

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
Centro de Engenharias
Curso de Engenharia Industrial Madeireira



Trabalho de Conclusão de Curso

Rugosidade da Superfície em Painéis Produzidos com Diferentes Materiais
Lignocelulósicos

Mariana Figueira Machado

Pelotas, 2025

Mariana Figueira Machado

**Rugosidade da Superfície em Painéis Produzidos com Diferentes Materiais
Lignocelulósicos**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Centro de
Engenharias da Universidade Federal
de Pelotas, como requisito parcial à
obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Industrial Madeireira.

Orientadora: Profa. Dra. Érika da Silva Ferreira

Pelotas, 2025

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas
Catalogação da Publicação

M149r Machado, Mariana Figueira

Rugosidade da superfície em painéis produzidos com diferentes materiais lignocelulósicos [recurso eletrônico] / Mariana Figueira Machado ; Érika da Silva Ferreira, orientadora. — Pelotas, 2025.
44 f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Engenharia Industrial Madeireira, Centro de Engenharias, Universidade Federal de Pelotas, 2025.

1. Chapas. 2. Madeiras. 3. Resíduos agrícolas. 4. Acabamentos. I. Ferreira, Érika da Silva, orient. II. Título.

CDD 674

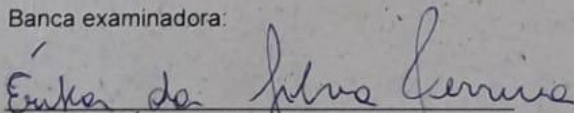
Mariana Figueira Machado

**Rugosidade da Superfície em Painéis Produzidos com Diferentes
Materiais Lignocelulósicos**

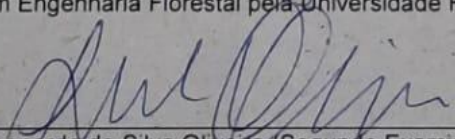
Trabalho de Conclusão de Curso aprovado, como requisito parcial para
obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Industrial Madeireira, Centro de
Engenharias, Universidade Federal de Pelotas.

Data da defesa: 31 de março de 2025.

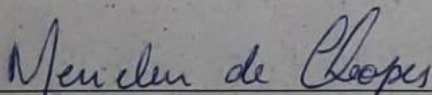
Banca examinadora:



Profa. Dra. Erika da Silva Ferreira (Orientadora)
Doutora em Engenharia Florestal pela Universidade Federal do Paraná



Prof. Dr. Leonardo da Silva Oliveira (Segundo Examinador)
Doutor em Engenharia Florestal pela Universidade Federal de Santa Maria



Profa. Dra. Merielen de Carvalho Lopes (Terceira Examinadora)
Doutora em Engenharia Florestal pela Universidade Federal do Paraná

Nota da Autora

A reprodução e divulgação, parcial ou total, por meio digital ou impressa é permitida, desde que a fonte seja citada.

Dedico para Mariana de 9 anos que superou o *bullying*;

Dedico para Mariana, de 14 anos, que mesmo com medo foi estudar em uma cidade vizinha para fazer um curso que não era o seu sonho.

Dedico para Mariana, de 19 anos que se encontrava perdida e mais uma vez foi estudar em outra cidade para tentar ter um futuro diferente.

Finalmente dedico esse trabalho de conclusão de curso para Mariana de 24 anos que mesmo apavorada e cheia de inseguranças foi mesmo tomada pelo medo, morar mais de 300 km da família para realizar o sonho de estudar engenharia em uma faculdade federal.

Para todas essas Marianas do passado eu venho dedicar esse trabalho de conclusão de curso, sem o empenho e coragem de vocês hoje nós as Marianas do presente e do futuro não teríamos um lindo e desafiador futuro pela frente.

Agradecimentos

Primeiramente eu agradeço e agradeço a Iemanjá e ao Destino por terem me guiado e me protegido durante toda a minha existência.

Aos meus Pais Paulo Miguel e Lia Mara, sem o apoio e incentivo incondicional de vocês, absolutamente nada disso seria possível todo o esforço que vocês fizeram nos últimos 6 anos para me manter aqui, não existem palavras humanas capazes de expressar o tamanho da gratidão e orgulho que eu tenho de vocês.

A minha orientadora Profa. Érika que foi mais que uma orientadora acadêmica durante os 4 anos que eu estive dentro do laboratório, foi uma orientadora de vida e amiga.

Agradeço aos técnicos de laboratórios, vigilantes e terceirizados do prédio que sempre me trataram muito bem e foram extremamente solícitos todas as vezes que eu precisei.

A minha amiga Emiliara que durante toda minha graduação foi sol quando os dias pareciam noite, foi e é a minha maior e melhor companhia, acreditando em mim e me motivando em momentos que nem eu mais acreditava que seria possível ela me mostrou que era.

As minhas amigas Thaila e Nairana sem a presença de vocês nos meus dias eu possivelmente não teria conseguido chegar até aqui sozinha, obrigada por serem abraço seguro e puxão de orelha.

As minhas colegas e amigas de Antiqua Rugby, quando eu me vi sozinha em Pelotas vocês me receberam de braços abertos e me acolheram, transformaram uma distração de final de semana em família, em local seguro me transformaram aquela agora estranha de moicano em uma atleta.

Aos meus colegas e amigos de curso que me acompanharam ao longo desses 6 longos e por inúmeras vezes sofridos anos, ao lado de vocês eu tive a oportunidade de me transformar, amadurecer como pessoa e como profissional.

Amanda, Marina, Nathalia e Kalline obrigada por terem sido as melhores colegas que eu poderia ter.

Para todos os meus amigos e companheiros de almoços e jantares no RU, mano vocês fazem a vida do aluno que não é nativo mais leve e feliz, certamente carregarei todos vocês dentro do meu mais profundo ser.

Agradeço a todos que me deram a oportunidade de ser o que eu queria ser e tiveram a gentileza de entender que eu estava sendo o que eu poderia ser.

Resumo

MACHADO, Mariana Figueira. **Rugosidade da superfície em painéis produzidos com diferentes materiais lignocelulósicos**. Orientadora: Érika da Silva Ferreira. 2025. 43f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Industrial Madeireira) – Centro de Engenharias, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2025.

O presente estudo tem como objetivo avaliar a rugosidade da superfície em painéis de partículas monocamadas produzidos com diferentes materiais lignocelulósicos, tais como: madeira de pinus, erva-mate, palha de arroz e palha de milho. A pesquisa foi realizada no Laboratório de Painéis de Madeira (LAPAM) da Universidade Federal de Pelotas (UFPel) utilizando chapas confeccionadas com adesivo ureia-formaldeído (8% de sólido resinoso), $0,70\text{g/cm}^3$ de densidade nominal e 8 mm de espessura. Dessa forma foram selecionadas pequenas amostras de cada chapa com dimensões de (70 x 100) mm, sendo realizados processos de lixamento com diferentes granas na sequência 80, 100, 120 e 180. As rugosidades foram determinadas por meio de um rugosímetro digital, verificando-se os parâmetros R_a (Desvio Aritmético Médio do Perfil Avaliado), R_q (Desvio Médio Quadrático do Perfil Avaliado) e R_z (Altura Máxima do Perfil). Os resultados mostraram que o tratamento com lixa de grana 100 apresentou melhor uniformidade superficial, principalmente para painéis de erva-mate e pinus, enquanto a utilização de grana 80 resultou em maior irregularidade da superfície. Os tratamentos com lixas de grana 120 e 180 também proporcionaram melhorias na qualidade superficial, mas de forma menos significativa que a grana 100. A análise gráfica dos resultados evidenciou que a utilização de lixas mais finas favoreceu a qualidade do acabamento superficial, corroborando com estudos anteriores que apontam para a importância do controle granulométrico no processo de lixamento. A erva-mate se destacou como o material que apresentou melhor desempenho em termos de rugosidade, enquanto a palha de milho e a palha de arroz tiveram maior variação nos picos e vales de sua leitura. Houve diferença estatisticamente significativa entre os tratamentos em termos de homogeneidade superficial. Conclui-se que a escolha adequada da sequência de lixamento e do material lignocelulósicos influencia diretamente a qualidade da superfície dos painéis. A utilização de erva-mate mostrou-se promissora para a produção de painéis com baixa rugosidade, enquanto a palha de milho e de arroz requerem cuidados adicionais durante o acabamento.

Palavras-chave: chapas; madeira; resíduos agrícolas; acabamento.

Abstract

MACHADO, Mariana Figueira. **Surface roughness of panels produced with different lignocellulosic materials**. Advisor: Érika da Silva Ferreira. 2025. 43f. Final course work (Industrial Wood Engineering) – Engineering Center, Federal University of Pelotas, Pelotas, 2025.

The present study aims to evaluate the surface roughness of single-layer particle boards produced with different lignocellulosic materials, such as: pine wood, yerba mate, rice straw and corn straw. The research was carried out at the Wood Panels Laboratory (LAPAM) of the Federal University of Pelotas (UFPel) using boards made with urea-formaldehyde adhesive (8% resin solids), 0,70 g/cm³ nominal density and 8 mm thickness. Small samples of each board with dimensions of (70 x 100) mm were selected and sanding processes were carried out with different grits in the sequence 80, 100, 120 and 180. The roughness was determined using a digital rugosimeter, checking the parameters Ra (average roughness), Rq (root mean square roughness) and Rz (partial roughness). The results showed that the treatment with 100 grit sandpaper presented better surface uniformity, mainly for yerba mate and pine panels, while the use of 80 grit resulted in greater surface irregularity due to the tearing off some particles. Treatments with 120 and 180 grit sandpaper also provided improvements in surface quality, but less significantly than with 100 grit. Graphical analysis of the results showed that the use of finer sandpaper improved the quality of the surface finish, corroborating previous studies that point to the importance of granulometric control in the sanding process. yerba mate stood out as the material that presented the best performance in terms of roughness, while corn straw and rice straw had greater variation in the peaks and valleys of their readings. There was a statistically significant difference between the treatments in terms of surface homogeneity. It is concluded that the appropriate choice of the sanding sequence and the lignocellulosic material directly influences the surface quality of the panels. The use of yerba mate has shown promise to produce panels with low roughness, while corn and rice straw require additional care during finishing.

Keywords: board; wood; agricultural waste; finishing.

Lista de Figuras

Figura 1 Soma da altura máxima dos picos e profundidades dos vales do perfil caracterizando Rz	20
Figura 2 média aritmética dos valores absolutos das alturas do perfil em relação à linha média do perfil, que caracterizando Ra	20
Figura 3 Amostras dos painéis de partículas de média densidade: A) Pannel de erva-mate; B) Pannel de pinus; C) Pannel de palha de milho; D) Pannel de palha de Arroz	22
Figura 4 Sequência de lixas utilizadas para o processo de usinagem e acabamento dos painéis: A) Lixa grana 80; B) Lixa grana 100; C) Lixa grana 120; D) Lixa grana 180	25
Figura 5 Visualização do processo de lixamento com sentido de orientação descendente	25
Figura 6 Sentido de leitura e marcação dos quadrantes	26
Figura 7 Perfis de rugosidade da superfície referentes às médias dos quatro quadrantes amostrados para erva-mate.....	28
Figura 8 Perfis de rugosidade da superfície referentes às médias dos quatro quadrantes amostrados para pinus	30
Figura 9 Perfis de rugosidade da superfície referentes as médias dos quatro quadrantes amostrados para palha de milho.....	31
Figura 10 Perfis de rugosidade da superfície referentes as médias dos quatro quadrantes amostrados para palha de arroz	32

Lista de Tabelas

Tabela 1	Identificação dos tratamentos	23
Tabela 2	Comparação das médias para os parâmetros de rugosidade Rz, Rq e Ra diferentes tratamentos avaliados	32
Tabela 3	Comparação das médias entre os materiais e as granas das lixas para Rq e Ra.....	35

Sumário

1. Introdução.....	14
2. Objetivos.....	16
2.1 Objetivo geral.....	16
2.2 Objetivos específicos	16
3. Revisão de Literatura.....	17
3.1 Painéis produzidos com materiais resíduos lignocelulósicos.....	17
3.2 Rugosidade.....	19
4. Material e métodos.....	22
4.1 Material	22
4.2 Preparação das amostras.....	23
4.3 Análise da superfície.....	27
4.4 Análise estatística	28
5. Resultados e discussão	28
5.1 Representação gráfica do perfil de rugosidade gerado por meio da média de cada ponto de leitura nos quatro quadrantes avaliados por tratamento	28
a. Erva-Mate	28
b. Pinus	30
c. Palha de milho	31
d. Palha de arroz	32
6. Conclusão.....	39
Referências.....	41
Apêndices	42

1. Introdução

O beneficiamento de produtos agrícolas gera uma grande quantidade de resíduos que, em sua maioria, são destinados à alimentação animal ou utilizados como cobertura do solo. Apesar dessas aplicações convencionais, muitos desses resíduos apresentam características que os tornam promissores para outros fins, como a fabricação de painéis de madeira reconstituída. Ao serem incorporados a processos industriais, esses materiais não apenas ganham um novo valor, mas também colaboram para a redução dos impactos ambientais, ao promoverem o reaproveitamento de resíduos que, de outra forma, seriam descartados.

Para Corrêa *et al.* (2021) o aproveitamento de resíduos agrícolas incorporados a madeira ou puro na confecção de painéis de partículas pode ser uma alternativa sustentável para se agregar valor às chapas e contribuir com o meio ambiente, podendo ser empregado na indústria moveleira e na construção civil.

Nesse contexto, Iwakiri & Trianoski (2020) conceituam os painéis MDP - *Medium Density Particleboard* (Painéis de Partículas de Média Densidade) sendo chapas produzidas a partir de partículas de madeira unidas por resina sintética, submetidas a calor e pressão. Esses painéis são comumente utilizados na fabricação de móveis, pisos e acabamentos de interiores.

De acordo com Siqueira *et al.* (2003) para garantir um produto final de alta qualidade é essencial que as empresas adotem um processo de lixamento adequado e realizem um controle rigoroso em cada etapa do processo produtivo, implicando na classificação da matéria-prima, dosagem e aplicação correta do adesivo e demais insumos, bem como na avaliação criteriosa da qualidade da superfície.

Para Meireles (2017) o lixamento contribui para uniformizar a superfície, embora a ocorrência de irregularidades possa variar conforme a região da peça ou o tipo de material. Para atenuar essas diferenças, recomenda-se utilizar lixas com granulometrias variadas, além de padronizar a velocidade e a pressão durante o processo de lixamento.

A norma ASTM D 1666 (1999), específica para a classificação da superfície em madeira e derivados após a realização de processos de usinagem, consiste em um

método qualitativo e baseado na análise sensorial fornecendo notas sobre a qualidade da superfície por meio do tato e exame visual.

Para a norma ABNT NBR 4287 (2002) a superfície real de um material consiste na superfície que limita um corpo e o separa do ambiente sendo seu perfil resultante da interseção da superfície real e um plano específico, e o perfil de rugosidade derivado do perfil primário pela eliminação dos componentes de comprimentos de ondas longas usando um filtro de perfil; este perfil é modificado intencionalmente.

Dessa forma pode-se analisar em relação ao tipo de acabamento, da máquina-ferramenta ou do processo de fabricação utilizado para acabamento das chapas por meio da análise dos desvios da superfície real em relação à superfície geométrica (ideal e de projeto), sendo medida por meio de um equipamento que percorre a superfície, registrando essas variações de altura.

Nesse cenário para Cunha (2023) a avaliação da rugosidade da superfície por meio de equipamento específico apresenta-se como uma ferramenta eficaz para analisar e classificar superfícies fornecendo parâmetros estatísticos que permitem comparações mais precisas entre as qualidades das superfícies.

2. Objetivos

2.1 Objetivo geral

O presente estudo tem o objetivo geral de avaliar a rugosidade em diferentes superfícies de painéis de partículas de média densidade, produzidos com materiais lignocelulósicos, a fim de indicar qual a melhor alternativa de acabamento superficial.

2.2 Objetivos específicos

- Realizar o processo de usinagem por meio da operação de lixamento com a seguinte sequência e grãos de lixa: 80, 100, 120 e 180;
- Determinar e avaliar a rugosidade da superfície em painéis de partículas de média densidade constituídos pelos seguintes materiais: erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hilaire), madeira de pinus (*Pinus* sp), palha de milho (*Zea mays*) e palha de arroz (*Oryza* sp), antes e após o processo de lixamento;
- Determinar e avaliar os parâmetros de qualidade das superfícies, gerados por meio do rugosímetro, antes e após o emprego das diferentes granas de lixa como acabamento, bem como o efeito da interação material x grana de lixa.

3. Revisão de Literatura

De acordo com EMBRAPA (2021) os resíduos agrícolas como bagaço de cana-de-açúcar, palha de gramíneas e resíduos florestais são considerados resíduos lignocelulósicos por serem constituídos de 40 a 60% de celulose, de 20 a 40 % de hemicelulose e de 10 a 15% de lignina que formam assim uma estrutura complexa que quando queimadas ou hidrolisadas podem gerar biocombustíveis ou energia em forma de calor.

3.1 Painéis produzidos com materiais resíduos lignocelulósicos

De acordo com Silva *et al.* (2018), ao invés de aumentar as áreas de reflorestamento, pode-se considerar substituir madeiras por resíduos agrícolas lignocelulósicos como casca de café, sabugo de milho, casca de arroz, casca de amendoim, casca de mamona e bagaço de cana-de-açúcar podem ser considerados promissores, quando observados como fonte de matéria-prima para atender a demanda ascendente do mercado de painéis particulados, contribuindo para redução do custo de produção dos mesmos além de reduzir o consumo de madeira de reflorestamento.

Para Ribaski *et al.* (2021) e Iwakiri (2005) os painéis de madeira reconstituída são massivamente utilizados em todos os campos da cadeia produtiva madeireira, desde a confecção de móveis até a construção civil como um todo. Desta forma a introdução de resíduos na produção de painéis de partículas ou de fibras pode ser uma boa estratégia socioeconômica e ambiental.

Buzo *et al.* (2019) indicam a viabilidade para produção de painéis de partículas com as seguintes proporções de mistura: 60% de madeira de pinus e 40% de bagaço de cana-de-açúcar, e por meio da análise das propriedades físicas (teor de umidade - 6,4%; inchamento em espessura após 24h - 62,6%) e mecânicas (módulo de ruptura – 15 MPa; módulo de elasticidade – 2.416 MPa; resistência à tração perpendicular - 1,14MPa) das chapas os autores observaram que a incorporação do resíduo lignocelulósico com

adesivo ureia-formaldeído indicou a aplicabilidade de uso desse resíduo para produção dos painéis de partículas de alta e média densidade.

Carvalho *et al.* (2015) utilizaram resíduos de poda da erva-mate, com e sem casca, e madeira de pinus com 8% de teor do adesivo ureia-formaldeído na produção de painéis de partículas com 10 mm de espessura e analisaram as propriedades físico-mecânicas nas chapas homogêneas com partículas de pinus de 100%, resíduos de erva-mate com casca de 100%, resíduos de erva-mate sem casca de 100%, 50% de pinus com 50% de resíduos de erva-mate com casca e 50% de pinus com 50% de resíduos de erva-mate sem casca. Os autores observaram os seguintes valores médios para densidade aparente (0,67 a 0,70g/cm³), teor de umidade (8,3 a 11,9%), inchamento em espessura 24h (39,8 a 52,1%), absorção de água 24h (103,1 a 129,6%), módulo de ruptura (9,6 a 19,6MPa), módulo de elasticidade (932,7 a 1611,7MPa), compressão (7,0 a 11,1MPa), ligação interna (0,75 a 1,28 MPa), arrancamento de parafuso (1452,4 a 1934,9) e dureza Janka (2900,5 a 3978,6 N). Sendo comprovado que a casca não interferiu nos resultados, e estatisticamente não houve diferente entre os resultados para os tratamentos avaliados para o inchamento em espessura, compressão, ligação interna, arrancamento de parafuso e dureza Janka. Com relação ao módulo de ruptura na flexão estática as chapas produzidas com os resíduos puro ou em mistura a madeira de pinus não atingiram os requisitos mínimos estabelecidos pela norma ABNT NBR 14810-2 (2013).

Duran *et al.* (2023) avaliaram painéis produzidos com bagaço de cana-de-açúcar encontrando os seguintes valores para absorção de água em 24 h - 14,99%, módulo de ruptura - 15,48 MPa e módulo de elasticidade – 1.885 MPa, sendo que os resultados obtidos demonstram viabilidade do uso desse resíduo incorporado as partículas de pinus, entretanto, como os valores médios de suas propriedades não atingiram os requisitos mínimos exigidos pela norma ABNT NBR 14810-2 (2013) os autores recomendaram seu uso com cunho decorativo.

Painéis de partículas de média densidade produzidos com madeira de pinus e resíduos de erva-mate apresentaram valores satisfatórios para as propriedades físicas enquanto por meio da avaliação das propriedades mecânicas os mesmos não atingiram aos requisitos mínimos exigidos pela norma ABNT NBR 14810-2 (2013), sendo assim

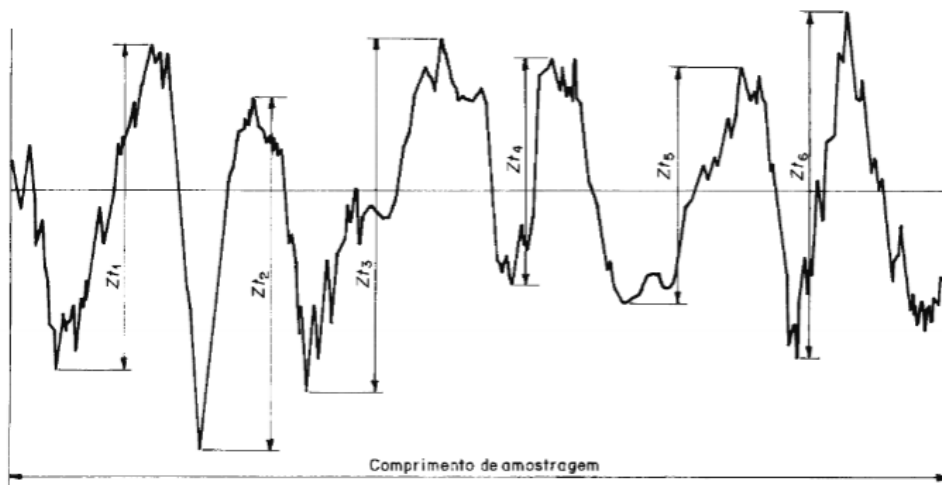
recomendados para uso decorativo de acordo com estudos desenvolvidos por Lourenço Neto (2017) e Carvalho *et al.* (2015).

3.2 Rugosidade

Siqueira *et al.* (2003) afirma que a averiguação da rugosidade em peças, pode ser realizada por meio de um equipamento denominado rugosímetro, que consiste em uma agulha que efetua a varredura na superfície da peça, o instrumento realiza a leitura e fornece dados médios para elaboração de um gráfico, tendo como base os parâmetros coletados referentes a quantidade, diâmetro e comprimentos de espaços vazios deixados na superfície do material.

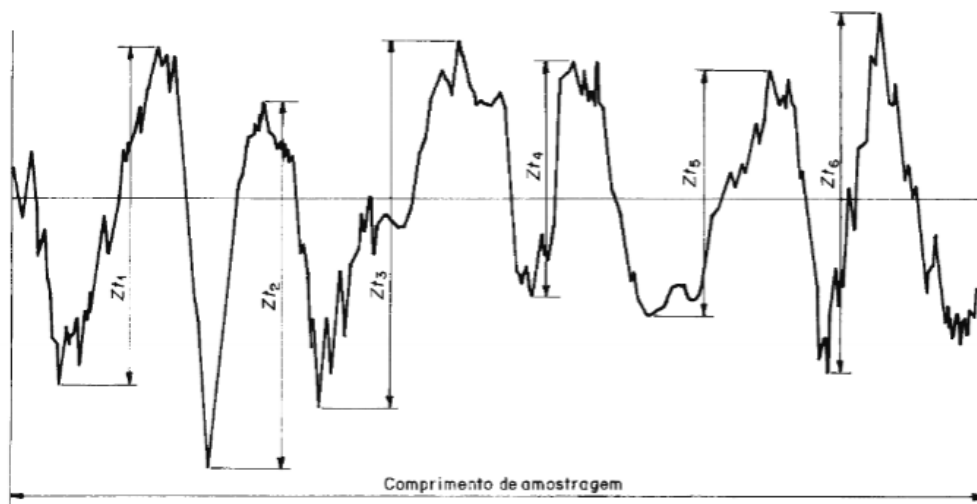
De acordo com a ABNT NBR ISO 4287 (2002) os parâmetros geométricos calculados a partir do perfil de rugosidade são divididos em três classes, sendo elas: **Ra (Desvio Aritmético Médio do Perfil Avaliado)** - que fornece a média aritmética dos valores absolutos das ordenadas, $Z(x)$, no comprimento da amostragem conforme ilustrado na Figura 1; **Rq (Desvio Médio Quadrático do Perfil Avaliado)** - que representa a raiz quadrada da média dos valores das ordenadas, $Z(x)$, no comprimento da amostragem; e o **Rz (Altura Máxima do Perfil)** - representa a soma da altura máxima dos picos de Z_p e a maior das profundidades dos vales do perfil Z_v , no comprimento da amostragem, conforme demonstrado na Figura 2.

Figura 1 - Soma da altura máxima dos picos e profundidades dos vales do perfil caracterizando Rz



Fonte: NBR ISO 4287, 2002.

Figura 2 - Média aritmética dos valores absolutos das alturas do perfil em relação à linha média do perfil, que caracterizando Ra



Fonte: NBR ISO 4287, 2002.

A inspeção visual das superfícies das peças é realizada com o intuito de identificar aquelas em que métodos mais precisos de medição da rugosidade são desnecessários, uma vez que a qualidade superficial é claramente superior ou inferior ao especificado. No entanto, quando a inspeção visual não permite uma tomada de decisão assertiva, torna-se imprescindível a realização de comparações táteis e visuais com padrões

específicos de rugosidade (ABNT NBR ISO 4288, 2008). Além disso, a norma ASTM D 1666 (1999) busca minimizar possíveis erros decorrentes da inspeção visual, propondo parâmetros que possibilitam a quantificação da rugosidade superficial de peças de madeira, garantindo maior precisão e confiabilidade na avaliação.

Para Martins (2011) equipamentos como rugosímetro de agulha, perfilometria óptica, análise de imagens técnicas com a utilização de câmeras de vídeo e microscopia são alguns dos métodos disponíveis para avaliação de superfícies de madeira e ainda não se tem grande quantidade de registros sobre rugosidade em produtos derivados de materiais lignocelulósicos reconstituídos.

Mendonça (2024) aponta que a conformação de uma boa qualidade de superfície engloba alguns fatores como a densidade do material. Essa característica influencia diretamente na capacidade da permeabilidade dos adesivos nos substratos, sendo um processo imprescindível durante a adesão da partícula com o adesivo, para que no momento que for ocorrer a prensagem do colchão haja um entrelaçamento entre as camadas completamente envoltas pelo adesivo formando um painel resistente e com uma superfície homogênea.

Para avaliação da rugosidade de superfície os parâmetros que se destacam são: rugosidade média (R_a) que representa a média aritmética de todos os valores absolutos da superfície, rugosidade média quadrática (R_q) que representa a raiz quadrada média dos valores absolutos das ordenadas de afastamento em relação à linha média, sendo mais sensível a picos e vales excepcionais e a rugosidade parcial (R_z) que é média de cinco valores de rugosidade que apresentam a maior amplitude das irregularidades que representa a maior profundidade superficial, utilizado para avaliar as superfícies aleatoriamente (Gurau *et al.*, 2017 *apud* Cruz *et al.*, 2020).

Para Sindurski (2020) a rugosidade por ser relacionada aos ângulos de molhabilidade da madeira, fazendo um paralelo com os diferentes níveis de lixamento exigidos pelas madeiras maciças para a melhoria de ângulo de molhabilidade, que pode favorecer ou não a aderência de películas adesivas ou de acabamento como vernizes, demonstrando que madeira mais duras poder-se-ia chegar nesse resultado ótimo utilizando lixas de granas de grossas como 120 indo até lixas de granas mais finas como

320 enquanto madeiras mais macias necessitavam de um maior cuidado e regressão progressiva das granas das lixas.

4. Material e métodos

O trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Painéis de Madeira – LAPAM, pertencente ao curso de Engenharia Industrial Madeireira (EIM) do Centro de Engenharias (CEng) da Universidade Federal de Pelotas (UFPel).

4.1 Material

Para o desenvolvimento do estudo foi selecionada uma amostra para cada painel de partícula produzido com os seguintes materiais lignocelulósicos: erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hilaire), madeira de pinus (*Pinus sp*), palha de milho (*Zea mays*) e palha de arroz (*Oryza sp*).

As amostras dos painéis, sem acabamento, apresentavam dimensões nominais de (70 x 100 x 8) mm, teor de umidade de equilíbrio variando entre 6,34 – 8,15%, densidade aparente variando entre 0,65 - 0,70g/cm³ (sendo classificados como painéis de partículas de média densidade), 8% de teor de resina ureia-formaldeído, sendo oriundas de projetos de pesquisas fomentados pelo CNPq e desenvolvidos por Ferreira *et al.* (2014; 2015).

Na Figura 3 é possível visualizar as amostras utilizadas para determinação do perfil de rugosidade da superfície: erva-mate (Figura 3 A), madeira de *Pinus sp* (Figura 3 B) e os resíduos lignocelulósicos de palha de milho (Figura 3C) e palha de arroz (Figura 3D).

Figura 3 – Amostras dos painéis de partículas de média densidade: A) Pannel de erva-mate; B) Pannel de pinus; C) Pannel de palha de milho; D) Pannel de palha de Arroz



Fonte: Elaborada pela autora (2025).

As partículas que deram origem aos painéis foram geradas por meio da fragmentação dos materiais em moinho de martelo com malha de 9mm, com exceção aos resíduos de erva-mate, onde após o processo de secagem todos os materiais foram classificados granulometricamente em peneiras (10, 16 e 30 *mesh*) caracterizando o material para manufatura dos painéis as partículas que ficaram retidas nas malhas de 16 e 30 *mesh*. Esse processo teve o objetivo de padronizar o tamanho das partículas utilizadas para produção das chapas com a retirada das dimensões *oversize* e finos.

4.2 Preparação das amostras

A preparação das amostras dos painéis para análise da superfície ocorreu da seguinte forma:

1º Etapa: inicialmente foram selecionadas as amostras dos painéis de partículas de média densidade de cada tipo de material lignocelulósico caracterizando os tratamentos testemunhas os materiais que não receberam acabamento;

2º Etapa: seleção das granas de lixas a serem utilizadas para a usinagem dos painéis de acordo com a sequência: 80,100, 120 e 180;

3º Etapa: realização do processo de lixamento, nas amostras com a sequência apresentada na 2º etapa, após cada tratamento foi efetuada a leitura com o rugosímetro;

Na Tabela 1 é possível visualizar os tratamentos avaliados e as sequências de lixas correspondentes, a Figura 4 apresenta as lixas que foram empregadas no estudo.

Tabela 1 - Identificação dos tratamentos utilizados para avaliação do perfil de rugosidade dos painéis

Tratamento	Materiais Lignocelulósicos	Sequência de acabamento
T1	Erva-mate	Sem lixa
T2	Erva-mate	Grana 80
T3	Erva-mate	Granás 80 / 100
T4	Erva-mate	Granás 80 / 100 / 120
T5	Erva-mate	Granás 80 / 100 / 120 / 180
T6	Pinus	Sem lixa
T7	Pinus	Grana 80
T8	Pinus	Granás 80 / 100
T9	Pinus	Granás 80 / 100 / 120
T10	Pinus	Granás 80 / 100 / 120 / 180
T11	Palha de milho	Sem lixa
T12	Palha de milho	Grana 80
T13	Palha de milho	Granás 80 / 100
T14	Palha de milho	Granás 80 / 100 / 120
T15	Palha de milho	Granás 80 / 100 / 120 / 180
T16	Palha de Arroz	Sem lixa
T17	Palha de Arroz	Grana 80
T18	Palha de Arroz	Granás 80 / 100
T19	Palha de Arroz	Granás 80 / 100 / 120
T20	Palha de Arroz	Granás 80 / 100 / 120 / 180

Fonte: Elaborada pela autora (2025).

Figura 4 – Sequência de lixas utilizadas para o processo de usinagem e acabamento dos painéis: A) Lixa grana 80; B) Lixa grana 100; C) Lixa grana 120; D) Lixa grana 180



Fonte: Elaborada pela autora (2025).

A Figura 5 apresenta a forma como foi realizada a operação de lixamento manual, onde cada tratamento foi configurado por vinte passadas de cada grana de lixa no sentido descendente, conforme ilustrado, sendo as lixas fixadas com auxílio de um suporte, e os corpos de prova fixados na mesa móvel de uma prensa com auxílio de peças de madeira de pinus por meio de grampos tipo C.

Figura 5 – Visualização do processo de lixamento com sentido de orientação descendente



Fonte: Elaborada pela autora (2025).

A leitura da superfície para cada tratamento, com exceção das testemunhas, foi realizada após o emprego de cada grana de lixa, assim a mesma amostra foi utilizada para o tratamento seguinte. Para efetuar o lixamento utilizou-se um suporte manual, com o intuito de aplicar a mesma pressão sobre toda a superfície, para realização da leitura do perfil de rugosidade cada amostra foi dividida em quatro quadrantes com o objetivo de obter as quatro repetições por tratamento.

Na Figura 6, pode-se observar como foi realizada as demarcações nas amostras e a varredura da superfície de cada quadrante por meio do rugosímetro, onde os quadrantes 1 e 2 são localizados na parte inferior do painel e os quadrantes 3 e 4 são localizados no quadrante superior, tendo em vista que o sentido de leitura foi realizado no sentido horário e a mesma é girada em 90°.

Figura 6 - Sentido de leitura e marcação dos quadrantes



Fonte: Elaborada pela autora (2025).

4.3 Análise da superfície

Para realizar a análise do perfil de rugosidade das superfícies utilizou-se um rugosímetro portátil digital, da marca Mitutoyo, modelo SJ-210 178-561-02A, com as seguintes especificações de leitura: norma ABNT NBR ISO 4288 (2002), percurso de avaliação de 4,0 mm e com um cut-off de 0,8 mm, verificando-se os parâmetros desvio aritmético médio do perfil avaliado – R_a , desvio médio quadrático do perfil avaliado – R_q e altura máxima do perfil – R_z .

Efetou-se a leitura nos quatro quadrantes por tratamento avaliado para a realização de uma análise mais precisa da superfície, após a obtenção de todos os dados o equipamento gera planilhas no *Excel* para apresentação dos parâmetros e gráficos por quadrante avaliado.

4.4 Análise estatística

O delineamento experimental empregado foi fatorial com o objetivo de avaliar o efeito isolado do tipo de material lignocelulósico empregado na constituição da chapa e grana de lixa no acabamento das amostras, bem com suas interações. Para o atendimento dos requisitos necessários ao emprego da análise de variância dos parâmetros avaliados foi aplicado o teste de *Shapiro-Wilk* (normalidade dos dados) e teste de *Bartlett* (verificação da homogeneidade das variâncias).

Os dados referentes aos parâmetros R_a , R_q e R_z foram submetidos à análise de variância Multifatorial – MANOVA, onde foi avaliado a interação dos fatores e seus efeitos isolados. Havendo significância foi aplicado o teste de médias *Tukey* a 95% de confiança.

Para a apresentação gráfica do perfil de rugosidade gerado de cada tratamento avaliado foi realizada uma média aritmética para cada ponto de leitura ao longo do percurso de 4 mm nas quatro repetições (quadrantes) determinadas.

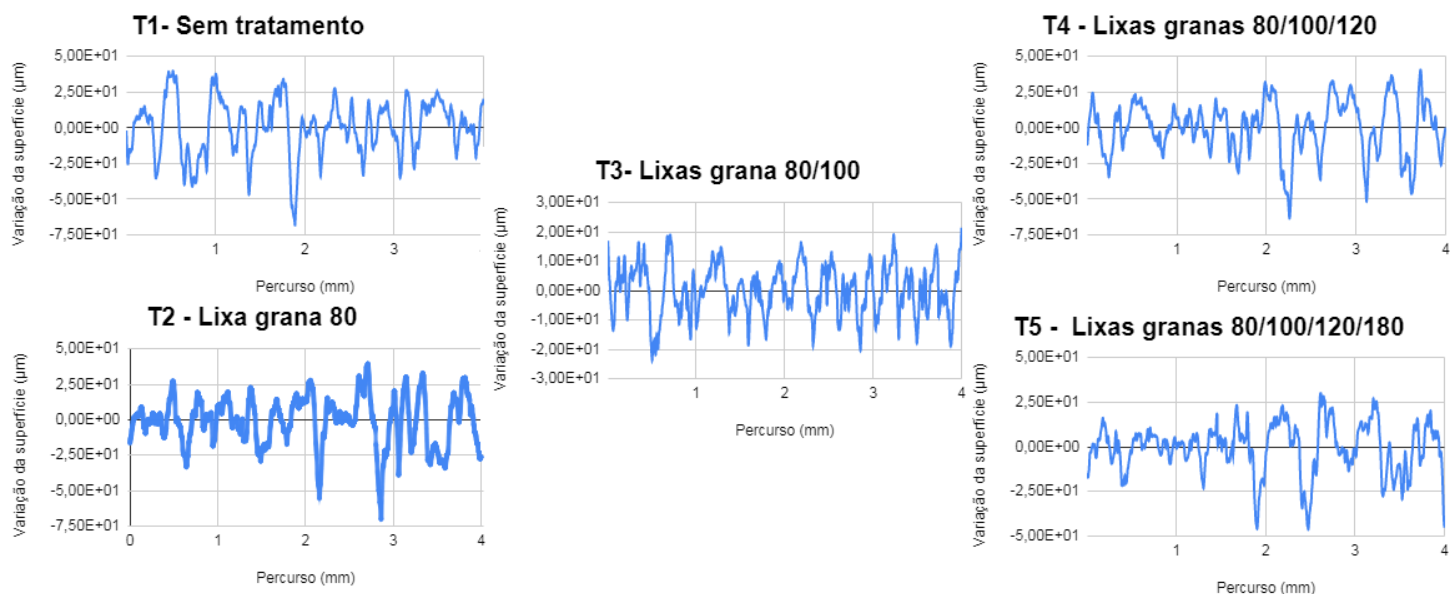
5. Resultados e discussão

5.1 Representação gráfica do perfil de rugosidade gerado por meio da média de cada ponto de leitura nos quatro quadrantes avaliados por tratamento

Por meio da Figura 6 até a Figura 10, pode-se observar as representações gráficas dos perfis de rugosidade gerados por meio da média de cada ponto de leitura nos quatro quadrantes avaliados para cada tipo de material lignocelulósico e acabamento com lixa realizado no percurso de 4mm e a sua variação de altura em micrometro (μm).

a. Erva-Mate

Figura 7 - Perfis de rugosidade da superfície referentes às médias dos quatro quadrantes amostrados para erva-mate



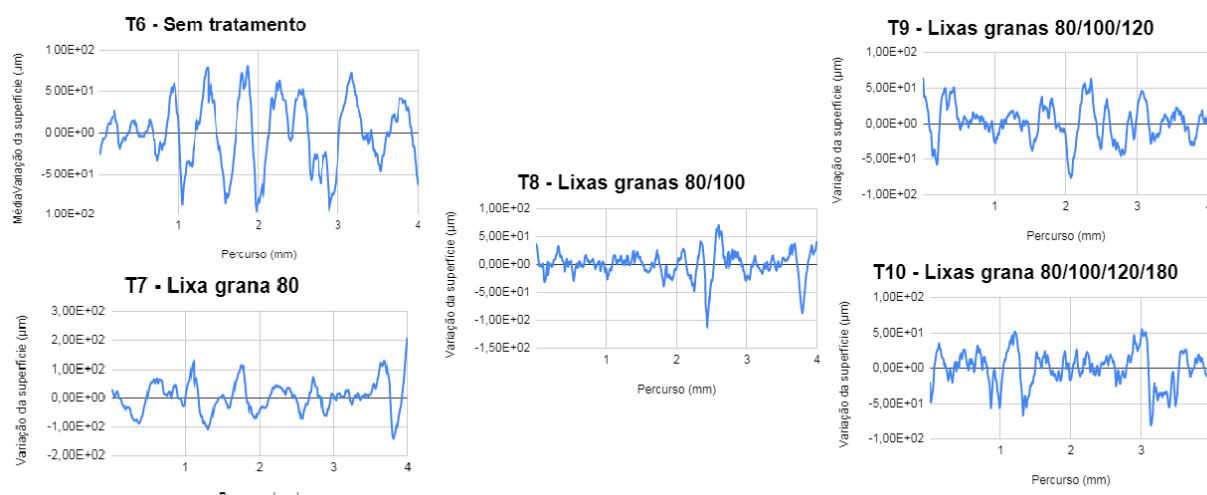
Fonte: Elaborada pela autora (2025).

Por meio da Figura 7 pode-se observar os gráficos das médias de leitura da rugosidade de superfície para a erva-mate constatando-se que o tratamento com lixa grana 100 apresentou o melhor desempenho quanto à homogeneidade de picos (Z_p) e vales (Z_v). Posteriormente comprova-se que os desempenho de picos e vales para os tratamentos com granas 80 e 120 são similares, o que pode demonstrar que o arraste

de partículas ou arrepimento da superfície foi parecido o que direciona que as granas sobre esse material por mais que sejam diferentes têm um nível de desbaste da superfície equivalente, ideia essa, que poderá ser validada pela estatística dos parâmetros avaliados. Enquanto o tratamento com a lixa grana 180, foi o que menos mostrou significância nos seus picos e vales.

b. Pinus

Figura 8 - Perfis de rugosidade da superfície referentes às médias dos quatro quadrantes amostrados para pinus

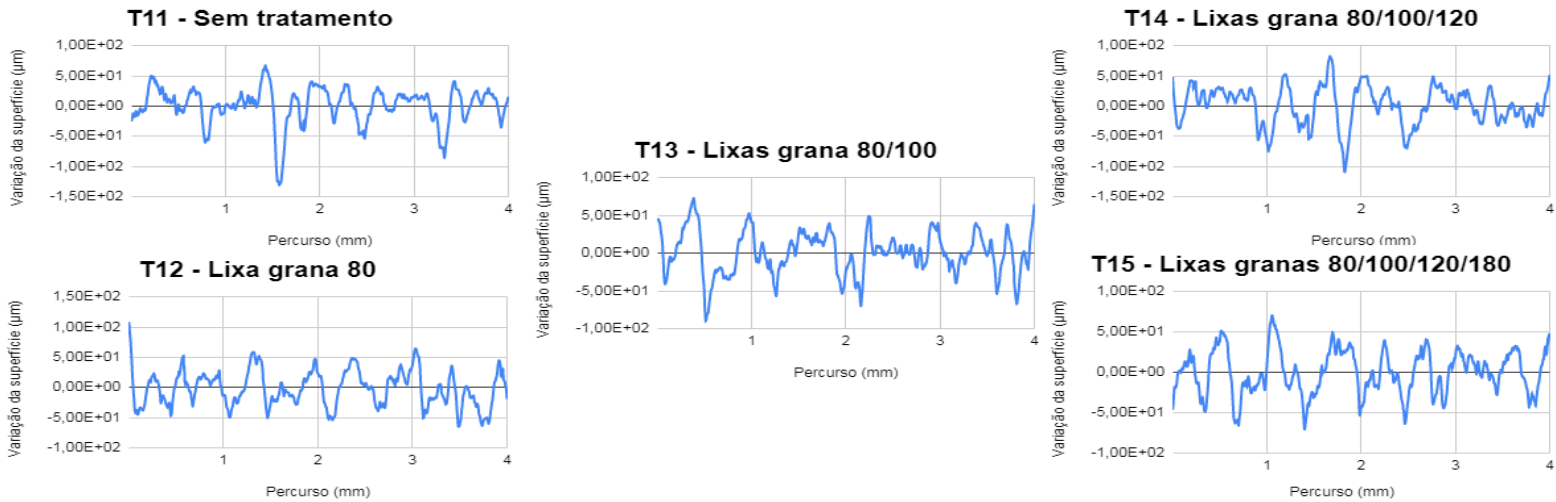


Fonte: Elaborada pela autora (2025).

Na Figura 8, pode-se observar os gráficos das médias de leitura da rugosidade de superfície para o pinus constata-se que a amostra que teve maior homogeneidade entre picos (Z_p) e vales (Z_v) foi o tratamento 10 com a lixa de grana 180 que inclusive apresentou menor variação entre as alturas dos picos e variação pouco expressiva de picos e vales intermediários enquanto os tratamentos com as lixas de grana 80, 100 e 120 apresentam maior variação entre picos e vales, sendo o tratamento com lixa grana 120 o que elucida essa diferença, de forma mais evidente na formação dos picos agudos e intermediários. O que pode demonstrar que o tratamento com a lixa grana 80 como sendo o que favoreceu um maior arraste de partículas ou arrepimento.

c. Palha de milho

Figura 9 - Perfis de rugosidade da superfície referentes as médias dos quatro quadrantes amostrados para palha de milho

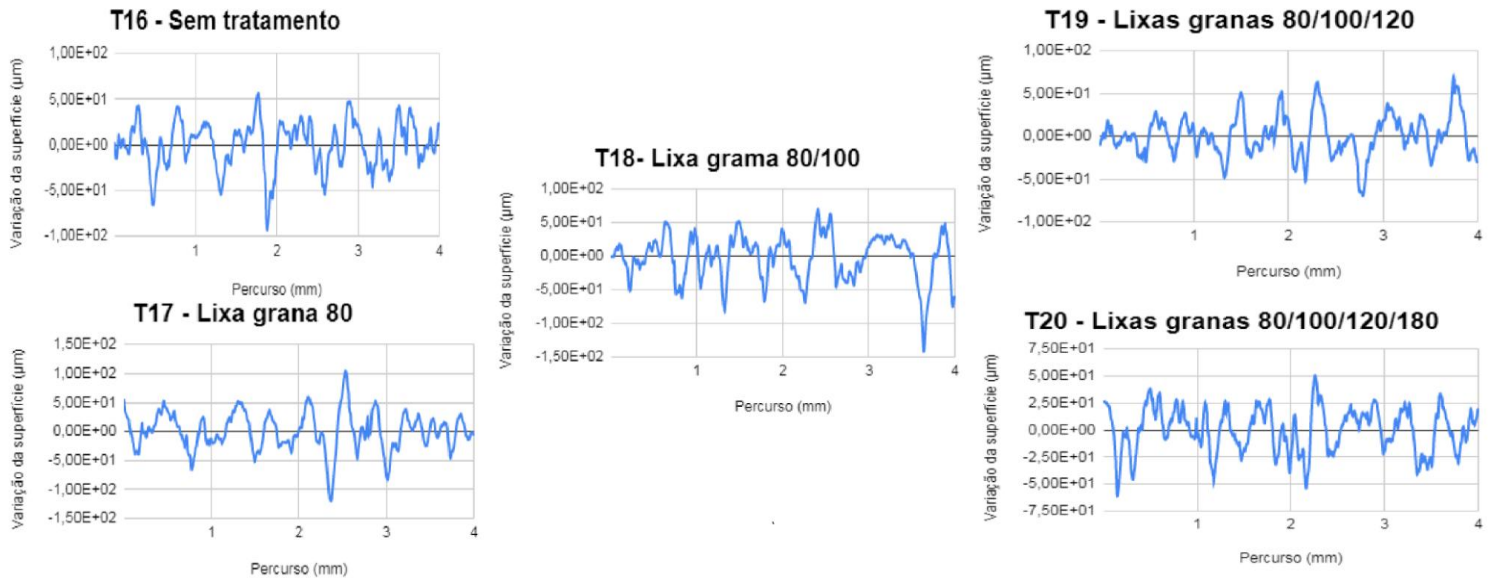


Fonte: Elaborada pela autora (2025).

Por meio da análise dos gráficos apresentados na Figura 9, pode-se observar que o tratamento com lixa grana 120 foi o que apresentou o melhor desempenho em relação a distribuição dos seus picos (Z_p) e vales (Z_v), mostrando pouca variação entre eles. Enquanto as amostras de lixas com granas 80 e 100 não demonstraram tantas variações e se mantiveram similares, atentando que a distribuição para a grana 80 – T12 foi mais uniforme e cíclica, enquanto para a grana 100 – T13 as diferenças dos picos foram mais marcantes. Para o tratamento com lixa grana 180 – T15 essa diferença ficou mais evidente com picos superiores aos demais tratamentos. Essas diferenças devem ser melhor observadas e possivelmente explicadas com a aplicação dos dados estatísticos em todos os parâmetros R_a , R_q e R_z .

d. Palha de arroz

Figura 10 - Perfis de rugosidade da superfície referentes às médias dos quatro quadrantes amostrados para a palha de arroz



Fonte: Elaborada pela autora (2025).

Quando analisados os gráficos médios de perfil de rugosidade na Figura 10, é possível observar que o tratamento com lixa grana 120 – T19 foi o que apresentou o melhor desempenho em relação a distribuição dos seus picos e vales, mostrando pouca variação entre eles. Enquanto as amostras de lixas com granas 80 – T17 e 100 – T18 demonstraram variações e se mantiveram similares, atentando que a distribuição para o T17 foi mais uniforme e cíclica, enquanto que para o T18 as diferenças dos picos foram mais evidentes. Para o tratamento com lixa grana 180 essa diferença ficou mais evidente com picos superiores aos demais tratamentos. Essas diferenças devem ser melhor observadas e possivelmente explicadas com a aplicação dos dados estatísticos em todos os parâmetros Ra, Rq e Rz.

5.2 Parâmetros avaliados no perfil de rugosidade das superfícies

A Tabela 2 apresenta os valores médios para os parâmetros R_a , R_q e R_z determinados no perfil de rugosidade dos painéis constituídos com diferentes materiais lignocelulósicos e tipos de granas de lixas utilizadas.

Tabela 2 - Valores médios para os parâmetros Ra (desvio aritmético médio do perfil avaliado), Rq (desvio médio quadrático do perfil avaliado) e Rz (altura máxima do perfil – Rz) determinados no perfil de rugosidade nos diferentes tratamentos avaliados o efeito da interação desses fatores

Tratamentos	Ra (µm)	Rq (µm)	Rz (µm)
T1 - Erva-mate	7,19 ^{abcd}	9,05 ^{abcd}	38,69 ^{abc}
T2 - Erva-mate (lixa 80)	5,72 ^{abc}	7,60 ^{abc}	35,81 ^{abc}
T3 - Erva-mate (lixa 100)	3,53 ^a	4,66 ^a	22,98 ^a
T4 - Erva-mate (lixa 120)	6,06 ^{abc}	7,76 ^{abc}	33,92 ^{ab}
T5 - Erva-mate (lixa 180)	4,05 ^{ab}	5,29 ^{ab}	25,54 ^a
T6 – Pinus	7,19 ^{abcd}	9,06 ^{abcd}	38,69 ^{abc}
T7 - Pinus (lixa 80)	12,78 ^e	16,25 ^e	70,25 ^d
T8 - Pinus (lixa 100)	7,05 ^{abcd}	9,65 ^{abcde}	43,70 ^{abcd}
T9 - Pinus (lixa 120)	8,29 ^{abcde}	10,64 ^{abcde}	44,86 ^{abcd}
T10 - Pinus (lixa 180)	9,13 ^{bcde}	12,26 ^{cde}	52,71 ^{bcd}
T11 - Palha de Milho	8,65 ^{abcde}	11,71 ^{bcde}	53,35 ^{bcd}
T12 - Palha de Milho (lixa 80)	10,83 ^{cde}	13,59 ^{cde}	58,32 ^{bcd}
T13 - Palha de Milho (lixa 100)	10,30 ^{cde}	12,70 ^{cde}	53,30 ^{bcd}
T14 - Palha de Milho (lixa 120)	12,16 ^{de}	15,28 ^{de}	61,80 ^{bcd}
T15 - Palha de Milho (lixa 180)	9,53 ^{bcde}	12,32 ^{cde}	52,51 ^{bcd}
T16 - Palha de Arroz	8,19 ^{abcde}	10,34 ^{abcde}	43,73 ^{abcd}
T17 - Palha de Arroz (lixa 80)	12,11 ^{de}	14,87 ^{de}	60,19 ^{bcd}
T18 - Palha de Arroz (lixa 100)	10,36 ^{cde}	13,82 ^{cde}	57,75 ^{bcd}
T19 - Palha de Arroz (lixa 120)	9,38 ^{bcde}	11,68 ^{bcde}	49,68 ^{abcd}
T20 - Palha de Arroz (lixa 180)	9,21 ^{bcde}	11,39 ^{abcde}	47,18 ^{abcd}

* Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si a 5% de significância
 Fonte: Elaborada pela autora (2025).

Por meio da ANOVA (ver Apêndice C, G e L) para Ra, Rq e Rz pode-se confirmar que existiram diferenças estatisticamente significativas com relação à interação dos fatores avaliados no tipo de material lignocelulósico e grana de lixa utilizados no estudo.

Por meio da análise dos painéis de erva-mate pode-se constatar que as granas de lixas 80 – T2 e 120 – T4 os valores médios para os parâmetros avaliados foram iguais proporcionando a mesma qualidade de acabamento, na sequência a grana de lixa 180 – T5 e com destaque a grana 100 – T3 onde foi observado o melhor desempenho para os parâmetros avaliados Ra e Rq, sendo todos os acabamentos com diferentes granas de lixa superiores em qualidade da superfície (perfil de rugosidade) quando comparados ao tratamento testemunha (sem acabamento) – T1.

Com relação ao parâmetro Rz, para a erva-mate, pode-se verificar que os tratamentos testemunha – T1 e com lixa grana 80 – T2 apresentaram as mesmas alturas máximas do perfil de rugosidade, entretanto, após o emprego das demais granas de lixa foi constatada uma melhoria na homogeneidade do perfil de rugosidade havendo uma redução dos valores médios para esse parâmetro.

A análise da superfície dos painéis de pinus demonstra que o tratamento T7 - grana 80 apresenta os valores médios mais elevados para os parâmetros Ra, Rq e Rz, sendo estatisticamente superior aos demais tratamentos, o que direciona uma qualidade da superfície inferior. Entretanto, os tratamentos T6 – sem acabamento e T8 - grana 100, apresentam valores médios iguais, o que indica uma qualidade de superfície similar, para o tratamento T9 – grana 120 e T10 - grana 180, não demonstrou melhoria significativa em relação ao tratamento testemunha, com valores estatisticamente similares, sendo assim, nenhum dos tratamentos melhorou de forma significativa a rugosidade da superfície quando comparados à testemunha – T6, com relação ao parâmetro Ra (rugosidade média).

Em relação ao parâmetro Rz (altura máxima do Perfil) o tratamento testemunha - T6 apresentou altura máxima inferior aos demais e significativa estatisticamente, indicando um perfil de rugosidade com picos e vales menos pronunciados (ver Figura 8). O tratamento T7 - grana 80 apresentou altura máxima superior aos demais tratamentos, confirmando a pior qualidade superficial observada nos parâmetros Ra e Rq, os demais tratamentos embora apresentem resultados inferiores ao da grana 80, ainda assim foram

estatisticamente semelhantes ou superiores ao tratamento testemunha, o que sugere que os tratamentos não foram eficientes para apresentar uma melhoria na qualidade da superfície diminuindo assim a altura máxima do perfil de rugosidade para o painel de pinus.

Ao analisar-se os painéis produzidos com palha de milho observa-se nos tratamentos T12 - grana 80, T13 - grana 100 e T15 - grana 180 valores médios de Ra e Rq estatisticamente semelhantes entre si, indicando uma qualidade de superfície similar entre esses acabamentos quando comparados ao T11 - sem acabamento.

Para o parâmetro Rz, não foram apresentadas diferenças significativas estatisticamente entre os tratamentos T12, T13, T14 e T15 quando comparados ao tratamento testemunha - T11 onde os valores vão de 52,51 μ m e 61,80 μ m, indicando que o processo de lixamento, com as granas utilizadas, não proporcionou alterações significativas na altura máxima do perfil de rugosidade para as chapas constituídas pela palha do milho.

Nas chapas constituídas com a palha de arroz, a análise do parâmetro Ra demonstrou que o tratamento testemunha - T16 destacou-se entre os demais avaliados propiciando o melhor desempenho na qualidade de superfície. Esse fato pode ser atribuído a geometria das partículas, pois assim como na palha de milho, em função da baixa densidade do material o processo de fragmentação propicia a geração de partículas com diferentes formas (quadradas e acículas) e conforme ocorre o processo de lixamento essas partículas apresentam irregularidades na distribuição das camadas tendendo a irregularidades maiores após o lixamento com grana 80, contudo na sequência granas 120 e 180 não foi observada alteração na qualidade da superfície para esse parâmetro.

Quanto ao parâmetro Rz, o tratamento testemunha - T16 juntamente com os tratamentos de grana 120 - T19 e grana 180 - T20 não apresentam diferenças estatisticamente significativas nas alturas máximas do perfil de rugosidade. Os tratamentos de grana 80 - T17 e de grana 100 - T18, apresentaram valores superiores de Rz, o que indica um aumento na altura máxima do perfil e conseqüentemente, uma menor qualidade da superfície.

A Tabela 3 apresenta os valores médios para os parâmetros Ra, Rq e Rz determinados no perfil de rugosidade de cada painel avaliando os efeitos do material de origem (lignocelulósico) e os tipos de granas de lixas empregadas.

Tabela 3 - Valores médios para os parâmetros Ra, Rq e Rz determinados no perfil de rugosidade para cada efeito avaliado

Tratamento	Ra (μm)	Rq (μm)	Rz (μm)
Material			
erva-mate	5,31 ^a	6,87 ^a	31,39 ^a
Pinus	8,89 ^b	11,57 ^b	50,04 ^b
palha de milho	10,29 ^b	13,12 ^b	55,86 ^b
palha de arroz	9,85 ^b	12,32 ^b	51,71 ^b
Grana de Lixa			
sem lixa	7,80 ^a	10,04 ^a	43,61 ^a
lixa 80	10,36 ^b	13,08 ^b	56,14 ^b
lixa 100	7,81 ^a	10,08 ^a	44,43 ^a
lixa 120	8,97 ^{ab}	11,34 ^{ab}	47,57 ^{ab}
lixa 180	7,98 ^a	10,32 ^{ab}	44,49 ^a

* Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si a 5% de significância

Fonte: Elaborada pela autora (2025).

Por meio da MANOVA (ver Apêndice D, H e M), para os parâmetros Ra, Rq e Rz, observa-se variação estatisticamente significativa entre os valores médios dos tratamentos, em função da avaliação dos fatores para interação de cada material e as diferentes sequências de granas de lixa aplicadas no presente estudo.

O painel constituído pelos resíduos de erva-mate (folhas e talos) apresentou o menor valor médio para os parâmetros Ra, Rq e Rz, sendo comprovada essa diferença estatisticamente inferior aos demais materiais avaliados (pinus, palha de milho e palha de arroz). Nesse sentido pode-se constatar que com relação ao efeito da matéria-prima de origem o material lignocelulósico que apresentou o melhor desempenho na qualidade da superfície foram as chapas produzidas com a erva-mate. Possivelmente a variação na composição das partículas com folhas e talos da erva-mate proporcionou um melhor preenchimento dos espaços vazios e homogeneidade das superfícies avaliadas, mesmo após a aplicação das sequências de granas no processo de lixamento.

Avaliando-se a perspectiva do efeito da sequência de grana de lixa sobre os materiais pode-se também constatar uma diferença estatisticamente significativa entre os tratamentos analisados para os diferentes parâmetros de qualidade da superfície, destacando-se com desempenho superior os tratamentos onde não houve aplicação de lixa e os com grana 100 e 180. Em contrapartida o pior desempenho foi observado, para todos os parâmetros avaliados com a lixa grana 80, por ser tratar de um processo de desbaste da superfície com uma lixa que propicie apenas calibração das chapas, sem de fato gerar uma superfície com uma lisura adequada à processos de acabamento posteriores, como aplicação de revestimentos.

Dessa forma, os resultados da análise isolada dos materiais (Tabela 3) corroboram com as observações apresentadas na análise da interação entre material e grana de lixa (Tabela 2). A erva-mate de forma consistente demonstrou uma capacidade de atingir superfícies mais lisas após o lixamento, e sua condição inicial (sem lixa) já apresentava uma rugosidade relativamente inferior se comparada aos outros materiais. A análise do efeito isolado das granas de lixa também complementa essa discussão, evidenciando que a lixa grana 80 geralmente piorou a rugosidade, enquanto as granas mais finas (especialmente 100 e 180 para a erva-mate na Tabela 2) foram mais eficazes na redução das irregularidades nas superfícies em alguns materiais.

6. Considerações finais

- Pode-se concluir que a erva-mate demonstrou ser o material lignocelulósico que em média apresentou melhor performance na rugosidade de superfície, em função dos parâmetros Ra, Rq e Rz observados, independentemente da sequência de granas de lixas empregadas;
- Para os demais materiais avaliados (pinus, palha de milho, palha de arroz), com relação ao efeito da sequência de granas de lixas nenhuma das chapas apresentaram melhoria na qualidade da superfície comparado ao material sem acabamento - tratamento testemunha;

Referências

ABNT- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 4287**: Especificações geométricas do produto (GPS) - Rugosidade: Método do perfil - Termos, definições e parâmetros da rugosidade. Brasil, 2002.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14810-1**: painéis de partículas de média densidade: parte 1: Terminologia. Rio de Janeiro, 2013a.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14810-2**: painéis de partículas de média densidade: parte 2: requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2013b. Acesso em: 25 maio 2021.

ALLEN, J.; PASCUAL, K. ROMASANTA, R. R.; TRACH, T. V.; HUNG, N. V.; SANDER, B. O.; CHIVENG, P. Rice Straw Management Effects on Greenhouse Gas Emissions and Mitigation Options. **Springer nature**, pg 145-159, 2019. Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-32373-8_9. Acesso em: 23 fev. 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE. **Estudo Setorial 2022**. Disponível em: <https://abimci.com.br/abimci-lanca-estudo-setorial-2022/>. Acesso em: 30 ago. 2024.

ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Standard Methods for Conducting Machining Tests of Wood and Wood-Base Materials**. West Conshohocken, PA, 1999. **D 1666 – 87** (1999).

BUZO, A. L. S. C.; SUGARAH, E. S.; SILVA, S. A. M.; MORALES, E. A. M.; AZAMBUJA, M. A. Painéis de pinus e bagaço de cana empregando-se dois adesivos para uso na construção civil. **Ambiente Construído**, v. 19, n. 4, 2019. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ac/a/5dnD8vDCY4trw3bTvNPY9FQ/?lang=pt>. Acesso em: 25 maio 2021.

CARVALHO, A. G.; ANDRADE, B. G.; CABRAL, C. P. T.; VITAL, B. R. Efeito da adição de resíduos de poda da erva-mate em painéis aglomerados. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 39, n. 1, p. 209–214, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0100-67622015000100020>. Acesso em: 2 set. 2021.

CORRÊA, A. F.; MACHADO, M. F.; LIMA, M. H. P.; FERREIRA, E. S. Propriedades físicas de chapas OSB produzidas com resíduos lignocelulósicos. In **Congresso de iniciação científica- Ssiepe**, 32., 2023, Pelotas-RS. **Anais eletrônicos...**, 2023.em: https://cti.ufpel.edu.br/siepe/arquivos/2023/EN_05906.pdf?ver=1695407994. Acesso em: 26 fev. 2025.

CORRÊA, A. F.; SANTOS, A. J.; FERREIRA, E. S. O uso dos resíduos agrícolas para produção de painéis OSB: uma revisão de literatura. In. **CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA – UFPel**, 30., 2021, Pelotas. **Anais eletrônicos...** Pelotas: UFPel, 2021. Disponível em: <https://guaiaca.ufpel.edu.br/bitstream/handle/prefix/13114/USO%20DOS%20RES%20C3%8DDUOS%20AGR%20C3%8DCOLAS%20PARA%20PRODU%20C3%87%20C3%83O%20DE%20PAIN%20C3%89IS%20OSB.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 3 mar. 2025.

CUNHA, A. B.; CARVALHO, C. A.; BUSS, R.; WALTRICK, D. B.; BARNASKY, R. R. S.; HENNE, R. A.; ANTUNES, R. Potencial de utilização de resíduos do beneficiamento da erva-mate (*Ilex paraguariensis*) na produção de painéis de partículas. **Scientia Florestalis**, Piracicaba, v. 47, n. 124, p. 724-732, dez. 2019. DOI: <https://doi.org/10.18671/scifor.v47n124.14>.

CUNHA, S. C. A. da; ROCHA, A. L. M.; SILVA, M.; ANDRADE, A. C. de A.; CARDOSO JÚNIOR, A. A. Surface quality and cost-effectiveness of wood used in furniture manufacturing in Aracaju/SE. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 12, n. 13, p. e147121344430, 2023. DOI: 10.33448/rsd-v12i13.44430. Acesso em: 23 de fev. 2025.

DURAN, A. J. F. P.; JÚNIOR, W. E. L.; PAVESI, M.; FIORELLI, J. Avaliação de painéis de média densidade de bagaço de cana-de-açúcar. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 33, n. 3, e69624, p. 1-16, 2023. DOI: <https://doi.org/10.5902/1980509869624>. Acesso em: 1 mar. 2025.

EMBRAPA. **Tecnologia de alimentos: processos e cereais**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/tecnologia-de-alimentos/processos/grupos-de-alimentos/cereais-e-graos>. Acesso em: 12 fev. 2025.

FERREIRA, E. S.; PEDRAZZI, C.; ZANATTO, A. P.; CORRÊA, C. S.; SOUZA, T. R.; RODRIGUES, V. L.; SILVA, N. M.; MULLER, J. L. Painéis Decorativos Produzidos com Resíduos Agrícolas. Relatório técnico de pesquisa. **Chamada Pública MCTI/CNPq/SPMPR/PETROBRAS nº 18/2013: Meninas e Jovens Fazendo Ciências Exatas, Engenharias e Computação**. Processo: 420419/2013-6. 20p. Pelotas, 2015. (Relatório Final). 20 p.

FERREIRA, E. S.; FURLAN, L.; OLIVEIRA, M. P.; PERLEBERG, T. D.; LOURENÇO NETO, G. R.; SCHMITZ, V. N.; KOCCHIER, P. V. Painéis Decorativos Produzidos com Resíduos Lignocelulósicos. **Chamada CNPq/VALE S.A. Nº 05/2012: Forma-Engenharia**. Processo: 455645/2012-4. Pelotas, 2014. (Relatório Final). 21p.

IBGE. **Estimativas de produção de soja, milho e arroz.** Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br>. Acesso em: 12 fev. 2025.

IWAKIRI, S. **Painéis de madeira reconstituída.** Curitiba: FUPEF, 2005. 247 p.

LOURENÇO NETO, G. **Propriedades tecnológicas de painéis aglomerados produzidos com resíduos lignocelulósicos.** 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Industrial Madeireira) – UFPel, Pelotas, 2015. Disponível em: <https://pergamum.ufpel.edu.br/pergamumweb/vinculos/0000d8/0000d830.pdf>. Acesso em: 18 fev. 2025.

MARTINS, S. A.; FERRAZ, J. M.; SANTOS, C. M. T. dos; MENEZZI, C. H. S. Del; SOUZA, M. R. de. Efeito da Usinagem na Rugosidade da Superfície da Madeira de *Eucalyptus benthamii*. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 18, n. 2, p. 135-143, abr./jun. 2011. DOI: 10.4322/floram.2011.031.

MEIRELES, A. F. **Efeito da fotodegradação artificial em lâmina de madeira de mogno (*Swietenia macrophylla* King) tratada com um produto de acabamento.** 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade de Brasília, Brasília, 2017. Disponível em: <https://www.academia.edu/102243658>. Acesso em: jan. 2025.

MENDONÇA, J. C. P. **Piso engenheirado misto fabricado a partir de diferentes combinações de taliscas de madeira e painel aglomerado.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2024. Disponível em: <https://repositorio.ufes.br/server/api/core/bitstreams/24c411f0-78b2-4ed4-9337-ff5f8fb31e71/content>. Acesso em: 25 fev. 2025.

MENEZES, C. A. C.; CARDOSO, E. S.; SANTANA, J. S. Conversão de biomassa proveniente da palha de milho (*Zea mays* L.) em hidroximetilfurfural (HMF): uma abordagem teórica sobre o processo. **Revista Brasileira de Desenvolvimento**, v. 11, n. 1, 2023. DOI: <https://doi.org/10.34117/bjdv7n1-086>. Acesso em: 28 fev. 2025.

REIS, C. A.; CARVALHO, A. M.; MIRANDA, E. F. Rugosidade superficial da madeira após usinagem de *Hymenolobium petraeum* Ducke e *Piptadenia gonoachantha*. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA MADEIRA, 3.**, 2017, Florianópolis. **Anais eletrônicos...** 2017. Disponível em: <https://proceedings.science/cbctem>. Acesso em: 12 fev. 2025.

RIBASKI, N. G.; FRITOLI, C. L.; SALINO, R. E.; BELINI, U. L. Recursos lignocelulósicos: aplicações em painéis e compósitos. **Revista Brasileira de Desenvolvimento**, v. 1, p. 1262–1275, 2021. DOI: <https://doi.org/10.34117/bjdv7n1-086>. Acesso em: 28 fev. 2025.

ROMÃO, D. R. **Potencial de fibras de resíduo agrícola: palha de milho (*Zea mays* L.) para produção de celulose**. 2015. Monografia (Bacharelado em Engenharia Florestal) – Universidade de Brasília, Brasília, 2015. Disponível em: <https://bdm.unb.br/handle/10483/13337>. Acesso em: 20 fev. 2025.

SANTOS, J. A.; REIS, K. de J. .; SANTOS , L. S. R. dos .; VIEIRA , I. L. S. M. .; LIMA, M. R. N. .; SILVA, M.; ANDRADE, A. C. de A. . Evaluation of the effect of finishing on the surface roughness of Paricá wood (*Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke). **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 12, n. 10, p. e95121043479, 2023. DOI: 10.33448/rsd-v12i10.43479. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/43479>. Acesso em: 20 fev. 2025.

SANTOS, L. S. R. dos; SANTOS, J. A.; REIS, K. de J.; LIMA, M. R. N.; VIEIRA, I. L. S. M. .; SILVA, M.; ANDRADE, A. C. de A. Determination of the optimal sanding sequence for Freijó wood (*Cordia goeldiana* Huber) to achieve the best surface roughness for furniture purposes. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 13, n. 2, p. e2513244931, 2024. DOI: 10.33448/rsd-v13i2.44931.

SILVA, M. R.; PINHEIRO, R. V.; CHRISTOFORO, A. L.; PANZERA, T. H.; LAHR, F. A. R. Hybrid sandwich particleboard made with sugarcane, *Pinus taeda* thermally treated and Malva fibre from Amazon. **Materials Research**, v. 21, n. 1, e20170724, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1980-5373-MR-2017-0724>.

SINDERSKI, L. G. Z. Ângulo de contato e rugosidade de madeiras: uma breve revisão. **Ciência da Madeira**, v. 11, n. 1, mar. 2020. Disponível em: <https://periodicos.ufpel.edu.br/index.php/cienciadamadeira/article/view/14618>. Acesso em: 15 fev. 2025.

SIQUEIRA, K. P.; MONTEFUSCO, G. A.; NETO, A. B. Principais metodologias de mediação de estado de superfícies: efeito do rápido crescimento sobre as propriedades da madeira. **Revista Ciências Exatas e Naturais**, v. 5, n. 2, p. 204–210, 2003. Disponível em: <https://revistas.unicentro.br/index.php/RECEN/article/view/418/568>. Acesso em: 1 ago. 2024.

Apêndices

Apêndice A: Teste de Normalidade para o parâmetro Ra

Teste	Estatística	Valor P
Shapiro-Wilk W	0,963083	0,0776049

Apêndice B: Teste de Homogeneidade das Variâncias para o parâmetro Ra

	Estatística	Valor P
Bartlett	1,48573	0,321933

Apêndice C: Análise de Variância - ANOVA para o parâmetro Ra e a interação dos efeitos

Fonte de Variação	Soma dos Quadrados	Grau de Liberdade	Quadrado Médio	F	Valor P
Entre os Tratamentos	493,138	19	25,9546	5,78	0,0000
Dentro dos Tratamentos	269,227	60	4,48711		
Total (Corr.)	762,365	79			

Apêndice D: Análise de Variância Multifatorial - MANOVA para o parâmetro Ra e sus efeitos isolados

Fonte de Variação	Soma dos Quadrados	Grau de Liberdade	Quadrado Médio	F	Valor P
A:Material	306,741	3	102,247	19,50	0,0000
B:Grana Lixa	78,0296	4	19,5074	3,72	0,0083
Resíduo	377,595	72	5,24437		
Total (Corrigido)	762,365	79			

Apêndice E: Teste de Normalidade para o parâmetro Rq

Teste	Estatística	Valor P
Shapiro-Wilk W	0,964385	0,0940811

Apêndice F: Teste de Homogeneidade das Variâncias para o parâmetro Rq

	Estatística	Valor P
Bartlett	1,53797	0,231692

Apêndice G: Análise de Variância - ANOVA para o parâmetro Rq e a interação dos efeitos

Fonte de Variação	Soma dos Quadrados	Grau de Liberdade	Quadrado Médio	F	Valor P
Entre os Tratamentos	740,007	19	38,9477	5,73	0,0000
Dentro dos Tratamentos	407,584	60	6,79307		
Total (Corr.)	1147,59	79			

Apêndice H: Análise de Variância Multifatorial - MANOVA para o parâmetro Rq e sus efeitos isolados

Fonte	Soma dos Quadrados	Grau de Liberdade	Quadrado Médio	F	Valor P
A:Material	471,592	3	157,197	19,87	0,0000
B:Grana Lixa	106,377	4	26,5942	3,36	0,0140
Resíduo	569,622	72	7,91142		
Total (Corrigido)	1147,59	79			

Apêndice I: Teste de Normalidade para o parâmetro Rz

Teste	Estatística	Valor P
Shapiro-Wilk W	0,967101	0,138448

Apêndice J: Teste de Homogeneidade das Variâncias para o parâmetro Rz

	Estatística	Valor P
Bartlett	1,54766	0,217408

Apêndice L: Análise de Variância - ANOVA para o parâmetro Rz e a interação dos efeitos

Fonte de Variação	Soma dos Quadrados	Grau de Liberdade	Quadrado Médio	F	Valor P
Entre os Tratamentos	11295,8	19	594,518	5,68	0,0000
Dentro dos Tratamentos	6275,44	60	104,591		
Total (Corr.)	17571,3	79			

Apêndice M: Análise de Variância Multifatorial - MANOVA para o parâmetro Rq e sus efeitos isolados

Fonte	Soma dos Quadrados	Grau de Liberdade	Quadrado Médio	F	Valor P
A:Material	7064,92	3	2354,97	19,32	0,0000
B:Grana Lixa	1727,87	4	431,967	3,54	0,0107
Resíduo	8778,5	72	121,924		
Total (Corrigido)	17571,3	79			