

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
CENTRO DE ENGENHARIAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA INDUSTRIAL MADEIREIRA



Trabalho de Conclusão de Curso

UTILIZAÇÃO DA CASCA DE *Acacia mearnsii* de Wild. PARA PRODUÇÃO DE OSB COM MADEIRA DE PINUS EM DIFERENTES COMPOSIÇÕES DE CAMADAS E INCORPORAÇÃO DE NANOFIBRILAS DE CELULOSE

Arthur Garcia Lucas

Pelotas, 2019

Arthur Garcia Lucas

UTILIZAÇÃO DA CASCA DE *Acacia mearnsii* de Wild. PARA PRODUÇÃO DE OSB COM MADEIRA DE PINUS EM DIFERENTES COMPOSIÇÕES DE CAMADAS E INCORPORAÇÃO DE NANOFIBRILAS DE CELULOSE

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

Orientadora: Érika da Silva Ferreira

Pelotas, 2019

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas
Catalogação na Publicação

L933u Lucas, Arthur Garcia

Utilização da casca de *Acacia Mearnsii* de Wild para produção de OSB com madeira de pinus em diferentes composições de camadas e incorporação de nanofibrilas de celulose / Arthur Garcia Lucas ; Erika da Silva Ferreira, orientadora. — Pelotas, 2019.

65 f.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Industrial Madeireira) — Centro de Engenharias, Universidade Federal de Pelotas, 2019.

1. Oriented Strand Board. 2. Acácia-negra. 3. Nanocelulose. I. Ferreira, Erika da Silva, orient. II. Título.

CDD : 674

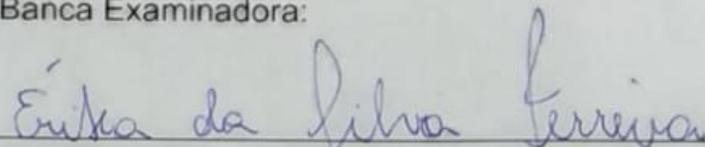
Arthur Garcia Lucas

UTILIZAÇÃO DA CASCA DE *Acacia mearnsii* de Wild. PARA PRODUÇÃO DE OSB COM MADEIRA DE PINUS EM DIFERENTES COMPOSIÇÕES DE CAMADAS E INCORPORAÇÃO DE NANOFIBRILAS DE CELULOSE

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

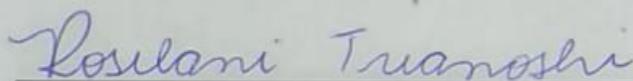
Data da Defesa: 17 de junho de 2019.

Banca Examinadora:



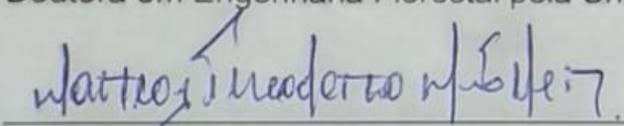
Prof^a. Dr^a. Érika da Silva Ferreira (Orientadora)

Doutora em Engenharia Florestal pela Universidade Federal do Paraná.



Prof^a. Dr^a. Rosilani Trianoski (Segunda Examinadora)

Doutora em Engenharia Florestal pela Universidade Federal do Paraná.



Prof. Ms. Marcos Theodoro Müller (Terceiro Examinador)

Mestre em Engenharia Florestal pela Universidade Federal de Santa Maria.

Nota do Autor

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

Dedico aos meus pais Eliomar e Margolene e
à minha irmã Fernanda.

AGRADECIMENTOS

Agradeço inicialmente aos meus pais Eliomar e Margolene por todo amor, paciência, incentivo e esforço que tiveram para que eu alcançasse esse objetivo.

À minha irmã Fernanda por todo o apoio, carinho e amizade de sempre.

Agradeço à Universidade Federal de Pelotas e ao curso de Engenharia Industrial Madeireira por proporcionarem todo o suporte para o meu aprendizado.

As empresas LP Brasil e Hexion Química do Brasil pela cessão do material utilizado para a produção dos painéis.

A todos os professores e funcionários do curso de Engenharia Industrial Madeireira que fizeram parte da minha vida acadêmica.

A professora Érika da Silva Ferreira pela orientação, paciência e ensinamentos durante esses anos de graduação e principalmente nesse projeto.

A professora e coordenadora do curso Merielen de Carvalho Lopes por todo o esforço para que eu atingisse esta etapa do curso.

A técnica Cíntia Boldt Souza por toda a amizade, suporte e conselhos tanto para a execução do projeto como para vida.

Aos colegas e amigos Vinícius Nagatomo Macedo, Laíse Vergara Nörnberg e Kelvin Techera Barbosa pela ajuda em algumas etapas do projeto e companheirismo durante todo o tempo de curso.

Enfim, a todos aqueles que participaram de forma direta ou indireta para a realização deste trabalho, minha gratidão eterna.

Resumo

LUCAS, Arthur Garcia. **Utilização da casca de *Acacia mearnsii* de Wild. para produção de OSB com madeira de pinus em diferentes composições de camadas e incorporação de nanofibrilas de celulose.** 2019. 65f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Industrial Madeireira) – Curso de Engenharia Industrial Madeireira, Centro de Engenharias, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2019.

No Brasil os painéis *Oriented Strand Board* (OSB) ainda ocupam pouco espaço no mercado em comparação com painéis já consolidados como compensados, MDP e MDF, pois apenas uma indústria realiza sua produção em larga escala. Nesse contexto o objetivo do presente estudo foi a produção e avaliação de painéis de partículas orientadas (OSB), com madeira de *Pinus* spp. e diferentes composições em camadas face-miolo-face. Foram adotadas as proporções 30:40:30, 25:50:25, 20:60:20 e 15:70:15, onde o colchão de partículas foi gerado com 3 camadas perpendicularmente dispostas. Para cada composição foram produzidas três chapas, totalizando doze originados na primeira etapa. As chapas foram produzidas com densidade nominal de 0,75g/cm³, 8% de resina fenol-formaldeído e prensados a uma temperatura de 180°C, pressão específica de 40 kgf/cm³, por um período de 7 minutos. A segunda etapa consistiu na produção de painéis OSB, a partir da melhor composição em camadas encontradas na primeira etapa, com inclusão de casca de acácia no miolo da chapa (40%), além da incorporação de 1% nanofibrilas de celulose com concentração de 2% na resina fenólica. Os painéis produzidos na segunda etapa seguiram os mesmos parâmetros empregados anteriormente em relação a densidade nominal, teor de resina aplicada e ciclo de prensagem. Para a determinação das propriedades físicas e mecânicas dos painéis foram realizados os ensaios de densidade aparente, teor de umidade, inchamento em espessura, absorção de água, flexão estática, resistência à tração perpendicular e dureza janka de acordo com as especificações da norma europeia e americana. Os resultados demonstraram que a composição 30:40:30 foi superior para praticamente todas as propriedades avaliadas. Já os painéis OSB produzidos com casca de acácia apresentaram resultados satisfatórios para o ensaio de flexão estática (MOR e MOE), mostrando-se mais resistente mecanicamente em comparação com o painel constituído com 100% de madeira. Entretanto, a inclusão de nanofibrilas de celulose na resina fenol-formaldeído ocasionou alterações nas propriedades físicas e mecânicas dos painéis.

Palavras-chave: *Oriented Strand Board*; acácia-negra; nanocelulose.

Abstract

LUCAS, Arthur Garcia. **Use of the bark of *Acacia mearnsii* de Wild. for production of OSB with pine in different layer compositions and incorporation of cellulose nanofibrils.** 2019. 65f. Final Paper (Bachelor's Degree in Wood Industrial Engineering) – Course in Wood Industrial Engineering, Engineering Center, Federal University of Pelotas, Pelotas, 2019.

In Brazil, Oriented Strand Board (OSB) panels still occupy little space in the market compared to panels already consolidated as plywood, MDP and MDF, because only one industry produces on a large scale. In this context, the objective of this study was the production and evaluation of Oriented Particle Board (OSB), with *Pinus* spp. wood and different compositions in face-to-face layers. The proportions 30:40:30, 25:50:25, 20:60:20 and 15:70:15 were adopted, where the particle mattress was generated with 3 layers perpendicularly arranged. For each composition, three plates were produced, totaling twelve originated in the first stage. The plates were produced with a nominal density of 0.75 g/cm³, 8% phenol-formaldehyde resin and pressed at a temperature of 180°C, specific pressure of 40 kgf/cm³, for a period of 7 minutes. The second step consisted in the production of OSB, from the best layered composition found in the first step, with inclusion of acacia bark in the core of the plate (40%), in addition to the incorporation of 1% cellulose nanofibrils with a concentration of 2% in the phenolic resin. The panels produced in the second stage followed the same parameters used previously in relation to nominal density, resin content applied and pressing cycle. To determine the physical and mechanical properties of the panels, tests were performed for apparent density, moisture content, swelling in thickness, water absorption, static flexion, perpendicular tensile strength and janka hardness in accordance with the specifications of the European and American standards. The results showed that the 30:40:30 composition was superior for practically all the properties evaluated. On the other hand, the OSB panels produced with acacia bark presented satisfactory results for the static bending test (MOR and MOE), showing to be more mechanically resistant in comparison with the panel made of 100% wood. However, the inclusion of cellulose nanofibrils in the phenol-formaldehyde resin caused changes in the physical and mechanical properties of the panels.

Key-words: *Oriented Strand Board*; black wattle; nanocellulose.

Lista de Figuras

Figura 1 - Distribuição Espacial da Silvicultura de Acácia-negra no estado do Rio Grande do Sul.....	19
Figura 2 - Classificação dos painéis de compósitos de madeira por matéria prima, densidade e processo produtivo	20
Figura 3 - Disposição em camadas dos painéis <i>Oriented Strand Board</i> (A) e <i>Waferboard</i> (B).....	22
Figura 4 - Processo produtivo das chapas OSB.....	23
Figura 5 - Encoladeira de Partículas.	34
Figura 6 – Caixa Formadora e Formação do colchão de partículas.....	35
Figura 7 - Prensagem e acondicionamento dos painéis.....	35
Figura 8 – Layout de corte do painel: A) esquadrejamento; B) corte dos corpos de prova.....	36

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Classificação dos painéis de madeira aglomerado	21
Tabela 2 - Classificação dos adesivos	26
Tabela 3 - Classificação para adesivos quanto ao ambiente.....	26
Tabela 4 - Tipos de Nanocelulose	29
Tabela 5 - Propriedades da resina fenol-formaldeído	31
Tabela 6 - Delineamento da incorporação de nanofibrilas na resina	31
Tabela 7 - Delineamento primeira etapa	33
Tabela 8 - Delineamento segunda etapa	33
Tabela 9 - Normas utilizadas para avaliação das propriedades dos painéis OSB	36
Tabela 10 - Parâmetros de Qualidade da resina Fenol-formaldeído com inclusão de nanocelulose	38
Tabela 11 - Teor de Umidade, Densidade, Inchamento em Espessura e Absorção de Água	39
Tabela 12 - Inchamento em Espessura e Absorção de Água para diferentes proporções face-miolo-face	40
Tabela 13 - Módulo de Ruptura (MOR) e Módulo de Elasticidade (MOE).....	41
Tabela 14 - Resistência à Tração Perpendicular e Dureza Janka.....	43
Tabela 15 - Teor de Umidade, Densidade, Inchamento em Espessura e Absorção de Água	44
Tabela 16 - Módulo de Ruptura (MOR).....	45
Tabela 17 - Resistência à Tração Perpendicular	46

Lista de Equações

Equação 1	32
Equação 2	32
Equação 3	32

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	14
2	OBJETIVO.....	16
2.1	Objetivo Geral.....	16
2.2	Objetivos Específicos.....	16
3	REVISÃO DE LITERATURA.....	17
3.1	<i>Pinus</i> spp.....	17
3.2	Acácia-negra (<i>Acacia mearnsii</i> De Wild.).....	18
3.3	Painéis de Madeira Reconstituída.....	19
3.3.1	<i>Oriented Strand Board</i>	21
3.4	Adesivos.....	25
3.4.1	Fenol-formaldeído.....	27
3.5	Nanocelulose.....	28
3.5.1	Obtenção da Nanocelulose.....	28
3.5.2	Tipos de Nanocelulose.....	29
4	MATERIAL E MÉTODOS.....	30
4.1	Matéria-prima.....	30
4.2	Métodos.....	31
4.2.1	Incorporação de nanofibrilas na resina.....	31
4.2.2	Avaliação da Qualidade do Adesivo.....	31
4.2.2.1	Teor de Sólidos.....	31
4.2.2.2	Densidade.....	32
4.2.2.3	Viscosidade.....	32
4.2.2.4	Tempo de Formação de Gel.....	32
4.2.3	Produção dos Painéis.....	33
4.2.4	Propriedades Físicas e Mecânicas.....	36

4.2.5	Análise Estatística	37
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	38
5.1	Parâmetros de Qualidade da resina Fenol-formaldeído com inclusão de nanocelulose	38
5.2	Primeira Etapa.....	39
5.2.1	Propriedades Físicas	39
5.2.2	Propriedades Mecânicas.....	41
5.3	Segunda Etapa.....	43
5.3.1	Propriedades Físicas	44
5.3.2	Propriedades Mecânicas.....	45
6	CONCLUSÃO	47
	Referências	48
	Apêndices	54

1 INTRODUÇÃO

Produtos gerados da atividade florestal, através da exploração da madeira como matéria-prima, acabaram por tornar a atividade autossustentável, uma vez que o recurso madeireiro é renovável e o consumo de energia para elaboração de produtos é menor em relação a produtos gerados com ferro, aço, etc. Devido a alta diversidade da indústria madeireira, alguns setores destacam-se de forma mais expressiva, como a produção de chapas de composição, abrangendo a produção de aglomerados, fibras e compensados (MATOS, 1997).

A colagem da madeira contribui de forma direta na conservação de recursos florestais, tendo em vista a possibilidade de aproveitamento integral da madeira, através da utilização de pequenos elementos de madeira de forma e dimensões variadas e posterior reconstituição em diversos tipos de produtos reconstituídos de madeira (IWAKIRI, 2005).

A substituição de madeira maciça por seus derivados continua crescendo e, com isso, aumentando o consumo de adesivos sintéticos. De acordo com Motta et al. (2014), são classificados como adesivos termofixos aqueles que curam pela ação de calor e/ou de catalisador, onde destaca-se as resinas fenólicas e ureicas.

Na década de 70, nos Estados Unidos e no Canadá, teve-se o início da produção de painéis de partículas orientadas, sendo considerado um produto de segunda geração de painéis estruturais do tipo *walferboard*. Apenas em 2002, quando recebeu sua primeira unidade industrial, no estado do Paraná, com capacidade de 350.000 m³/ano, o Brasil começou a produzir painéis do tipo OSB (SALDANHA & IWAKIRI, 2009).

O *Oriented Strand Board* (OSB) é um painel de madeira reconstituída com partículas orientadas, finas e longas, do tipo *strand*, consolidadas pelo uso de resinas, pressão e calor. O painel do tipo OSB a camada interna tem-se o alinhamento perpendicular à direção de formação do painel, enquanto que nas camadas externas o alinhamento é paralelo (HELLMEISTER, 2017).

No país, a utilização de madeira reflorestada para construção civil enfrenta grandes desafios frente a outros tipos de madeira, onde sua utilização está apenas para formas de concreto e escoras, devido ao fato desse material ser considerado frágil (SANTOS & AGUILAR, 2007).

O principal objetivo do reflorestamento da madeira de acácia (*Acacia*

mearnsii) é a extração da casca para produção de tanino (CALDEIRA; RONDON NETO; SCHUMACHER, 2002). De acordo com Venter et al. (2012), a casca das árvores de acácia negra cultivadas comercialmente é colhida, extraída com água quente e, em seguida, seca por pulverização para obter um extrato de acácia em pó ou concentrada para obter um produto sólido/bloco após arrefecimento.

Com o avanço tecnológico no segmento de nanomateriais a nanocelulose tem posição de destaque atualmente por apresentar propriedades e desempenhos com potenciais superiores às das fibras convencionais de celulose (SIQUEIRA, BRAS & DUFRESNE, 2010). A utilização desse material como reforço em adesivos empregados para produção de compósitos base madeira vem sendo cada vez mais estudada no Brasil e exterior apresentando propriedades satisfatórias nos painéis (VEIGEL et al. 2012; CARDOSO et al., 2016; MORAIS JÚNIOR, 2017).

2 OBJETIVO

2.1 Objetivo Geral

O estudo tem como objetivo geral testar a utilização casca de acácia negra (*Acacia mearnsii* de Wild.) para produção de OSB (*Oriented Strand Board*) com madeira de pinus em diferentes composições de camadas e incorporação de nanofibrilas de celulose, com finalidade de uso estrutural em ambientes intermediários e externos.

2.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar e avaliar as propriedades do adesivo termofixo fenol- formaldeído com a incorporação de nanofibrilas de celulose;
- Produzir em escala piloto painéis OSB constituídos com diferentes proporções entre as camadas da madeira de pinus no sentido de orientação face- miolo-face;
- Produzir em escala piloto painéis OSB com adição de casca de acácia na sua composição (miolo) e inclusão de nanofibrilas de celulose na resina Fenol-formaldeído;
- Determinar e avaliar as composições em camadas dos painéis OSB e efeito da incorporação da casca de acácia negra e nanofibrilas de celulose nas propriedades físicas e mecânicas das chapas de acordo com especificações das normas europeia (EN) e americana (ASTM).

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 *Pinus* spp.

O gênero *Pinus*, pertencente à família *Pinaceae*, é composto por plantas lenhosas, geralmente arbóreas, possuindo uma variação de altura entre 3 e 50m. Possui tronco reto, em formato cilíndrico, com a copa em formato de cone, folhas em formato de acículas, agrupadas em fascículos. A madeira de pinus apresenta massa específica na faixa de 400 a 520 kg/m³, a 15% de umidade (LIMA, JARÁ e ALFONSO, 1988 *apud* VILLAS-BÔAS, 2016).

O pinus é um dos mais importantes tipos de árvores sendo utilizadas para plantações de florestas no Brasil, devido a sua versatilidade, rusticidade e adaptabilidade, além de seu primoroso ritmo de crescimento acompanhado à qualidade da madeira e dos produtos originados a partir dela, culmina para o sucesso do cultivo de pinus no país (FOELKEL; FOELKEL, 2008).

Originário da América do Norte e América Central, o gênero pinus, no Brasil a partir dos anos 40, foi primeiramente plantado na região Sul do país, especialmente *Pinus elliottii* e *Pinus taeda*. Em decorrência do plantio, ocorreu crescimento de fábricas e indústrias do segmento de celulose, papel, serrarias e moveis, etc. (GEORGIN, 2014).

Segundo Schroeder (2017), no Brasil, as florestas de pinus ocupam em torno de 1,52 milhões de hectares, onde aproximadamente 85% dos plantios localizam-se na região sul do país (Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul), devido às condições climáticas e a concentração das principais indústrias de processamento desse tipo de madeira. Entretanto, a produtividade média desse gênero encontra-se em decréscimo devido ao fato que o pinus vem sendo substituído pelo cultivo do gênero eucalipto.

Os povoamentos de *Pinus* spp., originados de plantios de reflorestamento, desenvolvem-se de maneira rápida até uma idade de 7 a 11 anos, onde nesse período as árvores iniciam uma intensa competição por nutrientes, água e luz. Nessa ocasião ocorre o primeiro desbaste para garantir que as árvores remanescentes se desenvolvam da melhor maneira possível (FOELKEL, 1975).

Para a produção de painéis de madeira reconstituída, o gênero pinus apresenta grande potencial pois a flexibilidade e planicidade das partículas geradas, especialmente as de maiores dimensões (“*wafer*” e “*strand*”) favorecendo o método de aplicação da resina, formação do colchão de partículas e área de contato entre as partículas (GORSKI, 2014).

3.2 **Acácia-negra** (*Acacia mearnsii* De Wild.)

Natural da Austrália, a *Acacia mearnsii*, ou acácia-negra, foi introduzida no estado do Rio Grande do Sul em 1918 e desde então tem sido cultivada de forma ampla por indústrias com o intuito de extrair o tanino, obtido da casca, pelas fábricas de celulose, carvão, entre outras (FINGER et al., 2000).

A *Acacia mearnsii* De Wild, é uma árvore de médio porte, na faixa de 10 a 30 metros de altura, com a copa arredondada e casca na coloração castanho-escuro, dividida em placas pequenas e dotada de uma riqueza em tanino (MÜLLER, 2006).

A casca é um dos produtos fundamentais originados das árvores de *Acacia mearnsii* De Wild. Essa espécie é tradicionalmente conhecida pela qualidade da sua casca, onde são extraídos os taninos, amplamente utilizados no setor coureiro e na indústria de adesivos e flocculantes para tratamento de água e efluentes (AGEFLOR, 2017). O mesmo autor ainda menciona, que a produção de casca de acácia, para a extração de tanino, concentra-se quase em sua totalidade no estado do Rio Grande do Sul, onde no ano de 2016 foram geradas em torno de 230 mil toneladas de casca de acácia no estado.

Como exemplifica a Figura 1, a distribuição espacial da silvicultura de acácia-negra no estado do Rio Grande do Sul está concentrada fortemente na zona Sul do estado. Em contrapartida, não há registro de plantio da espécie na região norte do estado.

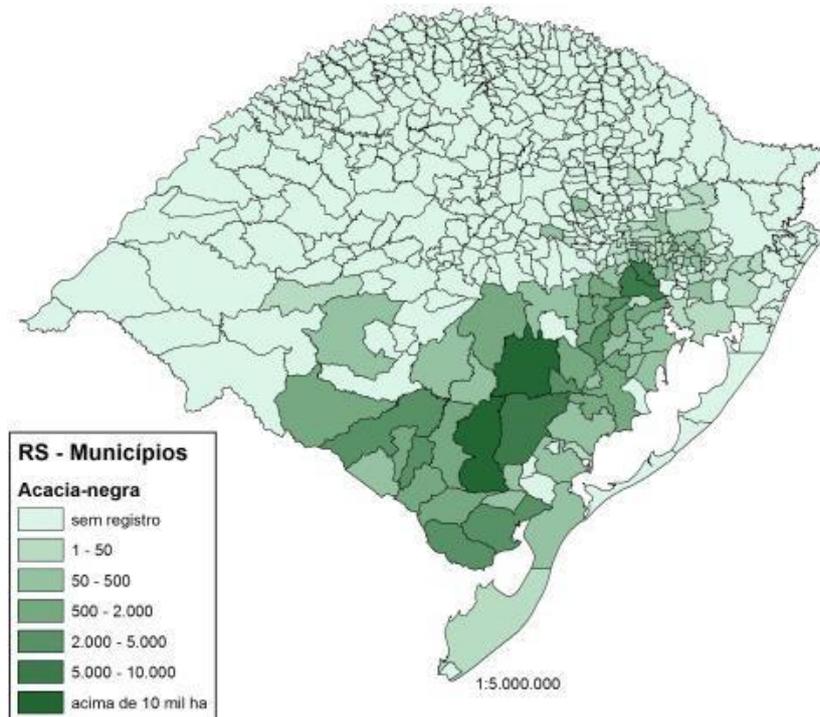


Figura 1 - Distribuição Espacial da Silvicultura de Acácia-negra no estado do Rio Grande do Sul.
Fonte: AGEFLOR, 2017.

3.3 Painéis de Madeira Reconstituída

Os painéis de madeira reconstituída são formados a partir da transformação de toras de madeira em placas de estrutura organizada, onde o material lenhoso é aglutinado com resinas sintéticas ou naturais por meio de pressão e temperatura (KATSUKAKE, 2009).

Segundo Souza (2016), os painéis à base de partículas madeira surgiram na Alemanha, durante a Segunda Guerra Mundial no início da década de 40 como forma de viabilizar o uso de resíduos de madeira, devido à dificuldade de se obter árvores com diâmetros e qualidades para produção de painéis compensados.

De acordo com Antunes (2017), a principal vantagem dos painéis reconstituídos de madeira é a aplicação como substitutos da madeira sólida, uma vez que a madeira sólida apresenta alto valor de mercado e dimensões limitadas.

Para Bodig e Jayne (1982) *apud* Bronoski (2007) os compostos formados a partir de madeira reconstituída, podem ser classificados em dois grupos:

- **Compostos Laminados:** originam-se a partir da colagem de lâminas contínuas em produtos como compensados multilaminados e sarrafeados, painéis de lâminas paralelas, vigas laminadas, etc.;

- **Compostos Particulados:** são aqueles que utilizam elementos de madeira em pequenas dimensões – partículas e fibras – e possuem por característica uma estrutura descontínua, como chapas de madeira aglomerada, chapas de fibras, etc.

Suchsland e Woodson (1986), observaram e classificaram os principais tipos de painéis de madeira reconstituída de acordo quanto a sua matéria-prima, processo de produtivo e massa específica (Figura 2).

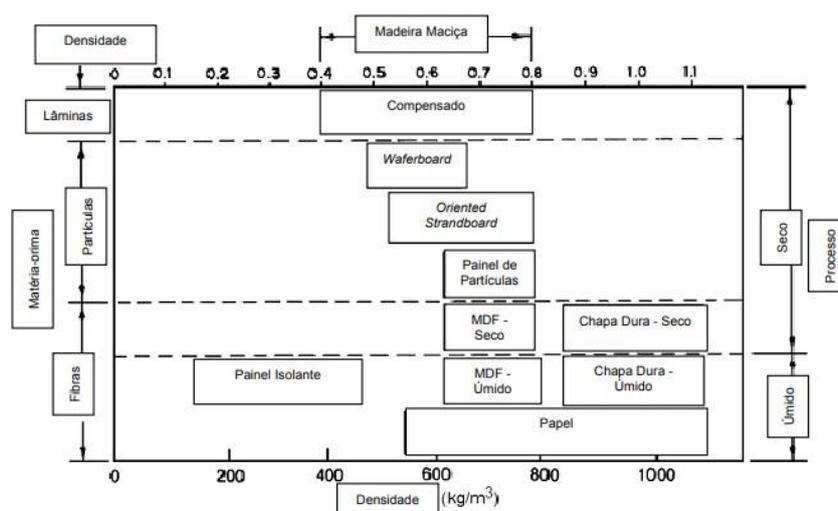


Figura 2 - Classificação dos painéis de compostos de madeira por matéria prima, densidade e processo produtivo.

FONTE: Adaptado SUCHSLAND & WOODSON (1986) *apud* FERREIRA (2010).

De acordo com a ABRAF (2013), o mercado de painéis de madeira encontra-se em franca expansão. Entre os anos de 2002 e 2012, a produção anual de painéis cresceu de 3,1 milhões de toneladas para 7,3 milhões, representando um crescimento médio anual de 8,9%. Ao mesmo tempo, o consumo anual de painéis de madeira também apresentou um crescimento elevado, passando de 2,8 milhões de toneladas para 7,2 milhões, com incremento médio de 9,9% ao ano.

Os painéis de madeira reconstituída apresentam basicamente duas classificações quanto a sua aplicação: produtos de uso interior e de uso exterior. Os painéis para uso em interiores são aqueles que são apropriados à utilização em ambientes fechados de construções ou residências, onde não há interferência direta de intempéries, havendo controle de umidade e de temperatura. Já os compostos de uso em exteriores são utilizados em ambientes onde há uma clara variação de temperatura e umidade, como exemplo ação de chuvas e ventos (OLIVEIRA, 2014). Devido a isso, os painéis utilizados em meios externos são mais suscetíveis ao

ataque de agentes biodegradadores, fungos e insetos, o que pode vir a ocasionar perdas de resistências físicas e mecânicas no painel.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas, de acordo com a ABNT NBR 14810-1:2013, define chapas de madeira aglomeradas como um produto em forma de painel, constituído por partículas de madeira aglomerada, onde a geometria das partículas, os tipos de adesivos, a densidade e o processo produtivos podem ser adequados para determinado uso final.

Segundo Melo (2009), os aglomerados podem ser produzidos a partir de qualquer material de origem lignocelulósica desde que sejam atribuídos ao painel alta resistência mecânica e massa específica estabelecida.

De acordo com Katsukake (2009), a estrutura de um painel aglomerado é dividida em três camadas, sendo utilizadas partículas de maior geometria na camada interna (miolo) e partículas de menor geometria na camada externa (face).

Para Iwakiri (2005), os painéis aglomerados podem ser classificados com base na densidade, tipos de partículas e sua distribuição, como mostra a Tabela 1.

Tabela 1 - Classificação dos painéis de madeira aglomerado

Densidade	Tipos de Partículas	Distribuição das partículas na chapa
Baixa (até 0,59 g/cm ³)	Convencional "Sliver"	Homogênea
Média (de 0,60 a 0,79 g/cm ³)	Flakeboard "Flaker"	Camadas Múltiplas
Alta (acima de 0,8 g/cm ³)	Waferboard "Wafer" Strandboard "Strand"	Camadas Graduadas Partículas Orientadas

Fonte: Adaptado Iwakiri (2005).

3.3.1 Oriented Strand Board

O painel de partículas orientadas, de acordo com Tsoumis (1991), é um painel de madeira reconstituída, geralmente formado por três camadas de partículas, onde que na camada interna o alinhamento é perpendicular à direção de formação da chapa, de modo que o alinhamento nas camadas externas é paralelo.

Os painéis OSB fazem parte da segunda geração do painel para fins estruturais "waferboard". Os painéis "waferboard" e OSB possuem algumas diferenças entres si, onde a principal divergência consiste na dimensão das partículas utilizadas, onde as partículas denominadas "wafer" são mais curtas do que as partículas do tipo "strand" utilizadas na fabricação de *Oriented Strand Board* (GORSKI, 2014).

Os painéis “*waferboard*” e “*strandboard*” possuem outra diferença significativa no seu processo produtivo no que se refere a orientação e formação do colchão (Figura 3), onde o primeiro as partículas são distribuídas aleatoriamente em uma camada homogênea. Já os painéis OSB, como mencionado anteriormente, as camadas internas podem apresentar alinhamento perpendicular à direção de formação das camadas externas.

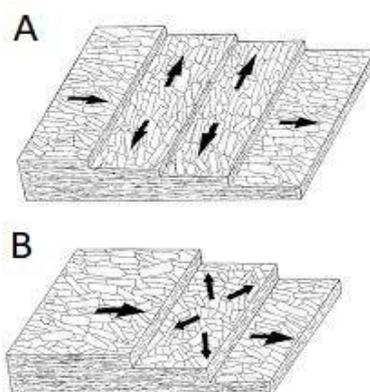


Figura 3 - Disposição em camadas dos painéis *Oriented Strand Board* (A) e *Waferboard* (B).
Fonte: HIZIROGLU, 2017.

Durante o processo produtivo de chapas de *Oriented Strand Board* há o melhor aproveitamento das toras de madeira, pois o OSB utiliza 96% da madeira contra 56% do compensado, permitindo a otimização de custos e tornando-o ecologicamente eficiente (EISFELD; BERGER, 2012). Cloutier (1998) *apud* Saldanha (2004), descreve que o processo produtivo a nível industrial das chapas OSB divide-se em onze etapas, como mostra a Figura 4.

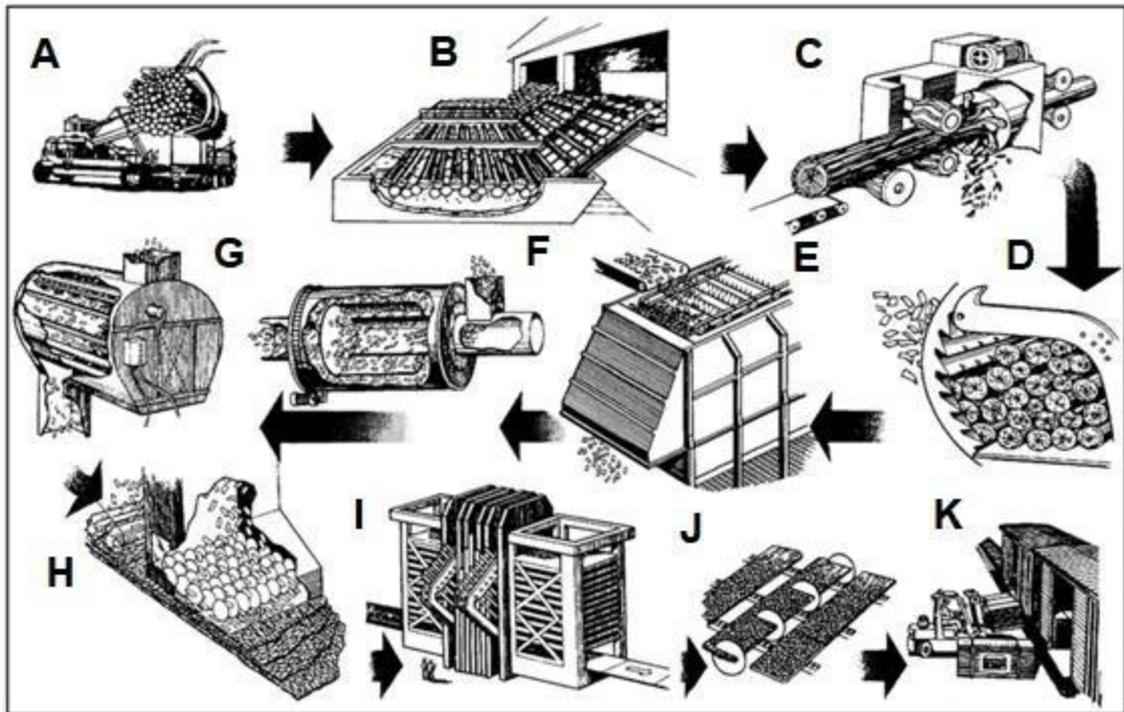


Figura 4 - Processo produtivo das chapas OSB.
 Fonte: Adaptado FPL, 2010.

- **Manuseio das toras e Acondicionamento das toras:** Para a produção de painéis de partículas orientadas, inicialmente os trocos das árvores são seccionados em toras de comprimentos menores e acondicionadas em tanques de água quente com o objetivo de amolecer a madeira para posteriormente reduzir-se o consumo de energia e evitar a geração de finos durante as operações dos picadores (Figura 4 – A e B).
- **Descascamento das toras:** A remoção da casca é necessária para o processo de produção de painéis OSB (Figura 4 – C).
- **Geração das partículas “strand”:** As partículas do tipo “strand” são obtidas em picadores (cilindro ou disco), com dimensões aproximadas de 25 mm de largura, 90 a 150 mm de comprimento e 0,5 a 0,75 mm de espessura. A geração de partículas é uma das mais importantes etapas do processo produtivo das chapas OSB (Figura 4 – D).
- **Armazenamento das partículas úmidas:** As partículas úmidas são armazenadas em silos permitindo assim uma produção contínua e controle dos secadores. Em decorrência do processo produtivo, há necessidade de silos distintos para partículas de camadas internas e externas (Figura 4 – E).
- **Secagem das partículas:** Teores elevados de umidade nas partículas de

madeira podem causar um aumento na pressão interna de vapor e causar problemas de “estouro” que acabam prejudicando as propriedades físicas e mecânicas do produto final. Devido a isso é necessário realizar a secagem das partículas até o teor de umidade aproximado de 3% (Figura 4 – F).

- **Mistura dos componentes do colchão:** Para a produção dos painéis OSB, geralmente são utilizadas as resinas Fenol-formaldeído ou Isocianato. Outro aditivo químico que pode ser incorporado na composição do painel é a parafina, que possui a função de reduzir a higroscopicidade da madeira e evitar a instabilidade dimensional dos painéis. Para realizar a mistura dos componentes do colchão, o equipamento utilizado normalmente é uma encoladeira, que através de um movimento rotativo a resina/parafina é pulverizada sobre as partículas (Figura 4 – G).
- **Formação do colchão:** Para formar o colchão dos painéis de partículas orientadas as partículas são dispostas em uma esteira móvel, onde acontece a orientação das camadas internas e externas. Essa etapa é de suma importância pois a orientação das partículas é fator determinante em relação à estabilidade dimensional e à resistência à flexão estática dos painéis (Figura 4 – H).
- **Prensagem a quente:** A prensagem consiste em consolidar o colchão de partículas num painel de madeira reconstituída com a densidade e espessuras pretendidas. A prensagem tem por função também a polimerização e cura da resina para unir as partículas de madeira (Figura 4 – I).
- **Acabamento, esquadreamento e expedição:** Após a prensagem dos painéis, eles são descarregados da prensa para o elevador de descarga. As chapas são submetidas às operações de esquadreamento para as dimensões desejadas em serras circulares. Por fim, os painéis OSB são classificados, empilhados e embalados para expedição (Figura 4 – J e K).

Segundo Eisfeld & Berger (2012), a indústria de painéis do tipo “*strandboard*” no Brasil é considerada um monopólio, visto que há apenas uma empresa produzindo este tipo de painel no país. A única empresa que produz este produto é LP Brasil (antiga Masisa) e está localizada no estado do Paraná, no município de Ponta Grossa.

No Brasil, o segmento da construção civil é líder no uso de painéis OSB, correspondendo a 40% das vendas internas. Em segundo lugar vem a indústria

moveleira (25%), seguido da área de embalagens (20%), outros (13%) e construção seca (2%) (VIDAL & HORA, 2014).

De acordo com Albuquerque & Mendes (2000), os painéis OSB, por possuírem alta resistência mecânica, permitem assim o seu maior uso na construção civil, principalmente para telhados, paredes e bases para pisos. No Brasil, o consumo desse material ainda é bastante reduzido, em contraste com o que acontece na América do Norte, onde os painéis OSB já estão substituindo os compensados em aplicações estruturais.

3.4 Adesivos

Os adesivos utilizados atualmente são predominantemente sintéticos e, por causa de sua fácil manipulação e excelentes propriedades, praticamente substituíram a utilização das colas naturais. No entanto, são fabricados com derivados de petróleo, cujo preço tem crescido continuamente nos últimos anos, sendo o item que mais onera o preço dos painéis de madeira. Por outro lado, a substituição de madeira maciça por seus derivados continua crescendo e, com isso, o consumo de adesivos sintéticos. Atualmente, mais de 70% dos produtos derivados da madeira consomem algum tipo de cola (CARNEIRO et. al., 2001).

De acordo com Melo (2002), a utilização de resinas possui grande importância na indústria de produtos florestais e o adesivo é considerado o principal elemento para um aproveitamento melhor da madeira. Tem como função primária transferir e distribuir as cargas entre os componentes, elevando a resistência e rigidez de produtos de madeira.

De acordo com Iwakiri (2005), os adesivos utilizados para a colagem de madeiras podem ser classificados:

Tabela 2 - Classificação dos adesivos

Classificação	Adesivo
Naturais	Derivados de proteicos de origem animal e vegetal
	Derivados de amido
	Éter celulósico
	Borracha Natural
Termoplásticos	Acetato/Acrilato de Polivinila (PVA)
	Poliétileno
	Polistírol
	Borracha Sintética
Termofixos	Ureia-formaldeído (UF)
	Melamina-Formaldeído (MF)
	Fenol-Formaldeído (FF)
	Resorcinol-Formaldeído (RF)
	Tanino-Formaldeído (TF)
	Licor Sulfito
	Isocianato

Fonte: Adaptado Iwakiri (2005).

A Tabela 3, segundo a FPL (2010), exemplifica e classifica os adesivos de acordo com a finalidade e com o ambiente para o qual o produto final será alocado.

Tabela 3 - Classificação para adesivos quanto ao ambiente

Classificação	Ambiente	Adesivo
Estrutural	Exterior	Fenol-Formaldeído (FF)
		Resorcinol-Formaldeído (RF)
		Fenol-Resorcinol-Formaldeído (FRF)
	Exterior Limitado	Emulsão polímero/isocianato
		Melamina-Formaldeído (MF)
		Melamina-Ureia-Formaldeído (MUF)
Semiestrutural	Interior	Isocianato (MDI)
	Exterior Limitado	Epóxi
		Ureia-Formaldeído (UF)
		Caseína
Não Estrutural	Interior	Acetato de Polivinila Crooslinking (PVAc)
		Poliuretano (PU)
	Exterior	Acetato de Polivinila (PVA)
		Animal
		Elastômeros
	Hot-melt	
	Amido	

Fonte: Adaptado FPL (2010).

De acordo Cloutier (1998), os adesivo Fenol-formaldeído (FF) e o Isocianato (MDI) são os mais utilizados para a produção de painéis do tipo OSB, devido ao fato da alta resistência à umidade, considerando o meio em que são utilizados estes painéis.

Segundo Surdi (2012) grande parte das indústrias de *Oriented Strand Board* na América do Norte utiliza o adesivo fenólico, enquanto a resina MDI é usado em

chapas que determinam melhor qualidade. Em comparação, o Isocianato (MDI) apresenta cura mais rápida e aceita umidades mais altas do colchão em comparação com o adesivo Fenol-formaldeído, ao mesmo tempo, o Isocianato apresenta maior custo e adere-se em metais, fazendo com que as indústrias o apliquem apenas na camada interna dos painéis.

3.4.1 Fenol-formaldeído

Desde o final do século 19 já é conhecida a possibilidade de reação entre o fenol e o formaldeído, quando o cientista alemão Adolf Von Baeyer conseguiu um produto da reação entre essas duas substâncias. Entretanto, sua utilização ocorreu anos mais tarde, quando foi demonstrado que o fenol e o formaldeído, em proporções ajustadas, desenvolviam produtos de reconhecimento comercial sob estados otimizados de reação (ALVES, 2003).

De acordo com Iwakiri (2005), as resinas fenólicas podem ser obtidas através de reações químicas entre fenóis com formaldeído, por meio de dois métodos:

- Reação de fenol, normalmente originado por síntese do benzeno, com excesso de formaldeído e na presença de um catalisador ácido. Nesse método, a razão molar formaldeído/fenol é na faixa de 1,8:1 a 2,2:1 e a resina é dominada “resol”;
- Utiliza a reação do fenol em excesso com formaldeído, na companhia de um catalisador ácido. É produzida na forma sólida, apresentando razão molar de 0,8:1 a 1:1, tendo por “novolac” sua referência. O produto sólido originado é moído para obtenção de um pó fino e adicionado 15% de hexamilenetetramina. Quando submetido a calor na prensa, acontece a liquefação com formação de amônia, que acaba atuando como catalisador na reação com o formaldeído, gerando um adesivo termoestável.

De acordo com FPL (2010), algumas propriedades em relação a trabalhabilidade, resistência e aplicações do adesivo Fenol-formaldeído são descritas abaixo:

- **Formatos e Coloração:** líquido, pó e película seca. Linha de cola marrom avermelhada;
- **Preparação e Aplicações:** Líquido misturado com extensores e enchimentos; película inserida diretamente entre laminados; líquido ou pó aplicado diretamente sobre flocos em compósitos. Todas as formulações

são curadas em prensas quentes entre 120 a 150°C ou até 200°C em “flakeboards”.

- **Resistência:** elevada resistência seca e úmida; muito resistente à água e umidade; mais resistência do que madeira a altas temperatura e envelhecimento químico;
- **Usos típicos:** adesivo primário para painéis (compensados, chapas duras, painéis particulados) para exteriores.

3.5 Nanocelulose

De acordo com Kamel (2007) os interesses pela nanotecnologia na procura por novos materiais têm crescido nos últimos tempos, pois as propriedades dos materiais são distintas na faixa nanométrica (de 1 a 100 nm), o que impulsiona nas observações no entendimento dessas propriedades.

A nanocelulose vem ganhando destaque por apresentar propriedades e desempenho superiores em comparação às fibras convencionais de celulose, ao mesmo tempo, está diretamente ligada a sustentabilidade, uma vez que pode ser obtida através de resíduos agrícolas, madeira e fibras vegetais (MEIRA, 2018).

A possibilidade de utilizar nanocelulose na formulação de adesivos pode ser uma forma de promover ganhos nas propriedades dos mesmos, pois a adesão entre componentes de madeira, bem como entre outros materiais, depende de uma série de parâmetros relacionados às características físico-químicas do adesivo e do material a ser colado, além dos parâmetros operacionais no processo de colagem, da forma geométrica e do tamanho das peças a serem coladas (DAMÁSIO et al., 2017).

3.5.1 Obtenção da Nanocelulose

De acordo com Milanez (2015,) de maneira análoga a outros nanomateriais, o processo produtivo para obtenção típica da nanocelulose pode ser classificado em:

- **Processo *top-down*:** as nanoestruturas são obtidas por métodos mecânicos com possibilidade de pré tratamento químico ou enzimático. Podem ser obtidos também através de hidrólise ácida em meio aquoso.
- **Processo *bottom-up*:** as nanoestruturas são organizadas de acordo com as

interações físicas ou químicas de átomos e moléculas.

Moon et al. (2011), menciona que o processo *top-down* possui as duas abordagens mais comuns para o isolamento de partículas de celulose, o tratamento mecânico e a hidrólise ácido, onde o processo mecânico é o mais utilizado para a geração de nanofibrilas de celulose. Em geral, esse processo produz alto cisalhamento que causa clivagem transversal no eixo longitudinal da estrutura microfibrilar de celulose, resultando na extração de longas fibrilas de celulose. Tipicamente, os materiais celulósicos passam pelo processo mecânico várias vezes (número de passagem). Após cada passagem, as partículas são geralmente menores, de diâmetros mais uniforme, mas apresentam maior dano mecânico à celulose cristalina, ou seja, apresentam menor porcentagem de cristalinidade.

3.5.2 Tipos de Nanocelulose

Segundo Azeredo (2009); Klemm (2011); Dufresne (2012) *apud* Vieira (2018), é possível obter duas categorias de nanocelulose gerados a partir da celulose, as nanofibrilas de celulose e nanocristais de celulose (“*nanowhisker*”). A primeira citada é formada por regiões amorfas e cristalinas, com um perfil longo e flexível. Já os nanocristais de celulose possuem cristalinidade elevado em relação às nanofibrilas. A Tabela 4 mostra algumas características das duas classes de nanocelulose.

Tabela 4 - Tipos de Nanocelulose

Tipos de Nanocelulose	Sinônimos	Fontes Típicas	Tamanho Médio
Nanocristais de Celulose (CNC)	Celulose Nanocristalina (NCC), <i>whiskers</i> , microcristais de celulose	Madeira, algodão, cânhamo, linho, palha de trigo, palha de arroz, casca de amora, algas, bactérias, etc.	Diâmetro: 5 – 70 nm Comprimento: 100–250 nm (da planta); 100 nm – vários micrômetros (algas e bactérias)
Nanofibrilas de Celulose (NFC)	Nanofibrilas, microfibrilas, Celulose Microfibrilada, Celulose Nanofibrilada	Madeira, beterraba sacarina, tubérculos de batata, cânhamo, linho, etc.	Diâmetro: 5 – 60 nm Comprimento: vários micrômetros

Fonte: Adaptado KHALIL et al. (2014).

Delgado (2010) *apud* Vieira (2018), relata que a nanocelulose pode ser empregada em múltiplos segmentos, como a indústria de papel, fármacos e cosméticos, produção de artefatos para a construção civil, embalagens, eletrônicos e elétrica, entre outros.

4 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido nos laboratórios vinculados ao curso de Engenharia Industrial Madeireira (EIM), do Centro de Engenharias (CEng) da Universidade Federal de Pelotas (UFPel).

- **1ª Etapa (Laboratório de Painéis de Madeira – LAPAM)** – Avaliação dos parâmetros da resina fenol-formaldeído; secagem e classificação da matéria-prima; produção dos painéis; determinação das propriedades físicas dos painéis OSB;
- **2ª Etapa (Laboratório de Propriedades Mecânicas da Madeira)** – Ensaios de flexão estática (MOR e MOE), resistência a tração perpendicular e Dureza Janka.

4.1 Matéria-prima

Para a produção dos painéis de partículas orientadas foram utilizadas partículas do tipo *strands* de *Pinus spp.*, com teor de umidade de $6 \pm 1\%$, com espessura, largura e comprimento de 0,57, 24,56 e 116,29 mm respectivamente, cedidas pela empresa *Louisiana Pacific Corporation* (LP Brasil), situada na cidade de Ponta Grossa/PR.

A casca de acácia negra foi coletada em um povoamento florestal particular localizado no município de Herval - RS, onde foram abatidas cinco árvores com aproximadamente seis anos de idade. As cascas foram retiradas das toras com auxílio de um facão e posteriormente fragmentadas em moinho de martelo com malha de 6mm.

As nanofibrilas de celulose foram geradas a partir do processo mecânico utilizando celulose branqueada da madeira de *Eucalyptus spp.* e sua produção ocorreu de acordo com procedimentos descritos por ZANOL et al. (2017) e SILVA et al. (2017).

A resina utilizada na adesão das partículas para produção dos painéis foi fenol-formaldeído - FF, cedida pela empresa Hexion Química do Brasil Ltda., localizada no distrito industrial do município de Curitiba/PR. Os valores especificados pelo fabricante do adesivo e recomendando para produção de painéis de madeira reconstituída, estão na Tabela 5.

Tabela 5 - Propriedades da resina fenol-formaldeído

Propriedades	Valor
Teor de Sólidos (%)	52,80
Densidade à 25 °C(g/cm ³)	1,24
Viscosidade (mPa.s)	530,00
Gel Time à 121 °C (s)	8,00

Fonte: Boletim Técnico Hexion, 2018.

4.2 Métodos

4.2.1 Incorporação de nanofibrilas na resina

As suspensões de nanofibrilas de celulose em concentração de 2% foram incorporadas as resinas em função dos teores de sólidos resinosos em proporções de aplicação de 1, 2 e 4% (Tabela 6).

Tabela 6 - Delineamento da incorporação de nanofibrilas na resina

Tratamento	Concentração de Nanofibrila (%)	Proporção de Aplicação (%)
Testemunha	-	-
1	2	1
2	2	2
3	2	4

4.2.2 Avaliação da Qualidade do Adesivo

A avaliação da qualidade da resina fenol-formaldeído decorreu a partir da determinação dos seguintes parâmetros: teor de sólidos, densidade, viscosidade e tempo de formação de gel, de acordo com especificações de PICCINI (2010) e FERREIRA (2010).

4.2.2.1 Teor de Sólidos

O teor de sólidos das resinas foi calculado, evaporando-se a água das amostras, contendo aproximadamente 1g da resina, que foram levadas à estufa a 103°C ± 2°C. Para cada tratamento (Tabela 6) foram realizadas três amostras. Essas foram pesadas antes, para a determinação do peso úmido, e colocadas na estufa, após 24 horas, as amostras foram retiradas para a determinação do peso seco. A determinação do teor de sólidos foi obtida de acordo com a equação:

$$\text{Teor de Sólidos (\%)} = \frac{\text{Peso Seco (g)}}{\text{Peso Úmido (g)}} \times 100 \quad (1)$$

4.2.2.2 Densidade

Para a determinação da densidade, foi realizada duas amostras para cada tratamento, totalizando quatro amostras. Foram utilizados recipientes de plástico e paquímetro para a determinação do volume (medição do diâmetro interno dos recipientes e altura do mesmo). Após o preenchimento os recipientes foram pesados em uma balança digital, e descontou-se o peso do frasco vazio, pesado anteriormente, obteve-se o peso em gramas do adesivo. Por meio da seguinte equação foram determinadas as densidades:

$$\text{Densidade (g/cm}^3\text{)} = \frac{\text{Massa do Adesivo (g)}}{\text{Volume do Recipiente (cm}^3\text{)}} \quad (2)$$

4.2.2.3 Viscosidade

A viscosidade das resinas foi determinada utilizando viscosímetro copo Ford nº4, onde adicionou-se aproximadamente 130ml da resina no copo do equipamento e com o auxílio de um cronômetro determinou-se o tempo escoamento do adesivo. A partir do valor encontrado, utilizou-se a seguinte fórmula para a determinação da viscosidade:

$$\text{Viscosidade (CP)} = [(3,846 \times \text{Escoamento (S)}) - 17,300] \times \text{Densidade (g/cm}^3\text{)} \quad (3)$$

4.2.2.4 Tempo de Formação de Gel

Para a determinação do tempo de formação de gel da resina fenol-formaldeído foram realizadas três repetições para cada tratamento. Em um tubo de ensaio foi adicionado aproximadamente 5g da resina. Em seguida o material foi homogeneizado por meio de uma haste metálica (com 20cm de altura, 2mm de diâmetro e um em sua base um gancho de 1cm de altura) e encaminhado ao banho de óleo em um Becker de 500mL sendo mantido a temperatura de 120°C por meio de uma placa aquecedora com agitador magnético. Com o auxílio de um cronômetro foi marcado o tempo que cada tratamento necessitou para alcançar a fase de gel.

4.2.3 Produção dos Painéis

O presente estudo foi dividido em duas etapas. A primeira etapa consiste em avaliar a influência da composição das chapas em camadas cruzadas sobre as propriedades dos painéis, com isso foram confeccionados 12 painéis de partículas orientadas, sendo 3 para cada tratamento (Tabela 7), com densidade nominal de 0,75 g/cm³, com dimensão de 35 cm de largura x 35 de comprimento e 9 de espessura e quantidade de resina fenol-formaldeído de 8% com base no peso seco das partículas.

Tabela 7 - Delineamento primeira etapa

Tratamento	Composição (Face-Miolo-Face)
T1	30:40:30
T2	25:50:25
T3	20:60:20
T4	15:70:15

A partir dos resultados obtidos na primeira etapa, foram produzidas novas chapas OSB, utilizando a composição face-miolo-face com melhores propriedades encontradas por meio dos ensaios físicos e mecânicos, porém foi empregado na composição, especificamente no miolo das chapas, a casca de acácia-negra (*acácia mearnsii* de Wild.), com o intuito de avaliar a alteração das propriedades das chapas. Além da inclusão da casca de acácia, ainda nesta etapa da pesquisa, ocorreu a inclusão das nanofibrilas de celulose na composição da resina fenol-formaldeído, onde foi escolhido o tratamento (Tabela 6) com melhores resultados. A quantidade de resina fenol-formaldeído utilizada com base no peso seco das partículas foi de 8%.

Tabela 8 - Delineamento segunda etapa

Tratamento	Condição
T5	Casca de Acácia
T6	Casca de Acácia + Nanocelulose

As partículas de *Pinus spp.* e a casca de acácia, foram inicialmente classificadas para a remoção de impurezas com o intuito de obter-se um material limpo e com dimensões padronizadas. As partículas de pinus foram classificadas com o auxílio de uma caixa plástica para a retirada de frações de menores dimensões. Já as partículas de casca de acácia foram classificadas em peneiras de 16 mesh de granulometria para a retirada do pó. Após a classificação, as partículas

foram encaminhadas para secagem em uma estufa com circulação forçada de ar à 60°C até atingir o teor de umidade de 4 ± 1 .

A aplicação da resina fenol-formaldeído (8%) foi realizada em um encoladeira de partículas (Figura 5) do tipo tambor rotativo. A encoladeira possui uma pistola aspersora acionada por um compressor de ar e acoplada a um recipiente reservatório de líquido, neste caso o adesivo termofixo, de maneira a aplicá-lo de forma uniforme sobre as partículas.



Figura 5 - Encoladeira de Partículas utilizada para aplicação do adesivo.

Foi usada caixa formadora de partículas (Figura 6 – A), com dimensões internas de 100mm de espessura, 350 mm de largura x 350 mm de comprimento. Na caixa formadora foram realizadas canaletas internas com divisões de chapas dura (Figura 6 – B). Todos os painéis foram produzidos com três camadas, respeitando a forma orientada das partículas, sendo que na camada interna o alinhamento é perpendicular à direção das partículas das faces.

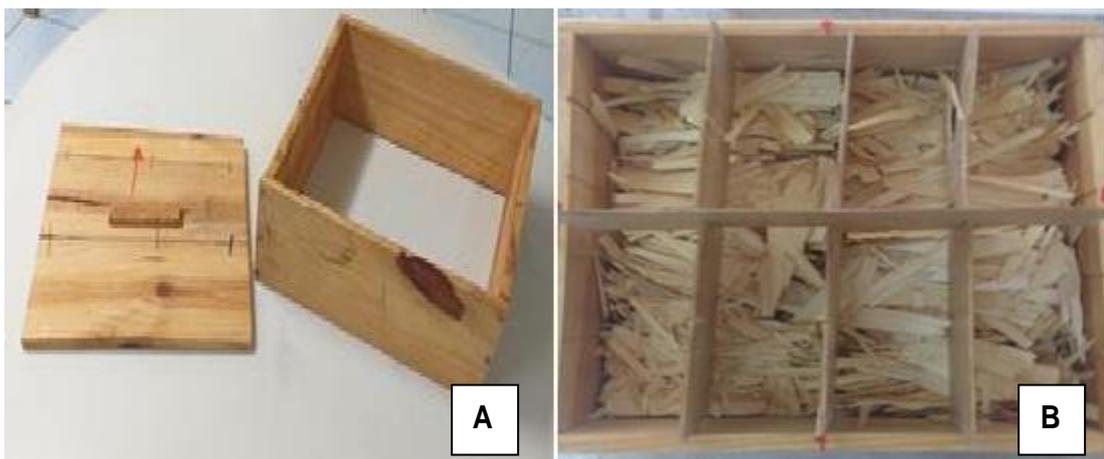


Figura 6 – Caixa Formadora e Formação do colchão de partículas.

Após a formação do colchão, o mesmo foi submetido a uma pré- prensagem manual, para melhor conformação das partículas. Em seguida o colchão foi encaminhado ao processo de prensagem a quente em uma prensa do tipo hidráulica (Figura 7 – A) com capacidade para 160 toneladas e CLP, a uma temperatura de 180°C, com pressão específica de 40 kgf/cm², por um período de 7 minutos. Após a produção os painéis foram conduzidos a uma câmara climatiza (Figura 7 – B) com temperatura de 20 ±1°C e umidade relativa de 60%, com o intuito de acondicionar as chapas.



Figura 7 - Prensagem e acondicionamento dos painéis.

4.2.4 Propriedades Físicas e Mecânicas

Para a determinação das propriedades, inicialmente os painéis foram esquadrejados (Figura 8 – A), em seguida foram amostrados corpos de prova (Figura 8 – B) para realização dos ensaios Densidade Aparente e Teor de Umidade (DT), Absorção de Água e Inchamento em Espessura (AA IE) (duas e vinte e quatro horas), Flexão Estática (FE) (MOE e MOR), Resistência à Tração Perpendicular (RT) e Dureza Janka (DJ) de acordo com as normas especificadas na Tabela 9.

Tabela 9 - Normas utilizadas para avaliação das propriedades dos painéis OSB

Ensaio	Norma
Densidade (g/cm ³)	EN 323 (1993)
Teor de Umidade (%)	EN 322 (1993)
Inchamento em Espessura (%)	EN 317 (1993)
Absorção de Água (%)	EN 317 (1993)
Flexão Estática (N/mm ²)	EN 310 (1993)
Tração Perpendicular (N/mm ²)	EN 319 (1993)
Dureza Janka (kgf/cm ²)	ASTM D 1037 (1999)

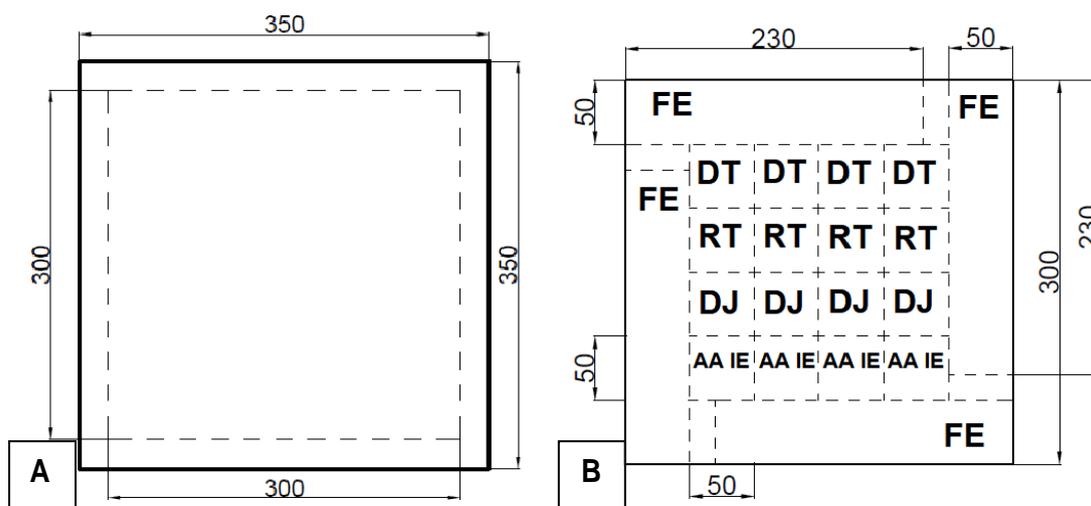


Figura 8– Layout de corte do painel: A) esquadrejamento; B) corte dos corpos de prova.

4.2.5 Análise Estatística

Para atender as condições necessárias ao uso da análise de variância e avaliação das propriedades dos painéis foi aplicado o teste de Kolmogorov-Smirnov para a determinação da normalidade dos dados e a verificação da homogeneidade das variâncias pelo teste de Hartley.

Em seguida, os resultados médios referentes a qualidade da resina fenol-formaldeído e as propriedades físicas e mecânicas dos painéis foram submetidos a análise de variância – ANOVA.

Com intuito de verificar a influência dos fatores do teor de adesivos com inclusão de nanofibrilas de celulose, a distribuição em camadas e a interação entre as propriedades físicas e mecânicas das chapas OSB, empregou-se o teste Tukey a 5% de significância para comparação entre as médias dos tratamentos avaliados.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Parâmetros de qualidade da resina Fenol-formaldeído com inclusão de nanocelulose

A Tabela 10 apresenta os valores médios dos parâmetros de qualidade do adesivo fenólico com a inclusão de nanofibrilas de celulose, onde foi analisado a partir da metodologia empregada, o Teor de Sólidos (TS), Densidade (D), Viscosidade (V) e o Tempo de Formação de Gel (GT).

Tabela 10 - Parâmetros de Qualidade da resina Fenol-formaldeído com inclusão de nanocelulose

Tratamento	TS (%)	D (g/cm ³)	V (mPa.s)	GT (s)
Testemunha	52,29 ^{A**} (0,83) [*]	1,25 ^A (0,45)	1409,06 ^A (0,17)	4,54 ^A (0,56)
1% Nano	52,19 ^a (0,58)	1,27 ^B (0,33)	1367,46 ^B (0,30)	3,12 ^B (1,60)
2% Nano	51,63 ^A (0,25)	1,26 ^{AB} (0,51)	1188,06 ^C (0,31)	3,12 ^B (1,42)
4% Nano	51,55 ^A (0,72)	1,27 ^B (0,33)	1025,60 ^D (1,22)	2,57 ^C (4,41)

*() Coeficiente de Variação; ** Médias seguidas pela mesma letra na mesma coluna não diferem estatisticamente entre si ao nível de 5% de significância pelo teste de Tukey.

O teor de sólidos dos tratamentos analisados foi na faixa de 51,55 e 52,29%, onde os sólidos presentes na resina colaboram para a “cura” e para posteriormente formar a linha de cola responsável pela ligação entre os substratos.

De forma geral observou-se uma redução da viscosidade da resina a medida que houve uma aplicação maior de nanofibrilas de celulose, este fato explica-se devido a concentração da nanocelulose, que para este estudo foi utilizado 2%, ou seja, 98 partes de água para 2 partes de nanocelulose. Com isso, uma maior aplicação torna a resina mais líquida e a partir disso a viscosidade acaba diminuindo.

O tempo de formação de gel foi outro fator que apresentou modificações com a inclusão de nanofibrilas de celulose, onde nenhum dos tratamentos foi estatisticamente semelhante ao tratamento testemunha. A presença da nanocelulose acelerou o processo de reação da resina, havendo uma diferença de quase dois minutos entre o tratamento sem a presença de nanocelulose e a amostra com 4% de aplicação de nanofibrilas.

A partir das análises, observou-se que o primeiro tratamento, com 1% de aplicação de nanofibrilas de celulose, mesmo apresentando diferença estatisticamente significativa, foi o mais próximo ao tratamento testemunha, e com

isso a melhor opção para ser utilizado na segunda etapa de produção dos painéis OSB do presente trabalho.

5.2 Primeira Etapa

Esta seção apresenta os resultados das propriedades físicas e mecânicas dos painéis OSB, produzidos com diferentes composições em camadas.

5.2.1 Propriedades Físicas

Os valores médios para Teor de Umidade (TU), Densidade Aparente (DA), Inchamento em Espessura (IE) e Absorção de Água (AA) dos painéis OSB produzidos com diferentes composições em camadas são dispostos na Tabela 11.

Tabela 11 - Teor de Umidade, Densidade, Inchamento em Espessura e Absorção de Água

Tratamento	TU (%)	DA	IE	IE	AA	AA
		(g/cm ³)	2hs(%)	24hs (%)	2hs (%)	24hs (%)
30:40:30	7,62 ^{A**}	0,74 ^A	12,14 ^A	22,21 ^B	58,91 ^{AB}	68,11 ^A
	(2,69) [*]	(11,17)	(10,65)	(8,60)	(19,40)	(17,23)
25:50:25	9,09 ^{BC}	0,75 ^A	21,34 ^C	34,25 ^C	74,66 ^C	83,99 ^B
	(2,04)	(14,02)	(8,25)	(7,50)	(14,85)	(12,25)
20:60:20	9,46 ^C	0,75 ^A	16,39 ^B	34,90 ^C	65,45 ^{BC}	74,83 ^{AB}
	(2,04)	(8,06)	(12,91)	(5,09)	(14,14)	(12,39)
15:70:15	8,84 ^B	0,73 ^A	16,25 ^B	18,63 ^A	48,48 ^A	63,69 ^A
	(4,93)	(9,24)	(13,09)	(8,95)	(25,14)	(5,24)

*() Coeficiente de Variação; ** Médias seguidas pela mesma letra na mesma coluna não diferem estatisticamente entre si ao nível de 5% de significância pelo teste de Tukey.

Devido ao fato da produção dos painéis ocorrer em situação laboratorial, controlar de forma rigorosa a densidade aparente das chapas acaba sendo um problema no processo produtivo. Todos os tratamentos ficaram próximos da densidade nominal estipulada de 0,75 g/cm³, e encontram-se na faixa de 0,73 a 0,75 g/cm³. A análise de variância mostrou que não houve diferença estatisticamente significativa em relação ao parâmetro de densidade (apêndice 79) entre os tratamentos.

Quanto ao teor de umidade dos painéis OSB, as chapas apresentaram umidade entre 7,62 e 9,46%, valores dentro da faixa de umidade determinada pela norma EN 300 (2006), de 2 a 12%.

Em relação ao inchamento em espessura em 2 horas, a tabela 11 apresenta valores médios na faixa de 12,14 a 21,34%, onde o primeiro tratamento, com composição face-miolo-face de 30:40:40, apresentou resultados mais satisfatórios

em relação aos outros tratamentos.

Para painéis *Oriented Strand Board* para fins estruturais e com espessura de 9 mm, ou seja, OSB/2 e OSB/3 de acordo com a norma EN 300 (2006), os valores máximos em relação ao inchamento em espessura pelo período de 24hs são respectivamente 20 e 15%. Todos os tratamentos excederam o limite determinado pela norma para painéis do tipo OSB/3 que possui finalidade estrutural para ambientes úmidos. Para os painéis OSB/2 cuja finalidade é para ambientes secos, apenas o tratamento 4 apresentou valores médios em conformidade com a norma, ficando abaixo do limite estipulado de 20%.

Para o parâmetro de absorção de água, o tratamento 4 que possui 15:70:15 como sua forma de composição face-miolo-face, apresentou melhores resultados, tanto para o período de 2hs quanto para 24hs, obtendo valores médios de 48,48 e 63,69% respectivamente.

A Tabela 12 apresenta resultados médios obtidos por outras literaturas em relação aos ensaios de Inchamento em Espessura (IE) e Absorção de Água (AA), em 2 e 24hs, para diferentes proporções face-miolo-face.

Tabela 12 - Inchamento em Espessura e Absorção de Água para diferentes proporções face- miolo-face

Literatura / Composição	IE 2hs (%)	IE 24hs (%)	AA 2hs (%)	AA 24hs (%)
GORSKI (2014) / 30:40:30	24,59	36,55	62,61	95,19
SALDANHA; IWAKIRI (2009) / 25:50:25	27,95	34,65	50,58	74,17
GORSKI (2014) / 20:60:20	20,61	34,53	53,07	88,70

A composição 30:40:30, em comparação com Gorski (2014) que utilizou resina fenol-formaldeído para um teor de aplicação de 6%, apresentou resultados inferiores em todos os ensaios de inchamento em espessura e absorção de água, tanto para 2hs quanto para 24hs. Ainda em paralelo com a mesma autora, para o tratamento 3 (20:60:20) os resultados obtidos no presente estudo foram novamente inferiores para ambos ensaios.

Para o segundo tratamento, com composição 25:50:25, Saldanha; Iwakiri (2009) encontraram valores superiores para o parâmetro de absorção de água, em 2 e 24hs, com resultados médios de 50,58 e 74,17% respectivamente. Já para o experimento de inchamento em espessura, os autores obtiveram números médios inferiores ao do presente estudo, para os dois períodos de tempo (2 e 24hs).

5.2.2 Propriedades Mecânicas

Os resultados médios em relação ao ensaio de flexão estática, para as propriedades de módulo de ruptura (MOR) e módulo de elasticidade (MOE), obtidos na direção paralela e perpendicular à orientação das partículas estão expressos na Tabela 13.

Tabela 13 - Módulo de Ruptura (MOR) e Módulo de Elasticidade (MOE) para diferentes proporções face- miolo-face

Tratamento	MOR Paralelo (N/mm ²)	MOR Perpendicular (N/mm ²)	MOE Paralelo (N/mm ²)	MOE Perpendicular (N/mm ²)
30:40:30	29,38 ^{A**} (25,45) [*]	20,25 ^A (6,56)	3299,26 ^A (10,39)	2485,44 ^A (23,6)
25:50:25	13,68 ^B (19,63)	10,47 ^{B^C} (10,57)	2154,39 ^B (20,32)	1289,08 ^B (24,77)
20:60:20	18,80 ^B (11,97)	8,67 ^C (14,41)	2451,33 ^B (20,02)	1066,68 ^B (11,62)
15:70:15	14,29 ^B (15,15)	11,54 ^B (0,89)	2092,03 ^B (8,67)	1339,94 ^B (18,81)

*() Coeficiente de Variação; ** Médias seguidas pela mesma letra na mesma coluna não diferem estatisticamente entre si ao nível de 5% de significância pelo teste de Tukey.

O primeiro tratamento apresentou melhores resultados para o ensaio de módulo de ruptura em relação ao sentido paralelo de aplicação de força. Os tratamentos dois, três e quatro não apresentaram diferença estatisticamente significativa entre si (apêndice 52).

No sentido perpendicular, novamente o tratamento com composição em camada 30:40:30 foi superior em comparação com os outros tratamentos. Os tratamentos T2 e T4, bem como os tratamentos T2 e T3 possuem semelhança estatisticamente (apêndice 43).

De acordo com as especificações da norma europeia EN 300 (2006), apenas o primeiro tratamento (composição face-miolo-face 30:40:30), com orientação paralela, apresentou resultados satisfatórios em relação ao Módulo de Ruptura (MOR), atendendo aos requisitos para chapas dos tipos OSB/1, OSB/2 e OSB/3 (valões mínimos 20, 22 e 22 N/mm² respectivamente). Para o sentido perpendicular, novamente o primeiro tratamento foi o único que atendeu aos requisitos mínimos exigidos pela norma europeia para painéis do tipo OSB/1.

Macedo et al. (2016), produziram painéis OSB, com composição 30:40:30, de alta densidade, utilizando madeira de *Pinus* spp. obtiveram resultados médios para o Módulo de Ruptura próximo de 39,67 N/mm², valor esse superior ao encontrado no

presente estudo.

De acordo com Morales (2006), o Módulo de Ruptura para painéis OSB, com composição 25:50:25 ou 1:2:1, para direção paralela e perpendicular foi respectivamente 21 N/mm² e 14 N/mm², valores superiores ao encontrado para a mesma composição na presente pesquisa.

Para Magita, Campos e Matos (2014), o Módulo de Ruptura para painéis *Oriented Strand Board*, com composição face-miolo-face 20:60:20, foi aproximadamente 16,66 N/mm² e 10,27 N/mm² para orientação paralela e perpendicular respectivamente. Os resultados obtidos pelos autores foram próximos em comparação com a presente pesquisa.

Em relação ao Módulo de Elasticidade (MOE), para ambas orientações, paralelo e perpendicular, o primeiro tratamento apresentou resultados superiores em comparação com os outros tratamentos. Já os tratamentos T2, T3 e T4, tanto no sentido paralelo e perpendicular, são parecidos estatisticamente (apêndice 49 e 46 respectivamente).

Mendes et al. (2013), em seu trabalho encontrou o módulo de elasticidade paralelo e perpendicular, para composição 30:40:30, 8061,18 e 2022,31 respectivamente. Apenas o MOE no sentido perpendicular do Tratamento T1 em relação a aplicação de força foi próximo ao encontrado no presente estudo.

Para Carvalho et al. (2015), o MOE médio para composição em camadas 25:50:25 é 3438 N/mm² para orientação paralelo e 1772 N/mm² no sentido perpendicular, valores esses superiores em comparativo com o presente estudo para a mesma composição em camadas.

Surdi (2012) encontrou um módulo de elasticidade médio igual a 1304 N/mm² para orientação perpendicular e 7327 N/mm² no sentido paralelo, valores esses com a composição em camadas 20:60:20. Ambos valores foram superiores em comparação com o presente estudo.

A Tabela 14 apresenta os valores médios para o ensaio de Ligação Interna ou resistência à tração perpendicular (RT) e Dureza Janka (DJ) nos painéis OSB.

Tabela 14 - Resistência à Tração Perpendicular e Dureza Janka para diferentes proporções face-miolo-face

Tratamento	RT (N/mm ²)	DJ (kgf/cm ²)
30:40:30	0,21 ^{A**}	73,42 ^A
	(7,53) [*]	(15,03)
25:50:25	0,22 ^A	72,48 ^A
	(20,67)	(17,68)
20:60:20	0,21 ^A	75,66 ^A
	(10,02)	(25,41)
15:70:15	0,18 ^A	55,48 ^A
	(7,43)	(23,34)

*() Coeficiente de Variação; ** Médias seguidas pela mesma letra na mesma coluna não diferem estatisticamente entre si ao nível de 5% de significância pelo teste de Tukey.

Para o ensaio de Ligação Interna, todos os tratamentos apresentaram resultados médios estatisticamente semelhantes entre si (apêndice 67), na faixa de 0,21 e 0,22 N/mm².

A norma EN 300 (2006) determina que painéis OSB, com finalidade estrutural, na faixa de espessura entre 6 e 10 mm, devem resistir à tração perpendicular uma carga mínima de 0,34 para o uso em condições secas e úmidas. Nenhum dos tratamentos atingiu o valor especificado pelo normativo.

Em relação ao ensaio de Dureza Janka, novamente todos os tratamentos apresentaram semelhança estatisticamente de acordo com análise de variância (apêndice 73).

Ribeiro (2015) encontrou um valor médio para o ensaio de Dureza Janka em painéis do tipo OSB de 42,19 N/mm², resultado esse inferior aos quatro tratamentos do presente estudo.

5.3 Segunda Etapa

A partir dos resultados obtidos na primeira fase da pesquisa, optou-se por adotar a composição 30:40:30 como a ideal para a produção dos painéis da segunda etapa, que conta com adição de casca de acácia na composição do painel OSB, além da inclusão de nanofibrilas de celulose.

5.3.1 Propriedades Físicas

Os resultados médios para Teor de Umidade (TU), Densidade Aparente (DA), Inchamento em Espessura (IE) e Absorção de Água (AA) dos painéis do OSB

produzidos com casca de acácia e inclusão de nanofibrilas de celulose estão expressos na Tabela 15.

Tabela 15 - Teor de Umidade, Densidade, Inchamento em Espessura e Absorção de Água

Tratamento	TU (%)	DA (g/cm ³)	IE 2hs (%)	IE 24hs (%)	AA 2hs (%)	AA 24hs (%)
Controle 30:40:30	7,62 ^{A**} (2,69) [*]	0,74 ^A (11,17)	12,14 ^A (10,65)	22,21 ^B (8,60)	58,91 ^A (19,40)	68,11 ^A (17,23)
T5 – Casca (miolo)	6,85 ^A (7,33)	0,70 ^A (8,21)	15,07 ^A (23,47)	19,96 ^B (17,96)	68,69 ^{AB} (11,30)	82,24 ^B (11,26)
T6 – Casca (miolo) e Nano	7,00 ^A (12,29)	0,71 ^A (7,27)	13,14 ^A (14,17)	15,50 ^A (11,42)	76,01 ^B (16,20)	87,88 ^B (13,46)

*() Coeficiente de Variação; ** Médias seguidas pela mesma letra na mesma coluna não diferem estatisticamente entre si ao nível de 5% de significância pelo teste de Tukey.

Em relação a densidade dos painéis, inicialmente foi determinado uma densidade nominal de 0,75 g/cm³, porém nenhum dos tratamentos atingiram essa marca, ficando entre 0,7 e 0,74 g/cm³, porém em relação a variância, os três tratamentos não apresentaram diferença estatística (apêndice 82).

Para o parâmetro de Teor de Umidade, a norma EN 300 (2006) recomenda que os painéis apresentem umidade na faixa de 2 a 12%, todos os tratamentos encontraram-se dentro do limite indicado pelo normativo. A partir da análise de variância, todos os tratamentos mostraram-se semelhantes de forma estatística (apêndice 4).

A norma EN 300 (2006) determina que painéis estruturais com espessura de 9 mm, em relação ao Inchamento em Espessura por 24hs, não devem exceder o limite de 15% (ambientes úmidos) e 20% (ambientes secos), sendo classificados com OSB/2 e OSB/3 respectivamente. Deste modo apenas os tratamentos T5 e T6 ficaram abaixo do limite estabelecido pela norma, encontrando-se na faixa de 15,5 e 19,96%. Para o ensaio de Inchamento em Espessura, pelo período de 24hs, a adição da casca de acácia e inclusão de nanofibrilas de celulose colaborou de forma positiva, visto que houve um menor inchamento por parte dos painéis.

O teste de Inchamento em Espessura em duas horas não apresentou diferença estatisticamente entre os tratamentos (apêndice 28), ficando na faixa de 12,14 a 15,07%.

Para o ensaio de Absorção de Água, tanto em 2 e 24hs, a inclusão de casca de acácia ocasionou um aumento na absorção, especialmente no tratamento com inclusão de nanofibrilas de celulose, este fato deve-se ao fato da nanocelulose ser extremamente hidrofílica, ou seja, absorve água com extrema facilidade.

5.3.2 Propriedades Mecânicas

Os valores médios relacionado ao teste de flexão estática, para as propriedades de módulo de ruptura (MOR) e módulo de elasticidade (MOE), de acordo com orientação de aplicação da força, paralela e perpendicular são expressos nas Tabela 16.

Tabela 16 - Módulo de Ruptura (MOR)

Tratamento	MOR Paralelo (N/mm ²)	MOR Perpendicular (N/mm ²)	MOE Paralelo (N/mm ²)	MOE Perpendicular (N/mm ²)
Controle 30:40:30	29,38 ^{A**} (25,45) [*]	20,25 ^A (6,56)	3299,26 ^B (10,39)	2485,44 ^B (23,6)
T5 – Casca (miolo)	30,98 ^A (25,12)	24,03 ^A (12,16)	4421,77 ^A (16,60)	3411,35 ^A (10,62)
T6 – Casca (miolo) e Nano	26,43 ^A (26,71)	19,99 ^A (24,50)	3622,95 ^{AB} (11,66)	2155,86 ^B (8,63)

*() Coeficiente de Variação; ** Médias seguidas pela mesma letra na mesma coluna não diferem estatisticamente entre si ao nível de 5% de significância pelo teste de Tukey.

Analisando de forma estatística, o módulo de ruptura no sentido paralelo não apresentou diferença significativa estatisticamente entre os tratamentos. Da mesma forma ocorre com o MOR no sentido perpendicular, onde os três tratamentos são iguais entre si de acordo com a análise de variância (apêndice 54).

De acordo com norma europeia EN 300 (2006), os painéis OSB, com bitola de 9mm e para uso estrutural, classificados como OSB/2 e OSB/3, devem apresentar um Módulo de Ruptura mínimo de 22 N/mm². Todos os painéis orientados paralelamente ao sentido de aplicação da carga atenderam ao limite imposto pela norma encontrando-se entre 26,43 a 30,98 N/mm². Já para os painéis com orientação perpendicular, apenas o tratamento T5 foi satisfatório, com valor médio de 24,03 N/mm², superior aos 22 N/mm² exigidos pela norma.

O Módulo de Elasticidade dos painéis apresentou um comportamento semelhante, tanto para o sentido paralelo quanto perpendicular. O tratamento T5, com casca de acácia na sua composição, apresentou melhores resultados frente ao tratamento controle. A presença de nanofibrilas novamente gerou uma redução dos valores médios obtidos para essa propriedade, em ambos os sentidos de orientação, entretanto, foram semelhantes estatisticamente ao tratamento controle.

A norma NBR EN 300 (2006) exige que painéis OSB, com espessura entre 6

e 10 mm, para uso estruturais apresentem um Módulo de Elasticidade superior a 3500 N/mm² para condições secas e úmidas, onde apenas os tratamentos controle (T1) e T5, para o sentido de orientação paralelo atingiram o limite estabelecido.

A Tabela 17 apresenta os valores médios para o ensaio de Ligação Interna ou resistência à tração perpendicular nos painéis OSB.

Tabela 17 - Resistência à Tração Perpendicular

Tratamento	Ligação Interna (N/mm²)	Dureza Janka (N/mm²)
Controle 30:40:30	0,22 ^B (7,53)**	73,42 ^A (15,03)
T5 – Casca (miolo)	0,30 ^A (13,53)	37,63 ^B (21,00)
T6 – Casca (miolo) e Nano	0,26 ^{AB} (7,75)	35,08 ^B (20,39)

*() Coeficiente de Variação; ** Médias seguidas pela mesma letra na mesma coluna não diferem estatisticamente entre si ao nível de 5% de significância pelo teste de Tukey.

De acordo com a norma europeia EN 300 (2006), painéis classificados como estruturais, OSB/2 e OSB/3, devem apresentar uma resistência à tração perpendicular de 0,34 N/mm². Nenhum dos tratamentos aproximou-se do valor exigido. O tratamento T5 destacou-se frente aos outros tratamentos e apresentou o melhor valor para ligação interna.

Para o ensaio de Dureza Janka, os resultados a partir da inclusão de casca de acácia-negra e nanofibrilas de celulose foram divergentes em comparação com o ensaio de flexão estática, uma vez que para o ensaio de Dureza Janka, a presença dos componentes mencionados ocasionou uma redução significativa estatisticamente dos valores médios comparado com o tratamento controle. Entre os tratamentos T5 e T6 não houve diferença significativa estaticamente a partir da análise de variância (apêndice 76).

6 CONCLUSÃO

A partir da metodologia empregada e dos resultados obtidos para os ensaios físicos e mecânicos pode-se concluir:

- ✓ A inclusão de nanofibrilas de forma geral gerou uma redução da viscosidade da resina fenol-formaldeído, além de aumentar a reatividade do adesivo;
- ✓ Em relação ao inchamento em espessura e absorção de água, o tratamento T4 com composição face-miolo-face de 15:70:15, mostrou-se o mais eficaz, apresentando melhores resultados para os tratamentos avaliados;
- ✓ Para os ensaios mecânicos, o tratamento T1 com composição face-miolo-face de 30:40:30 apresentou resultados superiores frente aos outros tratamentos em todas as propriedades (Módulo de Ruptura, Módulo de Elasticidade, Resistência à Tração Perpendicular e Dureza Janka);
- ✓ Os painéis produzidos com adição de casca de acácia-negra mostraram-se superiores aos painéis produzidos apenas com madeira de pinus, uma vez que a presença da casca apresentou um aumento da rigidez nas chapas;
- ✓ A inclusão de nanofibrilas gerou uma redução nas propriedades mecânicas de resistência à tração perpendicular, módulo de elasticidade e dureza janka, além da diminuição dos valores médios para o ensaio de inchamento em espessura.
- ✓ A utilização de casca de acácia-negra mostrou-se eficaz para a produção de painéis OSB. Entretanto, a inclusão de nanofibrilas de celulose, além do alto custo para a produção da mesma, não se mostra tecnicamente viável, uma vez que a presença do material não colaborou para melhoria da qualidade do produto final.

Referências

- ABNT – NBR 14.810-1. **Chapas de madeira aglomerada. Parte 1: Terminologia.** Rio de Janeiro, 2006.
- AGEFLOR, Associação Gaúcha de Empresas Florestais. A indústria de base florestal no Rio Grande do Sul 2017: ano base 2016. Porto Alegre, 2017, 64 p.
- ALBUQUERQUE, C. E. C; MENDES, L. M. OSB: processo industrial e considerações. **Revista da Madeira**, Curitiba, n. 46, p. 56 – 66, 2000.
- ALVES, C. A. **UTILIZAÇÃO DE FRAÇÕES DE ALCATRÃO VEGETAL NA SÍNTESE DE RESINAS FENÓLICAS PARA SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DE FENOL E FORMALDEÍDO.** Tese de Doutorado em Ciências Florestais, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Curitiba. Curitiba, 2003.
- ANTUNES, R. **PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS DE PAINÉIS ESTRUTURAIS WAFERBOARD COM TRATAMENTO DISTILLED TALL OIL.** 2017. 107 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Florestal, Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS. (2012). **Anuário Estatístico da ABRAF 2013 – Ano Base 2012.** Brasília: STCP Engenharia de Projetos.
- AZEREDO, H. M. C. Nanocomposites for food packaging applications. *Food Research International*, Fortaleza, v. 42, p. 1240-1253, 2009.
- BODIG, J.; JAYBE, B. A. ***Mechanics or wood and wood composites.*** Nova Iorque: Van Nostrand, 1982.
- BRONOSKI, M. **ANÁLISE DA EFICIÊNCIA LOGÍSTICA NA GESTÃO DE SUPRIMENTOS DA INDÚSTRIA DE COMPENSADOS NA REGIÃO DE CURITIBA.** 2007. 190 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.
- CALDEIRA, M. V. W.; RONDON NETO, Rubens Marques; SCHUMACHER, Mauro Valdir. AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA NUTRICIONAL DE TRÊS PROCEDÊNCIAS AUSTRALIANAS DE ACÁCIA-NEGRA (*Acacia mearnsii* De Wild.). **Revista Árvore**, Viçosa, v. 26, n. 5, p.615-620, 2002.
- CARDOSO, G. V. et al. Uso de nanocelulose ácida como catalisador de ureia-formaldeído para produção de painéis aglomerados de *Pinus* sp. XV EBRAMEM - Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira. 2016, Curitiba. **Anais...** Curitiba, 2017.
- CARNEIRO, A. de C.O. et al. Reatividade dos taninos da casca de *Eucalyptus grandis* para produção de adesivos. **Cerne**, Lavras, v.7, n.1, p.001-009, 2001.

CARVALHO, A. G et al. DESEMPENHO DE PAINÉIS OSB COM ADESIVOS COMERCIAIS E TÂNICO DEBARBATIMÃO1. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 39, n. 6, p.1155-1163, dez. 2015.

CLOUTIER, A. Oriented strandboard (OSB): raw material, manufacturing process, properties of wood-base fiber and particle materials. In: ISI International Seminar on Solid Wood Products of High Technology. **Anais...** Belo Horizonte, MG, p. 173-185, 1998.

DAMÁSIO, Renato Augusto Pereira et al. Interação de nanocristais de celulose com o adesivo ureia-formaldeído em juntas coladas de Eucalyptus sp. *Scientia Forestalis*, [s.i.], v. 45, n. 113, p.1-8, mar. 2017.

DELGADO, G. C. Economics and governance of nanomaterials: potential and risks. *Technology in Society*, v. 32, n. 2, p.137-144, 2010.

DUFRESNE, A. Nanocellulose: from nature to high performance tailored materials. Walter de Gruyter, 2012.

EISFELD, C. L.; BERGER, R. ANÁLISE DAS ESTRUTURAS DE MERCADO DAS INDÚSTRIAS DE PAINÉIS DE MADEIRA (COMPENSADO, MDF E OSB) NO ESTADO DO PARANÁ. **Floresta**, Curitiba, v. 42, n. 1, p.21-34, jan/mar. 2012.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. (2006). **EN 300**: Oriented Strand Board (OSB) – Definitions, classification and specifications. Portugal.

FPL, Forest Products Laboratory. **Wood handbook - Wood as an engineering material**. Gen. Tech. Rep. FPL–GTR–190. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 509 p. 2010.

FERREIRA, É. S. PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS DE PAINÉIS DE FIBRAS DE MÉDIA DENSIDADE (MDP) PRODUZIDOS COM RESINAS CONVENCIONAIS E MODIFICADAS COM TANINO DE ACÁCIA NEGRA. 2010. 212 f. Tese (Doutorado), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

FINGER, C. A. G. et al. CURVAS DE ALTURA-DIÂMETRO DE ACÁCIA NEGRA (*Acacia mearnsii* de Wild). **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 30, n. 3, p.387-391, 2000.

FOELKEL, C. E. B. Celulose kraft de Pinus spp. **ABTCP**, São Paulo, p.191- 211, jan. 1975.

FOELKEL, E.; FOELKEL, C. E. B. As Florestas Plantadas de Pinus e a Vespa-da-Madeira: Cultivo e Reflorestamento com os Pinus. **Pinus Letter**, Porto Alegre, jan. 2008.

GEORGIN, J. Plantio de Pinus *elliottii* em pequenas propriedades rurais no norte do Rio Grande do Sul. **Revista Monografias Ambientais**, Santa Maria, v. 14, n. 3, p.3341-3345, maio 2014.

GORSKI, L. **Painéis de partículas orientadas (OSB) da madeira de *Pinus spp.* e *Eucalyptus benthamii***. 2014. 146 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal - Área: Tecnologia da Madeira) – Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Lages, 2014.

HELLMEISTER, V. **Painel OSB de resíduo de madeira Balsa (*Ochroma Pyramidale*)**. Tese (Doutorado em Engenharia e Ciência de Materiais). Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos. Universidade de São Paulo. Pirassununga, 2017.

HIZIROGLU, S. Oriented Strand Board as a Building Material. **Food And Agricultural Products Research And Technology Center**, Oklahoma, 2017.

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

KAMEL, S. Nanotechnology and its applications in lignocellulosic composites: A Mini Review. *eXPRESS Polymer Letters*, v.1, n.9, p. 546–575, 2007.

KATSUKAKE, A. **UMA REVISÃO SOBRE A RESINA URÉIA-FORMALDEÍDO (RUF) EMPREGADA NA PRODUÇÃO DE PAINÉIS DE MADEIRA RECONSTITUÍDA**. 2009. 53 f. TCC (Graduação) - Curso de Química, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Bauru, 2009.

KHALIL et al. Production and modification of nanofibrillated cellulose using various mechanical processes: A review. **Carbohydrate Polymers**, [s.l.], v. 99, p.649-665, jan. 2014. Elsevier BV.

KLEMM, D.; HEUBLEIN, B.; BOHN, A. Cellulose: fascinating biopolymer and sustainable raw material. *Angewandte Chemie*, v. 44, p. 3358-3393, 2005.

LIMA, A. F.; JARÁ, E. R. P.; ALFONSO, V. A. Madeira como matéria-prima para fabricação de pasta celulósica. In: PHILIPP, P.; D'ALMEIDA, M. L. O. Celulose e papel: tecnologia de fabricação da pasta celulósica. 2. ed. São Paulo: IPT, 1988. p. 129-167.

MACEDO, L. B. et al. Painéis OSB de madeira *Pinus sp.* e adição de partículas de polipropileno biorientado (BOPP). **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 44, n. 112, p.887-894, 21 dez. 2016.

MACHADO, B. A. S. et al. Desenvolvimento e avaliação da eficácia de filmes biodegradáveis de amido de mandioca com nanocelulose como reforço e com extrato de erva-mate como aditivo antioxidante. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 42, n. 11, p.2085-2091, nov. 2012.

MATOS, J. L. M. **Estudos sobre a produção de painéis estruturais de lâminas paralelas de *Pinus taeda* L.** 1997. 117 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1997.

MELO, R.R. (2012). **Avaliação de variáveis tecnológicas na produção de painéis LVL confeccionados com paricá (Schizolobium amazonicum Huber ex. Ducke)**. Tese de Doutorado em Ciências Florestais, Publicação PPGEFL.TD - 026/2012, Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 164p.

MELO, R. R. **Propriedades físico-mecânicas e resistência a biodeterioradores de chapas aglomeradas constituídas por diferentes proporções de madeira e casca de arroz**. 2009. 77 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.

MENDES, R. F. et al. Effects of thermal pre-treatment and variables of production on properties of OSB panels of Pinus taeda. **Maderas. Ciencia y Tecnología**, Bio-bio, v. 15, n. 2, p.141-152, jan. 2013.

MIGITA, R. T.; CAMPOS, C. I. de; MATOS, C. A. O. de. ANÁLISE DO DESEMPENHO NA FLEXÃO ESTÁTICA DE PAINÉIS DE PARTÍCULAS ORIENTADAS (OSB – ORIENTED STRAND BOARD). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS, 21., 2014, Cuiabá. **Anais**. Cuiabá: Metallum, 2014.

MILANEZ, D. H. **ELABORAÇÃO DE INDICADORES DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA PARA O MONITORAMENTO DE AVANÇOS TECNOLÓGICOS EM NANOCELULOSE**. 2015. 221 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Materiais, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2015.

MOON, R. J. et al. Cellulose nanomaterials review: structure, properties and nanocomposites. **Chemical Society Reviews**, [s.l.], v. 40, n. 7, p.3941-3994, 2011.

MORAIS JUNIOR, R. R. **Características tecnológicas de pinéis com fibras de madeira de eucalipto reforçados com nanocelulose**. 92p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande, Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, 2017.

MORALES, E. A. M. **TÉCNICAS DE PROGRAMAÇÃO DE ONDAS NA ESTIMATIVA DE PROPRIEDADES MECÂNICAS DE PAINÉIS OSB**. 2006. 210 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Materiais, Ciências, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

MOTTA, J.P. et al. Avaliação da resistência ao cisalhamento de juntas coladas com madeira de teca (Tectona grandis). **Sci. For.**, Piracicaba, v. 42, n. 104, p. 615-621, dez. 2014.

MÜLLER, I. **AVALIAÇÃO DA PRODUTIVIDADE DA Acacia mearnsii De Wild. (Acácia negra) EM FUNÇÃO DE DIFERENTES ESPAÇAMENTOS**. 2006. 133 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.

OLIVEIRA, B. G. **USO DE PAINEL LAMINADO DE PINUS TAEDA NA PRODUÇÃO DE SHAPE PARA SKATEBOARD**. 2014. 84 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Industrial Madeireira, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2014.

PICCINI, A.A.P. Efeito do teor de sólidos, e proporção de catalisador nas propriedades da resina à base de tanino de acácia negra. 2010. 48f. Trabalho de Conclusão de Curso – Centro de Engenharias, Curso de Engenharia Industrial Madeireira. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

SALDANHA, L. K. **Alternativas tecnológicas para a produção de chapas de partículas orientadas “OSB”**. 2004. 97p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

SALDANHA, L.K.; WAKIRI, S. **INFLUÊNCIA DA DENSIDADE E DO TIPO DE RESINA NAS PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS DE PAINÉIS OSB DE *Pinus taeda* L.** FLORESTA, Curitiba, PR, v. 39, n. 3, p. 571-576, jul./set. 2009.

SANTOS, M.P.; AGUILAR, M.T.P. "**Painéis de madeira como vedação vertical em construções.**" Cadernos de Arquitetura e Urbanismo 14.15 (2007): 242-263.

SCHROEDER, F. **DETERMINAÇÃO DO TEOR DE UMIDADE E DENSIDADE APARENTE DO CAVACO DE *Pinus* spp. SOB DIFERENTES CONDIÇÕES DE ARMAZENAMENTOS**. 2017. 34 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Florestal, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Dois Vizinhos, 2017.

SILVA, F. S.; ZANOL, G. S.; CARDOSO, G; V. **Incorporação de nanofibrilas de celulose em folhas de papéis**. XXVI Congresso de Iniciação Científica. 2017, Pelotas. Anais... Pelotas: Universidade Federal de Pelotas, 2017.

SIQUEIRA G, BRAS J, DUFRESNE A. **Cellulosic Bionanocomposites: A Review of Preparation, Properties and Applications**. Polymers. 2010.

SOUZA, A. M. **Produção e avaliação do desempenho de compósitos à base de madeira a partir de insumos alternativos**. 2016. 131 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciências, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2016.

SUCHSLAND, O.; WOODSON, G. E. **Fiberboard manufacturing practices in the United States**. USDA: Washington DC, 1986.

SURDI, P. G. **Produção de painéis de partículas orientadas (OSB) a partir da madeira de um híbrido de *Pinus elliottii* var. *elliottii* X *Pinus caribaea* var. *hondurensis***. 2012. 98p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – ESALQ, Piracicaba, 2012.

TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY. **Ash in wood, pulp, paper and paperboard: combustion at 525 °C.** Atlanta, 2012. 5p. (T211 om-12).

_. **Preparation of wood for chemical analysis.** Atlanta, 2007. 4p. (T264 cm- 07).

_. **Sampling and preparing wood for analysis.** Atlanta, 2012. 5p. (T257 sp- 12).

_. **Solvent extractives of wood and pulp.** Atlanta, 2007. 4p. (T204 cm-07).

_. **Water solubility of wood and pulp.** Atlanta, 2008. 3p. (T207 cm-08).

TSOUMIS, G. **Science and technology of wood: structure, properties, utilization, New York, 1991.**

VEIGEL, S. et al. Particle Board and Oriented Strand Board Prepared with Nanocellulose Reinforced Adhesive. *Journal of Nanomaterials*, vol. 2012.

VENTER, P. B. et al. Analysis of commercial proanthocyanidins. Part 3: The chemical composition of wattle (*Acacia mearnsii*) bark extract. *Phytochemistry*, [s.l.], v. 83, p.153-167, nov. 2012.

VIEIRA, A. C. **PRODUÇÃO DE NANOCELULOSE A PARTIR DA CASCA DE EUCALIPTO BIODEGRADADA POR “PYCNOPORUS SANGUINEUS”.** 2018.

86 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronomia, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2018.

VIDAL A. C. F; HORA A. B. **Panorama de mercado: painéis de madeira.**

BNDES Setorial 2014; 40: 323-384.

ZANOL, G. S.; SILVA, F. S.; CARDOSO, G; V. **Produção de papéis de fibras recicladas com adição de nanofibrilas de celulose.** XXVI Congresso de Iniciação Científica. 2017, Pelotas. Anais... Pelotas: Universidade Federal de Pelotas, 2017.

Apêndices

Apêndice 1 – Análise de variância para variável Teor de Sólidos da resina FF

Fonte de Variação	Soma dos Quadrados	GL	Quadrado Médio	Razão-F	Valor-P
Entre Grupos	0,00012808	3	0,0000426933	3,94	0,0536
Dentro dos Grupos	0,0000866067	8	0,0000108258		
Total	0,000214687	11			

Apêndice 2 – Teste para homogeneidade das variâncias para variável Teor de Sólidos da resina FF

Teste	Valor-P
Hartley	11,7064

Apêndice 3 – Teste para verificação da normalidade para variável Teor de Sólidos da resina FF

Prova de Kolmogorov-Smirnov Normal	
DMAS	0,137162
DMENOS	0,082926
DN	0,137162
Valor-P	0,977664

Apêndice 4 – Análise de variância para variável Densidade da resina FF

Fonte de Variação	Soma dos Quadrados	GL	Quadrado Médio	Razão-F	Valor-P
Entre Grupos	0,000586763	3	0,000195588	7,11	0,0121
Dentro dos Grupos	0,000220193	8	0,0000275242		
Total	0,000806957	11			

Apêndice 5 – Teste para homogeneidade das variâncias para variável Densidade da resina FF

Teste	Valor-P
Hartley	2,43331

Apêndice 6 – Teste para verificação da normalidade para variável Densidade da resina FF

Prova de Kolmogorov-Smirnov Normal	
DMAS	0,103352
DMENOS	0,167322
DN	0,167322
Valor-P	0,890062

Apêndice 7 – Análise de variância para variável Viscosidade da resina FF

Fonte de Variação	Soma dos Quadrados	GL	Quadrado Médio	Razão-F	Valor-P
Entre Grupos	280319	3	93439,8	1928,28	0,0000
Dentro dos Grupos	387,661	8	48,4576		
Total	280707	11			

Apêndice 8 – Teste para homogeneidade das variâncias para variável Viscosidade da resina FF

Teste	Valor-P
Hartley	26,2597

Apêndice 9 – Teste para verificação da normalidade para variável Viscosidade da resina FF

Prova de Kolmogorov-Smirnov Normal

DMAS	0,16062
DMENOS	0,267445
DN	0,267445
Valor-P	0,360378

Apêndice 10 – Análise de variância para variável Gel Time da resina FF

Fonte de Variação	Soma dos Quadrados	GL	Quadrado Médio	Razão-F	Valor-P
Entre Grupos	23047,6	3	7682,53	475,21	0,0000
Dentro dos Grupos	129,333	8	16,1667		
Total	23176,9	11			

Apêndice 11 – Teste para homogeneidade das variâncias para variável Gel Time da resina FF

Teste Valor-P

Hartley 19,8571

Apêndice 12 – Teste para verificação da normalidade para variável Gel Time da resina FF

Prova de Kolmogorov-Smirnov Normal

DMAS	0,335524
DMENOS	0,18926
DN	0,335524
Valor-P	0,134185

Apêndice 13 – Análise de variância para variável Inchamento em Espessura (2hs) dos painéis

OSB – Primeira Etapa

Fonte de Variação	Soma dos Quadrados	GL	Quadrado Médio	Razão-F	Valor-P
Entre Grupos	0,0172005	3	0,00573351	40,17	0,0000
Dentro dos Grupos	0,00285466	20	0,000142733		
Total	0,0200552	23			

Apêndice 14 – Teste para homogeneidade das variâncias para variável Inchamento em

Espessura (2hs) dos painéis OSB – Primeira Etapa

Teste Valor-P

Hartley 2,07374

Apêndice 15 – Teste para verificação da normalidade para variável Inchamento em Espessura

(2hs) dos painéis OSB – Primeira Etapa

Prova de Kolmogorov-Smirnov Normal

DMAS	0,147714
DMENOS	0,0794551
DN	0,147714
Valor-P	0,671593

Apêndice 16 – Análise de variância para variável Inchamento em Espessura (24hs) dos

painéis OSB – Primeira Etapa

Fonte de Variação	Soma dos Quadrados	GL	Quadrado Médio	Razão-F	Valor-P
Entre Grupos	0,139505	3	0,0465016	125,42	0,0000
Dentro dos Grupos	0,00741554	20	0,000370777		
Total	0,14692	23			

Apêndice 17 – Teste para homogeneidade das variâncias para variável Inchamento em Espessura (24hs) dos painéis OSB – Primeira Etapa

Teste Valor-P
Hartley 4,62825

Apêndice 18 – Teste para verificação da normalidade para variável Inchamento em Espessura (24hs) dos painéis OSB – Primeira Etapa

Prova de Kolmogorov-Smirnov Normal	
DMAS	0,160333
DMENOS	0,175728
DN	0,175728
Valor-P	0,456906

Apêndice 19 – Análise de variância para variável Absorção de Água (2hs) dos painéis OSB – Primeira Etapa

Fonte de Variação	Soma dos Quadrados	GL	Quadrado Médio	Razão-F	Valor-P
Entre Grupos	0,149161	3	0,0497202	11,36	0,0001
Dentro dos Grupos	0,0875669	20	0,00437834		
Total	0,236727	23			

Apêndice 20 – Teste para homogeneidade das variâncias para variável Absorção de Água (2hs) dos painéis OSB – Primeira Etapa

Teste Valor-P
Hartley 46,2873

Apêndice 21 – Teste para verificação da normalidade para variável Absorção de Água (2hs) dos painéis OSB – Primeira Etapa

Prova de Kolmogorov-Smirnov Normal	
DMAS	0,182583
DMENOS	0,130666
DN	0,182583
Valor-P	0,405387

Apêndice 22 – Análise de variância para variável Absorção de Água (24hs) dos painéis OSB – Primeira Etapa

Fonte de Variação	Soma dos Quadrados	GL	Quadrado Médio	Razão-F	Valor-P
Entre Grupos	0,122297	3	0,0407656	10,07	0,0003
Dentro dos Grupos	0,0809768	23	0,00404884		
Total	0,203273	20			

Apêndice 23 – Teste para homogeneidade das variâncias para variável Absorção de Água (24hs) dos painéis OSB – Primeira Etapa

Teste Valor-P
Hartley 36,7757

Apêndice 24 – Teste para verificação da normalidade para variável Absorção de Água (24hs) dos painéis OSB – Primeira Etapa

Prova de Kolmogorov-Smirnov Normal	
DMAS	0,183166
DMENOS	0,10821
DN	0,183166
Valor-P	0,401216

Apêndice 25 – Análise de variância para variável Teor de Umidade dos painéis OSB – Primeira Etapa

Fonte de Variação	Soma dos Quadrados	GL	Quadrado Médio	Razão-F	Valor-P
Entre Grupos	0,0011752	3	0,000391734	50,89	0,0000
Dentro dos Grupos	0,000153965	20	0,00000769825		
Total	0,00132917	23			

Apêndice 26 – Teste para homogeneidade das variâncias para variável Teor de Umidade dos painéis OSB – Primeira Etapa

Teste	Valor-P
Hartley	5,49937

Apêndice 27 – Teste para verificação da normalidade para variável Teor de Umidade dos painéis OSB – Primeira Etapa

Prova de Kolmogorov-Smirnov Normal	
DMAS	0,131449
DMENOS	0,16849
DN	0,16849
Valor-P	0,516244

Apêndice 28 – Análise de variância para variável Inchamento em Espessura (2hs) dos painéis OSB – Segunda Etapa

Fonte de Variação	Soma dos Quadrados	GL	Quadrado Médio	Razão-F	Valor-P
Entre Grupos	0,00266458	2	0,00133229	2,27	0,1382
Dentro dos Grupos	0,00882269	15	0,000588179		
Total	0,0114873	17			

Apêndice 29 – Teste para homogeneidade das variâncias para variável Inchamento em Espessura (2hs) dos painéis OSB – Segunda Etapa

Teste	Valor-P
Hartley	7,47612

Apêndice 30 – Teste para verificação da normalidade para variável Inchamento em Espessura (2hs) dos painéis OSB – Segunda Etapa

Prova de Kolmogorov-Smirnov Normal	
DMAS	0,150362
DMENOS	0,139897
DN	0,150362
Valor-P	0,810443

Apêndice 31 – Análise de variância para variável Inchamento em Espessura (24hs) dos painéis OSB – Segunda Etapa

Fonte de Variação	Soma dos Quadrados	GL	Quadrado Médio	Razão-F	Valor-P
Entre Grupos	0,0139837	2	0,00699185	10,68	0,0013
Dentro dos Grupos	0,0098177	15	0,000654513		
Total	0,0238014	17			

Apêndice 32 – Teste para homogeneidade das variâncias para variável Inchamento em Espessura (24hs) dos painéis OSB – Segunda Etapa

Teste	Valor-P
Hartley	

Apêndice 33 – Teste para verificação da normalidade para variável Inchamento em Espessura (24hs) dos painéis OSB – Segunda Etapa

Prova de Kolmogorov-Smirnov	Normal
DMAS	0,122546
DMENOS	0,136582
DN	0,136582
Valor-P	0,890243

Apêndice 34 – Análise de variância para variável Absorção de Água (2hs) dos painéis OSB – Segunda Etapa

Fonte de Variação	Soma dos Quadrados	GL	Quadrado Médio	Razão-F	Valor-P
Entre Grupos	0,0874381	2	0,0437191	5,99	0,0123
Dentro dos Grupos	0,109546	15	0,00730308		
Total	0,196984	17			

Apêndice 35 – Teste para homogeneidade das variâncias para variável Absorção de Água (2hs) dos painéis OSB – Segunda Etapa

Teste	Valor-P
Hartley	21,28

Apêndice 36 – Teste para verificação da normalidade para variável Absorção de Água (2hs) dos painéis OSB – Segunda Etapa

Prova de Kolmogorov-Smirnov	Normal
DMAS	0,202552
DMENOS	0,132859
DN	0,202552
Valor-P	0,459366

Apêndice 37 – Análise de variância para variável Absorção de Água (24hs) dos painéis OSB – Segunda Etapa

Fonte de Variação	Soma dos Quadrados	GL	Quadrado Médio	Razão-F	Valor-P
Entre Grupos	0,121166	2	0,060583	7,95	0,0044
Dentro dos Grupos	0,11428	15	0,00761866		
Total	0,235446	17			

Apêndice 38 – Teste para homogeneidade das variâncias para variável Absorção de Água (24hs) dos painéis OSB – Segunda Etapa

Teste Valor-P
Hartley 48,5953

Apêndice 39 – Teste para verificação da normalidade para variável Absorção de Água (24hs) dos painéis OSB – Segunda Etapa

Prova de Kolmogorov-Smirnov Normal	
DMAS	0,202552
DMENOS	0,132859
DN	0,202552
Valor-P	0,459366

Apêndice 40 – Análise de variância para variável Teor de Umidade dos painéis OSB – Segunda Etapa

Fonte de Variação	Soma dos Quadrados	GL	Quadrado Médio	Razão-F	Valor-P
Entre Grupos	0,000186908	2	0,0000934539	2,70	0,0999
Dentro dos Grupos	0,00051973	15	0,0000346487		
Total	0,000706638	17			

Apêndice 41 – Teste para homogeneidade das variâncias para variável Teor de Umidade dos painéis OSB – Segunda Etapa

Teste Valor-P
Hartley 16,1157

Apêndice 42 – Teste para verificação da normalidade para variável Teor de Umidade dos painéis OSB – Segunda Etapa

Prova de Kolmogorov-Smirnov Normal	
DMAS	0,101185
DMENOS	0,134009
DN	0,134009
Valor-P	0,902988

Apêndice 43 – Análise de variância para variável MOR Perpendicular dos painéis OSB – Primeira Etapa

Fonte de Variação	Soma dos Quadrados	GL	Quadrado Médio	Razão-F	Valor-P
Entre Grupos	4,8831E6	3	1,6277E6	12,41	0,0005
Dentro dos Grupos	1,57441E6	12	131201,		
Total	6,45751E6	15			

Apêndice 44 – Teste para homogeneidade das variâncias para variável MOR Perpendicular dos painéis OSB – Primeira Etapa

Teste Valor-P
Hartley 22,3841

Apêndice 45 – Teste para verificação da normalidade para variável MOR Perpendicular dos painéis OSB – Primeira Etapa

Prova de Kolmogorov-Smirnov Normal	
DMAS	0,197863
DMENOS	0,170284
DN	0,197863
Valor-P	0,558112

Apêndice 46 – Análise de variância para variável MOE Perpendicular dos painéis OSB – Primeira Etapa

Fonte de Variação	Soma dos Quadrados	GL	Quadrado Médio	Razão-F	Valor-P
Entre Grupos	318,128	3	106,043	92,86	0,0000
Dentro dos Grupos	13,7043	12	1,14202		
Total	331,832	15			

Apêndice 47 – Teste para homogeneidade das variâncias para variável MOE Perpendicular dos painéis OSB – Primeira Etapa

Teste	Valor-P
Hartley	166,726

Apêndice 48 – Teste para verificação da normalidade para variável MOE Perpendicular dos painéis OSB – Primeira Etapa

Prova de Kolmogorov-Smirnov Normal	
DMAS	0,197863
DMENOS	0,170284
DN	0,197863
Valor-P	0,558112

Apêndice 49 – Análise de variância para variável MOE Paralelo dos painéis OSB – Primeira Etapa

Fonte de Variação	Soma dos Quadrados	GL	Quadrado Médio	Razão-F	Valor-P
Entre Grupos	3,70832E6	3	1,23611E6	8,48	0,0027
Dentro dos Grupos	1,74877E6	12	145731,		
Total	5,45709E6	15			

Apêndice 50 – Teste para homogeneidade das variâncias para variável MOE Paralelo dos painéis OSB – Primeira Etapa

Teste	Valor-P
Hartley	7,328

Apêndice 51 – Teste para verificação da normalidade para variável MOE Paralelo dos painéis OSB – Primeira Etapa

Prova de Kolmogorov-Smirnov Normal	
DMAS	0,189395
DMENOS	0,114547
DN	0,189395
Valor-P	0,61442

Apêndice 52 – Análise de variância para variável MOR Paralelo dos painéis OSB – Primeira Etapa

Fonte de Variação	Soma dos Quadrados	GL	Quadrado Médio	Razão-F	Valor-P
Entre Grupos	633,173	3	211,058	11,59	0,0007
Dentro dos Grupos	218,607	12	18,2172		
Total	851,78	15			

Apêndice 53 – Teste para homogeneidade das variâncias para variável MOR Paralelo dos painéis OSB – Primeira Etapa

Teste	Valor-P
Hartley	11,9273

Apêndice 54 – Teste para verificação da normalidade para variável MOR Paralelo dos painéis OSB – Primeira Etapa

Prova de Kolmogorov-Smirnov	Normal
DMAS	0,160175
DMENOS	0,163744
DN	0,163744
Valor-P	0,784268

Apêndice 55 – Análise de variância para variável MOR Perpendicular dos painéis OSB – Segunda Etapa

Fonte de Variação	Soma dos Quadrados	GL	Quadrado Médio	Razão-F	Valor-P
Entre Grupos	58,2769	2	29,1385	2,26	0,1442
Dentro dos Grupos	167,935	12	12,9181		
Total	226,212	14			

Apêndice 56 – Teste para homogeneidade das variâncias para variável MOR Perpendicular dos painéis OSB – Segunda Etapa

Teste	Valor-P
Hartley	13,5726

Apêndice 57 – Teste para verificação da normalidade para variável MOR Perpendicular dos painéis OSB – Segunda Etapa

Prova de Kolmogorov-Smirnov	Normal
DMAS	0,102415
DMENOS	0,135855
DN	0,135855
Valor-P	0,929272

Apêndice 58 – Análise de variância para variável MOE Perpendicular dos painéis OSB – Segunda Etapa

Fonte de Variação	Soma dos Quadrados	GL	Quadrado Médio	Razão-F	Valor-P
Entre Grupos	4,669E6	2	2,3345E6	15,33	0,0005
Dentro dos Grupos	1,82722E6	12	152268,		
Total	6,49622E6	14			

Apêndice 59 – Teste para homogeneidade das variâncias para variável MOE Perpendicular dos painéis OSB – Segunda Etapa

Teste Valor-P
Hartley 9,94459

Apêndice 60 – Teste para verificação da normalidade para variável MOE Perpendicular dos painéis OSB – Segunda Etapa

Prova de Kolmogorov-Smirnov Normal	
DMAS	0,192455
DMENOS	0,0988734
DN	0,192455
Valor-P	0,634957

Apêndice 61 – Análise de variância para variável MOE Paralelo dos painéis OSB – Segunda Etapa

Fonte de Variação	Soma dos Quadrados	GL	Quadrado Médio	Razão-F	Valor-P
Entre Grupos	3,43193E6	2	1,71596E6	5,48	0,0204
Dentro dos Grupos	3,76045E6	12	313371,		
Total	7,19237E6	14			

Apêndice 62 – Teste para homogeneidade das variâncias para variável MOE Paralelo dos painéis OSB – Segunda Etapa

Teste Valor-P
Hartley 4,5849

Apêndice 63 – Teste para verificação da normalidade para variável MOE Paralelo dos painéis OSB – Segunda Etapa

Prova de Kolmogorov-Smirnov Normal	
DMAS	0,172798
DMENOS	0,119256
DN	0,172798
Valor-P	0,761633

Apêndice 64 – Análise de variância para variável MOR Paralelo dos painéis OSB – Segunda Etapa

Fonte de Variação	Soma dos Quadrados	GL	Quadrado Médio	Razão-F	Valor-P
Entre Grupos	57,0857	2	28,5428	0,51	0,6122
Dentro dos Grupos	669,797	12	55,8164		
Total	726,883	14			

Apêndice 65 – Teste para homogeneidade das variâncias para variável MOR Paralelo dos painéis OSB – Segunda Etapa

Teste Valor-P
Hartley 1,21518

Apêndice 66 – Teste para verificação da normalidade para variável MOR Paralelo dos painéis OSB – Segunda Etapa

Prova de Kolmogorov-Smirnov Normal	
DMAS	0,117065
DMENOS	0,152828
DN	0,152828
Valor-P	0,87482

Apêndice 67 – Análise de variância para variável Resistência à Tração Perpendicular dos painéis OSB – Primeira Etapa

Fonte de Variação	Soma dos Quadrados	GL	Quadrado Médio	Razão-F	Valor-P
Entre Grupos	0,00493443	3	0,00164481	2,18	0,1297
Dentro dos Grupos	0,0120496	16	0,000753097		
Total	0,016984	19			

Apêndice 68 – Teste para homogeneidade das variâncias para variável Resistência à Tração Perpendicular dos painéis OSB – Primeira Etapa

Teste	Valor-P
Hartley	11,5152

Apêndice 69 – Teste para verificação da normalidade para variável Resistência à Tração Perpendicular dos painéis OSB – Primeira Etapa

Prova de Kolmogorov-Smirnov Normal	
DMAS	0,115169
DMENOS	0,0604305
DN	0,115169
Valor-P	0,953494

Apêndice 70 – Análise de variância para variável Resistência à Tração Perpendicular dos painéis OSB – Segunda Etapa

Fonte de Variação	Soma dos Quadrados	GL	Quadrado Médio	Razão-F	Valor-P
Entre Grupos	0,0159248	2	0,00796242	10,38	0,0024
Dentro dos Grupos	0,0092037	12	0,000766975		
Total	0,0251285	14			

Apêndice 71 – Teste para homogeneidade das variâncias para variável Resistência à Tração Perpendicular dos painéis OSB – Segunda Etapa

Teste	Valor-P
Hartley	6,01138

Apêndice 72 – Teste para verificação da normalidade para variável Resistência à Tração Perpendicular dos painéis OSB – Segunda Etapa

Prova de Kolmogorov-Smirnov Normal	
DMAS	0,13026
DMENOS	0,0989124
DN	0,13026
Valor-P	0,960996

Apêndice 73 – Análise de variância para variável Dureza Janka dos painéis OSB – Primeira Etapa

Fonte de Variação	Soma dos Quadrados	GL	Quadrado Médio	Razão-F	Valor-P
Entre Grupos	173293,	3	57764,3	2,81	2,81
Dentro dos Grupos	390045,	19	20528,7		
Total	563338,	22			

Apêndice 74 – Teste para homogeneidade das variâncias para variável Dureza Janka dos painéis OSB – Primeira Etapa

Teste	Valor-P
Hartley	3,03264

Apêndice 75 – Teste para verificação da normalidade para variável Dureza Janka dos painéis OSB – Primeira Etapa

Prova de Kolmogorov-Smirnov	Normal
DMAS	0,0846074
DMENOS	0,0892498
DN	0,0892498
Valor-P	0,993032

Apêndice 76 – Análise de variância para variável Dureza Janka dos painéis OSB – Segunda Etapa

Fonte de Variação	Soma dos Quadrados	GL	Quadrado Médio	Razão-F	Valor-P
Entre Grupos	596563,	2	298282,	37,45	0,0000
Dentro dos Grupos	135402,	17	7964,8		
Total	731965,	19			

Apêndice 77 – Teste para homogeneidade das variâncias para variável Dureza Janka dos painéis OSB – Segunda Etapa

Teste	Valor-P
Hartley	2,38262

Apêndice 78 – Teste para verificação da normalidade para variável Dureza Janka dos painéis OSB – Segunda Etapa

Prova de Kolmogorov-Smirnov	Normal
DMAS	0,185965
DMENOS	0,142218
DN	0,185965
Valor-P	0,505437

Apêndice 79 – Análise de variância para variável Densidade dos painéis OSB – Primeira Etapa

Fonte de Variação	Soma dos Quadrados	GL	Quadrado Médio	Razão-F	Valor-P
Entre Grupos	0,00350296	3	0,00116765	0,14	0,9329
Dentro dos Grupos	0,734512	91	0,00807156		
Total	0,738015	94			

Apêndice 80 – Teste para homogeneidade das variâncias para variável Densidade dos painéis OSB – Primeira Etapa

Teste	Valor-P
Hartley	

Apêndice 81 – Teste para verificação da normalidade para variável Densidade dos painéis OSB – Primeira Etapa

Prova de Kolmogorov-Smirnov Normal	
DMAS	0,118894
DMENOS	0,0641454
DN	0,118894
Valor-P	0,136356

Apêndice 82 – Análise de variância para variável Densidade dos painéis OSB – Segunda Etapa

Fonte de Variação	Soma dos Quadrados	GL	Quadrado Médio	Razão-F	Valor-P
Entre Grupos	0,0183321	2	0,00916607	1,36	0,2644
Dentro dos Grupos	0,404335	60	0,00673891		
Total	0,422667	62			

Apêndice 83 – Teste para homogeneidade das variâncias para variável Densidade dos painéis OSB – Segunda Etapa

Teste	Valor-P
Hartley	4,93546

Apêndice 84 – Teste para verificação da normalidade para variável Densidade dos painéis OSB – Segunda Etapa

Prova de Kolmogorov-Smirnov Normal	
DMAS	0,106509
DMENOS	0,0919402
DN	0,106509
Valor-P	0,482211