

**UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL
AREA DE CONHECIMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS E ENGENHARIAS**

ANDERSON SCHMITT LIGABUE

**ANÁLISE EXPERIMENTAL DA INFLUÊNCIA DO PRAQUECIMENTO DO
ADESIVO SINTÉTICO NA RESISTÊNCIA MECÂNICA DE PAINÉIS DE MADEIRA
DE PINUS**

CAXIAS DO SUL

2023

ANDERSON SCHMITT LIGABUE

**ANÁLISE EXPERIMENTAL DA INFLUÊNCIA DO PRAQUECIMENTO DO
ADESIVO SINTÉTICO NA RESISTÊNCIA MECÂNICA DE PAINÉIS DE MADEIRA
DE PINUS**

Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia
Mecânica apresentado como requisito para
obtenção do título de Engenheiro Mecânico na
Universidade de Caxias do Sul.

Orientador Prof.: Dr. Marcos Alexandre Luciano

CAXIAS DO SUL

2023

ANDERSON SCHMITT LIGABUE

**ANÁLISE EXPERIMENTAL DA INFLUÊNCIA DO PRAQUECIMENTO DO
ADESIVO SINTÉTICO NA RESISTÊNCIA MECÂNICA DE PAINÉIS DE MADEIRA
DE PINUS**

Trabalho de Conclusão de Curso para
obtenção do Grau de Bacharel em
engenharia mecânica da Universidade
de Caxias do Sul.

Aprovado em: 10 / 07 /2023.

Banca Examinadora

Prof. Dr. Marcos Alexandre Luciano
Universidade de Caxias do Sul

Prof. Me. Paulo Roberto Linzmaier
Universidade de Caxias do Sul

Prof. Dr. Alexandre Vieceli
Universidade de Caxias do Sul

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo, verificar o desempenho de juntas coladas em função da temperatura de pré-aquecimento de adesivo sintético à base de Poliacetato de Vinila (PVAc) para diferentes temperaturas iniciais com a madeira da espécie *Pinus Taeda*. Para os ensaios, foram confeccionadas amostras obedecendo a Norma ABNT - NBR 7190:1997, submetendo a testes de resistência à ruptura na linha de cola por esforços de cisalhamento e tração. Foram confeccionados 30 e 36 conjuntos de corpos de prova para tração e cisalhamento respectivamente, dos quais 10 e 12 corpos de prova foram utilizados para cada uma das três temperaturas T1= 20°C, T2= 25°C e T3= 30°C. Para o ensaio mecânico, as amostras foram coladas com adesivo à base de PVA da marca Mastercool, prensado a quente em prensa de alta frequência, da marca Maquimóvel. As amostras indiferente da temperatura que foram coladas apresentaram relação de proporcionalidade da resistência pela densidade, isto é, maior densidade, maior resistência. As amostras coladas com temperatura de 20°C, obtiveram uma resistência média de 2,2 MPa e 7,01 MPa, as amostras coladas com temperatura de 25°C, obtiveram uma resistência média de 1,5 MPa e 7,26 MPa e as amostras coladas com temperatura de 30°C, obtiveram uma resistência média de 1,8 MPa e 6,26 MPa, para tração e cisalhamento respectivamente. A densidade mostrou gerar influencia na resistência, no futuro há a necessidade de se estudar a relação da resistência pela densidade.

Palavras-chave: *Pinus Taeda*, Linha de cola, Resistência mecânica, Norma ABNT - NBR 7190:1997.

ABSTRACT

The objective of this work was to verify the performance of glued joints as a function of the preheating temperature of a synthetic adhesive based on Polyvinyl Acetate (PVAc) for different initial temperatures with wood of the *Pinus Taeda* species. For the tests, samples were made according to the ABNT Standard - NBR 7190:1997, subject to tests of resistance to rupture in the glue line by shear and traction efforts. 30 and 36 sets of specimens were made for tension and shear respectively, of which 10 and 12 specimens were used for each of the three temperatures $T_1 = 20^\circ\text{C}$, $T_2 = 25^\circ\text{C}$ and $T_3 = 30^\circ\text{C}$. For the mechanical test, the samples were bonded with PVA-based adhesive from the Mastercool brand, hot-pressed in a high-frequency press, from the Maquimóvel brand. The samples indifferent to the temperature that were glued showed a proportionality relationship between resistance and density, that is, greater density, greater resistance. The samples glued with a temperature of 20°C , obtained an average resistance of 2.2 MPa and 7.01 MPa, the samples glued with a temperature of 25°C , obtained an average resistance of 1.5 MPa and 7.26 MPa and the samples glued with a temperature of 30°C , obtained an average resistance of 1.8 MPa and 6.26 MPa, for traction and shear respectively. Density has shown to influence resistance, in the future there is a need to study the relationship between resistance and density.

Keywords: *Pinus Taeda*, Glue thread, Mechanical strength, Standard ABNT - NBR 7190:1997.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Material descartado depositado na lateral da máquina	13
Figura 2 - Floresta de Pinus da espécie Taeda	14
Figura 3- Pannel de madeira.....	15
Figura 4: processo produtivo e parâmetros	21
Figura 5: Máquina Serra múltipla.....	22
Figura 6: Máquina Serra fita.....	23
Figura 7: Processo de gradear a madeira.....	23
Figura 8: Estufa carregada de madeira.....	24
Figura 9: Aplainadora	24
Figura 10: Otimizadora Cursal	25
Figura 11: prensa de alta frequência	26
Figura 12: Corpo de prova para ensaio de tração.	27
Figura 13: Corpo de prova para ensaio de cisalhamento.	28
Figura 14: Dispositivo de banho maria.	29
Figura 15: Dispositivo ensaio mecânico.	30
Figura 16: Amostra para ensaio de tração.....	30
Figura 17: Dispositivo de ensaio a tração.	31
Figura 18: Amostra para ensaio de cisalhamento	31
Figura 19: Dispositivo de ensaio a cisalhamento.	32
Figura 20: Valor médio da resistência a tração com desvio padrão	33
Figura 21: Rugosímetro.....	34
Figura 22: Relação entre as resistências.....	35
Figura 23: Resistência <i>versus</i> Densidade T 20°C.....	35
Figura 24: Amostra com falha de rompimento das fibras da madeira.....	36
Figura 25: Resistência <i>versus</i> Densidade T 25°	36
Figura 26: Resistência <i>versus</i> Densidade T 30°	37
Figura 27: Relação entre as resistências.....	38
Figura 28: Resistência <i>versus</i> Densidade T 20°C.....	39
Figura 29: Resistência <i>versus</i> Densidade T 25°C.....	39
Figura 30: Resistência <i>versus</i> Densidade T 30°C.....	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Produção no período de 18 a 24 do mês de junho de 2022	12
Tabela 2: Valores de resistência a tração dos corpos de prova	46
Tabela 3: Valores de resistência media a tração dos corpos de prova	46
Tabela 4: Valores medidos no ensaio de tração com temperatura de 20°	46
Tabela 5: Valores medidos no ensaio de tração com temperatura de 25°	47
Tabela 6: Valores medidos no ensaio de tração com temperatura de 30°	47
Tabela 7: Valores medidos no ensaio de cisalhamento com temperatura de 20°	47
Tabela 8: Valores medidos no ensaio de cisalhamento com temperatura de 25°	48
Tabela 9: Valores medidos no ensaio de cisalhamento com temperatura de 30°	48

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

UCS	Universidade de Caxias do Sul
SI	Sistema Internacional de Unidades
PMVA	Produtos de Maior Valor Agregado
EGP	<i>Edge Glued Panel</i>
<i>Finger-joint</i>	junta de marcenaria interligados em duas peças de madeira
PVA	Acetato de Polivinila
cP	Centipoise
pH	Potencial hidrogeniônico
MPa	Mega Pascal
NBR	Norma Brasileira
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
EPI	Emulsão polimérica de isocianato
PU	Poliuretano
TBU	Temperatura no bulbo úmido
TBS	Temperatura no bulbo seco
kVA	Quilo Voltamperes
RS	Rio Grande do Sul
Bar	Unidade de pressão
T1	Temperatura 1
T2	Temperatura 2
T3	Temperatura 3
T4	Temperatura 4

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	JUSTIFICATIVA E AMBIENTE DE TRABALHO	11
1.2	OBJETIVOS	13
1.2.1	Objetivo Geral	13
1.2.2	Objetivos Específicos	13
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	14
2.1	PAINÉIS DE MADEIRA	14
2.1.1	Pinus Taeda.....	14
2.1.2	Painéis de EGPs	15
2.1.3	Processo de colagem	16
2.1.4	Parâmetros de colagem	16
2.2	ACETATO DE POLIVINILA (PVA).....	17
2.2.1	Propriedades do PVA	18
2.3	EQUAÇÕES	19
2.4	NORMAS	19
2.5	ENSAIOS DE RESISTÊNCIA DA LINHA DE COLA	20
2.6	TRABALHOS CORRELATOS.....	20
3	DESENVOLVIMENTO	21
3.1	PROCESSO PRODUTIVO	21
3.2	MÉTODO EXPERIENTAL	26
3.3	ENSAIOS EXPERIMENTAIS	28
4	RESULTADOS.....	32
4.1	DADOS PRELIMINARES.....	32
4.2	RUGOSIDADE	33
4.3	ENSAIO DE TRAÇÃO	34
4.4	ENSAIO DE CISALHAMENTO	37
5	CONCLUSÕES	42
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	43

APÊNDICE A – Tabela com resultados.....	46
APÊNDICE B – Ensaios mecânicos.....	49
APÊNDICE C - Relatório rugosidade	54

1 INTRODUÇÃO

Pinus Taeda é uma espécie conífera da família dos pinheiros, com origem nos Estados Unidos, que movimentam comercialmente milhões de dólares anualmente. Seus principais produtores no Brasil estão localizados no estado do Paraná e Santa Catarina (MASSETTO, 2020).

Nas últimas décadas, a crescente competitividade submeteu as empresas brasileiras produtoras de serrados a buscarem processos e produtos com maior valor agregado, denominados de PMVA. Dentre os variados tipos de produtos, os que possuem alta aceitação no mercado de exportação são os EGPs (painéis colados lateralmente), que nada mais são do que compensados do tipo sarrafeado, colados com adesivos sintéticos (ALVES et al., 2003).

Sua principal utilização está na fabricação de móveis em madeira. Comumente, não são aplicados revestimentos ao EGP, pois o efeito decorativo é dado pelo próprio desenho da madeira e/ou pelas emendas (GRION et al., 2014).

Apesar de a pandemia ter causado forte recuo no mercado da madeira, em 2021 o Brasil exportou 336 mil de m³ de EGPs. Na última década, as exportações tiveram bom desempenho, apresentando crescimento ao longo dos anos no que se refere aos volumes embarcados (LAURINDO, 2021).

Os EGPs ganharam espaço no mercado por utilizar pedaços de madeira para sua confecção. O que antes era considerado resíduo se transforma em produto valioso, fazendo com que esta técnica seja considerada eco eficiente e sustentável.

Com base nesse contexto, o presente trabalho contribui para a compreensão da influência do preaquecimento de adesivo sintético na resistência mecânica da linha de cola de painéis de madeira maciça de pinus colados em prensa de alta frequência.

1.1 JUSTIFICATIVA E AMBIENTE DE TRABALHO

A Logon Madeiras do Brasil é uma empresa do ramo madeireiro com foco na produção de painéis de madeira e exportação dos mesmos para os Estados Unidos. Atualmente, suas plantas fabris são: uma serraria situada em São Marcos-RS, que faz a primeira etapa do processamento das toras de madeiras; uma filial em Caxias do Sul-RS, onde possui as estufas que faz o beneficiamento reduzindo o teor de umidade da madeira, e outra filial também situada em Caxias do Sul-RS, que faz o processo final na madeira e embala para a exportação.

Com a forte competitividade no mercado atual, o percentual de lucro da empresa vem se tornando cada vez menor devido à dificuldade que a mesma tem em controlar o desperdício de material e tempo utilizados na produção dos EGPs.

A tabela 1 mostra a quantidade de painéis produzidos e a quantidade descartada no período que compreendeu os dias 18 a 24 de junho de 2022, contudo no período que se estendeu o desenvolvimento do trabalho os valores continuaram expressivos. O valor de descarte apresentado girou em torno de 15% da produção.

Com um valor de venda de 575 dólares por metro cúbico. Neste período, foram deixados de faturar 6400 dólares, que transformando para a moeda corrente nacional, com o dólar sendo cotado à R\$5,24 reais, esse valor já é de aproximadamente R\$33.000,00 reais.

Tabela 1 - Produção no período de 18 a 24 do mês de junho de 2022

Dia	Produção diária sem defeito (m ³)	Produção diária com defeito (m ³)
16	9,51	1,36
17	9,98	1,63
20	12,02	1,9
21	14,04	2,1
22	10,8	1,45
23	8,96	1,2
24	9,17	1,6
Total	74,48	11,24

Fonte: autor (2022)

Outro aspecto importante é o tempo gasto para a produção dos painéis EGPs. Hoje é gasto cerca de 35 minutos por metro cúbico produzido. No período analisado, houve uma perda de tempo de operação de mais 6 horas, ou seja, a cada 1 m³ apenas 0,85 m³ é aproveitado os outros 0,15 m³ é descartado, sendo esse tempo só de prensagem, não levando em consideração o tempo gasto nos processos anteriores. Além dos gastos, o material que fica depositado nas laterais da máquina gera um aspecto feio e atrapalha o fluxo de pessoas em volta, conforme mostrado na figura 1.

Diante disto, se faz necessário o presente estudo, a fim de contribuir com o desenvolvimento da empresa, visando à redução de desperdício de matéria-prima e de tempo de operação na produção dos painéis.

Figura 1- Material descartado depositado na lateral da máquina



Fonte: autor (2022)

1.2 OBJETIVOS

Com o propósito de atender aos requisitos da conclusão do curso de engenharia mecânica juntamente com as determinações da empresa e suas filiais, os objetivos são expressos a seguir.

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é a análise experimental da influência da temperatura de preaquecimento de adesivo sintético, na resistência mecânica de painéis EGPs de *Pinus Taeda*.

1.2.2 Objetivos Específicos

Para atingir o objetivo deste trabalho, os seguintes objetivos específicos foram alcançados:

- ✓ Pesquisar normas que regem a produção e a resistência mecânica de EGPs.
- ✓ Pesquisar na literatura, ensaios mecânicos realizados em trabalhos correlatados.
- ✓ Avaliar o comportamento mecânico da união de lamelas de madeira com adesivo sintético.
- ✓ Analisar os resultados obtidos nos ensaios e compará-los com normas vigentes e trabalhos encontrados na literatura.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O capítulo a seguir serviu de embasamento teórico para o desenvolvimento do presente trabalho. Na revisão literária são abordados os seguintes assuntos: painéis à base de madeira, adesivo sintéticos, normas que regem testes de fabricação dos painéis e, por fim, estudos passados referentes à resistência mecânica dos painéis EGPs.

2.1 PAINÉIS DE MADEIRA

2.1.1 *Pinus Taeda*

Pinus Taeda é considerada uma das mais importantes dentre as espécies florestais plantadas comercialmente, no Sul e Sudeste dos Estados Unidos. Dentre as espécies do gênero, é também, a mais plantada no Brasil, com cerca de 1 milhão de hectares. Seu plantio se concentra nos planaltos da região Sul, bem como nas partes mais chuvosas do Sul dos estados de São Paulo e Minas Gerais, conforme citado por Prata (2010). A figura 2 apresenta uma floresta da espécie *Pinus Taeda*.

Figura 2 - Floresta de *Pinus* da espécie *Taeda*



Fonte: Materioteca (2020)

Um dos principais parâmetros para avaliação da qualidade de uma madeira é a sua densidade básica específica, que está relacionada à qualidade superficial. Outro parâmetro muito utilizado é a umidade específica, sendo que este controle proporciona uma defesa contra ataques de fungos e uma melhor fibrologia (SILVA, 2013).

Para Foelkel (2008), as características morfológicas do Pinus, quando árvore adulta em povoamentos comerciais, podem chegar próximo aos 30 ou 40 metros de altura. Possui casca característica gretada, ramos acinzentados e acículas de coloração verde-escura.

2.1.2 Painéis de EGPs

O processamento da madeira na forma de serrados incrementou a gama de utilização da madeira e, posteriormente, através do uso de adesivos para colagem de peças de madeira, possibilitaram a fabricação de produtos compostos de madeira para as mais variadas aplicações (WEB, 2022).

Uma destas aplicações, utilizada principalmente no mercado exterior, são os painéis de madeiras colados lateralmente, mais conhecidos por EGP, utilizados atualmente para a confecção de móveis, portas, pisos e também na construção civil (WEB, 2022).

O EGP é caracterizado como um conjunto de peças de madeira coladas lateralmente, formando um painel, conforme figura 3.

Figura 3- Painel de madeira



Fonte: Autor (2022)

Os sarrafos podem apresentar união de topo, que pode ser reta ou do tipo *finger-joint*. A maior parte da produção nacional é feita em madeira de pinus, embora sejam encontrados painéis colados lateralmente, fabricados em madeira de folhosas tropicais e em madeira de eucaliptos, como explicam Mattos *et al.* (2014).

A região da junta deve ser isenta de defeitos, que são basicamente os nós e as fibras irregulares, os quais podem acabar diminuindo a resistência da mesma.

Segundo Carneiro (2010), os ensaios na junta já colada, avaliam a resistência do adesivo, as técnicas de obtenção da junta, a limpeza da superfície de colagem, sua aplicação e a distribuição do adesivo e por fim, o método de cura. A qualificação da junta com adesivo é avaliada através da análise do modo de ruptura dela após ensaios mecânicos.

2.1.3 Processo de colagem

Colar duas peças de madeira é uma operação simples. A cola penetra suficientemente fundo na madeira, e se torna rígida após a sua cura. É esperado que a resistência da ligação fosse maior que a resistência da própria madeira. A colagem dependerá das características da cola, mas também de variáveis relacionada com o ambiente, com a estrutura morfológica da madeira, com a maneira que a madeira foi processada antes de ser colada, com a geometria da peça, e assim por diante (MANOSSO, 2014).

Com a crescente utilização de produtos à base de compostos de madeira, torna-se importante compreender a interação da interface entre a madeira e o adesivo utilizado na confecção de produtos colados (FRIHART, 2010).

Para avaliar a capacidade de adesão da madeira, são realizados os ensaios de cisalhamento da linha de cola que consistem na separação das suas fibras, causada por um esforço paralelo às mesmas (deslizamento) (KOLLMANN, 1978).

2.1.4 Parâmetros de colagem

O processo de colagem de madeira é uma prática que favorece o aproveitamento da matéria prima, e para obter uma boa colagem, diversos fatores devem ser observados.

A umidade da madeira é um fator muito importante na colagem. Adesivos PVA são à base d'água, e curam com a perda de água. Sendo assim, o processo de secagem do adesivo fica muito lento quando o conteúdo de umidade da madeira é alto, isto retarda o processo de absorção e evaporação da água da cola (WENGERT, 2002). A madeira com umidade baixa absorve muito rapidamente a umidade do adesivo, dificultando o processo.

A umidade sugerida é entre 7 a 10%, e a diferença entre uma ripa e outra não deve ser superior a 1%, caso contrário poderá haver problema de juntas em degrau (WENGERT, 2002).

A superfície a ser colada deverá estar no esquadro, sem marcas de plaina ou serras, e livres de fibras soltas. Isto possibilitará obter uma linha de cola bem fina, que será mais resistente que uma linha de cola grossa. As superfícies também não podem estar polidas/lustras, pois isto dificultaria a penetração do adesivo na madeira, ocasionando uma colagem fraca, normalmente é recomendado o uso de lixa grão acima de 50 (WENGERT, 2002).

A pressão de colagem é definida como a força necessária para promover a adesão entre os dois substratos, e estas deverão estar entre 45 e 70 Bar.

Altas cargas de pressão promovem uma movimentação excessiva do adesivo, fazendo com que ele transborde para fora da junta colada, enquanto que pressões muito baixas podem diminuir a penetração do adesivo pela madeira (TIENNE, 2006).

A pressão deve ser uniforme por toda a extensão do painel, para isto, deve haver, no mínimo duas sapatas de pressão, a 3 cm de cada ponta, e distância entre as sapatas adicionais não deve ser superior a 20-25 cm (WENGERT, 2002).

As peças deverão ser coladas dentro de 24 horas após serem aplainadas, pois desta forma as superfícies não serão contaminadas por resinas da madeira e não terão sofrido deformações por variações de conteúdo de umidade (WENGERT, 2002).

O tempo de montagem, que é o tempo entre a aplicação do adesivo e aplicação de pressão nas peças, não deve exceder 5 minutos, caso contrário o adesivo irá criar uma película emborrachada. Já o tempo de prensagem, pode variar entre 30 segundos e 90 segundos para madeiras macias na prensagem em alta frequência (WENGERT, 2002).

2.2 ACETATO DE POLIVINILA (PVA)

O acetato de polivinila (PVA) é um adesivo sintético comumente usado para a colagem da madeira. Sem cor e sem cheiro, a cola reage melhor em locais com boa circulação de ar e seca rapidamente à temperatura ambiente. Esse tipo de adesivo é formulado para penetrar nas fibras da madeira, resultando em colagens que podem até ser mais resistentes do que a própria madeira (HENKEL, 2022).

Adesivos PVA são à base d'água e curam com a perda de água, à medida que ocorre a sua evaporação ou penetração na madeira. Sendo assim, o processo de secagem do adesivo fica muito mais lento, quando o conteúdo de umidade da madeira é muito alto (MANOSSO, 2002).

Segundo Iwakiri et al. (2021), as propriedades da madeira estão relacionadas diretamente com as ações de mobilidade do adesivo na formação de “ganchos” de ligação entre as faces de colagem. A porosidade tem uma relação inversa com a massa específica, ou seja, madeira com alta massa específica possui menos espaços vazios e, conseqüentemente, dificulta a penetração do adesivo, resultando na baixa ancoragem e adesão.

2.2.1 Propriedades do PVA

Almeida et al. (2010) destacam que as principais propriedades dos adesivos que influenciam diretamente na colagem da madeira são: viscosidade, tempo de trabalho, teor de substâncias sólidas e acidez ou alcalinidade. A viscosidade é uma propriedade fluídica que está relacionada ao seu transporte. Quanto maior a viscosidade, mais lento o fluido se movimenta (AZEVEDO, 2009).

A viscosidade influencia no espalhamento do adesivo na madeira, assim como na penetração para as demais camadas do painel. Quando a viscosidade for baixa, a absorção do adesivo pela madeira é alta, o que resultará em uma baixa qualidade de colagem. Quando for alta, ocorrerá uma linha de cola espessa com uma penetração insuficiente do adesivo na estrutura da madeira, não ocorrendo a interligação entre a cola e a superfície, conseqüentemente ocasionando uma baixa qualidade de colagem (BECKER 2011)

Conforme Iwakiri (2005) a viscosidade é interpretada, no sentido de fluidez (mobilidade) do adesivo, como sua função mais forte na linha de cola, e relata ainda que a viscosidade dos adesivos PVA está na faixa de 6000 cP a 8000 cP a temperatura de 25°C.

O teor de sólidos é uma propriedade de grande importância na colagem e pode ser entendido como a quantidade de sólidos do adesivo que forma a linha de cola. O alto teor de sólidos pode contribuir para maior resistência na linha de cola, destacam Bianche et al. (2017).

A quantidade de sólidos presentes na resina está diretamente relacionada com a velocidade de formação da película adesiva, ou seja, quanto maior a quantidade de água (menor o teor de sólidos) na resina, mais lenta será a velocidade de formação da película, devido ao maior tempo de evaporação desta água. O teor de sólidos dos adesivos PVAc apresenta-se na faixa de 44,0% à 46,0% (BANDEL, 1991).

O termo pH é utilizado para descrever uma unidade de medida, a qual indica o grau de acidez ou de alcalinidade de uma solução (HERRING, 2015).

Na colagem de painéis, tanto o pH da madeira quanto da resina tem influência, pois existem resinas que curam em meio ácido e outras em meio alcalino. Madeiras com baixo pH, podem beneficiar o endurecimento precoce do adesivo na fase de prensagem (ALMEIDA, 2009).

Para os adesivos, há uma faixa de pH em que se deve estar, que é entre 2,5 e 11 para que não afete as fibras da madeira (IWAKIRI, 2005).

2.3 EQUAÇÕES

Densidade é a relação existente entre a massa e o volume de um material, a uma dada pressão e temperatura.

A resistência mecânica é a capacidade que um material tem de suportar esforços sem sofrer deformações plásticas.

Para os cálculos de resistência e densidade foram utilizadas as equações 1, 2 e 3, onde a densidade é a relação do peso pelo volume e a resistência é a relação força pela área.

$$\tau = F/A \quad (1)$$

$$\sigma = F/A \quad (2)$$

$$\rho = m/V \quad (3)$$

2.4 NORMAS

Para a madeira maciça do tipo *Pinus Taeda*, são apresentados abaixo os valores normalizados da resistência à tração e cisalhamento segundo ABNT e ASTM.

Para a norma ABNT NBR 7190/1997, o comportamento elástico-frágil da madeira tracionada permite que, quando não for possível a realização do ensaio de tração uniforme, a resistência à tração paralela às fibras seja determinada pela tensão atuante na borda mais tracionada, calculada em regime elástico, ensaiando-se corpos-de-prova de seção transversal que leve à ruptura efetiva da zona tracionada antes da ruptura da zona comprimida. O valor da resistência mecânica da madeira maciça de *Pinus Taeda* para a tração paralela às fibras, é 2,8 MPa.

Para a norma ABNT NBR 7190/1997, a resistência ao cisalhamento paralelo às fibras da madeira é dada pela máxima tensão de cisalhamento que pode atuar na seção crítica de um corpo-

de-prova prismático. O valor da resistência ao cisalhamento para a madeira serrada de *Pinus Taeda* é 7,7 MPa.

2.5 ENSAIOS DE RESISTÊNCIA DA LINHA DE COLA

Colar duas peças de madeira é uma operação simples, onde a colagem depende das características da cola, mas também de variáveis relacionadas com o ambiente, com a estrutura morfológica da madeira, com a maneira que a madeira foi processada antes de ser colada, com a geometria da peça, entre outros (MANOSSO, 2014).

Com a crescente utilização de produtos à base de compostos de madeira, torna-se importante compreender a interação da interface entre a madeira e o adesivo utilizado na confecção de produtos colados (FRIHART, 2010).

Para avaliar a capacidade de adesão da madeira, são realizados os ensaios de cisalhamento da linha de cola, que consistem na separação das suas fibras, causada por um esforço paralelo às mesmas (deslizamento) (KOLLMANN, 1978).

2.6 TRABALHOS CORRELATOS

Prata (2010) realizou um estudo de caso em uma indústria de compensados de *pinus*, onde sua metodologia consistiu de uma avaliação preliminar dos procedimentos de produção da empresa, bem como das propriedades tecnológicas do produto que não contava com um sistema de controle da qualidade na indústria. Em seus ensaios, ele avaliou resistência à tração, onde obteve 2,97 MPa.

Lopes (2013) realizou estudo comparando a resistência da linha de cola de painéis de *Pinus Taeda* colados lateralmente com diferentes adesivos industriais. Foram analisados três tipos de adesivos, acetato de polivinila (PVAc), emulsão polimérica de isocianato (EPI) e poliuretano (PU) e colados em duas orientações (radial e tangencial) e avaliados após os condicionamentos de ensaio. A média resistência encontrada para cisalhamento na linha de cola foi de 7,20 MPa.

3 DESENVOLVIMENTO

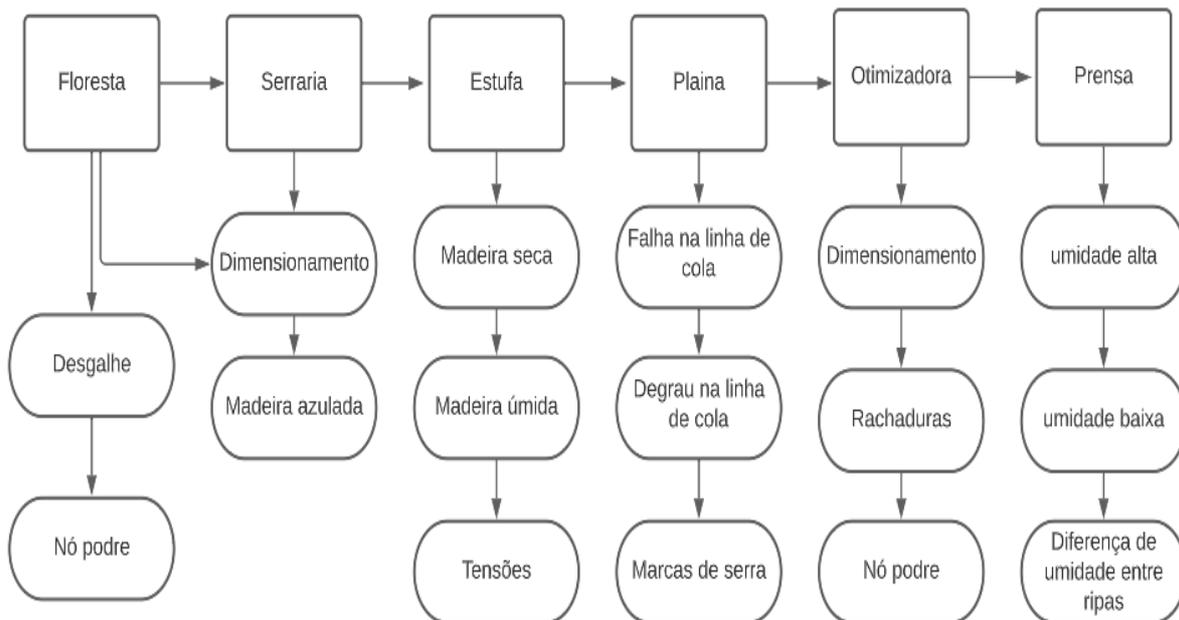
Neste capítulo foi abordada a metodologia para realização de ensaio mecânico, a fim de analisar a influência do preaquecimento do adesivo sintético na resistência mecânica de painéis de madeira de pinus.

3.1 PROCESSO PRODUTIVO

A fabricação de painéis de EGP passa por vários processos até a obtenção do produto final, e nesses processos existem diferentes parâmetros que interferem direta e/ou indiretamente na qualidade final dos painéis.

A figura 4 apresenta um fluxograma que descreve o processo produtivo, com parâmetros que interferem no processo de colagem. Os balões retangulares de canto reto são os processos pelos quais a madeira passa do princípio até o processo de colagem, o qual será estudado. Os balões retangulares de canto arredondado são parâmetros que afetam de forma direta e /ou indiretamente o processo de colagem.

Figura 4: processo produtivo e parâmetros



Fonte: Autor (2022)

O princípio do processo se inicia na floresta, que é a transformação das árvores em toras, cujo processo tem como principal problema o erro operacional. Quando o pinheiro está com cerca

de 5 anos, passa pelo desgalhe, que se não for executado de maneira correta acaba gerando nó podre. Quando estão com cerca de 15 anos, as árvores são derrubadas e nessa transformação há erros de dimensionamento, gerando tábuas curtas no processo de cerramento.

O próximo processo é o transporte da floresta para a serraria, localizada em São Marcos-RS, onde as toras passam pelo processo de separação. As mesmas são divididas em fina, que têm entre 12 e 14 cm de diâmetro, média entre 14 e 18 cm de diâmetro e grossa que têm acima de 18 cm de diâmetro.

Depois dessa separação, as toras vão para o cerramento, que é a transformação das toras em sarrafos. Esse processo é feito por duas linhas de produção, uma utilizando uma serra múltipla, conforme figura 5, que são várias serras circulares paralelas umas às outras, que fazem o cerramento. Esse processo possui boa qualidade geométrica.

Figura 5: Máquina Serra múltipla



Fonte: Maquinas Águia (2016)

A segunda linha de produção é composta por uma serra fita, conforme figura 6. Nesse processo a qualidade dimensional diminui. A serra possui 6 metros esticada entre dois volantes e, por ser uma ferramenta longa, sofre variação ao longo do cerramento.

Figura 6: Máquina Serra fita



Fonte: Alibaba(2022)

Depois de a tora passar pelo processo de cerramento, são separadas por tamanho e empilhadas espaçadas, com sarrafos chamados de tabiques, conforme figura 7, e seguem para o processo seguinte, que é o de secagem, de forma que o vento passe livre entre elas.

Figura 7: Processo de gradear a madeira



Fonte: Autor (2022)

No processo de secagem, conforme figura 8, as madeiras ficam em estufa por um período de 110 horas, a uma temperatura no TBU de 75 graus Celsius. No início desse processo, o TBU acompanha o TBS para que a madeira abra os poros e libere a umidade interna. Depois disso, o TBU vem diminuindo em relação ao TBS até atingir uma umidade entre 6% e 12%.

Abaixo deste percentual, a madeira se torna muito seca, e acima, se torna muito úmida. Este processo possui variáveis. Qualquer alteração no carregamento da mesma pode gerar

problemas, pois se o ar não circular de maneira correta faz com que a madeira oscile sua umidade ao longo da secagem, gerando uma secagem não uniforme, afetando diretamente a colagem.

Figura 8: Estufa carregada de madeira



Fonte: Autor (2022)

Todos os processos citados são realizados na matriz da empresa em São Marcos - RS, enquanto que os processos seguintes são feitos na filial situada, em Caxias do Sul - RS.

Na filial, a madeira passa pelo processo de aplainar, conforme figura 9, que consiste na sua usinagem, deixando a superfície com qualidade superior. Neste processo, a secagem é fator determinante, podendo gerar tensões residuais internas, que fazem com que a madeira sofra empenamento, impossibilitando-a de passar para o próximo processo.

Figura 9: Aplainadora



Fonte: Autor (2022)

O processo seguinte é o de otimização, conforme figura 10, feito por duas máquinas da marca Cursal, que cortam as tábuas da melhor maneira possível, em medidas pré-estabelecidas. Neste processo, o que afeta a colagem são as madeiras com falha no processo anterior, que, por descuido operacional, acabam chegando na colagem.

Figura 10: Otimizadora Cursal



Fonte: Autor (2022)

Em seguida, as madeiras que foram separadas são levadas para as prensas de alta frequência, conforme figura 11. Este tipo de equipamentos é impulsionado por um gerador de alta frequência, que retifica 380 volts da fonte de potência e converte-os em campos elétricos de alta frequência através de um tubo eletrônico e circuito oscilante.

O campo elétrico é transmitido para a linha de cola, onde a água ou as moléculas de cola podem ser polarizadas instantaneamente sob a alta frequência de 6,78 MHz. A água polarizada e as moléculas de cola se movem a uma velocidade alta, fazendo com que a mudança no campo elétrico gere calor a partir da fricção, permitindo um melhor processo de aquecimento (JIYUAN, 2022).

Figura 11: prensa de alta frequência



Fonte: Autor (2022)

Neste processo, todos os defeitos não constatados nos processos anteriores, podem gerar problemas de qualidade.

Depois de prensados, os painéis devem repousar por 24 horas para garantia da aderência da cola. Os parâmetros do processo de prensagem são a pressão lateral e superior de esmagamento (bar), tempo de colagem (s) e a temperatura de pré-aquecimento do adesivo (°C).

Após isto, os painéis vão para um processo de perfilhação, que consiste no reenquadramento dos painéis já colados, e lixamento, onde o painel deve atingir uma espessura de 16,67 mm, com um grau de tolerância de -0,5 mm +2,0 mm, e por fim, é feito o processo de embalagem, feito a conferência e o carregamento final.

3.2 MÉTODO EXPERIENTAL

O foco do trabalho é a análise experimental da influência da temperatura de pré-aquecimento do adesivo sintético na resistência mecânica da linha de cola.

O material utilizado para confecção das amostras foi fornecida pela empresa Logon Madeiras do Brasil Ltda e ensaiada junto Universidade Caxias do Sul.

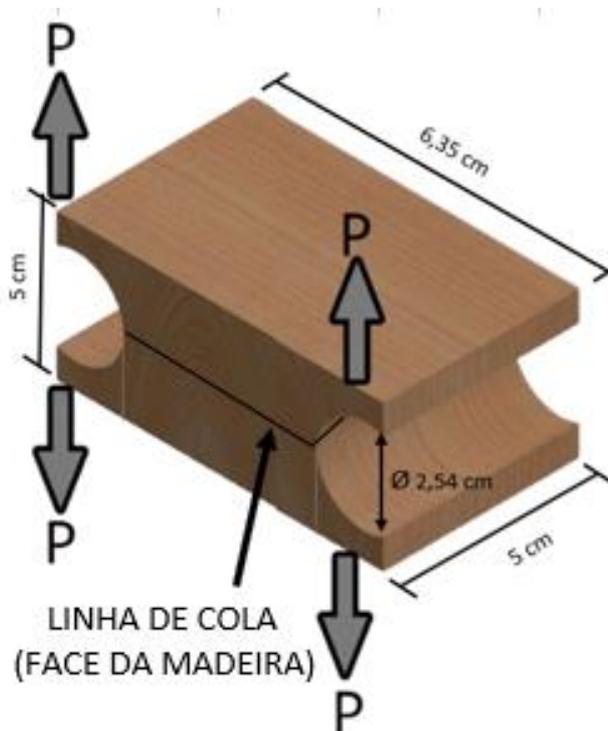
As amostras selecionadas para esta pesquisa foram obtidas a partir da madeira do tipo *Pinus Taeda*.

Para diminuir a incidência de erros, as tábuas passaram por um processo de classificação visual, garantindo que não existam imperfeições naturais do material, ocorrência de falha de plaina na linha de cola, nós e rachaduras, minimizando erros nos corpos de prova para testes laboratoriais.

Para os ensaios, as amostras foram produzidas obedecendo a norma ABNT NBR 7190(1997), que indica no mínimo 6 corpos de prova para espécies conhecidas, e 12 para não conhecidas.

A figura 12 mostra o formato dos corpos de prova confeccionados para o ensaio de tração. As amostras foram coladas face a face indicada na figura.

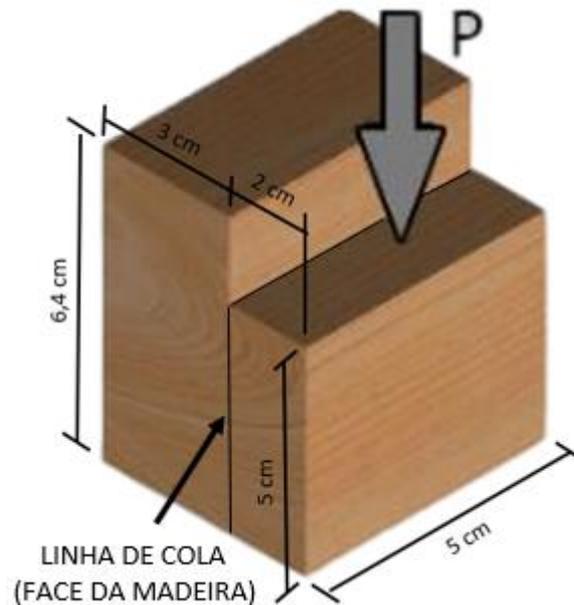
Figura 12: Corpo de prova para ensaio de tração.



Fonte: Autor (2022)

A figura 13 mostra o formato dos corpos de prova para o ensaio de cisalhamento. Para a confecção das amostras foram coladas face a face duas madeiras retangulares, uma com 5 cm de largura, 6,4 cm de altura e 3 cm de comprimento, e a outra com 5 cm de largura, 5 cm de altura e 2 cm de comprimento.

Figura 13: Corpo de prova para ensaio de cisalhamento.



Fonte: Autor (2022)

As amostras foram coladas alterando a temperatura inicial do adesivo, sendo utilizadas três diferentes temperaturas: 20°C (T1), 25°C (T2) e 30°C (T3). Para cada temperatura foram colados 10 corpos de prova para tração e 12 corpos de prova para cisalhamento.

Na prensa de colagem foi utilizada uma pressão lateral de esmagamento da madeira de 50 bar e uma pressão de compressão superior de 100 bar, tempo de colagem foi de 180 segundos, e a umidade controlada entre 8% e 12%.

3.3 ENSAIOS EXPERIMENTAIS

Para o ensaio mecânico as amostras foram coladas com adesivo a base de PVA da marca Mastercool, prensada à quente em prensa de alta frequência, da marca Maquimóvel.

As amostras foram coladas no dia 15 de março de 2023 com temperatura ambiente de 22° e com umidade relativa do ar em torno de 76%.

A temperatura da cola foi aquecida e mantida em banho maria, sendo que este, aquece de maneira lenta e uniforme não afetando as propriedades do adesivo, e com auxílio de termômetro digital foi identificado a temperatura de trabalho.

A cola é canalizada por tubos de borracha até uma serpentina submersa em água aquecida até a temperatura da cola desejada conforme figura 14. Com auxílio de termômetro digital se controlou a temperatura ideal de trabalho.

Figura 14: Dispositivo de banho maria.



Fonte: Autor (2023)

A figura 15 mostra a máquina de ensaio mecânico universal, onde será inserido os dispositivos de ensaio a tração e cisalhamento.

Figura 15: Dispositivo ensaio mecânico.



Fonte: SECTI (2023)

Para o ensaio de tração foram confeccionados 30 conjuntos de corpos de prova, apresentados na Figura 16, dos quais foram utilizadas 10 amostras para cada uma das três temperaturas $T_1 = 20^\circ\text{C}$, $T_2 = 25^\circ\text{C}$ e $T_3 = 30^\circ\text{C}$.

Figura 16: Amostra para ensaio de tração.



Fonte: Autor (2023)

A figura 17 mostra o dispositivo usado para o ensaio de tração, o qual é composto por duas garras, uma em cada lado da amostra, tracionando-as em sentido oposto.

Figura 17: Dispositivo de ensaio a tração.



Fonte: Autor (2023)

Para o ensaio de cisalhamento foram confeccionados 36 conjuntos de corpos de prova, apresentados na Figura 18, dos quais foram utilizadas 12 amostras para cada uma das três temperaturas $T_1 = 20^\circ\text{C}$, $T_2 = 25^\circ\text{C}$ e $T_3 = 30^\circ\text{C}$.

Figura 18: Amostra para ensaio de cisalhamento



Fonte: Autor (2023)

A figura 19 mostra o dispositivo utilizado para o ensaio de cisalhamento, onde a amostra é colocada no dispositivo que possui um degrau na parte inferior. Ao aplicar uma carga na parte superior o degrau causa um desnível e rompe por cisalhamento.

Figura 19: Dispositivo de ensaio a cisalhamento.



Fonte: Autor (2023)

4 RESULTADOS

Neste capítulo são abordados os resultados obtidos nos procedimentos indicados na metodologia, que serviu de embasamento para validação dos testes mecânicos de resistência em linha de cola de madeira do tipo pinus. Foram atribuídos diferentes valores de temperatura inicial, a fim de encontrar uma que apresentasse um melhor resultado.

4.1 DADOS PRELIMINARES

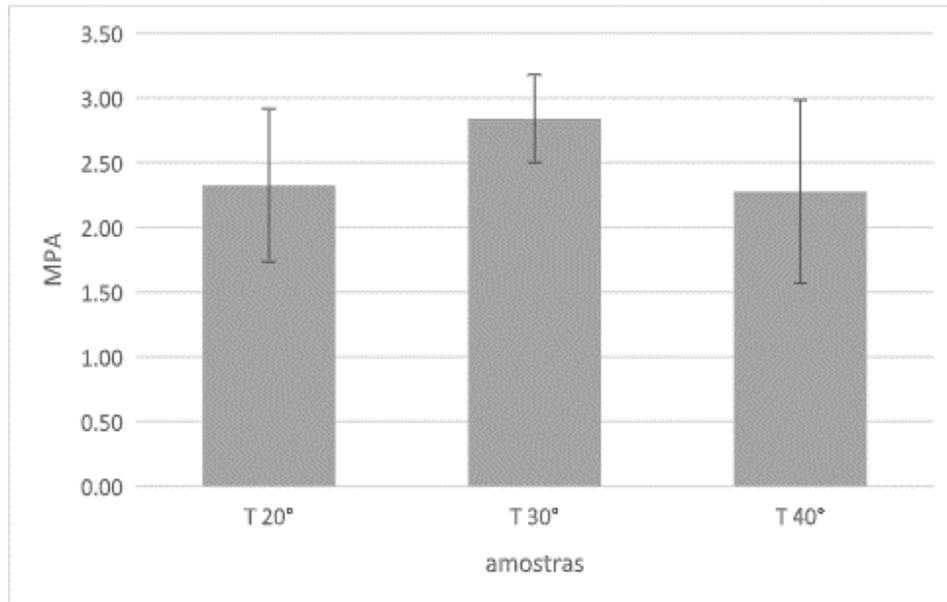
Para o ensaio mecânico de tração, as amostras foram produzidas obedecendo a norma ABNT NBR 7190/1997, que indica no mínimo 6 corpos de prova para espécies conhecidas.

As amostras foram coladas em prensa de alta frequência e neste processo, foi alterado a temperatura inicial do adesivo, sendo utilizadas 3 diferentes temperaturas: 20°C (T1), 30°C (T2) e 40°C (T3), cada temperatura receberá 6 corpos de prova conforme indicado pela norma.

Depois disto, as amostras passaram por um controle visual de qualidade mais detalhado, descartando os nós, rachaduras e falhas de plaina, a fim de evitarem problemas de ruptura precoce e variações expressivas nos dados.

Na prensa foram utilizados os seguintes parâmetros: uma pressão lateral de esmagamento da madeira de 50 bar e uma pressão de compressão superior de 100 bar. O tempo de colagem será de 180 segundos, e a umidade controlada entre 10%.

Figura 20: Valor médio da resistência a tração com desvio padrão



Fonte: autor (2022)

A figura 20 mostra valores de resistência mecânica média e o desvio padrão em Mpa. Observam-se que os corpos de amostras 2, com temperatura de pré-aquecimento de 30°C, obteve uma resistência mais uniforme se comparada as outras, caracterizando assim uma melhor colagem.

A norma ABNT NBR 7190 (1997), descreve que a resistência mecânica média para ensaio de tração é de 2,8 Mpa. A figura 20 mostra que o conjunto que atingiu tal resistência foi o T 30°, já os outros dois conjuntos obtiveram valores inferiores à norma. Demonstrando uma melhor eficiência nesse conjunto.

As madeiras coladas com T 30° obtiveram uma maior resistência média, porém ambas as temperaturas tiveram oscilações de resistência, não demonstrando uma temperatura ideal de colagem neste modelo de ensaio com os parâmetros empregados. Temperaturas mais elevadas podem afetar os sólidos presentes no adesivo, gerando assim uma baixa resistência e alta variação.

4.2 RUGOSIDADE

A rugosidade caracteriza as irregularidades da superfície da madeira e afeta diretamente a aplicação e a durabilidade dos revestimentos. Estas irregularidades podem ser determinadas pelas

medições da altura, largura, e forma dos picos e vales ocasionados durante o processo de usinagem, ou pela própria estrutura anatômica da madeira (MAGOSS, 2008).

Com o auxílio de um rugosímetro da marca Mitutoyo do modelo surfteste SJ-301, mostrado na figura 21, se obteve uma rugosidade média das lamelas de 5,89 μm , para madeira aplainada e 4,13 μm para superfície lixada, no sentido longitudinal conforme apêndice C, para confecção das amostras.

Figura 21: Rugosímetro



Fonte: UCS (2023)

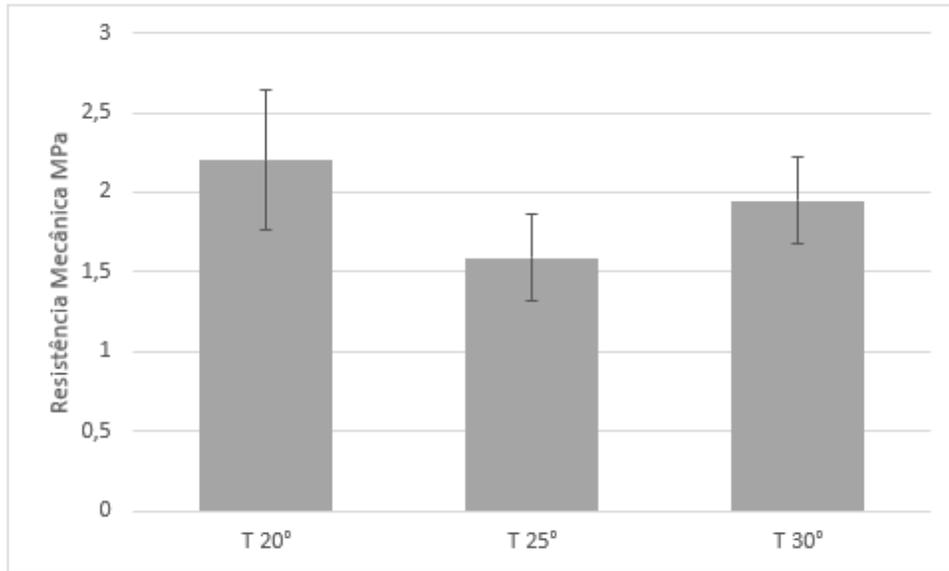
As superfícies aplainadas promovem maior possibilidade para penetração do adesivo por possuírem maiores ranhuras, auxiliando na colagem de madeira. Tendo isso por base, foram utilizadas madeiras aplainadas para a confecção das amostras.

4.3 ENSAIO DE TRAÇÃO

A figura 22 mostra a relação da resistência a tração entre as 3 temperaturas, onde a resistência entre as amostras coladas com 20° se mostrou superior as outras.

Essa variação de resistência das amostras se dá pela densidade de cada uma delas, cujo parâmetro mostra influência na resistência das mesmas.

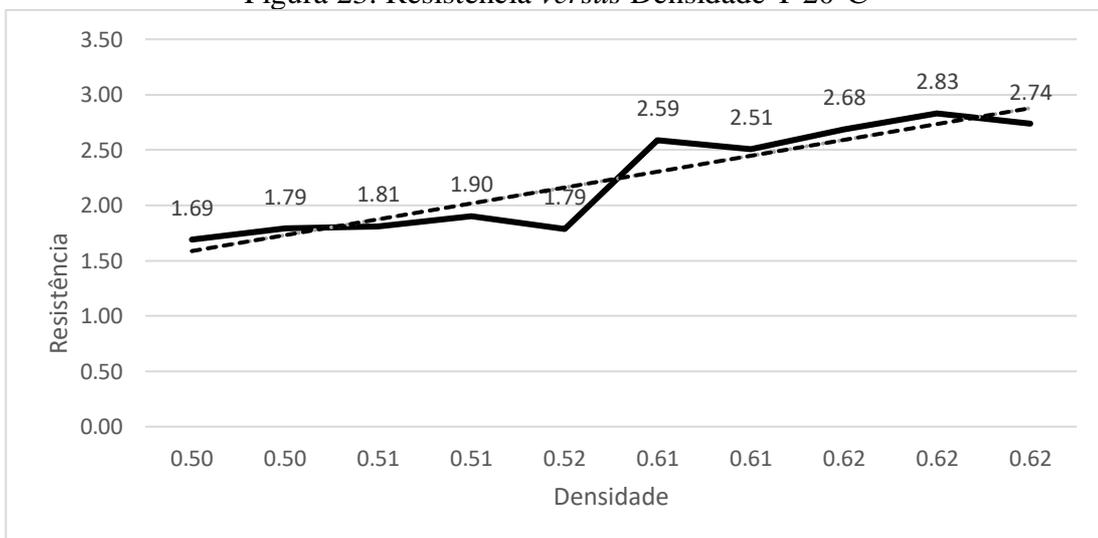
Figura 22: Relação entre as resistências.



Fonte: Autor (2023)

As amostras coladas com temperatura de 20°C obtiveram uma resistência média de 2,2 MPa e desvio padrão de 0,433. Já as amostras coladas com temperatura de 25°C obtiveram uma resistência média de 1,5 MPa e desvio padrão de 0,272; e as amostras coladas com temperatura de 30°C obtiveram uma resistência média de 1,8 MPa e desvio padrão de 0,267.

A figura 23 mostra a influência da densidade na resistência na linha de cola das amostras coladas com 20°C. Já que as amostras coladas com essa temperatura apresentaram uma relação proporcional da resistência com a densidade e as amostras com maior densidade apresentaram maior resistência.

Figura 23: Resistência *versus* Densidade T 20°C

Fonte: Autor (2023)

As amostras 6 e 7 apresentaram falhas na madeira, causando resistência abaixo do esperado, mesmo apresentando média densidade.

Figura 24: Amostra com falha de rompimento das fibras da madeira

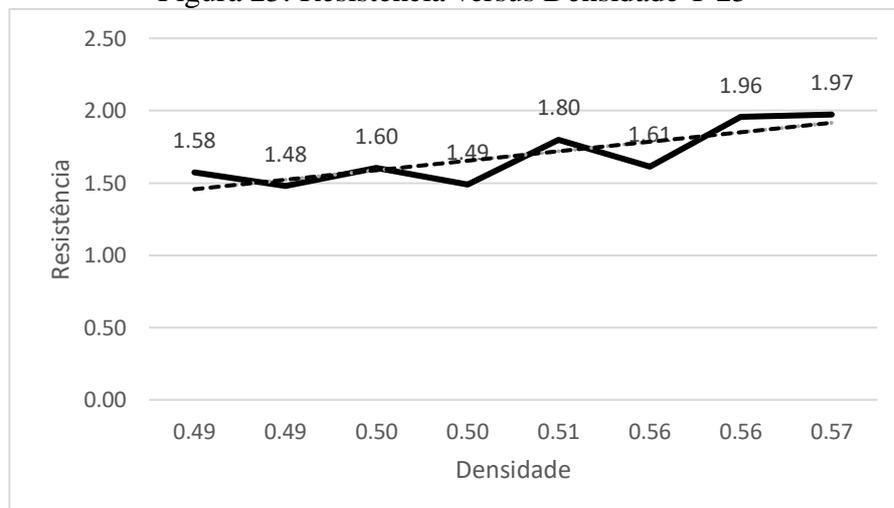


Fonte: Autor (2023)

A figura 24 mostra o rompimento da amostra, não pela quebra da linha de cola, mas pelo rompimento das fibras da madeira, gerando assim baixa resistência. As falhas nas fibras se dão por vários motivos, onde o principal deles é a secagem, que quando muito agressiva, cria tensões internas e fragilidade das fibras.

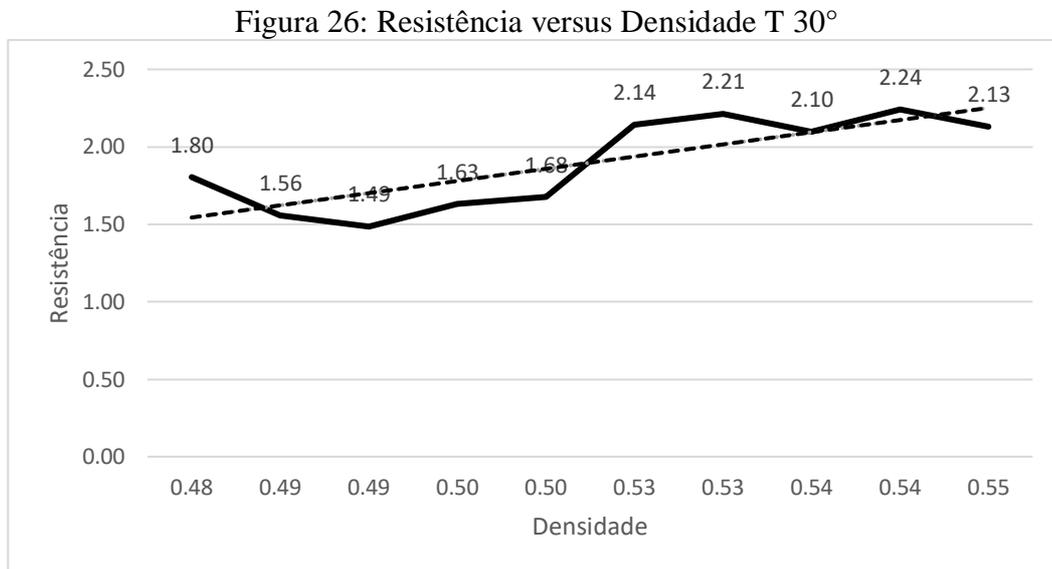
Como visto anteriormente, a resistência mecânica sofreu influência da densidade do material. A figura 25 mostra a influência da densidade na resistência na linha de cola das amostras coladas com 25°C. Assim como amostras anteriores, estas também apresentaram uma relação da resistência com a densidade, apesar de não ser uma relação absoluta. Traçando a linha de tendência é perceptível ver que as amostras com maior densidade tendem a ter maior resistência.

Figura 25: Resistência versus Densidade T 25°



Fonte: Autor (2023)

A figura 26 apresenta a relação da resistência versus densidade, onde se percebe também que a resistência mecânica sofreu influência da densidade do material.



Fonte: Autor (2023)

Para tração, nenhuma das 3 amostras nas temperaturas atingiram a resistência média superior a norma. Dentre elas, a que atingiu melhor resistência média foi a colada em temperatura de 20°C, obtendo também uma resistência à tração 2,83 MPa, a uma densidade de 0,62 g/cm³.

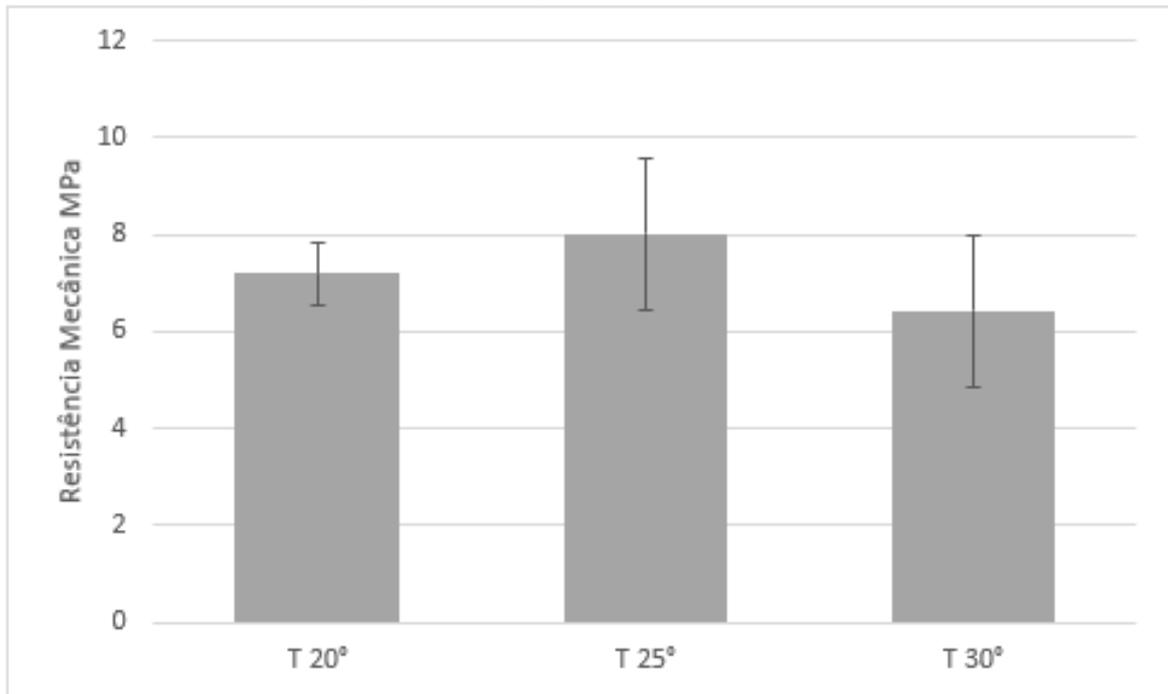
A densidade se mostrou um fator relevante na resistência das amostras coladas considerando os parâmetros avaliados. Com base na norma ABNT NBR 7190 (1997), que prescreve uma resistência de 2,8 MPa para ensaio de tração, as amostras ficaram abaixo da norma, sendo que deveriam estar com densidade mínima de 0,62 g/cm³.

Como a densidade foi relevante para resistência, ao analisar as 3 amostras nas temperaturas na faixa densidade de 0,5 a 0,6 g/cm³, obteve-se 1,79 MPa para T 20°, 1,61 MPa para T 25° e 2,13 MPa para T 30°. Utilizando essa definição, a temperatura de colagem com maior eficiência foi a de 30°, ainda abaixo da norma, porém seria importante trabalhar com uma faixa maior de densidade classificando em baixa, média e alta para melhor validação.

4.4 ENSAIO DE CISALHAMENTO

A figura 27 mostra a relação da resistência ao cisalhamento entre as 3 temperaturas. Ela sofre oscilações, e assim como no ensaio de tração a densidade também influenciou a resistência ao cisalhamento.

Figura 27: Relação entre as resistências.

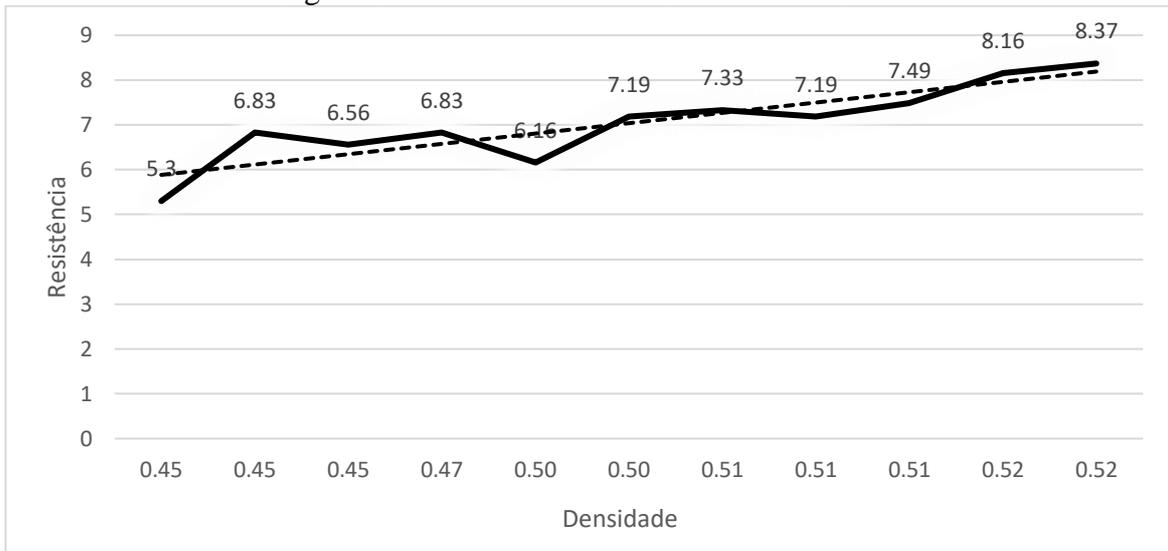


Fonte: Autor (2023)

As amostras coladas com temperatura de 20°C obtiveram uma resistência média de 7,01 MPa, já as amostras coladas com temperatura de 25°C obtiveram uma resistência média de 7,26 MPa e as amostras coladas com temperatura de 30°C obtiveram uma resistência média de 6,26 MPa.

Ambas as amostras apresentaram uma relação direta com a densidade. A figura 28 mostra a relação da colagem com T 20° pela densidade da amostra. A linha de tendência mostra que a resistência da linha de cola tem seus maiores valores em densidades maiores.

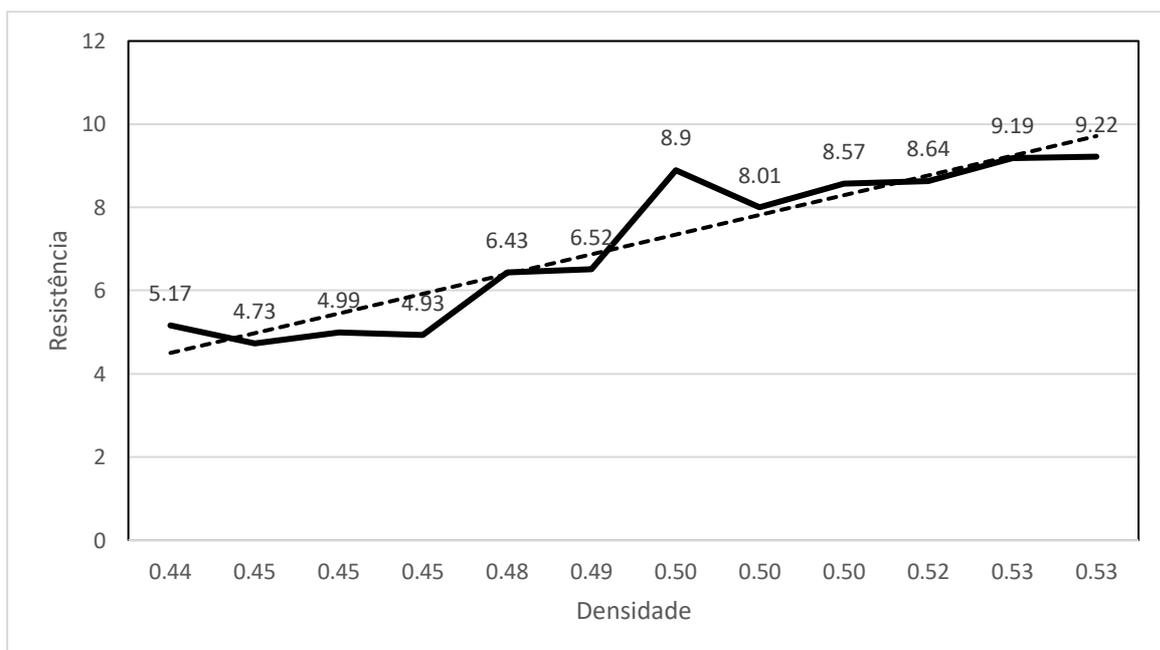
Figura 28: Resistência versus Densidade T 20°C



Fonte: Autor (2023)

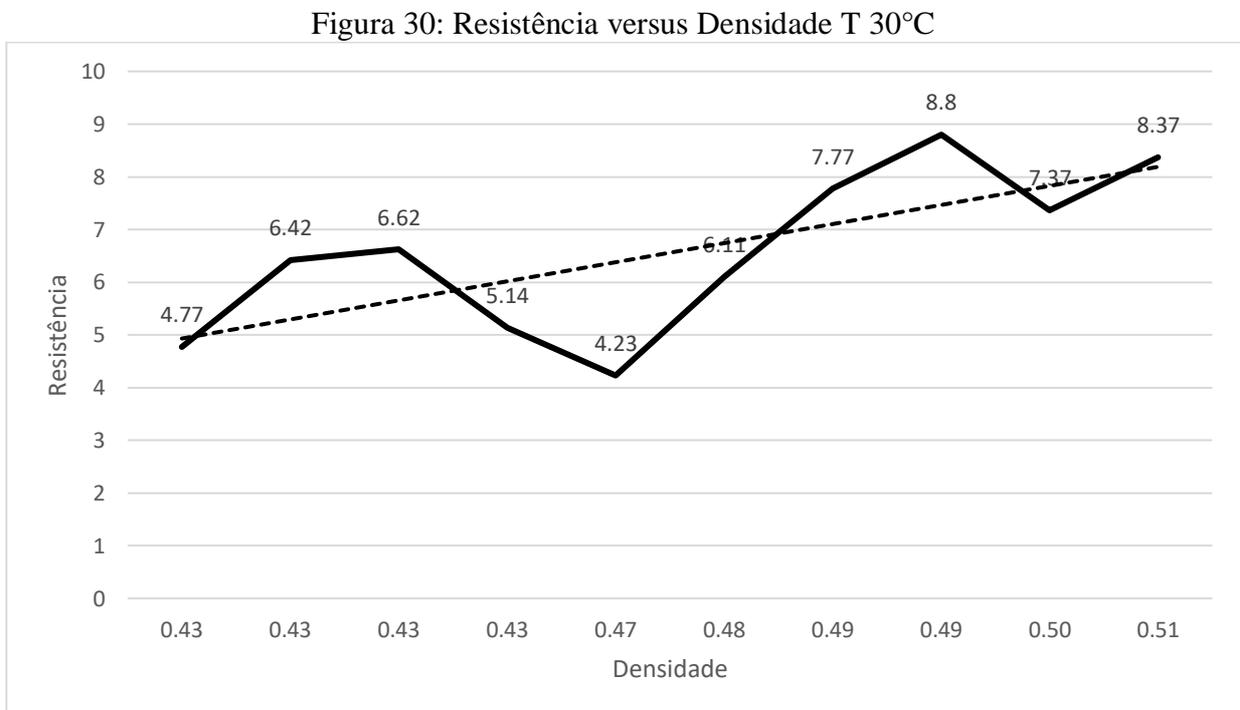
A figura 29 mostra a relação da resistência com a densidade, onde traçando a linha de tendência, a qual serve para mostrar a influência que a densidade causa na resistência da linha de cola, se identifica a proporcionalidade da resistência pela densidade. Materiais mais densos tendem a absorver menos adesivos, o que faz com que estes acabem tendo uma maior concentração na linha de cola.

Figura 29: Resistência versus Densidade T 25°C



Fonte: Autor (2023)

A relação da resistência pela densidade na colagem em 30°C, conforme figura 30, não se mostrou tão eficiente como as outras, porém se relacionarmos a linha de tendência, também há uma crescente pela densidade.



Fonte: Autor (2023)

Com base na norma ABNT NBR 7190 (1997), que descreve uma resistência de 7,7 MPa para ensaio de cisalhamento, a resistência média das amostras ficou abaixo da norma.

Assim como para tração, nenhuma das amostras nas 3 temperaturas atingiram a resistência média superior a norma, sendo que, a que atingiu melhor resistência média foi a colada a 25°C, tendo em vista que nesta temperatura, a mesma obteve uma resistência a tração 9,22 MPa a uma densidade de 0,59 g/cm³. Todas as amostras coladas com esta temperatura e densidade acima de 0,5 g/cm³ tiveram valores acima norma.

Apesar de resistência média ficar abaixo norma, as amostras com densidade acima de 0,52 para qualquer temperatura ficaram acima da norma, o que significa que é importante se controlar a densidade.

Ao analisar as 3 temperaturas na faixa de densidade de 0,5 a 0,6 g/cm³, obteve-se 7,26 MPa para T 20°, 8,77 MPa para T 25° e 7,87 MPa para T 30°. Com isso identificou-se que ao trabalhar com uma densidade superior a 0,5 g/cm³, a temperatura mais adequada seria a de 25°C.

Para uma melhor validação far-se-ia se necessário utilizar madeiras com a mesma densidade para cada uma das 3 temperaturas, e utilizar amostras com densidade baixa $\leq 0,5 \text{ g/cm}^3$, densidade media $0,51 \geq x \leq 0,6 \text{ g/cm}^3$ e de alta densidade $\geq 0,61 \text{ g/cm}^3$.

Na madeira colada se trabalha com uma faixa de umidade de 8 a 12%, com isso gera alta capacidade de absorção, fazendo com que a madeira absorva a umidade do adesivo antes do processo de prensagem. E como a madeira densa é menos permeável, ela dificulta penetração do adesivo na madeira, aumentando a resistência mecânica na linha de cola.

Como a densidade mostrou gerar influência na resistência, no futuro há a necessidade de se estudar a relação da densidade pela resistência, usar faixas de densidade diferentes para cada temperatura, e utilizar diferentes tipos de adesivos, pois a densidade tem relação inversa com a porosidade a fim de identificar adesivos para cada faixa de densidade.

5 CONCLUSÕES

A densidade da madeira demonstrou ter influência na resistência da linha de cola, porém não foi um parâmetro controlado inicialmente no trabalho, pois a literatura não o descrevia como influente, portanto isso pode ter influenciado o ensaio.

Madeiras com baixa densidade tendem a absorver o adesivo antes da cura, com isso diminui a quantidade de adesivo na linha de cola, conseqüentemente perdendo capacidade de colagem. Já as madeiras mais densas, dificultam a penetração do adesivo, gerando assim uma linha de cola mais resistente.

A temperatura de pré-aquecimento não gerou influência absoluta em uma determinada temperatura estudada. Porém houve um melhor desempenho conforme determinadas temperaturas e tipos de ensaios.

Para tração e cisalhamento, nenhum conjunto de amostras das 3 temperaturas atingiram a resistência média superior a norma, muito embora a que atingiu melhor resistência média foi a colada a 20°C.

Apesar de não apresentar temperatura absoluta de colagem, a faixa de temperatura entre 20°C e 25°C apresentou melhor resistência. Para cisalhamento, a média da resistência se prevaleceu a 25°C, sendo que essa temperatura também apresentou os valores de resistência mais altos, onde 50% das amostras obtiveram valores superior a 8 MPa.

Para um trabalho futuro é importante um entendimento maior da relação entre densidade e resistência, sugerindo-se utilizar um faixa de densidade para cada temperatura. Recomenda-se também, que sejam feitas as seguintes análises:

- Realizar estudos sobre influência da densidade na resistência da linha de cola de madeira do tipo pinus *Taeda*.
- Realizar estudos com microscopia eletrônica de varredura para avaliar a linha de cola, ligação adesiva, gramatura, penetração dos adesivos e as fibras da madeira.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, V. C. **Efeito da adição de carga e extensor nas propriedades do adesivo uréia-formaldeído e dos compensados de pinus e paricá.** 2009. 90 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) — Universidade Federal de Viçosa.

ALVES, A. G. Florestamento na região sul do brasil: - uma análise econômica -. Diretoria de planejamento superintendência de planejamento departamento de programas e orçamento. **Banco Regional de Desenvolvimento do Extremo Sul – BRDE**, v. 0, n. 0, p. 1 – 51, SETEMBRO 2023/01. Disponível em: <https://www.brde.com.br/media/brde.com.br/doc/estudos_e_pub/Florestamento%20na%20Regiao%20Sul%20do%20Brasil.pdf>. Acesso em: 26 ago. 2022.

ASTM 5572 - **Standard specification for adhesives used for finger joints in nonstructural lumber products.** 23p. West Conshohocken, United States. 1999.

AZEVEDO NETO, A. **Análise de um queimador infra vermelho funcionando com combustível híbrido: GLP/Bio-Óleo.** 2010. 97 p. Dissertação (Programa de Pós Graduação em Ciência e Engenharia do Petróleo) — Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Disponível em: <https://repositorio:ufrn.br/bitstream/123456789/12935/1/AluisioAN_DISSERT.pdf>. Acesso em: 17 mar 2023.

BANDEL, A. **Adhesivos y tecnología del encolado en la industria de la madera** Milano. [S.l.]: Rib&s, 1991.

BIANCHE, J. J.; TEIXEIRA, A. P. M.; LADEIRA, J. P. S.; CARNEIRO, A. C. O.; CASTRO, R. V. O.; DELLA LUCIA, R. M. **Cisalhamento na Linha de Cola de Eucalyptus sp. Colado com Diferentes Adesivos e Diferentes Gramaturas.** 2017. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/floram/a/pTbGsC83hst3WC84WZG7hYP/?lang=pt#:~:text=O%20teor%20de%20s%C3%B3lidos%20%C3%A9,resist%C3%Aancia%20na%20linha%20de%20cola>>. Acesso em: 19 jun. 2022.

CARNEIRO, R. P. **Colagem de junta de madeira com adesivo epóxi.** 2010. 90 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) — Instituto de Tecnologia da Universidade Federal do Pará. Disponível em: <<http://repositorio:ufpa.br/jspui/handle/2011/5086>>. Acesso em: 25 jun. 2023.

FOELKEL, E. **Espécies de Pinus Úteis ao Brasil. Pinus Taeda.** 2008. Disponível em: <http://www.celso-foelkel.com.br/pinus_03.html>. Acesso em: 22 jun. 2022.

FRIHART, C. R.; HUNT, C. G. **Adhesives with wood materials bond formation and performance.** In: FOREST PRODUCTS LABORATORY. Wood Handbook: Wood as an Engineering Material. United States: Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 2010.

GRION, R. L. Painéis de madeira no brasil: panorama e perspectivas. **BNDES SETORIAL**, Rio de Janeiro, v. 0, n. 27, p. 121 – 156, JUNHO 2014/03. Disponível em: <https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/2526/2/BS%2027%20Pain%C3%A9is%20de%20madeira%20no%20Brasil_P.pdf>. Acesso em: 26 ago. 2022.

HERRING, D. **A importância do pH**. 2015. Disponível em: <https://www.aquecimentoindustrial.com.br/a-importancia-do-ph/>. Acesso em: 29 set.2022.

IWARIKI, S. **Painéis de Madeira Reconstituída**. Curitiba: FUPEF, 2005.

JIYUAN. **Gerador de alta frequência Sistema de alta frequência**. 2022. Disponível em: <<http://hf-woodworking.com/11-high-frequency-generator/187642/#:~:text=Princ%C3%ADpio%20de%20funcionamento&text=%C3%81gua%20polarizada%20e%20mol%C3%A9culas%20de>>. Acesso em: 4 nov. 2022.

KOLLMANN, F.F.P.; KUENZI, E.W.; STAMM, A.J. Principles of wood science and technology. v. 2 – Wood based materials. Berlin, New York .1975. 703 p. LUTZ, J.F. Woody veneer: log selection, cutting and drying. USDA. Technical Bulletin. 1978.

LAURINDO, T. **Painéis de madeira: consumo interno e exportação no 1o tri**. Disponível em: <<https://setormoveleiro.com.br/paineis-de-madeira-consumo-interno-e-exportacao-no-1o-tri/>>. Acesso em: 2 set. 2022.

LOPES, M. C. **Resistência da linha de cola de painéis de Pinus Taeda colados lateralmente com diferentes adesivos**. Cerne: Lavras. v 19, n 4, p. 613-619, 2013.

MAGOSS, E. **General regularities of wood surface roughness**: Acta Silvatica et Lignaria Hungarica. [S.l.]: v. 4, p. 81-93, 2008.

MANOSSO, T. J. **Revista da Madeira**. Remade - Madeiras, 2002. Disponível em: <http://www.remade.com.br/revistadamadeira_materia.php?num=1746&subject=E%20mais&title=Colagem%20da%20Madeira>. Acesso em: 7 out. 2022.

MASSETO, G. Santa Catarina atinge 828,9 mil hectares de florestas plantadas. **CANAL RURAL**, São Paulo, v. 0, n. 0, p. 0 – 0, 05 2020/11. Disponível em: <<https://blogs.canalrural.com.br/florestasa/2020/05/11/santa-catarina-atinge-8289-mil-hectares-de-florestas-plantadas/>>. Acesso em: 26 ago. 2022.

NBR 7190. **Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT**: Projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro: [s.n.], 1997. Disponível em: <<https://www.totalconstrucao.com.br/wp-content/uploads/2019/12/NBR-7190.pdf>>. Acesso em 21 jul 2022.

PRATA, j. G. **Desempenho de um sistema de qualidade em uma fábrica de painéis compensados**. 101 p. 2010. 114 f. Tese (Doutorado) – Curso de Engenharia Florestal, Departamento de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

PRATA, J. G. **Estudo de viabilidade tecnológica do uso de espécies de pinus tropicais para produção de painéis colados lateralmente (Edge Glued Panel – EGP)**. 2010. Dissertação (Curso de Engenharia Florestal, Departamento de Ciências Agrárias) — Universidade Federal do Paraná.

SILVA, F. G. da. **Densidade básica da madeira:** um tema sempre atual. 2013. Disponível em: <<https://florestal.revistaopinioes.com.br/revista/detalhes/16-densidade-basica-da-madeira-um-tema-sempre-atua/>>. Acesso em 27 jul 2022.

WEB, W. A. **Painéis - Características e aplicações.** Remade - Madeiras, 2022. Disponível em: <<http://www.remade.com.br/madeiras/19/paineis/caracteristicas-e-aplicacoes>>. Acesso em: 7 set. 2022.

WENGERT, G. **Princípios básicos para colagem de madeira.** Revista da Madeira - REMADE, 2002. Disponível em: <http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=162&subject=M%F3veis%20e%20Tecnologia&title=Princ%EDpios%20b%El%20sicos%20para%20colagem%20de%20madeira#:~:text=A%20colagem%20de%20madeira%20%C3%A9>. Acesso em: 7 out. 2022.

APÊNDICE A – Tabela com resultados.

Tabelas com dados preliminares.

Tabela 2: Valores de resistência a tração dos corpos de prova

Amostras	T 20°(MPa)	T 30°(MPa)	T 40°(MPa)
1	2,51	2,87	2,37
2	2,13	2,67	2,19
3	3,61	2,24	2,36
4	1,93	2,81	2,81
5	2,35	2,91	1,40
6	2,30	3,28	0,92

Fonte: autor (2022)

Tabela 3: Valores de resistência média a tração dos corpos de prova

Variáveis	T 20°	T 30°	T 40°
Média (Mpa)	2,33	2,84	2,28
Desvio Padrão	0,59	0,34	0,71
Coefficiente variação (%)	25	12	31
Máximo (Mpa)	3,61	3,28	2,81
Mínimo (Mpa)	1,93	2,24	0,92

Fonte: autor (2022)

Tabelas com dados dos ensaios de tração.

Tabela 4: Valores medidos no ensaio de tração com temperatura de 20°

amostra	Resistência (MPa)	Densidade (g/cm ³)	Massa (g)	Umidade
1	1,69	0,50	67,19	9,9%
2	1,79	0,5046	67,33	9,9%
3	1,81	0,5084	67,84	9,9%
4	1,788	0,5183	69,15	9,9%
5	1,900	0,5114	68,23	9,9%
6	2,735	0,6180	82,46	10,9%
7	2,505	0,6119	81,65	10,9%
8	2,684	0,6152	82,08	10,9%
9	2,589	0,6089	81,25	10,9%
10	2,830	0,6178	82,43	10,9%

Fonte: Autor (2023)

Tabela 5: Valores medidos no ensaio de tração com temperatura de 25°

amostra	Resistência (MPa)	Densidade (g/cm ³)	Massa (g)	Umidade
1	1,80	0,51	69,3	9,7%
2	1,575	0,48611	64,86	9,7%
3	1,603	0,50200	66,98	9,7%
4	1,491	0,50312	67,13	9,7%
5	1,479	0,49240	65,7	9,7%
6	0,925	0,55926	74,62	10,2%
7	0,846	0,55858	74,53	10,2%
8	1,973	0,57192	76,31	10,2%
9	1,614	0,55828	74,49	10,2%
10	1,956	0,56323	75,15	10,2%

Fonte: Autor (2023)

Tabela 6: Valores medidos no ensaio de tração com temperatura de 30°

amostra	Resistência (MPa)	Densidade (g/cm ³)	Massa (g)	Umidade
1	1,804	0,4840	64,58	10,2%
2	1,558	0,4907	65,47	10,2%
3	1,631	0,4966	66,26	10,2%
4	1,485	0,4933	65,82	10,2%
5	1,676	0,5013	66,89	10,2%
6	2,213	0,5332	71,15	11,1%
7	2,241	0,5426	72,4	11,1%
8	2,096	0,5388	71,89	11,1%
9	2,129	0,5455	72,79	11,1%
10	2,141	0,5308	70,82	11,1%

Fonte: Autor (2023)

Tabelas com dados dos ensaios de cisalhamento.

Tabela 7: Valores medidos no ensaio de cisalhamento com temperatura de 20°

amostra	Resistência (MPa)	Densidade (g/cm ³)	Massa (g)	Umidade
1	6,83	0,445	63,41	10,2%
2	8,37	0,522	74,39	10,2%
3	2,58	0,498	70,97	10,2%
4	6,16	0,495	70,54	10,2%
5	6,83	0,468	66,69	11,3%
6	5,3	0,445	63,41	11,3%
7	8,16	0,515	73,39	11,3%
8	7,49	0,513	73,10	11,3%
9	7,19	0,504	71,82	10,6%
10	7,33	0,505	71,96	10,6%
11	6,56	0,45	64,13	10,6%
12	7,19	0,508	72,39	10,6%

Fonte: Autor (2023)

Tabela 8: Valores medidos no ensaio de cisalhamento com temperatura de 25°

amostra	Resistência (MPa)	Densidade (g/cm ³)	Massa (g)	Umidade
1	4,99	0,451	64,32	9,3%
2	6,43	0,480	68,36	9,3%
3	6,52	0,485	69,12	9,3%
4	4,93	0,451	64,22	9,3%
5	8,01	0,502	71,56	10,3%
6	8,64	0,518	73,87	10,3%
7	5,17	0,442	62,95	10,3%
8	4,73	0,446	63,58	10,3%
9	8,57	0,502	71,57	11,2%
10	9,19	0,525	74,86	11,2%
11	8,9	0,497	70,86	11,2%
12	9,22	0,530	75,56	11,2%

Fonte: Autor (2023)

Tabela 9: Valores medidos no ensaio de cisalhamento com temperatura de 30°

amostra	Resistência (MPa)	Densidade (g/cm ³)	Massa (g)	Umidade
1	1,93	0,49	69,76	10,1%
2	6,11	0,482	68,63	10,1%
3	7,37	0,497	70,8	10,1%
4	7,77	0,485	69,14	10,1%
5	6,42	0,428	61,04	9,1%
6	4,77	0,425	60,58	9,1%
7	6,62	0,431	61,46	9,1%
8	5,14	0,431	61,37	9,1%
9	0,92	0,459	65,34	10,6%
10	8,37	0,514	73,28	10,6%
11	8,8	0,493	70,31	10,6%
12	4,23	0,468	66,69	10,6%

Fonte: Autor (2023)

APÊNDICE B – Ensaios mecânicos.

Ensaio de tração dados preliminares.

UCS - Laboratório de Ensaios Mecânicos

REGISTRO DE ENSAIO LAMEC - FE102 REVISÃO - 01 (DEZ/2016)

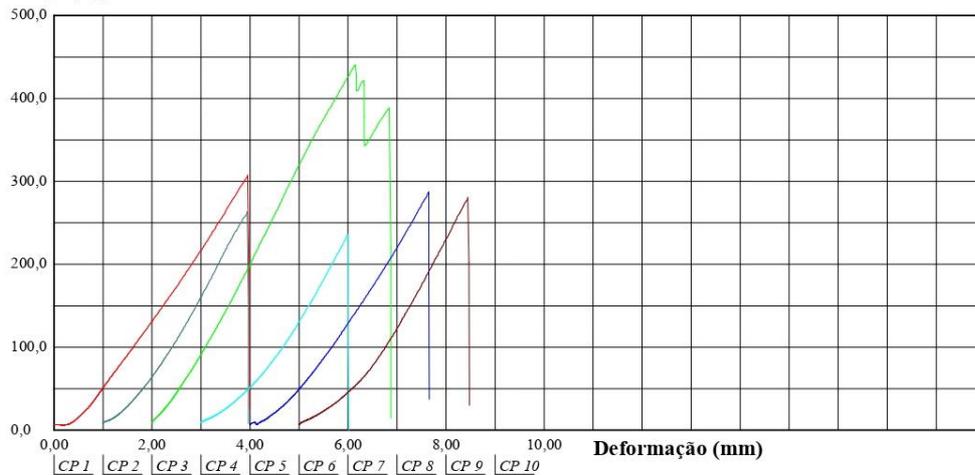
Relatório de Ensaio

Máquina: **Emic DL20000** Célula: **Trd 26** Extensômetro: - Data: **23/11/2022** Hora: **15:10:44** Trabalho n° **4099**
 Programa: **Tesc versão 3.01** Método de Ensaio: **2T_TRAÇÃO SIMPLES**
 Ident. Amostra: > Cliente: **TCC Engenharia Mecânica** T.(°C): **20,3** - Identif. n°: S.S.N°: **#00711017** - Folha: **00 de 00**

Corpo de Prova	Velocidade de ensaio (mm/min)	Ident. n°	Força Máxima (kgf)
CP 1	10	1.1	307
CP 2	10	1.2	263
CP 3	10	1.3	441
CP 4	10	1.4	236
CP 5	10	1.5	288
CP 6	10	1.6	281

Observações: 0

Força (kgf)



Observação:

IDENTIFICAÇÃO DO CLIENTE: TCC Engenharia Mecânica. Aluno: Anderson Schmitt Ligabue.

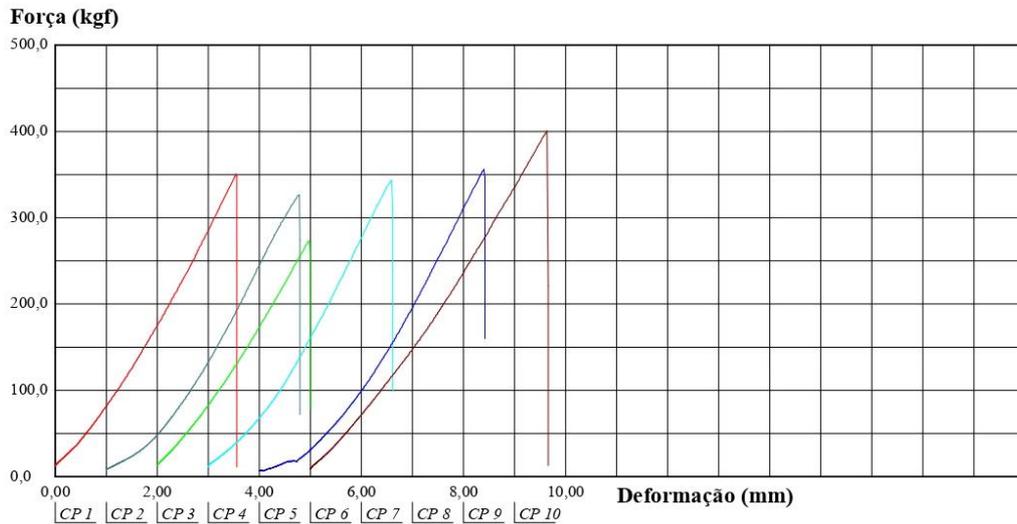
UCS - Laboratório de Ensaios Mecânicos
REGISTRO DE ENSAIO LAMEC - FE102 REVISÃO - 01 (DEZ/2016)

Relatório de Ensaio

Máquina: **Emic DL20000** Célula: **Trd 26** Extensômetro: - Data: **23/11/2022** Hora: **15:34:37** Trabalho n° **4100**
Programa: **Tesc versão 3.01** Método de Ensaio: **2T_TRAÇÃO SIMPLES**
Ident. Amostra: >> Cliente: **TCC Engenharia Mecânica** T.(°C): **20,3** - Identif. n°: S.S N°: **#00711017** - Folha: **00 de 00**

Corpo de Prova	Velocidade de ensaio (mm/min)	Ident. n°	Força Máxima (kgf)
CP 1	10	2.1	351
CP 2	10	2.2	327
CP 3	10	2.3	274
CP 4	10	2.4	344
CP 5	10	2.5	356
CP 6	10	2.6	401

Observações: **0**



Observação:

IDENTIFICAÇÃO DO CLIENTE: TCC Engenharia Mecânica. Aluno: Anderson Schmitt Ligabue.

UCS - Laboratório de Ensaios Mecânicos
REGISTRO DE ENSAIO LAMEC - FE102 REVISÃO - 01 (DEZ/2016)

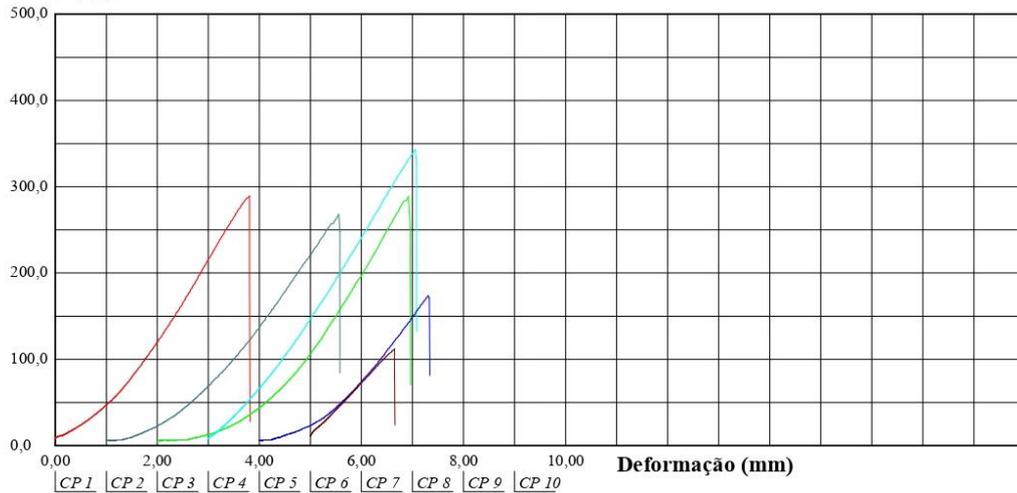
Relatório de Ensaio

Máquina: **Emic DL20000** Célula: **Trd 26** Extensômetro: - Data: **23/11/2022** Hora: **15:47:36** Trabalho n° **4101**
Programa: **Tesc versão 3.01** Método de Ensaio: **2T_TRAÇÃO SIMPLES**
Ident. Amostra: >> Cliente: **TCC Engenharia Mecânica** T.(°C): **20,3** - Identif. n°: S.S N°: **#00711017** - Folha: **00 de 00**

Corpo de Prova	Velocidade de ensaio (mm/min)	Ident. n°	Força Máxima (kgf)
CP 1	10	3.1	290
CP 2	10	3.2	268
CP 3	10	3.3	289
CP 4	10	3.4	344
CP 5	10	3.5	174
CP 6	10	3.6	112

Observações: 0

Força (kgf)



Observação:

IDENTIFICAÇÃO DO CLIENTE:

Ensaio de mecânico.

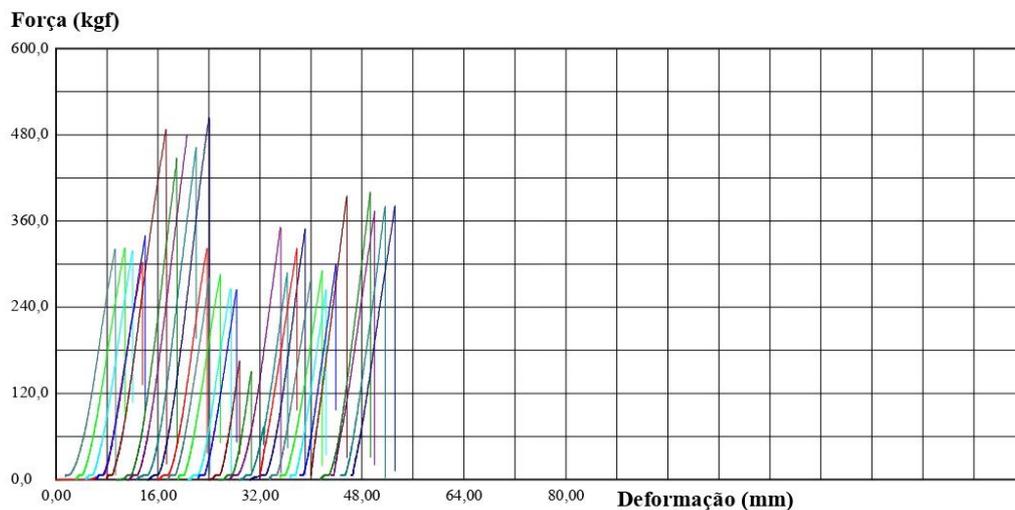
UCS - Laboratório de Ensaios Mecânicos
REGISTRO DE ENSAIO LAMEC - FE102 REVISÃO - 01 (DEZ/2016)

Relatório de Ensaio

Máquina: **Emic DL20000** Célula: **Trd 26** Extensômetro: - Data: **28/04/2023** Hora: **09:22:12** Trabalho n° **4319**
Programa: **Tesc versão 3.01** Método de Ensaio: **2T_TRAÇÃO SIMPLES**
Ident. Amostra: >> Cliente: **Engenharia Mecânica** T.(°C): **20,2** Identif. n°: **1 a 30** S.S N°: **#00794383** Folha: **00 de 00**

Corpo de Prova	Velocidade de ensaio (mm/min)	Ident. n°	Força Máxima (kgf)
CP 1	10	1	303
CP 2	10	2	321
CP 3	10	3	323
CP 4	10	4	319
CP 5	10	5	339
CP 6	10	6	488
CP 7	10	7	447
CP 8	10	8	479
CP 9	10	9	462
CP 10	10	10	505
CP 11	10	11	322
CP 12	10	12	281
CP 13	10	13	286
CP 14	10	14	266
CP 15	10	15	264
CP 16	10	16	165
CP 17	10	17	151
CP 18	10	18	352
CP 19	10	19	288
CP 20	10	20	349
CP 21	10	21	322
CP 22	10	22	278
CP 23	10	23	291
CP 24	10	24	265
CP 25	10	25	299
CP 26	10	26	395
CP 27	10	27	400
CP 28	10	28	374
CP 29	10	29	380
CP 30	10	30	382

Observações: 0



UCS - Laboratório de Ensaios Mecânicos
 REGISTRO DE ENSAIO LAMEC - FE102 REVISÃO - 01 (DEZ/2016)

Relatório de Ensaio

Máquina: **Emic DL20000** Célula: **Trd 12** Extensômetro: - Data: **27/04/2023** Hora: **16:28:44** Trabalho n° **4318**
 Programa: **Tesc versão 3.01** Método de Ensaio: **20T_COMPRESSÃO SIMPLES**
 Ident. Amostra: > Cliente: **Engenharia Mecânica** T.(°C): **21,6** - Ident. n°: **1 a 36** S.S N°: **#00794383** - Folha: **01 de 01**

Corpo de Prova	Ident. nº	Velocidade de Ensaio (mm/min)	Início da Deformação (kgf)	Força Máxima (kgf)
CP 1	1	10	*	1742
CP 2	2	10	*	2135
CP 3	3	10	*	657
CP 4	4	10	*	1570
CP 5	5	10	*	1741
CP 6	6	10	*	1350
CP 7	7	10	*	2081
CP 8	8	10	*	1910
CP 9	9	10	*	1833
CP 10	10	10	*	1869
CP 11	11	10	*	1673
CP 12	12	10	*	1834
CP 13	13	10	*	1272
CP 14	14	10	*	1640
CP 15	15	10	*	1661
CP 16	16	10	*	1257
CP 17	17	10	*	2042
CP 18	18	10	*	2203
CP 19	19	10	*	1317
CP 20	20	10	*	1206
CP 21	21	10	*	2185
CP 22	22	10	*	2342
CP 23	23	10	*	2270
CP 24	24	10	*	2350
CP 25	25	10	*	491
CP 26	26	10	*	1557
CP 27	27	10	*	1878
CP 28	28	10	*	1981
CP 29	29	10	*	1636
CP 30	30	10	*	1217
CP 31	31	10	*	1688
CP 32	32	10	*	1310
CP 33	33	10	*	235
CP 34	34	10	*	2135
CP 35	35	10	*	2244
CP 36	36	10	*	1079

Observações: 0
 : 0
 Prato Compensador (S ou N): _____ 0

APÊNDICE C - Relatório rugosidade



Relatório Dimensional
LNTP - FG 202 Rev 08
Laboratório de Novas Tecnologias de Produção



Cliente: CEMC - Curso de Engenharia Mecânica

Nº : #00787949

Endereço UCS

Cidade: Caxias do Sul - RS

Solicitante: Prof.: Marcos Luciano - Aluno: Anderson

Natureza do trabalho:

VERIFICAÇÃO DE RUGOSIDADE

Data de recebimento: 23/03/22

Data de emissão: 24/03/23

Informação do item fornecido pelo cliente:

Fl: 1 de 1

01 peça de madeira com 02 superfícies identificadas por: LL (Lixa) e LP (Plaina).

Procedimento:

Data da execução: 24/03/22

- Método conforme procedimento LNTP-PE 005 - rev.: 02.

Temp. ambiente: 21,8 °C

Equipamento utilizado:

- Rugosímetro Mitutoyo modelo SurfTest SJ-301; certificado de calibração (CERTI - CAL 0034) nº: 2250/22.

A(s) verificação(verificações) dimensional(dimensionais) foi(foram) realizada(s) nas instalações permanentes do Laboratório.

A incerteza expandida de medição relatada "U" é declarada como incerteza padrão de medição multiplicada pelo fator de abrangência k, o qual para uma distribuição t com graus de liberdade efetivos [Veff] corresponde a uma probabilidade de abrangência de aproximadamente 95%. A incerteza padrão de medição foi determinada de acordo com a publicação EA-4/02. Os valores de k estão apresentados na tabela de resultados.

RESULTADOS:

Medição Nº	Tipo	Leitura (µm)					Média (µm)	Desvio Padrão (µm)	U (µm)	K	Cut-Off Utilizado (mm)
		1	2	3	4	5					
LL	Ra	4,42	3,42	3,74	4,81	4,24	4,13	0,55	0,07	2,00	2,50
	Ry	32,91	28,75	27,78	36,41	42,18	33,61	5,90	n.a.	n.a.	
	Rz	26,92	20,38	22,14	32,23	30,07	26,35	5,05	n.a.	n.a.	
LP	Ra	6,86	4,41	6,87	5,45	5,84	5,89	1,04	0,07	2,00	2,50
	Ry	42,13	37,64	43,07	37,47	43,78	40,82	3,04	n.a.	n.a.	
	Rz	34,51	27,06	35,91	29,51	32,68	31,93	3,63	n.a.	n.a.	

Observações:

- Ra = Rugosidade Aritmética, Rz = Rugosidade máxima média ISO 4287:2002, Ry = Rugosidade máxima ISO 4287:2002.
- Padrão de referência utilizado para verificação/ajuste do equipamento, (Ra): 2,94 µm.
- Os resultados contidos neste documento tem significação restrita e se aplicam somente à(s) amostra(s) ensaiada(s).
- O Relatório de Ensaio não pode ser reproduzido sem a aprovação do laboratório, exceto se for reproduzido na íntegra.
- O critério de amostragem adotado foi determinado pelo cliente sobre o qual assume a responsabilidade.
- Verificações realizadas conforme norma ABNT NBR ISO 4288:2008.
- (n.a.): Não avaliado.

Daniel Angelo Zattera Milesi
Eng. Mecânico – CREA RS178590
Signatário Autorizado