processamento da madeira. 4. Picadores (Máquinas para trabalhos em madeira). 5. Eucalipto - Aplicações industriais. 6. *Pinus taeda* - Aplicações industriais. 7. Indústria de celulose. 8. Indústria madeireira - Consumo de energia. I. Silva, Dimas Agostinho da. II. Monteiro, Thiago Campos. III. Robert, Renato Cesar Gonçalves. IV. Universidade Federal do Paraná. Setor de Ciências Agrárias. V. Título.

CDD - 674

CDU - 674.8

634.0.839.84

634.0.861.1

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação ENGENHARIA FLORESTAL da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da dissertação de Mestrado de **ALINE DURIGAN** intitulada: *Influência do ângulo de corte na produção de cavacos de Eucalyptus dunnii* Maiden e *Pinus taeda* L. para celulose, sob orientação do Prof. Dr. **DIMAS AGOSTINHO DA SILVA**, que após terem inquirido a aluna e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua **APROVAÇÃO** no rito de defesa.

A outorga do título de mestra está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 20 de Novembro de 2023.

Assinatura Eletrônica

22/11/2023 11:59:21.0

DIMAS AGOSTINHO DA SILVA

Presidente da Banca Examinadora

Assinatura Eletrônica

22/11/2023 09:35:18.0

ALAN SULATO DE ANDRADE

Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Assinatura Eletrônica

23/11/2023 11:07:47.0

RAQUEL MARCHESAN

Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL DE TOCANTINS)

Aos meus pais, Silmara e Edson.

OBRIGADA.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela oportunidade conferida. A minha família, em especial aos meus pais, *Edson* e *Silmara*, por estarem sempre presentes, e pelo amor incondicional, e a minha irmã, *Vitória*, por ser minha maior apoiadora na vida. Ao *Guilherme*, por todo amor, incentivo emocional e por tornar a minha vida mais leve.

Ao *Prof. Dimas*, pela orientação, apoio e conselhos; ao *Prof. Thiago*, pela paciência, atenção, e por todos os ensinamentos; ao *Prof. Robert* pelos ensinamentos e troca de informações; e aos Professores *Alan*, *Alexandre* e *Henrique* pelo apoio para realização desse trabalho.

A minha amiga *Yankha*, por ser minha família fora de casa, e por sempre me incentivar; A minha amiga *Juliana*, por dividir comigo todos os momentos, desde a infância, e por estar sempre ao meu lado. E ao meu amigo *Ivan*, por sempre acreditar em mim, mesmo quando eu mesma não acredito.

“Ostra feliz não faz pérola.”

(Rubem Alves)

RESUMO

A demanda por celulose tem crescido em todo o mundo nos últimos anos. Dessa forma, as indústrias produtoras desse produto se encontram inseridas em um mercado cada dia mais competitivo. O que faz com que estas busquem uma maior otimização de seus insumos e menor custo em seu processo produtivo. Atualmente, um dos problemas encontrado pelas indústrias papeleiras que vai contra essa premissa é a qualidade dos cavacos - no que diz respeito as suas dimensões e distribuição. Se essa não estiver conforme a especificação recomendada, haverá redução da porcentagem de cavacos destinados para a produção de celulose, causando perda de matéria-prima. Assim, os principais objetivos desse trabalho foram avaliar três diferentes ângulos de corte (34, 35 e 36 graus) e verificar a influência do desgaste das facas do picador na distribuição granulométrica dos cavacos, e no consumo de energia, para *Pinus taeda* e *Eucalyptus dunnii*. Foram utilizados como unidades amostrais 18 caminhões de toras, nove de *Pinus taeda* e nove de *Eucalyptus dunnii*, retirados do estoque da empresa estudada. As toras foram processadas em um picador de discos industrial, equipado com 18 facas, rotação do disco de 277rpm e velocidade de alimentação de 170m/min. Três tratamentos com diferentes ângulos de corte foram utilizados na produção dos cavacos. A análise granulométrica foi determinada através do método de classificação SCAN-CM 40:01. A energia elétrica consumida foi medida através do *PI System*. A análise de dados foi feita pelos softwares *Excel* e *SSM*. Os resultados dos ângulos de gume não revelaram influência significativa para as variáveis testadas. A propriedade que mais influenciou a classe “aceite” dos cavacos foi o tempo de processamento, com destaque para as amostras coletadas com 10pmh. Para os cavacos de *Eucalyptus dunnii*, houve redução de 1,5% dos cavacos classificados como aceite para as amostras coletadas com facas desgastadas, já para o *Pinus taeda* esse valor foi de 2,6%. Dentre as espécies testadas a que apresentou melhores resultados de aceite foi o *Eucalyptus dunnii*, com valor médio de 91%. O consumo de energia, em uma hora de processamento de *Eucalyptus dunnii*, foi significativamente menor que do que o consumo, no mesmo período, para *Pinus taeda*. Não foram revelados resultados significativos de consumo de energia para os diferentes ângulos testados.

Palavras-chave: Picador de discos 1. Distribuição granulométrica 2. Energia 3. Tempo de processamento 4. Desgaste de facas 5.

ABSTRACT

The demand for cellulose has grown across the world in recent years. In this way, the industries that produce this input find themselves inserted in an increasingly competitive market. Which makes them seek greater optimization of their inputs and lower costs in their production process. Currently, one of the problems encountered by the paper industries that goes against this premise is the quality of the chips - in terms of particle size distribution. If this is not in accordance with the recommended specification, there will be a reduction in the percentage of chips destined for cellulose production, causing loss of raw material. Thus, the main objectives of this work were to evaluate three different cutting angles and verify the influence of chipper knife wear on the particle size distribution of the chips, and on energy consumption, for pine and eucalyptus. 18 trucks of logs, nine of pine and nine of eucalyptus, taken from the stock of the studied company, were used as sampling units. The logs were processed in an industrial disc chipper, equipped with 18 knives, disc rotation of 277rpm and feeding speed of 170m/min. Three treatments with different cutting angles were used in the production of chips. Particle size analysis was determined using the SCAN-CM 40:01 classification method. The electrical energy consumed was measured using the PI System. Data analysis was carried out using Excel and SSM software. The results of the cutting-edge angles did not reveal a significant influence on the tested variables. The property that most influenced the "accepted" class of chips was processing time, with emphasis on samples collected at 10pmh. For eucalyptus chips, there was a 1.5% reduction in chips classified as accepted for samples collected with worn knives, while for pine this value was 2.6%. Among the species tested, the one that showed the best acceptance results was eucalyptus, with an average value of 91%. Energy consumption in one hour of eucalyptus processing was significantly lower than consumption in the same period for pine. No significant energy consumption results were revealed for the different angles tested.

Keywords: Disc chipper 1. Chip size distribution 2. Power 3. Processing time 4. Knife wear 5.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - MÉDIA DE CAMINHÕES RECEBIDOS POR DIA EM UM PÁTIO DE MADEIRAS	21
FIGURA 2 - MÉDIA DE CAMINHÕES RECEBIDOS POR HORA EM UM PÁTIO DE MADEIRAS	21
FIGURA 3 - FLUXOGRAMA OPERACIONAL - PÁTIO DE MADEIRAS	22
FIGURA 4 – MEDIDAS DE UM CAVACO OBTIDO ATRAVES DE UM PICADOR DE DISCOS	23
FIGURA 5 - RESULTADO DE UMA CLASSIFICAÇÃO DE CAVACOS USANDO A NORMA SCAN-CM 40:01	24
FIGURA 6 - NOTAÇÕES DE CORTE ORTOGONAL	27
FIGURA 7 - CORTE ORTOGONAL	27
FIGURA 8 – ESQUEMA DE FORMAÇÃO DO CAVACO DE MADEIRA TIPO I	28
FIGURA 9 – ESQUEMA DE FORMAÇÃO DO CAVACO DE MADEIRA TIPO II	29
FIGURA 10 – ESQUEMA DE FORMAÇÃO DO DE MADEIRA CAVACO TIPO III ...	29
FIGURA 11 - PICADOR DE DISCOS.....	30
FIGURA 12 – TIPOS DE FACAS UTILIZADAS EM PICADORES DE DISCOS.....	31
FIGURA 13 - PRINCIPAIS ÂNGULOS DE CORTE DE UM PICADOR DE DISCOS	32
FIGURA 14 – RELAÇÃO DE ÂNGULO (β) X ESPESSURA DOS CAVACOS.....	34
FIGURA 15 - ESQUEMA DE ALIMENTAÇÃO DO PICADOR.....	39
FIGURA 16 - FLUXOGRAMA DO PROCESSO	39
FIGURA 17 - ROTOR DO PICADOR DE DISCOS EQUIPADO COM 18 FACAS ...	40
FIGURA 18 – ESQUEMA DE COLETA DAS AMOSTRAS PARA A CLASSIFICAÇÃO GRANULOMÉTRICA	41
FIGURA 19 - AMOSTRAS ARMAZENADAS DE EUCALYPTUS DUNNII (a) PINUS TAEDA (b).....	42
FIGURA 20 – ÂNGULOS DO GUME DE CORTE AVALIADOS NO PROCESSAMENTO (34,35 E 36°)	43
FIGURA 21 - a) ÂNGULO DE ALIMENTAÇÃO DO PICADOR (ϵ); b) - ESQUEMA DE FORMAÇÃO DO CAVACO	44
FIGURA 22 - RETIFICA USADA NA AFIAÇÃO DAS FACAS	45
FIGURA 23 - AJUSTE DO ÂNGULO DE GUME DE 35 GRAUS NA RETÍFICA.....	46
FIGURA 24 - FACAS AFIADAS COM DIFERENTES ÂNGULO DE GUME.....	46

FIGURA 25 - CRONOMETRO DE PROCESSAMENTO DAS FACAS	47
FIGURA 26 – CLASSIFICADOR DE CAVACOS DE LABORATÓRIO	50
FIGURA 27 - GAVETAS COMPOSTAS POR PENEIRAS COM ABERTURAS CIRCULARES	50
FIGURA 28 - GAVETA COMPOSTA POR PENEIRA COM HASTE CILÍNDRICA....	51
FIGURA 29 - RESULTADOS DAS FUNÇÕES DISCRIMINANTES 1 E 2, PARA AS COMBINAÇÕES ENTRE ÂNGULOS E TEMPOS, COM OS RESPECTIVOS GRUPOS CENTROIDES, PARA O CONJUNTO DE TODAS AS VARIÁVEIS AVALIADAS.	60

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 – RELAÇÃO GERAÇÃO DE CAVACOS PARA CELULOSE VERSUS CAVACOS DESTINADOS PARA QUEIMA POR TEMPO DE PROCESSAMENTO DAS FACAS PARA PINUS	63
GRÁFICO 2 - RELAÇÃO GERAÇÃO DE CAVACOS PARA CELULOSE VERSUS CAVACOS DESTINADOS PARA QUEIMA POR TEMPO DE PROCESSAMENTO DAS FACAS PARA EUCALIPTO	64
GRÁFICO 3 - PERCENTUAL DE CAVACOS FORA DA ESPECIFICAÇÃO POR CLASSE GRANULOMÉTRICA PARA PINUS E EUCALIPTO	64
GRÁFICO 4 - RESULTADOS MÉDIOS DE CONSUMO DE ENERGIA ESTIMADA, EM Kw, APRESENTADOS PARA DIFERENTES ANGULOS DE CORTES TESTADOS - PINUS	66
GRÁFICO 5 - RESULTADOS MÉDIOS DE CONSUMO DE ENERGIA ESTIMADA, EM Kw, APRESENTADOS PARA DIFERENTES ANGULOS DE CORTES TESTADOS - EUCALIPTO.	67
GRÁFICO 6 – CONSUMO DE ENERGIA DURANTE O PROCESSAMENTO DE PINUS E CONSUMO DE ENERGIA DURANTE O PROCESSAMENTO DE EUCALIPTO	68
GRÁFICO 7 - RELAÇÃO ENTRE O CONSUMO MÉDIO DE ENERGIA POR ÂNGULO TESTADO E O PROCESSAMENTO, EM TONELADAS, PARA PINUS E EUCALIPTO	69

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - PROCESSAMENTO PRELIMINAR DAS CARGAS	42
TABELA 2 – ÂNGULOS TESTADOS EM CADA UM DOS TRATAMENTOS	44
TABELA 3 - CLASSIFICAÇÃO GRANULOMÉTRICA DOS CAVACOS POR TAMANHO SEGUINDO A NORMA SCAN-CM 40:01	49
TABELA 4 - ESQUEMA DE COLETA DE DADOS PARA PINUS E EUCALIPTO ...	54
TABELA 5 - ANÁLISE DE CORRELAÇÃO DAS VARIÁVEIS PARA PINUS	56
TABELA 6 - ANÁLISE DE CORRELAÇÃO DAS VARIÁVEIS PARA EUCALIPTO ...	56
TABELA 7 - RESULTADOS DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA MULTIVARIADA PARA O CONJUNTO COMPOSTO POR TODAS AS VARIÁVEIS AVALIADAS.	57
TABELA 8 - RESULTADOS REFERENTES A PORCENTAGEM DA VARIÂNCIA TOTAL EXPLICADA PELAS FUNÇÕES DISCRIMINANTES OBTIDAS, RELATIVAS AOS AUTOVALORES ENCONTRADOS E COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO CANÔNICA PARA CADA UMA DAS FUNÇÕES DISCRIMINANTES ENCONTRADAS.	59
TABELA 9 - RESULTADOS DAS CORRELAÇÕES CANÔNICAS ENTRE AS VARIÁVEIS ORIGINAIS AVALIADAS E AS FUNÇÕES DISCRIMINANTES OBTIDAS.....	59
TABELA 10 - RESULTADOS OBTIDOS PARA OS CENTROIDES DE CADA COMBINAÇÃO.....	60
TABELA 11 - RESULTADOS EM (%) OBTIDOS PARA AS MÉDIAS DE CADA COMBINAÇÃO PARA AS VARIÁVEIS PIN, FINOS, ACEITE, OVERSIZE E OVERTHICK.....	62
TABELA 12 – CONSUMO TOTAL DE ENERGIA POR HORA EM KW PARA TODOS OS ANGULOS DE GUME TESTADOS NO PROCESSAMENTO DE PINUS E EUCALIPTO	65
TABELA 13 - ANÁLISE DE VARIANCIA PARA O CONSUMO ESPECÍFICO DE ENERGIA PARA A MADEIRA DE EUCALIPTO	67
TABELA 14 - ANÁLISE DE VARIANCIA PARA O CONSUMO DE ENERGIA NO PROCESSAMENTO DE PINUS E EUCALIPTO.....	68

LISTA DE ABREVIATURAS OU SIGLAS

PI	- Plant Intelligence
Ton	- Tonelada
Pmh	- Productive Machine Hour (Hora Produtiva de Máquina)
P	- Potência
A	- Ampere
kW	- Kilo Watt
kW/h	- Kilo Watt Hora
SDCD	- Sistema Digital de Controle Distribuído

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
2 REVISÃO DE LITERATURA	18
2.1 SETOR DE ÁRVORES PLANTADAS NO BRASIL	18
2.2 MATÉRIA PRIMA UTILIZADA NA PRODUÇÃO DE CELULOSE	19
2.3 PÁTIO DE MADEIRAS	20
2.4 CAVACOS DE MADEIRA.....	22
2.4.1 Geometria dos Cavacos	22
2.4.2 Classificação Granulométrica dos Cavacos	23
2.4.3 Qualidade dos cavacos para produção de polpa celulósica.....	24
2.4.4 Formação dos cavacos	26
2.4.4.1 Corte Ortogonal	26
2.4.4.2 Tipos de Cavaco.....	28
2.5 VARIÁVEIS DE PICAGEM	30
2.5.1 Ferramentas de Corte	30
2.5.2 Controle do Corte	31
2.5.3 Ângulos de corte das facas	32
2.5.4 Desgaste das Facas.....	34
2.6 CONSUMO DE ENERGIA NA PICAGEM DE CAVACOS.....	36
3 MATERIAL E MÉTODOS	38
3.1 MATERIAL	38
3.1.1 Localização do Estudo	38
3.1.2 Coleta dos Dados	40
3.2 MÉTODOS	43
3.2.1 Ângulos de Gume.....	43
3.2.2 Tempo de Processamento das Facas.....	47
3.2.3 Classificação Granulométrica dos Cavacos	48
3.2.4 Consumo de Energia.....	52
3.3 ESQUEMA DE COLETA DOS DADOS.....	53
3.3.1 Granulometria dos Cavacos	53
3.3.2 Consumo de energia na picagem dos cavacos.....	54
3.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	55
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	56

4.1 ANÁLISE DE CORRELAÇÃO	56
4.2 AVALIAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA DOS CAVACOS	57
4.3 CONSUMO DE ENERGIA NA PICAGEM DE CAVACOS	65
5 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS	ERRO! INDICADOR NÃO
DEFINIDO.	
REFERÊNCIAS	72

1 INTRODUÇÃO

As indústrias produtoras de celulose e papel têm grande destaque no setor florestal. Dados do IBÁ (2022), mostram que a celulose se manteve como o principal produto de exportação do setor, passando de U\$S 6,0 bilhões em 2020 para U\$S 6,7 bilhões em 2021. Um dado importante é que, entre os dez principais exportadores de celulose, o Brasil se manteve sendo o maior no mercado mundial em 2021, tendo exportado aproximadamente US\$ 1,9 bilhão a mais do que o segundo colocado. Esse crescente aumento na demanda por celulose, não só no Brasil, como no mundo, está promovendo a expansão de plantas industriais e o aumento na competitividade entre as indústrias do setor, fazendo com que estas busquem uma maior otimização de seus insumos e menor custo em seu processo produtivo. Dados do IBÁ (2021), mostram que entre 2009 e 2020, houve aumento de 57,5% da produção de celulose. No ano de 2021, houve um acréscimo de produção de 7,4%, comparado ao ano de 2020. (IBÁ, 2022)

Um dos problemas encontrados hoje no processo de produção de celulose, que vai contra a premissa de otimização dos insumos, é a qualidade dos cavacos, no que diz respeito a distribuição granulométrica. Se essa não estiver conforme a especificação recomendada, poderá haver redução da porcentagem de cavacos destinados para a produção de celulose, causando perda de matéria-prima, e/ou aumento do uso de reagentes no processo de polpação, acarretando aumento de custos para a indústria. Sabe-se que o custo da madeira representa uma parcela significativa no custo da celulose, representando, aproximadamente, 41% do fluxo de caixa para Eucalipto e 43% para Pinus (TOTTI, 2017; BANCO NACIONAL DO DESENVOLVIMENTO ECONOMICO E SOCIAL, 2010). Dessa forma, é de suma importância a maximização desse produto para a competitividade das indústrias.

Com o intuito de maximizar os insumos, estudos foram realizados para entender como funciona a formação do cavaco e a sua distribuição granulométrica (HELLSTROM, 2008; HERNANDEZ, 1997; BUCHANAN e DUCHINICKI, 1963). No entanto, esses estudos, apontam dados sobre a produção de cavacos para energia, cujo foco principal está no tamanho dos cavacos (ABDALLAH, 2010), e não na espessura, como é o caso das indústrias de celulose (HOEKSTRA et al., 1983).

Esse contexto leva, portanto, a uma busca por maiores informações focadas na produção de cavacos para celulose. Visto que, as empresas produtoras desse insumo estão cada dia mais, investindo na qualidade dos seus processos, para evitar custos adicionais e retrabalhos. Esse fator alinhado ao custo da madeira, evidencia que a qualidade do cavaco, no que diz respeito ao aproveitamento da matéria prima e atendimento das especificações, é primordial para o início do processo de produção da polpa celulósica.

Mclauchlan (2010), afirma que existem diversos dispositivos que podem produzir cavacos, porém o mais comum deles é o picador de discos, por sua versatilidade, simplicidade, facilidade de manutenção. A performance desse equipamento, assim como seu consumo energético, é influenciada por diversos fatores como, alteração no ângulo de corte (ABDALLAH, 2010), velocidade de processamento (CAMARGO et al, 2015), desgaste das facas (SPINELLI, 2014) e espécie utilizada. Dessa forma, sob a hipótese de que as propriedades do picador e a espécie processada podem afetar a classificação granulométrica dos cavacos e o consumo de energia, o objetivo geral do presente trabalho foi melhorar o aproveitamento da madeira, em forma de cavacos na classe “aceite”, para a produção de celulose.

De modo a permitir que o objetivo geral seja atendido, foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- a) Avaliar qual ângulo de gume gera o maior aproveitamento dos cavacos para *Pinus taeda* L. e *Eucalypto dunnii* Maiden;
- b) Avaliar se diferentes tempos de processamentos geram impactos no aproveitamento dos cavacos de *Pinus taeda* L. e *Eucalypto dunnii* Maiden;
- c) Avaliar qual espécie gera maior aproveitamento dos cavacos na classe aceite;
- d) Avaliar o consumo de energia específica para distintos ângulos de corte testados no processamento de *Pinus taeda* L. e *Eucalypto dunnii* Maiden.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 SETOR DE ÁRVORES PLANTADAS NO BRASIL

No Brasil, o setor florestal contribui com uma parcela significativa da economia, em decorrência da geração de impostos, fornecimento de produtos para consumo direto ou exportação, criação de novos empregos bem como atuando na conservação e preservação dos recursos naturais (RIBASKI, 2018).

Morales et al. (2012), afirmam que Brasil dispõe de vantagens em relação às condições de solo, clima, extensão territorial e tecnologia evoluída para implantação de florestas homogêneas, fatores esses que otimizam a exploração e expansão da silvicultura e que permitiram o país passar de uma insignificante participação no cenário mundial para uma posição de relativo destaque.

Segundo o Relatório da Avaliação Global de Recursos Florestais (2020), mais da metade das florestas do mundo, cerca de 54%, estão localizadas em apenas cinco países: Rússia, Brasil, Canadá, Estados Unidos e China. As florestas plantadas, representam 7% desse total, representando 131 milhões de hectares. (FAO, 2020) sendo que, o Brasil participa com 2,67% do total das plantações florestais mundiais (MOREIRA & OLIVEIRA, 2017).

O Brasil apresenta grande competitividade no mercado de produtos florestais, em razão de suas características edafoclimáticas e do desenvolvimento tecnológico obtido na área de silvicultura. Segundo o IBÁ (2021), em 2020, a área total de árvores plantadas totalizou 9,55 milhões de hectares, um recuo de 1,4% em relação ao dado revisado de 2019. Desses, 78% são representados pelo cultivo de eucalipto, representando 7,47 milhões de hectares e 18% por pinus, com aproximadamente 1,7 milhões de hectares. A grande maioria dos plantios de *Pinus taeda* se concentra na região Sul do país, número esse que se aproxima de 85%. O maior produtor é o estado do Paraná (IBÁ, 2021).

Em 2020, o setor de árvores cultivadas aumentou seu ritmo de produção, para manter a população abastecida durante o período de pandemia. Um setor que merece destaque especial é o da celulose, que continuou crescendo e se manteve em

segundo lugar como maior produtor mundial, e em primeiro como maior exportador (IBÁ, 2021).

2.2 MATÉRIA PRIMA UTILIZADA NA PRODUÇÃO DE CELULOSE

O Brasil vem se destacando no mercado internacional de celulose, desde 2013, como o maior exportador do produto (FAO, 2019). Dados do IBÁ (2022) mostram que em 2021, o Brasil se manteve como maior exportador de celulose.

A madeira utilizada como matéria-prima para a produção de polpa celulósica prove principalmente de espécies dos gêneros Eucalipto e Pinus (KLOCK, 2013). A demanda de celulose e papel, em conjunto com a globalização de seus mercados veem atuando como importantes fatores de estímulo à busca de matérias-primas mais adequadas às suas fabricações. No Brasil, a madeira de *Pinus* sp. é um exemplo típico dessa tendência, o que pode ser constatado através da intensidade de estudos com espécies desse gênero (BIRKLAND, 1990).

Os plantios de Pinus no Brasil apresentam crescimento volumétrico entre 20 e 30 m³ ha/ano e sua rotação é de cerca de 20 anos para usos múltiplos, sendo que desbastes são realizados nos plantios aos 8 e 14 anos de idade, a madeira de 8 anos normalmente utilizada para a produção de celulose e a de 14 para serrarias. (BASSA, 2007). O Pinus taeda L., destaca-se como a espécie de pinus mais cultivada no Brasil com uma área de aproximadamente 1 milhão de hectares (SIDIÃO, 2023). Ocorrendo naturalmente na região, Sul e Sudeste dos Estados Unidos. O cultivo de *Pinus taeda* L., destaca-se na fabricação de paletes, embalagens, mobiliário, construção civil, indústrias de papel e celulose e extração do breu e da terebintina, derivados da resina natural (MISSIO et al., 2015; SALVADOR et al., 2020).

Já gênero *Eucalyptus*, pertence à família Myrtaceae e conta com mais de 700 espécies, dentre elas inúmeras variedades e híbridos; originário da Austrália dissemina-se, hoje, por quase todas as regiões tropicais e subtropicais, se destacando em maior escala no Brasil, mais especificamente na região centro-sul (FOELKEL et al., 1975). Na década de 1970, uma série de trabalhos destacava a importância das

espécies do gênero Eucalipto entre as principais matérias-primas fornecedoras de fibras para a indústria de celulose e papel (BARRICHELO et al., 1975).

Segundo Dossa et al. (2002), a produtividade do Eucalipto, dado o seu rápido crescimento, pode ser considerada, como um dos principais fatores que determinaram a sua expansão no mercado de papel e celulose. Existem inúmeras espécies de Eucalipto que se desenvolvem com vigor para esse fim, dentre elas destacando se o *Eucalipto saligna*, *Eucalipto grandis* e o híbrido *Eucalipto urophylla x Eucalipto grandis*. (FERREIRA, GIOVANNI WILLER et al., 1977).

Segundo Neri (1999), do ponto de vista de processamento, os eucaliptos são, extremamente densos e, portanto, duros, pesados e resistentes. Estas características aumentam a energia requerida para processá-los e aceleram o desgaste das ferramentas de corte, das máquinas e do sistema de alimentação e Pátio de madeiras

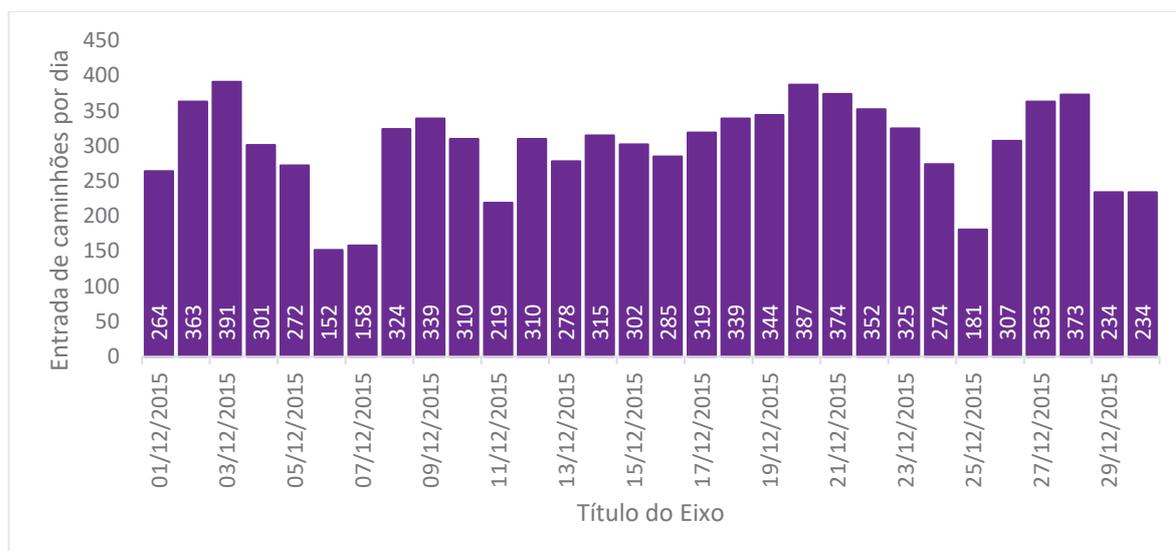
2.3 PÁTIO DE MADEIRAS

O Pátio de Madeiras é a primeira etapa industrial de preparação para a produção de Celulose e Papel. Ele abrange o manuseio e a preparação da madeira, a partir do momento em que esta chega à fábrica, até o momento em que é enviada à área de polpação mecânica (em forma de toretes ou cavacos), ou à área de polpação química (em forma de cavacos) (KLOCK, 2014).

KLOCK (2014), diz que a qualidade e economia da produção de polpa e papel começa no pátio de madeira, sabendo que, na produção de polpa, o custo da matéria-prima representa a maior porcentagem no custo total de produção. Desta forma, minimizar a perda da madeira e aumentar a qualidade dos cavacos são fatores vitais para se assegurar o lucro geral do sistema de produção.

Nas grandes indústrias, o volume de matéria-prima recebida em toras, pode variar, mas de maneira geral, é valor bastante expressivo. GONÇALVES (2016), em estudo sobre a gestão sistêmica do transporte e estocagem da madeira, como fator diferencial na produtividade e qualidade da celulose na Eldorado, mostrou que uma unidade industrial de pátio de madeiras pode receber, por dia, uma média de até 300 caminhões (FIGURA 1).

FIGURA 1 - MÉDIA DE CAMINHÕES RECEBIDOS POR DIA EM UM PÁTIO DE MADEIRAS



FONTE: GONÇALVES et.al, (2016), Adaptado.

Ainda segundo GONÇALVES (2016), a média de caminhões recebidos por hora, pode variar de 5 a 21 (FIGURA 2). Por isso, é de suma importância um processamento contínuo, para garantir o abastecimento das fábricas, e, também o fluxo de madeira nos estoques.

FIGURA 2 - MÉDIA DE CAMINHÕES RECEBIDOS POR HORA EM UM PÁTIO DE MADEIRAS



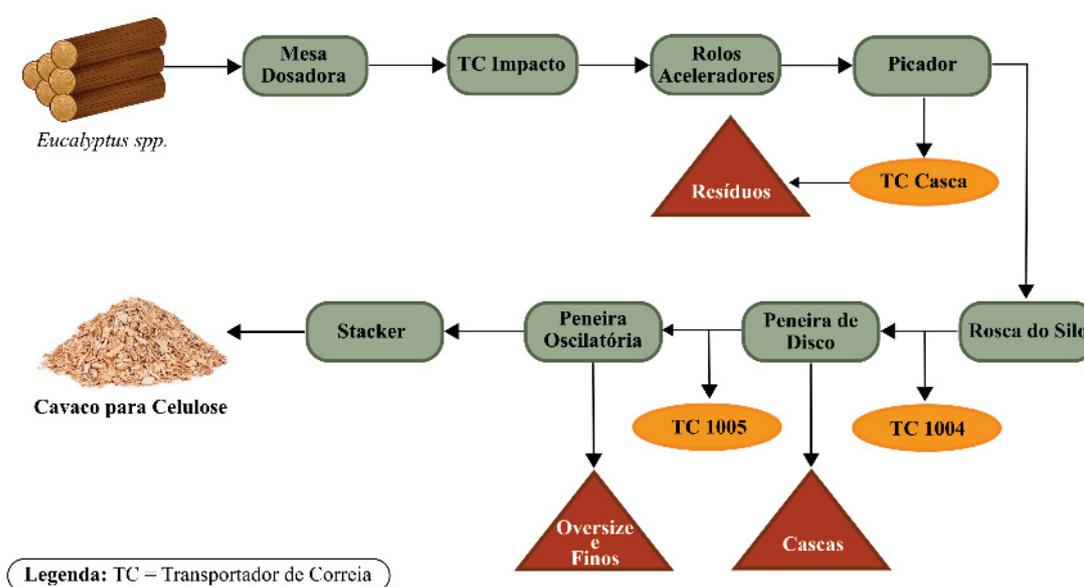
FONTE: GONÇALVES et.al, (2016), Adaptado.

Os Pátios de Madeiras são compostos por uma série de equipamentos em linha. Para assegurar uma produção contínua é necessário que os equipamentos responsáveis pela transformação das toras de madeira funcionem por um maior

período possível, logo, é importante supervisionar as paradas desses equipamentos, seja por paradas relacionados a máquina (manutenção corretiva e preventiva), ou a mão-de-obra operacional. (DURIGAN, 2019).

Ainda segundo DURIGAN (2019), a disposição desses equipamentos pode mudar de acordo com as particularidades de cada empresa, abaixo está representado o fluxograma do Pátio de Madeiras de uma unidade industrial.

FIGURA 3 - FLUXOGRAMA OPERACIONAL - PÁTIO DE MADEIRAS



FONTE: DURIGAN et.al, (2019).

2.4 CAVACOS DE MADEIRA

2.4.1 Geometria dos Cavacos

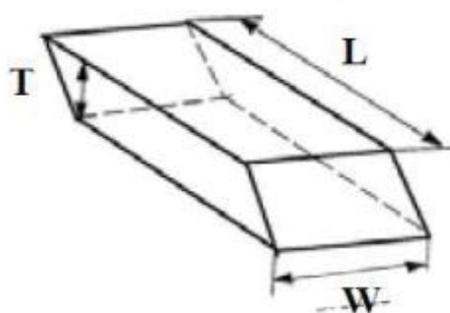
O cavaco é constituído por pequenos pedaços de madeira oriundos da picagem, com um comprimento variável entre 5 e 50 mm, obtidos por fragmentação na direção da fibra, nos picadores a disco, ou em corte reto, nos picadores a tambor. Contendo ainda partículas mais longas e uma razoável percentagem de finos (GRUNKRAUT, 2012).

Grande (2012), afirma que os cavacos apresentam três dimensões básicas: comprimento largura e espessura, sendo essa última a menor delas, porém considerada a mais importante para a impregnação dos cavacos.

Um cavaco típico de madeira para celulose deve medir de 15 - 20 milímetros de comprimento na direção de grã, 12 - 25 milímetros de largura, e apenas 3 - 6 milímetros na espessura, transversal a grã da madeira, assim a razão comprimento/espessura é de aproximadamente 4 para 1 (GRACE et al., 1989a).

Na FIGURA 4 está representado o esquema geométrico de formação do cavaco, segundo TRONSTAD (1994), citado por SANTOS (2011).

FIGURA 4 – MEDIDAS DE UM CAVACO OBTIDO ATRAVES DE UM PICADOR DE DISCOS



FONTE: Tronstad (1994). Onde: L representa o comprimento, W a espessura e T a largura do cavaco.

2.4.2 Classificação Granulométrica dos Cavacos

A granulometria dos cavacos, normalmente, é determinada em laboratórios, através de métodos de classificação, passando-se amostras através de conjuntos de peneiras ou telas sobrepostas, com orifícios redondos ou retangulares, em alguns casos essa granulometria pode ser medida na própria linha produtiva. O Método de classificação atual mais utilizado é a norma SCAN-CN 40:01. Nesse, as amostras de cavacos passam através de conjuntos de placas/telas com furos ou fendas

(SOPRANI, 2016). O resultado é normalmente referido como classificação granulométrica.

A classificação granulométrica é distribuída em cavacos de grandes dimensões, cavacos sobre espessura, cavacos aceite, palitos e finos (BJURULF, 2006). Segundo KOLLMAN et al. (1975), a dimensão das partículas é uma variável de merecida importância para determinar seu tipo e tamanho, sendo estes os principais fatores a serem considerados para esse tipo de estudo.

Os cavacos passaram a ser classificados depois que pesquisas demonstraram que os cavacos muito grandes ou muito pequenos poderiam interferir no rendimento e na qualidade da polpa de celulose (CAMARGO et al. 2015).

FIGURA 5 - RESULTADO DE UMA CLASSIFICAÇÃO DE CAVACOS USANDO A NORMA SCAN-CM 40:01



F1- Oversize; F2 – Overthick; F3a – Large Accept; F3b Small Accept; F4 – Pin Chips; F5 – Finos.

FONTE: BJURULF, 2006.

2.4.3 Qualidade dos cavacos para produção de polpa celulósica

A qualidade do cavaco, depende da matéria-prima e da tecnologia utilizada na sua produção (CERAGIOLI, 2014). Atualmente, a qualidade dos cavacos tornou-se um conceito muito importante na fabricação de celulose, devido ao aumento da concorrência entre os produtores de polpa e o aumento dos custos da matéria prima.

A qualidade dos cavacos afeta diretamente o rendimento da celulose e a qualidade do papel (TIMMERFORS et al., 2019). Portanto, para um cozimento adequado, os cavacos devem ser uniformes, uma vez que a produção de polpas de alta qualidade depende desta homogeneidade (GOLVEIA, 2012). Timmerfors (2019) afirma que a falta de homogeneidade dos cavacos pode resultar em shives na polpa

e, até mesmo, no entupimento dos digestores. Cavacos de menores dimensões, principalmente na fração de finos, também são indesejáveis, pois apresentam mais danos mecânicos e consomem mais reagentes durante a polpação (FOELKEL, 2009b). Timmerfors (2019) reforça que a operação de corte de madeira é intensiva em energia, portanto os processos industriais e florestais são altamente dependentes do rendimento da polpa, dessa forma, o ideal é aumentar a fração de cavacos na classe de aceite, e a fração de cavacos e finos no mínimo.

UHMEIER (1995) e HARTLER (1996), caracterizam alta qualidade dos cavacos, quando esses apresentam baixa fração de overthick, pin chips e finos, e alto percentual de aceite.

Os cavacos acima do tamanho são a principal causa dos rejeitos na polpação química. Os palitos, finos e a madeira podre causam a redução do rendimento e na resistência da polpa e contribuem para os problemas de circulação do sistema de polpação, podendo gerar entupimentos nas peneiras (SMOOK, 2002).

Cavacos muito espessos podem gerar polpas heterogêneas isso porque o álcali no centro do cavaco é consumido mais rapidamente do que é repostado por difusão, podendo causar até mesmo a precipitação da lignina (GUSTAFSON et al., 1989).

Segundo Don (1989) e Smook (2002), os principais parâmetros que definem a qualidade dos cavacos são:

- Comprimento dos cavacos: valor médio entre 20 e 25 mm (uniformidade das dimensões é um fator importante).
- Espessura dos cavacos: 4 a 6 mm (mínima quantidade < 2 mm e > 8 mm).
- Finos e cavacos sobre dimensionados: quantidades reduzidas de finos, sobre tamanho e palitos.
- Impurezas: quantidade reduzida de areia, pedras, metais etc.
- Quantidade de cascas: reduzida.

Atualmente, a maioria dos picadores industriais são desenvolvidos para o processo de obtenção de polpa celulósica, que usa cavacos que são impregnados por

licor branco alcalino. Desde que o cavaco não seja muito espesso, o comprimento pode ser maior, uma vez que a impregnação do licor branco acontece na direção da fibra – longitudinal e em outras direções – tangencial e radial (TIMMERORS e JONSSON, 2019).

Foelkel (2019), afirma que o comprimento dos cavacos é determinado através do corte das lâminas dos picadores, existe diferença entre os dois lados cortados dos cavacos, pois ocorre o esmagamento em um dos lados do cavaco devido ao ângulo da faca de corte, o lado mais danificado apresentará maior capilaridade e, conseqüentemente, maior penetração de líquido.

2.4.4 Formação dos cavacos

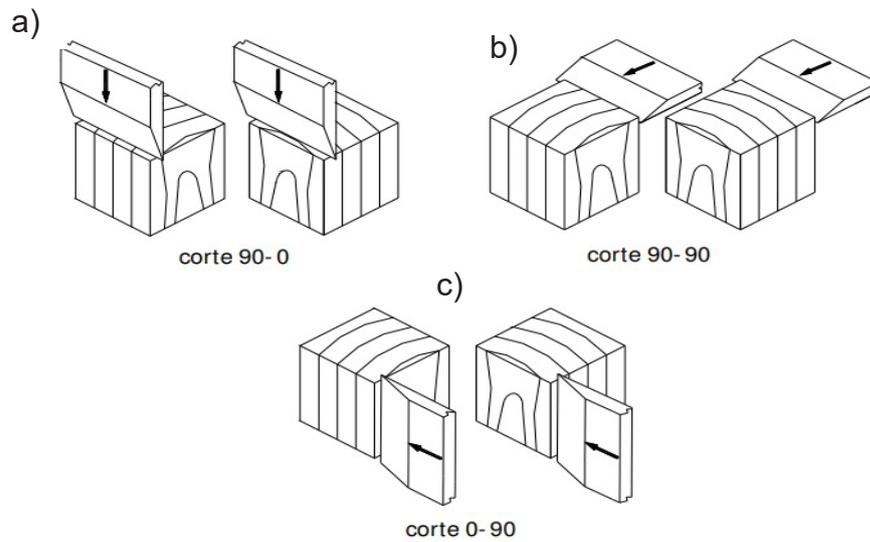
O cavaco pode ser definido como sendo o fragmento de madeira produzido pela ferramenta de corte. A formação destes cavacos depende da geometria da ferramenta de corte, do teor de umidade da madeira e do movimento da ferramenta com relação à orientação das fibras (REMADE, 2013).

Segundo Néri (2000), dependendo do processo de corte executado, tem-se o corte periférico ou o corte ortogonal. Sendo o corte periférico, aquele que é produzido por cortes sucessivos, feito por arestas cortantes instaladas na periferia de um cabeçote porta-ferramentas. As arestas cortantes das ferramentas são dispostas de maneira a se obter um mesmo cilindro de corte. Já o corte ortogonal é definido como sendo a situação em que o fio da ferramenta de corte é perpendicular à direção de movimento relativo entre a ferramenta e a peça de madeira e quando a superfície obtida é paralela àquela antes do corte.

2.4.4.1 Corte Ortogonal

MCKENZIE (1960), define uma notação para o corte ortogonal com a utilização de dois numerais. Sendo o primeiro o ângulo entre a aresta principal da ferramenta de corte e a direção das fibras da madeira, e o segundo o ângulo entre a direção de corte e a fibra da madeira. De forma que, ficam definidos três tipos de corte 90 - 0, 90 - 90 e 0 - 90.

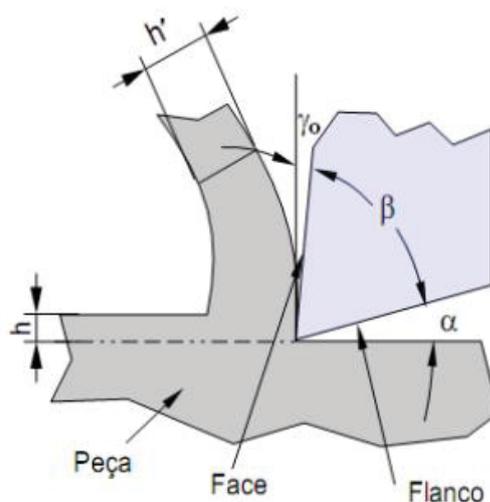
FIGURA 6 - NOTAÇÕES DE CORTE ORTOGONAL



FONTE: Néri (1999). Onde: a) notação 90-0; b) notação 90-90; c) notação 0-90

No corte ortogonal, a aresta de corte é uma reta normal à direção de corte e à direção de avanço, de maneira que a formação do cavaco pode ser considerada um fenômeno bidimensional e que ocorre em um plano normal à aresta cortante, ou seja, o plano de trabalho (MACHADO E SILVA, 2009).

FIGURA 7 - CORTE ORTOGONAL



FONTE: Stoeterau (2007).

Onde:

α = ângulo de folga

β = ângulo de cunha ou Ângulo de afiação

γ = ângulo de saída

h = espessura de usinagem (antes da retirada do cavaco)

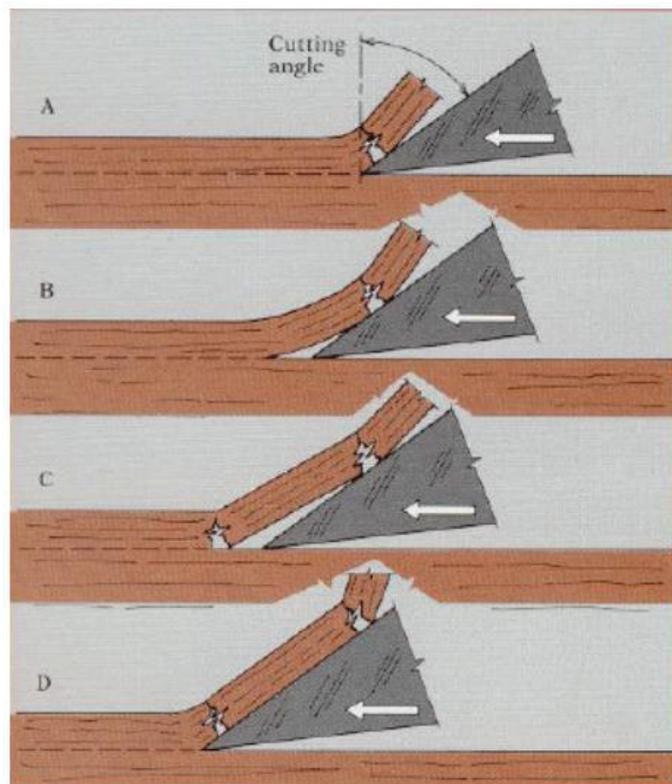
h' = espessura de corte (depois da retirada do cavaco)

2.4.4.2 Tipos de Cavaco

Quando o processamento é ao longo das fibras, observa-se a formação de três tipos distintos de cavacos (SIQUEIRA, 2018; FRANZ, 1958):

- Cavaco tipo I: Formado quando as condições de corte são tais que a madeira rompe por fendilhamento em um plano à frente da ferramenta de corte e o cavaco se separa como uma viga engastada.

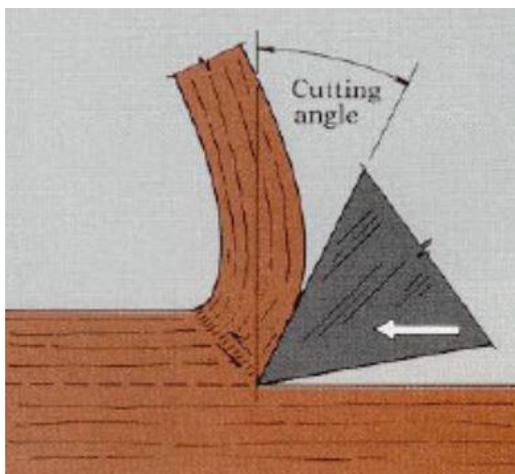
FIGURA 8 – ESQUEMA DE FORMAÇÃO DO CAVACO DE MADEIRA TIPO I



FONTE: Venson, (2008).

- Cavaco tipo II: Formado quando a ruptura da madeira se produz ao longo de uma linha que se estende a partir da aresta de corte da ferramenta. Neste caso, a ruptura se dá por cisalhamento diagonal e forma uma cava.

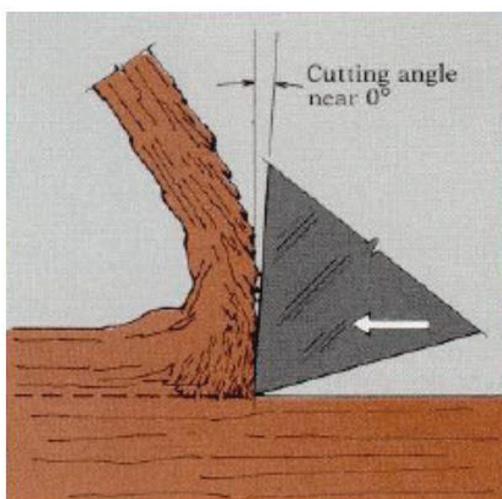
FIGURA 9 – ESQUEMA DE FORMAÇÃO DO CAVACO DE MADEIRA TIPO II



FONTE: Venson, (2008).

- Cavaco tipo III: Formado quando as forças de corte produzem rupturas por compressão paralela e cisalhamento longitudinal na madeira diante da aresta da ferramenta de corte. O cavaco é sem forma definida e reduzido a fragmentos.

FIGURA 10 – ESQUEMA DE FORMAÇÃO DO DE MADEIRA CAVACO TIPO III



FONTE: Venson, (2008).

2.5 VARIÁVEIS DE PICAGEM

Para a otimização do sistema de produção de celulose é de grande importância conhecer as variáveis que afetam este processo, como a qualidade dos cavacos, e o efeito deles na operação de cozimento e na qualidade da polpa celulósica resultante (SILVA et al., 2001).

São vários os fatores que podem influenciar na qualidade e formação dos cavacos, muitos deles dependem das características da madeira. E outros das configurações dos equipamentos de picagem. Os cavacos são formados pelo corte perpendicular a direção da grã da madeira pelas facas do picador. As regulagens do equipamento podem modificar o comprimento e a espessura média dos cavacos (GULLICHSEN et al., 2000). Outros fatores também alteram a formação e classificação dos cavacos, como os ângulos de corte e o desgaste das ferramentas de corte.

2.5.1 Ferramentas de Corte

Existem dois principais tipos de picadores de madeira, o de disco e o de tambor. Os picadores de discos (FIGURA 11), normalmente possuem facas fabricadas com aço, essas facas têm vida útil maior e um baixo índice de reafiação. Elas são compridas, compostas por um único dente e podem ter diversas larguras e espessuras (SAEZ, 2015).

FIGURA 11 - PICADOR DE DISCOS



FONTE: Demuth Máquinas Industriais (2023).

Para que as facas tenham flexibilidade e uma longa vida útil de corte, é necessário a utilização do material correto e tratamento térmico adequado a fim de garantir uma boa trabalhabilidade (DEMUTH, 2015).

FIGURA 12 – TIPOS DE FACAS UTILIZADAS EM PICADORES DE DISCOS



FONTE: Lippel (2022).

2.5.2 Controle do Corte

Para WOODSON e KOCH (1970), alguns parâmetros relacionados ao corte da madeira interferem na sua usinagem, sendo esses fatores:

- a) ângulo de ataque (γ) - Normalmente as forças de corte decrescem com o aumento de γ . Para cada espécie deverá existir uma faixa ótima para o ângulo de ataque, na qual será obtida a melhor qualidade de superfície.
- b) ângulo de folga (α) - Este ângulo deverá ter um valor mínimo que permita a redução do contato da superfície de folga da ferramenta com a peça da madeira
- c) ângulo da cunha (β) - Este ângulo está relacionado à resistência da ferramenta de corte ao choque e ao desgaste
- d) espessura de corte (e) - Estará diretamente relacionada às forças implicadas no processo de corte
- e) orientação das fibras em relação ao corte - Tendo em vista que a madeira apresenta resistências diferentes de acordo com a direção do esforço em relação às fibras, esta direção afetará as forças implicadas durante a usinagem.

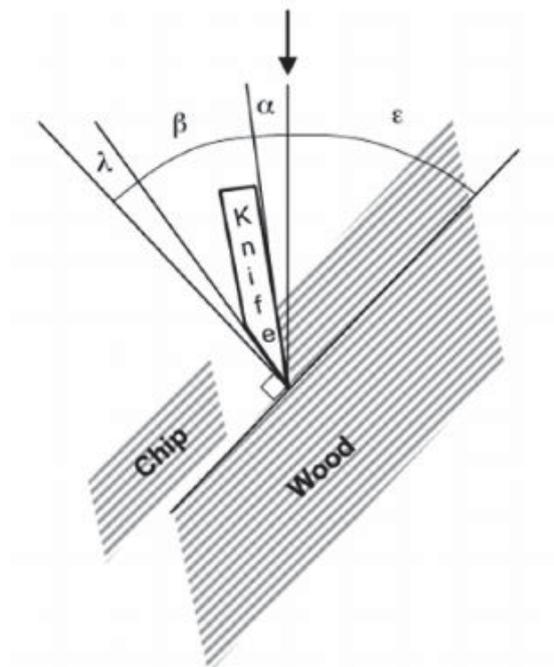
f) afiação da ferramenta de corte - Quando a ferramenta de corte não está bem afiada ou quando está desgastada, o ângulo de ataque diminui ou torna-se negativo, produz-se um afundamento na superfície da madeira que ocasiona o aparecimento de forças de atrito elevadas.

g) atrito entre o cavaco e a superfície de saída da ferramenta de corte A força de atrito é função do tipo de cavaco, sendo pouco afetada pela rugosidade na face da ferramenta. Esta força sofre menor variação em relação ao ângulo de saída e espessura do cavaco quando comparado à influência do tipo de cavaco e espécie de madeira.

2.5.3 Ângulos de corte das facas

Existem 4 principais ângulos de corte que atuam no sistema de corte do picador de discos. DON (1989), HARTLER (1986) e ABDALLAH (2011) os descrevem como sendo: Ângulo de folga (α); Ângulo da faca ou gume (β); Ângulo complementar ou corte (λ) e ângulo de alimentação (ϵ) (FIGURA 13). A soma desses quatro ângulos deve ser sempre 90° .

FIGURA 13 - PRINCIPAIS ÂNGULOS DE CORTE DE UM PICADOR DE DISCOS



FONTE: Hellström, Lisbeth & Gradin, Per & Gulliksson, Märten & Carlberg, Torbjörn. (2010).

Cada ângulo de corte do picador tem um efeito diferente na formação e classificação dos cavacos, para comprovar essa afirmação, muitos estudos foram desenvolvidos sobre esse tema.

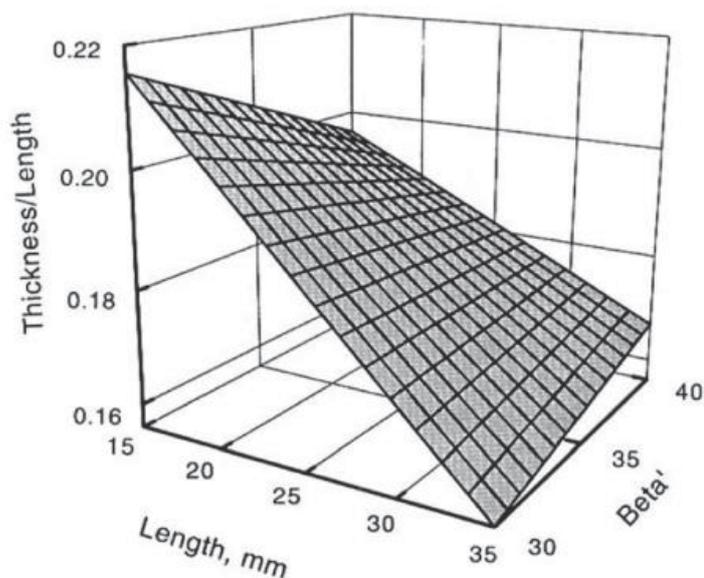
Segundo Hartler (1986), o ângulo complementar é igual a 90 menos a soma dos outros três ângulos. Steffens & Rodrigues (1988), citados por Araújo e Moreira (2021), dizem que aumentar o ângulo de corte ou complementar, reduz a energia requerida na picagem, assim como, a espessura dos cavacos em relação ao seu comprimento, e, reduz também, os danos por esmagamento dos cavacos. Timmerfors e Hellstrom (2019, 2011) dizem que aumentar o ângulo de corte aumenta as frações menores de cavacos, e a densidade bulk. Já a redução do ângulo resultará no aumento na área da superfície de corte, o que reduz o diâmetro máximo das toras que poderão ser picadas. Buchanan e Duchinicki (1963), mostram que reduzir o ângulo de corte causa aumento de espessura dos cavacos, uma vez que, conforme o ângulo de corte diminui, as forças aplicadas na grã perpendicular aumentam, de forma que a separação se dá de forma atrasada, gerando maior espessura. Para Hartler (1996) apesar dos efeitos negativos, a tendência é a redução do ângulo de corte dos picadores.

Hartler (1996) diz que o ângulo de folga é um importante parâmetro da posição da faca no picador, uma vez que, existe uma relação próxima entre o ângulo de folga e o comprimento do cavaco. Na prática o ângulo de descarga é de aproximadamente $2 - 4^\circ$.

O ângulo de faca, ou gume, normalmente fica entre 30° e 37° (MCLAUCHLAN, 1979). Para Don (1989), o ângulo de afiação da faca deve ser o menor possível, porém um fator limitante para que isso aconteça é a espessura da lâmina que devido ao superaquecimento se torna endurecida e quebradiça reduzindo a sua vida útil. Buchanan e Duchinicki (1963), mostraram que diminuir o ângulo de gume das facas de 40° para 30° , reduziu a espessura dos cavacos, as forças de corte e os danos nos cavacos. Para cavacos com tamanho reduzido, o aumento no ângulo de afiação gera um cavaco com menor espessura, porém o inverso acontece no caso de cavacos mais longos (UHMEIER, 1995) (FIGURA 14). Buchanan e Duchinicki (1963), identificaram que para os ângulos de facas de 20° e 30° , a formação é feita pelo processo de

abertura, já para ângulos de facas de 40° os cavacos são formados pelo método de cisalhamento

FIGURA 14 – RELAÇÃO DE ÂNGULO (β) X ESPESSURA DOS CAVACOS



FONTE: Uhmeier (1995)

Segundo Hartler (1962a) e Hellstrom (2010), a redução do ângulo de alimentação é favorável quando se deseja cavacos de menor espessura, porém é indesejável quando relacionada a densidade e danos no cavaco. Hartler (1986), pontua que, quanto menor o ângulo de alimentação menor será o diâmetro máximo que poderá ser processado. O ângulo de alimentação ideal depende da finalidade do cavaco.

2.5.4 Desgaste das Facas

O desgaste da ferramenta de corte é definido por Ghosh (2015), como perda de material cortante durante a usinagem da madeira, causada pela interação entre a ferramenta e a peça de trabalho. Essa perda de material se dá com o passar do tempo de processamento. Segundo Saez (2015), a perda pode ser acelerada quando são processados pelos picadores materiais contaminados com pregos ou grampos.

Segundo DEMJANOVSKYJ (1975), citado por KETURAKIS (2010), o desgaste de uma ferramenta acontece em três etapas, sendo elas: Inicial, monotônica

e emergencial. O desgaste da ponta da ferramenta é o mais intenso na primeira etapa, ele é responsável por 40% a 60% de todo o desgaste da ferramenta, enquanto sua duração é de 5% – 10% do tempo trabalhado. Já o desgaste monotônico, segundo o autor, acontece principalmente devido ao desgaste mecânico dos elementos de corte, nessa fase, a face de corte da ferramenta esquenta durante o corte podendo chegar a temperaturas de 700 a 850°C. Temperaturas altas causam mudanças na estrutura do metal, que reduzem a força da ponta do material. Por último o autor cita o estágio de emergência, onde as mudanças na massa da ferramenta de corte e micro geometria da ponta do material atingem os valores mais altos, nesse estágio, a ferramenta não corta mais as camadas de madeira.

O desgaste das facas tem importante influência na qualidade e classificação dos cavacos. Segundo Spinelli (2014), o desgaste das facas do picador resulta de uma série de complexos processos mecânicos, térmicos, elétricos e químicos.

Pode-se dizer que o desgaste das facas piora a qualidade dos cavacos e aumenta o consumo de energia. Sabendo que ângulo de afiação das facas fica, geralmente, entre 30 e 45°, enquanto a espessura varia de 6 a 20 mm. O ângulo de folga das facas geralmente é de 5 a 8°. (LISOWSKI, 2009). A distância entre a faca e o contra facas costuma ser de 0,5 a 1,0 mm. À medida que a lâmina da faca fica desgastada e sem fio, e a folga da faca aumenta além da faixa admissível, a lâmina deve ser substituída por uma nova (GENDEK, 2014), de maneira a evitar a perda de qualidade de material e o consumo de energia do equipamento.

O desgaste da faca é conhecido por afetar a qualidade do cavaco e, especialmente, por aumentar a incidência de partículas de *oversize* e finos. (SPINELLI, 2010). Segundo Gendek (2014), a redução no ângulo de afiação da faca resulta em seu desgaste mais rápido, desgaste esse que é responsável pelo aumento da quantidade de finos em até quatro vezes.

2.6 CONSUMO DE ENERGIA NA PICAGEM DE CAVACOS

Existem vários fatores que podem alterar o consumo de energia dos picadores durante a picagem. Podendo esses fatores, serem inerentes a espécie ou características da madeira, ou, a ajustes dos próprios equipamentos. O'DOGHERTY (1982), expõe que, a afiação de facas afeta consideravelmente o consumo de energia no processo de corte de madeira. A energia necessária para cortar o material com o uso de faca com ponta sem fio pode ser até 4,4 vezes maior do que a energia necessária para cortar com a faca afiada.

Segundo MONTEIRO (2011), existem três principais formas de energia, consumidas nas indústrias, sendo elas: Energia elétrica ativa, que normalmente é expressa em kWh, e é utilizada pelas máquinas para produzir seu trabalho útil; Energia elétrica reativa, que é representada em kVArh, e é a energia que circula continuamente entre os diversos campos magnéticos e elétricos de um sistema de corrente alternada, sem produzir trabalho; e a energia aparente, que é expressa em kVA, e é obtida através da soma vetorial da energia ativa com a energia reativa. A energia aparente é a energia total da instalação elétrica.

Segundo Andrade (2018), os principais problemas enfrentados pela indústria madeireira, geralmente estão vinculados aos altos gastos com energia e as constantes paradas de produção devido à ultrapassagem dos limites de potência nominal dos motores elétricos.

Almeida (2004) expõe que, os motores elétricos são o meio mais indicado para a transformação de energia elétrica em mecânica, em termos industriais. Almeida (2004) explana também que os motores de indução trifásicos (MIT) são amplamente utilizados nas mais variadas aplicações em instalações industriais e comerciais. Eles são adequados para uso em cargas que exigem velocidades constantes ou variáveis (em alguns casos), ou ainda, com as que exigem reversões e várias velocidades.

De acordo com Weg (2010) a maioria das cargas das unidades consumidoras consome energia reativa indutiva, tais como: motores, transformadores, reatores para lâmpadas de descarga, fornos de indução, entre outros. As cargas indutivas necessitam de campo eletromagnético para seu funcionamento, por isso sua

operação requer dois tipos de potência: a) potência ativa: potência que efetivamente realiza trabalho gerando calor, luz, movimento etc. É medida em quilowatt (kW). b) potência reativa: potência usada apenas para criar e manter os campos eletromagnéticos das cargas indutivas. É medida em quilovolt-ampère-reactivo (kVAr).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 MATERIAL

3.1.1 Localização do Estudo

O presente trabalho foi desenvolvido em uma indústria do setor florestal que atua na produção de papel - localizada no Planalto norte Catarinense, município de Três Barras, SC. A empresa em estudo, é separada em duas unidades, sendo elas: divisão de papel e divisão florestal. A divisão de papel é responsável por produzir os papéis *kraftliner* e miolo de alta resistência, sendo constituída pela Fábrica de Papel de Três Barras (FPTB) - onde são produzidas as marcas *Neoliner* e *HyPerform* - papéis usados na confecção da parte externa das caixas de papelão. Já a divisão florestal é responsável pelo fornecimento de 50% da matéria-prima que abastece a fábrica, sendo composto por madeiras das espécies de *Pinus taeda* e *Eucalyptus dunnii*; os outros 50% da madeira, são compostos pelas mesmas espécies, e adquiridos por meio de fornecedores terceiros.

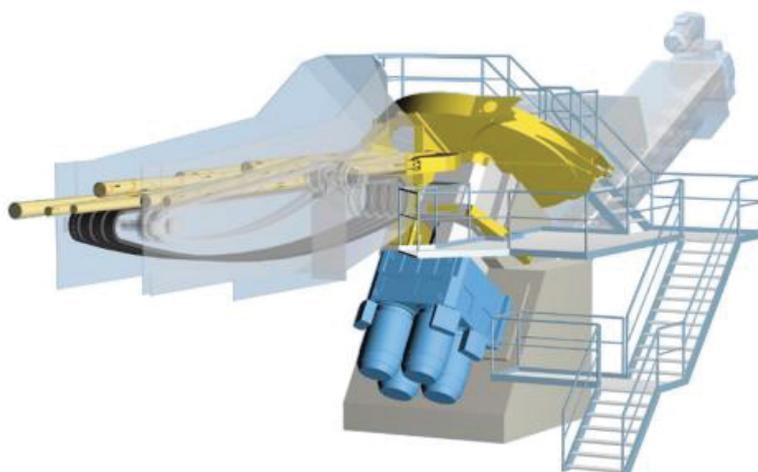
A matéria-prima chega ao pátio de madeiras, transportada por veículos biarticulados, ainda em toras; estas, por sua vez, apresentam sortimentos que variam de acordo com a espécie e fornecedor. Em média, um caminhão biarticulado é descarregado na linha de produção a cada 7 minutos.

As toras são obtidas através do sistema de colheita *full-tree*, em que, a derrubada e o arraste são feitos pelo *Feller buncher* e *Skidder*, respectivamente, e o processamento é realizado na beira do talhão, pelo cabeçote *Harvester*. O tempo médio de armazenagem da madeira desde o momento da derrubada até o processamento na linha de picagem é em média de 60 dias. Durante o período de armazenagem as toras ficam ao ar livre e não passam por nenhum tipo de hidratação.

O processamento das toras, tanto de *Eucalyptus dunnii*, quanto de *Pinus taeda* é feito na mesma linha de picagem. Essa linha tem capacidade média de processo de 380ton/pmh (toneladas por *productive machine hour*) para *Eucalyptus dunnii* e 450ton/pmh para *Pinus taeda*, e é composta por uma série de equipamentos em linha:

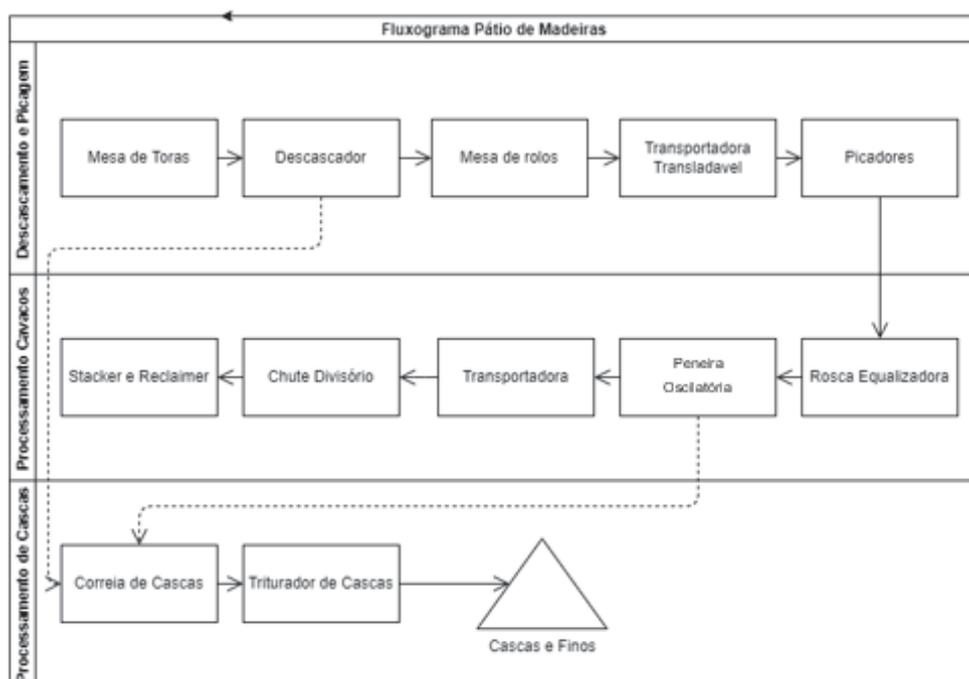
descascador de toras, mesa de rolos, transportadora transladável, picadores de discos de alimentação horizontal (FIGURA 15), peneira classificatória e Stacker. O fluxograma da linha de picagem da empresa está representado na FIGURA 16.

FIGURA 15 - ESQUEMA DE ALIMENTAÇÃO DO PICADOR



FONTE: Andritz (2019).

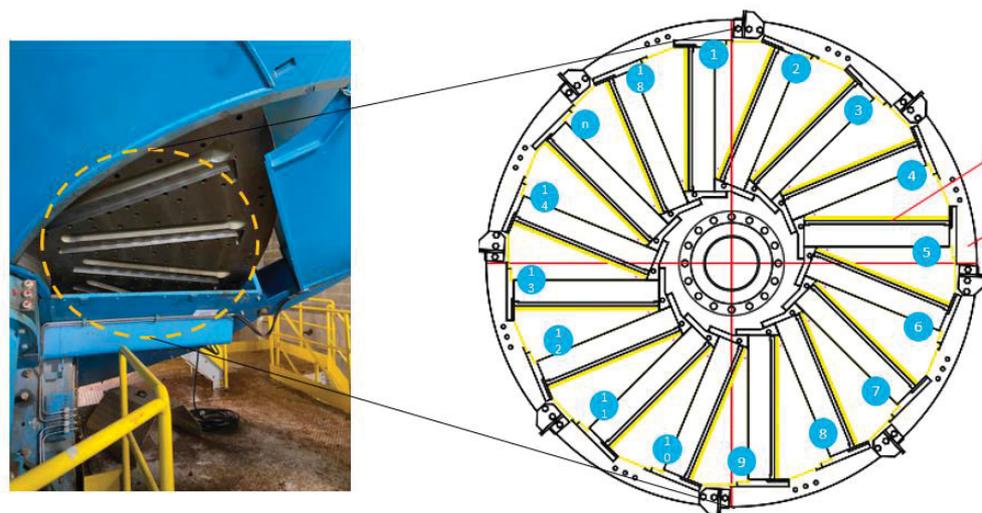
FIGURA 16 - FLUXOGRAMA DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DE CAVACOS DE MADEIRA



FONTE: O Autor (2022).

A velocidade dos equipamentos que antecedem a transportadora transladável é ajustada automaticamente pelo próprio sistema, independentem de alterações do operador. Esse ajuste se dá por sensores, que se adequam ao fluxo de madeira depositada na mesa de toras. Já os parâmetros de picagem do picador são fixos. Sendo a velocidade de rotação do disco 277 rpm, e a velocidade de alimentação das toras de 107 m/min. Os picadores são alimentados por 4 motores trifásicos de 400 kw e 55A, cada. Cada picador possui diâmetro de disco de 4m e é equipado com 18 facas (FIGURA 17). As facas são afiadas pela operação, em média a cada 20 horas trabalhadas, ou seja, horas processadas, seguindo a recomendação do fabricante do picador. Os contra facas são ajustados mensalmente com espessura de 0,6 mm.

FIGURA 17 - ROTOR DO PICADOR DE DISCOS EQUIPADO COM 18 FACAS



FONTE: Andritz – Adaptado (2022).

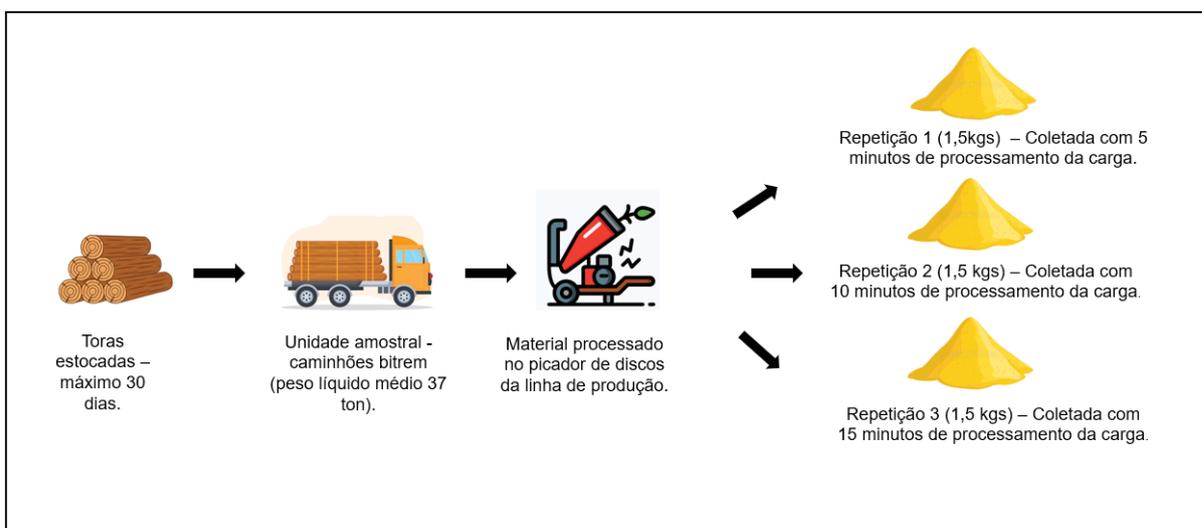
3.1.2 Coleta dos Dados

No momento das coletas, foram usados como unidades amostrais, dezoito caminhões biarticulados - cujos pesos líquidos médios foram de 37 toneladas. Desses, nove caminhões foram provenientes do baldeio de toras de *Pinus taeda* e nove do baldeio de *Eucalyptus dunnii*, oriundos de plantios comerciais da própria empresa. A

madeira baldeada até a linha de picagem possuía tempo máximo de estocagem de 30 dias, desde a data de corte, tempo esse que foi escolhido para padronizar as coletas. Esse tempo é controlado pelo SGIF, programa utilizado pela empresa para gestão do estoque de madeira. O diâmetro médio das toras é de 30 cm, medidos a partir das pontas grossas da tora. Para o presente estudo, não foram consideradas as variáveis climáticas, como períodos de chuva e estação do ano, que ocorreram durante a estocagem das toras.

Para cada veículo foram coletadas três amostras de cavacos. Cada coleta contendo, aproximadamente, 1,5kg, seguindo a norma interna de coleta de amostras de cavaco da empresa, para a análise de classificação granulométrica.

FIGURA 18 – ESQUEMA DE COLETA DAS AMOSTRAS PARA A CLASSIFICAÇÃO GRANULOMÉTRICA



FONTE: O Autor (2023).

De forma a padronizar as coletas das amostras, um primeiro processamento foi realizado, a fim de quantificar o tempo médio para processar uma carga de madeira de 7m, esse processamento foi realizado com madeira de *Pinus taeda*, porém o mesmo tempo foi adotado para ambas as espécies testadas. Para isso, foi retirado todo o material da linha de picagem, de modo a evitar contaminações, e então iniciado o processamento de uma carga. Quando a primeira tora foi colocada na mesa, começou-se a cronometrar o tempo, sendo finalizada a contagem quando a linha ficou

novamente sem madeira, esse processo foi repetido três vezes. Com esse processamento, foi verificado que, o tempo médio para uma carga ser processada na linha é de 15 minutos (TABELA 1). Dessa forma, foi padronizado realizar uma coleta a cada 5 minutos.

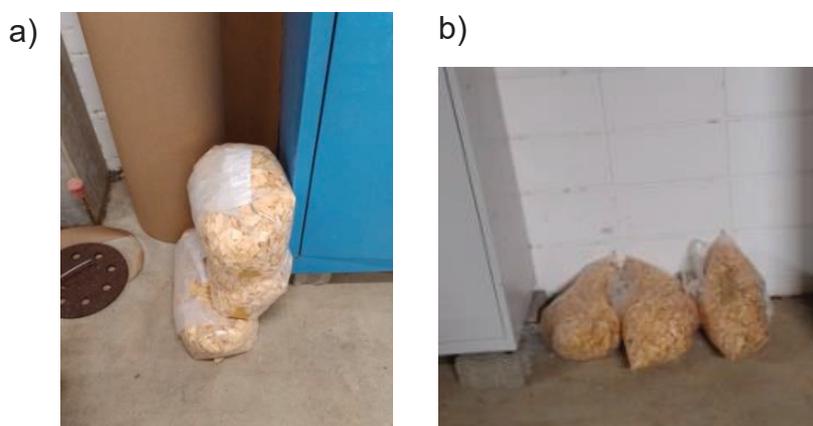
TABELA 1 - PROCESSAMENTO PRELIMINAR DAS CARGAS

Horário Início	Horário Final	Tempo Descarga (min)
12:30	12:45	00:15
12:47	13:01	00:13
13:04	12:20	00:16

FONTE: O autor (2022)

As amostras de cavacos foram coletadas nas roscas equalizadoras (FIGURA 16), com o intuito de avaliar o material antes de ser peneirado, de forma a ser possível determinar as “perdas” de matéria prima, em forma de subprodutos para a queima. Essas roscas são responsáveis por carregar os cavacos recém cortados até as peneiras oscilatórias, onde posteriormente serão classificados e direcionados para as pilhas e, então, digestores. Depois de coletadas, as amostras foram identificadas, colocadas em sacos plásticos, e armazenadas até serem analisadas em laboratório (FIGURA 19).

FIGURA 19 - AMOSTRAS ARMAZENADAS DE *Eucalyptus Dunnii* E *Pinus taeda*



a) Cavacos de *Pinus taeda*; b) Cavacos *Eucalyptus dunii*.

FONTE: O Autor (2022).

A coleta dos dados de energia aconteceu em paralelo a coleta de análise granulométrica. Para essa coleta não houve repetição, sendo realizado apenas um processamento para cada ângulo de gume e espécie testada.

3.2 MÉTODOS

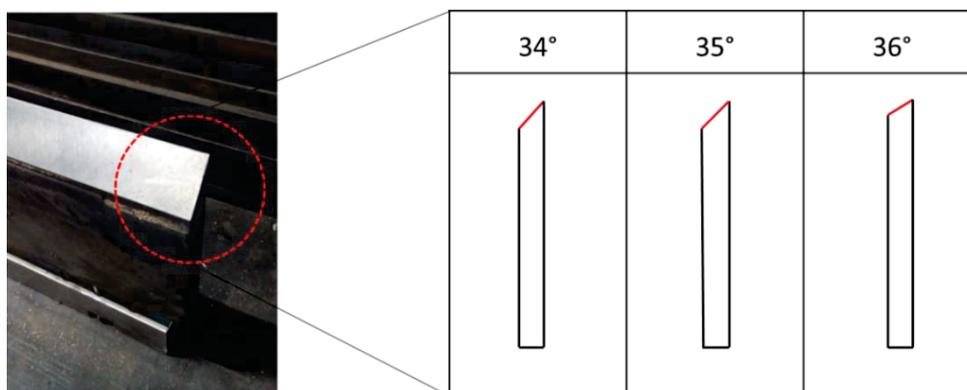
3.2.1 Ângulos de Gume

Foram utilizados três diferentes ângulos de gume de facas, sendo eles: 34, 35 e 36 graus. Considerando o histórico da empresa, o ângulo de gume padrão é de 35 graus. Conforme recomendações do fabricante do picador, esse ângulo pode variar entre 34 e 36 graus.

Uma vez que, o picador utilizado para processar as amostras faz parte de uma linha de produção, não foram testados ângulos fora da especificação recomendada pelo fabricante do picador, a fim de não gerar grandes alterações na qualidade final dos cavacos.

Na FIGURA 20 está representado, em escala ampliada, qual é o comportamento das facas depois de cada afiação.

FIGURA 20 – ANGULOS DO GUME DE CORTE AVALIADOS NO PROCESSAMENTO (34,35 E 36°)



FONTE: O Autor (2022).

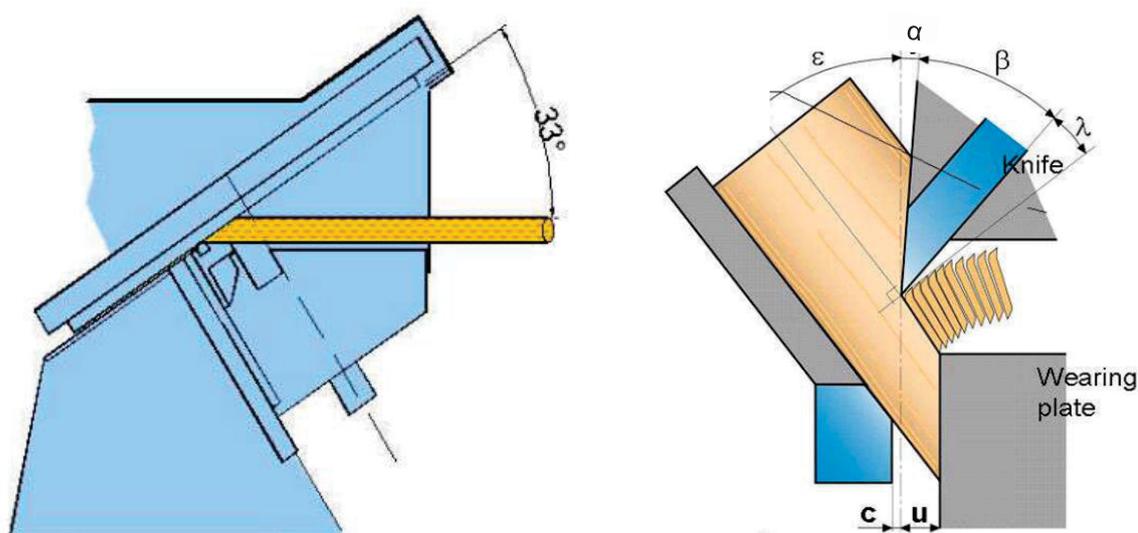
Segundas Hartler (1986), uma vez que o ângulo de corte é complementar a soma dos ângulos de gume, folga e alimentação, quando se muda o ângulo de gume das facas (β), ou o ângulo de alimentação (ϵ), mantendo o de folga (α) constante, muda-se também o ângulo de corte (λ), na mesma proporção (TABELA 2). Na FIGURA 20 (a) estão representados os ângulos do gume de corte do picador testados no trabalho, e na (b) está o esquema de ângulos da formação do cavaco no picador utilizado.

TABELA 2 – ÂNGULOS TESTADOS EM CADA UM DOS TRATAMENTOS

Simbologia	Ângulos (°)		
	A1	A2	A3
Ang. Alimentação (ϵ)	33	33	33
Ângulo de Folga (α)	4	4	4
Ângulo de Gume (β)	34	35	36
Ângulo de Corte (λ)	19	18	17

FONTE: O Autor (2022).

FIGURA 21 - a) ÂNGULO DE ALIMENTAÇÃO DO PICADOR (ϵ); b) - ESQUEMA DE FORMAÇÃO DO CAVACO

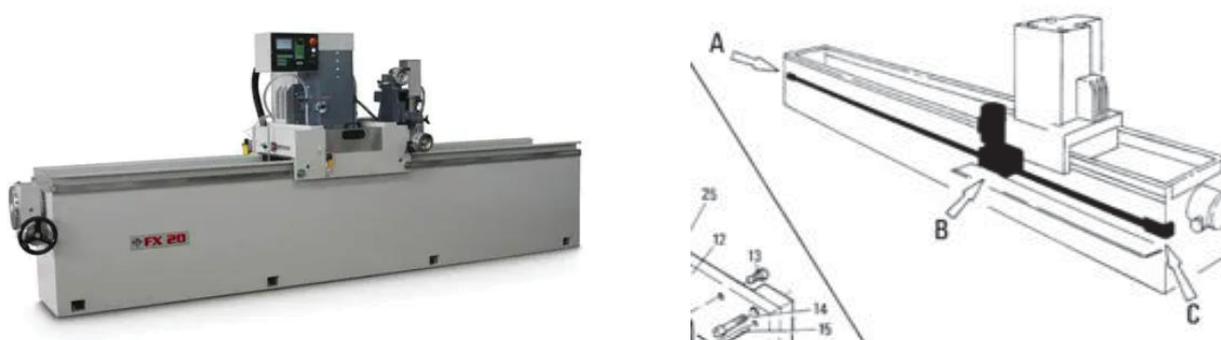


Em que: Ângulo de folga (α); Ângulo da faca ou gume (β); Ângulo complementar ou corte (λ) e ângulo de alimentação (ϵ)

FONTE: Salmi (2005).

O preparo do ângulo de gume foi realizado pela operação da própria empresa, em uma retífica plana do modelo FX-20, marca MVM (FIGURA 22). Essa retífica é composta por uma mesa, onde são alocadas todas as 18 facas do picador, e um carrinho de afiação. Nesse carrinho ficam os rebolos responsáveis pela afiação das facas. O disco do carrinho é composto por oito rebolos com giro no sentido horário que são trocados conforme a necessidade de afiação. O conjunto carrinho-disco rebolos é movimentado por um motor trifásico de indução normal da marca WEG.

FIGURA 22 - RETIFICA USADA NA AFIAÇÃO DAS FACAS



FONTE: Direct Industry - Adaptado (2022).

A velocidade de movimentação do carrinho de afiação é ajustada entre 5 m/min e 5,5 m/min, essa velocidade estipula o número médio de passadas do rebole nas facas, número esse que varia de acordo com o ângulo e a condição das facas. Essa média muda de acordo com as condições de uso das facas, ou seja, se sofreram avarias por pedras, areia e arame.

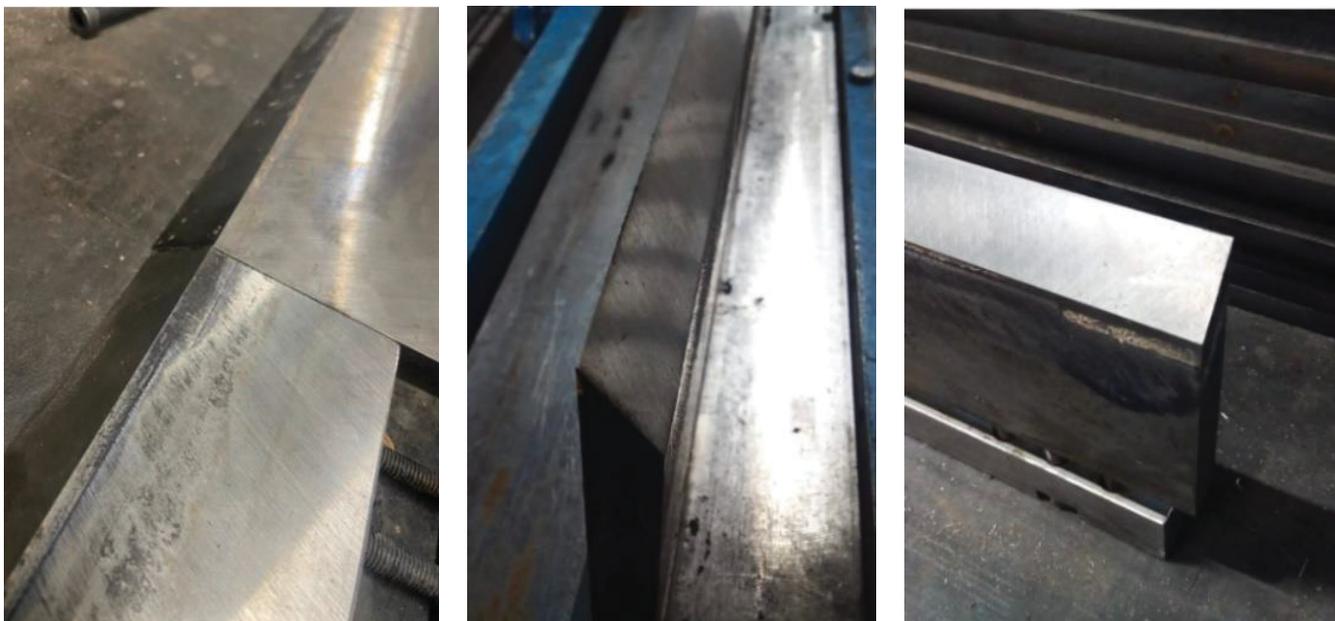
Para dar início a afiação, as facas foram limpas e posteriormente colocadas na mesa magnética. As facas foram então posicionadas na retífica e o ângulo de corte ajustado na lateral da mesa, esse procedimento foi realizado para cada um dos ângulos selecionados (FIGURA 23). A última etapa, foi de travar a mesa da retífica e posicionar o rebole do carrinho sobre a face de afiação, e então ligar o equipamento. Na FIGURA 24 estão representadas as facas depois da afiação.

FIGURA 23 - AJUSTE DO ÂNGULO DE GUME DE 35 GRAUS NA RETÍFICA



FONTE: O Autor (2022).

FIGURA 24 - FACAS AFIADAS COM DIFERENTES ÂNGULO DE GUME



FONTE: O Autor (2022).

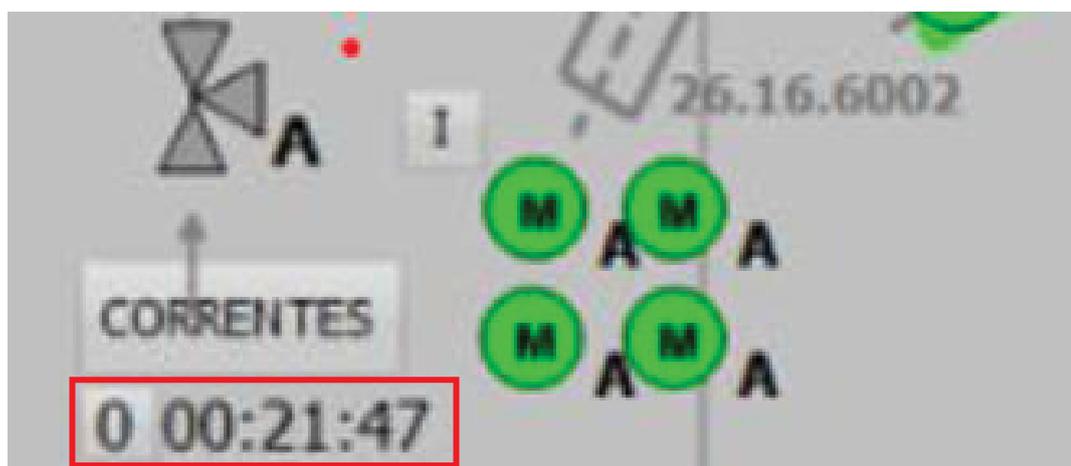
3.2.2 Tempo de Processamento das Facas

De acordo com o histórico de afiação de facas, retirado do Sistema Digital de Controle Distribuído (SDCD) do painel de operação, o tempo médio de vida útil de um jogo de facas nessa empresa, é de 20 horas processadas.

Como horas processadas, foram consideradas as horas em que o picador estava efetivamente cortando a madeira, sendo desconsiderados desse cálculo os tempos de: troca de facas, entupimentos na linha, manutenções programadas e não programadas, troca de espécie, falta de madeira, falta de operador e, trocas de turno.

Esse tempo é calculado usando um cronômetro, que fica na tela do painel de operação (FIGURA 25), esse cronômetro é zerado, manualmente, a cada troca de facas, e, a partir do momento em que o picador é ligado novamente, ele inicia a contagem do tempo em que o picador está processando, essa contagem se dá pela corrente do equipamento, se o equipamento estiver desligado, não haverá registro.

FIGURA 25 - CRONOMETRO DE PROCESSAMENTO DAS FACAS



FONTE: O Autor (2022).

Sabendo que, a indústria em questão possuiu uma única linha de processamento que é usada tanto para *Pinus taeda* como para *Eucalyptus dunnii*, e que, em um dia, normalmente, é processado *Pinus taeda* durante 12h e *Eucalyptus* durante 12h. Para padronizar o efeito de espécie no desgaste do material de corte, foi

reduzido o tempo de análise das facas para 10pmh (productive machine hour - hora produtiva de máquina). Conseguindo assim, um processamento contínuo de uma só espécie na linha durante a realização dos testes. Dessa forma, para o presente trabalho, foram retiradas amostras com 0 pmh – logo após a troca de facas, 5pmh e 10pmh.

O estudo foi conduzido em escala industrial, não podendo interferir no processo produtivo programado, dessa forma, ao decorrer das 10 horas produtivas avaliadas, o processamento seguiu conforme o cronograma de picagem da empresa, sendo processados toras de diferentes diâmetros e tempos de estocagem. Entretanto, no momento de cada coleta, foi seguido o procedimento do item: *3.2.1 – Coleta de Dados*.

3.2.3 Classificação Granulométrica dos Cavacos

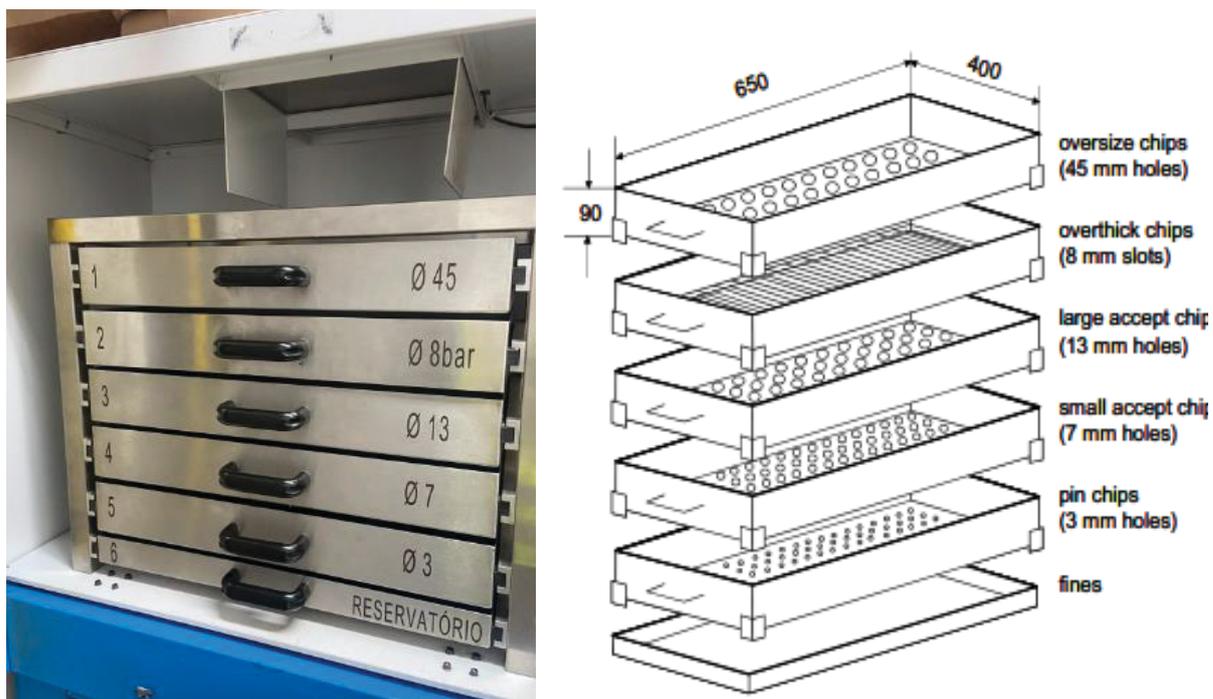
A classificação granulométrica dos cavacos foi feita seguindo a norma SCAN-CM 40:01, norma escandinava seguida pela empresa, que, classifica os cavacos em seis diferentes classes, usando um classificador (FIGURA 26). De acordo com a norma, o produto que fica retido em cada uma dessas classes, são denominados como:

TABELA 3 - CLASSIFICAÇÃO GRANULOMÉTRICA DOS CAVACOS POR TAMANHO SEGUINDO A NORMA SCAN-CM 40:01

Classe	Abertura da Peneira	Observação
<i>Oversize</i>	45mm	Cavacos que não passam pela primeira peneira do classificador
<i>Overthick</i>	8mm	Relacionado a espessura dos cavacos, essa classe engloba os cavacos que passam pela primeira peneira do classificador, mas ficam retidos na segunda peneira.
<i>Large Accept</i>	13mm	Cavacos que ficam retidos na terceira peneira do classificador.
<i>Small Accept</i>	7mm	Cavacos que ficam retidos na quarta peneira do classificador.
<i>Pin Chips</i>	3mm	Cavacos que ficam retidos na quinta peneira do classificador.
<i>Fines (Finos)</i>	<3mm	Partículas que passam por todas as peneiras do classificador e ficam retidas na última gaveta.

Fonte: O autor (2023).

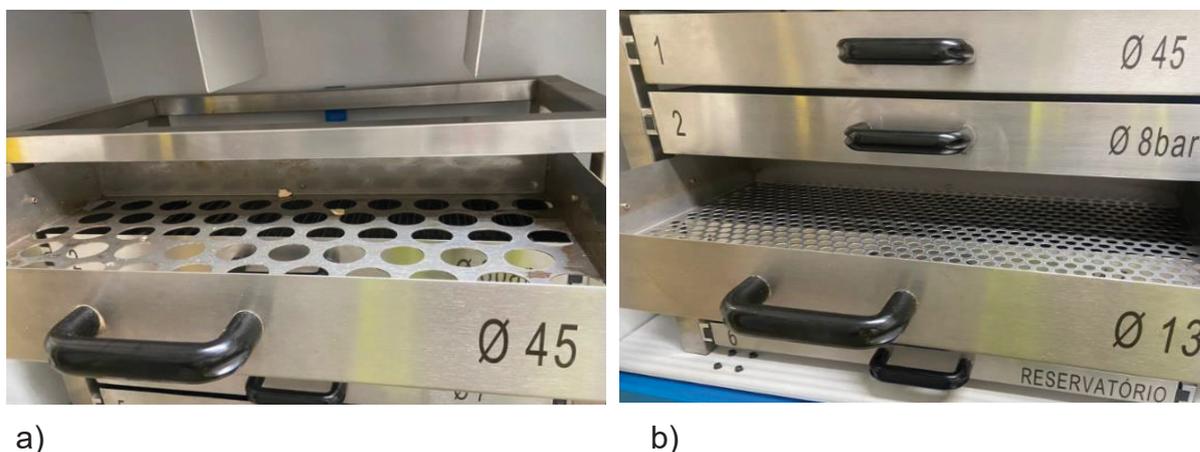
FIGURA 26 – CLASSIFICADOR DE CAVACOS DE LABORATÓRIO



FONTE: Norma SCAN CM 40:01 – Adaptado (2022).

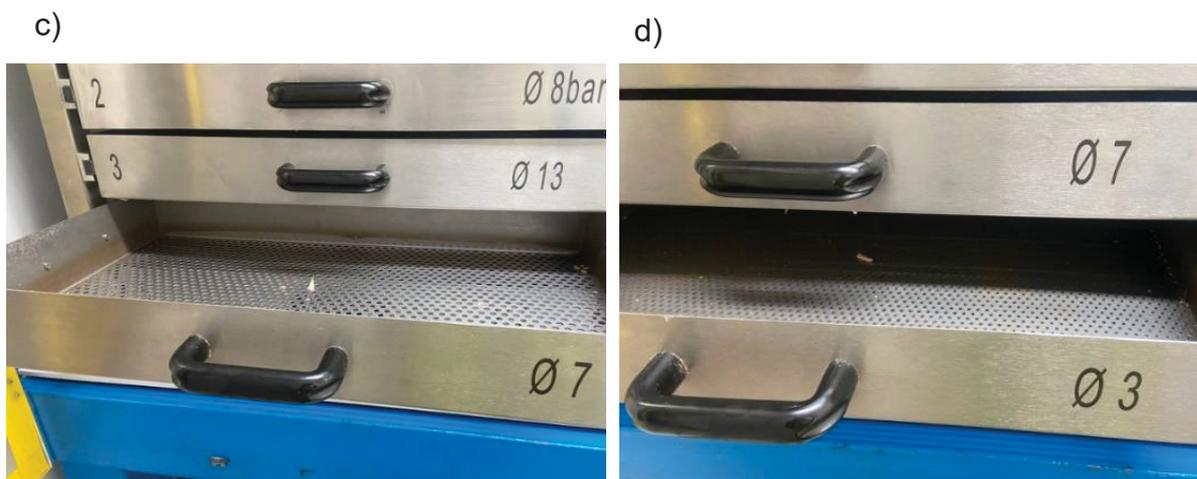
As gavetas 1, 3, 4, 5 e 6, são compostas por peneiras com aberturas circulares, para classificar os cavacos por tamanho (FIGURA 27), já a gaveta 2 é composta por uma peneira com hastes cilíndricas paralelas, que classificam os cavacos pela espessura (FIGURA 28). A parte inferior de cada uma das peneiras, segundo a norma, deve ter as dimensões de 650mm x 400mm, e a altura entre uma gaveta e outra deve ser de 90mm (FIGURA 26).

FIGURA 27 - GAVETAS COMPOSTAS POR PENEIRAS COM ABERTURAS CIRCULARES



a)

b)



NOTA: (b) e (c) – Gavetas onde ficam retidos os cavacos da classe aceite.

FONTE: O Autor (2022).

FIGURA 28 - GAVETA COMPOSTA POR PENEIRA COM HASTE CILÍNDRICA



FONTE: O Autor (2022).

Para iniciar a classificação, primeiramente foi depositado a amostra de aproximadamente 1,5 kg na primeira peneira, e posteriormente ligado o equipamento, que fica em movimentos circulares lentos, por aproximadamente 10 minutos. Passados os 10 minutos o equipamento desliga, e então, deve-se imediatamente pesar o conteúdo retido nas peneiras de cada uma das gavetas, em balanças de precisão.

3.2.4 Consumo de Energia

Os dados utilizados para quantificar o consumo de energia, foram coletados a partir do *PI System*, software utilizado pela empresa, que consiste em um sistema de registros operacionais que permite, a partir da coleta e processamento dos dados, auxiliar na tomada de decisões e aprimoramento dos processos.

A coleta dos dados registrados pelo *PI System*, acontece por meio de *tags* (etiqueta ou rótulos), que são pontos de armazenamento de dados. Qualquer *tag* existente sempre poderá ser convertida em gráficos, que podem ser plotados ao longo de um determinado período. Os dados são então armazenados no *Data Archive* e podem ser acessados nos ativos definidos no *Asset Framework (AF)*. Os dados podem ser acessados diretamente do *Data Archive* ou do Servidor AF com as ferramentas do *PI Visualization Suite* como o *PI ProcessBook* ou o *PI Vision* (OSISOFT, 2017).

Para os dados de energia, foram utilizadas quatro *tags*, cada uma delas, medindo a corrente elétrica, em percentual, de um dos motores do picador. A coleta dos dados seguiu da seguinte maneira: para cada um dos ângulos de corte, foram coletados os dados de corrente, em percentual, com intervalo de 10 segundos, durante as 10 horas de processamento. Sabendo que a corrente em ampere máxima é 55, fez-se uma correlação para encontrar o valor em ampere medido (ANEXO). Com a finalidade de estimar o consumo de energia fez-se necessário transformar os valores em potência, através da fórmula 2 (Tawfk, 2017).

$$P = (V \times I \times \sqrt{3} \times \cos \theta) / 1000 \quad (2)$$

Onde:

P = Potência em kW;

V = Tensão elétrica da rede usada no equipamento, em Watt;

I = Corrente elétrica, em A.

$\cos \theta$ = Fator de potência (sendo 0,89)

Os picadores são equipados com quatro motores trifásicos, que possuem tensão elétrica - segundo manual do fabricante - de 4160 watts, para esse cálculo essa variável foi considerada fixa. Ainda segundo o manual do fabricante, a corrente elétrica máxima de cada um dos motores é de 55 A. O fator de potência utilizado pela fábrica é fixo, e para esse cálculo foi usado 0,89.

O consumo específico de energia em (kW.h/ton) foi calculado seguindo a fórmula 3 (Tawfk, 2017).

$$CEE = P/Produtividade \quad (3)$$

Onde:

Consumo Específico de Energia = Consumo específico de Energia, em kW.h/ton;

P = Potência, em kW;

Produtividade = Produção, em ton.

A produtividade foi calculada através dos dados retirados da planilha eletrônica preenchida pela operação da empresa. Essa planilha consiste em um arquivo Excel, onde os dados de massa dos caminhões descarregados na linha são apontados. Com isso, é possível saber o quanto de madeira foi processada em um dado período.

3.3 ESQUEMA DE COLETA DOS DADOS

3.3.1 Granulometria dos Cavacos

Foram coletados dados para os gêneros de *Pinus taeda* e de *Eucalyptus dunnii* para cada uma dessas espécies os dados foram divididos em 9 tratamentos. Para cada tratamento, foram testados: um ângulo de gume; e um tempo de processamento das facas. Com a finalidade de avaliar o desgaste da ferramenta de corte, para cada ângulo de gume. Foram feitas coletas de três tempos: 0, 5 e 10phm, como representado na TABELA 4 Cada tratamento teve 3 repetições.

TABELA 4 - ESQUEMA DE COLETA DE DADOS PARA *Eucalyptus Dunnii* E *Pinus taeda*

Tratamento	Ângulo de Gume (°)	Tempo de Facas (h)	Repetições
T1	34	0	R1
	34	0	R2
	34	0	R3
T2	34	5	R1
	34	5	R2
	34	5	R3
T3	34	10	R1
	34	10	R2
	34	10	R3
T4	35	0	R1
	35	0	R2
	35	0	R3
T5	35	5	R1
	35	5	R2
	35	5	R3
T6	35	10	R1
	35	10	R2
	35	10	R3
T7	36	0	R1
	36	0	R2
	36	0	R3
T8	36	5	R1
	36	5	R2
	36	5	R3
T9	36	10	R1
	36	10	R2
	36	10	R3

FONTE: O autor (2023).

3.3.2 Consumo de energia na picagem dos cavacos

Tanto para o *Pinus taeda* quanto para o *Eucalyptus dunnii*, os dados de consumo de energia tiveram o início da coleta quando as facas recém afiadas – 0h - foram colocadas no picador, e, terminaram, com 10h de processamento. Os tempos em que as correntes apresentaram valores inferiores a 18 A, foram desconsiderados, uma vez que, esse valor representa carga baixa para esse equipamento, o que indica que não tem madeira sendo processada. Para facilitar a interpretação e processamento dos dados, os resultados obtidos de corrente elétrica foram agrupados em valores médios por hora (ANEXO).

3.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Para análise estatística dos dados, foi realizado uma MANOVA, para observar se os tratamentos foram significativos. As variáveis resposta foram separadas em cinco categorias, de modo que permitisse uma melhor comparação entre os resultados, sendo elas: *Small Accept* e *Large Accept*, que foram agrupadas em uma única variável denominada “Aceite”; *Oversize*; *Overthick*; *Pin* e Finos. Inicialmente foi realizado uma análise de correlação utilizando o software Excel, de forma a entender melhor comportamento dos dados, uma vez que, existem muitas variáveis interagindo.

Os dados relativos às variáveis avaliadas foram analisados por meio da análise de variância multivariada (MANOVA) e análise discriminante. Foi realizada uma MANOVA que considerou todas as variáveis medidas em um único conjunto, englobando as variáveis *Oversize*, *Overthick*, *Aceite*, *Pin* e Finos, em função dos fatores Ângulo, Espécie e Tempo de Processamento. As estatísticas utilizadas para avaliar a significância das diferenças entre os fatores foram Traço de Pillai, Lambda de Wilks, Traço de Hotelling e Maior raiz de Roy, as quais foram aplicadas após constatar aproximação de normalidade multivariada e matriz de variância-covariâncias homogêneas.

Uma vez detectada a rejeição da hipótese de nulidade multivariada, foi feita a análise discriminante para o conjunto de variáveis descritas, com o intuito de separar os tratamentos testados e identificar as variáveis mais importantes na separação. O número de funções discriminantes determinadas considerou um mínimo de 80% da variância total explicada. As variáveis mais importantes foram indicadas por meio da maior correlação canônica entre a variável original e a função discriminante.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 ANÁLISE DE CORRELAÇÃO

Com o intuito de entender melhor o comportamento das variáveis, foi realizada uma análise de correlação de Pearson para *Pinus taeda* (TABELA 5), e *Eucalyptus dunnii* (TABELA 6). Como resultado, foi possível identificar alta correlação entre as variáveis testadas. Dessa forma, entendeu-se que a análise estatística mais adequada para analisar os dados, era a multivariada.

TABELA 5 - ANÁLISE DE CORRELAÇÃO DAS VARIÁVEIS PARA *Pinus taeda*

	Oversize	Overthick	Pin	Finos	Accept
Oversize	1				
Overthick	0,390992	1			
Pin	-0,50179	-0,12884	1		
Finos	-0,16222	0,262194	0,596031	1	
Aceite	-0,37836	-0,85555	-0,29444	-0,58675	1

FONTE: O autor (2023).

TABELA 6 - ANÁLISE DE CORRELAÇÃO DAS VARIÁVEIS PARA *Eucalyptus Dunnii*

	Oversize	Overthick	Pin	Finos	Accept
Oversize	1				
Overthick	0,228288	1			
Pin	-0,00719	0,256557	1		
Finos	0,059149	0,196037	0,56563	1	
Aceite	-0,16278	-0,58405	-0,84701	-0,70945	1

FONTE: O autor (2023).

Nas tabelas expostas acima, é possível observar que variáveis importantes, como o aceite possuem correlação inversa com as classes de *Overthick*, *Pin* e *Finos* (TABELA 6), indicando que, quando uma aumenta, as outras diminuem. O mesmo comportamento foi observado na TABELA 6 para a correlação entre a classe aceite e *Overthick* e *Finos*. Resultado esse, que é interessante, uma vez que, a classe aceite é o produto das outras classes, o que explica o comportamento encontrado.

4.2 AVALIAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA DOS CAVACOS

Os resultados da MANOVA, considerando todas as variáveis testadas, para *Pinus taeda* e *Eucalyptus dunnii*, estão apresentados na

TABELA 7. Os valores dos testes de médias estão no anexo do presente estudo.

TABELA 7 - RESULTADOS DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA MULTIVARIADA PARA O CONJUNTO COMPOSTO POR TODAS AS VARIÁVEIS AVALIADAS.

	Efeito	Valor	F	Significância
Angulo	Rastreio de Pillai	0,321	1,263	0,27
	Lambda de Wilks	0,695	1,277	0,262
	Rastreio de Hotelling	0,416	1,289	0,257
	Maior raiz de Roy	0,349	2,304	0,067
Tempo	Rastreio de Pillai	0,638	3,09	0,003
	Lambda de Wilks	0,457	3,065	0,003
	Rastreio de Hotelling	0,979	3,035	0,003
	Maior raiz de Roy	0,668	4,410	0,003
Espécie	Rastreio de Pillai	0,941	101,805 ^b	<0,0001
	Lambda de Wilks	0,059	101,805 ^b	<0,0001
	Rastreio de Hotelling	15,907	101,805 ^b	<0,0001
	Maior raiz de Roy	15,907	101,805 ^b	<0,0001
Angulo* Tempo	Rastreio de Pillai	0,427	0,836	0,666
	Lambda de Wilks	0,626	0,811	0,695
	Rastreio de Hotelling	0,516	0,786	0,725
	Maior raiz de Roy	0,295	2,067 ^c	0,093
Ângulo* Espécie	Rastreio de Pillai	0,279	1,068	0,399
	Lambda de Wilks	0,727	1,107	0,371
	Rastreio de Hotelling	0,369	1,143	0,346
	Maior raiz de Roy	0,348	2,294 ^c	0,068
Tempo* Espécie	Rastreio de Pillai	0,805	4,446	<0,0001
	Lambda de Wilks	0,325	4,824	<0,0001
	Rastreio de Hotelling	1,675	5,194	<0,0001
	Maior raiz de Roy	1,387	9,153	<0,0001
Angulo*Tempo* Espécie	Rastreio de Pillai	0,485	0,965	0,507
	Lambda de Wilks	0,58	0,957	0,518
	Rastreio de Hotelling	0,62	0,945	0,532
	Maior raiz de Roy	0,4	2,801	0,031

FONTE: O autor (2023)

Os resultados indicam que, para os testes aplicados na MANOVA, houve diferenças significantes entre a interação Tempo versus Espécie ($\alpha < 0,05$). Os fatores Tempo e Espécie também foram significantes ($\alpha < 0,05$). Contudo, o fator Ângulo, assim como a interação Ângulo versus Tempo e Ângulo versus Tempo versus Espécie, não revelaram diferença significativa para a análise multivariada.

O resultado encontrado para os fatores Tempos e Espécie, já eram esperados. Porém, os resultados para os ângulos do gume não estão de acordo com a literatura. KETURAKIS (2010), em estudo sobre a influência do ângulo de gume no desgaste inicial de facas utilizadas na operação de fresagem da madeira, testou dois ângulos, 40° e 50°, e encontrou que o maior desgaste aconteceu para o ângulo de 40°, enquanto as facas afiadas com 50° se mostraram mais resistentes ao desgaste. ABDALLAH (2011), avaliando dois diferentes ângulos de gume, de 25° e 34°, no processamento de toras de Abeto com um picador de discos, constatou que, o percentual de cavacos no range entre 6 e 8 mm, aumentou na medida em que o ângulo de gume também aumentou, passando de 37% para 44%. RECZULSKI (2014) explica que a redução do valor do ângulo de gume resulta em uma melhor qualidade dos cavacos de madeira, em um primeiro momento.

A baixa variação nos resultados referentes aos ângulos de gume pode ser explicada, em parte, pela baixa variação nos graus dos ângulos testados – que foram muito menores no presente estudo, quando comparados a literatura. Entretanto, importante ressaltar que os valores do ângulo de gume utilizados para a produção dos cavacos foram o extremo mínimo (34°) e máximo (36°) recomendados pelo fabricante do equipamento. Ademais, a maior parte da literatura sobre o processo de corte em madeira foca em outras operações de corte, como por exemplo, o aplainamento e serragem mecânica. Conforme verificado por Smith (2008), facas mais afiadas, ou seja, com menores ângulos de gume, tendem a sofrer menores desgastes iniciais, pois durante o corte são penetradas com uma espessura muito menor no material de trabalho, o que diminui o desgaste lateral sofrido pela faca. A baixa variação nos graus das facas, testadas nesse trabalho, deve-se ao estudo ter sido realizado em escala industrial, não podendo gerar grandes impactos de qualidade ao cavaco enviado a planta de pasta celulósica.

Para a interação Espécie versus Tempo, duas funções discriminantes foram determinadas, explicando 97,8% da variabilidade total, apresentando uma correlação entre as variáveis avaliadas e as funções discriminantes maiores do que 0,61 (

TABELA 8).

TABELA 8 - RESULTADOS REFERENTES A PORCENTAGEM DA VARIÂNCIA TOTAL EXPLICADA PELAS FUNÇÕES DISCRIMINANTES OBTIDAS, RELATIVAS AOS AUTOVALORES ENCONTRADOS E COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO CANÔNICA PARA CADA UMA DAS FUNÇÕES DISCRIMINANTES ENCONTRADAS.

Função	Autovalor	% de variância	% cumulativa	Correlação canônica
1	12,898	93,3	93,3	0,963
2	0,616	4,5	97,8	0,617
3	0,248	1,8	99,6	0,446
4	0,040	0,3	99,9	0,195
5	0,020	0,1	100,0	0,140

FONTE: O autor (2023)

A primeira função discriminante foi formada pelas variáveis *Overthick* e *Aceite*, como sendo as de maior peso (correlação canônica) a ela associada, enquanto para a segunda função discriminante as variáveis de maior peso foram *Oversize* e *Finos*. As demais variáveis apresentaram baixa correlação nas duas primeiras funções discriminantes e, por isso, foram eliminadas das análises.

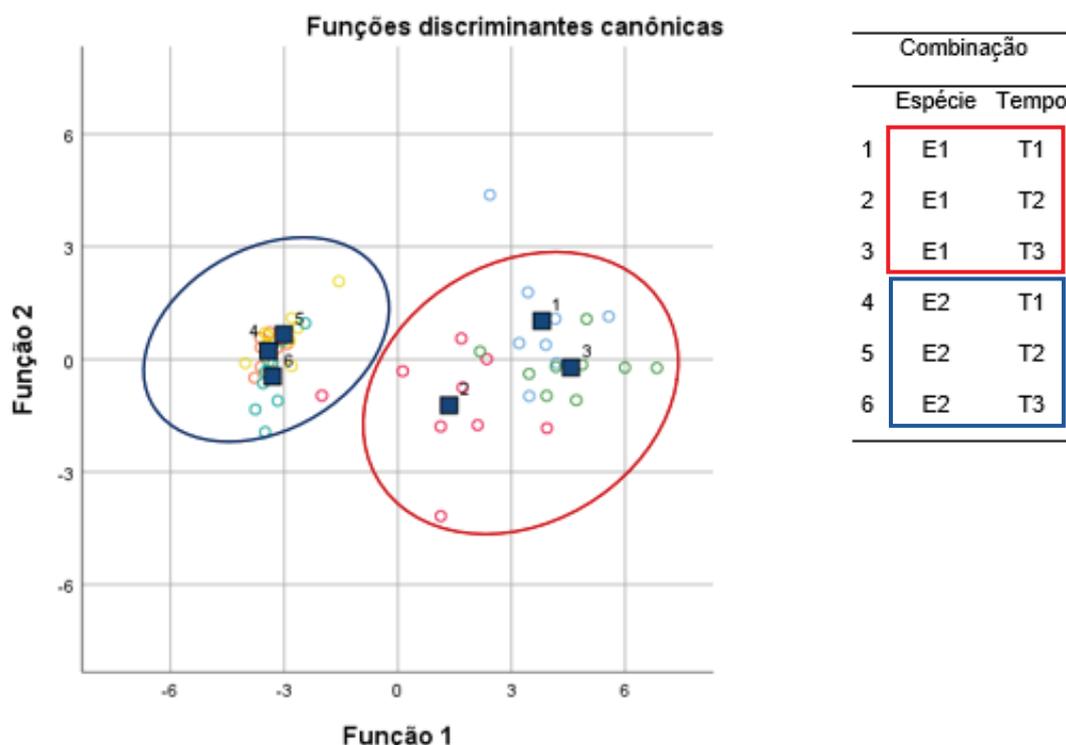
TABELA 9 - RESULTADOS DAS CORRELAÇÕES CANÔNICAS ENTRE AS VARIÁVEIS ORIGINAIS AVALIADAS E AS FUNÇÕES DISCRIMINANTES OBTIDAS.

	Função				
	1	2	3	4	5
<i>Overthick</i>	0,936*	-0,332	-0,007	0,029	0,116
<i>Aceite</i>	-0,701*	0,532	0,364	-0,274	0,137
<i>Pin Chips</i>	0,021	-0,013	-0,814*	0,520	-0,256
<i>Oversize</i>	0,271	-0,596	0,660*	0,119	-0,350
<i>Finos</i>	0,225	-0,536	-0,654*	0,276	0,398

FONTE: O autor (2023)

As funções discriminantes obtidas levaram a formação de 2 grupos (Figura 1). O primeiro grupo é formado pelas combinações E1T1, E1T2 e E3T3. Enquanto o segundo grupo é formado pelas combinações E2T1, E2T2 e E2T3.

FIGURA 29 - RESULTADOS DAS FUNÇÕES DISCRIMINANTES 1 E 2, PARA AS COMBINAÇÕES ENTRE ÂNGULOS E TEMPOS, COM OS RESPECTIVOS GRUPOS CENTROIDES, PARA O CONJUNTO DE TODAS AS VARIÁVEIS AVALIADAS.



FONTE: O autor (2023). Onde: E1 – *Pinus taeda*; E2 – *Eucalyptus dunni*.

Avaliando os resultados dos centroides (TABELA 10) e as médias das variáveis originais obtidas (TABELA 11) para as combinações Espécie e Tempo, para o primeiro grupo observou-se os maiores valores médios para as variáveis *Oversize*, *Finos* e *Overthick*, e baixos para o *Aceite*. O segundo grupo apresentou os menores valores médios para as variáveis *Finos*, *PIN*, *Oversize* e *Overthick* e o maior valor médio para *Aceite*.

TABELA 10 - RESULTADOS OBTIDOS PARA OS CENTROIDES DE CADA COMBINAÇÃO.

Espécie	Tempo	Função				
		1	2	3	4	5
Pinus	T1	3,802	1,022	-0,606	0,033	0,049
Pinus	T2	1,353	-1,225	-0,126	0,227	0,101
Pinus	T3	4,571	-0,219	0,609	-0,176	-0,097
Eucalipto	T1	-3,413	0,219	0,255	-0,185	0,217
Eucalipto	T2	-3,010	0,660	0,432	0,261	-0,106
Eucalipto	T3	-3,303	-0,457	-0,564	-0,160	-0,164

FONTE: O autor (2023)

Para o Tempo de Processamento, as variáveis que revelaram significância para os testes de média foram “Aceite” e *Overthick* (ANEXO). Vale ressaltar que essas são as variáveis mais importantes no que diz respeito a qualidade da distribuição granulométrica dos cavacos.

O segundo grupo, formado pela combinação entre os tempos de processamento e o gênero de eucalipto, é o que apresenta maiores valores médios para a variável de aceite. Ao analisar o fator tempo - dentro desse grupo (TABELA 11), é possível identificar que o que obteve maior média de aceite e menores resultados de *Oversize*, *Overthick* e Finos foi o T1, já T3 apresenta tendência inversa, com a menor média de aceite e maiores valores para *Overthick* e Finos.

Ainda no segundo grupo, as amostras coletadas com 10pmh de processamento (T3), diferiram estatisticamente das demais, apresentando valores médios de aceite de 89,92%, número esse que é 1,5% menor do que quando comparado as amostras com facas recém afiadas (TABELA 11). Esse resultado está coerente com a literatura. E, possivelmente, está relacionado com o desgaste do material de corte. FACELLO (2013), ao comparar facas desgastadas de um picador, com facas novas, em espécies de *hardwood*, chegou à conclusão similar, uma vez que, os resultados obtidos para facas desgastadas, gerou aumento na incidência de cavacos fora da especificação o que, por consequência, reduziu o percentual de aceite. Esse comportamento está relacionado com a redução da estabilidade do gume, que é danificada pelo aquecimento da ferramenta com o tempo de uso, o que deixa a sua ponta mais quebradiça (DON, 1989). O resultado obtido para finos revelou diferença estatística para o tempo de 10h (TABELA 10), que está de acordo com a literatura. SPINELLI (2010) explica que o desgaste da faca é conhecido por afetar a qualidade do cavaco e, especialmente, por aumentar a incidência de partículas de *Oversize* e Finos.

Para o primeiro grupo, formado pela combinação entre *Pinus* e os tempos de processamento, novamente, o tempo que obteve a menor média de *aceite* e o maior percentual de *Oversize* e *Overthick* foi o T3 (TABELA 11), indicando ser o pior tempo testado. É importante destacar que, quando não há um peneiramento eficiente, e, chegam aos digestores, a presença de *Overthick* e *Oversize* causam diversos problemas, como entupimento de linhas, necessidade de aumento na dosagem de químicos, cozimentos não uniformes e *shives*, de forma que essa combinação representa a pior, do ponto de vista de qualidade e custo para a empresa.

Contudo, analisando a FIGURA 29, é possível observar que, para *Pinus taeda*, houve uma dispersão maior dos dados, indicando que os resultados são mais sensíveis a variações para essa espécie. Em termos de aceite, o T2 diferiu estatisticamente dos demais, apresentando percentual de aceite de 81,96%. Esse resultado pode estar relacionando ao fato de a madeira de *Pinus taeda* possuir maior rendimento operacional na linha da empresa estudada. Fato esse que acontece devido a maior facilidade no descascamento e picagem da espécie, devido a densidade e forma de desprendimento das cascas, de forma que chega ao picador em maior volume quando comparado com a madeira de *Eucalyptus dunnii*, se não for corretamente dosada pelo operador do painel de controle. Esse acréscimo de volume pode causar sobreposição das toras, o que as tira do ângulo correto de entrada no picador. Esse efeito é parecido com o que acontece em picadores alimentados por gravidade. TWADDLE & WATSON (1992b) e NATI et al. (2014), sugerem que em picadores com alimentação por gravidade as toras apresentam orientação altamente variáveis durante a picagem o que acaba gerando cavacos de maiores tamanhos.

Outro fator que pode estar relacionado com a diferença entre as espécies, são os desgastes das peças internas do picador. Estudos mostram que diferenças nos ajustes do contra-faca, como desgastes, causam alterações na distribuição granulométrica dos cavacos (ALIPRAJA, 2022). Porém, para afirmar, seriam necessárias avaliações de desgaste a cada coleta de amostra, o que não foi realizado nesse estudo.

TABELA 11 - RESULTADOS EM (%) OBTIDOS PARA AS MÉDIAS DE CADA COMBINAÇÃO PARA AS VARIÁVEIS PIN, FINOS, ACEITE, OVERSIZE E OVERTHICK

Espécie	Tempo	FD1			FD2	
		Overthick	Aceite	Pin	Oversize	Finos
E1 (Pinus)	T1 (0h)	9,47	80,51	7,50	0,77	1,57
E1 (Pinus)	T2 (5h)	7,47	81,96	7,12	1,53	1,76
E1 (Pinus)	T3 (10h)	10,90	78,91	6,31	2,13	1,53
E2 (Eucalipto)	T1 (0h)	1,03	91,69	6,34	0,00	0,77
E2 (Eucalipto)	T2 (5h)	1,30	91,36	6,54	0,10	0,64
E2 (Eucalipto)	T3 (10h)	1,41	89,92	7,26	0,02	1,12

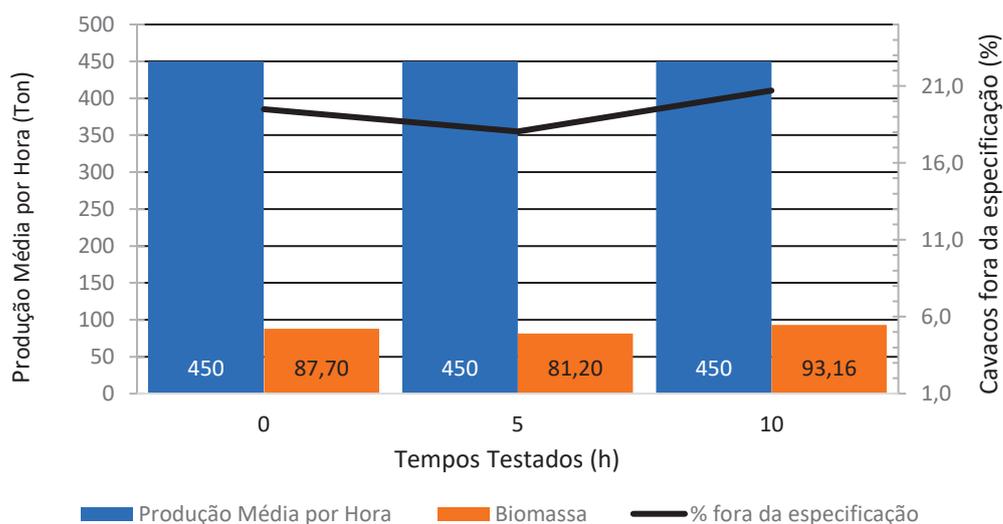
FONTE: O autor (2023)

Ao relacionar os dados de produção média da linha por espécie - em toneladas por hora - com os de material fora de especificação – cavacos fora da classe aceite -

obtidos para cada um dos tempos, foi possível estimar a quantidade de material não destinados para a celulose – biomassa para queima. Esse dado é importante, uma vez que está diretamente relacionado ao custo da madeira, que é fator primordial para a competitividade das indústrias produtoras de papel e celulose.

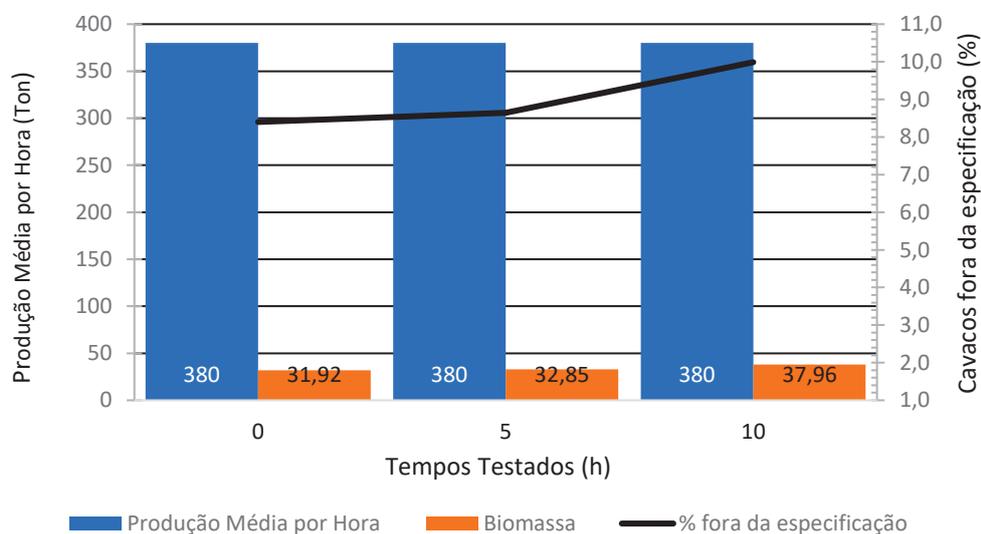
No GRÁFICO 1 e GRÁFICO 2, observa-se que, as amostras retiradas com facas desgastadas geram até 6 toneladas, por hora, a mais de material para queima, comparadas a facas novas. SPINELLI (2014), em seu trabalho sobre o controle do desgaste das facas de um picador de tambor, também encontrou acréscimo no percentual de cavacos grandes, porém em uma proporção ainda maior, representando 15%, comparando facas de 0h e 15h. Essa diferença pode ser explicada por estudos, que demonstram que o picador de alimentação horizontal produz menores quantidades de cavacos grandes, em comparação com outros tipos de picadores, como os de alimentação por gravidade (TWADDLE & WATSON, 1992a; TWADDLE & WATSON 1992b).

GRÁFICO 1 – RELAÇÃO GERAÇÃO DE CAVACOS PARA CELULOSE VERSUS CAVACOS DESTINADOS PARA ENERGIA POR TEMPO DE PROCESSAMENTO DAS FACAS PARA *Pinus taeda*



FONTE: O autor (2023)

GRÁFICO 2 - RELAÇÃO GERAÇÃO DE CAVACOS PARA CELULOSE VERSUS CAVACOS DESTINADOS PARA QUEIMA POR TEMPO DE PROCESSAMENTO DAS FACAS PARA *Eucalyptus dunnii*.

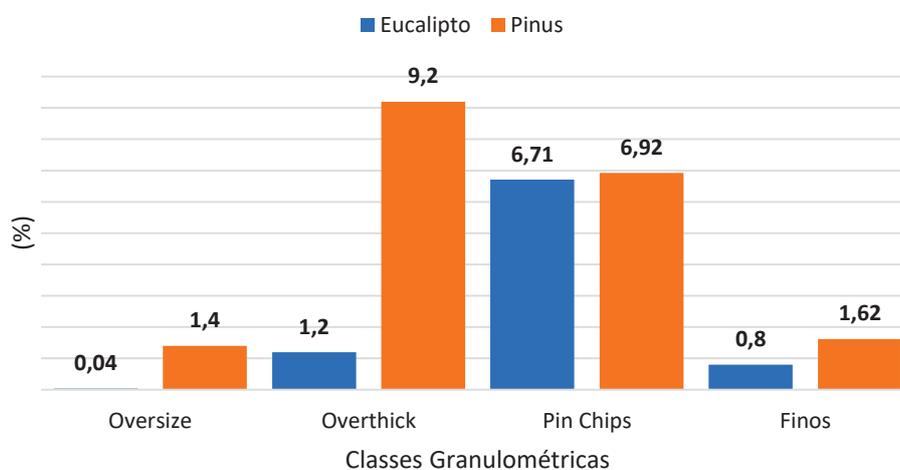


Dunnii

FONTE: O autor (2023)

Verifica-se, no GRÁFICO 1, que as amostras coletadas para *Pinus taeda* geraram um percentual de biomassa até 11,8% maior que as amostras coletadas para *Eucalyptus dunnii*. Dessa forma, buscou-se descobrir em qual das classes esse evento era mais recorrente (GRÁFICO 3).

GRÁFICO 3 - PERCENTUAL DE CAVACOS FORA DA ESPECIFICAÇÃO POR CLASSE GRANULOMÉTRICA PARA *Eucalyptus Dunnii* E *Pinus taeda*



FONTE: O autor (2023)

A partir da análise do GRAFÍCO 4, observa-se que o acréscimo ocorre, principalmente na classe de *Overthick* e *Oversize*. O resultado encontrado pode estar associado com as características da madeira. Bonduelle e Ceni (2002) explicam que, apesar do *Pinus taeda* apresentar uma distribuição uniforme das características anatômicas da madeira, esse gênero possui uma alteração sistemática de lenho outonal e primaveril, e, com isso, o processo de usinagem apresenta comportamentos diferenciados para a ferramenta de corte. A existência de nós, onde se tem uma área de extrema densidade associada a um lenho primaveril com densidade bem menor, gerará conseqüentemente variações importantes dos esforços de corte. Estudos demonstram que defeitos de qualidade da madeira, como nós, acaba gerando maior percentual de cavacos de maior espessura, como o encontrado nesse estudo (BJURULF, 2006; CÁCERES et al., 2016).

4.3 CONSUMO DE ENERGIA NA PICAGEM DE CAVACOS

Os resultados de consumo de energia do picador, durante os testes realizados no processamento madeira de *Pinus taeda* e *Eucalyptus dunnii*, estão representados na TABELA 12. Nesses resultados, estão retratados, em kWh, a soma dos 4 motores do picador, por hora processada.

TABELA 12 – CONSUMO TOTAL DE ENERGIA POR HORA EM KW PARA TODOS OS ANGULOS DE GUME TESTADOS NO PROCESSAMENTO DE *Eucalyptus Dunnii* E *Pinus taeda*

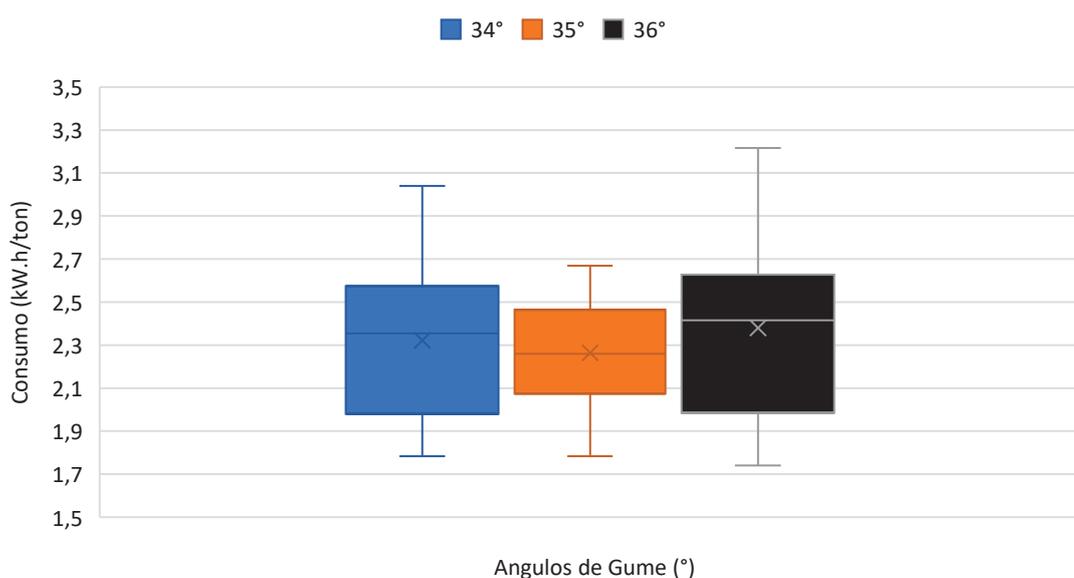
Consumo (kWh)						
Tempo	<i>Pinus taeda</i>			<i>Eucalipto dunnii</i>		
	34°	35°	36°	34°	35°	36°
T1	1008,0	1013,1	1001,5	925,5	873,6	900,0
T2	875,9	1065,1	984,5	877,2	867,0	886,8
T3	1105,5	1043,6	970,4	895,9	858,4	938,4
T4	957,76	991,7	930,3	904,2	866,7	924,5
T5	1037,4	931,2	900,3	874,9	899,6	623,6
T6	1045,5	1026,5	972,6	888,8	881,8	968,3
T7	967,1	992,9	1016,1	876,6	839,6	969,3
T8	957,4	1044	902,3	866,9	868,4	906,1
T9	956,2	958,9	852,5	918,7	878,7	937,8
T10	1120,5	992,5	1057,6	895,0	967,2	924,9
Média (kWh)	1003	1006	959	892	880	898,0

FONTE: O autor (2023)

Embora a média de consumo por hora processada, tenha sido menor para o ângulo do gume de corte com 36°, para *Pinus taeda*, para ambas as espécies os resultados da análise de variância revelaram não haver diferença entre os tempos de processamento (bloco), nem entre os tratamentos (ângulos de corte) (ANEXO). Importante destacar que o maior ângulo do gume de corte (β) resultará em um menor ângulo de ataque – corte (λ). Essa combinação resultará em maior esforço de compressão para formação cavaco e conseqüentemente maior esforço de corte. Possivelmente variáveis relacionadas ao equipamento utilizado, como por exemplo, a potência dos motores pode explicar esse resultado.

Ao analisarmos os consumos específicos, para *Pinus taeda*, não foram encontradas diferenças significativas para os ângulos de gume e tempos de processamento (ANEXO), indicando que para esse equipamento, essas variáveis não são susceptíveis a mudanças (GRÁFICO 4). Esse resultado pode estar associado a alguns fatores, dentre eles: a dimensão do equipamento - escala industrial, que pode não ter sofrido as alterações testadas. Ou, ao nível de precisão do medidor do consumo de energia adotado no presente estudo, que é diferente de outros estudos encontrados em literatura (LUSTH, H.; GRADIN, A.; HELLSTRÖM, M., 2012; TAWFK, M. A.; EL-DIDAMONY, M. I., 2017).

GRÁFICO 4 - RESULTADOS MÉDIOS DE CONSUMO DE ENERGIA ESTIMADA, EM Kw, APRESENTADOS PARA DIFERENTES ANGULOS DE CORTES TESTADOS NA ESPÉCIE *Pinus taeda*



FONTE: O Autor (2023).

Contudo, analisando os consumos específicos do *Eucalyptus dunnii*, verificou-se efeito significativo para os tratamentos (ângulos de corte) (TABELA 13).

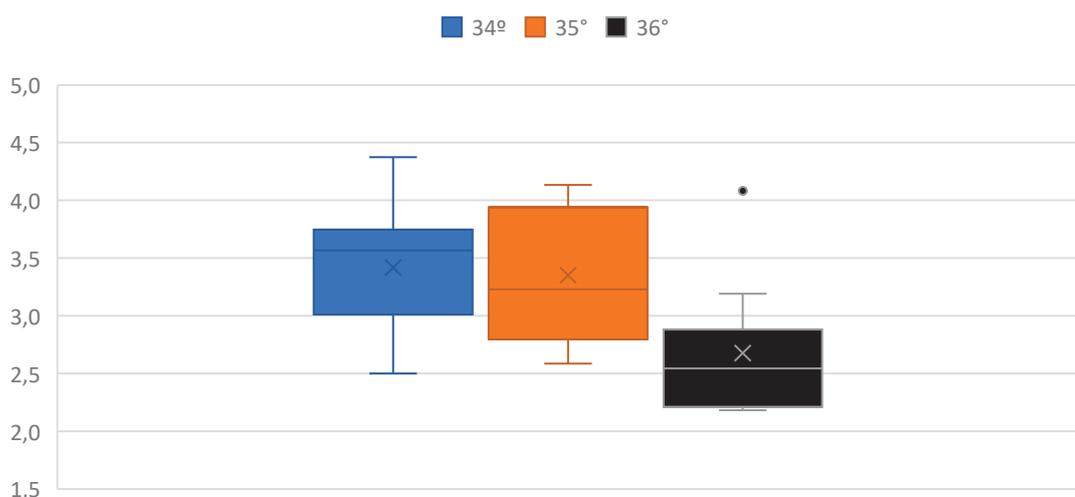
TABELA 13 - ANÁLISE DE VARIANCA PARA O CONSUMO ESPECÍFICO DE ENERGIA PARA A MADEIRA DE *Eucalyptus dunnii*

Fonte de Variação	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	P-value
Tempo (bloco)	9	0,448853	0,177858
Ângulo (tratamento)	2	1,680283	0,009293 ^{ns}
Erro	18	0,273851	

ns = não significativo e * significativo a 95% de probabilidade.

FONTE: O autor (2022).

GRÁFICO 5 - RESULTADOS MÉDIOS DE CONSUMO DE ENERGIA ESTIMADA, EM Kw, APRESENTADOS PARA DIFERENTES ÂNGULOS DE CORTES TESTADOS NA ESPÉCIE *Eucalyptus dunnii*.



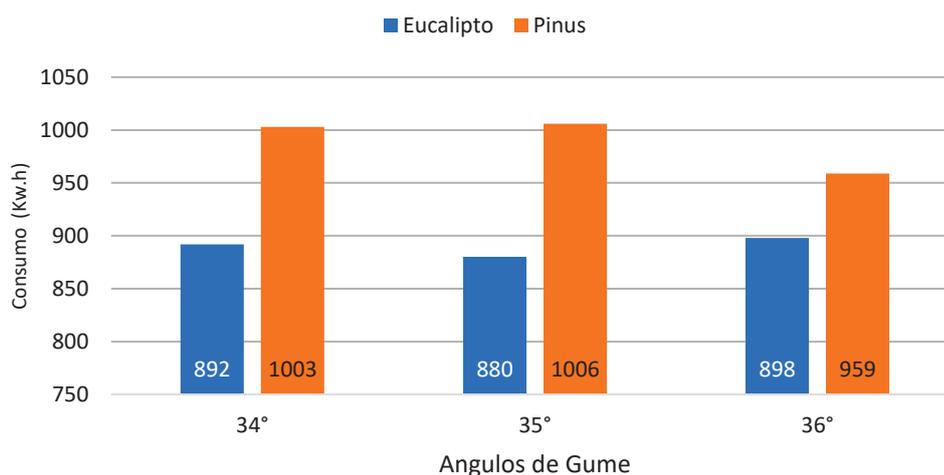
FONTE: O Autor (2023).

O ângulo de 36°, dentre os três ângulos de corte analisados, foi o único estatisticamente significativo, conforme demonstrado no GRÁFICO 5. Esse resultado, porém, não está de acordo com a afirmação de Steffens & Rodrigues (1988), que dizem que aumentar o ângulo do gume de corte (possivelmente reduzindo o ângulo de ataque - λ), reduz a energia requerida na picagem. Isso pode estar associado ao fato de que, durante os testes, esse foi o ângulo cujo processamento, em toneladas por hora, foi o mais elevado (GRÁFICO 7). Sabendo que, o cálculo de consumo específico é a relação entre o consumo em massa por hora e o consumo de energia

ativa nesse mesmo período, esse maior consumo em volume de massa, pode ter gerado um menor consumo específico. Esse comportamento pode estar relacionado a maior estabilidade do gume para esse ângulo, que por ser menos frágil devido a espessura, pode ter sofrido menores desgastes com o tempo de processamento, o que possibilitou uma maior performance produtiva do picador.

Ao compararmos as duas espécies testadas, pode-se observar que, o processamento de *Pinus taeda* gerou maior consumo de energia (GRÁFICO 6). Essa informação pode ser comprovada através da análise de variância, que mostra que para os blocos (espécie) houve efeito significativo, já para os tratamentos (ângulos de gume), não (TABELA 14).

GRÁFICO 6 – CONSUMO MÉDIO DE ENERGIA DURANTE O PROCESSAMENTO DE PINUS TAEDA E CONSUMO DE ENERGIA DURANTE O PROCESSAMENTO DE *Eucalyptus dunnii*.



FONTE: O Autor (2023).

Um resultado interessante é que, para pinus, o menor consumo acontece para o ângulo de 36°, contudo esse resultado não se mostrou estatisticamente significativo.

TABELA 14 - ANÁLISE DE VARIANCA PARA O CONSUMO DE ENERGIA NO PROCESSAMENTO DE *Eucalyptus Dunnii* E *Pinus taeda*

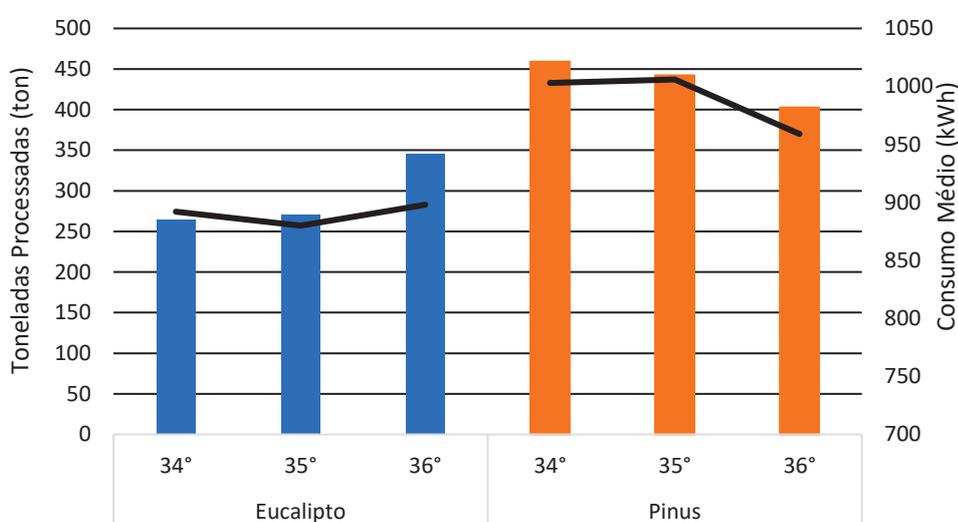
Fonte de Variação	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	P-value
Espécie (bloco)	1	1477664	0,006*
Ângulo (tratamento)	2	62905,81	0,135
Erro	2	9785,4	

ns = não significativo e * significativo a 95% de probabilidade.

FONTE: O autor (2022).

Levando em consideração a densidade da madeira, o resultado obtido não está coerente com a literatura (GUEDES, 2016), uma vez que a madeira menos densa é também a que está gerando maior consumo de energia. Contudo, esse elevado consumo de energia do *Pinus taeda*, provavelmente, está relacionado com a maior capacidade do equipamento quando essa espécie está sendo processada (GRÁFICO 7). Ao consultarmos o manual do fabricante da linha de picagem, e o histórico da empresa, encontramos que a capacidade produtiva média para processamento de *Eucalyptus dunnii* nessa linha é de 380ton/h, já para *Pinus taeda*, o valor médio encontrado é de 450ton/h. Ao analisar o GRÁFICO 7, referente a produção média para cada uma das espécies, por ângulo testado. É possível observar que o volume de material que passa por hora no picador é muito maior quando processando *Pinus taeda*, o que gera maior esforço dos motores do equipamento para processar essa maior massa.

GRÁFICO 7 - RELAÇÃO ENTRE O CONSUMO MÉDIO DE ENERGIA POR ÂNGULO TESTADO E O PROCESSAMENTO, EM TONELADAS, PARA *Eucalyptus Dunnii* E *Pinus taeda*



FONTE: O Autor (2023).

Monteiro et al. (2017) em seu trabalho sobre o balanço energético do processamento mecânico de toras de *Eucalyptus dunnii*, encontrou que, no desdobro das toras, com uma serra fita, aumentando um quilograma de massa úmida, gerou um aumento de 0,028kWh no consumo de energia. O mesmo comportamento foi encontrado no presente trabalho, onde o aumento de volume processado, gerou um aumento de consumo médio de energia por hora.

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

As conclusões do presente trabalho foram:

- a) Os ângulos de gume testados não revelaram diferenças significativas para nenhuma das variáveis pela MANOVA.
- b) Os diferentes tempos de processamento exerceram influência significativa sobre as classes de cavaco de “Aceite” e *Overthick*, pela análise de variância multivariada (MANOVA). Dentre os tempos de processamento, foi identificado que o pior resultado, do ponto de vista financeiro e de qualidade, foi o tempo de 10pmh (T3) – para ambas as espécies.
- c) As “espécies” influenciaram todas as classes testadas, exceto *Pinus*. Em termos de qualidade dos cavacos, os piores resultados na classe de “Aceite” e maiores resultados na classe de *overthick*, foram obtidos para a espécie de pinus, indicando que, em termos de aproveitamento da madeira, essa é a menos indicada.
- d) Para energia - dentre as variáveis testadas - o consumo específico para *Eucalyptus dunnii* e a diferença de consumo entre as espécies revelou influência significativa. O aumento do ângulo do gume gerou redução do consumo de energia específica - para *Eucalyptus dunnii*. Para *Pinus taeda*, não houve redução significativa. Já a diferença de consumo entre as espécies, foi significativamente maior para a espécie de *Pinus taeda*.

Dessa forma, considerando o que foi exposto no presente trabalho, pode-se concluir que tanto as espécies como o tempo de processamento das facas exercem, de alguma forma, influência sobre a classe granulométrica classificada como aceite, e por consequência, sobre a qualidade final do cavaco e o custo produtivo das indústrias produtoras de papel e celulose. Mostra-se então, que as informações desse trabalho, poderão contribuir para um melhor planejamento de picagem nessas unidades industriais, principalmente no que diz respeito ao planejamento de tempo máximo para a troca das facas dos picadores. Além disso poderá servir como apoio

para tomadas de decisões financeiras quanto a qual espécie processar, caso haja essa possibilidade de escolha.

As recomendações para trabalhos futuros são:

- Avaliar, por meio de análises fotográficas, o desgaste das facas após retirada do picador.
- Conduzir um estudo em escala piloto, modificando, ainda mais, os graus dos ângulos das facas.
- Para os ângulos do gume de corte, realizar um estudo com maior número de amostras coletadas, com o intuito de melhorar a representatividade dos resultados, que para esse fator não foi muito conclusivo.
- Avaliar o impacto do desgaste das peças internas do picador na classificação granulométrica dos cavacos.

REFERÊNCIAS

ABDALLAH, R., AUCHET, S., MÉAUSOONE, P.J. Experimental study about the effects of disc chipper settings on the distribution of wood chip size. **Biomass and Bioenergy**. 35:843–852, 2011.

ACHIEVEMENT and significance of optimal chip quality. Disponível em: https://www.eucalyptus.com.br/artigos/1996_Achieving_Chip+Quality.pdf

ALAKANGAS E. Properties of wood fuels used in Finland – BIOSOUTH –project. VTT Processes, Project report PRO2/ P2030/05 (Project C5SU00800). Jyväskylä: **Technical Research Centre of Finland**; 2005. p. 90 p app. p. 10.

ALIPRAJA, Irsan et al. Towards Strand Production in Primary Log Breakdown: Effects of the Counter-Knife and Temperature on Size Distribution of Jack Pine Strands. **BioResources**, v. 17, n. 2, 2022.

ANDERSON, T. W. An introduction to multivariate statistical analysis. 3th ed. New York: J. Wiley, 2003. 752 p.

ANDRADE, AS de. Qualidade da madeira, celulose e papel em Pinus taeda L.: influência da idade e classe de produtividade. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2006.

ANDRITZ. Superior Quality Chips. HHQ- Chipper Horizontally Fed Chipper. 2019. Disponível em: <https://www.andritz.com/resource/blob/408442/4e7df834fe769e085b98d503ec5a5a84/pp-spectrum39-hhqchipper-data.pdf>. Acesso em 07 julho 2022.

ASIKAINEN, A.; PULKKINEN, P. Comminution of Logging Residues with Evolution 910R chipper, MOHA chipper truck, and Morbark 1200 tub grinder. **Journal of Forest Engineering**, v. 9, n. 1, p. 47-53, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 14929: Determinação de umidades de cavacos. São Paulo, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA TÉCNICA DE CELULOSE E PAPEL. Curso de especialização em celulose: processamento da madeira. Telêmaco Borba: ABTCP/UFV, 1999. 75 p

BIRKLAND, R. Efficient process for quality products. In: IUFRO WORLD CONGRESS, 19., 1990, S.I. Proceedings... [S.l.: s.n.], 1990. p. 139-147.

BJURULF, A. Chip geometry: methods to impact the geometry of market chips. 2006. 43 f. Tese de Doutorado - Dept. of Forest Products and Markets, Swedish University of Agricultural Sciences.

BUCHANAN J.G. AND DUCHNICKI T.S. Some Experiments in Low-Speed Chipping; **Pulp and Paper Magazine Can.** May 1963: T235 T245.

CÁCERES, C.B., HERNÁNDEZ, R.E., KOUBAA, A. Effects of log position in the stem and cutting width on size distribution of black spruce chips produced by a chippercanter. 2016a. **Wood and Fiber Science** 48(1), p. 25 – 42

CÁCERES, C. B., HERNÁNDEZ R. E., KULJICH, S. & KOUBAA, A. Effects of commercial thinning, log position in the stem, and cutting width on the surface quality of cants produced by a chipper-canter. 2016b. *Wood Material Science & Engineering*, 13 (1), P. 28-35.

CAMARGO, S. K. C. A. et al. Influência da dimensão e qualidade dos cavacos na polpação. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental.** Santa Maria, v. 19, n. 3, p. 813-820, set-dez. 2015.

CASTRO, H. F. **Apostila Papel e Celulose.** Universidade de São Paulo. São Paulo, 2009. Disponível em: <

<https://sistemas.eel.usp.br/docentes/arquivos/5840556/434/apostila4papelecelulose.pdf>> Acesso em: 02 Outubro, 2023.

COSTA, M. M.; GOMIDE, J. L.; ZANUTTINI, M.; SOUZA, E.; BRUM NETO, M. Estudos sobre a impregnação de cavacos de Eucalyptus spp. 37.º Congresso Anual da ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. São Paulo-SP, 2004. Apresentação em PowerPoint: 45 slides.

COSTA, Thiago Ramos; MAHANZULE, Rosalina Zefanias; AGUIAR, Giovana Paiva; SILVA, João Carlos Garzel Leodoro da. Dinâmica da concentração das exportações brasileiras de celulose química (1990-2010). **Ciência Florestal**, v. 28, n. 4, Santa Maria, dezembro, 2018.

DEMJANOVSKYJ, K. I. Resistance of Wood Milling Tools. Moscow: **Wood Industry**, 1975: 176 p. (in Russian).

DEMUTH. Picador de Discos. Disponível em: <<https://www.demuth.com.br/dpd>>. Acesso em: outubro, 2023.

DON, J. J. V. Cavacos de boa qualidade – O resultado de uma adequada técnica de picagem e peneiramento. **Congresso Anual da ABTCP**, São Paulo-SP, 22, p. 57-77, 1989.

DURIGAN, Aline et al. Gestão operacional do pátio de madeira na produção de cavacos para indústria de polpa e papel. **Advances in Forestry Science**, v. 9, n. 3, p. 1799-1809, 2022.

ELLOUMI, Imen et al. Effects of Temperature and Moisture Content of Logs on Size Distribution of Black Spruce Chips Produced by a Chipper-canter at Two Cutting Widths. **BioResources**, v. 16, n. 4, 2021.

FACELLO, A. et al. The effect of knife wear on chip quality and processing cost of chestnut and locust fuel wood. **Biomass and Bioenergy**, v. 59, p. 468-476, 2013.

FAO. 2020. Global Forest Resources Assessment 2020 - Key findings. Rome: [s.n.]. Disponível em: [https:// www.fao.org/forest-resources-assessment/2020/en/](https://www.fao.org/forest-resources-assessment/2020/en/).

FERREIRA, D. F. Estatística Multivariada. 3. Ed. Lavras: UFLA, 2018. 624 p.

FOELKEL, C. E. B. O processo de impregnação dos cavacos de madeira de eucalipto pelo licor Kraft de cozimento. Grau Celsius, 2009. Disponível em: http://www.eucalyptus.com.br/eucaliptos/PT15_ImpregnaçãoCavacos.pdf. Acesso em: 24 abr. 2020.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS -FAO. Forestry Production and trade. Export Quantity: Wood Pulp + (Total). Disponível em: <http://www.fao.org/statistics/databases/en/>. Acesso em: 13 nov. 2021.

FRANZ, N.C. An analysis of the wood-cutting process. Ann Arbor. Univ. Michigan, 1958, 152p. Ph.D. Thesis.

FULLER, W. S. Chipping, screening and cleaning. In: KOCUREK, M. J.; STEVENS, C. F. B. (Ed.). **Pulp and paper manufacture**. 3rd. ed. Montreal: Canadian Pulp and Paper Association, 1983. p. 128-144.

GARD TIMMERFORS, Jessica; SJÖLUND, Torbjörn; JÖNSSON, Leif J. New drum-chipping technology for a more uniform size distribution of wood chips. *Holzforschung*, v. 74, n. 2, p. 116-122, 2020.

GENDEK, ARKADIUSZ; NAWROCKA, A. N. N. A. Effect of chipper knives sharpening on the forest chips quality. *Annals of Warsaw University of Life Sciences-SGGW. Agriculture*, n. 64 Agric. Forest Eng., 2014.

GHOSH, S., et al. Application of sustainable techniques in metal cutting for enhanced machinability: a review. **Journal of Cleaner Production**, v. 100, p. 17-34, 2015.

GOMIDE, J. L. Qualidade da madeira para produção de Celulose S.A. Aula da Pós-Graduação Lato Sensu em Tecnologia de Celulose e Papel. 2012. 172 p.

GONÇALVES, Alécio Ferreira et al. A gestão sistêmica do transporte e estocagem da madeira como fator diferencial na produtividade e qualidade da celulose. **O papel**, v. 77, n. 10, p. 76-87, 2016.

GRACE, T. M. et al. (Ed.). Chemical reactions of wood constituents. **Alkaline pulping**. 3rd. ed. Montreal: Canadian Pulp and Paper Association, 1989b. chap. 5, p. 23-44

GRANDE, J. P., 1980-G751d Dimensões de cavacos industriais de eucalipto e relações com polpação, resistência e morfologia de fibras na polpa – Botucatu, 2012.

GUEDES, T. O. **Consumo de energia específica de corte em madeiras de diferentes densidades em distintas umidades**. Dissertação (Mestrado) – Lavras: UFLA, 2016.

GULLICHSEN, Johan; PAULAPURO, Hannu; STENIUS, Per. Forest products chemistry. **Paper Making Science and Technology**. Book, v. 3, 2000.

GUSTAFSON, R.R.; JIMENEZ, G.; MCKEAN, W.T.; CHIAN, D.S. The role of penetration and diffusion in nonuniform pulping of softwood chips. *Tappi Journal*, Atlanta v.72, n.8, p.163-167, Aug.1989.

HAIR JUNIOR, J.F.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L.; BLACK, W. C. Análise multivariada de dados. 5. Ed. Porto Alegre: Bookman, 2005, 593 p.

HARTLER N. AND STADE Y. Chip specifications for various pulping processes; 39 Chip Quality Monograph, Hatton, J.V. (Editor), **Pulp and Paper Technology** Series No. 5 (TAPPI); 1979.

HARTLER, N. (1962b); The Effect of Sharpness Angle as Studied in an Experimental Chipper; **Svensk Papperstidning** Vol. 65, No. 10: 397-402.

HARTLER, N. Chipper design and operation for optimum chip quality; **Tappi J.** Vol. 69, No. 10: 62-66; 1986.

HARTLER, N. Studies on the Suction Feeding of Chippers; **Svensk Papperstidning**; Vol. 65, no 12: 475-487; 1962c.

HARTLER, N., STADE, Y. (1977) Chipper operation for improved chip quality. **Svensk Papperstidn.** 80:447–453.

HELLSTRÖM L.M., ISAKSSON, P. GRADIN P.A. AND ERIKSSON K. An Analytical and Numerical Study of some Aspects of the Wood Chipping Process; **Nord. Pulp Paper Res. J.**, Vol. 24, No. 2: 225-230; 2009.

Hellström, Lisbeth & Gradin, Per & Gulliksson, Mårten & Carlberg, Torbjörn. (2010). A Laboratory Woodchipper for Chipping Under Realistic Conditions. *Experimental Mechanics*. 51. 1309-1316. 10.1007/s11340-010-9452-1.

HERNANDEZ, R, E.; BOULANGER, Ja. Effect of the rotation speed on the size distribution of black spruce pulp chips produced by a chipper-canter. **Forest Products Journal**, v. 47, n. 4, p. 43, 1997.

Hoekstra PL, Veal MA, Lee PF, Sinkey JD (1983) The effects of chip size on mechanical pulp properties and energy-consumption. *Tappi J* 66(9):119-122.

IBÁ, Industria Brasileira de Arvores. Dados do Relatório Ibá 2019. Ano-base 2019. Disponível em: < <https://www.iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorioiba2019-compactado.pdf> >. Acesso em: 01 jul. 2022.

IBÁ, Industria Brasileira de Arvores. Dados do Relatório Ibá 2021. Ano-base 2020. Disponível em: < <https://www.iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorioiba2021-compactado.pdf> >. Acesso em: 01 jul. 2022.

IBÁ, Industria Brasileira de Arvores. Dados do Relatório Ibá 2022. Ano-base 2021. Disponível em: < <https://www.iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorioiba2022-compactado.pdf> >. Acesso em: 01 jul. 2022.

INGRUBER, O. V.; KOCUREK, M. J.; WONG, A. (Ed.). 1985. Pulp and paper manufacture 3rd. ed. Montreal: Canadian Pulp and Association, v. 4, 352 p.

JOHNSON, R. A.; WICHERN, D. W. Applied multivariate statistical analysis. 4th ed. New Jersey: Prentice Hall, 1998. 816 p.

KACHIGAN, S. K. Multivariate statistical analysis. 2nd ed. New York: Radius Press, 1991. 303 p.

KETURAKIS, G.; LISIAUSKAS, V. Influence of the sharpness angle on the initial wear of the wood milling knives. **Materials Science-Medziagotyra**, v. 16, n. 3, p. 205-209, 2010.

KETURAKIS, G; LISIAUSKAS, V. Influence of the sharpness angle on the initial wear of the wood milling knives. **Materials Science-Medziagotyra**, v. 16, n. 3, p. 205-209, 2010.

KETURAKIS, Gintaras; LISIAUSKAS, Vytautas. Influence of the sharpness angle on the initial wear of the wood milling knives. **Materials Science-Medziagotyra**, v. 16, n. 3, p. 205-209, 2010.

KLOCK, U. et al. **Manual Didático Polpa e Papel**. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013. 3rd. ed. Disponível em: <<http://www.madeira.ufpr.br/disciplinasklock/polpaepapel/manualpolpa2013.pdf>>. Acesso em: 13 jul. 2022.

KLOCK, U.; ANDRADE, A. S de. **Química da madeira**. 4. ed. rev. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2013.

KOCH, P. Utilization of hardwoods growing on southern pines sites. Volume II. Processing. **USDA Forest Service, Agriculture Handbook**, number 605. Chapter 18, Machining, 1985, p. 1687-228

KOLLMANN, F.P.T.; KUENZI, E.W.; STAMM, A.J.; Principles of wood science and technology II: wood based materials. 2. ed. Berlin; Springer-Verlag, 1975. v. 2.

KRAJNC, Mitja; DOLŠAK, Bojan. The influence of drum chipper configuration on the quality of wood chips. **Biomass and Bioenergy**, v. 64, p. 133-139, 2014.

LISOWSKI, Michal; SKOPEC, Adam. Effective area of thin guarded electrode in determining of permittivity and volume resistivity. **IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation**, v. 16, n. 1, p. 24-31, 2009.

LUSTH, H.; GRADIN, A.; HELLSTRÖM, M. CHEMICAL PULPING: The dependency of energy consumption on cutting angles in the canter chipping process. **Nordic Pulp & Paper Research Journal**, v. 27, n. 5, p. 886-889, 2012.

MACHADO, Á. R.; ABRÃO, A. M.; Coelho, R. T.; SILVA, M. B., 2009, "Teoria da Usinagem dos Materiais", 1. ed. São Paulo - SP: Edgard Blucher, ISBN 978-85-212-0452-7, V.1, 371 p.

MACHADO, Á. R.; SILVA, M. B. Teoria da Usinagem dos Metais. 8ª Versão. Uberlândia, Minas Gerais: Universidade Federal de Uberlândia, 2004.

MARRIOTT, J. H. C. The interpretation of multiple observations. **London: Academic Press**, 1974. 117 p.

McLAUHLAN T.A. AND LAPIONTE J.A. Production of chips by disc chippers; Chip Quality Monograph, Hatton, J.V. (Editor), **Pulp and Paper Technology**, Series No 5 (TAPPI); 1979.

McLauchlan TA, Lapointe JA. Production of chips by disc chippers. In: Hatton JV, editor. Chips quality monograph. **Pulp and paper technology Series**. Atlanta: TAPPI; 1979. p. 15e32.

MONTEIRO, T. C. **Balço Energético do processamento mecânico de toras de Eucalyptus**. Dissertação (Mestrado) – Lavras: UFLA, 2011.

MORALES, M.M.; NICOLI, C.M.L.; MORAES, A. C.; COAN, R.M.; PACHECO, A.R; TONINI, H. Caracterização do setor florestal goiano. **Embrapa Florestas-Documentos** (INFOTECA-E), 2012.

MOREIRA, JMMAP; DE OLIVEIRA, E. B. Importância do setor florestal brasileiro com ênfase nas plantações florestais comerciais. 2017.

NATI, C., ELIASSON, L., SPINELLI, R. Effect of chipper type, biomass type and blade wear on productivity, fuel consumption and product quality. **Croat. J. For. Eng.** 35:1–7, 2014.

NATI, C., SPINELLI, R., FABBRI, P. Wood chips size distribution in relation to blade wear and screen use. **Biomass and Bioenergy**, v. 34, n. 5, p. 583-587, 2010.

NÉRI, A. C., GONÇALVES, R., HERNANDEZ, R. E. Forças de corte ortogonal 90-90 em três espécies de madeira de eucalipto do estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 4, p. 275-280, 2000.

PULKKI, R. Literature synthesis on the effects of wood quality in the manufacture of pulp and paper. **Technical note-Forest Engineering Research Institute of Canada**, 1991.

RECZULSKI, Mariusz. Analysis of the construction and operation of system wood chipping and transfer chips. **Wood Res**, v. 60, n. 40, p. 671-678, 2015.

RECZULSKI, Mariusz. Optimization of cutting speed and clearance angle in the disc chipper. **Wood Research**, v. 65, n. 6, p. 951-962, 2021.

RETÍFICA MVM. Disponível em: <<https://www.directindustry.com/prod/mvm-srl/product-84435-1696753.html>>. Acesso em: abril, 2022.

RIBASKI, N. G. Conhecendo o setor florestal e perspectivas para o futuro. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v. 1, n. 1, p. 44-58, 2018.

SAEZ, L. O. Estudos sobre a vida útil das facas do picador em uma indústria de painel particulado. 2015.

SALMI, M. Eucalyptus Wood Preparation. ABTCP (Andritz). Apresentação em PowerPoint. Disponível em: https://www.eucalyptus.com.br/artigos/2005_Eucalyptus+Wood+Preps.pdf . 2005. Acesso em: outubro 2023.

SCAN-CM 40:01. Wood Chips for Pulp Production–Size Distribution, **Scandinavian Pulp, Paper and Board Testing Committee**, Stockholm, Sweden; 2001.

SIDIÃO, Willian Barros et al. Delimitação entre os lenhos juvenil e adulto de Pinus taeda L. em função do comprimento dos traqueídeos: Delimitation between juvenile and adult woods of Pinus taeda L. as a function of tracheid length. Brazilian Journal of Animal and Environmental Research, v. 6, n. 1, p. 227-238, 2023.

SILVA, J. R. M. Relações da usinabilidade e aderência do verniz com as propriedades fundamentais do Eucalyptus grandis Hill Ex. Maiden. Tese (Doutorado em Ciências Florestais). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002, 179p.

SIQUEIRA, Victor Arrais et al. INFLUÊNCIA DO FLUIDO DE CORTE NA FORMAÇÃO DE CAVACO DURANTE O TORNEAMENTO-LIGA DE ALUMÍNIO 6351 T6. In: **Anais do X Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, Salvador, BA**. 2018.

SMITH, G. T. Cutting tool technology: industrial handbook. 1. ed. Londres: Springer, 2008.

SMOOK, G. A. Characteristics of wood and wood pulp fibers. In: SMOOK, G. A. **Handbook for pulp & paper technologists**. 3rd. ed. Vancouver: Angus Wilde Publications. p. 10-19. 2002.

SOPRANI, Cristiano Recla. Impacto da qualidade dos cavacos gerados na Fibria unidade Aracruz no processo de polpação Kraft. **O PAPEL**, v. 77, n. 7, p. 72-77, 2016.

SPINELLI, R., GLUSHKOV, S., MARKOV, I. Managing chipper knife wear to increase chip quality and reduce chipping cost. **Biomass and Bioenergy**, v. 62, p. 117-122, 2014.

STEFFENS, C. F.; RODRIGUES, A. C. Optimization of radiate pine chip geometry for Kraft cooking process. **Congresso Anual da ABTCP**. São Paulo-SP, 21, p. 57-62, 1988.

STEFFENS, C. F.; RODRIGUES, A. C. Optimization of radiate pine chip geometry for Kraft cooking process. Congresso Anual da ABTCP. São Paulo-SP, 21, p. 57-62, 1988.

STOETERAU, R. L. **Estudo do desgaste em facas de moinhos de facas rotativas aplicados na moagem de polímeros**. 2016. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.

STOETERAU, RODRIGO L. Processos de usinagem. Trabalho de Graduação. Curso de, 2007.

STREICHER, U. et al. Particle size of chips in relation to cutting angle and grain direction of wood. **Wood and Fiber Science**, v. 43, n. 4, p. 357-366, 2011.

TAKAMURA, M. Y. **Desenvolvimento e avaliação de facas para máquinas industriais de processamento de alimentos**. 2006. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

TAPPI Journal, Newton, v. 80, n. 6, p. 123-131, jun. 1997 VITAL, B. R. Métodos de determinação da densidade básica

TAWFK, M. A.; EL-DIDAMONY, M. I. Manufacturing and performance evaluation of a prototype wood chipping machine to produce mini-chips. **Misr Journal of Agricultural Engineering**, v. 34, n. 4, p. 1511-1528, 2017.

TEIXEIRA, E. de O. et al. Determinação da energia de ativação do processo de degradação térmica do bagaço de cana-de-açúcar. **Revista de Ciências Ambientais**, v. 1, n. 1, p. 69-73, 2007.

TIMMERFORS, Jessica Gard; JÖNSSON, Leif J. Evaluation of novel drum chipper technology: Pilot-scale production of short wood chips. **TAPPI Journal**, v. 18, n. 10, p. 585-592, 2019.

TOTTI, J. Que engenheiro florestal estamos formando nas universidades brasileiras? (Klabin). Apresentação em Power Point. Setembro 2017.

TRONSTAD S. (1994) Sagbruksflis, Trelastindustrins ServiceKontor, Oslo.

TWADDLE, A. A., WATSON, W.F. Shortwood vs. longwood chipping what impact on chip distribution. 1992a. *TAPPI Journal* 75(6), p. 107–111

TWADDLE, A.A., WATSON W.F. Quantification of factors affecting chip quality from disc chippers. 1992b. *TAPPI Journal* 75(10), p. 135–140.

VENSON, I. **Teoria do Corte da Madeira**. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008. Disponível em: <http://www.madeira.ufpr.br/disciplinasivan/processoscorte_arquivos/Teoriadecorte.pdf> Acesso em: 15 jun. 2023.

VIANA, M. T. A. Caracterização e avaliação da qualidade da madeira de árvores florestais na região centro-norte do estado do Rio de Janeiro. 2015. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2015.

WANG, Q. S. et al. A numerical simulation of a chipper feed chute with a moving knife. **J. Eng. Math.**, 65, p. 227-244, 2009.

WANG, X. et al. Analysis on size distribution of crushed cornstalk. **Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering** 26(2), p. 261-264, 2010.

YILMAZ, S.; AYCAN, E.; ERBAŞ, K.; EROL, U. Development of an analytical method to predict the effect of cutting tool geometry on the cutting forces in face milling. **Measurement**, v. 91, p. 265-274, 2016.

ZEIDLER, A. Concentrated, Accelerated, and High-Angle Shearing – A new way to manufacture high-quality wood chips. **Pulp & Paper International**, p. 25-28, November 2004.

SALVADOR, V. T.; SILVA, E. S.; GONÇALVES, P. G. C.; CELLA, R. Biomass transformation: Hydration and isomerization reactions of turpentine oil using ion exchange resins as catalyst. **Sustainable Chemistry and Pharmacy**, v. 15, p.100214,2020.

MISSIO, A. L.; CADEMARTORI, P. H.G.; MATTOS, B. D.; WEILER, M.; GATTO, D. A. Propriedades mecânicas da madeira resinada de *Pinus elliottii*. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 45, n. 8, p 1432-1438, 2015.

ANEXO A - DADOS COMPILADOS DE CLASSIFICAÇÃO GRANULOMÉTRICA PARA A ESPÉCIE *Pinus taeda*

U.A	Angulo	Tempo	Oversize	Overthick	Large Accept	Small Accept	Pin	Finos	Accept
C1	A1	T1	0,3	9,9	55	23,4	8,9	2,2	78,4
C1	A1	T1	2,5	9,8	58,1	21,3	6,6	1,5	79,4
C1	A1	T1	1,5	11,6	58	21,2	6,1	1,4	79,2
C2	A1	T2	0	7,2	60,4	23,1	7,3	1,7	83,5
C2	A1	T2	2,5	10,8	55,6	21,3	7,5	2,1	76,9
C2	A1	T2	0,9	7,7	59,4	22,1	7,7	1,9	81,5
C3	A1	T3	1,9	10,4	54,9	22,1	8,5	2,1	77
C3	A1	T3	2,9	13,6	57,8	17,1	6,8	1,7	74,9
C3	A1	T3	0,6	7,9	57,4	24,3	7,9	1,8	81,7
C4	A2	T1	0,4	10	56,6	23,1	7,9	1,9	79,7
C4	A2	T1	0,5	9,7	58,5	22,2	7,3	1,8	80,7
C4	A2	T1	0	10,4	49,9	25,6	11	2,8	75,5
C5	A2	T2	0,9	5,6	60,5	24,5	7	1,4	85
C5	A2	T2	4,8	8,2	56,4	23	6,2	1,5	79,4
C5	A2	T2	0	7,8	57,3	22,4	9,4	3,1	79,7
C6	A2	T3	2,2	11,2	62,6	17,6	4,6	1,2	80,2
C6	A2	T3	2,6	12,5	60,2	17,5	5,3	1,3	77,7
C6	A2	T3	2,5	11,5	60,6	16,7	6,7	1,9	77,3
C7	A3	T1	0,5	8,9	63	21,3	5	1,1	84,3
C7	A3	T1	1,2	9,1	60,9	21,4	5,8	1,4	82,3
C7	A3	T1	0	5,8	60	25,1	8,9	0	85,1
C8	A3	T2	1,2	3,2	62	26,8	5,6	0,9	88,8
C8	A3	T2	0,9	8,2	60,5	22,4	6,1	1,5	82,9
C8	A3	T2	2,6	8,5	57,7	22,2	7,3	1,7	79,9
C9	A3	T3	1,5	10,9	59,7	20,4	6	1,3	80,1
C9	A3	T3	2,5	10,5	60,3	20,1	5,3	1,3	80,4
C9	A3	T3	2,5	9,6	59,7	21,2	5,7	1,2	80,9

ANEXO B - DADOS COMPILADOS DE CLASSIFICAÇÃO GRANULOMÉTRICA A ESPÉCIE *Eucalyptus dunnii*

U.A	Angulo	Tempo	Oversize	Overthick	Large Accept	Small Accept	Pin	Finos	Cascas	Accept
C1	A1	T1	0	1,2	58,2	33,2	6,4	0,7	0,3	91,4
C1	A1	T1	0	1	61,6	29,8	6,4	1,1	0,1	91,4
C1	A1	T1	0	0,8	63	30	5,4	0,6	0,3	93
C2	A1	T2	0,5	1,9	58,4	32	6,2	0,8	0,2	90,4
C2	A1	T2	0,1	0,4	57,7	34,2	6,7	0,8	0,1	91,9
C2	A1	T2	0,1	0,8	56	35,9	6,6	0,6	0	91,9
C3	A1	T3	0	1,4	60,2	30,4	6,9	1,1	0,1	90,6
C3	A1	T3	0	1,4	62,8	28,7	6,3	0,8	0	91,5
C3	A1	T3	0	1,1	56,8	33,7	7,1	1	0,4	90,5
C4	A2	T1	0	0,5	54,3	36,9	7,6	0,7	0	91,2
C4	A2	T1	0	0,9	57,7	34,7	6,1	0,6	0	92,4
C4	A2	T1	0	1	56,1	35,1	6,9	0,7	0,2	91,2
C5	A2	T2	0	1,6	58,4	32,5	6,6	0,8	0,1	90,9
C5	A2	T2	0,2	1,7	59,1	32,1	6,3	0,6	0	91,2
C5	A2	T2	0	0,9	59,9	32,1	6,3	0,7	0,1	92
C6	A2	T3	0	1,2	57,7	33,7	6,3	0,9	0,1	91,4
C6	A2	T3	0	2	52,8	34,8	8,7	1,8	0	87,6
C6	A2	T3	0	1,3	53,3	35,7	7	1	1,8	89
C7	A3	T1	0	0,9	58,5	33,1	6,3	0,8	0,3	91,6
C7	A3	T1	0	1,6	56,2	34,5	6,8	0,9	0	90,7
C7	A3	T1	0	1,4	61,8	30,5	5,2	0,8	0,3	92,3
C8	A3	T2	0	2,4	56,4	33,9	7	0,4	0	90,3
C8	A3	T2	0	1,3	55,5	35,9	6,7	0,5	0,1	91,4
C8	A3	T2	0	0,7	56,5	35,7	6,5	0,6	0	92,2
C9	A3	T3	0	1,3	58,6	32,5	6,2	1,1	0,2	91,1
C9	A3	T3	0	1,7	53,4	35,7	8,4	0,8	0	89,1
C9	A3	T3	0,2	1,3	53,3	35,2	8,4	1,6	0	88,5

ANEXO C - FICHA DE RESULTADOS DAS ANÁLISES DE LABORATÓRIO DA ESPÉCIE *Pinus taeda*

Tratamento	Angulo das facas (°)	Tempo de Facas (h)	Repetições	Oversize (%)	Overthick (%)	Large accept (%)	Small Accept (%)	Pin chips (%)	Fines (%)	Cascas	% Biomassa	% Celulose	Acetite
T1	34	0	R1	0,4	10	56,6	23,1	7,9	1,9	0	20,2	79,8	79,7
	34	0	R2	0,5	9,7	58,5	22,2	7,3	1,8	0,1	19,4	80,6	80,7
	34	0	R3	0	10,4	49,9	25,6	11	2,8	0,3	24,5	75,5	75,5
	MÉDIA			0,30	10,03	55,0	23,6	8,7	2,2	0,1	21,4	78,6	78,6
	DESVIO PADRÃO			0,26	0,35	4,52	1,76	1,99	0,55	0,2	2,74	2,74	2,76
	CV%			88,19	3,50	8,21	7,45	22,74	25,42	133,33	12,84	3,49	3,51
T2	34	5	R1	0,9	5,6	60,5	24,5	7	1,4	0,1	14,9	85,1	85,0
	34	5	R2	4,8	8,2	56,4	23	6,2	1,5	0	20,7	79,3	79,4
	34	5	R3	0	7,8	57,3	22,4	9,4	3,1	0,2	20,3	79,7	79,7
	MÉDIA			1,90	7,20	58,1	23,3	7,5	2,0	0,1	18,6	81,4	81,4
	DESVIO PADRÃO			2,55	1,40	2,15	1,08	1,67	0,95	0,1	3,24	3,24	3,15
	CV%			134,29	19,44	3,71	4,64	22,11	47,70	100,00	17,38	3,98	3,87
T3	34	10	R1	2,2	11,2	62,6	17,6	4,6	1,2	0,5	19,3	80,7	80,2
	34	10	R2	2,6	12,5	60,2	17,5	5,3	1,3	0,5	21,8	78,2	77,7
	34	10	R3	2,5	11,5	60,6	16,7	6,7	1,9	0,1	22,6	77,4	77,3
	MÉDIA			2,43	11,7	61,1	17,3	5,5	1,5	0,4	21,2	78,8	78,4
	DESVIO PADRÃO			0,21	0,68	1,29	0,49	1,07	0,38	0,3	1,72	1,72	1,57
	CV%			8,55	5,80	2,10	2,86	19,32	25,81	87,88	8,11	2,19	2,00
T4	35	0	R1	0,3	9,9	55	23,4	8,9	2,2	0,3	21,6	78,4	78,4
	35	0	R2	2,5	9,8	58,1	21,3	6,6	1,5	0,3	20,7	79,3	79,4
	35	0	R3	1,5	11,6	58	21,2	6,1	1,4	0,2	20,8	79,2	79,2
	MÉDIA			1,4	10,43	57,0	22,0	7,2	1,7	0,3	21,0	79,0	79,0
	DESVIO PADRÃO			1,10	1,01	1,76	1,24	1,49	0,44	0,3	0,49	0,49	0,53
	CV%			76,85	9,70	3,09	5,66	20,74	25,64	95,83	2,35	0,62	0,67

T5	35	5	R1	0	7,2	60,4	23,1	7,3	1,7	0,3	16,5	83,5	83,5
	35	5	R2	2,5	10,8	55,6	21,3	7,5	2,1	0,1	23,0	77,0	76,9
	35	5	R3	0,9	7,7	59,4	22,1	7,7	1,9	0,3	18,5	81,5	81,5
MÉDIA				1,1	8,57	58,5	22,2	7,5	1,9	0,2	19,3	80,7	80,63
DESVIO PADRÃO				1,27	1,95	2,53	0,90	0,20	0,20	0,2	3,33	3,33	3,38
CV%				111,73	22,77	4,33	4,07	2,67	10,53	90,48	17,22	4,13	4,20
T6	35	10	R1	1,9	10,4	54,9	22,1	8,5	2,1	0,1	23,0	77,0	77,0
	35	10	R2	2,9	13,6	57,8	17,1	6,8	1,7	0,1	25,1	74,9	74,9
	35	10	R3	0,6	7,9	57,4	24,3	7,9	1,8	0	18,2	81,8	81,7
MÉDIA				1,8	10,63	56,7	21,2	7,7	1,9	0,1	22,1	77,9	77,87
DESVIO PADRÃO				1,15	2,86	1,57	3,69	0,86	0,21	0,1	3,54	3,54	3,48
CV%				64,07	26,87	2,77	17,43	11,15	11,15	83,33	16,00	4,54	4,47
T7	36	0	R1	0,5	8,9	63	21,3	5	1,1	0,1	15,6	84,4	84,3
	36	0	R2	1,2	9,1	60,9	21,4	5,8	1,4	0,1	17,6	82,4	82,3
	36	0	R3	0	5,8	60	25,1	8,9	0	0,2	14,9	85,1	85,1
MÉDIA				0,6	7,9	61,3	22,6	6,6	0,8	0,1	16,0	84,0	83,9
DESVIO PADRÃO				0,60	1,85	1,54	2,17	2,06	0,74	0,1	1,40	1,40	1,44
CV%				106,37	23,32	2,51	9,58	31,37	88,45	108,33	8,74	1,67	1,72
T8	36	5	R1	1,2	3,2	62	26,8	5,6	0,9	0,4	10,9	89,1	88,8
	36	5	R2	0,9	8,2	60,5	22,4	6,1	1,5	0,4	16,7	83,3	82,9
	36	5	R3	2,6	8,5	57,7	22,2	7,3	1,7	0	22,4	77,6	79,9
MÉDIA				1,5	7,7	59,5	23,6	6,1	1,3	0,3	16,7	83,3	83,1
DESVIO PADRÃO				0,74	4,32	3,18	2,76	0,55	0,38	0,3	5,75	5,75	5,60
CV%				50,26	55,85	5,35	11,70	8,98	28,39	88,89	34,50	6,90	6,74
T9	36	10	R1	1,5	10,9	59,7	20,4	6	1,3	0,3	19,7	80,3	80,1
	36	10	R2	2,5	10,5	60,3	20,1	5,3	1,3	0,1	19,6	80,4	80,4
	36	10	R3	2,5	9,6	59,7	21,2	5,7	1,2	0,2	19,0	81,0	80,9
MÉDIA				2,2	10,3	59,9	20,6	5,7	1,3	0,2	19,4	80,6	80,5
DESVIO PADRÃO				0,58	0,67	0,35	0,57	0,35	0,06	0,2	0,38	0,38	0,40
CV%				26,65	6,44	0,58	2,76	6,20	4,56	83,33	1,95	0,47	0,50

ANEXO D - FICHA DE RESULTADOS DAS ANÁLISES DE LABORATÓRIO DA A ESPÉCIE *Eucalyptus dunnii*

Tratamento	Angulo das facas (°)	Tempo de Facas (h)	Repetições	Oversize (%)	Overthick (%)	Large accept (%)	Small Accept (%)	Pin chips (%)	Fines (%)	Cascas	% Biomassa	% Celulose	Aceite	
T1	34	0	R1	0	1,2	58,2	33,2	6,4	0,7	0,3	8,6	91,4	91,4	
	34	0	R2	0	1	61,6	29,8	6,4	1,1	0,1	8,6	91,4	91,4	
	34	0	R3	0	0,8	63	30	5,4	0,6	0,3	7,0	93,0	93,0	
MÉDIA				0,00	1,00	60,93	31,00	6,07	0,80	0,23	8,07	91,93	91,93	
DESVIO PADRÃO				0,00	0,20	2,47	1,91	0,58	0,26	0,12	0,92	0,92	0,92	0,92
CV%				#DIV/0!	20,00	4,05	6,15	9,52	33,07	49,49	11,45	1,00	1,00	1,00
T2	34	5	R1	0,5	1,9	58,4	32	6,2	0,8	0,2	9,6	90,4	90,4	
	34	5	R2	0,1	0,4	57,7	34,2	6,7	0,8	0,1	8,1	91,9	91,9	
	34	5	R3	0,1	0,8	56	35,9	6,6	0,6	0	8,1	91,9	91,9	
MÉDIA				0,23	1,03	57,37	34,03	6,50	0,73	0,10	8,60	91,40	91,40	
DESVIO PADRÃO				0,23	0,78	1,23	1,96	0,26	0,12	0,10	0,87	0,87	0,87	0,87
CV%				98,97	75,17	2,15	5,75	4,07	15,75	100,00	10,07	0,95	0,95	0,95
T3	34	10	R1	0	1,4	60,2	30,4	6,9	1,1	0,1	9,4	90,6	90,6	
	34	10	R2	0	1,4	62,8	28,7	6,3	0,8	0	8,5	91,5	91,5	
	34	10	R3	0	1,1	56,8	33,7	7,1	1	0,4	9,5	90,5	90,5	
MÉDIA				0,00	1,30	59,93	30,93	6,77	0,97	0,17	9,13	90,87	90,87	
DESVIO PADRÃO				0,00	0,17	3,01	2,54	0,42	0,15	0,21	0,55	0,55	0,55	0,55
CV%				#DIV/0!	13,32	5,02	8,22	6,15	15,80	124,90	6,03	0,61	0,61	0,61
T4	35	0	R1	0	0,5	54,3	36,9	7,6	0,7	0	8,8	91,2	91,2	
	35	0	R2	0	0,9	57,7	34,7	6,1	0,6	0	7,6	92,4	92,4	
	35	0	R3	0	1	56,1	35,1	6,9	0,7	0,2	8,8	91,2	91,2	
MÉDIA				0,00	0,80	56,03	35,57	6,87	0,67	0,07	8,40	91,60	91,60	
DESVIO PADRÃO				0,00	0,26	1,70	1,17	0,75	0,06	0,12	0,69	0,69	0,69	0,69
CV%				#DIV/0!	33,07	3,04	3,29	10,93	8,66	173,21	8,25	0,76	0,76	0,76
T5	35	5	R1	0	0,9	59,9	32,1	6,3	0,7	0,1	8,0	92,0	92,0	

	35	5	R2	0	1,6	58,4	32,5	6,6	0,8	0,1	9,1	90,9	90,9
	35	5	R3	0,2	1,7	59,1	32,1	6,3	0,6	0	8,8	91,2	91,2
	MÉDIA			0,07	1,40	59,13	32,23	6,40	0,70	0,07	8,63	91,37	91,37
	DESVIO PADRÃO			0,12	0,44	0,75	0,23	0,17	0,10	0,06	0,57	0,57	0,57
	CV%			173,21	31,13	1,27	0,72	2,71	14,29	86,60	6,59	0,62	0,62
T6	35	10	R1	0	1,4	59,9	31,8	5,9	0,8	0,2	8,3	91,7	91,7
	35	10	R2	0	1,6	60	31,7	6	0,6	0	8,3	91,7	91,7
	35	10	R3	0,4	1,1	61	30,8	5,8	0,8	0,1	8,2	91,8	91,8
	MÉDIA			0,13	1,37	60,30	31,43	5,90	0,73	0,10	8,27	91,73	91,73
	DESVIO PADRÃO			0,23	0,25	0,61	0,55	0,10	0,12	0,10	0,06	0,06	0,06
	CV%			173,21	18,41	1,01	1,75	1,69	15,75	100,00	0,70	0,06	0,06
T7	36	0	R1	0	0,9	58,5	33,1	6,3	0,8	0,3	8,4	91,6	91,6
	36	0	R2	0	1,6	56,2	34,5	6,8	0,9	0	9,3	90,7	90,7
	36	0	R3	0	1,4	61,8	30,5	5,2	0,8	0,3	7,7	92,3	92,3
	MÉDIA			0,00	1,30	58,83	32,70	6,10	0,83	0,20	8,47	91,53	91,53
	DESVIO PADRÃO			0,00	0,36	2,81	2,03	0,82	0,06	0,17	0,80	0,80	0,80
	CV%			#DIV/0!	27,74	4,78	6,21	13,42	6,93	86,60	9,47	0,88	0,88
T8	36	5	R1	0	2,4	56,4	33,9	7	0,4	0	9,7	90,3	90,3
	36	5	R2	0	1,3	55,5	35,9	6,7	0,5	0,1	8,6	91,4	91,4
	36	5	R3	0	0,7	56,5	35,7	6,5	0,6	0	7,8	92,2	92,2
	MÉDIA			0,00	1,47	56,13	35,17	6,73	0,50	0,03	8,70	91,30	91,30
	DESVIO PADRÃO			0,00	0,86	0,55	1,10	0,25	0,10	0,06	0,95	0,95	0,95
	CV%			#DIV/0!	58,78	0,98	3,13	3,74	20,00	173,21	10,96	1,04	1,04
T9	36	10	R1	0	1,3	58,6	32,5	6,2	1,1	0,2	8,9	91,1	91,1
	36	10	R2	0	1,7	53,4	35,7	8,4	0,8	0	10,9	89,1	89,1
	36	10	R3	0,2	1,3	53,3	35,2	8,4	1,6	0	11,5	88,5	88,5
	MÉDIA			0,07	1,43	55,10	34,47	7,67	1,17	0,07	10,43	89,57	89,57
	DESVIO PADRÃO			0,12	0,23	3,03	1,72	1,27	0,40	0,12	1,36	1,36	1,36
	CV%			173,21	16,11	5,50	4,99	16,57	34,64	173,21	13,05	1,52	1,52

ANEXO E – ANÁLISE DE VARIÂNCIA A ESPÉCIE *Pinus taeda*

A TABELA demonstra os valores de distribuição dos cavacos obtidos para *Pinus* na análise de variância.

TABELA - ANÁLISES DE VARIÂNCIA PARA A DISTRIBUIÇÃO DE CAVACOS DE PINUS

Fonte de Variação	Oversize	Overthick	Aceite	Pin Chips	Finos
Tempo	0,07ns	0,002*	0,08ns	0,18ns	0,61ns
Ângulo de Gume	0,98ns	0,15ns	0,02*	0,11ns	0,01*
Ângulo x Tempo	0,63ns	0,70ns	0,85ns	0,23ns	0,41ns

ns = não significativo e * significativo a 95% de probabilidade.

Fonte: O autor (2022).

O resultado da análise de variância para a distribuição granulométrica em relação ao tempo de processamento das facas, mostrou-se significativo apenas para as classes de *Overthick* (TABELA). Já os ângulos de gume influenciaram as categorias de “Aceite” e “Finos” (TABELA). Para a interação das variáveis (Ângulo de gume e Tempo de processamento), não houve nenhuma variável significativa. O resultado dos testes de média está representado na TABELA.

TABELA - MÉDIAS OBTIDAS DE CADA CLASSE DE CAVACOS PRODUZIDOS A PARTIR DE TORAS COM DIFERENTES PERÍODOS DE PROCESSAMENTO E ÂNGULOS DE GUME PARA *Pinus*

Variável						
Tempo (h)	Aceite (%)	Oversize (%)	Overthick (%)	Pin (%)	Finos (%)	Finos (%)
0	80,51a	0,77a	9,47a	7,5a	1,57a	1,57a
5	81,96a	1,53a	7,47b	7,22a	1,76a	1,76a
10	79,30a	2,13a	10,9a	6,31a	1,53a	1,53a
Angulo (°)	Aceite (%)	Oversize (%)	Overthick (%)	Pin (%)	Finos (%)	Finos (%)
34	79,275a	1,54a	9,66a	7,27a	1,88a	1,88a
35	79,56a	1,46a	9,88a	7,48a	1,82a	1,82a
36	82,93b	1,43a	8,30a	6,19a	1,16b	1,16b

Valores médios seguidos de letras diferentes na mesma coluna indicam diferenças significativas ao nível de 5% de significância pelo teste de Tukey
Fonte: O autor (2023).

Para a categoria *overthick* – cavacos sobre espessura - o resultado da análise de variância mostrou haver diferença estatística para o tempo de processamento das facas. Analisando as médias dessa variável, a única que diferiu estatisticamente das demais, foi a de 5pmh, apresentando redução de 3,4% quando comparado ao tempo de 10pmh. Esse resultado, porém, não era o esperado, uma vez que, os tempos de 0pmh e 10pmh foram considerados estatisticamente iguais. Esse comportamento pode ser explicado por alguns fatores, porém os principais estão relacionados com o desgaste dos componentes do picador, e, principalmente, pelas configurações do picador de discos, que são feitas visando a classe aceite.

Para a categoria aceite dos cavacos, o ângulo do gume de 36 graus revelou diferença significativa pelo teste da ANOVA, assim como o percentual de finos gerados no processamento desse mesmo ângulo (TABELA). Resultados esses que estão coerentes com a literatura (ABDALLAH, 2011; RECZULSKI, 2021).

Segundo DON (1989), nos picadores de disco o ângulo de corte é formado antes do ângulo de gume, de forma que, ao mudar o ângulo gume, mudou-se, proporcionalmente, o ângulo de corte (SANTOS, 2011) (TABELA). Sabe-se que, quanto menor o ângulo de corte (λ), maior será o esforço por compressão, no entanto maior é a padronização dos cavacos. No presente estudo, o menor ângulo de corte foi o que apresentou o maior percentual de partículas aceite, reforçando o que foi avaliado em estudos anteriores.

TABELA - VALORES MÉDIOS DE ACEITE PARA ÂNGULOS DE CORTE E DE ATAQUE, NO PROCESSAMENTO DE PINUS

Angulo Gume - β (°)	Angulo Corte - λ (°)	Aceite (%)
36	17	82,93a
35	18	79,55 b
34	19	79,27 b

Valores médios seguidos de letras diferentes na mesma coluna indicam diferenças significativas ao nível de 5% de significância pelo teste de Tukey.
Fonte: O autor (2023).

Diante do exposto, com maior porcentagem de cavacos na categoria aceite, consequentemente o resultado encontrado para finos será menor (TABELA), fato também conforme a literatura. ABDALLAH (2011), encontrou comportamento semelhante ao conduzir um estudo testando dois diferentes ângulos de afiação, de 25° e 34°, com toras de Abeto, onde as partículas entre 1 e 4 mm apresentaram aumento médio de 13% com a redução do ângulo de afiação. A proporção, no entanto, foi diferente da encontrado no presente estudo, onde os valores médios de finos representaram 1,87% para o ângulo de 34° e 1,15% para o de 36%, podendo ser explicado pelo fato das amostras do trabalho de ABDALLAH (2011), terem sido processadas e coletadas em um picador de bancada.

ANEXO F – ANÁLISE DE VARIÂNCIA EUCALIPTO

Na TABELA, estão representados os valores de F das análises de variância para distribuição granulométrica dos cavacos de eucalipto.

TABELA - ANÁLISES DE VARIÂNCIA PARA A DISTRIBUIÇÃO DE CAVACOS DE EUCALIPTO

Fonte de Variação	Overize	Overthick	Aceite	Pin Chips	Finos
Tempo	0,088ns	0,434ns	0,0123*	0,089ns	0,001*
Ângulo de Gume	0,373ns	0,463ns	0,393ns	0,447ns	0,946ns
Angulo x Tempo	0,114ns	0,697ns	0,568ns	0,519ns	0,411ns

ns = não significativo e * significativo a 95% de probabilidade.

Fonte: O autor (2023).

Os resultados da análise de variância para a distribuição granulométrica em relação ao tempo de processamento das facas mostraram-se significativos para as classes de “Aceite” e “Finos” (TABELA), não havendo significância para *Overize*, *Overthick* e *Pin Chips*. O tempo de 20 horas apresentou menor porcentagem de cavacos na categoria “Aceite” (TABELA). Por outro lado, o mesmo tempo apresentou maior porcentagem de cavacos na classe “Finos”. Esse resultado possivelmente demonstra o efeito do desgaste do gume de corte na produção dos cavacos.

Já os ângulos de corte (λ) e ângulos do gume (β), representados na TABELA, não influenciaram nenhuma das categorias. O mesmo aconteceu com a interação das variáveis (Angulo de Gume e Tempo de Processamento), onde novamente, não houve significância para nenhuma categoria testada. Os resultados para os testes de média estão representados na TABELA.

TABELA - MÉDIAS OBTIDAS DE CADA CLASSE DE CAVACOS PRODUZIDOS A PARTIR DE TORAS COM DIFERENTES PERÍODOS DE PROCESSAMENTO E ÂNGULOS DE GUME PARA *Eucalyptus durni*

<i>Variável</i>						
<i>Tempo (h)</i>	<i>Aceite (%)</i>	<i>Oversize (%)</i>	<i>Overthick (%)</i>	<i>Pin (%)</i>	<i>Finos (%)</i>	<i>Finos (%)</i>
0	91,60a	0,0a	1,07a	6,40a	0,77a	0,77a
5	91,36a	0,1a	1,30a	6,54a	0,64a	0,64a
10	90,01b	0,02a	1,37a	7,05a	1,12b	1,12b
<i>Angulo (°)</i>	<i>Aceite (%)</i>	<i>Oversize (%)</i>	<i>Overthick (%)</i>	<i>Pin (%)</i>	<i>Finos (%)</i>	<i>Finos (%)</i>
34	91,40a	0,07a	1,11a	6,44a	0,83a	0,83a
35	90,77a	0,02a	1,23a	6,87a	0,87a	0,87a
36	90,80a	0,02a	1,40a	6,83a	0,83a	0,83a

Valores médios seguidos de letras diferentes na mesma coluna indicam diferenças significativas ao nível de 5% de significância pelo teste de Tukey
Fonte: O autor (2023).

Para o eucalipto (TABELA), o comportamento encontrado foi diferente de pinus (TABELA). Pode-se observar que, nos resultados obtidos para eucalipto, apenas o fator Tempo revela diferença significativa pela ANOVA (TABELA). Dentre os tempos avaliados, o T3 (10pmh), se mostrou diferente dos demais. Resultado que está de acordo com a literatura (FACELO, 2013; SPINELLI, 2010). E pode estar associado ao desgaste do gume de corte com o processamento das toras. Contudo, além desse, outros fatores podem estar relacionados, como: qualidade da madeira, anatomia, densidade, química ou resistência mecânica do lenho. Os gêneros apresentam essas propriedades tecnológicas com características bem distintas, e determinados componentes químicos e elementos anatómicos podem favorecer ou não a resistência a compressão realizada durante a produção dos cavacos. De acordo com Silva (2002), a variação da densidade da madeira deve ser associada a mudanças nos esforços de usinagem, o aumento desse valor

promove a redução da vida útil do corte da ferramenta. Essa afirmação, pode explicar o porquê de as amostras de pinus não apresentarem resultado significativo para a variável tempo no teste da ANOVA.

ANEXO G - TENSÃO DOS MOTORES, EM KW, PARA O ÂNGULO DE 34° - A ESPÉCIE *Pinus taeda*

Horário	Início	Fim	Motor 1				Motor 2				Motor 3				Motor 4				Soma	Produção	Energia esp.				
			Motor 1	Motor 2	Motor 3	Motor 4	Motor 1	Motor 2	Motor 3	Motor 4	Motor 1	Motor 2	Motor 3	Motor 4	Motor 1	Motor 2	Motor 3	Motor 4				kW	Ton/h	Kw.h/ton	
			%																						
			Corrente (A)																Potência (kW)						
17:00	17:59	71,04	70,64	71,45	72,67	39,07	38,85	39,30	39,97	251	249	252	256	1008	565	1,8									
18:00	18:59	61,59	61,62	62,30	62,83	33,88	33,89	34,27	34,56	217	217	220	222	876	343	2,6									
20:00	20:59	78,17	77,94	78,34	79,00	42,99	42,87	43,09	43,45	276	275	276	279	1106	453	2,4									
21:00	21:59	67,45	67,58	67,89	68,62	37,10	37,17	37,34	37,74	238	238	239	242	958	315	3,0									
22:00	22:59	73,32	72,93	73,43	74,43	40,33	40,11	40,39	40,94	259	257	259	263	1037	516	2,0									
23:00	23:59	73,84	73,84	73,93	74,82	40,61	40,61	40,66	41,15	260	260	261	264	1046	486	2,2									
01:00	01:59	68,47	68,13	68,52	69,09	37,66	37,47	37,69	38,00	242	240	242	244	967	403	2,4									
02:00	02:59	67,63	67,30	67,77	68,76	37,19	37,01	37,28	37,82	239	237	239	243	957	506	1,9									
18:00	18:59	68,01	67,37	67,74	68,00	37,40	37,05	37,26	37,40	240	238	239	240	956	414	2,3									
19:00	19:59	79,41	79,32	79,19	79,77	43,68	43,63	43,55	43,87	280	280	279	281	1120	425	2,6									
20:00	20:59	79,00	78,76	78,99	79,36	43,45	43,32	43,44	43,65	279	278	279	280	1115	498	2,2									
21:00	21:59	72,49	72,61	72,72	73,63	39,87	39,93	39,99	40,50	256	256	256	260	1028	585	1,8									

ANEXO H - TENSÃO DOS MOTORES, EM kW, PARA O ÂNGULO DE 35° - A ESPÉCIE *Pinus taeda*

Início	Horário	Fim	Motor 1				Motor 2				Motor 3				Motor 4				Soma	Produção	Energia esp.							
			Motor 1	Motor 2	Motor 3	Motor 4	Motor 1	Motor 2	Motor 3	Motor 4	Motor 1	Motor 2	Motor 3	Motor 4	Motor 1	Motor 2	Motor 3	Motor 4				kW	Ton/h	Kw.h/ton				
			%																Corrente (A)				Potência (kW)					
14:00	14:59	71,89	72,13	71,14	72,08	39,54	39,67	39,13	39,64	254	254	254	254	254	254	254	254	254	254	1013	401	2,5						
15:00	15:59	75,50	75,47	75,34	75,68	41,52	41,51	41,44	41,62	266	266	266	266	266	266	266	266	266	266	1065	510	2,1						
16:00	16:59	74,22	73,78	73,40	74,48	40,82	40,58	40,37	40,96	262	262	262	262	262	262	262	262	262	262	1044	427	2,4						
17:00	17:59	70,10	70,05	70,15	70,89	38,56	38,53	38,58	38,99	247	247	247	247	247	247	247	247	247	247	992	556	1,8						
19:00	19:59	64,92	68,62	64,63	65,87	35,70	37,74	35,55	36,23	229	229	229	229	229	229	229	229	229	229	931	349	2,7						
20:00	20:59	74,13	67,21	74,33	75,37	40,77	36,97	40,88	41,46	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	1027	457	2,2						
21:00	21:59	70,96	68,75	70,30	71,52	39,03	37,81	38,67	39,34	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	993	437	2,3						
22:00	22:59	75,85	66,52	76,49	77,14	41,72	36,58	42,07	42,43	268	268	268	268	268	268	268	268	268	268	1044	470	2,2						
23:00	23:59	69,95	61,93	69,55	70,45	38,47	34,06	38,26	38,75	247	247	247	247	247	247	247	247	247	247	959	472	2,0						
00:00	00:59	72,30	63,67	72,35	73,10	39,77	35,02	39,79	40,20	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	993	421	2,4						
19:00	19:59	74,95	74,50	74,28	75,23	41,22	40,97	40,85	41,38	264	264	264	264	264	264	264	264	264	264	1054	454	2,3						
20:00	20:59	69,51	69,44	69,50	70,06	38,23	38,19	38,22	38,53	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	982	352	2,8						

ANEXO I - TENSÃO DOS MOTORES, EM kW, PARA O ÂNGULO DE 36° - A ESPÉCIE *Pinus taeda*

Horário		Motor 1	Motor 2	Motor 3	Motor 4	Motor 1	Motor 2	Motor 3	Motor 4	Motor 1	Motor 2	Motor 3	Motor 4	Soma	Produção	Energia esp.
Início	Fim	%				Corrente (A)				Potência (kW)				kW	Ton/h	Kw.h/ton
02:00	02:59	71,07	70,64	70,97	71,28	39,09	38,85	39,03	39,20	251	249	250	251	1002	403	2,5
03:00	03:59	69,69	69,34	69,54	70,58	38,33	38,13	38,25	38,82	246	245	245	249	985	420	2,3
04:00	04:59	68,89	68,28	68,74	69,24	37,89	37,55	37,81	38,08	243	241	242	244	970	350	2,8
05:00	05:59	65,79	65,66	65,84	66,50	36,18	36,11	36,21	36,57	232	232	232	235	930	490	1,9
06:00	06:59	63,67	63,61	63,87	64,13	35,02	34,98	35,13	35,27	225	224	225	226	900	280	3,2
07:00	07:59	68,69	68,78	69,00	69,30	37,78	37,83	37,95	38,11	242	243	243	244	973	438	2,2
08:00	08:59	71,55	71,70	71,99	72,85	39,35	39,44	39,59	40,07	252	253	254	257	1016	403	2,5
09:00	09:59	63,95	63,67	63,81	64,42	35,17	35,02	35,09	35,43	226	225	225	227	902	350	2,6
10:00	10:59	60,46	60,28	60,20	60,78	33,25	33,15	33,11	33,43	213	213	212	214	853	490	1,7
19:00	19:59	74,58	74,65	74,74	75,88	41,02	41,06	41,10	41,73	263	263	264	268	1058	525	2,0
20:00	20:59	72,28	71,96	72,22	73,35	39,75	39,58	39,72	40,34	255	254	255	259	1022	368	2,8
21:00	21:59	66,19	66,25	66,19	66,89	36,40	36,44	36,40	36,79	233	234	233	236	936	315	3,0

ANEXO J - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA O CONSUMO DE ENERGIA TOTAL E ESPECÍFICA – A ESPÉCIE *Pinus taeda*

TABELA – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA O CONSUMO TOTAL POR ÂNGULO DE GUME E TEMPO

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Linhas	45504,34	9	5056,038	1,646193	0,175857	2,456281
Colunas	13975	2	6987,5	2,275057	0,131557	3,554557
Erro	55284,34	18	3071,352			
Total	114763,7	29				

TABELA – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA O CONSUMO ESPECÍFICO POR ÂNGULO DE GUME E TEMPO

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Linhas	17,87107	19	0,940583	0,871229	0,61662	1,867332
Colunas	1,923974	2	0,961987	0,891055	0,41862	3,244818
Erro	41,02496	38	1,079604			
Total	60,82001	59				

ANEXO K - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA O CONSUMO DE ENERGIA TOTAL – A ESPÉCIE *Eucalyptus dunnii* LA – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA O CONSUMO TOTAL POR ÂNGULO DE GUME E TEMPO

<i>Fonte da variação</i>	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Linhas	45540,64	9	5060,071	0,850271	0,582433	2,456281
Colunas	3246,497	2	1623,248	0,272763	0,764364	3,554557
Erro	107120,3	18	5951,128			
Total	155907,4	29				

ANEXO L - TENSÃO DOS MOTORES, EM KW, PARA O ÂNGULO DE 34° - ESPÉCIE *Eucalyptus dunnii*

Horário	Início	Fim	Motor 1				Motor 2				Motor 3				Motor 4				Soma	Produção	Energia esp.	
			Motor 1	Motor 2	Motor 3	Motor 4	Motor 1	Motor 2	Motor 3	Motor 4	Motor 1	Motor 2	Motor 3	Motor 4	Motor 1	Motor 2	Motor 3	Motor 4				kW
14:00	14:59	65,81	65,62	65,19	65,79	36,19	36,09	35,86	36,18	232	231	230	232	232	230	232	232	230	232	926	370	2,5
15:00	15:59	62,13	62,10	62,04	62,44	34,17	34,16	34,12	34,34	219	219	219	220	220	219	220	220	219	220	877	333	2,6
16:00	16:59	63,46	63,46	63,15	63,96	34,90	34,91	34,73	35,18	224	224	223	226	226	223	226	226	223	226	896	278	3,2
17:00	17:59	64,11	63,82	63,86	64,57	35,26	35,10	35,13	35,51	226	225	225	228	228	225	228	228	225	228	904	259	3,5
18:00	18:59	62,05	61,67	61,76	62,60	34,13	33,92	33,97	34,43	219	217	218	221	221	218	221	221	218	221	875	200	4,4
19:00	19:59	62,69	62,75	62,99	63,57	34,48	34,51	34,64	34,96	221	221	222	224	224	222	224	224	222	224	889	237	3,8
20:00	20:59	62,04	61,81	61,78	62,91	34,12	34,00	33,98	34,60	219	218	218	222	222	218	222	222	218	222	877	239	3,7
21:00	21:59	61,42	61,08	61,31	62,00	33,78	33,59	33,72	34,10	217	215	216	219	219	216	219	219	216	219	867	238	3,6
22:00	22:59	64,92	64,87	65,01	65,69	35,71	35,68	35,76	36,13	229	229	229	232	232	229	232	232	229	232	919	293	3,1
23:00	23:59	63,25	63,06	63,40	64,06	34,79	34,68	34,87	35,23	223	222	224	226	226	224	226	226	224	226	895	239	3,7
01:00	01:59	65,33	65,19	65,36	66,21	35,93	35,86	35,95	36,42	232	231	230	232	232	231	232	232	230	232	926	370	2,5
02:00	02:59	62,67	62,50	62,62	62,91	34,47	34,37	34,44	34,60	219	219	219	220	220	219	220	220	219	220	877	333	2,6

ANEXO M - TENSÃO DOS MOTORES, EM KW, PARA O ÂNGULO DE 35° - ESPÉCIE *Eucalyptus dunnii*

Horário	Início	Fim	Motor 1				Motor 2				Motor 3				Motor 4				Soma	Produção	Energia esp.
			1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4			
			%				Corrente (A)				Potência (kW)										
15:00	15:59	61,97	61,74	61,73	62,26	34,08	33,96	33,95	34,24	219	218	218	220	218	218	218	218	218	874	259	3,4
16:00	16:59	61,48	61,28	61,24	61,84	33,81	33,70	33,68	34,01	217	216	216	218	216	216	216	218	218	867	296	2,9
17:00	17:59	60,74	60,66	60,52	61,49	33,40	33,36	33,29	33,82	214	214	214	217	214	213	213	217	217	858	278	3,1
18:00	18:59	61,38	61,23	61,26	61,88	33,76	33,67	33,69	34,03	216	216	216	218	216	216	216	218	218	867	218	4,0
19:00	19:59	63,60	63,43	63,61	64,43	34,98	34,89	34,98	35,44	224	224	224	227	224	224	224	227	227	900	348	2,6
20:00	20:59	62,47	62,15	62,42	62,99	34,36	34,18	34,33	34,64	220	219	219	222	219	220	220	222	222	882	315	2,8
21:00	21:59	59,35	59,37	59,35	60,01	32,64	32,65	32,64	33,00	209	209	209	212	209	209	209	212	212	840	215	3,9
22:00	22:59	61,46	61,35	61,41	62,00	33,80	33,74	33,78	34,10	217	216	216	219	216	217	217	219	219	868	221	3,9
23:00	23:59	62,08	62,31	62,13	62,63	34,14	34,27	34,17	34,45	219	220	219	221	220	219	219	221	221	879	315	2,8
07:00	07:59	68,03	67,80	68,93	69,47	37,42	37,29	37,91	38,21	240	239	239	245	239	243	243	245	245	967	234	4,1
08:00	08:59	63,11	62,90	63,15	63,79	34,71	34,59	34,73	35,09	219	218	218	220	218	218	218	220	220	874	259	3,4
09:00	09:59	64,49	64,32	64,64	65,46	35,47	35,38	35,55	36,00	217	216	216	218	216	216	216	218	218	867	296	2,9

ANEXO N - TENSÃO DOS MOTORES, EM kW, PARA O ÂNGULO DE 36° - ESPÉCIE *Eucalyptus dunnii*

Horário	Início	Fim	Motor 1				Motor 2				Motor 3				Motor 4				Soma	Produção	Energia esp.
			Motor 1	Motor 2	Motor 3	Motor 4	Motor 1	Motor 2	Motor 3	Motor 4	Motor 1	Motor 2	Motor 3	Motor 4	Motor 1	Motor 2	Motor 3	Motor 4			
10:00	10:59	41,68	41,60	41,24	41,80	41,80	22,92	22,88	22,68	22,99	22,99	22,99	22,99	225	225	224	226	900	407	2,2	
11:00	11:59	63,83	63,77	63,51	64,06	35,11	35,07	34,93	35,23	35,23	35,23	35,23	35,23	221	221	221	224	887	278	3,2	
12:00	12:59	62,67	62,65	62,57	63,53	34,47	34,46	34,42	34,94	34,94	34,94	34,94	34,94	233	234	234	237	938	426	2,2	
13:00	13:59	66,12	66,38	66,38	67,20	36,36	36,51	36,51	36,96	36,96	36,96	36,96	36,96	231	230	230	234	925	370	2,5	
14:00	14:59	65,36	65,29	65,27	66,21	35,95	35,91	35,90	36,41	36,41	36,41	36,41	36,41	155	154	156	158	624	241	2,6	
02:00	02:59	43,88	43,79	44,23	44,90	24,14	24,08	24,33	24,70	24,70	24,70	24,70	24,70	241	241	242	245	968	444	2,2	
03:00	03:59	68,35	68,30	68,57	69,33	37,59	37,57	37,71	38,13	38,13	38,13	38,13	38,13	241	241	242	245	969	370	2,6	
04:00	04:59	68,33	68,44	68,61	69,44	37,58	37,64	37,73	38,19	38,19	38,19	38,19	38,19	227	225	226	228	906	222	4,1	
05:00	05:59	64,25	63,88	64,07	64,70	35,34	35,13	35,24	35,59	35,59	35,59	35,59	35,59	234	234	233	237	938	389	2,4	
00:00	00:59	66,41	66,24	66,09	67,14	36,53	36,43	36,35	36,93	36,93	36,93	36,93	36,93	231	230	231	234	925	333	2,8	
01:00	01:59	65,40	65,25	65,36	66,23	35,97	35,89	35,95	36,42	36,42	36,42	36,42	36,42	225	225	224	226	900	407	2,2	
02:00	02:59	64,27	63,97	64,27	65,22	35,35	35,19	35,35	35,87	35,87	35,87	35,87	35,87	221	221	221	224	887	278	3,2	

ANEXO O – TESTE DE MÉDIAS ENTRE AS VARIÁVEIS DA MANOVA

Testes de efeitos entre sujeitos

Origem	Variável dependente	Tipo III Soma dos Quadrados	gl	Quadrado Médio	F	Sig.	
Modelo corrigido	x1	40,070 ^a	17	2,357	3,430	,001	
	x2	945,393 ^b	17	55,611	33,018	,000	
	x5	33,728 ^c	17	1,984	1,697	,090	
	x6	13,716 ^d	17	,807	5,025	,000	
	x8	1639,219 ^e	17	96,425	22,712	,000	
	Intercepto	x1	31,130	1	31,130	45,298	,000
		x2	1495,734	1	1495,734	888,066	,000
		x5	2531,076	1	2531,076	2165,026	,000
x6		81,894	1	81,894	510,063	,000	
x8		396825,311	1	396825,311	93468,406	,000	
Angulo		x1	,074	2	,037	,054	,948
		x2	4,871	2	2,436	1,446	,249
		x5	3,936	2	1,968	1,683	,200
	x6	1,518	2	,759	4,728	,015	
	x8	31,623	2	15,811	3,724	,034	
	Tempo	x1	4,429	2	2,215	3,223	,052
		x2	28,271	2	14,136	8,393	,001
		x5	,178	2	,089	,076	,927

	x6	,260		2	,130	,811	,452
	x8	48,929		2	24,465	5,762	,007
Espécie	x1	27,879		1	27,879	40,567	,000
	x2	870,412		1	870,412	516,792	,000
	x5	,934		1	,934	,799	,377
	x6	8,089		1	8,089	50,382	,000
	x8	1496,787		1	1496,787	352,554	,000
Angulo * Tempo	x1	1,957		4	,489	,712	,589
	x2	3,296		4	,824	,489	,744
	x5	6,275		4	1,569	1,342	,273
	x6	,850		4	,212	1,323	,280
	x8	6,532		4	1,633	,385	,818
Angulo * Espécie	x1	,007		2	,004	,005	,995
	x2	8,636		2	4,318	2,564	,091
	x5	5,658		2	2,829	2,420	,103
	x6	1,396		2	,698	4,347	,020
	x8	41,567		2	20,784	4,895	,013
Tempo * Espécie	x1	4,067		2	2,034	2,959	,065
	x2	25,934		2	12,967	7,699	,002
	x5	10,591		2	5,296	4,530	,018
	x6	1,107		2	,554	3,448	,043
	x8	8,676		2	4,338	1,022	,370
Angulo * Tempo * Espécie	x1	1,657		4	,414	,603	,663

	x2	3,972	4	,993	,590	,672
	x5	6,155	4	1,539	1,316	,283
	x6	,496	4	,124	,773	,550
	x8	5,105	4	1,276	,301	,876
Erro	x1	24,740	36	,687		
	x2	60,633	36	1,684		
	x5	42,087	36	1,169		
	x6	5,780	36	,161		
	x8	152,840	36	4,246		
Total	x1	95,940	54			
	x2	2501,760	54			
	x5	2606,890	54			
	x6	101,390	54			
	x8	398617,370	54			
Total corrigido	x1	64,810	53			
	x2	1006,026	53			
	x5	75,814	53			
	x6	19,496	53			
	x8	1792,059	53			