

RESSALVA

Atendendo solicitação do(a)
autor(a), o texto completo desta _____
será disponibilizado somente a partir
de 26/03/2023.

LUANA CRISTAL LIRYA SILVA

**Análise das propriedades físico-mecânicas e da variação da temperatura de painéis
MDP produzidos com adição de nanopartículas de Al_2O_3 e CuO**

Luana Cristal Lirya Silva

**Análise das propriedades físico-mecânicas e da variação da temperatura de painéis
MDP produzidos com adição de nanopartículas de Al_2O_3 e CuO**

Dissertação apresentada ao Conselho de Curso
de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da
Faculdade de Engenharia do Campus de
Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista,
para obtenção do título de Mestre em
Engenharia Mecânica - Materiais

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Cristiane Inácio de
Campos

Coorientador: Prof. Dr. Higor Rogério Favarim

Guaratinguetá – SP
2021

S586a	Silva, Luana Cristal Lirya Análise das propriedades físico-mecânicas e da variação da temperatura de painéis MDP produzidos com adição de nanopartículas de Al_2O_3 e CuO / Luana Cristal Lirya – Guaratinguetá, 2021. 90 f : il. Bibliografia: f. 76-82 Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2021. Orientadora: Prof^a. Dr^a. Cristiane Inácio de Campos Coorientador: Prof. Dr. Higor Rogério Favarim 1. Materiais nanoestruturados. 2. Nanopartículas. 3. Eucalipto. 4. Madeira – Propriedades mecânicas. I. Título CDU 620.1(043)
-------	---

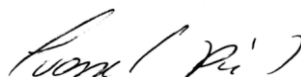
LUANA CRISTAL LIRYA SILVA

ESTA DISSERTAÇÃO FOI JULGADA ADEQUADA PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE

“MESTRE EM ENGENHARIA MECÂNICA”

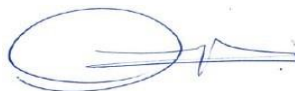
**PROGRAMA: ENGENHARIA MECÂNICA
CURSO: MESTRADO**

APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO



Profa. Dra. Ivonete Avila
Coordenadora

BANCA EXAMINADORA:



Profa. Dra. CRISTIANE INÁCIO DE CAMPOS
Orientador / UNESP/Itapeva

participou por videoconferência



Prof. Dr. JULIANO FIORELLI
USP

participou por videoconferência



Prof. Dr. JULIO CÉSAR MOLINA
UNESP/Itapeva

participou por videoconferência

Março de 2021

DADOS CURRICULARES

LUANA CRISTAL LIRYA SILVA

NASCIMENTO	16.01.1995 – Itapeva / SP
FILIAÇÃO	Altair Braz da Silva Clotilde Maria Lirya Silva
2014/2018	Curso de Graduação em Engenharia Industrial Madeireira - Nível de Bacharelado. Universidade Estadual Paulista – Campus de Itapeva
2019/2021	Curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica - Nível de Mestrado Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá da Universidade Estadual Paulista
2020/2021	Curso técnico em Administração – Centro Estadual de Ensino Paula Souza

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus, que me deu toda sabedoria e conhecimento necessário para chegar até aqui, me iluminando e conduzindo pelos melhores caminhos.

Aos meus pais, Clotilde e Altair, que me deram a estrutura necessária para um bom estudo, sempre oferecendo o melhor de si e fazendo o impossível por mim.

Um agradecimento especial ao meu marido Felipe, pois sem ele nada disso seria possível. Obrigada por guiar meus passos e me mostrar os melhores caminhos. Obrigada pelo auxílio durante toda a produção e análise. Obrigada por me entender e me ajudar em minhas dificuldades. Obrigada especialmente por estar comigo a todo momento, pela sua atenção e paciência.

À minha irmã Amanda, por se preocupar e cuidar de mim, sendo sempre amiga e companheira, e ao meu cunhado Willian pelas risadas e por também ser um bom amigo.

À minha amiga e orientadora Prof. Dr.^a Cristiane pela orientação e por todo suporte durante as pesquisas e nas dificuldades enfrentadas na pandemia. Obrigada por acreditar no meu potencial e especialmente pelo companheirismo e amizade de todos os anos.

Ao meu coorientador, Prof. Dr. Higor, que me ajudou com ideias, produção e análise das nanopartículas.

Ao Prof. Dr. Juliano e seu orientado Wanley que contribuíram com os ensaios realizados;

Às minhas amigas Cláudia, Iliane, Karina e Rosangela, sempre companheiras, e que mesmo distantes, me ajudaram a continuar forte neste ano difícil. Obrigada por todas as conversas, risadas e conselhos!

À UNESP, pela excelência em ensino e estrutura, possibilitando a pós-graduação, e a todos os funcionários da UNESP – Campus de Guaratinguetá, e Campus de Itapeva, em especial ao Prof. Dr. Alexandre e ao técnico Brito e Waldecir, pelo acompanhamento e auxílio nos testes realizados.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior- Brasil (CAPES) - código de financiamento 001, pelo apoio no desenvolvimento das pesquisas e pela concessão de bolsa no período de 01/02/2019 a 30/05/2019.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pela concessão da bolsa de mestrado 2019/02926-4, no período de 01/06/2019 a 31/03/2021, que possibilitou que esse trabalho fosse concretizado.

Agradeço a todos que fizeram e fazem parte da minha vida, e que de maneira direta ou indireta contribuíram para a minha formação pessoal e acadêmica, sem vocês nada disso seria possível. Obrigada!

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior- Brasil (CAPES) - código de financiamento 001.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) - número do processo 2019/02926-4.

“Enquanto puderes erguer os olhos para o céu,
sem medo, saberás que tens o coração puro, e
isto significa felicidade”;

Anne Frank

RESUMO

O segmento de painéis à base de madeira vem crescendo e conquistando espaço desde a sua implantação no Brasil. Porém, inovações são necessárias, buscando sempre pelo melhor desempenho do produto. Atualmente, verifica-se que uma alternativa para melhorar as propriedades dos materiais é o uso da nanotecnologia. Assim, este trabalho teve como objetivo avaliar a influência da adição de nanopartículas de óxido de alumínio (Al_2O_3) e óxido de cobre (CuO) em painéis particulados de madeira de média densidade (MDP) produzidos com resina ureia-formaldeído para verificar a interferência do material adicionado em duas diferentes temperaturas, sendo essas 150 °C e 180 °C, analisando também as propriedades físico-mecânicas do painel, com o intuito de avaliar melhora na variação de temperatura de prensagem e, conseqüentemente, melhor desempenho do painel. Para a produção das nanopartículas foi utilizado o método sol-gel proteico, e para a produção dos painéis foram utilizadas partículas de *Eucalyptus Urophila x Grandis* (6, 9, 16, 35 e 60 mesh), divididas na proporção 25%-50%-25%. Assim, as nanopartículas foram misturadas ao adesivo e esses foram aspergidos nas partículas de madeira, através da encoladeira rotativa. Os painéis foram pré-prensados e em seguida foi realizada a prensagem a quente, onde foi medida a variação da temperatura na camada interna do painel. Os valores encontrados foram comparados com a norma brasileira ABNT NBR 14810-2:2018, europeia EN 312:2003 e com a ANSI 208-1:2016, bem como com trabalhos encontrados na literatura. Os resultados revelaram conclusões promissoras, mostrando que o aumento da temperatura de 150 °C para 180 °C ocasionou melhora em todas as propriedades físico-mecânicas estudadas, e as nanopartículas adicionadas na camada interna melhoram a condutividade térmica, com pouca interferência nas propriedades do painel.

PALAVRAS-CHAVE: Eucalipto. Painel particulado. Caracterização Físico-Mecânica. Temperatura de prensagem. Nanomaterial.

ABSTRACT

The wood-based panel segment has been growing since its implementation in Brazil. Despite the constant expansion of this industry, innovations are necessary, always looking for the best performance of the product. Currently, an alternative to improve the properties of materials is the employment of nanotechnology. Therefore, this study aimed to evaluate the influence of the addition of aluminum oxide (Al_2O_3) and copper oxide (CuO) nanoparticles in medium-density particleboards (MDP) produced with urea-formaldehyde resin, to verify the interference of the material added at two different temperatures, 150 ° C and 180 ° C. Moreover, it was also analyzed the physical-mechanical properties of the panel, to evaluate the improvement in the temperature variation of the pressing and, consequently, the better performance of the panel. For the nanoparticles production, the protein sol-gel method was applied, and to produce the panels, particles of *Eucalyptus Urophila x Grandis* (6, 9, 16, 35, and 60 mesh) were used, in the proportion 25% - 50% - 25%. Thus, the nanoparticles were mixed with the adhesive and these were sprayed onto the wood particles. The panels were pre-pressed and the temperature measurement in the internal layer was performed during hot pressing. The results obtained were compared with the Brazilian standard NBR 14810-2: 2018, European standard EN 312: 2003, and ANSI standard 208-1: 2016, as well as with works found in the literature. The results revealed promising outcomes, showing that the increase in temperature from 150 °C to 180 °C caused an improvement in all the physical-mechanical properties studied, and the nanoparticles added in the internal layer improve the thermal conductivity, with limited interference in the panel properties.

KEYWORDS: Eucalyptus. Particleboard. Physical-Mechanical Characterization. Pressing temperature. Nanomaterial.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Pesquisas referentes a <i>particleboard</i>	17
Figura 2 – Pesquisas referentes a <i>Nanoparticles</i> + Al_2O_3 ; <i>Nanoparticles</i> + CuO ; e <i>Nanoparticle</i> + <i>Heat Transfer</i> , respectivamente	18
Figura 3 - <i>Particleboard</i> + <i>Nanoparticle</i> ; e <i>Particleboard</i> + <i>Nanoparticle</i> + <i>Heat Transfer</i> , respectivamente	19
Figura 4 - Distribuição das camadas do painel MDP	20
Figura 5 - Condutividade térmica para diferentes materiais.....	22
Figura 6 - Método sol-gel proteico para produção de nanopartículas	30
Figura 7 - Produção Brasileira de painéis de madeira reconstituída	30
Figura 8 - Principais produtores mundiais de painéis de madeira em 2018.....	31
Figura 9 - Distribuição geográfica das principais unidades produtoras	32
Figura 10 - Evolução da produção, importação e exportação de painéis de madeira no Brasil.....	32
Figura 11 - Evolução do consumo aparente brasileiro de painéis de madeira	33
Figura 12 - Evolução do consumo aparente brasileiro de painéis de madeira em 2018 e 2019	34
Figura 13 - Preparo das nanopartículas com solução de nitrato: a) Alumínio; b)Cobre	35
Figura 14 - Preparo das nanopartículas: a) Secagem em estufa; b) Queima; c) Calcinação	36
Figura 15 – Preparo das nanopartículas: a) Estágio intermediário durante secagem em estufa; b) Estrutura esponjosa formada	36
Figura 16 - a) Cinzas após a queima; b) Nanopartículas formadas após a calcinação	37
Figura 17 – Produção do painel: Estágios de pulverização do adesivo (a), formação do colchão de partículas (b), pré-prensagem (c) e colchão de partículas (d)	38
Figura 18 - Inserção do termopar na camada central do painel.....	39
Figura 19 - Painel produzidos após a etapa de prensagem a quente.....	39
Figura 20 - Plano de corte.....	40
Figura 21 - Ensaio térmico: Máquina de ensaio (a); Corpo-de-prova coberto com pasta térmica (b); Corpo-de-prova em ensaio (c)	44
Figura 22 - Densitômetro de raio-x	44
Figura 23 - Equipamento utilizado para análise de imagem	45
Figura 24 - Gráfico de interação para resultados de densidade	48
Figura 25 - Gráfico de interação para resultados de teor de umidade	50

Figura 26 - Gráfico de interação para resultados de inchamento 2h	52
Figura 27 - Gráfico de interação para resultados de inchamento 24h	54
Figura 28 - Gráfico de interação para resultados de absorção 2h.....	55
Figura 29 - Gráfico de interação para resultados de absorção 24h.....	57
Figura 30 - Gráfico de interação para resultados de Módulo de Elasticidade (MOE)	58
Figura 31 - Gráfico de interação para resultados de Módulo de Ruptura (MOR).....	60
Figura 32 - Gráfico de interação para resultados de Adesão Interna.....	61
Figura 33 - Gráfico da variação de temperatura de prensagem a 150°C	62
Figura 34 - Gráfico da variação de temperatura de prensagem a 180°C	63
Figura 35 - Gráfico de condutividade térmica x temperatura.....	64
Figura 36 - Gráfico de interação para condutividade térmica (W/mK).....	66
Figura 37 - Perfil de densidade para os painéis prensados a 150 °C	67
Figura 38 - Perfil de densidade para os painéis prensados a 180 °C	67
Figura 39 – Estereoscopia: Sem nanopartículas a 150 °C (a); Sem nanopartículas a 180 °C (b); Al ₂ O ₃ a 150 °C (c); Al ₂ O ₃ a 180 °C (d); CuO a 150 °C (e); CuO a 180 °C (f);	68
Figura 40 - Difratoograma obtido para nanopartículas de Al ₂ O ₃	69
Figura 41 - Difratoograma obtido para nanopartículas de CuO	70
Figura 42 – Micrografia das nanopartículas de Al ₂ O ₃	71
Figura 43 - Micrografia das nanopartículas de CuO	72

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Condutividade térmica de alguns materiais.....	23
Tabela 2 - Resultados obtidos para o ensaio de densidade (kg/m ³).....	47
Tabela 3 - Resultados obtidos para o ensaio de teor de umidade (%)	49
Tabela 4 - Resultados obtidos para o ensaio de inchamento 2h (%)	51
Tabela 5 - Resultados obtidos para o ensaio de inchamento 24h (%)	53
Tabela 6 - Resultados obtidos para o ensaio de absorção 2h (%).....	55
Tabela 7 - Resultados obtidos para o ensaio de absorção 24h (%).....	56
Tabela 8 - Resultados obtidos para o Módulo de Elasticidade - MOE (MPa)	58
Tabela 9 - Resultados obtidos para o Módulo de Ruptura - MOR (MPa).....	59
Tabela 10 - Resultados obtidos para o Adesão Interna (MPa)	61
Tabela 11- Resultados obtidos para condutividade térmica	65

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	OBJETIVOS	16
2.1	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
3.1	PAINÉIS PARTICULADOS DE MADEIRA	19
3.2	PROPRIEDADES DOS PAINÉIS MDP	21
3.3	ÓXIDOS METÁLICOS: Al_2O_3 e CuO	22
3.4	NANOPARTÍCULAS	24
3.5	NANOPARTÍCULAS EM PAINÉIS	24
3.5.1	Nanopartículas de Al_2O_3	26
3.5.2	Nanopartículas de CuO	27
3.6	MÉTODO SOL-GEL-PROTEÍCO	29
3.7	PANORAMA DO MERCADO DE PAINÉIS DE MADEIRA	30
3.8	CONSIDERAÇÕES A RESPEITO DA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	34
4	MATERIAL E MÉTODOS	35
4.1	PREPARO DAS NANOPARTÍCULAS	35
4.2	PRODUÇÃO DOS PAINÉIS	37
4.3	CARACTERIZAÇÃO DOS PAINÉIS	40
4.3.1	Caracterização física	40
4.3.2	Caracterização mecânica	42
4.3.3	Condutividade térmica	43
4.3.4	Perfil de densidade	44
4.3.5	Análise de imagem	45
4.4	CARACTERIZAÇÃO DAS NANOPARTÍCULAS	45
4.5	ANÁLISE ESTATÍSTICA	46
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	47

5.1	ENSAIOS FÍSICOS	47
5.1.1	Densidade	47
5.1.2	Teor de umidade	49
5.1.3	Inchamento em espessura e absorção de água	51
5.1.3.1	Inchamento em espessura após 2 horas	51
5.1.3.2	Inchamento em espessura após 24 horas	53
5.1.3.3	Absorção de água após 2 horas.....	54
5.1.3.4	Absorção de água após 24 horas.....	56
5.2	ENSAIOS MECÂNICOS.....	57
5.2.1	Módulo de Elasticidade - MOE	57
5.2.2	Módulo de Ruptura - MOR	59
5.2.3	Adesão Interna.....	60
5.3	ANÁLISE DA VARIAÇÃO DA TEMPERATURA DE PRENSAGEM.	62
5.4	CONDUTIVIDADE TÉRMICA	65
5.5	PERFIL DE DENSIDADE.....	66
5.6	ANÁLISE DE IMAGEM	68
5.7	CARACTERIZAÇÃO DAS NANOPARTÍCULAS.....	69
6	CONCLUSÕES.....	74
6.1	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	75
	REFERÊNCIAS.....	76
150°C	ANEXO A - Gráficos de variação de temperatura durante a prensagem a	83
180°C	ANEXO B - Gráficos de variação de temperatura durante a prensagem a	84
150°C	ANEXO C - Perfil de densidade dos painéis produzidos sem nanopartículas a	85
180°C	ANEXO D - Perfil de densidade dos painéis produzidos sem nanopartículas a	86

ANEXO E - Perfil de densidade dos painéis produzidos com nanopartículas de Al_2O_3 a 150°C	87
ANEXO F - Perfil de densidade dos painéis produzidos com nanopartículas de Al_2O_3 a 180°C	88
ANEXO G - Perfil de densidade dos painéis produzidos com nanopartículas de CuO a 150°C	89
ANEXO H - Perfil de densidade dos painéis produzidos com nanopartículas de CuO a 180°C	90

1 INTRODUÇÃO

Historicamente, a madeira é utilizada na forma maciça, como vigas e tábuas de grandes dimensões. Porém, com a diminuição da disponibilidade de árvores de grandes diâmetros, e a fim de minimizar algumas limitações e defeitos naturais, esses produtos de madeira reconstituída, produzidos através da utilização de árvores de pequeno diâmetro e de resíduos do processamento primário da madeira, ganham destacado valor (IRLE *et al.*, 2012).

Assim, os painéis se apresentam como alternativas interessantes à madeira maciça, pois podem minimizar os defeitos decorrentes de secagem. Defeitos naturais da madeira como nós, medulas e desvio de grã, além de suas propriedades mecânicas apresentarem valores bastante elevados, evitando também as limitações consequentes das dimensões das peças de madeira serrada, proporcionando menores desperdícios de matéria-prima, sem comprometimento da qualidade final do produto desenvolvido (SILVA, 2017).

Ressalta-se que o Brasil apresenta enorme potencial no setor madeireiro, devido principalmente, à sua abundância territorial, pois possui grande quantidade e qualidade de plantações florestais com crescimento acelerado. As empresas brasileiras de painéis passaram a apresentar grande destaque no setor madeireiro nacional e internacional a partir da necessidade de ampliar o aproveitamento da madeira e com a constante modernização tecnológica ocorrida desde a década de 1990 (MELO, 2009).

De acordo com Lima (2014), diferentes painéis são comercializados atualmente no Brasil, dentre eles: o compensado e LVL (*Laminated Veneer Lumber*); o MDP (*Medium Density Particleboard*) e o OSB (*Oriented Strand Board*); o MDF (*Medium Density Fiberboard*) e o HDF (*High Density Fiberboard*). Dentre os painéis a base de madeira, destacam-se os painéis MDP (SILVA *et al.*, 2020).

De acordo com a norma brasileira ABNT NBR 14810-1:2018, o MDP é um produto em forma de painel, variando de 3 mm a 50 mm de espessura, constituído por partículas de madeira com resinas naturais ou sintéticas termofixas, consolidadas sob a ação de pressão e calor, sendo classificado em média densidade quando essa está entre 551 e 750 kg/m³.

Atualmente, diversas pesquisas vêm sendo desenvolvidas na confecção de chapas de partículas, com o intuito de estudar a viabilidade da fabricação de painéis com relação aos principais fatores, tais como: pressão de compactação, temperatura de prensagem, adesivos, entre outros (AKBULUT e KOÇ, 2006; YEMELE *et al.*, 2008).

Dentre as principais etapas do processo de fabricação está a prensagem a quente, responsável pela cura do adesivo e efetivação da colagem, sendo, portanto, decisiva para a

determinação das propriedades dos painéis (FERRO *et al.*, 2019). Com isso, além da necessidade de desenvolver um material mais sustentável e que atenda tanto às necessidades do segmento industrial como possam garantir a mesma durabilidade e características apresentadas pelos materiais concorrentes, é preciso aprimorar essa importante etapa do processo de fabricação.

Deste modo, com base nas novas tendências tecnológicas, pode-se destacar estudos como o de Durán *et al.* (2006), onde verificaram-se a possibilidade de melhoria da matéria-prima, dos adesivos, dos preservantes e outros aditivos, com a utilização de materiais em escala nanométrica. Segundo os autores, os nanomateriais podem apresentar novos comportamentos e propriedades quando comparados aos de escala macroscópica, podendo de forma promissora, ser facilmente implantados nesse setor.

Uma das formas de obtenção desse material nano particulado é através do processo sol-gel proteico. Segundo Nogueira (2005), esse método consiste na utilização de um precursor proteico, podendo ser a gelatina comestível, a qual de acordo com Porto (2007), possui elevada capacidade de biodegradabilidade.

De acordo com Mantanis e Papadopoulos (2010), o tamanho reduzido das nanopartículas dos compostos nanotecnológicos faz com que elas penetrem profundamente na madeira, alterando efetivamente a química da superfície, resultando em uma elevada proteção contra a umidade.

Diversos pesquisadores dos mais variados países veem estudando a aplicação de nanopartículas em painéis à base de madeira. Alguns estudos apresentam a adição de nanopartículas em resinas ureia-formaldeído, relatando melhoras nas propriedades mecânicas, afetando diretamente o inchamento dos painéis quando em contato com água (ROUMELI *et al.* 2012).

Como mencionado anteriormente, vários estudos têm indicado a viabilidade na adição de nanopartículas aos painéis à base de madeira. No entanto, cabe ressaltar que todos os estudos utilizaram nanopartículas produzidas industrialmente, que tem elevado custo do produto. A proposta no presente estudo foi a adição de nanopartículas de Al_2O_3 e CuO , produzidas em laboratório e com menor impacto ambiental.

6 CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos nos ensaios físicos para caracterização dos painéis, observou-se que as nanopartículas foram menos favoráveis nas propriedades de inchamento em espessura e absorção de água. Nos resultados obtidos para a caracterização mecânica, as melhoras obtidas estão relacionadas ao aumento de temperatura e, não à adição de nanopartículas.

Com relação à análise de variação de temperatura, o aumento da temperatura de 150 °C para 180 °C permitiu que os resultados físico-mecânicos de todos os tratamentos estudados fossem melhores, garantindo que a região mais interna do painel atingisse maior temperatura de polimerização e cura.

A condutividade térmica dos painéis produzidos com nanopartículas se revelou maior do que a dos painéis produzidos sem, entretanto, o aumento da temperatura diminuiu esse efeito. Destaca-se ainda que as nanopartículas utilizadas são óxidos que podem ter proporcionado um efeito refratário, característicos de alguns materiais cerâmicos, portanto, ao trabalhar com nanopartículas de óxidos, especialmente o de alumínio, é preferível optar por menores temperaturas de prensagem, o que é positivo em termos de redução de consumo energético numa etapa cara do processo de produção dos painéis.

Apesar dos resultados de condutividade e análise da temperatura de prensagem sugerirem que, em determinadas situações, as nanopartículas estudadas podem colaborar para uma melhor transferência de calor até a região mais interna do painel, a má interação entre as partículas de madeira e o adesivo, proporcionada pela adição do nanomaterial, sobressaiu-se, ocasionando alguns efeitos negativos observados nas propriedades físico-mecânicas. Esse efeito ocasionado pela adição de nanopartículas pode ser justificado pela interferência na viscosidade do adesivo quando o nanomaterial é adicionado. Novas alternativas de aplicação das nanopartículas devem ser estudadas visando melhores resultados.

As análises de imagem realizadas mostraram uma má interação entre as partículas de madeira, alternando entre concentrações de material e vazios nos painéis produzidos principalmente com nanopartículas, o que também influenciou nas propriedades físico-mecânicas obtidas.

Por fim, a caracterização das nanopartículas indicou a presença de material heterogêneo, com partículas em escala nanométrica, mas também micrométrica, podendo ser responsável por resultados não desejáveis, tendo em vista que a maior parte dos estudos encontrados utilizam nanopartículas comerciais.

6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Tendo em vistas as conclusões obtidas no presente estudo, para trabalhos futuros sugere-se:

- a) Novos métodos para mistura e aplicação das nanopartículas nos painéis, a fim de melhorar a aplicação e interação do adesivo com a madeira.
- b) A adição de nanopartículas em resinas que necessitem de menores temperaturas de prensagem, tal como a resina poliuretana, para que não se sobressaia o efeito refratário presente nas nanopartículas de óxidos.
- c) Utilizar também nanopartículas comerciais, a fim de trabalhar com um nanomaterial mais homogêneo e obter melhores comparações com a literatura.
- d) Estudar o uso de nanopartículas em outras regiões do painel.

REFERÊNCIAS

- AKBULUT, T.; KOÇ, E. The effect of the wood species on the roughness of the surface and profiled areas of medium density fiberboard. **Wood Research**, Bratislava, v. 51, n. 2, p. 77-86, 2006. Available from: <http://www.woodresearch.sk/wr/200602/07.pdf>. Access in: 22 Apr. 2020.
- AKHTARI, M.; TAGHIYARI, H.R.; KOKANDEH, M.G. Effect of some metal nanoparticles on the spectroscopy analysis of Paulownia wood exposed to white-rot fungus. **European Journal of Wood and Wood Products**, Cedar Rapids, v. 71, p. 283-285, 2013. Available from: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00107-013-0676-5>. Access in: 11 May 2019.
- ALFAYA, A; KUBOTA, L. A utilização de materiais obtidos pelo processo de sol-gel na construção de biossensores. **Química Nova**, Campinas, v. 25, n. 5, p. 835-841, 2002. Disponível em: http://static.sites.sbq.org.br/quimicanova.sbq.org.br/pdf/Vol25No5_835_19.pdf. Acesso em: 9 mar. 2020.
- ALLAKER, R. P. Nanoparticles and the control of oral biofilms. **Nanobiomaterials in Clinical Dentistry**, Londres, p. 16-25, 2013. Available from: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815886-9.00010-3>. Access in: 22 Apr. 2020.
- AMERICAN NATIONAL STANDARD INSTITUTE. **ANSI A208-1**: particleboard. Gaithersburg: ANSI, 2016.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM E1530-11**: standard test method for evaluating the resistance to thermal transmission of materials by the guarded heat flow meter technique. West Conshohocken: ASTM, 2011.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 14810-3**: chapas de madeira aglomerada: métodos de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.
- BIAZUS, A.; HORA, A. B; LEITE, B. G. P. **Panorama de mercado**: painéis de madeira. Rio de Janeiro: BNDES, 2019. cap.40, p. 323-384. Disponível em: <https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/3023/1/Panorama%20de%20mercado.pdf>. Acesso em: 20 ago. 2019.
- BINICI, H.; AKSOGAN, O.; DEMIRHAN, C. Mechanical, thermal and acoustical characterizations of an insulation composite made of bio-based materials. **Sustainable Cities and Society**, Amsterdam, v. 20, p.17-26, jan. 2016. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2015.09.004>. Access in: 11 May 2019.
- BONDUELLE, G. M. **Propriedades térmicas da madeira**. Curitiba: UFPR, 2017. Disponível em: <http://www.madeira.ufpr.br/disciplinasghislaine/propriedades-termicas.ppt>. Acesso em: 22 abr. 2020.
- CALLISTER, J. **Ciência e engenharia de materiais**: uma introdução. 5. ed. São Paulo: LTC, 2006.

CARDOSO, G. V.; TEIXEIRA, F. P.; FERREIRA, E. S. Nanocelulose como catalisador de ureia-formaldeído para produção de painéis aglomerados. *In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRAS*, 15., 2016, Curitiba. **Anais [...]**. Curitiba, 2016.

ÇAVUŞ, V.; ŞAHİN, S.; ESTEVES, B.; AYATA, Ü. Determination of thermal conductivity properties in some wood species obtained from Turkey. **Bioresources**, Raleigh, v. 14, n. 3, p.6709-6715, 2019. Available from: <https://doi.org/10.15376/biores.14.3.6709-6715>. Access in: 9 Mar. 2020.

CHANG Y.; ZHANG M.; XIA L.; ZHANG J.; XING G. The toxic effects and mechanisms of CuO and ZnO nanoparticles. **Materials**, Basel, v. 5, n.12, p. 2850-2871, 2012. Available from: <https://doi.org/10.3390/ma5122850>. Access in: 25 May 2019.

CHOI, S. U. S.; ZHANG, Z. G.; YU, W.; LOCKWOOD, F. E.; GRULKE, E. A. Anomalous thermal conductivity enhancement in nanotube suspension. **Applied Physics Letters**, New York, v. 79, p. 2252-2254, 2001. Available from: <https://doi.org/10.1063/1.1408272>. Access in: 11 May 2019.

COTTON, J. Alumina (aluminium oxide): the different types of commercially available grades. **Azo Materials**, Manchester, v. 1, n. 1, p. 1-1, 2002. Available from: <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=1389>. Access in: 22 Apr. 2020.

DAFF, T. D.; SAADOUNE, I.; LISIECKI, I.; LEEUW, N. H. Computer simulations of the effect of atomic structure and coordination on the stabilities and melting behaviour of copper surfaces and nano-particles. **Surface Science**, Amsterdam, v. 603, n. 3, p. 445-454, 2009. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.susc.2008.11.031>. Access in: 20 Aug. 2019.

DEVI, A. B.; MOIRANGTHEM, D.S.; TALUKDAR, N.C.; DEVI, M.D.; MEITRAM, SINGH, N.R.; LUWANG, N.W. Novel synthesis and characterization of CuO nanomaterials: biological applications. **Chinese Chemical Letters**, London, v. 25, n. 12, p. 1615-1619, 2014. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.cclet.2014.07.014>. Access in: 25 May 2019.

DISLICH, H. Glassy and crystalline systems from gels, chemical basis and technical application. **Journal of Non-Crystalline Solids**, Amsterdam, v. 63, p. 237-241, 1984. Available from: [https://doi.org/10.1016/0022-3093\(84\)90402-2](https://doi.org/10.1016/0022-3093(84)90402-2). Access in: 9 Mar. 2020.

DURÁN, N.; MATTOSO, L. H. C.; MORAIS, P. C. **Nanotecnologia: introdução, preparação e caracterização de nanopartículas e exemplos de aplicação**. São Paulo: Artliber Editora, 2006. 208 p.

FERRO, F.S.; ALMEIDA, T.H.; SOUZA, A.M. Paineis híbridos OSB/MDP de madeira *Pinus taeda* e resina poliuretana à base de óleo de mamona. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 19, n. 3, p. 7–14, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s1678-86212019000300320>. Acesso em: 25 maio 2019.

FILPO, G.; PALERMO, A.; RACHIELE, F.; NICOLETTA, F. P. Preventing fungal growth in wood by titanium dioxide nanoparticles. **International Biodeterioration e Biodegradation**, London, v. 85, n. 1, p. 217-222, 2013. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2013.07.007>. Access in: 22 Apr. 2020.

FREEMAN, M.H.; MCINTYRE, C.R. **IRG/WP 13-30609: micronized copperwood preservatives: strong indications of the reservoir effect**. Stockholm: International Research Group on Wood Protection., 2013. Available from: <https://www.irg-wp.com/irgdocs/details.php?96627614-a2bb-ecda-dd36-81bd45879258>. Access in: 20 ago. 2019.

GAIER, M. **Síntese, caracterização e aplicações de alumina**. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Materiais) – Centro de Desenvolvimento Tecnológico, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2015.

GEERS, C.; RODRÍGUEZ-LORENZO, L.; PLACENCIA PEÑA, M.I; BRODARD, P.; VOLKMER, T.; ROTHEN-RUTISHAUSER, B.; PETRI-FINK, A. Visualization of gold/silver nanostars in wood by surface enhanced raman spectroscopy spectroscopy. *In: INTERNATIONAL RESEARCH GROUP ANNUAL MEETING*, 45., Las Vegas, 2014. **Anais [...]**, Las Vegas, 2014. p. 12. Available from: <https://arbor.bfh.ch/id/eprint/7219>. Access in: 11 May. 2019.

GONÇALVES, A. B. **Síntese de nanofios de óxido de cobre (CuO) e fabricação de Nanodispositivos**. 2008. Dissertação (Mestrado em Física) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

GUPTA, A.; KUMAR, A.; SHARMA, K.V.; GUPTA, R. Application of high conductive nanoparticles to enhance the thermal and mechanical properties of wood composite. **Materials Today: proceedings**, Oxford, v. 5, n. 1, p. 3143-3149, 2018. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2018.01.121>. Access in: 20 Jun. 2019.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Cenários Ibá. Estatísticas da indústria brasileira de árvores: IBÁ, [2019]**. Disponível em: https://www.iba.org/datafiles/e-mail-marketing/cenarios/60-cenarios_2.pdf. Acesso em: 22 abr. 2020.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Histórico de desempenho de painéis MDP e MDF. Estatísticas da indústria brasileira de árvores: IBÁ, [2019]**. Disponível em: <https://www.iba.org/historico-de-desempenho#paineis-1>. Acesso em: 13 abr. 2020.

IRLE, M. A.; BARBU, M. C.; REH, R.; BERGLAND, L.; ROWELL, R. M. Wood Composites. *In: ROWELL, R. M. Handbook of wood chemistry and wood composites*. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press, 2012.

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

JESUS, F. A. A. **Desenvolvimento de detectores cerâmicos nanoestruturados de germanato de bismuto**. 2007. Dissertação (Mestrado em Física) – Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2007.

KUMAR, A.; GUPTA, A., SHARMA, K. V.; GAZALI, S. B. **Influence of aluminum oxide nanoparticles on the physical and mechanical properties of wood composites**. *BioResources*, Raleigh, v. 8, n. 4, p. 6231-6241. 2013. Available from: <http://dx.doi.org/10.15376/biores.8.4.6231-6241>. Access in: 14 Oct. 2019.

LANJE, A. S.; SHARMA, S.J.; PODE, R.B.; NINGTHOUJAM, R.S. Synthesis and optical characterization of copper oxide nanoparticles. **Advances in Applied Science Research**, London, v. 1, n. 2, p. 36-40, 2010. Available from: <https://www.imedpub.com/articles/synthesis-and-optical-characterization-of-copper-oxide-nanoparticles.pdf>. Access in: 13 Apr. 2020.

LEHMANN, W.F.; BOONE, R.S. How species and board densities affect properties of exotic hardwood particleboards. **Forest Products Journal**, Peachtree Corners, v. 24, n. 12, p. 37-45, 1973. Disponível em: <https://www.fpl.fs.fed.us/documnts/pdf1974/vital74a.pdf>. Acesso em: 9 mar. 2020.

LIMA, A. M. Utilização de fibras (epicarpo) de babaçu como matéria-prima alternativa na produção de chapas de madeira aglomerada. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 30, n. 4, p. 645- 650, 2006.

LIMA, F. O. **Análise da influência do tempo de prensagem na produção de chapas de partículas produzidas com resíduos de madeira**. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Industrial Madeireira) – Campus Experimental de Itapeva, Universidade Estadual Paulista, Itapeva, 2014.

LIMA, F. O. **Caracterização de painéis MDP com adição de nanopartículas de óxido de zinco**. 2020. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2018.

LIMA, Z. M. F. **Nova rota de síntese de nanopartículas de NiMn_2O_4 usando o método sol-gel protéico**. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência de Materiais) - Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Ceará Centro de Tecnologia, Fortaleza, 2011.

MACEDO, M. A. **Processo de fabricação de camadas finas óxidas utilizando a água de coco processada (ACP)**. Depositante: Universidade Federal de Sergipe. BRPI9804719 B05D 7/24. Depósito: 19 nov. 1998. Concessão: 06 jun. 2000.

MACIEL, A. C.; ROCHA, B.V.; DELLA, R.M.L.; SANTOS, A. P. Chapas de madeira aglomerada produzidas com partículas de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden, poliestireno (PS) e polietileno tereftalato (PET). **Revista Cerne**, Lavras, v. 10, n. 1, p.53-66, 2004. Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=74410106>. Acesso em: 13 abr. 2020.

MALLAKPOUR S.; KHADEM E. Recent development in the synthesis of polymer nanocomposites based on nano-alumina. **Progress in Polymer Science**, London, v. 51, p. 74–93. 2015. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2015.07.004>. Access in: 20 Jun. 2019.

MALONEY, T.M. **Modern particleboard & dry process fiberboard manufacturing**. San Francisco: Miller Freeman Inc. 1993.

MAMANI, J. B. **Estrutura e propriedades de nanopartículas preparadas via sol-gel**. 2009. Tese (Doutorado em Ciências) – Instituto de Física, Universidade Federal de São Paulo, São Paulo, 2009.

MANTANIS, G. I.; PAPADOPOULOS, A. N. Reducing the thickness swelling of wood based panels by applying a nanotechnology compound. **European Journal of Wood and Wood Products**, Secaucus, v. 68, p. 237-239, 2010. Available from: <https://doi.org/10.1007/s00107-009-0401-6>. Access in: 9 Mar. 2020.

MARRA, A.A. **Technology of wood bonding**: principles in practice. New York: Van Nostrand Reinhold, 1992. 453 p.

MARTINS, L. M. F. **Toxicologia de nanomateriais**. 2015. Dissertação (Mestrado em Ciências Farmacêuticas) – Ciências Farmacêuticas, Instituto Superior de Egas Moniz, Almada, 2015.

MATOS, J.L.M. **Ciclo de prensa em chapas de partículas estruturais “waferboards”**. 1988. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1988.

MATOS, J.L.M.; KEINERT JÚNIOR. S. Estudo do ciclo da prensa para produção de painéis *waferboard*. **Revista Floresta**, Rio Negro, v. 18, n. 1, p. 72-78, 2006. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5380/rev.v18i12.6389>. Acesso em: 20 ago. 2019.

MELO, R. R.; SANTINI, E. J.; HASELEIN, C. R.; STANGERLIN, D. M. Propriedades físico-mecânicas de painéis aglomerados produzidos com diferentes proporções de madeira e casca de arroz. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 19, n. 4, p. 449-460, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/19805098899>. Acesso em: 20 jun. 2019.

NOGUEIRA, N. A. S. **Sinterização de nanopartículas de NiO por gelatina comestível**. 2005. Dissertação (Mestrado em Ciência de Materiais) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2005.

OLIVEIRA, G. A. **Síntese e caracterização de nanofluidos de prata**. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2012.

PECHINI, M. P. **Method of preparing lead and alkaline earth titanates and niobates and coating method using the same to form a capacitor**. Depositante: Maggio P. Pechini. US3330697A H01G4/12. Depósito: 11 jul. 1967. Concessão: 20 ago. 1968.

PETERNELA, J.; SILVA, M. F.; VIEIRA, M. F.; BERGAMASCO, R.; VIEIRA, A. M. S. Synthesis and impregnation of copper oxide nanoparticles on activated carbon through green synthesis for water pollutant removal. **Materials Research**, São Carlos, v. 21, n. 1, p. 1980-5373, 2017. Available from: <https://doi.org/10.1590/1980-5373-mr-2016-0460>. Access in: 13 Apr. 2020.

PHIWDANG, K.; SUPHANKIJ, S.; MEKPRASART, W.; PECHARAPA, W. Synthesis of CuO Nanoparticles by precipitation method using different precursors. **Energy Procedia**, Amsterdam, v. 34, p. 740-745, 2013. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2013.06.808>. Access in: 20 Jun. 2019.

PORTO, L. C. **Filmes formados por gelatina e poli(acrilamida-co-ácido acrílico): efeito da composição, do plastificante e agente reticulante nas propriedades térmicas, mecânicas e**

absorção de água. 2007. Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

RANGAVAR, H.; HOSEINY F, M.S. The effect of nanocopper additions in a urea-formaldehyde adhesive on the physical and mechanical properties of particleboard manufactured from date palm waste. **Mechanic of Composite Materials**, New York, v. 51, p. 119–126. 2015. Available from: <https://doi.org/10.1007/s11029-015-9482-y>. Access in: 19 Jul. 2019.

RANGEL, W. M. **Síntese de nanopartículas de óxido de cobre (ii) pelo método de coprecipitação**. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.

RIVERO, S.; GARCIA, M. A.; PINOTTI, A. Correlations between structural, barrier, thermal and mechanical properties of plasticized gelatin films. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, Amsterdam, v. 11, p. 369–375, 2010. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2009.07.005>. Access in: 13 Apr. 2020.

ROUMELI, E.; PAPADOPOULOU, E.; PAVLIDOU, E.; VOURLIAS, G.; BIKIARIS, D.; PARASKEVOPOULOS, K.M.; CHRISAFIS, K.. Synthesis, characterization and thermal analysis of urea–formaldehyde/nanoSiO₂ resins. **Thermochimica Acta**, Amsterdam, v. 527, n. 1, p. 33-39, 2012. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.tca.2011.10.007>. Access in: 9 Jul. 2019.

SABDIN, S. B. **Use of nanoparticle in the wood composite to enhance the heat transfer**. 2010. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) – Faculty of Chemical and Natural Resources Engineering, Universiti Malaysia, Pahang, 2010.

SILVA, D.A.L.; AQUINO, V.B.M.; LAHR, F.A.R. CHRISTOFORO; A.L. Influência dos parâmetros de fabricação nas propriedades físicas e mecânicas de painéis de partícula de média densidade. **Matéria**, Rio de Janeiro, v. 25, n. 1, p. 12580, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s1517-707620200001.0908>. Acesso em: 23 set. 2020.

SILVA, L. C. L. **Influência das nanopartículas de óxido de zinco na transferência de calor e nas propriedades físico-mecânicas dos painéis MDP**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Industrial Madeireira) – Campus Experimental de Itapeva, Universidade Estadual Paulista, Itapeva, 2017.

SILVA, L. C. L.; LIMA, F. O.; CAMPOS, C. I. Análise das propriedades físicas de painéis MDP com quatro diferentes tempos de prensagem. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURA DE MADEIRAS, 15., 2016, Curitiba. **Anais [...]**. Curitiba, mar. 2016.

SILVA, R.S.; MACEDO, Z.S.J; Al₂O₃-based pigments synthesized by a new proteic sol–gel method. **Thermal analysis calorimetry**, Budapest, v. 103, n. 2, p. 587-590, 2011. Available from: <https://doi.org/10.1007/s10973-010-1028-x>. Access in: 9 mar. 2020.

SOARES, E.A. **Óxidos metálicos e interfaces metal-óxido**. Universidade Federal de Minas Gerais, [2003]. Disponível em: <http://lilith.fisica.ufmg.br/~surf/pesquisa/oxidos/> Acesso em: 10 jun. 2020.

STOIMENOV, P.K; KLINGER, R.L; MARCHIN, GL; KLABUNDE, KJ. Metal oxide nanoparticles as bactericidal agents. *Langmuir*, Washington, v. 18, n. 17, p. 6679-6686, 2002. Available from: <http://dx.doi.org/10.1021/la0202374>. Access in: 9 Jul. 2019.

TAGHIYARI, H. R.; BIBALAN, O. F. Effect of copper nanoparticles on permeability, physical and mechanical properties of particleboard. **European Journal of Wood and Wood Products**, Secaucus, v.71, n.1, p. 69-77, 2013. Available from: <https://doi.org/10.1007/s00107-012-0644-5>. Access in: 20 Aug. 2019.

TAGHIYARI, H. R.; MORADI-MALEK, B.; KOOKANDEH, M. G.; BIBALAN, O. F. Effects of silver and copper nanoparticles in particleboard to control *Trametes versicolor* fungus. **International Biodeterioration e Biodegradation**, London, v. 94, p. 69-72, 2014. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2014.05.029>. Access in: 23 Sep. 2020.

TAGHIYARI, H. R.; RANGAVAR, R; BIBALAN, O. F. Effect of nano-silver on reduction of hot-pressing time and improvement in physical and mechanical properties of particleboard. **BioResources**, Raleigh, v. 6, n. 4, p. 4067-4075, 2011. Available from: https://ojs.cnr.ncsu.edu/index.php/BioRes/article/view/BioRes_06_4_4067_NanoSilver_HotPressTime_Particleboard. Access in: 11 May. 2019.

TAGUSAGAWA, C.; TAKAGAKI, A.; IGUCHI, A.; TAKANABE, K.; KONDO, J.N.; Ebitani, K. Highly active mesoporous Nb-W oxide solid-acid catalyst. **Angewandte Chemie**, Weinheim, v. 49, n. 6, p. 1128–1132, 2010. Available from: <https://doi.org/10.1002/anie.200904791>. Access in: 20 ago. 2019.

TANGERINO, C. M. B. **Síntese e aplicação de partículas de vidro alumino-boro-silicato em resinas fotocuráveis**. 2010. Dissertação (Mestrado em Ciências em Materiais para Engenharia) – Departamento de Materiais para Engenharia, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2010.

TOMAZELLO FILHO, M.; BELINI, U. L.; OLIVEIRA, J. T. S.; GONÇALVES, F. G. Avaliação tecnológica da madeira e de painéis MDF de eucalipto por densitometria de raios X. **Madeira: Arquitetura e Engenharia**, São Carlos, v. 11, n. 27, p. 45-58, 2010. Disponível em: http://madeira.set.eesc.usp.br/article/view/127/pdf_113. Acesso em: 9 mar. 2020.