



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E ENGENHARIAS  
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS FLORESTAIS E DA MADEIRA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

**JOSÉ PAULO COSTA MENDONÇA**

PISO ENGENHEIRADO MISTO FABRICADO A PARTIR DE DIFERENTES  
COMBINAÇÕES DE TALISCAS DE MADEIRA E PAINEL AGLOMERADO

JERÔNIMO MONTEIRO-ES

2024

**JOSÉ PAULO COSTA MENDONÇA**

**PISO ENGENHEIRADO MISTO FABRICADO A PARTIR DE DIFERENTES  
COMBINAÇÕES DE TALISCAS DE MADEIRA E PAINEL AGLOMERADO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Ciências Florestais na Área de Concentração Ciências Florestais.  
Orientador: Prof. Dr. Fabricio Gomes Gonçalves;  
Coorientadora: Dra. Izabella Luzia Silva Chaves.

**JERÔNIMO MONTEIRO-ES**

2024

**PISO ENGENHEIRADO MISTO FABRICADO A PARTIR DE DIFERENTES  
COMBINAÇÕES DE TALISCAS DE MADEIRA E PAINEL AGLOMERADO**

**José Paulo Costa Mendonça**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Ciências Florestais na Área de Concentração Ciências Florestais.

Aprovada em 21 de março de 2024.

*Alice Soares Brito*

\_\_\_\_\_  
**Dr. Alice Soares Brito (Examinadora externa)**

*Rafael Gonçalves Espósito de Oliveira*

\_\_\_\_\_  
**Dr. Rafael Gonçalves Espósito de Oliveira (Examinador externo)**

*Fabricio Gomes Gonçalves*

\_\_\_\_\_  
**Prof. Dr. Fabricio Gomes Gonçalves (Orientador)**  
Universidade Federal do Espírito Santo

Ficha catalográfica disponibilizada pelo Sistema Integrado de Bibliotecas - SIBI/UFES e elaborada pelo autor

---

M539p Mendonca, José Paulo Costa, 1994-  
Piso engenheirado misto fabricado a partir de diferentes combinações de taliscas de madeira e painel aglomerado / José Paulo Costa Mendonca. - 2024.  
61 f. : il.

Orientador: Fabricio Gomes Gonçalves.  
Coorientadora: Izabella Luzia Silva Chaves.  
Tese (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias e Engenharias.

1. Resistência à Umidade. 2. Painéis de Partículas. 3. Propriedades Mecânicas dos Painéis. 4. Propriedades Físicas dos Painéis. 5. Processos de Produção de Painéis. 6. Sustentabilidade na Produção de Painéis. I. Gonçalves, Fabricio Gomes. II. Chaves, Izabella Luzia Silva. III. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de Ciências Agrárias e Engenharias. IV. Título.

CDU: 630

---

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço à Deus, por toda sabedoria concedida e por sempre estar à minha frente me guiando pelos caminhos da vida.

À Universidade Federal do Espírito Santo - UFES, por todos esses anos vividos nesse mundo acadêmico e ao Departamento de Ciências Florestais e da Madeira pela estrutura durante a graduação e realização deste trabalho.

À Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES, pelo apoio financeiro na concessão da bolsa de estudo.

À minha mãe, meu pai e minha irmã, por todo apoio desde quando comecei a graduação até os dias de hoje.

Aos meus amigos de faculdade e professores da minha pós-graduação, que me acompanharam todos os dias lado a lado e muito me ajudaram em todos os desafios enfrentados durante essa fase da minha vida.

Ao meu orientador, professor Fabricio Gomes Gonçalves, pela amizade, confiança e por todos ensinamentos desde o início da pós-graduação até aqui.

Ao Sr. Elecy Palácio, técnico da marcenaria, que também me acompanha desde o início da graduação e com quem tenho o orgulho de ter trabalhado, me orientando na parte prática da marcenaria do meu projeto de dissertação.

Ao Dr. Rafael Espósito, pelas sugestões ao longo do trabalho e pelo convívio durante a elaboração da dissertação.

Aos professores da minha pós-graduação, que contribuíram transmitindo seus conhecimentos me ajudando a estar preparado para este momento.

Aos meus amigos de faculdade Izabella Chaves e Cleyton, meus melhores amigos da universidade, me acompanhando nessa trajetória diária e fazendo experimentos e análises laboratoriais e muito me ajudaram em todos os desafios surgidos.

E a todos (as) aqueles (as) que contribuíram de alguma maneira para que eu pudesse chegar até aqui, meu muito obrigado.

## RESUMO

MENDONÇA, José Paulo Costa. **Piso engenheirado misto fabricado a partir de diferentes combinações de taliscas de madeira e painel aglomerado.** 2024 (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, ES. Orientador: Dr. Fabricio Gomes Gonçalves. Coorientadora: Dra. Izabella Luzia Silva Chaves.

Em função da redução da disponibilidade dos recursos naturais, há uma crescente demanda de novas tecnologias para diminuir o uso de madeira maciça, e nesse contexto, o presente trabalho busca desenvolver um novo produto para a produção de pisos. O trabalho foi conduzido mediante a utilização de painéis de partículas produzidos com madeira de pinus e encolados com adesivo fenol-formaldeído e taliscas produzidas com madeira de eucalipto que foram fixadas aos painéis com adesivo resorcinol-formaldeído, formando uma estrutura para pisos engenheirados. Para tanto, foram confeccionados painéis contendo diferentes quantidades de camada de taliscas de madeira de eucalipto na parte superior e inferior do painel de partícula, perpendiculares umas às outras. O trabalho mostrou que a adição dos painéis de partículas de forma complementar na produção de pisos promoveu melhorias nas propriedades físicas e mecânicas, melhorando a qualidade do produto na produção e reduzindo o impacto ambiental, tendo em vista a origem sustentável da matéria-prima. Ao desenvolver uma alternativa sustentável, que combina painéis de partículas e taliscas, o estudo contribuiu significativamente para a preservação dos recursos naturais. Essa abordagem inovadora permitiu a produção de pisos engenheirados com propriedades físicas e mecânicas aprimoradas, sem a necessidade de utilizar grandes quantidades de madeira maciça. Dessa forma, o impacto ambiental é reduzido, promovendo uma solução mais consciente e responsável para a indústria de pisos.

**Palavras-chave:** Elemento colado, Madeira, Ensaio tecnológico, Painel de partículas

## ABSTRACT

MENDONÇA, José Paulo Costa. **Engineered wood flooring manufactured with different combinations of wood battens and particleboard.** 2024. (Master's in Forest Sciences) – Federal University of Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, ES, Brazil. Advisor: Dr. Fabricio Gomes Gonçalves. Co-advisor: Dra. Izabella Luzia Silva Chaves.

Due to the decreasing availability of natural resources, there is a growing demand for new technologies to reduce the use of solid wood. In this context, the present work aims to develop a new product for flooring production. The study was conducted using particleboards made from pine wood and bonded with phenol-formaldehyde adhesive, along with slats made from eucalyptus wood that were fixed to the panels with resorcinol-formaldehyde adhesive, forming an engineered flooring structure. For this purpose, panels were made containing different quantities of wood battens layers on the top and bottom of the panels, with slat layers positioned perpendicular to each other. The study showed that the addition of particleboards complementarily in flooring production improved physical and mechanical properties, enhancing product quality and reducing environmental impact, considering the sustainable origin of the raw material. By developing a sustainable alternative that combines particleboards and slats, the study significantly contributes to natural resource preservation. This innovative approach allowed the production engineered wood flooring with enhanced physical and mechanical properties without the need for large quantities of solid wood. Thus, environmental impact is reduced, promoting a more conscious and responsible solution for the flooring industry.

**Keywords:** Glued element, Wood, Technological tests, Particleboard.

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	9
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	12
2.1 Objetivo geral.....	12
2.2 Objetivos específicos .....	12
<b>3. REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	13
3.1 Pisos engenheirados .....	13
3.2 Madeira maciça e painéis aglomerados na produção de pisos engenheirados.....	14
3.3 Adesivo fenol-formaldeído .....	16
3.4 A madeira de <i>Pinus</i> sp. e <i>Eucalyptus</i> sp.....	17
<b>4. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	19
4.1 Condução do experimento .....	19
4.2 Preparo inicial e origem da matéria-prima .....	20
4.3 Produção dos pisos engenheirados.....	21
4.3.1 Desdobro das toras de madeira de <i>Eucalyptus</i> sp. para produção das taliscas .....	21
4.3.2 Geração de partículas <i>flakes</i> no gerador de partículas .....	22
4.3.3 Preparo das partículas para produção de painéis aglomerados...	22
4.3.4 Confecção dos painéis aglomerados.....	24
4.4 Confecção dos pisos engenheirados .....	26
4.5 Propriedades físicas e mecânicas dos materiais .....	27
4.5.1 Determinação da densidade da madeira utilizada .....	27
4.5.2 Avaliação da absorção de água e inchamento em espessura dos pisos produzidos .....	27
4.5.3 Ensaio de abrasão.....	28
4.5.4 Ensaio de resistência ao impacto .....	29
4.5.5 Ensaio de flexão estática .....	31
4.5.6 Resistência ao arrancamento de parafusos .....	31
4.5.7 Ensaio de delaminação na linha de cola .....	32
4.5.8 Ensaio não destrutivo .....	33
4.5.9 Ensaio de ultrassom .....	34
4.5.10 Densitometria de Raios X .....	35
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	37
5.1 Determinação da densidade da madeira .....	37

5.2 Ensaio não destrutivo .....	38
5.3 Absorção de água e inchamento em espessura nos pisos produzidos .....	40
5.4 Ensaio de abrasão .....	42
5.5 Ensaio de resistência ao impacto .....	44
5.6 Ensaio de resistência arrancamento de parafusos .....	46
5.7 Ensaio de flexão estática .....	48
5.8 Ensaio de delaminação na linha de cola.....	50
5.9 Ensaio de ultrassom .....	52
5.10 Ensaio de densitometria de Raios X .....	53
<b>6. CONCLUSÕES</b> .....	<b>55</b>
<b>7. REFERÊNCIAS</b> .....	<b>57</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A madeira é um material heterogêneo e complexo, o que justifica a importância de conhecer as suas propriedades físicas, mecânicas, químicas e anatômicas, para seu uso adequado em uma gama de aplicações, dentre elas o acabamento residencial. Tais usos podem se dar tanto como elemento estrutural, quanto como matéria-prima para confecção móveis e outros produtos pela indústria madeireira, dentre eles os painéis de partículas (Mendes et al., 2012).

De posse do conhecimento da densidade básica, uma das propriedades físicas mais importantes da madeira, é possível criar hipóteses quanto ao seu comportamento no ambiente. Estudos que visam avaliar o comportamento das propriedades mecânicas da madeira quando submetida à determinado esforço, demonstram, em geral, que quanto maior a densidade básica da madeira, maior será sua resistência aos esforços mecânicos (Rocha, 1994).

Quando se trata de colagem de madeira, o conhecimento de sua estrutura anatômica permite determinar o percentual de espaços vazios, sobretudo da proporção de vasos e espaços intercelulares propícios para criar pontos de ancoragem com o adesivo. Nas propriedades químicas, como o pH da madeira, é necessário atenção para que não ocorra aceleração do processo de cura do adesivo e alteração da sua viscosidade, dificultando a penetração do mesmo na madeira (Lima et al., 2007).

Para a produção de elementos colados procura-se o equilíbrio destas propriedades para um melhor aproveitamento da matéria-prima e um produto final que apresente resistência igual ou superior a própria madeira maciça (Albuquerque Latorraca, 2000; Lima et al., 2007).

Além de se tratar de um material renovável, a madeira apresenta excelentes propriedades físicas e mecânicas, das quais, para este segmento industrial, podemos destacar os módulos de ruptura e elasticidade bem como seu bom desempenho como isolante térmico (Segundinho et al., 2018). Estes atributos conferem à madeira grande importância para o setor de construções e diversas possibilidades para pesquisadores em nível científico e acadêmico (Molina, Calil et al., 2010).

Diversas pesquisas se dedicam ao desenvolvimento e ao estudo de produtos de madeira em grande escala. Esses produtos, como os pisos de

madeira buscam a otimização do uso da matéria-prima e apresentam excelentes desempenhos quando submetidos a determinada solicitação de esforço (Dalla et al., 2019). Um piso engenheirado é caracterizado por ser produzido com painéis sobrepostos um ao outro, divididas entre mesa e alma (Piovezan, 2021).

A madeira oriunda do eucalipto apresenta resistências física e mecânica superiores quando comparadas à madeira de pinus, sendo este fenômeno primariamente resultado de sua anatomia complexa, conforme destacado por (Moritani, 2018). É mais frequente ser evidenciada uma maior resistência da madeira de eucalipto devido à sua estrutura anatômica mais densa e uniforme, que proporciona uma maior capacidade de suportar cargas e resistir a deformações. Esta complexidade anatômica inclui características como uma alta proporção de fibras longas e uma distribuição mais uniforme de vasos condutores, o que contribui para uma madeira mais resistente e durável em comparação com o pinus.

As características anatômicas distintivas do eucalipto endossam-lhe propriedades intrínsecas que o colocam em vantagem em comparação com o pinus. Este último é caracterizado por uma combinação equilibrada de densidade, rigidez e resistência, conferindo ao eucalipto um desempenho excepcional em uma variedade de aplicações, que vão desde a construção civil até os setores industriais, como a fabricação de papel e celulose. A análise pormenorizada da anatomia do eucalipto revela-se crucial para a compreensão das razões subjacentes à sua destacada performance física e mecânica, consolidando-o como uma escolha proeminente em situações que exigem elevadas propriedades estruturais e mecânicas.

Já o pinus possui estrutura anatômica mais propícia para o recebimento do adesivo na produção de painéis aglomerados. Isto se deve à sua baixa densidade, onde existem maior quantidade de poros (vasos), com o aumento de pontos de ancoragem do adesivo com a madeira (Lovison, 2020). No piso de madeira maciça, geralmente são utilizadas madeiras de árvores de espécies nativas, tornando uma desvantagem no cenário atual devido a menor disponibilidade desta matéria-prima no mercado. Por outro lado, quando comparado aos pisos engenheirados, onde a matéria-prima é proveniente de painéis de partículas, tem-se maior aproveitamento da matéria-prima madeira (Associação Brasileira da Indústria de Madeira Processada Mecanicamente -

ABIMCI, 2009).

Em suma, a madeira é um recurso multifacetado, cujas propriedades físicas, mecânicas, químicas e anatômicas desempenham papéis fundamentais em sua utilização para uma variedade de aplicações, incluindo o acabamento residencial e a fabricação de produtos industriais. O conhecimento detalhado dessas propriedades permite a otimização de processos, como a colagem e a produção de elementos colados, visando a maximização da resistência e durabilidade dos produtos finais. Enquanto o eucalipto se destaca por suas características anatômicas que conferem resistência e durabilidade superiores, o pinus apresenta vantagens específicas na produção de painéis aglomerados. A crescente preferência por pisos engenheirados reflete não apenas considerações de desempenho, mas também uma resposta à disponibilidade variável de matéria-prima no mercado. Assim, compreender as nuances da anatomia e das propriedades da madeira é essencial para orientar escolhas eficazes na sua utilização, promovendo o desenvolvimento sustentável e a inovação na indústria madeireira.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

Avaiar a qualidade de um piso engenheirado fabricado a partir da combinação de taliscas de eucalipto com painéis de partículas de pinus.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Preparar a madeira a ser utilizada na forma de partículas e taliscas;
- Confeccionar os painéis de partículas e realizar a colagem das taliscas nos mesmos;
- Realizar ensaios físicos e mecânicos nos pisos engenheirados propostos.

### 3. REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1 Pisos engenheirados

Em função das dificuldades do setor industrial madeireiro na produção de painéis com alta qualidade e melhor custo-benefício, há um grande desafio na utilização de materiais que favoreçam o desenvolvimento de um produto final com desempenho mecânico satisfatório, maior rendimento e economia (Athanázio-Heliodoro et al., 2022). O uso de matérias-primas alternativas, como madeira de reflorestamento, é interessante devido ao menor consumo de madeira maciça proveniente de florestas nativas, e possibilitam um maior rendimento no processo final de produção, com reduções nos custos, e, conseqüentemente, aumento da lucratividade e a sustentabilidade ambiental (Melo et al., 2015).

A linha de produção de painéis convencionais do setor industrial madeireiro é concentrada na utilização de madeira como matéria-prima (Sanquetta et al., 2019). A vantagem de fabricação de painéis convencionais é a possibilidade de reutilização da madeira para criação de um novo produto, já as desvantagens do processo estão relacionadas com as altas perdas de matéria-prima ocasionando elevado acúmulo de resíduos (Macedo et al., 2015).

Um tipo de produto que tem ganhado destaque no mercado de revestimentos é o piso engenheirado (Barrera-Cruz et al., 2023; Blanchet et al., 2003; Frihart et al., 2010, Grubii, Johansson, 2019; Guo et al., 2017; Bing et al., 2019). Em contraste com os tradicionais pisos de madeira maciça, o piso engenheirado é constituído por camadas de materiais diferentes, sendo a camada superior composta por uma fina lâmina de madeira nobre, enquanto as camadas inferiores são compostas por madeira de reflorestamento ou materiais como MDF (*Medium Density Fiberboard*) e HDF (*High Density Fiberboard*). Essa estrutura proporciona maior estabilidade dimensional ao piso, reduzindo os problemas de expansão e contração causados por mudanças climáticas e umidade, além de conferir maior resistência a impactos e à abrasão (Alves Barata; Cruz, 2020).

Os pisos engenheirados podem ser subdivididos em duas categorias principais: os estruturados e os laminados. Os pisos engenheirados estruturados são compostos por várias camadas de madeira real, proporcionando uma

aparência autêntica e um desempenho superior em relação à estabilidade. Já os pisos engenheirados laminados consistem em uma camada de imagem impressa que imita a aparência da madeira natural, sobreposta a uma base de HDF. Esses pisos são reconhecidos pela sua facilidade de instalação e manutenção, além de oferecerem uma ampla variedade de padrões e cores. (Zhang; Hu; Zhang, 2018).

Uma das principais distinções entre os pisos engenheirados e os pisos de madeira maciça é a sua estrutura. Enquanto os pisos de madeira maciça são compostos inteiramente por tábuas de madeira maciça, os pisos engenheirados apresentam uma composição em camadas, o que os torna mais estáveis e menos suscetíveis a deformações causadas por variações climáticas e umidade. Além disso, os pisos engenheirados tendem a ser mais sustentáveis, pois utilizam menos madeira de árvores nobres em sua fabricação, o que favorece o uso de materiais provenientes de reflorestamento ou reciclados (Heringer et al., 2017).

No mercado atual, o setor de revestimentos está em constante evolução para atender às demandas dos consumidores por produtos mais duráveis, sustentáveis e esteticamente atraentes. Os pisos engenheirados têm conquistado uma parcela significativa desse mercado devido às suas características vantajosas, como maior estabilidade dimensional, resistência e variedade de padrões. Além disso, o setor industrial madeireiro se adaptou a essa tendência, com investimentos em tecnologias e processos de fabricação que permitam a produção eficiente e sustentável desses produtos, contribuindo para a redução do impacto ambiental e para o aumento da competitividade no mercado (Silva et al., 2021).

### **3.2 Madeira maciça e painéis aglomerados na produção de pisos engenheirados**

Com a menor disponibilidade de madeira maciça nativa no mercado e consequente, o aumento do seu valor agregado, torna-se custoso a produção de pisos com esta matéria-prima, especificamente. Deste modo, a utilização de painéis de madeira reflorestada para a produção de pisos é uma alternativa, uma vez que utiliza-se um resíduo da indústria madeireira como matéria-prima para a produção de pisos, e havendo, conseqüentemente, redução dos custos e do

impacto ambiental gerado pelo setor (Nogueira et al., 2019).

Vale ressaltar que o uso de materiais alternativos para a produção de pisos é interessante para o meio ambiente, pois diminui o uso da madeira maciça como matéria-prima, propiciando maior rendimento e melhoria da relação custo/benefício do produto final (Araújo, 2019).

A incorporação de resíduos de produção no processo de fabricação de pisos não apenas beneficia o meio ambiente, mas também representa uma prática vantajosa para as indústrias madeireiras, uma vez que a matéria-prima utilizada é proveniente dos próprios resíduos gerados pela indústria, eliminando assim a necessidade de exploração da mata nativa para obtenção de novos materiais.

Além disso, a preferência pelo uso de painéis na confecção de pisos, em substituição à madeira maciça, apresenta-se como uma alternativa sustentável, considerando aspectos como custo de matéria-prima, sustentabilidade da produção, aproveitamento de resíduos e redução do impacto ambiental (Nolasco; Uliana; Cerca, 2014). Essa abordagem holística não só promove a eficiência na produção, mas também destaca a importância de práticas ambientalmente responsáveis na indústria de pisos.

O uso de painéis aglomerados apresenta diversas vantagens em relação à madeira maciça para a produção de pisos. Em primeiro lugar, os painéis aglomerados são fabricados a partir de uma combinação de pequenos pedaços de madeira, o que permite aproveitar de forma mais eficiente recursos florestais, com redução do desperdício. Além disso, sua composição homogênea proporciona uma maior estabilidade dimensional, minimização de problemas como o empenamento e deformações que podem ocorrer com a madeira maciça. Por fim, os painéis aglomerados tendem a ser mais acessíveis financeiramente, contribuindo para a redução dos custos de produção dos pisos (Smith, 2018).

Diversas espécies de madeira são utilizadas na produção de pisos, tanto para a fabricação de painéis aglomerados quanto para a madeira maciça. Entre as mais comuns estão o pinus, o eucalipto, o carvalho, a cerejeira e o ipê. Cada uma dessas espécies possui características específicas de resistência, durabilidade e aparência, que permite uma ampla variedade de escolha para atender às diferentes necessidades estéticas e funcionais dos consumidores (Silva, 2020).

Existem vários estudos que abordam a utilização de painéis de madeira reflorestada na produção de pisos, evidenciando os benefícios ambientais e econômicos dessa prática. Um exemplo é o trabalho realizado por Oliveira et al. (2017), que investigou os impactos da substituição da madeira maciça por painéis de madeira reflorestada na produção de pisos laminados. Os resultados demonstraram uma redução significativa no consumo de recursos naturais e na emissão de gases de efeito estufa, além de uma melhoria na viabilidade econômica do processo produtivo. Esses resultados corroboram com a perspectiva de que a adoção de materiais alternativos na indústria de pisos pode contribuir positivamente para a sustentabilidade do setor (Oliveira et al., 2017)

### **3.3 Adesivo fenol-formaldeído**

O adesivo fenol-formaldeído é usualmente empregado na fabricação de painéis aglomerados para fins estruturais, pois suas características atendem aos requisitos das normas vigentes. Este adesivo de alta qualidade não apenas assegura a conformidade com os padrões estabelecidos, como apresenta benefícios significativos em diversos aspectos. Sob a análise de Ferreira (2022), destacam-se as seguintes vantagens: redução da poluição ambiental, custos de fabricação mais baixos, resistência à água e adesão de qualidade superior. Além disso, vale ressaltar que o adesivo fenol-formaldeído é reconhecido por sua baixa toxicidade, promovendo assim uma abordagem mais segura para a saúde dos envolvidos no processo produtivo.

O adesivo fenol-formaldeído desempenha um papel crucial na fabricação de painéis aglomerados para fins estruturais. Estes painéis frequentemente utilizam madeira como matéria-prima, e a anatomia do pinus, uma árvore conífera da família Pinaceae, destaca-se nesse contexto (Luchi et al., 2005).

O fenol, quando combinado com a madeira *Pinus* sp. proporciona não apenas resistência e durabilidade aos painéis, mas também contribui para a eficiência no processo de fabricação. A estrutura anatômica única do pinus não apenas valoriza a produção de painéis aglomerados, mas também destaca essa espécie como uma fonte eficiente de matéria-prima para diversos setores econômicos, em razão do seu rápido crescimento (Latorraca; Albuquerque, 2000) em países tropicais.

### **3.4 A madeira de *Pinus* sp. e *Eucalyptus* sp.**

A utilização industrial do pinus desempenha um papel vital na economia brasileira. As extensas plantações de florestas de pinus, principalmente nas regiões Sul e Sudeste, fornecem uma fonte constante de madeira. Essa matéria-prima é amplamente utilizada em diversos segmentos, como construção civil, fabricação de móveis, papel e celulose (Vasques et al., 2007). A versatilidade da madeira permite sua aplicação em diferentes produtos, consolidando o setor como uma peça-chave na cadeia produtiva nacional.

No mercado brasileiro, o pinus assume uma posição estratégica, pois é uma madeira amplamente utilizada na construção civil e na produção de móveis, impulsionando a demanda interna. Além disso, as exportações de produtos derivados do pinus contribuem significativamente para a balança comercial do país. O mercado brasileiro dessas espécies é caracterizado pela sua dinâmica, com uma cadeia produtiva bem estruturada, desde o cultivo até a transformação industrial. Isso evidencia a importância do pinus não apenas como recurso natural, mas como um componente essencial para o desenvolvimento econômico sustentável do Brasil (Shimizu; Sebbenn, 2008).

O *Eucalyptus* sp é uma espécie originária da Austrália, mas amplamente cultivada em várias regiões do Brasil. A madeira do *Eucalyptus* sp. é conhecida por sua resistência e durabilidade, características que a tornam ideal para diversos usos industriais (Costa et al., 2017).

Segundo Pereira (2016) o setor industrial do *Eucalyptus* sp. desempenha um papel crucial na economia brasileira. As plantações extensivas dessa espécie, especialmente nas regiões de clima mais quente, fornecem uma fonte abundante de matéria-prima. A madeira dessa espécie é amplamente utilizada em diversos setores, como construção civil, papel e celulose e móveis. Sua rápida taxa de crescimento torna-o uma opção econômica para a produção em larga escala, consolidando sua presença na indústria brasileira.

No contexto do mercado brasileiro, o *Eucalyptus* sp. representa uma valiosa *commodity*. Além das aplicações já mencionadas, o setor de biomassa aproveita os resíduos do eucalipto para a produção de energia, contribuindo significativamente para a diversificação da matriz energética do país. A relevância do mercado nacional do Eucalipto-vermelho destaca-se pela sua contribuição à sustentabilidade ambiental e ao desenvolvimento econômico,

evidenciando assim sua posição estratégica dentro do cenário brasileiro (Castro, 2011).







## 4. MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Condução do experimento

O trabalho foi conduzido no Laboratório de Painéis, do Departamento de Ciências Florestais e da Madeira – DCFM, no Centro de Ciências Agrárias e Engenharias – CCAE da Universidade Federal do Espírito Santo – UFES, no município de Jerônimo Monteiro, ES.

A confecção dos painéis foi realizada com 6 tratamentos e 3 repetições para cada, em delineamento inteiramente casualizado (DIC) (Quadro 1).

Quadro 1. Descrição e morfologia dos diferentes tratamentos

Tratamento	Morfologia do piso	Descrição
0 –Controle		Painel aglomerado produzido com partículas de pinus e adesivo fenol formaldeído.
1		Taliscas orientadas em uma única direção (paralelas) coladas sobre o painel de partículas
2		Taliscas sobrepostas, em duas camadas, no painel de partículas de forma perpendicular
3		Taliscas sobrepostas com três camadas perpendiculares coladas sobre o painel de partículas
4		Taliscas sobrepostas com uma camada superior e uma camada inferior perpendicular a primeira camada superior e, ao centro, o painel de partículas
5		Taliscas sobrepostas com duas camadas superiores (perpendiculares) em duas direções, uma camada inferior perpendicular à primeira camada superior e, ao centro, o painel de partículas

Fonte: O Autor (2023).

Os dados foram analisados usando análise de variância (ANOVA), com teste de comparações múltiplas (Scott-Knott). Os dados foram expressos como média  $\pm$  desvio padrão (DP), considerando significativo o valor de  $p$  inferior a 0,05, utilizando o programa R (R Core Team, 2016).

## 4.2 Preparo inicial e origem da matéria-prima

Para a produção dos pisos de madeira engenheirada, foi utilizada madeira de *Eucalyptus* sp e *Pinus* sp retiradas de tábuas disponíveis na marcenaria do Departamento de Ciências Florestais e da Madeira.

As taliscas para confecção dos pisos foram obtidas de madeira de *Eucalyptus* sp, que foi usinada para as dimensões finais de 45 x 0,5 x 2,5 cm<sup>3</sup> (comprimento x espessura x largura), e em seguida, foram acondicionadas em sala climatizada, com temperatura de 25°C e 60% de umidade para estabilização da umidade.

Para a produção dos painéis com partículas de madeira de pinus, disponíveis no Departamento de Ciências Florestais e da Madeira, as mesmas foram geradas no moinho de martelo com peneira de 0,8 mm. Posteriormente, as partículas foram secas ao ar (10 dias) no interior do Laboratório de Painéis, e na sequência, foram secas em estufa com circulação forçada de ar a 60  $\pm$  2°C por 3 dias, permanecendo com umidade em torno de 8%. Em seguida, deu-se início ao processo de produção dos painéis.

O aglutinante utilizado para a confecção dos painéis foi a resina fenólica comercial tipo Cascophen, doada pela empresa Hexion. Com as características de viscosidade Brookfield de 198 cPs, pH a 25°C igual 8,8, densidade de 1,3050 g/cm<sup>3</sup>, tempo de gel de 70 segundos e teor de sólidos igual a 64,6%.

Após a produção dos painéis de partículas de pinus, as taliscas foram coladas aos mesmos de acordo com as orientações pré-estabelecidas para cada tratamento (Quadro 1). A colagem das taliscas foi realizada à temperatura ambiente, utilizando resorcinol como adesivo, com viscosidade Brookfield de 540 cPs, densidade de 1,229 g/cm<sup>3</sup>, tempo de gel de 7 minutos e teor de sólidos igual a 52,8%.

Dos pisos confeccionados, foram retirados corpos de prova para os ensaios de caracterização físicas e mecânicas.

### 4.3 Produção dos pisos engenheirados

#### 4.3.1 Desdobro das toras de madeira de *Eucalyptus* sp. para produção das taliscas

A primeira fase do processo de fabricação do piso engenheirado envolveu a transformação das toras de madeira de *Eucalyptus* sp. em pranchas de 3 metros de comprimento por meio de uma serra horizontal motorizada eletricamente, destinada especificamente ao desdobro de toras, para posterior geração de taliscas e produção dos pisos engenheirados.

A serraria portátil (ECOSERRA, EF-8012, Goiás) foi utilizada para o desdobro primário das toras de eucalipto (Figura 1).

**Figura 1:** Desdobro das toras de eucalipto.



Fonte: O Autor (2023).

Após secagem ao ar, procedeu-se à seleção das pranchas isentas de imperfeições, as quais foram submetidas a um processo de seccionamento em fragmentos menores utilizando uma serra circular de desbaste, assegurando um comprimento uniforme de 15 cm. Em seguida, foram submetidas a um processo de beneficiamento por meio de uma serra circular de bancada para dimensionamento de largura final em 8,5 cm.

#### 4.3.2 Geração de partículas *flakes* no gerador de partículas

As madeira de *Pinus* sp., disponível no Laboratório de Estruturas de Madeira, foi fornecida para o estudo. As peças foram imersas em uma caixa d'água de 500 litros de capacidade, por um período de 30 dias, com a substituição da água a cada 2 dias até a saturação da madeira. Este procedimento foi adotado para minimizar a carga de trabalho do gerador de partículas *flake* (Marconi, MA 685, Piracicaba) (Figura 2) durante a fase de beneficiamento do material.

Após produzidas, as partículas foram dispostas em uma lona para perda do excesso de umidade, resultante da saturação, por meio de secagem ao ar livre, com revolvimento periódico das mesmas para garantir a homogeneidade da umidade final, em torno de 20-25%.

**Figura 2:** Geração das partículas do tipo *flake*.



Fonte: O Autor (2023).

#### 4.3.3 Preparo das partículas para produção de painéis aglomerados

Após a eliminação do excesso de umidade das partículas do tipo *flake*, estas foram processadas em um moinho de martelo (Tigre, A4, São Paulo) (Figura 3). Para tanto, utilizou-se uma peneira com abertura de 8mm.

**Figura 3:** Moinho de martelo com sistema de coleta de poeira.



Fonte: O Autor (2023).

Após moagem, as partículas foram secas ao ar livre, posicionadas sobre uma lona a fim de evitar o contato direto com o solo e a contaminação e exposição das mesmas. Essa etapa foi realizada para redução do teor de umidade das partículas até o teor de umidade de equilíbrio com o ambiente circundante, que com base na região de condução do experimento, sul do estado Espírito Santo, foi pré-estabelecido em 14%.

Após secagem ao ar, as partículas foram secas em estufa de circulação forçada de ar (Solab, SL-100, Piracicaba), visando atingir uma faixa de umidade entre 7% e 9%, com finalidade otimizar penetração do adesivo e aprimorar a adesão das mesmas na produção dos painéis, a uma temperatura de  $60 \pm 2^\circ\text{C}$  por um período de 36 horas. No interior da estufa, as partículas foram dispostas em uma estrutura de madeira, revestida com malha de aço e com tubos de PVC perfurados inseridos entre as partículas, para facilitar a circulação do ar e favorecer a homogeneidade de umidade entre as mesmas.

Para a classificação das partículas, foram utilizadas peneiras acopladas a um agitador de partículas (Solocap, M12, Belo Horizonte) (Figura 4). O equipamento possui um compartimento destinado à coleta dos finos.

**Figura 4:** Peneirador de partículas com peneiras acopladas



Fonte: O Autor (2023).

O material foi submetido a peneiramento por períodos de 10 minutos em agitação, com o propósito de efetuar uma separação eficiente entre o pó de madeira, que são os finos indesejados para o processo, partículas de grandes dimensões e aquelas ideais e homogêneas para a produção dos painéis aglomerados, logo foram utilizadas partículas que transpassaram a malha de 4mm e ficaram retidas na malha de 1mm.

#### 4.3.4 Confeção dos painéis aglomerados

Para a produção propriamente dita dos painéis aglomerados, utilizou-se uma encoladeira equipada com um motor para a incorporação do adesivo às partículas (Figura 5).. Acoplada no interior da encoladeira, uma pistola tipo gravidade e ação pneumática foi utilizada para aspersão da cola sobre as partículas durante o período de rotação da estrutura, mediante uso de um compressor de ar

Após a conclusão do processo de aspersão da cola sobre as partículas, uma quantidade de 1295g do material resultante foi coletado e posteriormente,

encaminhado para a formação do colchão de partículas, em caixa de madeira formadora (42,5 x 42,5cm<sup>2</sup>) entre duas placas de alumínio, para realização da pré-prensagem das partículas.

**Figura 5:** Encoladeira e pistola tipo gravidade



Fonte: O Autor (2023).

Após a pré-prensagem, duas barras de metal, com espessura de 1,2mm, foram acomodadas nas laterais do colchão de partículas para garantir o dimensionamento em espessura dos painéis, e, enfim, submetido à prensagem final em prensa hidráulica de pratos planos com aquecimento elétrico (Solab, SL12, Piracicaba) (Figura 6).

Para prensagem, foi utilizada uma temperatura de 160°C, e carga de prensagem de 72 toneladas durante 6 minutos. Após a prensagem, os painéis de partículas produzidos foram acondicionados em sala climatizada com temperatura de 25 ± 2°C e 65% de umidade para estabilização e posterior confecção dos pisos engenheirados.

**Figura 6:** Prensa hidráulica de aquecimento automatizada



Fonte: O Autor (2023).

#### **4.4 Confeção dos pisos engenheirados**

Para a confecção das taliscas, utilizou-se madeira de *Eucalyptus* sp. No processo de beneficiamento, empregou-se a serra de destopo para padronizar o comprimento das peças em 45 cm que, posteriormente, foram submetidas à desempenadeira e desengrosso, para atingir a largura de 2,5 cm. Por fim, utilizou-se a serra circular de bancada, para corte com espessura de 0,5 cm. Como resultado desse procedimento, obtiveram-se taliscas com dimensões finais de  $45 \times 2,5 \times 0,5 \text{ cm}^3$ , proporcionando uniformidade e qualidade ao produto final. As taliscas foram então acondicionadas em sala climatizada (25°C e 65% de umidade) até estabilização da umidade para posterior produção dos pisos engenheirados.

Após estabilização da massa dos painéis aglomerados e das taliscas de eucalipto, procedeu-se a confecção dos pisos engenheirados, com a colagem das taliscas aos painéis de partículas, com o adesivo resorcinol-formaldeído, que foi aplicado aos painéis e as taliscas de maneira organizada e pré-estabelecida para cada tratamento (Quadro 1). Em seguida, levadas à prensa hidráulica

(Bovenau, P15000, Santa Catarina), ajustada para fornecer uma carga de 8,2 toneladas de força. O processo de prensagem teve a duração de 24 horas, à temperatura ambiente, em torno de 28°C.

Para o processo de produção dos pisos, foram utilizadas três mesas para acomodar dois painéis por ciclo de prensagem e uma pirâmide foi alocada na extremidade superior (Figura 7) para que houvesse distribuição da força pré-estabelecida em toda a área dos painéis de maneira uniforme para garantir a qualidade dos pisos produzidos.

**Figura 7:** Prensa utilizada para prensagem das taliscas sobre os painéis de partículas, com detalhe da estrutura de dispersão de cargas



Fonte: O Autor (2023).

## **4.5 Propriedades físicas e mecânicas dos materiais**

### **4.5.1 Determinação da densidade da madeira utilizada**

Foi utilizado o método descrito pela NBR 9485 (Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT, 2011) para a determinação da densidade básica das madeiras utilizadas para a produção dos painéis aglomerados.

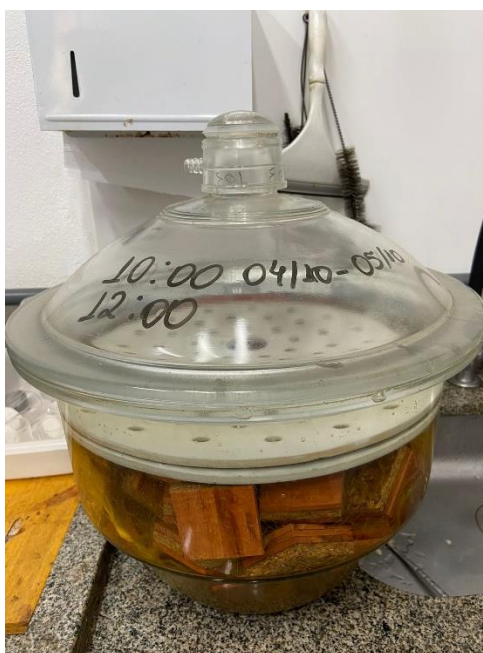
### **4.5.2 Avaliação da absorção de água e inchamento em espessura dos pisos produzidos**

A avaliação da absorção de água e do inchamento em espessura dos

pisos seguiu as metodologias preconizadas pela NBR 14810-2 (ABNT, 2018). Para o ensaio de absorção de água os corpos de prova foram mantidos em estufa com temperatura controlada de  $103 \pm 2^\circ\text{C}$  por um período de 24 horas. Decorrido este tempo, as amostras foram retiradas, estabilizadas em dessecador e seguiram para a pesagem em balança precisão. Para determinação do inchamento em espessura, as dimensões iniciais dos corpos de prova foram obtidas por meio do uso de paquímetro e micrômetro digital.

Posteriormente, os corpos de prova foram completamente imersos em água por 24 horas (Figura 8), após este período, os mesmos foram retirados da água, secos superficialmente e suas massas novamente determinadas, bem como suas dimensões para cálculo do percentual de absorção de água e do inchamento em espessura.

**Figura 8:** Ensaio de absorção de água e inchamento em espessura



Fonte: O Autor (2023).

#### 4.5.3 Ensaio de abrasão

A normativa NBR 14833-1 (ABNT, 2014) classifica o tipo de tráfego de acordo com a resistência a abrasão da camada de revestimento para pisos de madeira laminados, porém, para madeira maciça não existe norma regulamentadora; desta forma, o padrão de comparação empregado para este ensaio foi a profundidade da depressão.

Para realização do ensaio utilizou-se um abrasímetro (Maqtest, Tamber, Franca), mediante uso de corpos de prova com dimensões de  $9,5 \times 9,5 \text{ cm}^2$  e a espessura variável em função do tratamento avaliado.

O equipamento (Figura 9) é composto por uma mesa de suporte para posicionamento do corpo de prova, onde roldanas são posicionadas na face superior do corpo de prova permitindo o contato de uma lixa com granulometria de 180 gere abrasão sobre o corpo de prova, com uma carga de 500 g e por 500 ciclos de rotação. Posteriormente, o desgaste produzido sobre o corpo de prova foi determinado com base na profundidade do desgaste, avaliado por meio da mensuração em 4 pontos mais um ponto na depressão, com uso de um micrômetro digital.

**Figura 9:** Equipamento abrasímetro utilizado para o ensaio de abrasão.



**Fonte:** O Autor (2023).

#### 4.5.4 Ensaio de resistência ao impacto

O ensaio de impacto nos pisos engenheirados foi realizado de acordo com o preconizado pelo método D1037-12 da *American Society for Testing and Materials* (ASTM, 2020), onde uma carga lançada de uma altura pré-estabelecida sobre o corpo de prova, ocasiona o impacto e conseqüentemente,

uma deformação no mesmo.

Para a realização do ensaio, foi montada uma estrutura para acoplar um ímã magnético, onde uma esfera de aço inoxidável com o peso de 500g foi posicionada, na altura pré-estabelecida de 1,80 m distante do corpo de prova, posicionado dentro de uma caixa de madeira revestida com um tecido de E.V.A. para evitar a movimentação do corpo de prova (Figura 10).

No experimento, a esfera é liberada à altura pré-estabelecida para colidir com o corpo de prova revestido com papel carbono. Deste modo, o corpo de prova forma uma depressão na região do impacto que é marcada com o carbono.

Para a coleta de dados, foi utilizado um micrômetro digital da marca Digimess®, onde foram registradas as medidas de quatro pontos externos à depressão e um ponto ao centro da depressão do corpo de prova. Assim, obteve-se a média das medidas externas e subtraindo a medida interna, encontra-se a depressão gerada pelo impacto.

**Figura 10:** Estrutura montada para o ensaio de impacto



**Fonte:** O Autor (2023).

#### 4.5.5 Ensaio de flexão estática

O ensaio de flexão foi conduzido respeitando a norma NBR 14810-2 (ABNT, 2018). Na flexão estática, foram realizados ensaios nas direções paralela e perpendicular às fibras das taliscas de madeira em relação à lâmina mais externa, com seis corpos de prova por tratamento, na máquina universal de ensaios (EMIC, DL 10000, São José dos Pinhais), com velocidade de avanço calibrada em 0,047 mm/s, de acordo com a norma citada. Os resultados do Módulo de Ruptura (MOR) e Módulo de Elasticidade (MOE) foram obtidos automaticamente por meio do *software* acoplado ao equipamento.

#### 4.5.6 Resistência ao arrancamento de parafusos

Para o ensaio de resistência ao arrancamento de parafusos, utilizou-se uma máquina universal de ensaios (EMIC, DL 10000, São José dos Pinhais) (Figura 11) com tomada automatizada de dados. Para o procedimento, utilizou-se o método NBR 14810-2 (ABNT, 2018).

Para este ensaio, foi utilizado um corpo de prova com dimensões de 5 × 5 cm<sup>2</sup> e espessura variável, de acordo com o tratamento, oscilando entre 1 cm e 2,5 cm.

**Figura 11:** Ensaio de arrancamento de parafuso.



Fonte: O Autor (2023).

#### 4.5.7 Ensaio de delaminação na linha de cola

Para a realização do experimento foram selecionados corpos de prova isentos de defeitos, com dimensões de largura e comprimento iguais a 5 cm. Já a espessura variou entre 1 cm até 2,5 cm, em função dos diferentes tratamentos propostos. Para realização do ensaio foi seguido a metodologia fornecida por Calil Neto (2011).

Os corpos de provas foram armazenados na sala de climatização com temperatura de  $25 \pm 2^{\circ}\text{C}$  e teor de umidade de 65% por um período de 15 dias para alcançarem o teor de umidade de equilíbrio. Os corpos de provas foram inseridos em vaso de pressão (Figura 12) e preenchido com água até que os corpos de prova fossem imersos. Num primeiro ciclo, foi aplicado um vácuo de  $0,75 \text{ kgf/cm}^2$ , por um período de 2 horas. Posteriormente, o vácuo foi removido e deu-se início ao segundo ciclo, inserindo a pressão de  $5 \text{ kgf/cm}^2$  durante 2 horas. Para o terceiro ciclo, os corpos de provas foram submetidos a mais 2 horas de vácuo e por fim, no quarto ciclo, o vácuo foi liberado e a pressão inserida por mais 2 horas.

Decorridos os 4 ciclos, os corpos de prova foram alocados ao ar livre para perda do excesso de umidade por 24 horas. Ao término deste período, os corpos de provas retornaram para autoclave e foram submetidos a mais quatro ciclos iguais aos primeiros quatros. Este processo de ciclo e descanso foi repetido por 3 vezes.

**Figura 12:** Dispositivo de pressão utilizado para o ensaio de delaminação na linha de cola



Fonte: O Autor (2023).

#### 4.5.8 Ensaio não destrutivo

Em busca dos dados relacionados aos módulos de elasticidade dinâmicos e do amortecimento, realizou-se o ensaio de excitação por impulso, descrito na norma americana E1876-22 (ASTM, 2022), no qual se utilizam as frequências naturais como instrumento de medição e comparação, para análise e conclusões do material em estudo. Este princípio pode ser encontrado no aparelho Sonelastic (Figura 13).

**Figura 13:** Conjunto Sonelastic montado para realização do ensaio não destrutivo



Fonte: O Autor (2023).

Os corpos de prova utilizados para execução do ensaio foram dimensionados com o comprimento de  $39 \times 36 \text{ cm}^2$  e variando a espessura em função do tratamento.

Após a coleta dos dados, o *software* converte o sinal recebido em frequência. Dessa forma, é possível realizar o cálculo estimado do módulo elástico dinâmico. Para a realização do cálculo, é necessário possuir os dados de dimensões e massa dos corpos de prova para que o *software* do equipamento realize o cálculo do módulo de elasticidade dinâmica por meio da equação abaixo:

$$E_d = 0,9465 \left( \frac{mf_f^2}{l} \right) \left( \frac{c^3}{e^3} \right) T$$

Em que:  $E_d$ : Módulo de elasticidade dinâmico (MPa);  $f_f$ : frequência na flexão (Hz);  $m$ : massa (g);  $c$ : comprimento (m);  $l$ : largura (m);  $e$ : espessura (m);  $e$ ,  $T$ : coeficiente de correção.

#### 4.5.9 Ensaio de ultrassom

O ensaio de ultrassom foi realizado por meio de um equipamento (NDT James Instruments, V-METER MK IV, Estados Unidos da América), que permite a emissão e captação de ondas ultra-sonoras por meio de transdutores de 54 KHz.

No estudo em caso, utilizou-se dois tipos de transdutores com diâmetros diferentes, sendo 1 cm e 5 cm de diâmetro, onde a obtenção dos dados gerados

pelo equipamento ocorre em porções de metragens cúbicas diferentes no piso. Para o transdutor de diâmetro igual a 1 cm, foram selecionados 9 pontos no piso, cobrindo uma área de 1 cm<sup>2</sup> do ponto escolhido. Com o transdutor de diâmetro de 5 cm, foram coletados em cinco pontos previamente marcados no elemento, cobrindo uma área de 25 cm<sup>2</sup> (Figura 14).

**Figura 14:** Equipamento utilizado para o ensaio de ultrassom.



**Fonte:** O Autor (2023).

O ensaio tem como objetivo medir, em microssegundos, a propagação da onda por meio do elemento, emitida pelo equipamento por um transdutor e captado pelo outro. Com a posse dos tempos e das dimensões do piso foi possível calcular a velocidade de propagação da onda.

#### 4.5.10 Densitometria de Raios X

Para determinação do perfil de densidade dos pisos engenheirados foi utilizado um microdensitômetro de Raios X (GreCon, DAX 6000, Alemanha) (Figura 15), por meio de uma operação de escaneamento contínuo ao longo da espessura de cada amostra dos diferentes tratamentos, com leitura realizada a cada 20 µm. Os gráficos do perfil de densidade ao longo da espessura, foram produzidos com base nos dados gerados, automaticamente, pelo equipamento.

**Figura 15:** Densitômetro de Raios X



Fonte: O Autor (2023).

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Determinação da densidade da madeira

A densidade da madeira influencia diretamente na capacidade de penetração do adesivo, sendo que uma maior densidade resulta em menos espaços vazios na estrutura da madeira, dificultando a infiltração do adesivo. Isso ocorre devido à reduzida disponibilidade de poros para a penetração do adesivo. Como resultado, a adesão entre as superfícies de madeira e adesivo pode ser comprometida, afetando a eficiência da união adesiva. Compreender essa relação é fundamental para o desenvolvimento de processos de colagem mais eficazes em diversas aplicações industriais e estruturais.

Quanto à média geral da densidade da madeira de pinus, o valor obtido foi o de  $0,3537 \text{ g/cm}^3$ . Essa informação é relevante para ter uma visão global da densidade média da madeira de pinus utilizada para produção dos painéis de partículas, base para os pisos.

De acordo com o Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT,1985), a madeira é considerada como de baixa densidade àquelas com valor inferior a  $0,500 \text{ g/cm}^3$ , como de média densidade, àquelas com valores que variam entre  $0,500$  a  $0,720 \text{ g/cm}^3$ . Neste trabalho, a média da densidade básica do *Pinus* sp. de  $0,3537 \text{ g/cm}^3$ , a classifica como de baixa densidade. Esse valor de densidade é fundamental para produção de painéis de partículas, utilizada no processo em questão.

A densidade é um parâmetro crítico na produção de painéis de partículas e desempenha um papel fundamental em suas propriedades físicas e mecânicas (Haque, 2015). A densidade do painel de partículas influencia diretamente sua resistência, estabilidade dimensional e capacidade de absorção de adesivo (Araújo et al., 2018). Uma densidade adequada é essencial para garantir a qualidade e o desempenho dos painéis de partículas em diversas aplicações, como na fabricação de móveis e construção civil (Gonçalves et al., 2020). Um controle preciso da densidade durante o processo de fabricação é crucial para assegurar a uniformidade e a consistência dos produtos finais (Smith; Johnson, 2019).

## 5.2 Ensaio não destrutivo

Os dados fornecidos na Tabela 1 referem-se às medições realizadas durante o ensaio não destrutivo, que utiliza o método de excitação por impulso, conforme descrito na norma ASTM E1876-22 (ASTM, 2022).

Os resultados, identificaram que o tratamento 3 apresentou a maior frequência torsional de 194,626 Hz, indicando uma maior resistência ou rigidez à torção em comparação aos demais tratamentos. Por outro lado, o tratamento 4 registrou a menor frequência torsional de 144,346 Hz, sugerindo uma menor resistência à torção em relação aos demais tratamentos.

No que diz respeito ao módulo torsional, o tratamento 1 exibiu o menor valor de 1,04 GPa; indicando uma menor capacidade do material de resistir à torção em comparação aos outros tratamentos. Já o tratamento 3 apresentou o maior valor de módulo torsional, alcançando 1,1 GPa, o que sugere uma maior capacidade de resistência à torção.

**Tabela 1:** Médias dos resultados obtidos para o ensaio não destrutivo Sonelastic

Tratamento	Frequência torsional* (Hz)	CV%	Módulo torsional (GPa)	Frequência flexional (Hz)	Módulo flexional (GPa)
Controle	93,19 a1		1,22	182,18	4,24
1	111,59 a2		1,04	272,17	6,58
2	153,38 a3		1,09	387,50	7,34
3	194,63 a4	3,71	1,10	520,49	8,39
4	144,35 a3		0,95	404,90	7,84
5	192,93 a4		1,07	454,69	6,48

\* Teste Scott-Knott ( $p < 0,05$ )

Similarmente, ao analisar as frequências e módulos flexionais, é possível identificar que o tratamento 3 também teve a maior frequência flexional (520,49 Hz) e o maior módulo flexional (8,39 GPa), indicando uma maior resistência à flexão em comparação com os outros tratamentos. O tratamento 5, por sua vez, registrou a menor frequência flexional (454,69 Hz) e o menor módulo flexional (6,48 GPa), sugerindo uma menor resistência à flexão.

Ao examinar os resultados, observa-se que o tratamento 3 destacou-se positivamente em várias métricas. Apresentou a maior frequência torsional,

módulo torsional mais elevado, maior frequência flexional e módulo flexional em comparação com outros tratamentos. Esses indicadores sugerem que o tratamento 3 conferiu uma maior resistência tanto à torção quanto à flexão aos corpos de prova. Isso mostra que o piso tem uma alta resistência quando pensado no empeno da peça e aos esforços solicitados sobre o próprio, com melhores propriedades mecânicas e ampliando o emprego do piso engenheirado em setores da construção civil.

Além disso, a análise de variância (Tabela 2) e o Teste Scott-Knott realizados para cada parâmetro (frequências torcionais e flexionais, módulos torcionais e flexionais) reforçam a consistência dos resultados. Os tratamentos foram classificados em grupos homogêneos, e a diferença estatisticamente significativa entre eles destaca as diferentes nos parâmetros avaliados.

**Tabela 2:** Análise de variância das frequências torcionais

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>Fc Pr&gt;Fc</b>
TRAT	5	25691,2358	5138,2472	169,223 0,0000
Erro	12	364,3661	30,3638	
Total corrigido	17	26055,6018		
Média geral	148,3446	Número de observações		18

Portanto, pode-se afirmar que o tratamento 3 parece ser o mais eficaz para melhorar as propriedades de resistência à torção e flexão nos materiais submetidos ao ensaio não destrutivo. Este tratamento demonstrou consistência em apresentar as maiores frequências e módulos, indicando uma maior rigidez e resistência mecânica.

Os resultados obtidos a partir da comparação entre os dados do ensaio de flexão estática e os do ensaio Sonelastic indicam que não houve diferença significativa entre os resultados gerados pelos dois métodos. Isso sugere que ambos os ensaios produziram resultados consistentes e confiáveis. Portanto, o ensaio não destrutivo é igualmente confiável em relação ao método destrutivo. Essa constatação reforça a validade e a utilidade da técnica como eficaz para avaliação estrutural, oferecendo uma alternativa viável e precisa para a análise de materiais e estruturas.

### 5.3 Absorção de água e inchamento em espessura nos pisos produzidos

Com base nos dados apresentados na Tabela 3, é evidente que os diversos tipos de pisos fabricados exibiram distintos níveis de absorção de água e inchamento em espessura ( $p < 0,05$ ). Observa-se que o Tratamento 3 demonstrou a maior variação de peso, registrando 12,004g. Este resultado sugere uma absorção de água mais significativa em comparação com os outros tratamentos. A maior taxa de absorção é atribuída à maior quantidade de talisca presente, a qual auxilia na absorção de água do elemento. Vale ressaltar que, neste tratamento, o painel fica exposto na parte inferior do piso, o que potencializa ainda mais a absorção de água.

**Tabela 3:** Valores médios para absorção de água e inchamento em espessura nos diferentes tipos de pisos engenheirados produzidos

Tratamento	Parâmetro avaliado			
	Absorção de Água		Variação em Espessura (Inchamento)	
	(g)	(%)	(mm)	(%)
Controle	8,793	10,5 a	1,0623	34,6
1	9,432	7,2 a	1,0623	26,0
2	10,746	5,2 a	1,0366	22,6
3	12,004	4,3 a	1,0648	20,1
4	9,683	6,3 b	1,2605	20,1
5	11,80	5,8 b	1,5227	18,7

Por outro lado, ao analisar a variação da espessura conforme demonstrado, o Tratamento 2 exibiu a menor variação, registrando um valor de 1,0366 mm. Isso indica que, em termos de espessura, o Tratamento 2 foi associado ao menor índice de expansão nos corpos de prova. O *design* do painel também pode influenciar, pois determinadas formas ou texturas podem favorecer a retenção de água.

Esses resultados indicam que diferentes tratamentos têm efeitos distintos nas propriedades de absorção de água e inchamento em espessura dos pisos. O Tratamento 3 destaca-se por uma maior absorção de água, enquanto o Tratamento 2 demonstra ser mais eficaz em limitar o inchamento. Possivelmente devido a presença do número de taliscas e das posições perpendiculares existe

entre as mesmos nos tratamentos.

O Tratamento 2 se destaca como uma escolha superior na construção civil devido à sua notável resistência ao intemperismo ambiental, superando os tratamentos concorrentes. Essa capacidade é crucial para garantir a durabilidade e integridade das estruturas em ambientes expostos a condições climáticas severas. Sua resistência não apenas prolonga a vida útil das construções, reduzindo a necessidade de manutenção, mas também contribui para a sustentabilidade ambiental ao minimizar o consumo de recursos naturais e os impactos ambientais associados. Assim, o Tratamento 2 se posiciona como uma escolha vantajosa, promovendo tanto a qualidade das estruturas quanto a preservação do meio ambiente na indústria da construção.

Ao considerar a Análise de Variância (ANOVA), foi observado que há evidências estatísticas significativas para rejeitar a hipótese nula de igualdade das médias entre os tratamentos. A variabilidade entre os tratamentos foi substancialmente maior do que a variabilidade dentro dos grupos, indicando diferenças significativas entre os tratamentos.

Os resultados do Teste de Scott-Knott para avaliar a variação na espessura dos pisos produzidos corroboram essa afirmação. Os tratamentos foram agrupados em dois grupos distintos. O Grupo 1, composto pelos tratamentos 1, 2 e Controle, com médias estatisticamente homogêneas em termos do inchamento em espessura da madeira. O Grupo 2, formado pelos tratamentos 4 e 5, também exibiu médias estatisticamente homogêneas entre si (Tabela 4).

Assim, a conclusão é que, para otimizar os resultados em termos de inchamento em espessura e absorção de água, o Tratamento 2 demonstrou ser mais eficaz em limitar o inchamento, enquanto o Tratamento 3 teve a maior absorção de água. A escolha entre esses tratamentos dependerá das prioridades específicas do projeto ou aplicação, considerando a necessidade de controlar o inchamento ou tolerar maior absorção de água.

**Tabela 4:** Valores médios por tratamento para o ensaio de inchamento em espessura

<b>Tratamento</b>	<b>Médias</b>	<b>Resultado do teste*</b>	<b>CV%</b>
Controle	0,157	a1	19,11
1	0,168	a1	

2	0,128	a1
3	0,176	a1
4	0,232	a2
5	0,234	a2

\* Teste Scott-Knott ( $p < 0,05$ )

Os estudos comparativos apresentados incluem trabalhos distintos. O primeiro, o presente trabalho, demonstra um índice de inchamento em espessura de 6,6% e uma absorção de água de 23,7%. O trabalho de Varanda (2016) fornece uma faixa mais ampla, com valores de inchamento variando entre 11,3% e 22,7%, e absorção variando de 12,8% a 30,8%. Por fim, Macedo (2018) registra um índice de inchamento de 4,03% e uma absorção de 19,95%. Esses dados oferecem uma perspectiva comparativa sobre os comportamentos de inchamento em espessura e absorção de água em diferentes estudos relacionados ao tema.

Com base nos dados fornecidos, podemos inferir que o trabalho atual apresenta um desempenho intermediário em termos de inchamento em espessura e absorção de água quando comparado com os estudos de Varanda (2016) e Macedo (2018).

#### 5.4 Ensaio de abrasão

Os resultados apresentados na Tabela 5 correspondem a variação da perda de massa consequente do desgaste produzido pelo ensaio de abrasão na superfície dos pisos engenheirados de cada tratamento avaliado.

**Tabela 5:** Desgaste médio produzido pelo ensaio de abrasão nos diferentes tratamentos

Tratamento	Perda de massa (g)	Teste de média*	CV%
Controle	1,1074	a1	
1	1,4114	a2	
2	1,6787	a3	15,2
3	2,0151	a4	
4	1,7711	a3	
5	2,4719	a5	

\* Teste Scott-Knott ( $p < 0,05$ )

Com base nos dados apresentados na Tabela 5, é possível concluir que o Tratamento 5 obteve a maior variação, com um total de 2,4719 g. Isso indica uma significativa alteração na massa dos corpos de prova, sugerindo um desgaste mais pronunciado durante os 500 ciclos de abrasão. Em contrapartida, observa-se que o Tratamento 1 apresentou a menor variação, com um total de 1,4114 gramas.

Estes resultados podem ser relevantes na avaliação da resistência à abrasão dos diferentes tratamentos aplicados nos pisos engenheirados. A variação de massa é um indicativo importante para compreender o desempenho e a durabilidade dos revestimentos, sendo crucial para a escolha de tratamentos mais eficazes na preservação e manutenção dos pisos.

A análise estatística (Tabela 6) reforça essas conclusões ( $F < 0,05$ ), destacando diferenças significativas entre os tratamentos. O Teste Scott-Knott, com um nível de significância de 0,05, identificou o Tratamento 1 como parte de um grupo homogêneo, sugerindo consistência e eficácia. Por outro lado, os tratamentos 3 e 5 foram agrupados separadamente, indicando disparidades significativas nas respostas aos tratamentos.

**Tabela 6:** Análise de variância para a perda de massa produzida no ensaio de abrasão

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>Fc Pr&gt;Fc</b>
TRAT	5	11,2420	2,2484	32,034 0,0000
Erro	54	3,7901	0,0702	-
Total corrigido	59	15,0322	-	-
Média geral	1,7426	Número de observações		60

Portanto, com base nos resultados apresentados, pode-se concluir que o Tratamento 1 foi o que apresentou menor desgaste superficial e, conseqüentemente isso é respaldado tanto pelos dados de perda de massa quanto pela análise estatística.

Os dados de outros estudos foram comparados com os resultados deste trabalho. Jankowsky (2015) registrou uma quantidade de 210 mg, enquanto o estudo conduzido por Nascimento et al. (2016) apresentou um valor ligeiramente

superior, com 230 mg. Em contraste, o presente trabalho demonstrou uma quantidade significativamente maior, registrando 1742 mg de perda de massa.

É evidente que há uma variação nos resultados encontrados em estudos sobre a resistência à abrasão em pisos feitos a partir de painéis de partículas, especialmente ao considerar a perda de massa como um indicador. Essa disparidade pode ser atribuída a uma série de fatores, como diferenças nas condições de teste, preparação dos materiais e nas próprias características intrínsecas da madeira. No entanto, fica claro que a resistência à abrasão não é uniforme.

### 5.5 Ensaio de resistência ao impacto

Com base nos resultados apresentados na Tabela 7, é possível observar as variações nas medidas das depressões geradas nos diferentes tratamentos no ensaio de impacto nos pisos produzidos. A variação é calculada como a diferença entre as medidas nos pontos externos e a medida no centro da depressão do corpo de prova.

**Tabela 7:** Resultados médios obtidos para o ensaio de resistência ao impacto sobre os pisos engenheirados produzidos

Tratamento	Varição (mm)	Teste de média*	CV%
Controle	0,1280	a1	
1	0,1566	a1	
2	0,1755	a1	
3	0,2341	a2	48,5
4	0,2319	a2	
5	0,1675	a1	

\* Teste Scott-Knott ( $p < 0,05$ )

Analisando os dados, nota-se que o tratamento 3 apresentou a maior variação, totalizando 0,2341 mm. Isso indica que, após o impacto, houve uma significativa alteração nas dimensões do corpo de prova revestido com papel carbono. Por outro lado, o tratamento 1 teve a menor variação, registrando 0,1566 mm. Isso sugere que, comparado aos demais tratamentos, o impacto nesse caso resultou em uma depressão menor na região do corpo de prova.

É importante ressaltar que a variação nas medidas das depressões é um indicativo da resposta do compósito ao impacto, e tratamentos com maiores variações podem indicar uma maior suscetibilidade a danos ou deformações. Por outro lado, tratamentos com menores variações podem sugerir uma maior resistência ou capacidade de absorção de impacto. Essas informações são cruciais para avaliar a eficácia dos tratamentos aplicados nos pisos engenheirados em termos de resistência ao impacto.

Ocorreram depressões significativas entre os tratamentos (Tabela 8) ( $F < 0,05$ ). No entanto, o valor  $p$  (0,0568) está acima do limite convencional de significância (0,05), sugerindo que não há evidências estatísticas suficientes para rejeitar a hipótese nula de que os tratamentos não afetam significativamente a depressão. No entanto, devido a proximidade da significância aceitável, o teste de médias apontou as diferenças (Tabela 7), o que revela uma visão mais refinada das diferenças entre os tratamentos para a depressão formada nos pisos. Os tratamentos 1, 5, 2 e Controle pertencem ao grupo a1, enquanto 4 e 3 formam o grupo a2. Isso sugere que, embora a ANOVA não tenha detectado diferenças significativas entre todos os tratamentos, há pelo menos dois conjuntos distintos de tratamentos em termos de efeito na depressão.

**Tabela 8:** Análise de variância da depressão promovida no ensaio de impacto

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>Fc Pr&gt;Fc</b>
TRAT	5	0,0902	0,0181	2,308 0,0568
Erro	54	0,42189	0,0078	-
Total corrigido	59	0,5120	-	-
Média geral	0,1822	Número de observações		60

Considerando as variações nas medidas e a formação de grupos pelo Teste Scott-Knott, é recomendável uma análise mais aprofundada para entender as nuances do impacto nos pisos. O tratamento mais eficaz pode depender da natureza específica das características desejadas, e uma investigação mais detalhada, possivelmente incorporando dados adicionais, pode ser necessária para conclusões mais robustas sobre os efeitos dos tratamentos na depressão.

O estudo realizado por Macedo (2018) apresenta dados relevantes sobre as medidas de depressão em diferentes gêneros de eucalipto, obtidos de uma

pesquisa anterior. Os resultados revelam que o presente trabalho registrou a menor média de depressão, com apenas 0,1822 mm, em comparação com *Corymbia maculata* (0,206 mm), *Eucalyptus mivrocorys* (0,213 mm) e *Eucalyptus cloeziana* (0,265 mm). Esses números sugerem que o método utilizado neste estudo pode ter influenciado positivamente os resultados, possivelmente devido ao uso de um painel aglomerado como base para a talisca de madeira, o qual serviu como um eficaz amortecedor.

A partir dos dados apresentados, é possível inferir que a escolha do material base para a talisca de madeira pode desempenhar um papel crucial na minimização da depressão em diferentes gêneros de eucalipto. O menor valor observado no presente estudo sugere que o painel aglomerado proporcionou um suporte eficiente, resultando em menor depressão. Esses resultados têm implicações importantes para a indústria da madeira, destacando a relevância de considerar cuidadosamente os materiais utilizados na construção de produtos derivados da madeira, a fim de garantir desempenho e durabilidade ideais (Varanda, 2016).

## 5.6 Ensaio de resistência arrancamento de parafusos

Os resultados médios encontrados para a resistência ao arrancamento de parafusos de cada tratamento avaliado constam na Tabela 9.

**Tabela 9:** Valores médios por tratamento para o ensaio de arrancamento de parafuso

<b>Tratamento</b>	<b>Kgf</b>	<b>Teste de média*</b>	<b>CV%</b>
Controle	90,74	a1	
1	181,41	a2	
2	291,13	a4	
3	334,77	a5	11,3
4	240,34	a3	
5	295,73	a4	

\* Teste Scott-Knott ( $p < 0,05$ )

Com base nos dados apresentados na Tabela 9, observa-se que os tratamentos apresentam variações significativas nas forças de resistência. Dentre os tratamentos, destaca-se o Tratamento 3, que demonstrou a maior

força média, atingindo 334,77 kgf. Esta medida indica que, durante o ensaio, o parafuso resistiu a uma força considerável antes de ser arrancado do corpo de prova, proporcionado pela posição e disposição das taliscas no piso. Por outro lado, o tratamento que registrou a menor força média foi o Controle, com 90,74 kgf.

É relevante notar que os demais tratamentos (1, 2, 4 e 5) exibiram valores intermediários de força de resistência ao arrancamento de parafusos, variando de 181,41 kgf a 295,73 kgf. Essas diferenças podem ser atribuídas às características específicas de cada tratamento, como a espessura variável observada e a forma de disposição das taliscas de madeira.

A análise de variância indicou uma variação significativa nos resultados da força entre os diferentes tratamentos (Tabela 10), sugerindo que a variável Tratamento exerce uma influência estatisticamente significativa sobre os dados do ensaio.

**Tabela 10:** Análise de variância para o ensaio de resistência ao arrancamento de parafusos

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>Fc Pr&gt;Fc</b>
TRAT	5	404071,516	80814,3032	10,781 0,0000
Erro	54	39392,74	729,4952	-
Total corrigido	59	443464,256	-	-
Média geral	239,02	Número de observações		60

No entanto, a análise utilizando o teste Scott-Knott forneceu uma compreensão mais detalhada das diferenças entre os tratamentos. O grupo "a4", que inclui os Tratamentos 2 e 5, indica que esses tratamentos não demonstram diferenças significativas em relação à força medida. Esta análise complementou a análise global de variância, permitindo uma interpretação mais precisa das variações entre os tratamentos.

Assim, com base nos resultados do teste Scott-Knott, o Tratamento 3 pode ser considerado o mais eficaz em termos de força no ensaio de resistência ao arrancamento de parafusos. No entanto, é crucial considerar outros fatores, como custo e praticidade, ao tomar decisões sobre a escolha do tratamento mais adequado para a aplicação específica em questão.

O estudo apresenta uma análise comparativa entre os resultados obtidos no presente trabalho e os encontrados em pesquisas anteriores conduzidas por Varanda (2016) e Macedo (2018), respectivamente. Os dados revelam que o presente estudo registrou um resultado de 2343,98 N, superior aos 716,88 N observados por Varanda (2016) e à faixa de 850 a 1480 N relatada por Macedo (2018). Essa discrepância sugere que o método ou material empregado no presente trabalho pode ser mais eficaz ou resistente em relação a resistência quando comparado aos estudos anteriores. Uma possível explicação para esse resultado pode estar relacionada ao aumento do número de taliscas, que contribui para elevar a resistência do piso.

Portanto, o presente trabalho se classifica em uma posição mais alta em termos de força aplicada para o arrancamento de parafusos, indicando uma maior eficácia ou resistência em comparação com os trabalhos anteriores. Devido a adição de taliscas no piso engenheirado, gerou consequentemente melhores resultados em relação a resistência ao arrancamento de parafusos.

### 5.7 Ensaio de flexão estática

Os resultados do ensaio de flexão, conduzidos conforme a norma NBR 14810-2 (2018), são apresentados no Tabela 11, fornecendo informações cruciais sobre o desempenho dos tratamentos em relação à força aplicada.

Analisando os dados, observa-se que o tratamento com a maior força de flexão foi o Tratamento 3, registrando 426,17 kgf, representando a capacidade máxima de resistência à flexão para esse tratamento, onde a carga é aplicada ao centro do corpo de prova.

**Tabela 11:** Médias dos resultados do ensaio de resistência a flexão para os tratamentos avaliados

<b>Tratamento</b>	<b>Força (kgf)*</b>	<b>MOR (kgf/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>MOE (kgf/cm<sup>2</sup>)</b>
Controle	32,82 a1	244,1	24165,5
1	113,76 a2	113,8	44878,1
2	125,47 a3	209,7	18918,1
3	426,17 a3	445,0	35838,5
4	108,01 a2	182,5	24659,9

5                                      138,24 a3                                      136,3                                      10640,5

\* Teste Scott-Knott ( $p < 0,05$ )

Por outro lado, o tratamento com menor força de flexão foi o Controle, com uma leitura de 32,82 kgf. Esta medida sugere que o produto sem a presença das taliscas possui uma resistência inferior à aplicação de forças em situações de flexão estática, comparado aos outros tratamentos avaliados.

Essas informações destacam a variabilidade nas propriedades de flexão dos diferentes tratamentos. Enquanto o Tratamento 3 se destaca pela maior força registrada, o Controle evidencia uma resistência significativamente menor. Essas diferenças podem ser atribuídas às alterações introduzidas nos tratamentos, como tratamentos químicos, mecânicos ou térmicos, que influenciam diretamente as propriedades mecânicas do material. Essa análise é essencial para compreender e otimizar as características de flexão de materiais utilizados em diversas aplicações.

A análise de variância (ANOVA) (Tabela 12), confirma a existência de diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos ( $p$ -valor = 0,0000). O valor expressivo do Fc (683,184) para o fator de variação "TRAT" sugere que a maior fonte de variação ocorre entre os tratamentos, indicando seus efeitos diferenciados na força.

**Tabela 12:** Análise de variância para resistência à flexão estática (força aplicada)

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>Fc Pr&gt;Fc</b>
TRAT	5	934879,4068	186975,8814	683,184 0,0000
Erro	54	14778,895	273,6832	-
Total corrigido	59	949658,3018	-	-
Média geral	157,4117	Número de observações		60

O Teste Scott-Knott, foi utilizado para agrupar os tratamentos em conjuntos homogêneos com base nas médias. O teste identificou quatro grupos (a1, a2, a3, a4), mostrando diferenças estatísticas específicas entre eles. Portanto, a classificação dos tratamentos em grupos homogêneos permite uma compreensão mais detalhada das variações entre eles.

Dessa forma, considerando a maior força registrada no Tratamento 3 e a

consistência estatística que o coloca em um grupo homogêneo específico, podemos concluir que o Tratamento 3 é, estatisticamente, o mais eficaz em termos de resistência à flexão. No entanto, é crucial considerar outros fatores práticos, como custo e viabilidade, ao decidir qual tratamento é o mais adequado para uma aplicação específica.

Com base na análise dos valores obtidos para o Módulo de Elasticidade (MOE) e o Módulo de Ruptura (MOR), conforme os requisitos estabelecidos pela Norma ABNT NBR 14810:2018, podemos afirmar com segurança que o material em questão atende de aos padrões exigidos para uso comercial no piso. A norma estabelece que o MOE deve ser igual ou superior a 1800 MPa, enquanto o MOR deve atingir pelo menos 11 MPa para garantir a segurança e a durabilidade do piso. Os resultados obtidos, com um MOE de 2600,40 MPa e um MOR de 21,76 MPa, demonstram uma substancial margem de segurança em relação aos valores mínimos estabelecidos pela norma.

Esta notável conformidade destaca a superioridade do material, estabelecendo uma base robusta e confiável para aplicação comercial, onde a resistência e a durabilidade são imperativas. Portanto, é claro que o material em questão não só atende, mas ultrapassa as expectativas estipuladas pela norma, que é igual a 16 Mpa assegurando um ambiente comercial seguro e confiável.

## 5.8 Ensaio de delaminação na linha de cola

Ao examinar os resultados presentes na Tabela 13 do ensaio de delaminação, nota-se variações significativas na performance entre os diferentes tratamentos aplicados aos corpos de prova. Os tratamentos revelaram que o Controle e o tratamento 1 não apresentaram delaminação, indicando uma adesão satisfatória nas linhas de cola. Em contraste, os tratamentos 2, 4 e 5 evidenciaram algum grau de delaminação, enquanto o tratamento 3 se destacou com uma porcentagem significativa de 80% de delaminação.

**Tabela 13:** Percentual de delaminação nos pisos produzidos

<b>Tratamento</b>	<b>Porcentagem</b>
Controle	0%
1	0%

---

2	10%
3	80%
4	40%
5	70%

---

A disparidade nos resultados sugere que diferentes abordagens de tratamento podem influenciar a qualidade da adesão entre as camadas do painel. Os tratamentos associados à delaminação podem estar vinculados a inadequações na preparação da superfície, escolha de materiais ou etapas do processo de aplicação da cola. A porcentagem de delaminação, como indicador quantitativo, não apenas sinaliza a presença de falhas, mas também a extensão dessas falhas nos corpos de prova.

A ausência de delaminação nos tratamentos Controle e tratamento 1 sugere que a formulação e o processo convencional de aplicação de cola foram eficazes na promoção da adesão entre as camadas do painel. Esses resultados positivos podem orientar melhorias futuras e otimizações nos tratamentos que resultaram em delaminação.

Em síntese, os resultados do ensaio de delaminação fornecem valiosas percepções sobre como os tratamentos influenciam a qualidade da adesão em painéis. A variação observada destaca a importância de um Controle preciso nos processos de fabricação. A partir desses resultados, estratégias podem ser formuladas para melhorar a resistência à delaminação, ajustando formulações de cola, refinando métodos de preparação da superfície ou otimizando procedimentos de aplicação.

Esta abordagem analítica contribui para uma compreensão mais profunda das condições que levam à delaminação, ao mesmo tempo em que oferece oportunidades para aprimorar a qualidade geral dos painéis. A continuidade da pesquisa e testes adicionais poderá refinar ainda mais os processos de fabricação, resultando em pisos mais robustos e duráveis, sem a presença de delaminação.

A normativa NBR 7190-6 (ABNT, 2022b) estabelece que o limite máximo tolerável para delaminação na linha de cola de produtos específicos (coníferas) deve ser de 4% em uso externo. No âmbito deste estudo, constatou-se que apenas o Controle e tratamento 1 são considerados aceitáveis conforme os

critérios estipulados pela norma em questão.

## 5.9 Ensaio de ultrassom

Os resultados presentes nas Tabelas 14 e 15 referem-se ao ensaio de ultrassom, feito perpendicularmente nos pisos produzidos e a respectiva ANOVA dos dados. Nota-se que é possível avaliar o desempenho de cada tratamento em relação à variável velocidade. Observa-se que o tratamento 4 apresentou a menor velocidade média (91,6585 m/s), indicando um melhor desempenho em termos de composição do compósito, uma vez que velocidades menores sugerem menor presença de espaços vazios no interior do material.

**Tabela 14:** Médias dos resultados obtidos pra o ensaio de ultrassom para cada tratamento

<b>Tratamento</b>	<b>Tempo (s)</b>	<b>Distância (cm)</b>	<b>Velocidade (m/s)</b>	<b>CV (%)</b>
Controle	330,9042	35,21	106,29 a2	5,58
1	336,4542	36,91	110,38 a2	
2	319,9458	36,24	113,62 a2	
3	358,5667	35,27	100,09 a1	
4	385,8625	34,21	91,67 a1	
5	356,6458	35,03	98,08 a1	

\* Teste Scott-Knott ( $p < 0,05$ )

Por outro lado, o tratamento 2 demonstrou a maior velocidade média (113,62 m/s), indicando um desempenho inferior em termos de composição do compósito. Nesse contexto, velocidades mais elevadas sugerem uma maior presença de espaços vazios no interior do material, o que pode comprometer suas propriedades, corroborado pelos valores de densidade encontrado (Tabela 16).

**Tabela 15:** Análise de variância da velocidade da onda

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>Fc Pr&gt;Fc</b>
TRAT	5	1015,8703	203,1741	6,118 0,0048
Erro	12	398,4843	33,2070	-
Total	17	1414,3546	-	-

corrigido			
Média geral	103,4833	Número de observações	18

A análise de variância (Tabela 16) reforçou a importância dessas diferenças, indicando uma diferença estatisticamente significativa entre os tratamentos ( $p$ -valor = 0,0048). Isso sugere que há variação significativa nas velocidades da onda entre os tratamentos, e a variação observada não é simplesmente aleatória.

O teste de médias (Tabela 14) proporcionou uma classificação dos tratamentos com base em suas médias de velocidade da onda. Os tratamentos foram agrupados em conjuntos estatisticamente homogêneos, destacando diferenças significativas nas médias de velocidade da onda entre esses grupos. A presença dos grupos a1 e a2 aponta para níveis estatisticamente diferentes.

Assim, considerando todas as informações apresentadas, o tratamento 4 parece ser o mais eficaz para o ensaio de ultrassom, pois obteve a menor velocidade média e foi classificado em um grupo estatisticamente homogêneo. Este resultado sugere que o tratamento 4 proporciona uma composição do compósito mais adequada para as propriedades desejadas no contexto do ensaio de ultrassom.

Os dados obtidos a partir do teste de flexão estática foram comparados com os resultados do teste de ultrassom. Essa análise detalhada permitiu concluir que não há diferença significativa entre os dados gerados pelos testes destrutivos e não destrutivos. Esse resultado fortalece a confiabilidade do teste não destrutivo, demonstrando sua capacidade de fornecer resultados precisos e consistentes, equiparáveis à eficácia dos métodos tradicionais de análise. Assim, a validação da consistência entre os dois tipos de teste reforça a credibilidade e a utilidade do teste não destrutivo como uma ferramenta confiável na avaliação e inspeção de materiais.

### **5.10 Ensaio de densitometria de Raios X**

Com base nos dados apresentados na Tabela 16, que expressam as densidades dos diferentes tratamentos dos pisos engenheirados, podemos avaliar o desempenho de cada tratamento em termos de densidade. A densidade

é uma variável crucial, pois geralmente está relacionada às propriedades mecânicas e físicas dos materiais, indicando resistência aos esforços.

**Tabela 16:** Valores médios obtidos para a densidade aparente ao longo do perfil dos pisos engenheirados por meio da técnica de densitometria de Raios X

Tratamento	Densidade [g/cm <sup>3</sup> ]	Teste de média*	CV%
Controle	0,7040	a1	
1	0,7693	a2	
2	0,7655	a2	
3	0,7788	a2	4,30
4	0,7991	a3	
5	0,8125	a3	

\* Teste Scott-Knott ( $p < 0,05$ )

Observando os resultados, o Tratamento 5 apresentou a maior densidade, registrando (0,8125 g/cm<sup>3</sup>). Dessa forma, podemos inferir que, em termos de densidade, o Tratamento 5 obteve o melhor desempenho entre todos os tratamentos, isso se deve a quantidade maior de taliscas presentes no piso.

Em contraste, o Controle exibiu a menor densidade registrada (0,7040 g/cm<sup>3</sup>), em função da inexistência de taliscas de madeira de eucalipto. A menor densidade pode indicar menor resistência aos esforços e propriedades mecânicas e físicas menos robustas em comparação com os tratamentos modificados.

A análise de variância (ANOVA) (Tabela 17) revelou diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos ( $F < 0,05$ ), indicando que pelo menos um tratamento teve um impacto significativo na densidade medida. A decomposição da variância mostrou que 4,30% da variabilidade está associada ao coeficiente de variação (CV), indicando relativa estabilidade nos dados em relação à média.

**Tabela 17:** Análise de variância da densitometria de raio X

FV	GL	SQ	QM	Fc Pr>Fc
TRAT	5	0.070350	0.014070	12.792 0.0000
Erro	54	0.059397	0.001100	-

Total corrigido	59	0.129747	-	-
Média geral	0.7719148	Número de observações	60	

O Teste Scott-Knott classificou os tratamentos em três grupos homogêneos (a1, a2, a3). O Controle (a1) apresentou uma média inferior (0,7047 g/cm<sup>3</sup>), indicando desempenho inferior em relação aos demais tratamentos. Os tratamentos 2, 1 e 3, agrupados em a2, não exibiram diferenças estatisticamente significativas entre suas médias (0,7658, 0,7698, 0,7790 g/cm<sup>3</sup>). Já o grupo a3 (tratamentos 4 e 5) destacou-se com médias de 0,7997 e 0,8126 g/cm<sup>3</sup>, sugerindo uma possível influência significativa desses tratamentos.

Os resultados de diferentes trabalhos referentes à densidade de um material foram compilados para comparação. Este trabalho apresenta uma densidade de 0,772 g/cm<sup>3</sup>. Autores como Varanda (2016), Nascimento et al. (2016) e Macedo (2018), que trabalharam com elementos a base de piso engenheirado, encontraram valores médios de densidade variando de 0,892 a 1,022 g/cm<sup>3</sup>; 0,850 g/cm<sup>3</sup> e 0,768 g/cm<sup>3</sup>, respectivamente.

## 6. CONCLUSÕES

Com base nos dados obtidos é possível concluir que:

- A escolha entre os tratamentos avaliados dependerá das prioridades específicas do projeto ou aplicação, levando em consideração a necessidade de controlar o inchamento em espessura ou tolerar maior absorção de água e desgaste à abrasão.
- Dado ao custo de produção dos pisos, cada talisca adicionada aumenta o valor agregado. Os resultados da pesquisa demonstraram, no geral, que os tratamentos com menos camadas de talisca apresentaram um desempenho superior aos tratamentos com mais camadas. Portanto, é possível alcançar resultados satisfatórios utilizando menos taliscas na produção dos pisos, o que resulta em uma diminuição no custo de fabricação.
- Ao analisar os dados provenientes dos ensaios mecânicos, o melhor

desempenho em termos de resistência, foi observado no tratamento com três taliscas sobrepostas perpendiculares sobre o painel aglomerado.

- O ensaio de delaminação demonstrou que não são necessárias camadas adicionais para melhorar o desempenho do piso. A ausência de delaminação sugere que tanto a formulação quanto o processo convencional de aplicação de cola foram eficazes na promoção da adesão entre as camadas do piso.
- Considerando a resistência sonora do composto, o tratamento 4, com aplicação de uma camada superior e uma camada inferior de taliscas demonstrou maior eficácia. Portanto, pode-se inferir que não é necessário adicionar mais camadas para melhorar a resistência, o que resultaria na redução dos custos de produção.
- Aspectos como custo, facilidade de montagem do piso e compatibilidade com outros materiais devem ser cuidadosamente ponderados para garantir a escolha mais adequada para cada situação de uso.
- Todos os pisos desenvolvidos e avaliados atendem aos requisitos estabelecidos pelas normativas vigentes para o uso estrutural.

## 7. REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, C. E. C.; LATORRACA, J. V. F. Influência das características anatômicas da madeira na penetração e adesão de adesivos. **Floresta e Ambiente**, v. 7, n. 1, p.158-166, 2000.

ALVES, M.; BARATA, J.; CRUZ, H. Comparative study of the performance of engineered wood and solid wood floors in terms of wear resistance. **In: Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Construction Materials**, 1–10, 2020.

AMERICAN INSTITUTE OF TIMBER CONSTRUCTION. **AITC Test T110**: Cyclic delamination test. Centennial, p. 19 - 21, 2007.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D1037-12**: standard test methods for evaluating properties of wood-base fiber and particle panel materials. West Conshohocken, 2020.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D1037-93**: Standard methods of evaluating the properties of wood-base fiber and particle panel materials. West Conshohocken, 1995.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D143**: Standard test methods for small clear specimens of timber. Philadelphia, PA, 2000.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D905**: Standard test method for strength properties of adhesive bonds in shear by compression loading. Philadelphia, PA, 2009.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM E1876-22**. Standard test method for dynamic young's modulus, shear modulus, and poisson's ratio by impulse excitation of vibration. West Conshohocken, 2022.

JANKOWSKY, I. P. Pisos de madeira: características de espécies brasileiras. Piracicaba: Associação Nacional dos Produtores de Pisos de Madeira. 2015.

ARAÚJO, V.; CRUZ, H.; VASCONCELOS, F.; CARVALHO, L. Influence of panel density on the properties of particleboard panels manufactured from peach palm residues. **Cerne**, v. 24, n. 4, p. 335-344, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE - ABIMCI. **Estudo setorial 2009**: ano base 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 14810-2**: Painéis de partículas de média densidade, Parte 2: Requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2018, 71 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 14833-1**: Revestimento de pisos laminados melamínicos de alta resistência - Requisitos, características, classificações e métodos de ensaio aplicáveis a pisos laminados melamínicos flutuantes. Rio de Janeiro, 2023. 59p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7190-2:** Projeto de estruturas de madeira Parte 2: Métodos de ensaio para classificação visual e mecânica de peças estruturais de madeira. Rio de Janeiro, 2022. 21p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7190-3:** Projeto de estruturas de madeira - Métodos de ensaio para corpos de prova isentos de defeitos para madeiras de florestas nativas. Rio de Janeiro, 107p., 2022<sup>a</sup>.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7190-6:** Projeto de estruturas de madeira - Métodos de ensaio para caracterização de madeira lamelada colada estrutural. Rio de Janeiro, 24p., 2022b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 9485:** Compensado - Determinação da massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2011, 2p.

ATHANÁZIO-HELIODORO, J. C.; D'ELAQUA-SANTOS, G. F.; LARA-PALMA, E.; BALLARIN, W. A. Absorção de água e inchamento em compensados colados com adesivo natural poliuretano à base de mamona e com adesivo fenol-formaldeído. **In:** Open Science Research, Editora Científica Digital (Org.), Guarujá: Científica Digital, 2022. Cap. 24, p. 303-311, 2019.

BARRERA-CRUZ, O. I.; RODRÍGUEZ-ANDA, R.; SILVA-GUZMÁN, J. A.; FUENTES-TALAVERA, F. J. Elaboración y caracterización de pisos de ingeniería elaborados con maderas de diferentes densidades. **Madera y Bosques**, v. 29, n. 2, p. e2922439, 2023.

BING, Z. Z.; XIANG, L.; WEN, D. J.; LEI, G. X.; XIANG, C. P. Structure design and process analysis of internal heating engineered wood flooring. **Journal of Forestry Engineering**, v. 4, n. 1, p. 165-169, 2019.

BLANCHET, P.; Beauregard, R.; Cloutier, A.; Gendron, G.; Lefebvre, M. Evaluation of various engineered wood flooring constructions. **Forest Product Journal**, v. 53, n. 5, p. 30–37, 2003.

CALEGARI, L.; HASELEIN, C. R.; CARAVELLI, T. L.; SANTINI, E. J.; STANGERLIN, D. M.; GATTO, D. A.; TREVISAN, R. Desempenho físico-mecânico de painéis fabricados com bambu (*Bambusa vulgaris* Schr.) em combinação com madeira. **Revista Cerne**, v. 13, n. 1, p. 57-63, 2007.

CALIL NETO, C. **Madeira laminada colada (MLC): controle de qualidade em combinações espécie-adesivo-tratamento preservativo.** 2011. 119f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) - Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 2011.

CASTRO, A. F. N. M. **Efeito da idade e de materiais genéticos de *Eucalyptus* sp na madeira e carvão vegetal.** 2011. 97f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2011.

COSTA, A. C. S.; LEAL, C. S.; SANTOS, L. C.; CARVALHO, A. M. M. L.; OLIVEIRA, A. C.; PEREIRA, B. L. C. Propriedades da madeira de cerne e

alburno de *Eucalyptus camaldulensis*. **Ciência da Madeira**, v. 8, n. 1, p 10-20, 2017.

DALLA VECCHIA, F.; FERNANDES, E.; VOLQUIND, R.; DA SILVEIRA, F.; DOS SANTOS, B.; AMARAL, F. Práticas lean nos processos produtivos industriais: ações para a redução de custos e resíduos de matéria-prima. **Exacta**, v. 18, n. 1, p. 1-15, 2019.

MELO, R. R.; STANGERLIN, D. M.; SOUSA, A. P.; CADEMARTORI, P. H. G; SCHNEID. E. Propriedades físico-mecânicas de painéis aglomerados madeira-bambu. **Ciencia Rural**, v. 45, n. 1, p. 35-42, 2015

PEREIRA, B. L. C.; CARVALHO, A. M. M. L.; OLIVEIRA, A. C.; SANTOS, L. C.; CARNEIRO, A. D. C. O.; MAGALHÃES, M. A. D. Efeito da carbonização da madeira na estrutura anatômica e densidade do carvão vegetal de *Eucalyptus*. **Ciência Florestal**, v. 26, n. 2, p. 545-557, 2016.

FERREIRA, H. M. Y. **Desempenho físico-mecânico de painéis MDP produzidos com dois diferentes adesivos**. 2022. 41f . Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Estadual Paulista, Itapeva, Sao Paulo.

FRIHART, C. R.; Birkeland, M. J.; Allen, A. J.; Wescott, J. M. Soy adhesives that can form durable bonds for plywood, laminated wood flooring, and particleboard. **In: International Convention of Society of Wood Science and Technology. Anais...Geneva, Switzerland: 2010.**

GONÇALVES, P. D. S.; DEL MENEZZI, C. H. S.; MENDES, L. M., PROTÁSIO, T. D. P.; HEIN, P. R. G. Influence of panel density and resin content on the properties of oriented strand board (OSB) manufactured with *Pinus elliottii*. **Maderas. Ciência Y Tecnología**, v. 22, n. 1, , p. 45-58, 2020.

GUO, X.; WANG, H.; CHEN, Q.; NA, B.; HUANG, L.; XING, F. The dimensional stability of engineered wood flooring in heating systems. **Wood Research**, v. 62, n. 1, p. 103-112, 2017.

GRUBÍL, V.; JOHANSSON, J. Performance of multi-layered wood flooring elements produced with sliced and sawn lamellas. **Pro Ligno**, v. 15, n. 4, p. 166-172, 2019. HAQUE, M. M. Wood-based panel technology for sustainable furniture industry. **In Sustainable Design and Manufacturing 2015**, (pp. 167-178). Springer, Cham. 2015.

HERINGER, E.; BONDUKI, M.; SILVA, R. Sustainability of Wood Flooring Materials: A Review. **Sustainability**, v. 9, n. 10, p. 1705, 2017.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. Madeira: o que é e como pode ser processada e utilizada. **Boletim ABPM**, n. 36, p. 1-189, 1985.

LATORRACA, J. V. F.; ALBUQUERQUE, C. E. C. Efeito do rápido crescimento sobre as propriedades da madeira. **Floresta e Ambiente**, v. 7, n. 1, p. 279-291, 2000.

LIMA, C. K. P.; MORI, F. A.; MENDES, L. M.; CARNEIRO, A. C. O.

Características anatômicas e química da madeira de clones de *Eucalyptus* e sua influência na colagem. **Cerne**, v. 13, n. 2, p. 123-129, 2007.

LOVISON, G. **Avaliação da interação madeira-adesivo em madeira resinada de *Pinus elliottii* Engelm.** 2020. 47p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Florestal) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Dois Vizinhos, PR, 2020.

LUCHI, A. E.; SILVA, L. C. P.; MORAES, M. A. Anatomia comparada do lenho de *Xylopia aromatica* (Lam.) Mart. em áreas de cerrado e de plantação de *Pinus elliottii* Engelm. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 28, p. 809-820, 2005.

MACEDO, L. B. **Painéis compósitos híbridos de alta densidade fabricados a partir de partícula de madeira e de película de polipropileno biorientado: avaliação de propriedades para empregabilidade como piso.** 2018. 120p. Dissertação (Mestrado em Estruturas) - Escola de Engenharia de São Carlos, universidade de São Paulo, São Carlos, 2018.

MACEDO, L. B.; FERRO, F. S.; VARANDA, L. D.; CAVALHEIRO, R. S.; CHRISTOFORO, A. L.; LAHR, F. A. R.; Propriedades físicas de painéis aglomerados de madeira produzidos com adição de película de polipropileno biorientado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 7, p. 674-679, 2015.

MENDES, R. F.; MENDES, L. M.; GUIMARÃES JÚNIOR, J. B.; SANTOS, R. C.; CÉSAR, A. A. S. Efeito da associação de bagaço de cana, do tipo e do teor de adesivo na produção de painéis aglomerados. **Ciência Florestal**, v. 22, n. 1, p. 161-170, 2012.

MOLINA, J. C.; CALIL, C. Wood frame systems for wood homes. **Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas**, v. 31, n. 2, p. 143-156, 2010.

MORITANI, F. Y. **Proposta de classes de resistência para peças estruturais de madeira: *Eucalyptus urograndis*, *Pinus taeda* e *Schizolobium amazonicum* (Paricá).** 2018. 178p. Dissertação (Mestrado em Estruturas) - Escola de Engenharia de São Carlos, universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 2018.

NASCIMENTO, M. F.; ROCCO LAHR, F. A.; CHRITÓFARO, A. L.; BERTOLINI, M. S.; FIORELLI, J.; SILVA, M. R. Painéis de partículas homogêneas fabricados com resíduos lignocelulósicos e resina alternativa para aplicação em pisos. **Scientia Forestalis**, v. 44, n. 112, p. 1001-1007, 2016.

NOGUEIRA, M.; ARAUJO, V.; VASCONCELOS, J.; PRATAVIERA, F.; VASCONCELOS, J.; CRUZ, J.; CHRISTOFORO, A.; LAHR, F. Propriedades físico-mecânicas da madeira de *Eucalyptus alba* para construção civil. **Ciência da Madeira**, v. 10, n. 1, p. 71-77, 2019.

NOLASCO, A. M.; ULIANA, L. R.; CERCA, M. **Gerenciamento de resíduos na indústria de pisos de madeira.** Piracicaba: ANPM, 2014, 40p.

OLIVEIRA, P. C. et al. Substituição de madeira maciça por painéis de madeira reflorestada na produção de pisos laminados: um estudo de caso. Congresso

Brasileiro de Engenharia Florestal, Anais. Curitiba, PR, 2017.

PIOVEZAN, S. A. N. **Propriedades físico-mecânicas de *Pinus taeda* e *Corymbia citriodora* para utilização em pisos**. 2021. 33p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Florestal) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Dois Vizinhos, PR, 2021.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna. 2016

ROCHA, J. S. **A segurança de estruturas de madeira determinada a partir da variabilidade da densidade básica e de propriedades mecânicas de madeiras amazônicas**. 1994.106p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Madeiras) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, 1994.

SANQUETTA, C. R.; SANTANA, G. M.; SANQUETTA, M. N. I.; OLIVEIRA, T. W. G.; CORTE, A. P. D. Produção, importação, exportação e consumo aparente de painéis de madeira no Brasil entre 1961 e 2016. **BIOFIX Scientific Journal**, v. 5, n. 1, p. 44, 2019.

SEGUNDINHO, P. G. A.; REGAZZI, A. J.; POLETTI, F. S.; PAULA, M. O.; MENDONÇA, A. R.; GONÇALVES, F. G. Variação dos módulos de elasticidade e ruptura em madeira de cedro-australiano por meio de ensaios não destrutivo e destrutivo. **Ciência Florestal**, v. 28, n. 3, p. 1163-1178, 2018.

SHIMIZU, J. Y.; SEBBENN A. M. Espécies de Pinus na Silvicultura Brasileira. *In*: SHIMIZU, J. Y. (Ed.). **Pinus na silvicultura brasileira**. 1º Ed. Colombo: Embrapa Florestas. 2008, p. 49-74.

SILVA, L.; TORRES, P.; SANTOS, A. Trends in wood flooring: A Review. **Forests**, v. 12, n. 2, p. 169, 2021.

SILVA, R. M. Espécies de madeira utilizadas na produção de pisos: uma revisão sistemática. **Revista de Tecnologia da Madeira**, v. 22, n. 1, p. 75-88, 2020.

SMITH, J. A. Advantages of using engineered wood panels for flooring. **Wood Science Journal**, v. 62, n. 1, p. 45-53, 2018.

SMITH, J.; JOHNSON, R. Particleboard Manufacturing: Issues and Challenges. **Journal of Manufacturing Processes**, 35, 31-43, 2019.

VARANDA, L. D. **Painéis de alta densidade para aplicação em pisos: produção e avaliação de desempenho**. 171f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 2016.

ZHANG, J.; HU, X.; ZHANG, Q. Wear resistance and mechanical properties of wood flour-polypropylene composites. **Construction and Building Materials**, v. 164, p. 370–378, 2018.