

UFRRJ
INSTITUTO DE FLORESTAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS
AMBIENTAIS E FLORESTAIS

DISSERTAÇÃO

**Utilização de lignosulfonato de cálcio e magnésio em misturas com
fenol-formaldeído na produção de painéis aglomerados**

Marcelly Alves da Silva

2016



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS E
FLORESTAIS

**UTILIZAÇÃO DE LIGNOSULFONATO DE CÁLCIO E
MAGNÉSIO EM MISTURAS COM FENOL-FORMALDEÍDO
NA PRODUÇÃO DE PAINÉIS AGLOMERADOS**

MARCELLY ALVES DA SILVA

Sob a Orientação do Professor
Roberto Carlos Costa Lelis

e Co-orientação do Professor
Alexandre Miguel do Nascimento

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências**, no Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Florestais, Área de Concentração em Ciência e Tecnologia de Produtos Florestais.

Seropédica, RJ
Fevereiro de 2016

674.836

S586u

T

Silva, Marcelly Alves da, 1989-

Utilização de lignosulfonato de cálcio e magnésio em misturas com fenol-formaldeído na produção de painéis aglomerados / Marcelly Alves da Silva - 2016.

33 f.: il.

Orientador: Roberto Carlos Costa Lelis.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Curso de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Florestais.

Bibliografia: f. 27-33.


1. Madeira aglomerada - Teses. 2. Madeira aglomerada - Propriedades mecânicas - Teses. 3. Madeira - Adesivos - Teses. 4. Densidade da madeira - Teses. I. Lelis, Roberto Carlos Costa, 1965-. II. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Curso de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Florestais. III. Título.

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS E
FLORESTAIS**

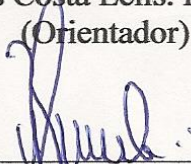
MARCELLY ALVES DA SILVA

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Ciências, no Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Florestais, área de concentração em Ciência e Tecnologia de Produtos Florestais.


DISSERTAÇÃO APROVADA EM 26/02/2016



Roberto Carlos Costa Lelis. Prof. Dr. UFRRJ
(Orientador)



Alexsandro Bayestorff da Cunha. Prof. Dr. UDESC



Cláudio Rocha Lopes. Prof. Dr. UFF



Gilmara Pires de Moura Palermo. Prof.^a Dr.^a. UFRRJ

*À Deus pela benção de cada dia,
Ao meu eterno amor Pablo por ser a alegria de cada manhã,
Aos meus amados pais Adelir e Evangelista por todo carinho e apoio.
Dedico.*

AGRADECIMENTOS

À Deus, que é fiel para honrar e abençoar os que o amam. Agradeço de todo meu ser por manter a chama do Espírito Santo acesa em meu coração.

Ao meu marido Pablo, por me incentivar a fazer o mestrado, por me ajudar em todas as etapas de confecção deste trabalho. Se esta dissertação pudesse ter dois autores, sem dúvida alguma seu nome estaria presente. Obrigada por ser tão companheiro, prestativo, calmo e me trazer tanta serenidade. Sem suas ações e palavras com certeza eu não teria conseguido.

Aos meus pais Adelir e Evangelista, por serem tão parceiros e amigos, por sonhar junto comigo e por serem rocha firme nos momentos de fraqueza. Gratidão sem fim!

À Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, por ser o berço de minha formação profissional.

Ao professor Roberto Carlos Costa Lelis, por aceitar o meu pedido de orientação mesmo sem me conhecer o suficiente, por se fazer presente nos momentos em que tudo parecia dar errado, pelo afinho e dedicação na orientação.

Ao meu co-orientador Alexandre Miguel do Nascimento, pelo auxílio na parte estatística do trabalho.

Ao professor Edvá Brito por ceder o Laboratório de Painéis, permitindo a utilização para o desenvolvimento desta dissertação e pelas constantes contribuições ao longo deste período.

As professoras Rosilei Garcia e Gilmara Palermo pelas sugestões e ajudas direcionadas ao enriquecimento deste trabalho na defesa do pré-projeto.

Ao Gilmar Correa que foi um exímio co-orientador durante esse período de confecção dos painéis e análises.

A equipe do Laboratório de Química da Madeira: José Carlos, que me auxiliou na etapa inicial de produção de partículas e confecção dos painéis, a Gisely Oliveira pela ajuda em análises, ao Wagner por ser tão prestativo.

Aos colegas e amigos que tornaram os dias mais leves: Renata, Rafael, Júlio, Carlos Eduardo, Zé, Raquel e Camila.

A todos que contribuíram de alguma forma para realização deste trabalho.

RESUMO

SILVA, Marcelly Alves da. **Utilização de lignosulfonato de cálcio e magnésio em misturas com fenol-formaldeído na produção de painéis aglomerados.** 2016. 33 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais). Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2016.

O objetivo deste estudo foi avaliar a viabilidade da utilização do lignosulfonato de cálcio e magnésio (LS) na produção de painéis aglomerados de *Pinus caribaea var. caribaea*, na forma pura e em misturas com fenol-formaldeído (FF). Foram determinadas a densidade básica e aparente da madeira, bem como as propriedades físicas e químicas dos adesivos. De modo a avaliar o efeito da substituição de FF por LS sobre as propriedades físicas e químicas, foram produzidos painéis com diferentes concentrações desses adesivos. O delineamento experimental foi constituído de duas fases. A primeira fase foi realizada sob a temperatura de 160°C e tempo de prensagem de 10 minutos, com as seguintes composições: 100% de FF, e as substituições por LS nas proporções de 20, 40, 60, 80 e 100%, com três repetições cada. Na segunda fase, os três tratamentos da primeira fase com desempenho inferior nas propriedades mecânicas foram testados na temperatura de 180°C em tempos de prensagem de 5 e 7 minutos. Os resultados médios da densidade básica e aparente da madeira foram de 0,54 e 0,60g/cm³, respectivamente. Na segunda fase, o aumento da temperatura e a diminuição do tempo de prensagem não foram suficientes para consolidar o painel, não sendo possível analisar os resultados desta fase. Com relação ao inchamento em espessura e absorção de água, à medida que aumentou a proporção de lignosulfonato na mistura elevaram-se também esses valores. Em até 80%, a substituição do adesivo fenol-formaldeído por lignosulfonato foi satisfatória no atendimento a NBR 14810-2 (ABNT,2013) para propriedades mecânicas. O lignosulfonato apresentou eficiência na utilização como adesivo na produção de painéis aglomerados em misturas com fenol-formaldeído, evidenciando que esta é uma alternativa à utilização de adesivos sintéticos.

Palavras-chave: adesivo, *Pinus caribaea*, propriedades mecânicas.

ABSTRACT

SILVA, Marcellly Alves da. **Using of calcium and magnesium lignosulfonate in mixtures with phenol-formaldehyde in particleboard manufacturing.** 2016. 33 p. Dissertation (Master in forest and Environmental Sciences). Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2016.

The purpose of this study was to evaluate the feasibility of using calcium and magnesium lignosulfonate (LS) in the production of *Pinus caribaea* var. *caribaea* particleboard panels, used pure and in mixtures with phenol-formaldehyde (FF). It was determined the basic and apparent density of the wood, as well as the physical and chemical properties of adhesives. In order to evaluate the effect of FF replaced by LS on the physical and chemical properties, panels were produced with different concentrations of these adhesives. The experiment consisted of two phases. The first phase was performed under temperature of 160°C and pressing time of 10 minutes with the following compositions: 100% FF, and LS substitutions in the proportions of 20, 40, 60, 80 and 100%, with three replications each. In the second phase, the first phase of the three treatments with lower performance in the mechanical properties were tested at a temperature of 180°C and to 7 minutes. The results of basic and apparent wood density were 0.54 and 0.60 g/cm³, respectively. In the second stage the temperature increased and decreased of the pressing time were not sufficient to consolidate the panel, becoming not possible to analyze the results of this phase. In respect to the thickness swelling and water absorption, increases in the proportion of lignosulfonate in the mixture also raise up these values. The substitution of the phenol-formaldehyde adhesive of lignosulfonate was satisfactory in attendance the specific norm for mechanical properties by 80%. The lignosulfonate showed efficiency in the use as an adhesive in the production of particleboard in mixtures with phenol formaldehyde, suggesting that this is an alternative of the use of synthetic adhesives.

Key-words: adhesive, *Pinus caribaea*, mechanics properties.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Parte da estrutura química do lignosulfonato (Fonte: Fredheim, 2003).	8
Figura 2. Gerador de partículas (A) e a partícula originada pelo mesmo (B).	13
Figura 3. Moinho de martelo (A) e a partícula originada pelo mesmo (B).	14
Figura 4. Disposição dos corpos de prova para os ensaios físicos e mecânicos no painel (SILVA, 2015).	16

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Composição dos tratamentos para variações de adição lignosulfonato e fenol formaldeído e tempo de prensagem para temperatura 160°C.	15
Tabela 2. Composição dos tratamentos para variações de adição lignosulfonato e fenol formaldeído, com tempo de prensagem de 5 e 7 minutos e temperatura de 180°C.	15
Tabela 3. Requisitos para propriedades mecânicas e inchamento para painéis não estruturais para uso em condições úmidas - Painel Tipo P3.	17
Tabela 4. Médias da densidade básica e aparente da madeira de <i>Pinus caribaea</i> com 27 anos.	17
Tabela 5. Teor de sólidos dos tratamentos compostos com diferentes composições adesivas.	18
Tabela 6. Tempo de formação de gel dos tratamentos compostos com diferentes composições adesivas.	19
Tabela 7. Viscosidade dos tratamentos compostos com diferentes composições adesivas.	20
Tabela 8. pH médio dos tratamentos compostos com diferentes composições adesivas.	20
Tabela 9. Valores médios de densidade aparente dos painéis fabricados para os diferentes tratamentos com substituição de lignosulfonato pelo adesivo fenol-formaldeído.	21
Tabela 10. Valores médios do teor de umidade dos painéis fabricados com substituição de lignosulfonato pelo adesivo fenol-formaldeído.	22
Tabela 11. Valores médios de Inchamento em Espessura dos painéis aglomerados após 2 e 24 h de imersão em água.	23
Tabela 12. Valores médios de Absorção de Água dos painéis aglomerados após 2 e 24 h de imersão em água.	24
Tabela 13. Valores médios de Ligação Interna dos painéis fabricados com substituição de lignosulfonato pelo adesivo fenol-formaldeído.	25
Tabela 14. Valores médios de Flexão Estática dos painéis fabricados com substituição de lignosulfonato pelo adesivo fenol-formaldeído.	26

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	2
2.1 Painéis de Madeira Aglomerada.....	2
2.2 Fatores Inerentes a Madeira que Afetam as Propriedades dos Painéis.....	3
2.2.1 Espécie florestal e densidade	3
2.2.2 Outras características da madeira	4
2.3 Fatores Inerentes ao Processo de Fabricação que Afetam as Propriedades dos Painéis ..	4
2.3.1 Partículas	4
2.3.2 Adesivos	6
2.3.3 Condições de prensagem	7
2.4 Lignosulfonato.....	7
2.4.1 Caracterização e obtenção do lignosulfonato	7
2.4.2 Aplicabilidade do lignosulfonato na indústria.....	10
3 MATERIAL E MÉTODOS	11
3.1 Obtenção da Madeira e Determinação da Densidade Básica e Aparente.....	11
3.1.1 Obtenção da madeira para a confecção dos painéis	11
3.1.2 Determinação da densidade básica e aparente da madeira	11
3.2 Avaliação das Propriedades dos Adesivos	11
3.2.1 Determinação do teor de sólidos	12
3.2.2 Determinação do tempo de formação de gel	12
3.2.3 Determinação da viscosidade	12
3.2.4 Determinação do pH.....	13
3.3 Produção de Painéis Aglomerados	13
3.3.1 Delineamento experimental.....	14
3.3.2 Avaliação das propriedades físicas e mecânicas dos painéis	16
3.3.3 Análise dos dados	17
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	17
4.1 Densidade Básica e Aparente da Madeira	17
4.2 Propriedades do Adesivo Fenol-Formaldeído, do Lignosulfonato e de suas Misturas ..	18
4.2.1 Teor de sólidos	18
4.2.2 Tempo de formação de gel	19
4.2.3 Viscosidade.....	19
4.2.4 pH dos adesivos	20
4.3 Avaliação das Propriedades Físicas e Mecânicas dos Painéis.....	21
4.3.1 Avaliação da densidade aparente e da umidade dos painéis	21
4.3.2 Avaliação do inchamento em espessura e absorção de água.....	23
4.3.3 Avaliação das propriedades mecânicas dos painéis	24
5 CONCLUSÕES.....	27
6 RECOMENDAÇÕES.....	27
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	27

1 INTRODUÇÃO

A indústria de painéis aglomerados surgiu no início da década de 1940, na Alemanha, com a finalidade de aproveitar os resíduos industriais e das serrarias, uma vez que havia dificuldade para a produção de lâminas de boa qualidade para a fabricação de compensados (DONATI, 2010). No Brasil, em 1966, os painéis de madeira aglomerada começaram a ser produzidos pela indústria iniciada pelo grupo francês Louis Dreiffus, que criou a empresa Placas do Paraná, em Curitiba, devido à abundância de resíduos produzidos na região Sul pela indústria moveleira local (MATTOS et al. 2008). Os painéis de madeira constituem uma alternativa à madeira maciça, que além de diminuir o custo do produto, possuem as vantagens de amenizar a anisotropia e a instabilidade dimensional, e ainda melhorar as propriedades isolantes, térmicas e acústicas. Adicionalmente, suprem uma necessidade reconhecida no uso da madeira serrada e ampliam a sua superfície útil, através da expansão de uma de suas dimensões (a largura), para, assim, otimizar a sua aplicação (REMADE, 2004).

Os painéis aglomerados caracterizam-se pela transformação da madeira em pequenas partículas que após serem secas e misturadas com resina sintética termofixa e distribuídas aleatoriamente entre si, são conformadas sob calor e pressão gerando um painel (MOSLEMI, 1974; TSOUKIS, 1991). Melo et al. (2009) citam que os painéis aglomerados podem ser produzidos a partir de qualquer material ligno-celulósico, desde que lhes confirmem resistência física, mecânica e biológica adequadas. Além da madeira, podem ser utilizadas outras fontes de fibras, como bagaço de cana-de-açúcar, bambu, casca de arroz, aparas de papel reciclado, dentre outros. Entretanto, a qualidade final do produto pode ser limitada pela escolha do material.

Nas indústrias de painéis aglomerados, as resinas tradicionalmente utilizadas são as fenólicas e uréicas, sendo estas últimas de baixa resistência à umidade (ROFFAEL, 1982), ambas obtidas pela condensação de formaldeído com fenol ou ureia, respectivamente. Chow (1983) menciona que estas substâncias, por serem oriundas de derivados de petróleo, elevam o custo do adesivo e conseqüentemente o custo total dos painéis, contribuindo para a substituição desse componente por outros, desde que não haja modificações das propriedades (PÉREZ et al. 2007). A crise do petróleo de 1970 intensificou a preocupação em substituir estes derivados petroquímicos na indústria de painéis de madeira (CHOW, 1983; PIZZI & MITTAL, 1994) e a crescente preocupação com o meio ambiente, juntamente com a possibilidade de escassez desses recursos impulsiona cada vez mais o desenvolvimento de novos produtos, oriundos de fontes renováveis (ALEMDAR & SAIN, 2008).

Um polímero natural que vem ganhando destaque é o lignosulfonato, também chamado de lignina sulfonada. Trata-se de um subproduto rico em lignina gerado a partir do processo de polpação da madeira pelos processos ácidos sulfito ou bissulfito em fábricas de celulose e papel. De acordo com o tipo do processo de polpação, podem ser obtidos lignosulfonatos de cálcio, sódio, magnésio e amônio (RODRÍGUEZ, 2005). A este respeito, a substituição parcial de fenol por lignina tem sido apresentada como a alternativa mais atraente, devido à semelhança estrutural entre este polímero natural existente de caráter fenólico com resinas de fenol-formaldeído (FORSS & FUHRMANN, 1979). A lignina é o principal subproduto da pasta de celulose química e é uma matéria-prima barata e abundante.

Considerando-se o exposto, o objetivo geral deste trabalho foi avaliar a viabilidade de utilização de lignosulfonatos como adesivo e de suas combinações com o adesivo fenol formaldeído na fabricação de painéis de madeira aglomerada. Os objetivos específicos foram:

- (i) Avaliar a densidade da madeira de *Pinus caribaea*;
- (ii) Avaliar as propriedades do adesivo fenol-formaldeído e de suas misturas com lignosulfonatos;

- (iii) Avaliar as propriedades físicas e mecânicas dos lignosulfonatos;
- (iv) Avaliar o efeito de substituição do adesivo fenol-formaldeído por diferentes proporções de lignosulfonato sobre as propriedades físicas e mecânicas dos painéis aglomerados;
- (v) Avaliar o efeito da temperatura de prensagem sobre as propriedades dos painéis aglomerados;
- (vi) Avaliar o efeito do tempo de prensagem sobre as propriedades dos painéis aglomerados.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Painéis de Madeira Aglomerada

Os produtos reconstituídos de madeira possuem diversas vantagens em relação à madeira sólida, como: a agregação de valor a materiais de baixa aceitação, como resíduos lignocelulósicos; eliminação de defeitos da madeira, como nós, desvios da grã, medula, conferindo maior homogeneidade ao produto (MENDES et al. 2007). Dentre os produtos à base de madeira reconstituída, os painéis aglomerados apresentam grande destaque, e isso em grande parte se deve à sua praticidade e facilidade de uso nos mais diversos segmentos industriais. Porém, muitas são as variáveis inerentes ao processo de produção de painéis aglomerados, dentre elas podem ser destacadas a umidade e a densidade da madeira para transformação em partículas; a composição química da madeira; as características anatômicas; o tipo e a geometria das partículas; o tipo e a quantidade de adesivo; o tempo e a forma de prensagem (KOLLMANN et al. 1975; KELLY, 1977; HILLIG, 2000; ASHORI & NOURBAKSH, 2008; THOEMEN et al. 2010; SHMULSKY & JONES, 2011).

Painéis aglomerados são produzidos a partir de madeira particulada ou outros materiais lignocelulósicos aglutinados por substâncias adesivas e prensados a alta temperatura.

Iwakiri (2005a) os define como produtos compostos de elementos de madeira como lâminas, sarrafos, partículas e fibras, obtidos a partir da redução da madeira sólida e reconstituídos através de ligação adesiva.

De acordo com a norma brasileira NBR 14810-1 (ABNT, 2013), painel de madeira aglomerada é um produto em forma de painel, variando de 3 mm a 50 mm de espessura, constituído por partículas de madeira aglomeradas com resinas naturais ou sintéticas termofixas, sob a ação de pressão e calor. A geometria das partículas e sua homogeneidade, os tipos de adesivos, a densidade e os processos de fabricação podem ser modificados para fabricar produtos adequados aos usos finais específicos. Durante o processo de fabricação, podem ainda ser incorporados aditivos para prover painéis de características específicas.

Adicionalmente às vantagens tecnológicas dos painéis aglomerados, são atribuídas tanto à redução da heterogeneidade estrutural quanto a possibilidade de utilização sem restrições em relação à forma, se comparado com a madeira maciça (ROWELL et al. 2000). Considerando isso, é utilizado em larga escala na fabricação de móveis, portas, pisos, rodapés e secundariamente na indústria de construção civil, painéis de parede e forros, entre outros usos.

De acordo com Haselein & Pauleski (2004), o desenvolvimento tecnológico do setor de painéis à base de madeira deve-se principalmente ao desenvolvimento de novas resinas e de novos processos, tecnologias muitas vezes provenientes dos países industrializados.

Para Mendes (2011), o setor de painéis aglomerados no mercado brasileiro encontra-se em desenvolvimento graças à modernização tecnológica, associado ao surgimento de novos produtos, melhorias de painéis e ao aumento da demanda dos seguimentos que mais o consome, sendo a construção a civil e a movelaria. Segundo dados da ABIPA (2014), entre os anos de 2005 e 2012 tanto o consumo interno quanto a produção nacional apresentaram significativo crescimento, sendo 65,0 % e aproximadamente 63%, respectivamente.

Mundialmente empregam-se os resíduos industriais de madeira, resíduos da exploração florestal, madeiras de qualidade inferior sem utilidade, madeiras provenientes de florestas plantadas e reciclagem de madeira sem serventias como matéria prima na produção do aglomerado (MATTOS et al. 2008). Já na indústria nacional, a matéria-prima para a confecção dos painéis é oriunda, usualmente, de plantios de reflorestamentos de *Pinus* spp e *Eucalyptus* spp, sendo os primeiros os mais utilizados em função da sua baixa densidade básica, o que permite uma alta razão de compactação (IWAKIRI et al. 2005b; MATTOS et al. 2008).

Com relação ao processo de produção dos painéis de madeira aglomerada, Iwakiri (2005b) cita que o mesmo se dá a partir das seguintes etapas: geração de partículas, secagem, classificação, aplicação de adesivo e de aditivos químicos, formação do colchão, pré-prensagem, prensagem a quente, resfriamento, acondicionamento, acabamento, classificação, embalagem e armazenamento.

2.2 Fatores Inerentes a Madeira que Afetam as Propriedades dos Painéis

Na produção de painéis aglomerados há vários fatores característicos da madeira que devem ser considerados, pois podem influenciar o produto final positiva ou negativamente de forma direta ou indireta, e ainda podem alterar vários outros fatores inerentes ao processo de produção, o que concomitantemente influenciará nas propriedades físicas e mecânicas do painel. Diversos fatores podem influenciar o desempenho da colagem, tanto relacionados à madeira quanto ao adesivo empregado. Como fatores relacionados à madeira, tem-se as características anatômicas, químicas e físicas (LIMA et al. 2007).

2.2.1 Espécie florestal e densidade

A escolha da matéria-prima é um dos aspectos mais importantes a serem observados para a qualidade do produto final, pois a ela incidirá sobre outros tantos fatores, tais como: a densidade, o pH e os extrativos. (MOSLEMI, 1974; TSOUMIS, 1991; MALONEY, 1993).

Dentre os produtos de madeira reconstituídos, Maloney (1993) cita que a diversidade da composição da matéria-prima dos aglomerados é vantajosa quando se compara a outras variedades de painéis, podendo ser utilizadas fibras, sarrafos, resíduos controlados oriundos de desbaste e serrarias, palha de arroz, entre outros, podendo ser ou não misturados com partículas de madeira.

A densidade da madeira influencia diretamente na relação densidade do painel/densidade da madeira, que é denominada de razão de compactação, e segundo Maloney (1993) a mesma deve ser no mínimo de 1,3, de modo que assegure uma área de contato satisfatória entre as partículas e densidade mínima para a fabricação do painel. Kelly (1977) e Mendes et al. (2010) apontam que quanto maior for a razão de compactação, haverá maior quantidade de partículas de madeira e, conseqüentemente, ocorrerá um aumento na densidade do painel, o que posteriormente resultará em um maior inchamento higroscópico da madeira e liberação das tensões de compressão geradas durante o processo de prensagem à alta temperatura.

Painéis que apresentam a mesma densidade podem ser produzidos a partir de uma madeira de densidade alta e de uma madeira de densidade baixa. Kelly (1977) menciona que estes terão propriedades mecânicas superiores em detrimento daqueles, contudo, o mesmo não ocorre com a estabilidade dimensional, em que uma madeira de densidade alta produz painéis com maior estabilidade dimensional.

Razera (2006) cita que as principais propriedades mecânicas da madeira que influenciam no desempenho da ligação adesiva são: as tensões internas, causadas pelas diferentes estruturas da madeira, grã, densidade, módulo de resistência e coeficiente de retratibilidade, que irão gerar diferentes níveis de tensão nas interfaces da “madeira/adesivo” em função das alterações de temperatura e umidade do ambiente; e as tensões externas, tensões impostas através de cargas cumulativas ou dissipativas sobre a linha de cola.

2.2.2 Outras características da madeira

A madeira é formada por diferentes componentes químicos, além de possuir diferentes quantidades de seus principais compostos, sendo eles: celulose, hemicelulose e lignina. A madeira pode apresentar maior ou menor quantidade de extrativos, e como afirma Lima (2007), os mesmos podem afetar as reações de polimerização do adesivo ou as reações entre adesivo e extrativo, e ainda podem aumentar a durabilidade da madeira alterando sua permeabilidade em relação à penetração do adesivo, gerando linhas de cola com baixo desempenho.

Segundo Hillig (2000), essa diversidade de constituições químicas presente na parede celular pode ter a capacidade de influenciar na colagem, e ainda, em proporções menores, na higroscopicidade do painel. O autor afirma que para inferir sobre esta diversidade, a parede celular, que é o parâmetro que pode influenciar fortemente os painéis aglomerados, deveria ser estudada.

Segundo Sanches (2012) para prever o comportamento mecânico da madeira com relação aos processos necessários à fabricação dos painéis, como a secagem, colagem das peças, trabalhabilidade, entre outros, faz-se necessário conhecer a sua anatomia. Dessa forma, serão conhecidas informações importantes em relação ao emprego e conseqüentemente, adequação em relação ao produto final.

A influência da anatomia da madeira no processo de colagem está relacionada às diferenças de dimensões dos elementos celulares, tamanho, disposição e frequência das cavidades celulares que, por sua vez, estão relacionadas com a porosidade e permeabilidade da madeira; deste modo, essas características influenciam na mobilidade e penetrabilidade do adesivo.

As principais características anatômicas da madeira que influenciam na colagem são os anéis de crescimento (lenho inicial e tardio), porcentagem de cerne e albúrnio, idade da árvore, lenhos de reação, grã e porosidade, que está relacionada com a densidade da madeira e influencia na penetração do adesivo (MARRA, 1992; PIZZI & MITTAL, 1994).

2.3 Fatores Inerentes ao Processo de Fabricação que Afetam as Propriedades dos Painéis

2.3.1 Partículas

A qualidade do painel aglomerado é fortemente influenciada pela geometria das partículas que o compõe; por isso, a geometria das partículas deve ser um fator considerado e analisado antes do processo de produção das mesmas. O comprimento, a espessura e a largura

influem diretamente na resistência do painel a flexão (FE) e na resistência perpendicular à superfície do painel (ligação interna - LI).

Segundo Kelly (1977), o comprimento, largura e espessura das partículas são controlados no processo produtivo visando a homogeneidade das dimensões que irão influenciar na área superficial específica e, conseqüentemente, no consumo do adesivo e nas propriedades dos painéis.

De acordo com Maloney (1993) e Moslemi (1974), partículas com dimensões menores, requerem maior consumo de resina, pois quanto menor é a partícula, maior é a sua área superficial. Com a aplicação de mesma quantidade de resina, o painel produzido com partículas maiores, apresentará maior ligação interna, tendo em vista sua menor área superficial específica e, conseqüentemente, maior disponibilidade de resina por unidade de área.

Em painéis de partículas, seus elementos lignocelulósicos constituintes podem ser classificados, segundo Moslemi (1974) e FAO (1959), como:

- 1) Flocos (flakes): são partículas planas retangulares, finas, com espessura variando entre 0,2 e 0,4 mm, comprimento entre 25 e 100 mm e largura entre 10 e 25 mm, que dão origem a um tipo de painel denominado “Flakeboard”;
- 2) Aparas (shavings): partículas finas, sem medidas padronizadas, resultantes das diversas operações de acabamento da madeira;
- 3) Cavacos (chips): fragmentos de madeira de tamanho variando entre 12 e 25 mm de comprimento por 1 a 5 mm de largura e espessura um pouco menor;
- 4) Lã de madeira (excelsior ou wood-wool): definida como partículas longas e finas, com aproximadamente 250 mm de comprimento, 5 mm de largura e 0,5 mm de espessura;
- 5) Strands: são lâminas relativamente compridas, quando se compara a largura com a espessura, possuem comprimento variando de 12,7 a 76,2 mm, largura 6,4 a 25,4 mm e espessura de 0,25 a 0,64 mm, com as quais se produz um tipo de painel com partículas orientadas denominadas OSB;
- 6) Partículas (particles): pequenos fragmentos de madeira com comprimento variando entre 1,3 e 12,7 mm e largura e espessura variando de 0,13 a 1,3 mm; e
- 7) Serragem (granule): são partículas cujo comprimento, largura e espessura são aproximadamente iguais. Exemplo típico deste material é a serragem de madeira em suas várias granulometrias.

Além da geometria, se faz necessário controlar adequadamente o processo de secagem das partículas, pois partículas muito úmidas provocam a formação de bolhas no interior dos painéis no momento da prensagem, inutilizando o mesmo, além de interferir na qualidade da adesão. Por outro lado, partículas muito secas geram maior quantidade de finos e são expelidas das laterais do painel durante a operação de prensagem, devido à falta de adesivo em suas superfícies.

Barros Filho (2009) afirma que o teor de umidade das partículas é decisivo na melhoria das propriedades do painel, influenciando diretamente na cura do adesivo, no tempo de prensagem e na pressão necessária para consolidação do painel até a espessura final desejada.

O tempo de secagem das partículas é outro fator determinante na qualidade do painel, em que será tanto maior quanto maior for a densidade da madeira, a espessura das partículas, umidade inicial e menor umidade final. Este tempo também irá variar de acordo com a temperatura, a velocidade do ar e o volume de partículas dentro do secador (IWAKIRI, 2005c).

2.3.2 Adesivos

Segundo Brown et al. (1952), a colagem da madeira está relacionada às forças de adesão e coesão. As suposições sobre como se dá esse processo de adesão são variadas; entretanto, é bastante aceita a teoria de que a adesão se processa por meio da atração molecular entre as superfícies de dois materiais.

Conforme Akers (1966), os adesivos são tão importantes na produção painéis aglomerados quanto a madeira ou outra fonte de matéria-prima. Além disso, o custo dos adesivos sintéticos frequentemente é maior que a própria madeira, influenciando mais nos custos de produção. Segundo Carneiro et al. (2004) o custo com os adesivos pode representar até 50% do custo total do produto final. Visto isso, a escolha do tipo certo de adesivo e as quantidades aplicadas são de fundamental importância no processo de produção de painéis.

Os autores Iwakiri et al. (2005b) classificaram, de acordo com a origem, os adesivos utilizados para a colagem de madeira em:

- a) Adesivos naturais: derivados proteicos de origem animal, tais como glutina, caseína e albumina do sangue; derivados proteicos de origem vegetal, como a soja; derivados do amido, como a batata e o trigo; éter celulósico e a borracha natural.
- b) Adesivos sintéticos termoplásticos: polivinil/acetato; polivinil/acrilato; polietileno; poliestireno; e a borracha sintética.
- c) Adesivos sintéticos termoendurecedores/termofixos: ureia-formaldeído; melamina-formaldeído; fenol-formaldeído; resorcina-formaldeído; tanino formaldeído; licor sulfítico; isocianato; e elastoméricas.

Segundo Hillig (2000), os adesivos naturais (vegetais e animais) foram muito experimentados na fabricação de painéis compensados, mas não proporcionaram bons resultados em razão de sua baixa resistência à umidade. Os adesivos termoplásticos têm como característica a capacidade de, sob certas condições de temperatura e pressão, passarem da fase sólida à plástica e, por fim, líquida, sendo que, cessando estas condições, voltam à fase sólida, podendo repetir este processo indefinidamente. Os adesivos sintéticos termoendurecedores são aqueles que se caracterizam por serem termoestáveis, ou seja, uma vez endurecidos não são mais reversíveis ou alteráveis.

Dentre os fatores físicos que influenciam a colagem, tem-se a umidade, a área específica de colagem, a preparação da superfície de madeira que irá receber o adesivo e a densidade (VICK, 1999).

Por parte do adesivo, os fatores que influenciam o desempenho da colagem são as características físico químicas, sendo elas a viscosidade, o teor de sólidos, o pH, e a composição deste (FRANKLIN ADHESIVES AND POLYMERS, 2003; KOLLMANN et al. 1975), além de fatores pertencentes ao processo de produção de painéis de madeira aglomerada, como as variáveis do ciclo de prensagem (temperatura, tempo e pressão) (VICK, 1999).

O aumento no teor do adesivo, segundo Kelly (1977) e Moslemi (1974), melhora a estabilidade em espessura do painel, devido à melhora nas ligações interpartículas. Entretanto, acima de um determinado nível, o aumento no teor do adesivo não mais melhora a ligação, pois apenas eleva o recobrimento da partícula com o adesivo. Por isso é importante estabelecer a quantidade de adesivos ideal para a colagem do painel.

Sobre os adesivos, são comumente utilizados pelas indústrias de painéis à base de madeira a ureia-formaldeído (UF), o fenol-formaldeído (FF), a melamina-formaldeído (MF) e o difenil-metano di-isocianato (MDI) (SANTOS, 2008).

Os adesivos fenol-formaldeído e melamina-formaldeído, embora tenham um custo mais elevado do que a ureia-formaldeído, possuem significativa vantagem na utilização em locais mais úmidos, pois apresentam alta resistência à umidade segundo Marra (1992), sendo portanto, utilizados para locais externos. Atualmente, os fabricantes de adesivos para madeira passaram a produzir adesivos compostos, tais como melamina-ureia-formaldeído e fenol-melamina-ureia-formaldeído, para aplicações semi-estruturais, com maior resistência à umidade e custos compatíveis.

Segundo Cerquera (2010), em muitos países o adesivo fenol-formaldeído tem sido mais utilizado na fabricação de painéis em detrimento à ureia-formaldeído, principalmente porque apresenta teores de emissão de formaldeído mais baixos em sua aplicação e oferecem alta resistência à umidade, tornando-os mais adequados para revestimentos, incluindo espaços externos.

2.3.3 Condições de prensagem

De acordo com Calegari et al. (2004), o processo de prensagem é citado como uma das fases mais importantes na fabricação de painéis de madeira, pois além de determinar a espessura e a densidade final do painel, ainda transfere o calor, responsável pela cura do adesivo, proporcionando a consolidação do painel. Nesta fase serão definidas as propriedades finais do produto e a qualidade do painel.

Como menciona Iwakiri (2005c), a prensagem dos painéis é feita em duas etapas: pré-prensagem manual e prensagem a alta temperatura. A pré-prensagem é a etapa que precede a prensagem à quente e tem como objetivos diminuir a altura do colchão, melhorar a sua consistência e facilitar o processo de carregamento da prensa a quente. A etapa posterior, a prensagem à quente, objetiva a cura do adesivo, a obtenção da densidade pretendida e a consolidação do colchão na sua espessura final.

Na indústria de painéis de madeira aglomerada, o processo de prensagem compreende um conjunto de condições sob as quais as partículas são prensadas e consolidadas em um painel, tais como: temperatura, pressão e tempo de prensagem. (MATOS, 1988).

A temperatura de prensagem pode ser definida como a quantidade de calor necessária para a obtenção da cura do adesivo. A pressão está relacionada à área de contato entre as partículas e a densidade do painel, em que quanto maior a densidade pretendida do painel, maior será a pressão a ser aplicada para satisfazer a consolidação do colchão (IWAKIRI, 2005a). O tempo de prensagem refere-se ao intervalo de tempo decorrido desde o momento em que os espaçadores são atingidos pelos pratos da prensa até o momento em que a prensa é aberta (MATOS, 1988).

2.4 Lignosulfonato

2.4.1 Caracterização e obtenção do lignosulfonato

Segundo Longue Júnior & Colodette (2013), o segmento do setor de polpa química não destinada à produção de papel cada vez mais vem ganhando destaque, e se encontra em ascensão no mercado pela possibilidade de criação de vários produtos em substituição aos derivados do petróleo ou outros produtos que sejam agressivos ao meio ambiente. Além dos produtos diretos da celulose, o setor de celulose e papel também passa por uma mudança conceitual, em que a celulose e o papel deixam de ser as únicas metas de produção e passam a ser pensados como produtos principais, enquanto outros produtos, derivados das hemicelulose e lignina recuperada durante o processo, como os lignosulfonatos, são cada vez mais atrativos

por causa do maior aproveitamento da matéria-prima e, ao mesmo tempo, possibilitam agregar maior valor aos produtos.

Segundo Hartmann (2002), os lignosulfonatos são conhecidos como aditivos plastificantes de primeira geração e utilizados como redutores de água normais e em alguns casos também como superplastificantes.

Os lignosulfonatos, chamados também de ligninas sulfonadas, são resíduos industriais obtidos como um subproduto do processo de polpação sulfito da madeira para obtenção da celulose. Neste processo, a madeira em cavacos é cozida em ácidos e as ligninas são sulfonadas de modo a se tornarem solúveis em água, e assim poderem ser separadas da celulose insolúvel, tendo desta forma, o lignosulfonato. É possível obtê-lo ainda por meio do processo de polpação alcalino chamado Kraft ou ainda pela lignina Organosolv. A sua estrutura química é apresentada na Figura 1.

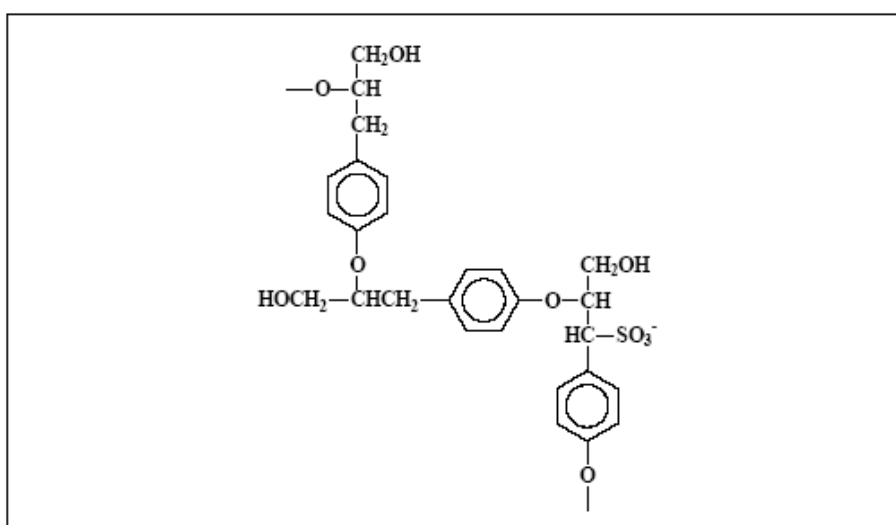


Figura 1. Parte da estrutura química do lignosulfonato (Fonte: Fredheim, 2003).

De acordo com Lora & Glasser (2002) existem três tipos de processos industriais de polpação a ser considerados:

- 1) Método sulfito: é o método mais tradicional que consiste em uma mistura de ácido sulfuroso e sais alcalinos para solubilizar a lignina, inserindo grupos sulfonato (SO₃H) em sua estrutura junto com seu contra-íon (Na⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, NH₄⁺, etc.) que juntos conferem o caráter solúvel e higroscópico.
- 2) Método Kraft: É o processo mais utilizado, sendo a lignina obtida em meio alcalino formando alguns grupos tiol em sua estrutura que produzem um odor característico quando aquecidos. Esta lignina possui coloração castanha escura e, devido à alta concentração de grupos hidroxila fenólicos é insolúvel em água e na maioria dos solventes.
- 3) Organosolv: é uma alternativa que emergiu dos processos anteriores, pois é mais aceitável ambientalmente e diminui os custos de produção, já que consegue recuperar a lignina e outros reagentes e produtos. A lignina produzida é livre de enxofre (sulfur-free), normalmente com alta pureza, porém com massa molecular relativamente baixa, apresentando baixa temperatura de transição vítrea e alto caráter hidrofóbico, praticamente insolúvel em água.

Dependendo do tipo de processo de polpação, diferentes lignosulfonatos podem ser obtidos, como os de cálcio, sódio, magnésio e amônio (RODRÍGUEZ, 2005), e suas características ainda vão depender da sua estrutura química, de sua formação e da planta que lhe deu origem, sendo que os lignosulfonatos, obtidos do processo sulfito, são hidrofílicos se dissolvendo em água; já as ligninas oriundas da polpação Kraft são hidrofóbicas e não se dissolvem em água. (SANTOS, 2011a, citado por SILVA, 2015).

De acordo com as especificações técnicas da empresa Melbar (GODA, 2000), é possível adquirir comercialmente no Brasil as seguintes composições de lignosulfonato:

1) Lignosulfonato de cálcio e magnésio: uso amplo e geral nas aplicações que requerem um agente aglomerante ou dispersante. Na sua fabricação são utilizadas exclusivamente lixívias provenientes da madeira pinus, de mesma origem, de forma a assegurar um produto de qualidade altamente homogênea. A característica que confere alto poder de aglomerar partículas é a presença de 20 a 25% de açúcares redutores na sua composição, o que confere alto poder de aglomerar partículas sólidas. Podem ser dissolvidos em água, destinando-se às aplicações: aglomerantes, aditivos para concreto, briquetes e pellets de carvão e minérios, cerâmica, defensivos agrícolas, produtos de limpeza industrial, ração animal, entre outros.

2) Lignosulfonato de amônio: apresenta elevado poder dispersante, sendo especialmente recomendado para emulsões de asfalto e resinas fenólicas. A matéria-prima (lixívia sulfito) utilizada na fabricação provém exclusivamente da madeira de *Pinus taeda*, o que confere características físico-químicas homogêneas ao produto. Contem em sua composição cerca de 22% de açúcares redutores, assim sendo, apresenta, além de suas propriedades dispersantes, um poder adesivo, podendo também ser utilizado na maioria das aplicações que requerem um agente aglomerante essencialmente orgânico, com baixo teor de cinzas após a queima. Devido à grande compatibilidade dos lignosulfonatos com ureia, fenol e formaldeído, é possível fazer composições diversas, por meio de reações de condensação, visando obter resinas, ureia-formaldeído e fenol-formaldeído. Considerando seu baixo teor de materiais inorgânicos e seu alto poder dispersante, é também indicado para utilização como defensivos agrícolas.

3) Lignosulfonato de sódio: com características dispersantes, foi desenvolvido especialmente para melhorar suas propriedades tensoativas. A ausência de íons de cálcio evita precipitados indesejáveis. Apresenta pH na faixa alcalina e não requer nenhuma correção na maioria das aplicações, oferecendo alto poder dispersante. Contém entre 13 a 19% de açúcares redutores em sua composição e por essa razão apresenta além da propriedade dispersante, um poder adesivo. Pode ser dissolvido em água. Suas principais aplicações são: aditivos para concreto, cerâmica, defensivos agrícolas, negro-de-fumo, produtos de limpeza industrial, tratamento de água.

A proposta de substituição de parte do fenol-formaldeído pelo lignosulfonato se deve a dois fatores: é um produto oriundo de fontes renováveis, pois é um resíduo do processo de polpação das indústrias de celulose e papel; e é uma matéria-prima com menor custo de aquisição, repassando menor custo ao produto final, já que o adesivo fenol-formaldeído é oriundo do petróleo e está sujeito a constantes aumentos no seu custo.

A lignina deveria ser uma candidata natural para aplicações como substituinte do adesivo fenol-formaldeído, porém sua heterogeneidade química é um fator limitante nessa aplicação. Já a estrutura do lignosulfonato é reticulada e possui anéis carbônicos do tipo fenil e estruturas que podem se ligar com diversos componentes, e ainda é muito similar à encontrada em resinas fenol-formaldeído; por isso, sua compatibilidade é verificada na sua substituição (SILVEIRA, 2010). A desvantagem na utilização de adesivos com base em

lignina, comparados aos adesivos fenol-formaldeído é que geralmente tendem a possuir propriedades de adesão mais fracas, além de uma grande variabilidade no desempenho (PARK et al. 2008, citado por SILVEIRA, 2010).

2.4.2 Aplicabilidade do lignosulfonato na indústria

Tradicionalmente, o lignosulfonato tem sido o único derivado de lignina largamente utilizada na indústria. O caráter macromolecular e o elevado teor de grupos sulfônicos, quando na forma de ácidos, conferem aos lignosulfonatos importantes propriedades, às quais têm sido utilizadas em diversas aplicações, tais como dispersantes, aglutinantes, emulsificantes e resinas de troca iônica (TEJADO et al. 2007, citado por OLIVEIRA, 2010).

De acordo com Santos (2011b), os lignosulfonatos são utilizados em larga escala em alguns setores, como:

- 1) Na indústria de cimento e concreto: os sais de lignosulfonato fornecem plasticidade e fluidez ao concreto, atuando assim como aditivos. Tais materiais competem com aqueles que atuam como retardadores da pega, como ácido glucônico e gluconatos; no entanto, são mais caros. Os lignosulfonatos em pó e líquido podem ser usados no processo de fabricação úmido de cimento Portland em moinhos para aumentar o teor de sólidos de materiais em suspensão.
- 2) Em pastilha de ração animal: os lignosulfonatos são utilizados na alimentação animal, tanto como ligante nas pastilhas como diluente de melaço. Leveduras solúveis, cola animal, cereais e batata têm lignosulfonatos substituído em algumas formulações de pastilhas (BOZELL et al. 2007).
- 3) Na indústria de pesticidas: os lignosulfonatos são empregados como dispersante em pó ou úmido de grânulos dispersíveis em água ou secos e suspensão concentrada de produtos agrotóxicos (LI et al. 2009).
- 4) Em lamas de produção de petróleo: são usados intensivamente na formulação de lamas para a exploração de petróleo, uma vez que desempenham a função central de controle das perdas de filtração em regiões de baixa permeabilidade e na diminuição da consistência da lama (BOZELL et al. 2007). Os compostos de lignina auxiliam no condicionamento de lamas devido às suas propriedades dispersantes e pela estabilização da dispersão daí em diante. Estes efeitos combinados provocam uma redução da viscosidade aparente da suspensão e no controle das propriedades de filtração devido à solvatação com a fase aquosa de lama (PADILLA et al. 2002).
- 5) Como micronutrientes agrícolas: os lignosulfonatos possuem poder quelante, sendo capaz de “sequestrar” vários íons metálicos de ferro, zinco, cobre, manganês, magnésio e outros, levando-os à formação de complexos metálicos solúveis. Com isso, consegue conduzir para a planta metais na forma de micronutrientes e de uma forma paulatina (UNICAMP, 2010).
- 6) No tratamento de água e agente de limpeza industrial: em formulações de agentes de limpeza industrial, os lignosulfonatos funcionam como dispersantes e agentes de suspensão. As propriedades de lavagem são melhoradas, a corrosão é reduzida e a quantidade de agente umectante necessária é reduzida quando lignosulfonatos são adicionados às formulações de limpeza industrial ácido e alcalino.
- 7) Na indústria de fertilizantes: a natureza orgânica da lignina permite obter, depois de uma primeira etapa de oxidação, material húmico. Tal material pode ser transformado posteriormente, por amoniação, em adubo ou fertilizante húmico nitrogenado de lenta liberação, ou combinado com outro tipo de adubo comercial para melhorar a seu desempenho (HERNANDEZ, 2007).

8) Na indústria de cerâmicos: são utilizados para melhorar a plasticidade, resistência mecânica e propriedades de moldagem, ou seja, a produção mais rápida e com menos vazios na produção da peça. É empregado como aditivos em tijolos, refratários e cerâmicas (BOZELL et al. 2007).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Obtenção da Madeira e Determinação da Densidade Básica e Aparente

3.1.1 Obtenção da madeira para a confecção dos painéis

Neste estudo foram utilizadas duas árvores da espécie *Pinus caribaea var. caribaea* provenientes de um plantio localizado na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), no município de Seropédica - RJ.

O povoamento florestal possuía idade estimada de 27 anos no momento do abate. Fez-se uma seleção prévia visando identificar as árvores aptas para o abate, ou seja, as que apresentavam, visualmente, um bom aspecto fitossanitário. Posteriormente, fez-se o abate das árvores aleatoriamente. As duas árvores apresentaram DAP em torno de 20 cm.

3.1.2 Determinação da densidade básica e aparente da madeira

Amostras ao longo do tronco de cada árvore foram retiradas, aleatoriamente, e utilizadas para determinação da densidade básica, que foi realizada pelo método de imersão em água, conforme descrito por Vital (1984).

Adicionalmente, foram retiradas amostras para determinação da densidade aparente a 12% nas dimensões 2 x 2 x 3 cm. Essas amostras foram acondicionadas em sala de climatização e após a estabilização determinou-se o volume, utilizando o método de deslocamento em mercúrio (Hg), citado por Vital (1984). Para tanto, as amostras foram pesadas em balança de precisão e com auxílio de uma haste de ferro, imersas, uma a uma, em um becker com mercúrio. Em seguida, registrou-se a massa do líquido deslocado e com base na densidade do Hg calculou-se o volume da amostra. Assim, com base na massa e volume de cada amostra, calculou-se a densidade aparente.

3.2 Avaliação das Propriedades dos Adesivos

O adesivo fenol-formaldeído (FF) e o lignosulfonato (LS) utilizados neste estudo foram gentilmente cedidos pelas empresas Momentive e Melbar, respectivamente.

O lignosulfonato, respeitando as considerações do fabricante, necessitou ser diluído na proporção de 45%, pois o mesmo é comercializado em pó, ao contrário do adesivo fenol-formaldeído, em estado líquido.

Devido ao contraste entre o pH do fenol-formaldeído, bastante alcalino (pH=11,25), e o pH ácido do lignosulfonato (pH=2,82), se fez necessária a substituição de parte do lignosulfonato por solução de hidróxido de sódio, de modo que a mistura entre os dois componentes se tornassem menos viscosas, permitindo a aspersão dos mesmos pela pistola. Esta substituição foi realizada para os tratamentos que continham a mistura de ambos componentes.

Para a determinação do teor de sólidos, tempo de formação de gel, viscosidade e pH dos adesivos foi observada a composição dos mesmos nos tratamentos: T1- 100% FF, T2-

80% FF e 20% LS, T3- 60% FF e 40% LS, T4- 40% FF e 60% LS, T5- 20 % FF e 80% LS, e T6- 100% LS. Foram realizadas três medidas para cada teste e considerado a média dos valores encontrados, com exceção do pH, que foi realizada apenas uma mensuração.

3.2.1 Determinação do teor de sólidos

A determinação do teor de sólidos foi feita de acordo com Brito (1995). Primeiramente, foram pesadas cinco gramas da solução do adesivo de cada um dos tratamentos, e colocadas em cadinhos, posteriormente levados à estufa por 24 horas, à temperatura de 103 ± 2 °C. O teor de sólidos foi calculado através dos pesos úmidos (antes da secagem em estufa) e seco (posteriormente à secagem em estufa) com a utilização da Equação 1:

$$TS = \frac{Ps}{Pu} \times 100 \quad (1)$$

Em que:

TS = Teor de sólidos (%);

Pu = Peso úmido (inicial) (g);

Ps = Peso seco (g).

3.2.2 Determinação do tempo de formação de gel

A determinação desta propriedade para os tratamentos que continham o adesivo fenol-formaldeído em sua composição se fez a partir da adição de um catalizador (6% carbonato de potássio a 60%, com base no teor de sólidos do adesivo) em um tubo de ensaio contendo 10 g do adesivo. A partir de então, a mistura foi homogeneizada com um bastão de vidro em banho-maria à temperatura de 90°C até o ponto de endurecimento (consistência em gel). Desta forma, o tempo da mistura até atingir essa fase consiste no tempo de formação de gel.

No tratamento que continha 100% de lignosulfonato, o catalizador utilizado foi uma solução de formaldeído a 37% na razão de 20% sobre o teor de sólidos contido na composição do adesivo, com todos os passos anteriores igualmente realizados.

3.2.3 Determinação da viscosidade

Aproximadamente uma amostra 130 ml de cada composição dos tratamentos foi colocada no copo Ford, seguindo a norma universal ASTM D-1200 (1994) e registrou-se o tempo do escoamento até a interrupção do fio do extrato que caía no becker, sendo a viscosidade obtida de acordo com a Equação 2:

$$V = (3,82 t - 17,28) \times d \quad (2)$$

Em que:

V= Viscosidade (cP);

t = Tempo de escoamento (segundos)

d = Densidade do adesivo (g/cm³).

3.2.4 Determinação do pH

O pH da solução foi determinado utilizando um pH-metro digital calibrado com soluções tampão 4 e 7.

3.3 Produção de Painéis Aglomerados

Os painéis foram confeccionados visando atender a NBR 14810-2 (2013), sendo classificados como painéis de partículas de média densidade Tipo P3 - painéis não estruturais para uso em condições úmidas.

Logo após o abate, as árvores foram serradas em toretes para facilitar o manuseio, que por sua vez foram segmentados em discos com aproximadamente 5,0 cm de espessura. Este material ficou submerso em água até a completa saturação. O procedimento anterior foi necessário para que a geração de partículas fosse satisfatória, objetivando o melhor processamento possível pelo maquinário e a produção de partículas de qualidade.

Os discos foram seccionados em três partes para serem levados ao gerador de partículas (Figura 2A), originando partículas tipo *strand* (Figura 2B), que em seguida foram levadas ao moinho de martelo (Figura 3A), gerando partículas do tipo *flake* (Figura 3B).



Figura 2. Gerador de partículas (A) e a partícula originada pelo mesmo (B).



Figura 3. Moinho de martelo (A) e a partícula originada pelo mesmo (B).

As partículas foram secas ao ar e posteriormente homogeneizadas por meio de um peneirador mecânico composto por duas peneiras, a primeira de 4,1 mm reteve as partículas mais grossas, e a segunda de 0,49 mm reteve as partículas desejáveis e já os finos foram sendo depositados no fundo do peneirador.

Após serem peneiradas, as partículas foram transportadas para uma estufa com circulação de ar. A fim de atingirem umidade média em torno de 5%, foram realizadas sucessivas medições de umidade com amostras representativas do total das partículas. A seguir, as partículas foram armazenadas em sacos plásticos até a manufatura dos painéis.

Para a fabricação dos painéis, foram embalados 1346,60 g de partículas em sacos plásticos individualizados, sendo esta a quantidade de partículas que cada painel foi composto tendo como base o seu teor de umidade e considerando 15% de perdas.

As partículas (1346,60 g) foram postas em um tambor rotatório para que enfim, o adesivo fosse justaposto às mesmas por meio de uma pistola pneumática, de modo mais uniforme possível. Logo depois, fez-se o colchão de partículas utilizando-se uma forma de madeira com dimensões 40 x 40 x 20 cm, procedendo-se uma pré-prensagem manual para evitar a diminuição da densidade nas áreas da borda do painel, com auxílio de dois pratos planos e dois separadores. Em seguida, o colchão foi levado à prensa hidráulica para prensagem, formando os painéis. Dois dias após a produção, os painéis foram esquadrejados nas dimensões 30 x 30 cm e acondicionados em sala climatizada com umidade relativa em torno de $65 \pm 5\%$ e temperatura de $20 \pm 3^\circ\text{C}$, até atingir a umidade de equilíbrio.

3.3.1 Delineamento experimental

A priori, a produção de painéis utilizando adesivo à base de lignosulfonato e fenol-formaldeído se deu em duas fases. Os tratamentos são representados nas Tabelas 1 e 2.

1) Primeira fase:

Tabela 1. Composição dos tratamentos para variações de adição lignosulfonato e fenol formaldeído e tempo de prensagem para temperatura 160°C.

Tratamento	Composição do Adesivo (%)		Tempo de Prensagem (min)	T (°C)
	Fenol Formaldeído (FF)	Lignosulfonato (LS)		
T1	100	0		
T2	80	20		
T3	60	40		
T4	40	60	10	160
T5	20	80		
T6	0	100		

Em que: T = Temperatura de prensagem em °C.

Nesta fase o delineamento experimental foi realizado inteiramente ao acaso. Os painéis foram confeccionados compondo seis tratamentos com três repetições cada, totalizando 18 painéis.

De acordo com o desempenho dos painéis, elaborou-se a segunda fase do delineamento experimental, de modo que, foram selecionados para esta os tratamentos que obtiveram resultados menos satisfatórios junto ao atendimento dos ensaios tecnológicos e de inchamento da NBR 14810 (ABNT, 2013).

2) Segunda fase

Tabela 2. Composição dos tratamentos para variações de adição lignosulfonato e fenol formaldeído, com tempo de prensagem de 5 e 7 minutos e temperatura de 180°C.

Tratamento	Composição do Adesivo (%)		Tempo de Prensagem (min)	T (°C)
	Fenol Formaldeído (FF)	Lignosulfonato (LS)		
T4	40	60		
T5	20	80	5	
T6	0	100		
T4	40	60		180
T5	20	80	7	
T6	0	100		

Em que: T = Temperatura de prensagem em °C.

Nesta segunda fase, procurou-se otimizar o tempo da produção dos painéis, verificando se para os tratamentos mencionados seria possível melhoras nas propriedades físicas e mecânicas com a diminuição do tempo de prensagem e aumento da temperatura.

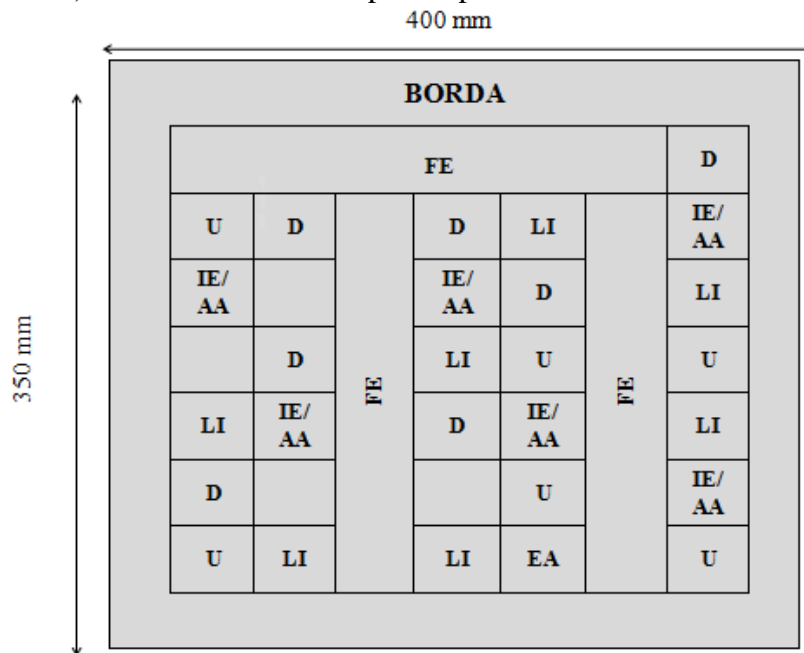
O delineamento constituído foi inteiramente casualizado com arranjo fatorial 3 x 2, ou seja, 3 composições de adesivos, 2 tempos de prensagem, com três repetições em cada tratamento, totalizando 18 painéis.

Nas duas fases do delineamento, os parâmetros do processo de produção dos painéis foram:

- Dimensões dos painéis: 40 x 40 x 1,27 cm
- Densidade dos painéis: 0,70 g/cm³
- Pressão da prensagem: 3,92 MPa
- Tempo de fechamento da prensa: 45 s
- Umidade das partículas: 5%
- Teor de adesivo (% base peso seco): 10%
- Razão de compactação: valor maior que 1,3
- Catalisador: para tratamentos com FF - carbonato de potássio a 60% em proporção de 6% sobre o teor de sólidos e para LS puro: 20% de solução de formaldeído a 37% com base no teor de sólidos.

3.3.2 Avaliação das propriedades físicas e mecânicas dos painéis

Após a climatização, os painéis foram cortados (Figura 4) de acordo com a NBR 14810 (ABNT, 2013) e obtiveram-se os corpos de prova a serem utilizados em cada ensaio.



Em que: FE – Flexão Estática (300x50 mm); LI – Ligação Interna (50x50 mm); D – Densidade do painel (50x50 mm); U – Umidade do painel (50x50 mm); IE/AA – Inchamento em Espessura e Absorção de Água após 2 e 24h (50x50 mm).

Figura 4. Disposição dos corpos de prova para os ensaios físicos e mecânicos no painel (SILVA, 2015).

Os ensaios físicos realizados foram:

- 1) Umidade de equilíbrio (U) - NBR 14810 (ABNT, 2013);
- 2) Inchamento em Espessura (IE) após 2 h e 24 h - NBR 14810 (ABNT, 2013) e Absorção de Água (AA) após 2 h e 24 h; e
- 3) Densidade do painel (D) - NBR 14810 (ABNT, 2013).

Os ensaios mecânicos foram realizados de acordo com a NBR 14810 (ABNT, 2013), são eles:

- 1) Resistência à Flexão Estática (Módulo de Ruptura - MOR e Módulo de Elasticidade - MOE);
- 2) Resistência à Tração Perpendicular ao Plano dos Painéis (Ligação Interna – LI).

A Tabela 3 apresenta os valores-limite estabelecidos pela NBR 14810-2 (ABNT, 2013) como forma de verificar e avaliar os requisitos dos materiais fabricados.

Tabela 3. Requisitos para propriedades mecânicas e inchamento para painéis não estruturais para uso em condições úmidas - Painel Tipo P3.

Tipo	MOR	MOE	LI	IE 24h
		(N/mm ²)		(%)
P3	15	2050	0,45	17

3.3.3 Análise dos dados

As densidades básica e aparente da madeira, bem como as propriedades dos adesivos, foram analisadas por meio de estatística descritiva.

Já para a análise dos ensaios físicos e mecânicos dos painéis, utilizou-se o programa Statistica 10. Atendendo as pressuposições da análise de variância, normalidade e homogeneidade de variâncias, foi utilizado o Teste de Tukey ao nível de 5% de significância. Não entendendo as pressuposições, aplicou-se o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis para comparações de médias.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Densidade Básica e Aparente da Madeira

Os valores médios de densidade básica e densidade aparente da madeira de *Pinus caribaea* são apresentados na Tabela 4:

Tabela 4. Médias da densidade básica e aparente da madeira de *Pinus caribaea* com 27 anos.

Densidade Básica	Densidade Aparente
(g/cm ³)	
0,54	0,60
(9,21)	(8,56)

Em que: valor entre parênteses refere-se ao Coeficiente de Variação.

Maloney (1993) cita que a indústria normalmente utiliza madeiras com densidades básicas até 0,60 g/cm³ para produção de painéis. Observa-se que o valor médio encontrado para a densidade básica da madeira encontra-se dentro da faixa sugerida pelo autor.

Cabral et al. (2007) produziram painéis aglomerados a partir de misturas de partículas de *Eucalyptus* spp e *Pinus elliottii* em diferentes regiões e obtiveram valores de densidades básicas médias das madeiras de 0,62 g/cm³ e 0,45 g/cm³, respectivamente.

Iwakiri et al. (2001) utilizaram cinco espécies de pinus tropicais de 10 anos, com e sem mistura entre as espécies para comparar as propriedades tecnológicas dos painéis aglomerados. Dentre estas, estava presente o *Pinus caribaea*, com densidade aparente média de 0,38 g/cm³, que por sua vez produziram painéis com 0,65 g/cm³ de densidade aparente média. Verifica-se que a densidade aparente citada pelo autor é bem inferior à encontrada neste estudo, evidenciando o que vários estudos na literatura mostram, entre 0,35 a 0,60 g/cm³ é a faixa de densidade para a utilização da madeira para produção de painéis aglomerados de qualidade.

Embora os resíduos gerados pela indústria madeireira estejam cada vez mais sendo utilizados para a fabricação de painéis, a origem da matéria-prima continua sendo uma variável de importância considerável. Painéis de materiais oriundos de mesma procedência conferem maior uniformidade ao produto final, além de proporcionar um maior controle de certas propriedades do painel; por isso, é importante a determinação da densidade do material utilizado como matéria-prima.

4.2 Propriedades do Adesivo Fenol-Formaldeído, do Lignosulfonato e de suas Misturas

As propriedades das composições dos adesivos para cada um dos seis tratamentos estão explicitadas abaixo:

4.2.1 Teor de sólidos

Os valores médios para o teor de sólidos para as diferentes composições adesivas são apresentados na Tabela 5.

O teor de sólidos do fenol-formaldeído puro foi 51,69% e do lignosulfonato com adição de catalisador 31,26%. Nota-se que quanto maior a proporção de lignosulfonato na composição, mais reduzido é o teor de sólidos. Este fato acontece em virtude do lignosulfonato conter a substituição parcial de hidróxido de sódio.

O teor de sólidos remete à quantidade do adesivo na fabricação de painéis, sendo que a partir do tratamento T4 esse valor ficou bastante reduzido.

Tabela 5. Teor de sólidos dos tratamentos compostos com diferentes composições adesivas.

Tratamento	Composição do Adesivo (%)		TS (%)
	FF	LS	
T1	100	0	51,69
T2	80	20	46,5
T3	60	40	41,23
T4	40	60	36,59
T5	20	80	32,56
T6	0	100	31,26

Em que: FF = Fenol-formaldeído; LS = Lignosulfonato e TS = Teor de sólidos em %.

Cerquera (2010) obteve 46,23% ao analisar o teor de sólidos da substituição de 35% de fenol-formaldeído por lignosulfonato. Valor próximo ao encontrado neste estudo para a substituição de 20%.

4.2.2 Tempo de formação de gel

Os valores de tempo de formação de gel para cada um dos tratamentos utilizados na produção dos painéis aglomerados são apresentados na Tabela 6.

Não foi possível a obtenção de tempo de gel em nenhum dos tratamentos até os tempos acima especificados. Isto pode ter acontecido devido ao curto tempo analisado, já que Silva et al. (2012) encontraram tempo de formação gel de 53,6 minutos para o adesivo fenol-formaldeído ao avaliar a viabilidade da substituição por tanino.

Silva (2015), trabalhando com aglomerado utilizando adesivo ureia-formaldeído e lignosulfonato, analisou o tempo de formação de gel deste último, e em até 10 minutos não foi possível a determinação do tempo de formação de gel.

Tabela 6. Tempo de formação de gel dos tratamentos compostos com diferentes composições adesivas.

Tratamento	Composição do Adesivo (%)		Catalisador	TG (Minutos)
	FF	LS		
T1	100	0	6% KCO ₃ a 60%	> 20
T2	80	20	6% KCO ₃ a 60%	> 20
T3	60	20	6% KCO ₃ a 60%	> 20
T4	40	60	6% KCO ₃ a 60%	> 20
T5	20	40	6% KCO ₃ a 60%	> 20
T6	0	100	20% Formaldeído a 37%	> 25

Em que: TG = tempo de formação de gel em minutos.

4.2.3 Viscosidade

Os valores médios de viscosidade para as diferentes composições adesivas são apresentados na Tabela 7.

Os valores médios de viscosidade apresentados para o adesivo fenol-formaldeído estão de acordo com a literatura.

O tratamento T6, com lignosulfonato puro e catalisador, apresenta valor médio de viscosidade menor dentre todos os tratamentos. À medida que aumenta a proporção do lignosulfonato na composição dos tratamentos é notável a diminuição substancial da viscosidade do adesivo. Isto se deve ao fato de ser elevada a quantidade de solução aquosa de hidróxido de sódio, juntamente ao lignosulfonato diluído.

Tabela 7. Viscosidade dos tratamentos compostos com diferentes composições adesivas.

Tratamento	Composição do Adesivo (%)		Viscosidade (cP)
	FF	LS	
T1	100	0	417,63
T2	80	20	101,3
T3	60	40	44,49
T4	40	60	30,23
T5	20	80	25,43
T6	0	100	15,64

Cerquera (2010) encontrou 40,89 cP ao substituir 35% de fenol-formaldeído por lignosulfonato e dissolvido em um pequeno volume de hidróxido de sódio e água. No entanto, ao substituir 20% de fenol-formaldeído sem adicionar solução de hidróxido de sódio obteve valor de viscosidade mais baixo (38,67 cP).

4.2.4 pH dos adesivos

Os valores de pH de cada composição de adesivos estão expostos na Tabela 8. Salienta-se que estes dados contemplam a substituição parcial de lignosulfonato por solução de hidróxido de sódio nos tratamentos em que este componente é utilizado.

Tabela 8. pH médio dos tratamentos compostos com diferentes composições adesivas.

Tratamento	Composição do Adesivo (%)		pH
	FF	LS	
T1	100	0	11,25
T2	80	20	11,41
T3	60	40	11,44
T4	40	60	11,55
T5	20	80	11,58
T6	0	100	12,69

Observa-se que o pH dos adesivos variou pouco, pois os valores médios encontrados foram similares.

Como o pH do lignosulfonato é originalmente ácido (pH=2,82) e o pH do fenol-formaldeído é bastante alcalino, procurou-se alcalinizar o lignosulfonato com solução de hidróxido de sódio.

Segundo Marra (1992), altos valores de pH são benéficos para a limpeza da superfície da madeira por meio da dissolução de certos agentes contaminantes na linha de cola, além de propiciar uma melhor penetração do adesivo na estrutura da parede celular das partículas.

4.3 Avaliação das Propriedades Físicas e Mecânicas dos Painéis

Na primeira fase, as propriedades tecnológicas dos painéis foram analisadas de acordo com os requisitos da NBR 14810-2 (ABNT, 2013), enquadrando-os como painéis não estruturais para uso em condições úmidas (Tipo P3), em faixa de espessura nominal entre 6 a 13 mm.

Na segunda fase do delineamento experimental, não foi possível a consolidação dos painéis em nenhuma das composições dos tratamentos para ambos os tempos de prensagem a temperatura de 180°C, pois bolhas de ar se formaram no centro de todos os painéis e as bordas esfacelaram, não sendo possível dar prosseguimento as análises para esta fase. Este comportamento foi verificado por Silva (2015), ao fabricar painéis com mistura do adesivo ureia-formaldeído e lignosulfonato, nos mesmos tempos de prensagem desta segunda fase, a temperaturas de 160 e 180°C.

4.3.1 Avaliação da densidade aparente e da umidade dos painéis

A Tabela 9 apresenta os valores médios de densidade aparente dos painéis fabricados.

Tabela 9. Valores médios de densidade aparente dos painéis fabricados para os diferentes tratamentos com substituição de lignosulfonato pelo adesivo fenol-formaldeído.

Tratamento	Composição do Adesivo (%)		Densidade aparente (g/cm ³)
	FF	LS	
T1	100	0	0,84 a (6,99)
T2	80	20	0,83 a (7,69)
T3	60	40	0,88 a (6,63)
T4	40	60	0,89 a (4,21)
T5	20	80	0,84 a (6,41)
T6	0	100	0,84 a (5,19)

Em que: médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste Tukey ao nível de 5% de significância. Valores entre parênteses referem-se ao Coeficiente de Variação.

Observa-se que não houve diferença significativa entre os tratamentos, pois os valores de densidade aparente observados foram similares.

Dentre os parâmetros de produção dos painéis, a densidade desejada para o processo de produção constava como 0,70 g/cm³, mas pode-se observar que os valores obtidos foram substancialmente superiores, atingindo 0,85 g/cm³ de densidade média entre todos os tratamentos. Este fato poder ter ocorrido em função da adição de 15% de material, de modo a contabilizar as perdas obtidas no processo. Hillig (2000) afirma que diversos fatores podem ser os responsáveis por provocar esta modificação, como a distribuição manual das partículas para formação do colchão e a possível diferença de densidade básica da matéria-prima entre partículas da mesma madeira.

A partir da determinação da densidade dos painéis e da densidade da madeira foi possível inferir sobre outro parâmetro do processo de produção, a razão de compactação. Como supramencionado, a razão de compactação é obtida por meio da razão entre a

densidade aparente média do painel e a densidade aparente da madeira. Desta forma, obteve-se razão de compactação de cerca de 1,42. O valor obtido é superior a 1,3, este valor é considerado por Moslemi (1974), Maloney (1993) e Iwakiri (2005c) o mínimo para que ocorra a compactação suficiente do colchão de partículas para a formação de um painel com densidade mínima, de modo que seja possível assegurar que houve área de contato suficiente entre as partículas durante a operação de prensagem, a fim de se obter um painel de qualidade.

Trianoski et al. (2011) produziram painéis aglomerados de *Pinus taeda* em mistura com cinco espécies de alto crescimento. De modo a avaliar se houve contato suficiente entre as partículas, obtiveram a razão de compactação de cada um dos tratamentos estudados, encontrando um valor médio (1,7) ligeiramente superior ao encontrado neste estudo. No entanto, Moslemi (1974) e Maloney (1993) afirmam que o valor máximo aceitável para que ocorra ligação adesiva entre as partículas é 1,6.

Os teores de umidade, dispostos na Tabela 10, são referentes a mensurações realizadas após o esquadreamento dos corpos-de-prova, ou seja, representa a umidade do painel após a fabricação, respeitando o tempo de resfriamento necessário para a cura completa do adesivo.

Tabela 10. Valores médios do teor de umidade dos painéis fabricados com substituição de lignosulfonato pelo adesivo fenol-formaldeído.

Tratamento	Composição do Adesivo (%)		Teor de Umidade (%)
	FF	LS	
T1	100	0	11,11 a (2,57)
T2	80	20	10,89 a (3,16)
T3	60	40	10,10 b (1,38)
T4	40	60	10,03 b (2,15)
T5	20	80	10,20 b (1,42)
T6	0	100	10,31 b (1,83)

Em que: médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste Tukey no nível de 5% de significância. Valores entre parênteses referem-se ao Coeficiente de Variação.

A análise estatística demonstra que houve diferença significativa entre os teores de umidade de equilíbrio médio dos tratamentos; no entanto, os valores são bastante similares entre si, apresentando uma variação entre o valor de máximo e mínimo de 1,08 %. Melo et al. (2010) estudando as propriedades físicas de painéis aglomerados produzidos a partir de *Eucalyptus grandis* e adesivos ureia-formaldeído e tanino-formaldeído, obtiveram valores de teor de umidade significativamente diferentes entre si, com variação de 8,55%.

Para Haselein (2002) quanto mais próximos estatisticamente forem os teores de umidade de equilíbrio entre os tratamentos, há maior confiabilidade no resultado, já que os mesmos podem influenciar significativamente as propriedades do painel.

Cerquera (2010) avaliando a viabilidade de substituição de até 30% de fenol-formaldeído por lignosulfonato em painéis dos gêneros *Eucalyptus* e *Pinus*, encontrou uma variação média de 6,23% no teor de umidade higroscópico dos painéis produzidos.

Rosa & Hillig (2014) avaliaram a viabilidade de uso do lignosulfonato de amônio como adesivo na produção de painéis aglomerados de *Pinus* sp., utilizado puro ou em mistura com ureia-formaldeído e tanino-formaldeído, e encontraram diferenças significativas no teor de umidade entre todos os sete tratamentos estudados, com variações de cerca de 3,03%.

4.3.2 Avaliação do inchamento em espessura e absorção de água

Os dados relativos ao Inchamento em Espessura foram avaliados por meio do teste de Kruskal-Wallis são apresentados na Tabela 11.

De maneira geral, observou-se que a substituição de lignosulfonato por fenol-formaldeído influenciou substancialmente no Inchamento em Espessura após 2h, de modo que, quanto maior é a proporção de lignosulfonato, maior é o Inchamento em Espessura. O mesmo comportamento foi observado nos valores de Inchamento em Espessura após 24 h.

Não houve diferença significativa nos valores de Inchamento em Espessura após 2 horas entre os painéis fabricados com fenol-formaldeído puro (T1) e os painéis fabricados com até 40% de substituição pelo lignosulfonato (T2 e T3). Após 24h, somente não houve diferença entre fenol-formaldeído puro (T1) e a 20% de substituição (T2).

Ao comparar os valores obtidos no Inchamento em Espessura a 24 h com o estabelecido na NBR 14810 para painéis Tipo P3, somente os tratamentos T1 e T2 atenderam aos requisitos que foram apresentados na Tabela 3.

Tabela 11. Valores médios de Inchamento em Espessura dos painéis aglomerados após 2 e 24 h de imersão em água.

Tratamento	Composição do Adesivo (%)		Inchamento em espessura (%)	
	FF	LS	2 horas	24 horas
T1	100	0	6,59 b (13,13)	11,65 d (9,33)
T2	80	20	8,83 b (22,00)	15,32 cd (19,18)
T3	60	40	10,77 bc (29,00)	20,98 bc (35,61)
T4	40	60	18,93 ac (49,33)	25,59 ab (44,73)
T5	20	80	30,87 a (57,26)	50,96 ab (61,40)
T6	0	100	142,7 a (73,00)	168,24 a (71,00)

Em que: médias seguidas pela mesma letra numa mesma coluna não diferem significativamente entre si pelo teste de Kruskal-Wallis. Valores entre parênteses referem-se a classificação das médias conforme Teste de Kruskal Wallis.

Os maiores valores de Inchamento em Espessura foram encontrados nos painéis fabricados exclusivamente com adesivo à base de lignosulfonato. Não se deve deixar de mencionar que o lignosulfonato foi modificado com solução de hidróxido de sódio, que é muito higroscópico, ocasionando a obtenção de altos valores de inchamento.

Çetin & Özmen (2003) desenvolvendo uma resina fenólica a partir da substituição parcial, de 20 e 30%, de fenol-formaldeído por lignina organosolv modificada na produção de aglomerados de *Pinus* spp., obtiveram enquadramento junto às normas europeias, bem como atenderiam a NBR 14810 (ABNT, 2013), pois obtiveram Inchamento em Espessura após 24 h de 12,9% (substituição de 20%) e 14,7% (substituição de 30%). Estes dados demonstram forte similaridade com os resultados obtidos neste estudo, dado o enquadramento à norma pelo T2, e aproximação do limite no T3, em que é substituído 40% de fenol-formaldeído.

Rosa & Hillig (2014) ao avaliarem as propriedades dos painéis que continham lignosulfonato de amônio puro, obtiveram valor médio de Inchamento em Espessura para 2 h (19,8%) substancialmente inferior ao encontrado neste estudo. No entanto, para 24 h o valor encontrado pelos autores foi somente cerca de 19% menor se comparado ao encontrado neste trabalho.

A Tabela 12 apresenta os valores médios de Absorção de Água após 2 e 24 h para os painéis produzidos com as diferentes composições adesivas.

Os valores de Absorção de Água acompanham o comportamento do Inchamento em Espessura. Tanto após 2 quanto 24 h os painéis aglomerados fabricados com lignosulfonato puro apresentaram os maiores valores de Absorção de Água.

Tanto após 2 h quanto após 24h de imersão em água, não houve diferença significativa entre os tratamentos T1, T2 e T3, ou seja a substituição de até 40% de fenol-formaldeído por lignosulfonato não alterou negativamente os valores de Absorção em Água.

Considerando os resultados obtidos por Çetin & Özmen (2003), que a 20% de substituição de fenol-formaldeído obtiveram uma Absorção de Água de 65,8% para 2 h e 73,2% para 24 h, e a 30% obtiveram 69,9% para 2 h e 72,9% para 24 h; observa-se que os valores em Absorção de Água são consideravelmente superiores ao encontrados neste estudo.

O fato de ter sido feita a utilização de solução hidróxido de sódio pode explicar elevados valores de Inchamento em Espessura e Absorção de Água para os tratamentos T4, T5 e T6, já que esta é uma solução altamente higroscópica, contribuindo para Absorção de Água nos painéis.

Tabela 12. Valores médios de Absorção de Água dos painéis aglomerados após 2 e 24 h de imersão em água.

Tratamento	Composição do Adesivo (%)		Absorção de Água (%)	
	FF	LS	2 horas	24 horas
T1	100	0	30,14 c (17,00)	41,77 c (14,73)
T2	80	20	35,21 bc (25,45)	45,89 c (21,18)
T3	60	40	38,96 bc (29,3)	52,75 bc (29,92)
T4	40	60	53,06 ab (50,13)	63,46 ab (48,06)
T5	20	80	60,73 ab (49,80)	83,78 a (56,73)
T6	0	100	140,92 a (73,00)	144,19 a (71,00)

Em que: médias seguidas pela mesma letra numa mesma coluna não diferem significativamente entre si pelo teste de Kruskal-Wallis. Valores entre parênteses referem-se a classificação das médias conforme Teste de Kruskal-Wallis.

Além disso, Silva (2015) cita que a composição química elementar do lignosulfonato propicia a alta afinidade com a água, já que possui altos valores dos principais elementos de carga aniônica, contribuindo ainda mais para o aumento do Inchamento em Espessura e Absorção de Água.

4.3.3 Avaliação das propriedades mecânicas dos painéis

Os dados de Resistência à Tração Perpendicular (Ligação Interna) estão apresentados na Tabela 13 e os Módulos de Elasticidade (MOE) e de Resistência à Tração Perpendicular (MOR) estão representados na Tabela 14.

Na propriedade de Ligação Interna dos painéis aglomerados verificou-se diferença estatística entre os tratamentos. Painéis com fenol-formaldeído puro (T1) e em substituição de 20% por lignosulfonato (T2) apresentaram os maiores valores médios, sem diferença significativa entre os dois, ou seja, ao nível de 20% de substituição a resistência se mantém a mesma do fenol-formaldeído puro. À medida que o adesivo fenol-formaldeído foi substituído

por lignosulfonato em maiores proporções, houve uma diminuição dos valores de Ligação Interna, sendo a diferença significativa.

Tabela 13. Valores médios de Ligação Interna dos painéis fabricados com substituição de lignosulfonato pelo adesivo fenol-formaldeído.

Tratamento	Composição do Adesivo (%)		Ligação Interna (N/mm ²)
	FF	LS	
T1	100	0	1,11 a (9,96)
T2	80	20	1,04 ab (15,09)
T3	60	40	0,96 b (10,60)
T4	40	60	0,82 c (5,70)
T5	20	80	0,57 d (16,77)
T6	0	100	0,18 e (23,81)

Em que: médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste Tukey no nível de 5% de significância. Valores entre parênteses referem-se ao Coeficiente de Variação.

Pode-se observar que os resultados obtidos foram satisfatórios ao atendimento da NBR14810 para todas as composições adesivas estudadas, exceto para o tratamento T6, que não alcançou o requisito mínimo exigido, demonstrando que o lignosulfonato de cálcio e magnésio possui alta resistência adesiva quando associado com fenol-formaldeído.

Os resultados podem ser considerados satisfatórios quando comparados aos valores obtidos por Trianoski et al. (2011) ao avaliarem a possibilidade de espécies de alto crescimento para a produção de painéis colados com o adesivo ureia-formaldeído. Os autores obtiveram valor de Ligação Interna de 1,20 N/mm² utilizando somente *Pinus taeda*, e 0,69 N/mm² ao utilizar *Pinus taeda* em conjunto com *Grevillea robusta*.

Rosa & Hillig (2014) obtiveram valor de Ligação Interna de 0,2 N/mm² para painéis produzidos com 100% de lignosulfonato de amônio, valor bem próximo ao encontrado neste estudo. Em painéis compostos de 50% de lignosulfonato e 50% de ureia-formaldeído os autores encontraram 0,3 N/mm², valor bem inferior se comparado com valores obtidos neste trabalho na substituição por 60% de lignosulfonato (T4), e até mesmo para o tratamento com 80% de substituição por lignosulfonato (T5).

Em substituição de fenol-formaldeído por lignina organosolv modificada, Çetin & Özmen (2003) encontraram valores médios de Ligação Interna iguais aos encontrados neste trabalho com 20% de substituição. Já para 30%, os autores encontraram o mesmo valor médio que este estudo encontrou para 40% de substituição de lignosulfonato por fenol-formaldeído.

Tabela 14. Valores médios de Flexão Estática dos painéis fabricados com substituição de lignosulfonato pelo adesivo fenol-formaldeído.

Tratamento	Composição do Adesivo (%)		Flexão Estática (N/mm ²)	
	FF	LS	MOR	MOE
T1	100	0	26,02 a (17,74)	3032 a (24,85)
T2	80	20	21,68 ab (20,83)	2714 a (15,70)
T3	60	40	24,99 a (16,70)	3304 a (19,87)
T4	40	60	22,89 ab (9,64)	3100 a (7,21)
T5	20	80	18,07 b (24,26)	2728 a (18,85)
T6	0	100	5,81 c (36,17)	1469 b (19,36)

Em que: médias seguidas pela mesma letra numa mesma coluna não diferem significativamente entre si pelo teste Tukey no nível de 5% de significância. Valores entre parênteses referem-se ao Coeficiente de Variação.

Os maiores valores de MOR foram encontrados no T1, mas não houve diferença significativa entre os tratamentos T1, T2, T3 e T4. Assim, a substituição de até 60% do adesivo fenol-formaldeído por lignosulfonato não acarretou alteração negativa nos valores de MOR. A partir de 80% de substituição de fenol-formaldeído por lignosulfonato (T5) e nos painéis produzidos com lignosulfonato puro (T6) os valores de MOR decrescem, em função também dos baixos valores de sólidos contidos nos adesivos.

Em 20% de substituição de fenol-formaldeído por lignina organosolv modificada, Çetin & Özmen (2003) encontraram valor médio de MOR de 16 N/mm², para 30% este valor diminuiu para 12,7 N/mm². Assim, os valores encontrados neste trabalho foram substancialmente superiores em comparação com os autores mencionados.

Para MOE, não houve diferença significativa nos painéis fabricados com adesivo fenol-formaldeído e suas diferentes misturas, exceto para o T6.

Para as análises de MOE, quando comparados à substituição de 20% por lignosulfonato, Cerquera (2010) encontrou valores relativamente superiores para painéis fabricados com substituição de 20% e 25%, sendo os valores, respectivamente, 3954 N/mm² e 4276 N/mm². No entanto, a 30% de substituição, o valor obtido pelo autor sofreu um decréscimo substancial, passando para 1466,65 N/mm². O desempenho geral obtido no trabalho do autor para as propriedades mecânicas demonstram que o lignosulfonato utilizado junto ao fenol-formaldeído apresenta ganhos consideráveis nas propriedades.

Para os painéis fabricados com 100% de lignosulfonato, os valores médios de MOE encontrados foram ligeiramente inferiores aos obtidos por Rosa & Hillig (2014), ao encontrarem o valor de 1669 N/mm² utilizando lignosulfonato de amônio. Em substituição de 50% de ureia-formaldeído por lignosulfonato, os autores encontraram valores médios de MOE de 2152,8 N/mm², valores inferiores aos obtidos neste trabalho com 80% de substituição de fenol-formaldeído por lignosulfonato, que foram de 2728 N/mm².

Çetin & Özmen (2003) obtiveram para 20% e 30% de substituição por lignina organosolv modificada, os valores 2267 N/mm² e 2224 N/mm², o que demonstra claramente desempenho inferior a este estudo.

5 CONCLUSÕES

- As densidades básica e aparente da madeira de *Pinus caribaea* apresentaram valores considerados dentro da faixa ideal para produção de painéis aglomerados, não influenciando significativamente no desempenho dos tratamentos;
- As misturas de lignosulfonato ao adesivo fenol-formaldeído influenciaram as propriedades físicas e químicas, com redução da viscosidade e do teor de sólidos e aumento do pH. Entretanto, essas alterações não trouxeram dificuldades no processo de fabricação de painéis, tornando-se uma alternativa viável em misturas;
- A substituição do adesivo fenol-formaldeído por lignosulfonato foi satisfatória no atendimento a norma específica para propriedades mecânicas em até 80%;
- Não é possível produzir painéis com propriedades mínimas de resistência com lignosulfonato puro;
- A higroscopicidade do lignosulfonato diluído em solução de hidróxido de sódio não permite que, ao analisar as propriedades de Inchamento em Espessura e Absorção de Água, acima de 20% de substituição de fenol-formaldeído a norma seja atendida;
- O tempo de prensagem é o fator determinante para a utilização do lignosulfonato como adesivo na fabricação de painéis aglomerados;
- O aumento da temperatura só poderá influenciar favoravelmente a utilização do lignosulfonato se o tempo mínimo de 10 minutos for respeitado para a completa cura do mesmo.

6 RECOMENDAÇÕES

Tendo em vista o grande potencial de uso dos lignosulfonatos como adesivo na fabricação de painéis aglomerados, recomenda-se estudar o efeito da utilização de parafina como melhoria das propriedades de Inchamento em Espessura e Absorção de Água, e desenvolver estudos sobre novos catalisadores, que em adição ao lignosulfonato puro, possam produzir painéis que atendam todos os requisitos normativos.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIPA, Associação brasileira da indústria de painéis de madeira, MDP, **Medium density particleboard – Painéis de partícula de média densidade**. 2014. Disponível em: <<http://www.abipa.org.br/industrias.php>> Acesso: 12/06/2015.

AKERS, L. E. **Particle board and hardboard**. Great Britain : Balckie & Son Ltda, v. 4, 172 p, 1966.

ALEMDAR, A.; SAIN, M. Biocomposites from wheat straw nanofibers: Morphology, thermal and mechanical properties. **Composites Science and Technology**, v. 68, p. 557-565, 2008.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS: Test Method for Viscosity by Ford Viscosity. **ASTM D-1200**, 1994.

ASHORI, A.; NOURBAKHS, A. Effect of press cycle time and resin content on physical and mechanical properties of particleboard panels made from the underutilized low-quality raw materials. **Industrial crops and products**, n. 28, p. 225-230, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14810-1**: Painéis de partículas de média densidade. Parte 1: Terminologia. São Paulo, 5 p, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14810-2**: Painéis de partículas de média densidade. Parte 2: Requisitos e métodos de ensaio. São Paulo, 69 p, 2013.

BARROS FILHO, R. M. (2009). **Painéis aglomerados a base de bagaço de cana-de-açúcar e resinas ureia formaldeído e melamina formaldeído**. 2009. 99 f. Dissertação (Mestrado) – Rede Temática em Engenharia de Materiais – (UFOP – CETEC – UEMG), Ouro Preto, 2009.

BOZELL, J.J.; HOLLADAY, J.E.; JOHNSON, D.; WHITE, J.F. **Top Value Added Chemicals from Biomass. Volume II – Results of Screening for Potential Candidates from Biorefinery Lignin**. U.S. Department of Energy - Energy Efficiency and Renewable Energy, October, 2007.

BRITO, E. O. **Produção de chapas de partículas de madeira a partir de maravalhas de *Pinus elliotti* var. *elliottii* plantado no sul do Brasil**. 1995. 120f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1995.

BROWN, H. P., PANSHIN, A.J., FORSITH, C. C. **Textbook of wood technology**. New York : McGraw-Hill, 2. v. ,783 p. 1952.

CABRAL, C. P.; VITAL, B. R.; DELLA LUCIA, R.M.; PIMENTA, A. S. **Propriedades de chapas de aglomerado confeccionadas com misturas de partículas de *Eucalyptus* spp. e *Pinus elliottii***. Revista *Árvore*, Viçosa, v. 31, n. 5, p. 897-905, 2007.

CALEGARI, L.; BARROS, M. V.; SCARAVELLI, T. L.; DACOSTA, L. P. E.; PEDRAZZI, C.; HILLING, E. Adição de aparas de papel reciclável na fabricação de chapas de madeira aglomerada. **Revista Ciência Florestal**, Santa Maria, RS, v. 14, n. 1, p. 193-204. 2004.

CARNEIRO, A. C. O.; VITAL, B. R.; PIMENTA, A. S.; LUCIA, R. M. D. Propriedades de chapas de flocos fabricadas com adesivo de ureiaformaldeído e de taninos de casca de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden ou de *Eucalyptus pellita* F. Muell. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 28, n. 5, p. 715-724, 2004.

CERQUERA, N. S. **Estudio de la sustitución parcial del fenol por lignina en la obtención de las resinas fenol- formaldehído utilizadas para la fabricación de tableros aglomerados OSB a partir de especies forestales colombianas**. 2010. 66 f. Trabajo de grado (Química Industrial) – Universidad Tecnológica de Pereira, Colômbia, 2010.

ÇETIN, N. S.; ÖZMEN E. Studies on Lignin-Based Adhesives for Particleboard Panels. **Turkish Journal of Agriculture and Forestry**. Turkey. vol. 27 183-189. 2003.

CHOW, S. Adhesive developments in Forest products. **Wood Science and Technology**. v. 17, p. 1-11, 1983.

DONATI, R. D. **Produção de painéis reconstituídos no Brasil - passado, presente e futuro**. 2010. Disponível em: <<http://www.abipa.org.br/entrevistaRosane.php>>. Acesso em: 06/2014.

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Fibreboard and Particle Board**. FAO, 1959.

FORSS, K.G., FUHRMANN, A. “Finnish plywood, particleboard, and fireboard made with a lignin-base adhesive”. **Forest Products Journal**, vol.29, num.7, p.39-43,1979.

FRANKLIN ADHESIVES AND POLYMERS. **Trinta princípios da colagem de madeira**. 2003. Disponível em: <<http://www.franklinadhesives.com>>. Acesso em: 01 jun. 2014.

FREDHEIM, G.; CHRIDTENSEN, B.E. Polyelectrolyte Complexes: Interactions between Lignosulfonate and Chitosan. **Biomacromolecules**, p. 232-239, 2003.

GODA, A.C.M. Lignosulfonato Melbar. **Boletim e Catálogo Técnico**. Melbar Produtos de Lignina Ltda. 2000.

HARTMANN, C. T. **Avaliação de aditivos superplastificantes base policarboxilatos destinados a concretos de cimento Portland**. 2002. 210 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2002.

HASELEIN, C. R.; CALEGARI, L.; BARROS, M. V.; HACK, C.; HILLIG, E.; PAULESKI, D. T.; POZZERA, F. Resistência mecânica e à umidade de painéis aglomerados com partículas de madeira de diferentes dimensões. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 12, n. 2, p. 127-134, 2002.

HASELEIN, C. R.; PAULESKI, D. T. **Caderno didático da disciplina de tecnologia da madeira: parte II**. Santa Maria: Imprensa Universitária, 2004.

HERNANDEZ, J.A. **Lignina organosolv de *Eucalyptus Dunnii* Maiden, alternativa para a síntese de adesivos de poliuretano para madeira**. 2007. 83f. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Paraná, Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias. Curitiba, 2007.

HILLIG, E. **Qualidade de chapas aglomeradas estruturais, fabricadas com madeiras de pinus, eucalipto e acácia negra, puras ou misturadas, coladas com tanino-formaldeído**. 2000, 112f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2000.

IWAKIRI, S.; SILVA, J. R. M.; MATOSKI, S. L. S.; LEONHAD, G.; CARON, J. Produção de chapas de madeira aglomerada de cinco espécies de pinus tropicais. **Floresta e Ambiente**, v. 8, n.1, p.137-142, 2001.

- IWAKIRI, S. **Painéis de madeira reconstituída**. Curitiba: FUPEF, 247p, 2005a.
- IWAKIRI, S.; ANDRADE, A. S.; CARDOSO JÚNIOR, A. A.; CHIPANSKI, E .R.; PRATA, J. G.; ADRIAZOLA, M.K.O.; Produção de painéis aglomerados de alta densificação com uso de resina melamina-uréia-formaldeído. **Cerne**, Lavras, v. 11, n. 4, p. 323-328, 2005b.
- IWAKIRI, S.; CAPRARA, A. C.; SAKS, D. do C. O.; GUIANTES, DE PRADO. F.; FRANZONI, J. A.; KRAMBECK, L. B. P.; RIGATTO, P. A. Produção de painéis de madeira aglomerada de alta densificação com diferentes tipos de resina. **Scientia Forestalis** (IPEF), ESALQ/USP - Piracicaba - SP, v. 68, p. 39-43, 2005c.
- KELLY, M. W. Critical literature review of relationship between processing parameters and physical properties of particleboard. General Technology Report Forest, Madison, USDA Forest Service, **Forest Products Laboratory**, 70 p, 1977.
- KOLLMANN, F. F. P.; KUENZI, E. W. STAMM, A. J. Principles of wood Science and Technology: wood based materials. Berlim: **Springer-Verlog**, v. 2, p. 312-550, 1975.
- LI, Z. L.; PANG, Y.X.; LOU, H. M.; QIU, X.Q. Lignosulfonate dispersants for pesticide. **Bioresources**, v. 4, p. 589-601, 2009.
- LIMA, C. K. P. et al. Características anatômicas e química da madeira de clones de *Eucalyptus* e sua influência na colagem. **Cerne**, Lavras, v. 13, n. 2, p. 123-129, 2007.
- LONGUE JÚNIOR, D.; COLODETTE, J. L. Importância e versatilidade da madeira de eucalipto para a indústria de base florestal. **Revista Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 33, n. 76, p. 429- 438, out./dez. 2013.
- LORA, J. H., GLASSER, W. G. Recent Industrial applications of lignin: a sustainable alternative to nonrenewable materials. **Journal of Polymers and the Environment**, n. 10, p. 39-48, 2002.
- MALONEY, T.M. **Modern particleboard and dry-process fiberboard manufacturing**. 2.ed. San Francisco: Miller Freeman, 681, 689 p, 1993.
- MARRA, A.A. Technology of wood bonding: principles in practice. New York: Van Nostrand Reinhold. 453p, 1992.
- MATOS, J. L. M. **Ciclo da prensa em chapas de partículas estruturais "Waferboards"**. 1988. 164f. Dissertação, (Mestrado em Engenharia Florestal), Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná – UFPR, Curitiba – PR, 1988.
- MATTOS, R. L.; GONÇALVES, R. M.; CHAGAS, F. B. **Painéis de madeira no Brasil: panorama e perspectivas**. BNDS Setorial, Rio de Janeiro, v. 27, p. 121 - 156, 2008.
- MENDES, S. A.; MENDES, L. M.; CHAVES, M. D., MORIS, F. A.; SILVA, J. R. M. Utilização de resinas alternativas na produção de painéis OSB de *Eucalyptus* spp. **Cerne**, v. 13, n. 3, p. 257-263, 2007.

MENDES, R. F. Painéis aglomerados produzidos com bagaço de cana em associação com madeira de eucalipto. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 38, n. 86, p. 285-295, jun. 2010.

MENDES, R. F. **Efeito do tratamento térmico sobre as propriedades de painéis OSB**. 2011. 115f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2011.

MELO, R.R. et al. Propriedades físico-mecânicas de painéis aglomerados produzidos com diferentes proporções de madeira e casca de arroz. **Ciência Florestal**, v.19, n.4, p. 449-460, 2009.

MELO, R. R.; SANTINI, E. J.; HASELEIN, C. R. STANGERLIN, D. M.; MULLER, M. T.; DEL MENEZZI, C. H. S. Avaliação das propriedades físico-mecânicas de painéis aglomerados de *Eucalyptus grandis* colados com uréia-formaldeído e tanino - formaldeído. **Revista Floresta**, Curitiba, PR, v.40, n.3, p. 497-506, 2010.

MOSLEMI, A.A. Particleboard: materials. **London: Southern University Press**, v.1, p. 244, 1974.

OLIVEIRA, F. **Lignosulfonato de sódio como agente da modificação de superfície de fibras lignocelulósicas e da formulação de termorrígido fenólico**. 2010. 137f. Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.

PADILLA, V.; RANGEL, M.G.; BULLON, J.; RODRIGUEZ-MALAVAR, A.; GONZALES, A.M.; ROJAS, O.J. **Surface activity of lignin fractions obtained by membraneseperation technologies of industrial black liquors**. In CIADICYC – Congresso Iberoamericano de Investigacion en Celulose y Papel, 2002.

PARK, Y.; DOHERTY, W. O. S.; HALLEY, P. J. Developing lignin-based resin coatings and composites. **Industrial Crops and Products**, n.27, p.163-167, 2008.

PÉREZ, J. M.; RODRÍGUEZ, F.; ALONSO, OLIVIERO, M.; M. V.; ECHEVERRÍA, J. M. Characterization of a novolac resin substituting phenol by ammonium lignosulfonate as filler or extender. **BioResources**, n.2 (2), p.270-283, 2007.

PIZZI, A.; MITTAL, K. L. Handbook of Adhesive Technology, Marcel Dekker, Chapter 19, p. 347-358. 1994.

RAZERA, D. L. **Estudo sobre as interações entre as variáveis do processo de produção de painéis aglomerados e produtos moldados de madeira**. 2006. 157f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

REMADE. Mercado estimula produtos de madeira com valor agregado. **Revista da Madeira**, Curitiba – PR, ano 14, n. 84, out. 2004.

RODRÍGUEZ, J.M. **Estudio del curado de resinas lingo-novolacas. Propiedades termomecánicas de los productos curados**. 2005. 327f. Tese (Doctorado em Ciências Químicas) – Facultad de Ciencias Químicas – Departamento de Ingeniería Química, Universidad Complutense de Madrid, Madrid, 2005.

ROFFAEL, E. Die Formaldehydabgabe von Spanplatten und anderen Holzwerkstoffen. **DRW-Verlag**, Stuttgart, 154 p. 1982.

ROSA, T. S.; HILLIG E. Utilização de lignosulfonato de amônio na produção de painéis aglomerados. **Ciência da Madeira** (Brazilian Journal of Wood Science). v. 5. 93-102, 10p. 2014.

ROWELL, R. M.; HAN, J. S.; ROWELL, J. S. Characterization and factors affecting fiber properties. In: FROLLINI, E.; LEÃO, A. L.; MATTOSO, L. H. C. (Ed.). **Natural polymers and agrofibers composites**. São Carlos: Embrapa Instrumentação Agropecuária. p. 115-134. 2000.

SANCHES, L.F.; **Qualidade de painéis aglomerados produzidos com mistura de madeiras de quatro espécies florestais**. 2012. 80f. Dissertação (Mestrado em Ciências florestais) - Universidade Estadual do Centro- Oeste. Irati – PR 2012.

SANTOS, R.C. **Aproveitamento de resíduos da madeira de candeia (*Eremanthus erythropappus*) para produção de chapas de partículas**. 2008. 159f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira), Universidade Federal de Lavras. 2008.

SANTOS, R. C.; MENDES, L. M.; CARNEIRO, A. C. O.; MORI, F. A.; CASTRO, R. V. O.; MENDES, R. F. Utilização de resíduos da madeira de candeia (*Eremanthus erythropappus* (DC.) Macleish) na produção de painéis aglomerados com adição de pet. **Ciência Florestal**, v. 21, n. 1, p. 149-158, 2011a.

SANTOS, M. F. R. F., **Elaboração do Technology Roadmap para biorrefinaria de produtos da lignina no Brasil**. 2011. 309 f. Tese (Doutorado em Ciências). Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ/EQ), 2011b.

SHMULSKY, R.; JONES, P. D. **Forest products and wood science: an introduction**. 6ª Ed., Blackwell: Oxford. 2011. 490p.

SILVA, G. C. **Qualidade de painéis aglomerados produzidos com adesivos à base de lignosulfonato e ureia-formaldeído**. 2015. 95f. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia da Madeira) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2015.

SILVA B.C., VIEIRA M.C., OLIVEIRA G.L., GONÇALVES F.G., RODRIGUES N.D., LELIS R.C.C., IWAKIRI S. Qualidade de Compensados Fabricados com Adesivos à Base de Tanino-formaldeído de *Pinus oocarpa* e Fenol-formaldeído. **Floresta e Ambiente**. 19(4):511-519. 2012;

SILVEIRA, J. V. W. **Desenvolvimento de um novo material de pastilhas de freio baseado na substituição de resina fenol-formaldeído por lignosulfonato**. 2010. 90f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Materiais) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2010.

TEJADO, A., Peña, C., LABIDI, J., ECHEVERRIA, J. M., MONDRAGON, I. Physicochemical characterization of lignins from different sources for use in phenolformaldehyde resin synthesis. **Bioresource Technology**, 98, 1655-1663. 2007.

THOEMEN, H.; IRLE, M.; SERNEK, M. **Wood-based panels an introduction for specialists**. Brunel University Press: London. 152p. 2010.

TRIANOSKI, R.; IWAKIRI, S.; MATOS J. L. M.; PRATA, J.G. Avaliação de espécies alternativas de rápido crescimento para produção de painéis de madeira aglomerada de três camadas. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, v. 39, n. 89, p. 097-104, 2011.

TSOUMIS, G. Science and technology of wood: structure, properties, utilization. **New York: Van Nostrand Reinhold**, 494 p. 1991.

UNICAMP. Universidade de Campinas. Disponível:
<http://www.unicamp.br/unicamp/unicamp_hoje/ju/outubro2006/ju340pag5b.html>. Acesso em 21 jan 2015.

VICK, C. B. **Adhesive bonding of wood materials**. Madison: U.S. Department of Agriculture. 1999.

VITAL, B. R. Métodos de determinação da massa específica da madeira. Viçosa: SIF, 21p. (Boletim Técnico), 1984.