

RESSALVA

Atendendo solicitação do autor,
o texto completo desta tese será
disponibilizado somente a partir
de 16/08/2026.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
Faculdade de Engenharia e Ciências - Câmpus de Guaratinguetá

DANILO SOARES GALDINO

**DESEMPENHO DE PAINÉIS OSB PRODUZIDOS COM MADEIRA DE PINUS E
ADESIVO À BASE DE LIGNINA E BORO**

Guaratinguetá - SP

2024



DANILO SOARES GALDINO

**DESEMPENHO DE PAINÉIS OSB PRODUZIDOS COM MADEIRA DE PINUS E
ADESIVO À BASE DE LIGNINA E BORO**

Tese apresentada à Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Engenharia e Ciências, Câmpus de Guaratinguetá, para obtenção do título de Doutor em Engenharia Mecânica.

Área de Concentração: Materiais

Orientador(a): Dra. Cristiane Inácio de Campos

Coorientadores: Prof.^o Dr. Carlos Manuel Romero Luna / Prof.^a Dra. Gretta Larisa Aurora Arce Ferrufino

Guaratinguetá - SP

2024

Galdino, Danilo Soares
G149d Desempenho de painéis OSB produzidos com madeira de pinus e adesivo à base de lignina e boro / Danilo Soares Galdino - Guaratinguetá, 2024.
114 f : il.
Bibliografia: f. 101-114

Tese (Doutorado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia e Ciências de Guaratinguetá, 2024.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Cristiane Inácio de Campos
Coorientadores: Prof. Dr. Carlos Manuel Romero Luna
Prof.^a Dra. Gretta Larisa A. A. Ferrufino

1. Painéis de madeira. 2. Resinas fenólicas. 3. Ácido bórico.
I. Título.

CDU 620.1(043)

Luciana Máximo

Bibliotecária/CRB-8 3595

IMPACTO POTENCIAL DESTA PESQUISA

A pesquisa destaca um impacto significativo ao oferecer uma alternativa sustentável e eficiente para a produção de painéis OSB, substituindo o fenol por lignina em resinas fenol-formaldeído. Essa substituição reduz a dependência de derivados petroquímicos. Adicionalmente, a incorporação de ácido bórico à resina LPF mostrou potencial para melhorar a estabilidade dimensional dos painéis, uma característica desejável para seu uso na construção civil, especialmente em aplicações como fechamento de paredes, substrato de piso e telhado. Dado o caráter hidrofóbico observado nesse novo produto, com estudos adicionais, poderá ser possível reduzir a necessidade de tratamentos químicos agressivos para a proteção da madeira, promovendo práticas mais sustentáveis no setor, sobretudo para sistemas construtivos Light Frame.

Além disso, a tecnologia tem potencial para impulsionar a economia nacional, posicionando o Brasil como referência na produção de materiais de base biológica, particularmente com a atuação de duas empresas que recentemente iniciaram a produção industrial de lignina Kraft. Ao aproveitar resíduos industriais e promover uma produção mais limpa e sustentável, a indústria nacional se alinha a alguns dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, incentivando o uso eficiente de recursos naturais renováveis e aprimorando produtos da construção civil com menor impacto ambiental.

POTENTIAL IMPACT OF THIS RESEARCH

The research highlights a significant impact by offering a sustainable and efficient alternative for the production of OSB panels, replacing phenol with lignin in phenol-formaldehyde resins. This substitution reduces dependence on petrochemical derivatives. Additionally, the incorporation of boric acid into LPF resin has shown potential to improve the dimensional stability of the panels, a desirable characteristic for their use in construction, especially for wall sheathing, flooring substrates, and roofing. Given the hydrophobic properties observed in this new product, further studies may enable the reduction of more aggressive chemical treatments for wood protection,

promoting more sustainable practices in the sector, particularly for Light Frame construction systems.

Moreover, the technology has the potential to boost the national economy, positioning Brazil as a reference in the production of bio-based materials, especially with the involvement of two companies that have recently started the industrial production of Kraft lignin. By utilizing industrial waste and promoting cleaner and more sustainable production, the national industry aligns with some of the Sustainable Development Goals, encouraging the efficient use of renewable natural resources and enhancing construction products with a lower environmental impact..

DANILO SOARES GALDINO

**ESTA TESE FOI JULGADA ADEQUADA PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
“DOUTOR EM ENGENHARIA MECÂNICA”**

**PROGRAMA: ENGENHARIA MECÂNICA
CURSO: DOUTORADO**

APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO

 Documento assinado digitalmente
ANA PAULA ROSIFINI ALVES
Data: 05/08/2024 12:56:39-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. Ana Paula Rosifini Alves
Coordenadora

BANCA EXAMINADORA:

 Documento assinado digitalmente
CRISTIANE INACIO DE CAMPOS
Data: 20/08/2024 17:29:14-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

CRISTIANE INACIO DE CAMPOS
Orientador – UNESP

CLAUDIA MARCELA IBANÊZ ODEJA
Universidad de La República - Facultad de Química

 Documento assinado digitalmente
EDNA MOURA PINTO
Data: 23/08/2024 09:46:25-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

EDNA MOURA PINTO
UFRN

 Documento assinado digitalmente
JOSÉ CLÁUDIO CARASCHI
Data: 21/08/2024 15:57:04-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

JOSÉ CLÁUDIO CARASCHI
UNESP

 Documento assinado digitalmente
JULIANO FIORELLI
Data: 21/08/2024 19:35:01-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

JULIANO FIORELLI
USP

AGOSTO de 2024

Dedico este trabalho a todos que
acreditam no avanço sustentável

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por todas as bênçãos concedidas e por iluminar meu caminho, permitindo que eu me tornasse a pessoa que sou hoje. Tenho plena certeza de que Sua presença esteve comigo em cada passo desta jornada, guiando, inspirando e fortalecendo-me para superar todos os desafios.

Aos meus pais, por serem meus primeiros mestres e exemplos de esforço, dedicação e força de vontade, e por estarem sempre ao meu lado, especialmente nos momentos mais significativos desta jornada.

À Professora Dra. Cristiane Inácio de Campos, expresso minha profunda gratidão pela oportunidade, confiança, amizade e valiosa orientação ao longo deste trabalho. Agradeço também aos Professores Dr. Carlos Manuel Romero Luna e Dra. Gretta Larisa Arce Ferrufino por sua disponibilidade e prontidão em esclarecer minhas dúvidas, sempre com grande dedicação.

Agradeço ao Programa ESCALA Estudantil de Pós-Graduação da AUGM pelo apoio financeiro durante o período de mobilidade acadêmica, concedido através da convocatória de 2023. Minha sincera gratidão também à Professora Dra. Marcela Ibañez e à Universidade de La República do Uruguai pela colaboração e pela valiosa oportunidade concedida.

Agradeço à UNESP Campus Guaratinguetá pelo apoio à pesquisa. Minha gratidão também à UNESP Campus Itapeva, onde desenvolvi grande parte deste trabalho, e aos seus servidores, especialmente aos Assistentes de Suporte Acadêmico Felipe, Alex e Juscelino, pela atenção e suporte prestados sempre que necessário.

E, finalmente, à minha esposa e aos meus filhos, cujo apoio silencioso e amor incondicional me motivam diariamente. Que este trabalho reflita o quanto significam para mim e inspire seus próprios caminhos.

“A natureza nunca se apressa. Átomo a átomo, pouco a pouco, ela alcança seu trabalho.”

Ralph Waldo Emerson (1803–1882).

RESUMO

A substituição do fenol por lignina em resinas fenol-formaldeído é uma alternativa sustentável para a indústria de painéis, reduzindo o uso de recursos petroquímicos e incorporando biomassa. Este estudo avaliou a aplicação de resina fenólica modificada com lignina e ácido bórico na produção de painéis OSB. Foram formuladas resinas com 10%, 20%, 30% e 50% de lignina (LPF) e 1%, 2% e 3% de ácido bórico (LPF+B), comparadas a uma resina controle (PF). As propriedades foram avaliadas por meio de análises de DSC, TGA, FTIR, tempo de gel, pH, viscosidade e teor de sólidos. Os painéis OSB foram testados quanto às suas propriedades físicas (densidade aparente, teor de umidade, inchamento e absorção de água) e mecânicas (módulo de elasticidade à flexão, resistência à flexão, adesão interna e resistência ao arrancamento de parafuso). Além disso, foram realizados ensaios de desempenho ao fogo utilizando o túnel de Vandersall e análise de microestrutura com microscopia eletrônica de varredura (MEV). Os resultados indicaram que as resinas LPF curaram em temperaturas mais baixas e a uma taxa mais rápida, tornando-as mais eficientes em termos de consumo energético para a fabricação de painéis. A substituição de até 50% do fenol por lignina kraft é viável, sendo que a formulação ideal foi alcançada com 30% de substituição. A adição de ácido bórico à resina LPF, quando mantida em 1%, melhorou a estabilidade dimensional dos painéis, e a resina LPF+B superou os requisitos técnicos para a classificação OSB/3, que é destinada a painéis para uso estrutural em ambientes úmidos. Por outro lado, os painéis fabricados com resina LPF foram classificados como OSB/2, pois apresentaram um inchamento de 15,34%, apenas 0,34% acima do limite recomendado de 15% para categorias superiores. Apesar disso, os resultados demonstraram a viabilidade da resina LPF como uma alternativa eficiente para a substituição da resina PF em sistemas construtivos Light frame, pois ela não apenas mantém, mas em alguns casos aprimora as propriedades mecânicas dos painéis. Além disso, a resina LPF atua como um eficiente dissipador de calor, melhorando a retardância à chama e funcionando como um retardante de fogo.

Palavras-chave: adesivos sustentáveis; desempenho térmico; compósito madeira; ácido bórico.

ABSTRACT

The substitution of phenol with lignin in phenol-formaldehyde resins is a sustainable alternative for the panel industry, reducing the use of petrochemical resources and incorporating biomass. This study evaluated the application of phenolic resin modified with lignin and boric acid in the production of OSB panels. Resins with 10%, 20%, 30%, and 50% lignin (LPF) and 1%, 2%, and 3% boric acid (LPF+B) were formulated and compared to a control resin (PF). The properties were evaluated through DSC, TGA, FTIR analyses, gel time, pH, viscosity, and solid content. The OSB panels were tested for their physical properties (apparent density, moisture content, thickness swelling, and water absorption) and mechanical properties (modulus of elasticity in bending, bending strength, internal bond strength, and screw withdrawal resistance). Additionally, fire performance tests using the Vandersall tunnel and microstructure analysis with scanning electron microscopy (SEM) were conducted. The results showed that the LPF resins cured at lower temperatures and at a faster rate, making them more energy-efficient for panel manufacturing. Replacing up to 50% of phenol with kraft lignin is feasible, with the ideal formulation being 30% substitution. The addition of boric acid to LPF resin, when maintained at 1%, improved the dimensional stability of the panels, and the LPF+B resin exceeded the technical requirements for OSB/3 classification, intended for structural use in humid environments. On the other hand, panels made with LPF resin were classified as OSB/2, as they showed a thickness swelling of 15.34%, only 0.34% above the recommended limit for higher categories. Despite this, the results demonstrated the viability of LPF resin as an efficient alternative to PF resin in Light frame construction systems, as it not only maintains but in some cases enhances the mechanical properties of the panels. Additionally, LPF resin acts as an efficient heat dissipator, improving flame retardancy and functioning as a fire retardant.

Keywords: sustainable adhesives; thermal performance; wood composite; boric acid.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 – Número de artigos com o termo “bio-based wood adhesive”..... | 22 |
| Figura 2 - Número de artigos com o termo “lignina-phenol-formaldehyde”..... | 23 |
| Figura 3 – Co-ocorrência de todas as palavras-chave das publicações. | 24 |
| Figura 4 - Partículas para aglomerados (a, b, f), fibras para MDF/HDF (c), partículas maiores para OSB/Waferboard (d, e)..... | 27 |
| Figura 5 - Exemplos de vários produtos compósitos de madeira. | 27 |
| Figura 6 - Crescimento projetado dos mercados globais de adesivos para madeira e painéis de madeira de 2024 a 2029. | 28 |
| Figura 7 – Disposição das camadas (a) e Painel OSB (b). | 30 |
| Figura 8 - Processo industrial de produção de painéis OSB. | 31 |
| Figura 9 - Aplicações do OSB: revestimento de parede (esq.), piso e vigas I (dir.). . | 32 |
| Figura 10 - Formação de resina resol a partir de fenol e formaldeído..... | 34 |
| Figura 11 - Representação esquemática de lignocelulose e componentes principais | 38 |
| Figura 12 - Principais ligações em uma lignina de conífera. | 40 |
| Figura 13 - Diferentes processos de extração para obtenção de lignina técnica | 41 |
| Figura 14 - Lignina kraft em pó..... | 48 |
| Figura 15 - Fluxograma do trabalho realizado..... | 49 |
| Figura 16 - Análise de teor de sólidos. | 52 |
| Figura 17 - (a) Corpos de prova para cisalhamento na linha de cola.; (b) Ensaio de cisalhamento na linha de cola. | 54 |
| Figura 18 - Equipamentos usados para produção do painel OSB: gerador de partículas (esq.) e encoladeira (dir.). | 56 |
| Figura 19 - Processo de produção do OSB..... | 57 |

| | |
|--|----|
| Figura 20 - Esquema de medições para ensaio de densidade..... | 58 |
| Figura 21 - Ilustrativa do ensaio de flexão..... | 60 |
| Figura 22 - Curva de carga-deflexão dentro da faixa de deformação elástica. | 62 |
| Figura 23 – Ensaio de adesão interna..... | 63 |
| Figura 24 - Ensaio de arrancamento de parafuso | 64 |
| Figura 25 – Diagrama (a) e foto do túnel de Vandersall (b)..... | 65 |
| Figura 26 – Diagramas da análise calorimétrica para as diferentes resinas formuladas. | 69 |
| Figura 27 – Diagramas da análise calorimétrica para as diferentes resinas formuladas. | 71 |
| Figura 28 - Curvas DTG das resinas sintetizadas. | 72 |
| Figura 29 - Análise FTIR das resinas. | 73 |
| Figura 30 – Valores de resistência na linha de cola | 75 |
| Figura 31 – Gráfico de correlação de Pearson entre variáveis..... | 76 |
| Figura 32 - Valores de resistência na linha de cola..... | 78 |
| Figura 33 - Valores de densidade dos painéis | 80 |
| Figura 34 - Valores médios de teor de umidade..... | 81 |
| Figura 35 - Valores médios de absorção..... | 82 |
| Figura 36 - Valores médios de inchamento..... | 83 |
| Figura 37 - Valores médios de MOR-PA | 85 |
| Figura 38 - Valores médios de MOE-PA. | 86 |
| Figura 39 - Valores médios de MOR-PE | 88 |
| Figura 40 - Valores médios de MOE-PE | 89 |
| Figura 41 - Valores de resistência à tração perpendicular às faces | 91 |
| Figura 42 - Valores de resistência para arrancamento de parafuso em superfície. ... | 92 |

Figura 43 - Padrões de queima dos corpos de prova colados com os diferentes adesivos: (a) PF, (b) LPF, e (c) LPF+B.95

Figura 44 – Imagem MEV dos painéis produzidos expostos ao teste de fogo, regiões menos afetadas (esq.) e mais afetadas (dir). Linha (a) resina PF; Linha (b) resina LPF+B e Linha (c) resina LPF.97

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1 – Quantidades dos reagentes utilizados nas sínteses das resinas LPF..... | 51 |
| Tabela 2 - Propriedades médias das resinas sintetizadas. | 67 |
| Tabela 3 - Cinética de cura térmica das resinas por DSC..... | 69 |
| Tabela 4 - Valores da análise de TGA | 71 |
| Tabela 5 - Propriedades físico-químicas das resinas fenólicas com ácido bórico..... | 77 |
| Tabela 6 - Formulações das resinas adotadas para confecção dos painéis OSB..... | 79 |
| Tabela 7 - Comparação dos parâmetros de desempenho ao fogo de painéis colados com diferentes adesivos..... | 94 |

SUMÁRIO

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 18 |
| 2 | OBJETIVOS | 20 |
| 2.1 | OBJETIVOS ESPECÍFICOS..... | 20 |
| 2.2 | JUSTIFICATIVA..... | 20 |
| 3 | ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA..... | 22 |
| 4 | MATERIAIS COMPÓSITOS À BASE DE MADEIRA..... | 26 |
| 4.1 | DEMANDA NA CONSTRUÇÃO CIVIL | 28 |
| 4.2 | PAINÉIS OSB..... | 29 |
| 4.3 | ADESIVOS PARA MADEIRA | 32 |
| 4.3.1 | Resinas fenólicas..... | 33 |
| 4.4 | A BIOMASSA COMO FONTE DE MATÉRIA-PRIMA | 35 |
| 4.4.1 | Lignina | 37 |
| 4.4.2 | Produção de lignina técnica..... | 40 |
| 4.4.3 | Lignina kraft nacional..... | 42 |
| 4.5 | POTENCIAL APLICAÇÃO DA LIGNINA COMO ADESIVO..... | 43 |
| 4.6 | RETARDANTES DE FOGO EM PAINÉIS | 45 |
| 4.7 | CONSIDERAÇÕES DA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 46 |
| 5 | MATERIAIS E MÉTODOS..... | 48 |
| 5.1 | MATERIAIS | 48 |
| 5.2 | ETAPAS DO TRABALHO | 49 |
| 5.3 | SÍNTESE DAS RESINAS | 50 |
| 5.3.1 | Síntese da resina fenólica | 50 |
| 5.3.2 | Síntese da resina fenólica com lignina | 50 |
| 5.3.3 | Síntese da resina fenólica com lignina e ácido bórico | 51 |
| 5.4 | CARACTERIZAÇÃO DAS RESINAS..... | 51 |
| 5.4.1 | Viscosidade | 52 |
| 5.4.2 | pH..... | 52 |
| 5.4.3 | Teor de sólidos | 52 |
| 5.4.4 | Gel time | 53 |
| 5.4.5 | Calorimetria exploratória diferencial (DSC) | 53 |
| 5.4.6 | Análise termogravimétrica (TGA)..... | 53 |
| 5.4.7 | Análise de espectroscopia no infravermelho (FTIR)..... | 54 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 5.5 | QUALIDADE DE COLAGEM | 54 |
| 5.6 | PRODUÇÃO DOS PAINÉIS OSB..... | 55 |
| 5.6.1 | Preparo das partículas (<i>strands</i>)..... | 55 |
| 5.6.2 | Confecção dos painéis | 55 |
| 5.7 | CARACTERIZAÇÃO DO PAINEL..... | 57 |
| 5.7.1 | Densidade..... | 57 |
| 5.7.2 | Teor de Umidade (U) | 59 |
| 5.7.3 | Inchamento após 24h (I) | 59 |
| 5.7.4 | Absorção de água (A)..... | 60 |
| 5.7.5 | Flexão estática..... | 60 |
| 5.7.6 | Tração perpendicular..... | 62 |
| 5.7.7 | Arrancamento de parafuso | 63 |
| 5.8 | TESTE DE REAÇÃO AO FOGO | 64 |
| 5.9 | MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA | 66 |
| 5.10 | ANÁLISE DOS RESULTADOS..... | 66 |
| 6 | RESULTADOS E DISCUSSÃO | 67 |
| 6.1 | CARACTERIZAÇÃO DAS RESINAS LPF | 67 |
| 6.1.1 | Propriedades físico-químicas..... | 67 |
| 6.1.2 | Calorimetria exploratória de varredura (DSC)..... | 68 |
| 6.1.3 | Análise termogravimétrica (TGA)..... | 70 |
| 6.1.4 | Análise dos espectros de infravermelho (FTIR)..... | 73 |
| 6.1.5 | Qualidade de colagem..... | 74 |
| 6.2 | CARACTERIZAÇÃO DAS RESINAS LPF+B..... | 77 |
| 6.2.1 | Propriedades físico-químicas..... | 77 |
| 6.2.2 | Qualidade de colagem..... | 78 |
| 6.3 | CARACTERIZAÇÃO DOS PAINÉIS OSB | 79 |
| 6.3.1 | Densidade (D)..... | 79 |
| 6.3.2 | Teor de umidade (U)..... | 80 |
| 6.3.3 | Inchamento e absorção após 24h (I) | 82 |
| 6.3.4 | Flexão estática longitudinal (MOE-PA e MOR-PA)..... | 85 |
| 6.3.5 | Flexão estática transversal (MOE-PE e MOR-PE) | 88 |
| 6.3.6 | Adesão interna (TP)..... | 90 |
| 6.3.7 | Arrancamento de parafuso - Superfície (AP-S) | 92 |
| 6.3.8 | Desempenho técnico x norma | 93 |

| | | |
|----------|---|------------|
| 6.4 | DESEMPENHO AO FOGO..... | 94 |
| 6.5 | ANÁLISE MICROSCÓPIO ELETRÔNICO DE VARREDURA | 96 |
| 7 | CONCLUSÕES | 99 |
| 8 | PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS..... | 100 |
| | REFERÊNCIAS | 101 |

1 INTRODUÇÃO

Os painéis OSB (*Oriented Strand Board*) são amplamente utilizados na construção civil para aplicações estruturais devido às suas características de resistência mecânica e boa estabilidade dimensional. Eles são valorizados por seu bom desempenho de isolamento térmico e acústico, sendo componentes essenciais em sistemas construtivos industrializados, como o *Wood Frame* (estrutura de perfis de madeira) e *Steel Frame* (estrutura de perfis de aço) como fechamento de paredes, em forros, pisos e como substrato para cobertura do telhado (Feng et al., 2015; Xu et al., 2019).

Para a fabricação desses painéis em escala industrial são usadas as resinas fenólicas que apesar de terem excelentes propriedades mecânicas, alta estabilidade térmica e resistência à água (Jin; Cheng; Zheng, 2010; Zhang et al., 2013), esse tipo de adesivo é sintetizado a partir de compostos orgânicos advindos do petróleo que, além de não ser renovável e possuir alto custo, são substâncias tóxicas e prejudiciais ao meio ambiente (Chung; Washburn, 2012).

A indústria tem buscado resinas alternativas de igual qualidade e desempenho que possam substituir total ou parcialmente o fenol, visando obter um produto mais econômico e sustentável. Nesse contexto, a lignina se destaca como um substituto atraente em adesivos para madeira devido à sua origem natural, natureza fenólica, alta disponibilidade e baixo custo (Karthäuser et al., 2021).

Depois da celulose, a lignina é o segundo polímero mais abundante na biomassa, representando 30% de todo o carbono orgânico não fóssil da Terra (Costes et al., 2017). Ela pode ser isolada da madeira, de cultivos sazonais como trigo e soja, ou de resíduos agrícolas, como o bagaço de cana-de-açúcar, por diferentes processos de extração (Ludmila et al., 2015). O método mais comum, entretanto, é a partir do processo de polpação kraft na produção de celulose para fabricação de papel (Yu; Kim, 2020).

Durante o processo de polpação kraft, o licor negro resultante, contendo entre 35% e 45% de lignina, é concentrado e queimado em uma caldeira de recuperação para produzir vapor, eletricidade e produtos químicos inorgânicos para uso interno da fábrica. A viabilidade da lignina para a síntese de resinas está exatamente na utilização desses rejeitos gerados pela indústria de papel e celulose, que, por não

serem totalmente aproveitados, são considerados subprodutos ou excedentes (Gellerstedt, 2015; Hu; Zhang; Lee, 2018).

A lignina kraft é o tipo de lignina que mais cresce em nível global (Dessbesell et al., 2020). Com o conceito de biorrefinaria, os métodos de extração se tornaram mais eficientes e foram otimizados em escala comercial nos últimos anos. A grande quantidade de licor negro gerada e o fato de a indústria não conseguir consumir todo esse material, somado ao alto custo de ampliação das caldeiras de recuperação do licor negro, que exige investimentos significativos, têm levado as empresas do setor a buscar alternativas de uso para esse material (Kouisni et al., 2011).

O uso da lignina kraft foi estudado com sucesso na preparação de resinas à base de fenol-formaldeído (PF), ureia-formaldeído (UF), epóxi (EP) ou poliuretano (PU) (Huang et al., 2022). Esses estudos se concentram na aplicação em painéis MDP (Iwakiri et al., 2019), MDF (Antov et al., 2021) e compensado (Lubis et al., 2022). Pesquisas mais recentes também exploram a utilização da lignina kraft como retardante de chama natural em espumas de isolamento térmico e acústico (Kanemoto; Kanemoto; Lakshmi, 2024; Zhao et al., 2023). No entanto, a investigação sobre sua aplicação como adesivo ou retardante de chama em painéis OSB é praticamente inexistente.

Para fabricar painéis de madeira com propriedades desejáveis de resistência ao fogo e ação inseticida, têm sido estudados produtos químicos à base de boro, como ácido bórico, bórax, borato de zinco, pentaborato de amônio e misturas de compostos de boro (Camargo; Ibanez, 2024; Wu et al., 2021).

Diante disso, surgiu a motivação deste trabalho: sintetizar essa resina em laboratório e investigar seu uso em painéis OSB, visando avaliar seu desempenho. O objetivo principal é analisar o comportamento físico-mecânico e as propriedades de reação ao fogo desses painéis produzidos com a resina, tanto com quanto sem a adição de boro. É importante destacar que não existem estudos anteriores que explorem a sinergia entre resinas fenólicas com lignina e boro, nem se sabe como a substituição do fenol por lignina na formulação pode afetar as propriedades ignífugas desses painéis.

7 CONCLUSÕES

O objetivo deste trabalho de pesquisa foi investigar a viabilidade de aplicação da resina fenólica com lignina e adição de boro na produção de painéis OSB. As seguintes conclusões podem ser tiradas:

- A substituição de até 50% do fenol por lignina kraft em adesivos fenólicos é viável. As resinas formuladas com 10%, 20%, 30% e 50% de substituição apresentaram aplicabilidade, sendo que a substituição ideal foi de 30%.

- A resina LPF com 30% de substituição apresentou menor tempo de gel e maior viscosidade em comparação à resina PF. A cura das resinas LPF ocorreu em temperaturas mais baixas e em taxas mais rápidas, tornando-as energeticamente vantajosas para a fabricação de painéis.

- A adição de ácido bórico à resina LPF com 30% de substituição diminuiu a viscosidade e o teor de sólidos não voláteis, além de reduzir a resistência ao cisalhamento da linha de cola. A reticulação inadequada foi observada com maiores percentuais de ácido bórico, recomendando-se a adição de pequenas cargas, cerca de 1%.

- Embora os painéis com resina LPF tenham atendido a muitos requisitos mínimos, foram classificados como painéis para uso estrutural em ambientes secos pela EN 300. Eles apresentaram um inchamento de 15,34%, apenas 0,34% acima do limite de 15% recomendado para categorias superiores. Isso indica a viabilidade da resina LPF como substituto da resina PF na utilização em sistemas construtivos Light frame.

- A incorporação de ácido bórico na resina LPF melhorou a estabilidade dimensional dos painéis. As propriedades físicas e mecânicas dos painéis OSB fabricados com resina LPF+B atenderam plenamente aos requisitos técnicos, superando os valores mínimos definidos pela EN 300 para a categoria OSB/3, destinada a painéis para uso estrutural em ambientes úmidos.

- Os painéis colados com resinas contendo lignina mostraram resultados promissores. A lignina atua como um dissipador de calor eficiente, isolando a madeira do calor e das chamas. Dessa forma, a resina à base de lignina oferece benefícios adicionais em relação à resina PF, como melhor retardância à chama, além de manter e, em alguns casos, aprimorar as propriedades mecânicas do painel OSB.

REFERÊNCIAS

- ABDELWAHAB, N. A.; NASSAR, M. A. Preparation , optimisation and characterisation of lignin phenol formaldehyde resin as wood adhesive. **Pigment and resin technology**, Bingley, p. 169–174, 2011. DOI: 10.1108/03699421111130432. Disponível em: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/03699421111130432/full/html>. Acesso em: 30 nov. 2022.
- ABOBAKR, H.; RAJI, M.; ESSABIR, H.; BENSALAH, M. O.; BOUHFID, R.; QAISS, A.. Enhancing oriented strand board performance using wheat straw for eco-friendly construction. **Construction and building materials**, Amsterdam, v. 417, 2024. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2024.135135. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061824002769>. Acesso em: 6 maio. 2024.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D1200-94**: standard test method for viscosity by Ford viscosity cup. West Conshohocken: ASTM, 2005.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D2339-20**: standard test method for strength properties of adhesives in two-ply wood construction in shear by tension loading. West Conshohocken: ASTM, 2020.
- ANTOV, P.; SAVOV, V.; TRICHKOV, N.; KRIŠŤÁK, Ľ.; RÉH, R.; PAPADOPOULOS, A. N.; TAGHIYARI, H.R.; PIZZI, A.; KUNECOVÁ, D.; PACHIKOVA, M.. Properties of high-density fiberboard bonded with urea–formaldehyde resin and ammonium lignosulfonate as a bio-based additive. **Polymers**, Basel, v. 13, n. 16, 2021. DOI: 10.3390/polym13162775. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4360/13/16/2775>. Acesso em: 8 jul. 2024.
- AYRILMIS, N.. Combined effects of boron and compatibilizer on dimensional stability and mechanical properties of wood/HDPE composites. **Composites part B: Engineering**, Oxford, v. 44, n. 1, p. 745–749, 2013. DOI: 10.1016/j.compositesb.2012.04.002. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.compositesb.2012.04.002>. Acesso em: 2 jul. 2024.
- AZADI, P.; INDERWILDI, O. R.; FARNOOD, R.; KING, D. A. Liquid fuels, hydrogen and chemicals from lignin: A critical review. **Renewable and sustainable energy reviews**, Oxford, v. 21, p. 506–523, 2013. DOI: 10.1016/j.rser.2012.12.022. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2012.12.022>. Acesso em: 7 fev. 2023.
- BAJWA, D. S.; POURHASHEM, G.; ULLAH, A. H.; BAJWA, S. G. A concise review of current lignin production, applications, products and their environment impact. **Industrial crops and products**, Amsterdam, v. 139, 2019. DOI: 10.1016/j.indcrop.2019.111526. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0926669019305382>. Acesso em: 14 jun. 2024.
- BARBIRATO, G. H. A.; FIORELLI, J.; MEJIA, J.; SARASINI, F.; TIRILLÒ, J.; FERRANTE, L. Quasi-static and dynamic response of oriented strand boards based

on balsa wood waste. **Composite structures**, London, v. 219, n. December 2018, p. 83–89, 2019. DOI: 10.1016/j.compstruct.2019.03.062. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2019.03.062>. Acesso em: 12 fev. 2023.

BARBIRATO, G. H. A.; LOPES JUNIOR, W. E.; HELLMEISTER, V.; PAVESI, M.; FIORELLI, J.. OSB panels with balsa wood waste and castor oil polyurethane resin. **Waste and biomass valorization**, Dordrecht, v. 11, n. 2, p. 743–751, 2020. DOI: 10.1007/s12649-018-0474-8. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12649-018-0474-8>. Acesso em: 18 jul. 2021.

BASTOS, F.. Polímero de eucalipto é aposta da Suzano em nova parceria. **Revista exame**, São Paulo, 2023. Disponível em: <https://exame.com/esg/polimero-de-eucalipto-e-aposta-da-suzano-em-nova-parceria/>. Acesso em: 2 fev. 2024.

BERLIN, A.; BALAKSHIN, M.. Industrial lignins: analysis, properties, and applications. In: GUPTA, V. K.; TUOHY, M. G.; KUBICEK, C.P.; SADDLER, J.; XU, F. **Bioenergy research: advances and applications**. Amsterdam: Elsevier, 2014. p. 315–336. DOI: 10.1016/B978-0-444-59561-4.00018-8. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-444-59561-4.00018-8>. Acesso em: 14 jun. 2024

BICHOT, A.; LEROSTY, M.; RADOIU, M.; MÉCHIN, V.; BERNET, N.. Decoupling thermal and non-thermal effects of the microwaves for lignocellulosic biomass pretreatment. **Energy conversion and management**, London, v. 203, n. November 2019, p. 112220, 2020. DOI: 10.1016/j.enconman.2019.112220. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2019.112220>. Acesso em: 6 maio. 2024.

BRASIL. Sistema nacional de avaliações técnicas (SINAT). **Diretrizes para avaliação técnica de sistemas construtivos estruturados em perfis leves de aço zincado conformados a frio, com fechamentos em chapas delgadas (sistemas leves tipo “light steel framing”)**. Brasília: PBQP, 2016. Disponível em: http://pbqp-h.cidades.gov.br/projetos_sinat.php. Acesso em: 18 jul. 2021.

BRITISH STANDARDS INSTITUTION. **EN 323**: Wood-based panels - determination of density. Bruxelas: BSI, 1993a.

BRITISH STANDARDS INSTITUTION. **EN 322**: Wood-based panels - determination of moisture content. Bruxelas: BSI, 1993b.

BRITISH STANDARDS INSTITUTION. **EN 317**: particleboards and fibreboards - determination of swelling in thickness after immersion in water. Bruxelas: BSI, 1993c.

BRITISH STANDARDS INSTITUTION. **EN 310**: wood-based panels - determination of modulus of elasticity in bending and of bending strength. Bruxelas: BSI, 1993d.

BRITISH STANDARDS INSTITUTION. **EN 319**: particleboards and fibreboards - determination of tensile strength perpendicular to the plane of the board. Bruxelas: BSI, 1993e.

BRITISH STANDARDS INSTITUTION. **EN 300**: oriented strand boards (OSB) -

definitions, classification and specifications. Bruxelles: BSI, 2006.

BRITISH STANDARDS INSTITUTION. **EN 320**: particleboards and fibreboards - determination of resistance to axial withdrawal of screws. Bruxelles: BSI, 2011.

CABRAL, M. R.; FIORELLI, J.; SAVASTANO JUNIOR, H.; LAGACÉ, R.; GODBOUT, S.; PALACIOS, J. H. Study of the potential use of the sugarcane bagasse in cementpanels. *In*: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPOSITE SCIENCE AND TECHNOLOGY (ICCST/10), 10, 2015, Lisboa. **Proceedings** [...], Lisboa, 2015.

CAMARGO, Á.; IBÁÑEZ, C. M. Initial study of micronized zinc borate as flame retardant in *Eucalyptus grandis* from Uruguay. **MRS advances**, Heidelberg, v. 3, n. 61, p. 3551–3556, 2018. DOI: 10.1557/adv.2018.585. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1557/adv.2018.585>. Acesso em: 7 jul. 2024.

CAMARGO, A.; IBANEZ, C. M.. Fire performance of pinus taeda wood treated with zinc borate before and after leaching. **Maderas: ciencia y tecnologia**, Concepcion, v. 26, n. 35, p. 1–14, 2024. DOI: 10.22320/S0718221X/2024.35. Disponível em: <https://revistas.ubiobio.cl/index.php/MCT/article/view/6400>. Acesso em: 7 jul. 2024.

CAVDAR, A. D.; KALAYCIOGLU, H.; HIZIROGLU, S.. Some of the properties of oriented strandboard manufactured using kraft lignin phenolic resin. **Journal of materials processing technology**, Amsterdam, v. 202, n. 1–3, p. 559–563, 2008. DOI: 10.1016/j.jmatprotec.2007.10.039. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924013607009132>. Acesso em: 24 jul. 2023.

CHAI, Y.; LIU, J.; ZHAO, Y.; YAN, N.. Characterization of modified phenol formaldehyde resole resins synthesized in situ with various boron compounds. **Industrial and engineering chemistry research**, Washington, v. 55, n. 37, p. 9840–9850, 2016. DOI: 10.1021/acs.iecr.6b02156. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.iecr.6b02156>. Acesso em: 7 fev. 2023.

CHEN, Y.; GONG, X.; YANG, G.; LI, Q.; ZHOU, N.. Preparation and characterization of a nanolignin phenol formaldehyde resin by replacing phenol partially with lignin nanoparticles. **RSC advances**, Cambridge, v. 9, n. 50, p. 29255–29262, 2019. DOI: 10.1039/c9ra04827h. Disponível em: <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2019/ra/c9ra04827h>. Acesso em: 12 fev. 2023.

CHUNG, H.; WASHBURN, N. R. Chemistry of lignin-based materials. **Green materials**, London, v. 1, n. 3, p. 137–160, 2013. DOI: 10.1680/gmat.12.00009. Disponível em: <https://doi.org/10.1680/gmat.12.00009>. Acesso em: 19 dez. 2022.

COLLINS, M. N.; NECHIFOR, M.; TANASĂ, F.; ZĂNOAGĂ, M.; MCLOUGHLIN, A.; STRÓŻYK, M. A.; CULEBRAS, M.; TEACĂ, C. A.. Valorization of lignin in polymer and composite systems for advanced engineering applications – A review. **International journal of biological macromolecules**, Amsterdam, v. 131, p. 828–849, 2019. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2019.03.069. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0141813018352152>. Acesso em: 14 jun.

2024.

COSTES, L.; LAOUTID, F.; BROHEZ, S.; DELVOSALLE, C.; DUBOIS, P.. Phytic acid–lignin combination: a simple and efficient route for enhancing thermal and flame retardant properties of polylactide. **European polymer journal**, Oxford, v. 94, p. 270–285, 2017. DOI: 10.1016/j.eurpolymj.2017.07.018. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S001430571730650X>. Acesso em: 18 out. 2021.

CURRAN, L. M. C. L. K.; PHAM, L. T. M.; SALE, K. L.; SIMMONS, B. A. Review of advances in the development of laccases for the valorization of lignin to enable the production of lignocellulosic biofuels and bioproducts. **Biotechnology advances**, New York, v. 54, p. 107809, 2022. DOI: 10.1016/j.biotechadv.2021.107809. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0734975021001154>. Acesso em: 6 maio. 2024.

DE LIGNE, L.; VAN ACKER, J.; BAETENS, J. M.; OMAR, S.; DE BAETS, B.; THYGESEN, L. G.; VAN DEN BULCKE, J.; THYBRING, E. E. Moisture dynamics of wood-based panels and wood fibre insulation materials. **Frontiers in plant science**, Lausanne, v. 13, n. July, 2022. DOI: 10.3389/fpls.2022.951175. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2022.951175/full>. Acesso em: 1 jul. 2024.

DESSBESELL, L.; PALEOLOGOU, M.; LEITCH, M.; PULKKI, R.; XU, C.. Global lignin supply overview and kraft lignin potential as an alternative for petroleum-based polymers. **Renewable and sustainable energy reviews**, Oxford, v. 123, p. 1–11, 2020. DOI: 10.1016/j.rser.2020.109768. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.109768>. Acesso em: 28 out. 2022.

DIAS, L. M. S.. **Síntese e caracterização de adesivos de lignina kraft de eucalipto**. 2014. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2014. Disponível em: [http://repositorio.ufla.br/jspui/bitstream/1/2458/1/DISSERTAÇÃO_Síntese e caracterização de adesivos de lignina kraft de eucalipto.pdf](http://repositorio.ufla.br/jspui/bitstream/1/2458/1/DISSERTAÇÃO_Síntese_e_caracterização_de_adesivos_de_lignina_kraft_de_eucalipto.pdf). Acesso em: 12 fev. 2023.

EFFENDI, A.; GERHAUSER, H.; BRIDGWATER, A. V. Production of renewable phenolic resins by thermochemical conversion of biomass: a review. **Renewable and sustainable energy reviews**, Oxford, v. 12, n. 8, p. 2092–2116, 2008. DOI: 10.1016/j.rser.2007.04.008. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1364032107000652>. Acesso em: 11 fev. 2023.

EFHAMISISI, D.; THEVENON, M.; HAMZEH, Y.; KARIMI, A.; PIZZI, A.; POURTAHMASI, K.. Induced tannin adhesive by boric acid addition and its effect on bonding quality and biological performance of poplar plywood. **ACS sustainable chemistry & engineering**, Washington, v. 4, n. 5, p. 2734–2740, 2016. DOI: 10.1021/acssuschemeng.6b00230. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acssuschemeng.6b00230>. Acesso em: 12 fev. 2023.

FENG, M. W.; HE, G.; ANDERSEN, A. W. Effects of esters and resorcinol on phenolic resins as adhesives in medium-density fiberboard manufacturing. **Wood and fiber science**, Monona, v. 42, n. 2, p. 192–201, 2010. Disponível em: <https://wfs.swst.org/index.php/wfs/article/view/1867>. Acesso em: 30 jun. 2024.

FENG, S.; YUAN, Z.; LEITCH, M.; CHARLES, C.. Adhesives formulated from bark bio-crude and phenol formaldehyde resole. **Industrial crops & products**, Amsterdam, v. 76, p. 258–268, 2015. DOI: 10.1016/j.indcrop.2015.06.056. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.06.056>. Acesso em: 6 maio. 2024.

FERRO, F. S.; ICIMOTO, F. H.; SOUZA, A. M.; ALMEIDA, D. H.; CHRISTOFORO, A. L.; LAHR, F. A. R. Production of oriented strand board (osb) with schizolobium amazonicum and castor oil based polyurethane resin | produção de painéis de partículas orientadas (OSB) com Schizolobium amazonicum e resina poliuretana à base de óleo de mamona. **Scientia forestalis/forest sciences**, Piracicaba, v. 43, n. 106, p. 313–320, 2015. Disponível em: <https://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr106/cap07.pdf>. Acesso em: 22 fev. 2023.

FERRO, F. S.; ALMEIDA, I. H.; SOUZA, A. M.; ALMEIDA, D. H.; CHRISTOFORO, A. L.; LAHR, F. A. R.. Painel híbrido OSB/MDP de madeira Pinus taeda e resina poliuretana à base de óleo de mamona. **Ambiente construído**, Porto Alegre, v. 19, n. 3, p. 7–14, 2019. DOI: 10.1590/s1678-86212019000300320. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1678-86212019000300007&tlng=pt. Acesso em: 18 jul. 2021.

FRIHART, C. R. Wood Adhesives: past, present, and future. **Forest products journal**, Peachtree Corners, v. 65, n. 1–2, p. 4–8, 2015. DOI: 10.13073/65.1-2.4. Disponível em: <https://fpj.kglmeridian.com/view/journals/fpro/65/1-2/article-p4.xml>. Acesso em: 12 fev. 2023.

FRIHART, C. R.; HUNT, C. G. Wood adhesives: bond formation and performance. *In*: ESLAMIAN, S. ; ESLAMIAN, F. A. **Wood handbook: wood as an engineering material**. Boca Raton: CRC Press, 2022. DOI: 10.1201/9781003262640. Disponível em: <https://www.taylorfrancis.com/books/9781003262640>. Acesso em: 8 fev. 2023.

GAO, S. CHENG, Z., ZHOU, X., LIU, Y., CHEN, R., WANG, J., WANG, C., CHU, F., XU, F. ZHANG, D.. Unexpected role of amphiphilic lignosulfonate to improve the storage stability of urea formaldehyde resin and its application as adhesives. **International journal of biological macromolecules**, Amsterdam, v. 161, p. 755–762, 2020. a. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2020.06.135. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.06.135>. Acesso em: 12 fev. 2023.

GAO, S.; LIU, Y.; WANG, C.; CHU, F.; XU, F.; ZHANG, D.. Synthesis of lignin-based polyacid catalyst and its utilization to improve water resistance of urea–formaldehyde resins. **Polymers**, Basel, v. 12, n. 1, p. 175, 2020. b. DOI: 10.3390/polym12010175. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4360/12/1/175>. Acesso em: 12 fev. 2023.

GAO, Z.; GONG, M.. Strand-based engineered wood products in construction. *In*: **Engineered wood products for construction**. London: IntechOpen, 2022. v. dp. 1–20. DOI: 10.5772/intechopen.100324. Disponível em:

<https://www.intechopen.com/chapters/78901>. Acesso em: 11 fev. 2023.

GELLERSTEDT, G.. Softwood kraft lignin: raw material for the future. **Industrial crops and products**, Amsterdam, v. 77, p. 845–854, 2015. DOI: 10.1016/j.indcrop.2015.09.040. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.09.040>. Acesso em: 30 jan. 2022.

GELLERSTEDT, G.; EK, M.; HENRIKSSON, G.. **Wood chemistry and wood biotechnology**. Amsterdam: Walter de Gruyter, 2009. DOI: 10.1515/9783110213409. Disponível em: <https://www.degruyter.com/document/doi/10.1515/9783110213409/html>.

GHORBANI, M.; KONNERTH, J.; HERWIJNEN, H. W. G. V.; ZINOVYEV, G.; BUDJAV, E.; SILVA, A. R.; LIEBNER, F.. Commercial lignosulfonates from different sulfite processes as partial phenol replacement in PF resole resins. **Journal of applied polymer science**, Hoboken, v. 135, n. 8, p. 1–11, 2018. DOI: 10.1002/app.45893. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/app.45893>. Acesso em: 12 fev. 2023.

GHORBANI, M.; LIEBNER, F.; HERWIJNEN, H. W. G. V.; PFUNGEN, L.; KRAHOFER, M.; BUDJAV, E.; KONNERTH, J.. Lignin phenol formaldehyde resoles: the impact of lignin type on adhesive properties. **Bioresources**, Raleigh, v. 11, p. 6727–6741, 2016. Disponível em: <https://bioresources.cnr.ncsu.edu/resources/lignin-phenol-formaldehyde-resoles-the-impact-of-lignin-type-on-adhesive-properties/>. Acesso em: 23 out. 2022.

GORSKI, L.. **Painéis de partículas orientadas (OSB) da madeira de Pinus spp. e Eucalyptus benthamii**. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2014. Disponível em: https://www.udesc.br/arquivos/cav/id_cpmenu/1481/Disserta__o_Luciane_Gorski_15687487242635_1481.pdf. Acesso em: 11 fev. 2023.

GOSSELINK, R. J. A.. **Lignin as a renewable aromatic resource for the chemical industry**. 2011. Dissertação (Department of Fibre and Polymer Technology) - Wageningen University, Wageningen, 2011. Disponível em: <https://edpot.wur.nl/186285>. Acesso em: 14 ago. 2022.

HIZIROGLU, S. Oriented strand board as a building material. **Oklahoma State University**, Stillwater, 2017. Disponível em: <https://extension.okstate.edu/fact-sheets/oriented-strand-board-as-a-buildingmaterial.html>. Acesso em: 11 fev. 2023.

HOANG, A. T.; NIŽETIĆ, S.; ONG, H. C.; MOFIJUR, M.; AHMED, S. F.; ASHOK, B.; BUI, V. T. V.; CHAU, M. Q.. Insight into the recent advances of microwave pretreatment technologies for the conversion of lignocellulosic biomass into sustainable biofuel. **Chemosphere**, Oxford, v. 281, p. 1–22, 2021. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2021.130878. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0045653521013497>. Acesso em: 6 mar. 2024.

HU, J.; ZHANG, Q.; LEE, D.. Kraft lignin biorefinery: a perspective. **Bioresource**

technology, Amsterdam, v. 247, n. August 2017, p. 1181–1183, 2018. DOI: 10.1016/j.biortech.2017.08.169. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0960852417314839>. Acesso em: 30 jan. 2022.

HUANG, C.; PENG, Z.; LI, J.; LI, X.; JIANG, X.; DONG, Y.. Unlocking the role of lignin for preparing the lignin-based wood adhesive: A review. **Industrial crops and products**, Amsterdam, v. 187, n. 115388, p. 1–12, 2022. DOI: 10.1016/j.indcrop.2022.115388. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.115388>. Acesso em: 28 jun. 2024.

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

IWAKIRI, V. T.; TRIANOSKI, R.; RAZERA, D. L.; IWAKIRI, S.; ROSA, T. S. D. Production of structural particleboard of Mimosa Scabrella Benth with lignin phenol-formaldehyde resin. **Floresta e ambiente**, Seropedica, v. 26, n. 3, 2019. DOI: 10.1590/2179-8087.100617. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2179-80872019000300117&tlng=en. Acesso em: 8 fev. 2023.

JIN, Y.; CHENG, X.; ZHENG, Z.. Preparation and characterization of phenol – formaldehyde adhesives modified with enzymatic hydrolysis lignin. **Bioresource technology**, Amsterdam, v. 101, n. 6, p. 2046–2048, 2010. DOI: 10.1016/j.biortech.2009.09.085. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2009.09.085>. Acesso em: 25 out. 2022.

KALAMI, S.; AREFMANESH, M.; MASTER, E.; NEJAD, M.. Replacing 100% of phenol in phenolic adhesive formulations with lignin. **Journal of applied polymer science**, Hoboken, v. 134, n. 30, p. 1–9, 2017. DOI: 10.1002/app.45124. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/app.45124>. Acesso em: 12 fev. 2023.

KALAMI, S.; CHEN, N.; BORAZJANI, H.; NEJAD, M.. Comparative analysis of different lignins as phenol replacement in phenolic adhesive formulations. **Industrial crops and products**, Amsterdam, v. 125, n. May, p. 520–528, 2018. DOI: 10.1016/j.indcrop.2018.09.037. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.09.037>. Acesso em: 12 fev. 2023.

KAMARUDIN, N.; AWANG BIAK, D. R.; ZAINAL ABIDIN, Z.; CARDONA, F.; SAPUAN, S. M.. Rheological study of phenol formaldehyde resole resin synthesized for laminate application. **Materials**, Basel, v. 13, n. 11, p. 1–16, 2020. DOI: 10.3390/ma13112578. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1996-1944/13/11/2578>. Acesso em: 19 dez. 2022.

KANEMOTO, S. O.; KANEMOTO, J. E. N.; LAKSHMI, M. S.. Low ecological impact lignin-based flame retardants for polyurethane foams. *In: **Advanced Lignin Technologies***. Zoetermeer: InTech, 2024. DOI: <http://dx.doi.org/10.5772/57353>. Disponível em: <https://www.intechopen.com/books/advanced-biometric-technologies/liveness-detection-in-biometrics>. Acesso em: 7 jul. 2024.

KARTHÄUSER, J.; BIZIKS, V.; MAI, C.; MILITZ, H.. Lignin and lignin-derived

compounds for wood applications - a review. **Molecules**, Basel, v. 26, n. 9, p. 2533, 2021. DOI: 10.3390/molecules26092533. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1420-3049/26/9/2533>. Acesso em: 8 jul. 2024.

KHAN, M. A.; ASHRAF, S. M.; MALHOTRA, V. P.. Eucalyptus bark lignin substituted phenol formaldehyde adhesives: a study on optimization of reaction parameters and characterization. **Journal of applied polymer science**, Hoboken, v. 92, n. 6, p. 3514–3523, 2004. DOI: 10.1002/app.20374. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/app.20374>. Acesso em: 6 dez. 2022.

KOUISNI, L.; FANG, Y.; PALEOLOGOU, M.; AHVAZI, B.; HAWARI, J.; ZHANG, Y.; WANG, X. M.. Kraft lignin recovery and its use in the preparation of lignin-based phenol formaldehyde resins for plywood. **Cellulose chemistry and technology**, Bucharest, v. 45, n. 7–8, p. 515–520, 2011. Disponível em: [https://www.cellulosechemtechnol.ro/pdf/CCT45,7-8\(2011\)/p.515-520.pdf](https://www.cellulosechemtechnol.ro/pdf/CCT45,7-8(2011)/p.515-520.pdf). Acesso em: 8 fev. 2022.

LAURICHESSE, S.; AVÉROUS, L.. Chemical modification of lignins: towards biobased polymers. **Progress in polymer science**, London, v. 39, n. 7, p. 1266–1290, 2014. DOI: 10.1016/j.progpolymsci.2013.11.004. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0079670013001421>. Acesso em: 18 dez. 2021.

LESAR, B.; GORIŠEK, Ž.; HUMAR, M.. Sorption properties of wood impregnated with boron compounds, sodium chloride and glucose. **Drying technology**, New York, v. 27, n. 1, p. 94–102, 2009. DOI: 10.1080/07373930802565947. Disponível em: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/07373930802565947>. Acesso em: 1 jul. 2024.

LI, C.; ZHANG, J.; YI, Z.; YANG, H.; ZHAO, B.; ZHANG, W.; LI, J.. Preparation and characterization of a novel environmentally friendly phenol – formaldehyde adhesive modified with tannin and urea. **International journal of adhesion and adhesives**, London, v. 66, p. 26–32, 2016. DOI: 10.1016/j.ijadhadh.2015.12.004. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2015.12.004>. Acesso em: 6 maio. 2024.

LI, J.; ZHANG, J.; ZHANG, S.; GAO, Q.; LI, J.; ZHANG, W.. Fast curing bio-based phenolic resins via lignin demethylated under mild reaction condition. **Polymers**, Basel, v. 9, n. 428, p. 1–17, 2017. DOI: 10.3390/polym9090428. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4360/9/9/428>. Acesso em: 4 dez. 2022.

LI, T.; TAKKELLAPATI, S.. The current and emerging sources of technical lignins and their applications. **Biofuels, bioproducts and biorefining**, Oxford, v. 12, n. 5, p. 756–787, 2018. DOI: 10.1002/bbb.1913. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/bbb.1913>. Acesso em: 20 jun. 2024.

LIU, Q.; LUO, L.; ZHENG, L.. Lignins: biosynthesis and biological functions in plants. **International journal of molecular sciences**, Basel, v. 19, n. 335, p. 1–16, 2018. DOI: 10.3390/ijms19020335. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1422-0067/19/2/335>. Acesso em: 6 maio. 2024.

LOPES JUNIOR, W. E.; BARBIRATO, G. H. A.; PAVESI, M.; SORIANO, J.; FIORELLI, J.. Avaliação do teor ótimo de resinas orgânicas para produção de painéis OSB de madeira Balsa (*Ochroma pyramidale*) residual. **Scientia forestalis**, Piracicaba, v. 49, n. 129, p. 1–11, 2021. DOI: 10.18671/scifor.v49n129.22. Disponível em: <https://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr129/2318-1222-scifor-49-129-e3442.pdf>. Acesso em: 12 fev. 2023.

LOURENÇO, A. ; PEREIRA, H.; PEREIRA, H.. Compositional variability of lignin in biomass compositional variability of lignin in biomass. *In*: POLETTTO, M. (ed.). **Lignin: Trends and applications**. London: intechOpen, 2018. DOI: 10.5772/intechopen.71208. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10400.5/27927>. Acesso em: 6 maio 2024.

LUBIS, M. A. R.; LABIB, A.; SUDARMANTO; AKBAR, F.; NURYAWAN, A.; ANTOV, P.; KRISTAK, L.; PAPADOPOULOS, A. N.; PIZZI, A.. Influence of lignin content and pressing time on plywood properties bonded with cold-setting adhesive based on poly (vinyl alcohol), lignin, and hexamine. **Polymers**, Basel, v. 14, n. 2111, p. 1–19, 2022. DOI: 10.3390/polym14102111. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4360/14/10/2111>. Acesso em: 8 jul. 2024.

LUO, B.; JIA, Z.; JIANG, H.; WANG, S.; MIN, D.. Improving the reactivity of sugarcane bagasse kraft lignin by a combination of fractionation and phenolation for phenol–formaldehyde adhesive applications. **Polymers**, Basel, v. 12, n. 8, p. 1825, 2020. DOI: 10.3390/polym12081825. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4360/12/8/1825>. Acesso em: 12 fev. 2023.

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

MELRO, E.; FILIPE, A.; SOUSA, D.; MEDRONHO, B.; ROMANO, A.. Revisiting lignin: a tour through its structural features, characterization methods and applications. **New journal of chemistry**, Cambridge, v. 45, n. 16, p. 6986–7013, 2021. DOI: 10.1039/D0NJ06234K. Disponível em: <https://xlink.rsc.org/?DOI=D0NJ06234K>. Acesso em: 30 jan. 2022.

MENDES, L. M.; ALBUQUERQUE, C. E. C.; IWAKIRI, S.. A indústria brasileira de painéis de madeira. **Revista da madeira**, [s.l.], 2003. Disponível em: https://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=331. Acesso em: 11 fev. 2023.

MOHAMMED, J.; KHAN, T. A.; NASIR, M.; ASIM, M. **Eco-friendly adhesives for wood and natural fiber composites: characterization, fabrication and applications**. Weinheim: Elsevier, 2021. DOI: 10.1007/978-981-33-4749-6. Disponível em: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-981-33-4749-6>. Acesso em: 6 maio 2024.

MOLINA, J. C.; CALIL JUNIOR, C.. Sistema construtivo em “wood frame” para casas de madeira. **Semina: ciências exatas e tecnológicas**, Londrina, v. 31, n. 2, 2010. DOI: 10.5433/1679-0375.2010v31n2p143. Disponível em: <https://ojs.uel.br/revistas/uel/index.php/semexatas/article/download/4017/6906/2869>. Acesso em: 11 fev. 2023.

MOSLEMI, A. A. **Particleboard**: technology. London: Southern Illinois University Press, 1974. v.2.

PANDEY, M. P.; KIM, C. S. Lignin depolymerization and conversion: a review of thermochemical methods. **Chemical engineering and technology**, Weinheim, v. 34, n. 1, p. 29–41, 2011. DOI: 10.1002/ceat.201000270. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/ceat.201000270>. Acesso em: 14 jun. 2024.

PAPADOPOULOU, E.; CHRISAFIS, K. Thermal study of phenol – formaldehyde resin modified with cashew nut shell liquid. **Thermochimica acta**, Amsterdam, v. 512, p. 105–109, 2011. DOI: 10.1016/j.tca.2010.09.008. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tca.2010.09.008>. Acesso em: 25 out. 2022.

PILATO, L.. Phenolic resins: 100 Years and still going strong. **Reactive and functional polymers**, Amsterdam, v. 73, n. 2, p. 270–277, 2013. DOI: 10.1016/j.reactfunctpolym.2012.07.008. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.reactfunctpolym.2012.07.008>. Acesso em: 25 out. 2022.

PIZZI, A.; MITTAL, K. L. **Wood adhesives**. London: CRC Press, 2011. DOI: 10.1201/b12180. Disponível em: <https://www.taylorfrancis.com/books/9789004190924>. Acesso em: 12 fev. 2023.

POZZER, T.; GAUSS, C.; BARBIRATO, G. A.; FIORELLI, J. H.. Trapezoidal core sandwich panel produced with sugarcane bagasse. **Construction and building materials**, Amsterdam, v. 264, p. 120718, 2020. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2020.120718. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120718>. Acesso em: 11 fev. 2023.

RAGAUSKAS, A. J.; BECKHAM, G. T.; BIDDY, M. J.; CHANDRA, R.; CHEN, F.; DAVIS, M. F.; DAVISON, B. H.; DIXON, R. A.; GILNA, P.; KELLER, M.; LANGAN, P.; NASKAR, A. K.; SADDLER, J. N.; TSCHAPLINSKI, T. J.; TUSKAN, G. A.; WYMAN, C. E.. Lignin valorization: improving lignin processing in the biorefinery. **Science**, Washington, v. 344, p. 709–720, 2014. DOI: 10.1126/science.1246843. Disponível em: <https://www.science.org/doi/10.1126/science.1246843>. Acesso em: 14 jun. 2024.

RESEARCH AND MARKETS. **Global wood adhesives market size, share and trends analysis report by product (urea-formaldehyde, soy-based), application, substrate, region, and segment forecasts, 2024-2030**. [s.l.]: Research and markets, 2024a. Disponível em: <https://www.researchandmarkets.com/reports/4312526/global-wood-adhesivesmarket-size-share-and>. Acesso em: 8 jul. 2024.

RESEARCH AND MARKETS. **Global wood-based panel market by product (hardboard, high density fiberboard, medium density fiberboard), application (construction, furniture, packaging) - forecast 2024-2030**. [s.l.]: Research and markets, 2024b. Disponível em: <https://www.researchandmarkets.com/report/wood-based-panel>. Acesso em: 8 jul. 2024.

RESENDE, E. B.; FARIA, L. C. S.; FREITAS-FERREIRA, E.; AVERSI-FERREIRA, Tales Alexandre. Uso de wood frame na construção civil no Brasil. **Research, society and development**, Itabira, v. 10, n. 6, p. e31210615818, 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i6.15818. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/15818>. Acesso em: 30 jan. 2022.

ROWELL, R. M. **Handbook of wood chemistry and wood composites**. Boca Raton: CRC Press, 2012. DOI: 10.1201/b12487. Disponível em: <https://www.taylorfrancis.com/books/mono/10.1201/b12487/handbook-wood-chemistry-wood-composites-roger-rowell>. Acesso em: 10 ago. 2021.

SANTOS, F. A.; QUEIRÓZ, J. H.; COLODETTE, J. L.; FERNANDES, S. A.; GUIMARÃES, V. M.; REZENDE, S. T. Potencial da palha de cana-de-açúcar para produção de etanol. **Química nova**, São Paulo, v. 35, n. 5, p. 1004–1010, 2012. DOI: 10.1590/S0100-40422012000500025. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422012000500025&lng=pt&nrm=iso&tlng=en. Acesso em: 7 fev. 2023.

SANTOS, L. C.. **Síntese e caracterização de adesivos lignina-fenolformaldeído para madeira e derivados**. 2016. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2016. Disponível em: <https://locus.ufv.br/items/b77be0ea-74ed-4433-a109-a7fdbebbb6fd3>. Acesso em: 28 out. 2022.

SILVA, J. V. F.; CAMPOS, C. I.; FERREIRA, B. S.; SILVA, M. F. F.. Production and characterization of heat treated OSB made of Pinus taeda. **Acta scientiarum. technology**, Maringa, v. 41, n. 1, p. 39505, 2019. DOI: 10.4025/actascitechnol.v41i1.39505. Disponível em: <http://periodicos.uem.br/ojs/index.php/ActaSciTechnol/article/view/39505>. Acesso em: 22 fev. 2023.

SOLIHAT, N. N.; HIDAYAT, A. F.; TAIB, M. N. A. M.; HUSSIN, M. H.; LEE, S. H.; GHANI, M. A. A.; EDRUS, S. S. O. A.; VAHABI, H.; FATRIASARI, W.. Recent developments in flame-retardant lignin-based biocomposite: manufacturing, and characterization. **Journal of polymers and the environment**, New York, v. 30, n. 11, p. 4517–4537, 2022. DOI: 10.1007/s10924-022-02494-2. Disponível em: <https://link.springer.com/10.1007/s10924-022-02494-2>. Acesso em: 7 jul. 2024.

SOLT, P.; RÖSSIGER, B.; KONNERTH, J.; VAN HERWIJNEN, H.. Lignin phenol formaldehyde resoles using base-catalysed depolymerized kraft lignin. **Polymers**, Basel, v. 10, n. 1162, p. 1–11, 2018. DOI: 10.3390/polym10101162. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4360/10/10/1162>. Acesso em: 19 dez. 2022.

SOTSEK, N. C.; SANTOS, A. P. L.. Panorama do sistema construtivo light wood frame no Brasil. **Ambiente construído**, São Paulo, v. 18, n. 3, p. 309–326, 2018. DOI: 10.1590/s1678-86212018000300283. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1678-86212018000300309&tlng=pt. Acesso em: 11 fev. 2023.

SUGAHARA, E.; CASAGRANDE, B.; ARROYO, F.; ARAUJO, V.; SANTOS, H.;

FAUSTINO, E.; CHRISTOFORO, A.; CAMPOS, C.. Comparative study of plywood boards produced with castor oil-based polyurethane and phenol-formaldehyde using *Pinus taeda* l. veneers treated with chromated copper arsenate. **Forests**, Basel, v.13, n. 1144, p. 1–16, 2022. a. DOI: 10.3390/f13071144. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1999-4907/13/7/1144>. Acesso em: 23 jul. 2023.

SUGAHARA, E.; DIAS, A.; ARROYO, F.; CHRISTOFORO, A.; COSTA, M. L.; BOTELHO, E. C.; DIAS, A. M. P. G.; CAMPOS, C.. Study of the influence of heat treatment on OSB panels produced with Eucalyptus wood in different layer compositions. **Forests**, Basel, v. 13, n. 12, p. 2083, 2022. b. DOI: 10.3390/f13122083. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1999-4907/13/12/2083>. Acesso em: 2 jul. 2024.

TEJADO, A.; PEÑA, C.; LABIDI, J.; ECHEVERRIA, J. M.; MONDRAGON, I. Physico-chemical characterization of lignins from different sources for use in phenol–formaldehyde resin synthesis. **Bioresource technology**, Amsterdam, v. 98, n. 8, p. 1655–1663, 2007. DOI: 10.1016/j.biortech.2006.05.042. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0960852406002513>. Acesso em: 14 jun. 2024.

THOEMEN, H.; IRLE, M.; SERNEK, M.. **Wood-based panels, an introduction for specialists**. London: Brunel University Press, 2010. Disponível em: <https://www.cost.eu/publication/wood-based-panels-an-introduction-for-specialists/>. Acesso em: 8 fev. 2023.

THÉBAULT, M.; KUTUZOVA, L.; JURY, S.; EICHER, I.; ZIKULNIG-RUSCH; E.-M.; KANDELBAUER, R.. Effect of phenolation, lignin-type and degree of substitution on the properties of lignin-modified phenol-formaldehyde impregnation resins: molecular weight distribution, wetting behavior, rheological properties and thermal curing profiles. **Journal of renewable materials**, Henderson, v. 8, n. 6, p. 603–630, 2020. DOI: 10.32604/jrm.2020.09616. Disponível em: <http://www.techscience.com/jrm/v8n6/39010>. Acesso em: 13 jul. 2024.

ÜLKER, O. Wood adhesives and bonding theory. *In*: RUDAWSKA, A. (ed.) **Adhesives: Applications and properties**. Zoetermeer: InTech, 2016. DOI: 10.5772/65759. Disponível em: <http://www.intechopen.com/books/adhesives-applications-and-properties/woodadhesives-and-bonding-theory>. Acesso em: 12 fev. 2023.

USTAOMER, D.; USTA, M.. The effects of boron compounds and different melamine contents in MUF resins on some properties of MDF panels. **Bioresources**, Raleigh, v. 7, n. 1, p. 437–446, 2011. DOI: 10.15376/biores.7.1.437-446. Disponível em: <https://bioresources.cnr.ncsu.edu/resources/the-effects-of-boron-compounds-and-different-melamine-contents-in-muf-resins-on-some-properties-of-mdf-panels/>. Acesso em: 6 jul. 2024.

WANG, Y.; MENG, X.; PU, Y.; RAGAUSKAS, J. Recent advances in the application of functionalized lignin in value-added polymeric materials. **Polymers**, Basel, v. 12, n. 2277, p.1–24, 2020. DOI: 10.3390/polym12102277. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4360/12/10/2277>. Acesso em: 7 fev. 2023.

WHITE, R. H.; WINANDY, J. E. Fire performance of oriented strandboard. *In*: CONFERENCE ON RECENT ADVANCES IN FLAME RETARDANCY OF POLYMERIC MATERIALS, 17, 2006, Norwalk. **Proceedings** [...], Norwalk, 2006. Disponível em: <https://research.fs.usda.gov/treesearch/27017>. Acesso em: 28 jun. 2024.

WINDEISEN, E.; WEGENER, G. Lignin as building unit for polymers. **Polymer science**: a comprehensive reference, Amsterdam, v. 10, p. 255–265, 2012. DOI: 10.1016/B978-0-444-53349-4.00263-6. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780444533494002636>. Acesso em: 19 dez. 2021.

WU, Z.; DENG, X.; LUO, Z.; ZHANG, B.; XI, X.; YU, L.; LI, L.. Improvements in fire resistance, decay resistance, anti-mold property and bonding performance in plywood treated with manganese chloride, phosphoric acid, boric acid and ammonium chloride. **Coatings**, Basel, v. 11, n. 4, p. 399, 2021. DOI: 10.3390/coatings11040399. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2079-6412/11/4/399>. Acesso em: 18 out. 2021.

XU, Y.; GUO, L.; ZHANG, H.; ZHAI, H.; REN, H.. Research status, industrial application demand and prospects of phenolic resin. **RSC advances**, Cambridge, v. 9, n. 50, p. 28924–28935, 2019. DOI: 10.1039/C9RA06487G. Disponível em: <https://xlink.rsc.org/?DOI=C9RA06487G>. Acesso em: 23 out. 2022.

YANG, S.; WU, J.; ZHANG, Y.; YUAN, T.; SUN, R.. Preparation of lignin-phenol-formaldehyde resin adhesive based on active sites of technical lignin. **Journal of biobased materials and bioenergy**, Valencia, v. 9, n. 2, p. 266–272, 2015. DOI: 10.1166/jbmb.2015.1514. Disponível em: <http://www.ingentaconnect.com/content/asp/jbmb/2015/00000009/00000002/art00021>. Acesso em: 12 fev. 2023.

YILDIRIM, M.; CANDAN, Z.. Performance properties of particleboard panels modified with nanocellulose/boric acid. **Bioresources**, Raleigh, v. 16, n. 1, p. 1875–1890, 2021. Disponível em: <https://bioresources.cnr.ncsu.edu/resources/performance-properties-of-particleboard-panels-modified-with-nanocellulose-boric-acid/>. Acesso em: 2 jul. 2024.

YOU, T.; MAO, J.; YUAN, T.; WEN, J.; XU, F.. Structural elucidation of the lignins from stems and foliage of *Arundo donax* Linn. **Journal of agricultural and food chemistry**, Washington, v. 61, n. 22, p. 5361–5370, 2013. DOI: 10.1021/jf401277v. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/jf401277v>. Acesso em: 6 maio. 2024.

YOUNESI-KORDKHEILI, H.; PIZZI, A.. A comparison among lignin modification methods on the properties of lignin–phenol–formaldehyde resin as wood adhesive. **Polymers**, Basel, v. 13, n. 3502, p. 1–11, 2021. DOI: 10.3390/polym13203502. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4360/13/20/3502>. Acesso em: 25 out. 2022.

YOUNESI-KORDKHEILI, H.; PIZZI, A.; NIYATZADE, G.. Reduction of formaldehyde emission from particleboard by phenolated kraft lignin. **Journal of adhesion**, New York, v. 92, n. 6, p. 485–497, 2016. DOI: 10.1080/00218464.2015.1046596. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1080/00218464.2015.1046596>. Acesso em: 28 out. 2022.

YU, O.; KIM, K. H.. Lignin to materials: a focused review on recent novel lignin application. **Applied sciences**, Basel, v. 10, n. 4626, p. 1–16, 2020. DOI: 10.3390/app10134626. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2076-3417/10/13/4626>. Acesso em: 8 jul. 2024.

YUE, K.; CHEN, Z.; LU, W.; LIU, W.; LI, M.; SHAO, Y.; TANG, L.; WAN, L.. Evaluating the mechanical and fire-resistance properties of modified fast-growing chinese fir timber with boric-phenol-formaldehyde resin. **Construction and building materials**, Amsterdam, v. 154, p. 956–962, 2017. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2017.08.035. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.08.035>. Acesso em: 22 fev. 2023.

ZENERATO, T. S.; MARTINS, J. F. A.; BERTOLI, S. R.; GOMES, C. E. M.; FONTANINI, P. S. P.. Análise acústica de fachadas de light steel frame e placas cimentícias. **Matéria**, Rio de Janeiro, v. 24, n. 2, p. 1–11, 2019. DOI: 10.1590/s1517-707620190002.0685. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1517-70762019000200330&tlng=pt. Acesso em: 11 fev. 2023.

ZHANG, W.; MA, Y.; WANG, C.; LI, S.; ZHANG, M.; CHU, F.. Preparation and properties of lignin-phenol-formaldehyde resins based on different biorefinery residues of agricultural biomass. **Industrial crops and products**, Amsterdam, v. 43, n. 1, p. 326–333, 2013. DOI: 10.1016/j.indcrop.2012.07.037. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.07.037>. Acesso em: 23 out. 2022.

ZHAO, L.; LI, W.; CHENG, Y.; ZHAO, J.; TIAN, D.; HUANG, M.; SHEN, F.. Preparation and evaluation of lignin-phenol-formaldehyde resin as wood adhesive using unmodified lignin. **Industrial crops and products**, Amsterdam, v. 211, n. 118168, p. 1–8, 2024. DOI: 10.1016/j.indcrop.2024.118168. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0926669024001481>. Acesso em: 6 maio. 2024.

ZHAO, S.; CHEN, X.; FAN, Z.; NI, R.; LIU, X.; TIAN, Y.; ZHOU, B.. Using lignin degraded to synthesize phenolic foams with excellent flame retardant property. **Colloids and surfaces A: physicochemical and engineering aspects**, Amsterdam, v. 666, n. 131373, p. 1–9, 2023. DOI: 10.1016/j.colsurfa.2023.131373. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0927775723004570>. Acesso em: 7 jul. 2024.