MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO TOCANTINS
***CAMPUS* GURUPI**
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

ANDRÉ ARAÚJO DA COSTA SÁ

DESENVOLVIMENTO DE CHAPAS DE AGLOMERADO A PARTIR DO REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DE SERRARIAS

GURUPI - TO
2022

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO TOCANTINS
***CAMPUS* GURUPI**
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

ANDRÉ ARAÚJO DA COSTA SÁ

DESENVOLVIMENTO DE CHAPAS DE AGLOMERADO A PARTIR DO REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DE SERRARIAS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do curso de Bacharelado em Engenharia Civil da Unidade Campus Gurupi, do Instituto federal do Tocantins, como exigência à obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.
Orientador(a): Danielma Silva Maia
Coorientador(a): Rodrigo Araújo Fortes

GURUPI – TO
2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Bibliotecas do Instituto Federal do Tocantins

S111d Sá, André Araújo da Costa
Desenvolvimento de chapas de aglomerado a partir do reaproveitamento de resíduos de serrarias / André Araújo da Costa Sá. – Gurupi, TO, 2022.
35 p. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins, Campus Gurupi, Gurupi, TO, 2022.

Orientadora: Ma. Danielma Silva Maia
Coorientador: Me. Rodrigo Araújo Fortes

1. Prensagem a frio. 2. Painel. 3. Sustentabilidade. I. Maia, Danielma Silva. II. Fortes, Rodrigo Araújo. III. Título.

CDD 624

A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio, deste documento é autorizada para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.
Elaborado pelo sistema de geração automatica de ficha catalográfica do IFTO com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

ANDRÉ ARAÚJO DA COSTA SÁ

DESENVOLVIMENTO DE CHAPAS DE AGLOMERADO A PARTIR DO REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DE SERRARIAS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso de Bacharelado em Engenharia Civil da Unidade Campus Gurupi, do Instituto Federal do Tocantins, como exigência à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador(a): Danielma Silva Maia
Coorientador(a): Rodrigo Araújo Fortes

Aprovado em: 13/12/2022

BANCA EXAMINADORA

Danielma S. Maia

Professor e Mestre Danielma da Silva Maia
Orientador
Instituto Federal do Tocantins - Campus Gurupi

Rodrigo Araújo Fortes

Professor Mestre Rodrigo Araújo Fortes
Coorientador
Instituto Federal do Tocantins - Campus Palmas

Professora e Mestre Camila Ribeiro Rodrigues
Banca Examinadora
Universidade de Gurupi - Unirg

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a minha mãe, meu pai e o meu irmão. Por terem sempre me dado todo o suporte e incentivo necessário para concluir essa etapa.

Agradeço à minha orientadora Danielma Maia, pelas contribuições relevantes e apoio constante durante a realização da pesquisa. Seu incentivo, disponibilidade e comprometimento foram essenciais durante todo o processo.

Ao meu co-orientador, Rodrigo Fortes, pela assistência, paciência e ensinamentos não limitados apenas a esse período, mas durante todo o curso.

Ao técnico do laboratório de construção civil do IFTO - Campus Gurupi e colega de curso Lucas Dal Molin e ao professor do IFTO - Campus Palmas Adriano dos Guimarães de Carvalho, pela ajuda nas realizações da parte prática da pesquisa.

Pela contribuição de todos os professores em cada área e pelo auxílio cedido para a realização da pesquisa, agradeço ao colegiado de Engenharia Civil.

E por fim, a todos os meus amigos, pela ajuda, amizade e suporte nessa trajetória dentro e fora do âmbito acadêmico. Em especial, meus amigos Queila Barbosa, Matheus Barros e Letícia Martins pela companhia e ajuda no laboratório.

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo o desenvolvimento de painéis aglomerados com resíduos de serrarias coletados em Gurupi-TO com diferentes teores de adesivo, e foram analisados quanto às propriedades físicas e mecânicas do painel em relação a NBR 14.810 - 2 (2018) para painéis não estruturais para uso interno em condições secas (Tipo P2). A metodologia utilizada para confecção das placas foi adaptada para as condições do laboratório de construção civil do instituto federal de educação, ciências e tecnologia do Tocantins (IFTO) - Campus Gurupi. Sendo feito um colchão de partículas com dimensões de 16x16cm e prensado a frio por meio de prensa hidráulica com uma força de 9000 kgf, depois sendo submetido à estufa para acelerar a cura do adesivo. Dentre os tratamentos adotados no estudo a fim de comparações foi elaborado chapas com teores de 15% e 24% de adesivos. Concluiu-se que dentre os corpos de provas produzidos os com teor de resina de 24% se sobressaíram melhor nos testes físicos que o teor de 15%. No entanto, ambos tratamentos não obtiveram resistência mecânica dentre os parâmetros admissíveis pela normativa brasileira.

Palavra chaves: Prensagem a frio, Painel, Sustentabilidade**.**

RESUMO EM LÍNGUA ESTRANGEIRA

The objective of this work was the development of particleboards with waste from sawmills collected in Gurupi-TO with different adhesive contents, and they were analyzed regarding the physical and mechanical properties of the panel in relation to NBR 14.810 - 2 (2018) for panels not structural for indoor use in dry conditions (Type P2). The methodology used to make the plates was adapted to the conditions of the civil construction laboratory of the Federal Institute of Education, Science and Technology of Tocantins (IFTO) - Campus Gurupi. Being made a mattress of particles with dimensions of 16x16cm and cold pressed by means of a hydraulic press with a force of 9000 kgf, after being submitted to the oven to accelerate the curing of the adhesive. Among the treatments adopted in the study, in order to make comparisons, plates with 15% and 24% of adhesives were prepared. It was concluded that among the specimens produced, those with a resin content of 24% stood out better in the physical tests than those with a content of 15%. However, both treatments did not obtain mechanical resistance among the parameters allowed by the Brazilian regulations.

Keywords: Cold pressing, Panel, Sustainability.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Exemplo do sistema plataforma e madeira……13

Figura 2 - Sequência de ações do procedimento metodológico……..17

Figura 3 - Resíduos na peneira vibratória……18

Figura 4 - Resíduos na estufa……...19

Figura 5 - Pesagem dos resíduos……..20

Figura 6 - Pesagem dos componentes do adesivo em função do percentual de resina…….21

Figura 7 - Forma para confecção dos painéis……...22

Figura 8 - Prensagem……23

Figura 9 - Pós-prensagem, forma adaptada com sargento anterior a ida em estufa……..24

Figura 10 - Painel posterior a estufa e desmoldado……..24

Figura 11 - Cesta para auxiliar no ensaio de inchamento e absorção após 24h……26

Figura 12 - Realização dos ensaios mecânicos…….28

Figura 13 - Corpos de prova para realização dos ensaios físicos……..30

Figura 14 - Corpos de prova para a realização dos ensaios mecânicos……33

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Insumos utilizados para a confecção dos painéis…….22

Tabela 2 - Valores médios obtidos quando submetidos os corpos de provas a ensaios físicos, e uma comparação quanto a estudos correlacionados…….30

Tabela 3 - Valores médios obtidos quando submetidos os corpos de provas ao ensaio de resistência à flexão estática e módulo de elasticidade, e uma comparação quanto a estudos correlacionados……...……..33

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 - Cálculo para o Teor de Umidade……25

Equação 2 - Cálculo da densidade……..25

Equação 3 - Cálculo do Inchamento em espessura…….27

Equação 4 - Cálculo da Absorção de Água……27

Equação 5 - Cálculo da resistência à flexão estática - MOR……..28

Equação 6 - Cálculo da Resistência à flexão estática - MOE…….28

SUMÁRIO

1. **INTRODUÇÃO** **10**

2. OBJETIVOS **12**

2.1 Objetivo geral **12**

2.2 Objetivos específicos **12**

3. **REVISÃO DE LITERATURA** **13**

3.1 Caracterização e generalidades **13**

3.2 Painéis de aglomerados **14**

3.2.1 Processo de Fabricação das Placas de Aglomerado 14

3.2.2 Adesivo **15**

4. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS **16**

4.1 Fabricação **17**

4.2 Metodologia para os ensaios físicos **23**

4.2.1 Determinação da Umidade 23

4.2.2 Determinação da Densidade 23

4.2.3 Determinação do Inchamento e Absorção de Água após 24h **24**

3.3 Metodologia para os ensaios mecânicos **25**

3.3.1 Determinação da Resistência à flexão Estática no Módulo de Elasticidade e Módulo de Ruptura **25**

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO **28**

4.1 Propriedade físicas dos painéis **28**

4.1.1 Teor de umidade 28

4.1.2 Densidade dos painéis 29

4.1.3 Inchamento e absorção de água após 24h **30**

4.2 Propriedade mecânicas dos painéis **31**

4.2.1 Resistência à flexão estática e módulo de elasticidade **32**

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS **33**

REFERÊNCIAS **34**

1. INTRODUÇÃO

A construção civil é um dos setores de maior importância na economia nacional, é um mercado com forte demanda de produtividade e qualidade. No entanto, há uma certa dificuldade na introdução de novas tecnologias no processo construtivo brasileiro, principalmente quando se trata de alvenaria comum, no qual seu sistema é considerado altamente artesanal e desatualizado. Na contemporaneidade já há diversos estudos de inovações e métodos construtivos que seguem sendo utilizados em uma pequena proporção quando comparado ao método convencional, como exemplo o *light wood frame*, que é um sistema construtivo com estruturas leves de madeira.

O uso da madeira na construção civil é precedente à descoberta do fogo, pois já era utilizada como vigas e pilares nos abrigos dos homens pré-históricos. Segue sendo utilizada até a contemporaneidade com os mais diversificados usos, tendo em países norte-americanos e europeus o seu uso mais intensificado diante a grande utilização de métodos construtivos industrializados que viabiliza o uso do material pelo seu desempenho além de quesitos ambientais de sustentabilidade (DE PAULA e ROZENWAJM, 2008 *apud* LACOMBE, 2015).

Os painéis reconstituídos de madeiras se classificam em HDF - chapas de alta densidade, Hardboard - chapas de fibras duras, MDF - painéis de fibra média densidade e o MDP ou aglomerado - painéis de partículas de média densidade (Associação Brasileira de Indústrias de Painéis de Madeira - ABIPA *apud* Lacombe, 2015). Conforme Iwakiri *et. al.* (2005), o painel compensado começou a ser produzido no Brasil em 1966 em Curitiba - PR, sendo um produto novo no mercado, teve seu uso questionado, em relação às suas limitações técnicas, o que no decorrer dos anos possibilitou a incorporação de novas tecnologias na fabricação, tornando uma das principais matérias-primas no setor moveleiro brasileiro.

Para a produção dos painéis aglomerados de modo geral qualquer espécie arbórea pode ser utilizada na fabricação, sendo as matérias primas mais utilizadas proveniente de reflorestamento de Pinus spp e de Eucalyptus (BALDIN *et al.*, 2016). No entanto é possível também a utilização de uma mistura de outras madeiras. O processo de elaboração consiste basicamente na aglutinação das partículas de madeira secas e geralmente em formato retangular com uma resina sintética formando um colchão homogêneo ou em até 3 camadas e consolidado através de prensagem.

Corroborando com Dacosta *et al.* (2005) compreende-se que o rendimento da matéria-prima nas serrarias tem- se caracterizado por ser baixo, o que acaba produzindo

volumes significativos de resíduos de madeira. Partindo desta premissa e da possibilidade de confecção dos painéis aglomerados de serem produzidos utilizando diferentes misturas de espécies associadas ao Pinus.

O presente estudo propõe a produção de chapas aglomeradas com acabamento natural utilizando partículas em conjunto com outros resíduos de serrarias coletadas em uma madeireira de Gurupi -TO, visando o reaproveitamento dos resíduos e a análise do desempenho físico-mecânico dos painéis.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Desenvolver chapas aglomeradas por meio do reaproveitamento de resíduos de serrarias e avaliar o desempenho físico-mecânico através de ensaios laboratoriais.

2.2 Objetivos específicos

- Fabricar as chapas de aglomerado com teores de 15% e 24% de adesivo, adaptando a metodologia para as condições cabíveis do laboratório de construção civil do Instituto Federal de educação, ciência e tecnologia do Tocantins (IFTO) - Campus Gurupi.
- Determinar as características físicas por meio de ensaios de densidade, umidade, absorção de água e inchamento. E as características mecânicas por meio de ensaio de Determinação da Resistência à flexão Estática no Módulo de Elasticidade e Módulo de Ruptura.
- Realizar uma análise comparativa dos resultados obtidos de outros estudos e com as exigências solicitadas pela normativa brasileira NBR 14.810 - 2 (2018).

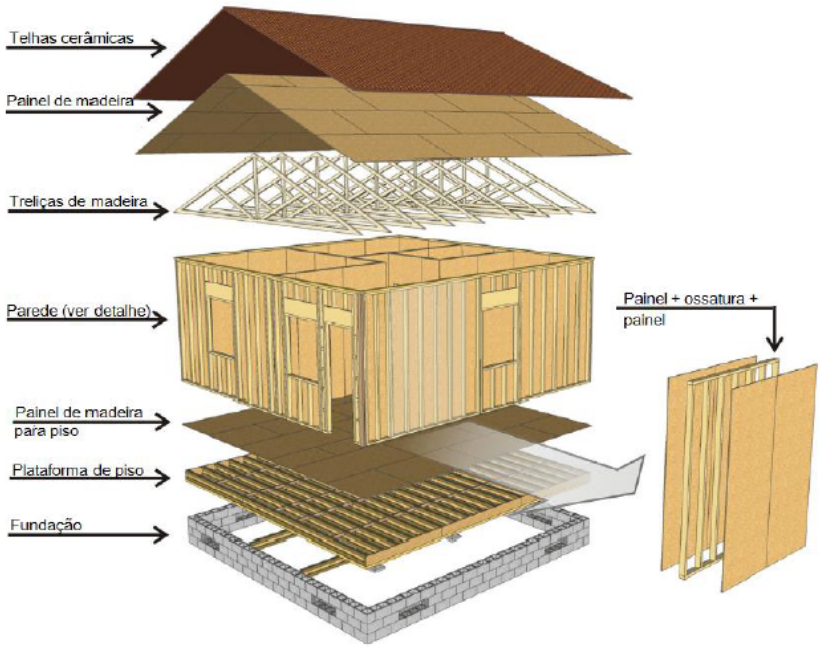
3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Caracterização e generalidades

O mundo já tem constatado a necessidade de implantação do desenvolvimento sustentável diante do indício da escassez de recursos naturais. Há cada vez mais a necessidade de enquadrar e adotar construções sustentáveis, mais racionais, econômicas e principalmente produzidas por materiais que causem menos impacto ambiental. O que não está de total acordo com o atual momento da construção civil no Brasil, diante que o método construtivo predominante é caracterizado como artesanal, de baixa produtividade e grande gerador de resíduos (CASTRO,2005).

Corroborando com Espíndola (2010) onde em seu trabalho ressalta que o Brasil possui um grande potencial para trabalhar com madeira diante das crescentes áreas de floresta plantada, no entanto, esse potencial não se reflete na construção civil, sendo grande parte da indústria da construção em madeira inadequadas quanto à realidade brasileira possibilitando a associação quanto ao uso do material a construções com baixa qualidade. No estudo o autor ainda apresenta a possibilidade de utilização dos painéis de madeira em diversificadas áreas de uma edificação, tanto em pisos, paredes e em forro, altamente difundido em países da América do Norte e Europa.

Figura 1 - Exemplo do Sistema Plataforma e Madeira



Fonte: (lacombe, 2015)

3.2 Painéis de aglomerados

Brasil (2002) define o painel aglomerado como uma chapa confeccionada a partir de pequenos pedaços de madeira e unidos pelo uso de aglutinante combinado a um ou mais agentes entre calor, pressão, umidade e catalisador. Segundo Cabral (2005) os painéis aglomerados são originários da Alemanha da década de 1940, onde foram utilizados como meio de reutilização dos resíduos de madeira dada a dificuldade de encontrar matéria-prima diante a exclusão do país perante a Segunda Guerra Mundial.

As chapas da madeira aglomerado possuem utilizações diversas, dentre as quais é possível destacar o uso na construção civil, mobiliários e divisórios (Iwakiri 2001). Conforme Mattos *et al.* (2008) as chapas de aglomerado começaram a ser fabricadas no Brasil na segunda metade da década de 1960, e teve uma grande evolução no consumo no período 1995-2005, onde evoluiu de 866 mil m³ a 2.098 mil m³, sendo o setor moveleiro um dos maiores responsáveis pela destinação dos painéis.

Lacombe (2015) esclarece que o surgimento dos painéis aglomerados no Brasil se deu pela escassez de madeira e pela necessidade do reaproveitamento de resíduos industriais, o autor aponta que essa não é mais uma realidade pertinente no país diante a grande áreas de florestas plantadas apenas para o fornecimento de matéria-prima para a confecção de chapas.

Na produção das chapas, a maior parte da madeira utilizada como matéria-prima é proveniente de reflorestamento, e as espécies mais utilizadas são pinus elliottii, Pinus taeda e em uma escala reduzida o eucaliptos (IWAKIRI *et al.*, 2001). No entanto, Cabral *et al.* (2007) esclarece que qualquer madeira pode ser utilizada na fabricação de painéis de aglomerado.

3.2.1 Processo de Fabricação das Placas de Aglomerado

Segundo Iwakiri (2005, *apud* Lacombe 2015) às etapas do processo produtivo industrial do painel aglomerado podem ser pautadas em:

- Geração de partículas, etapa de extrema importância, pois são definidos as características dimensionais que influenciará na qualidade do painel

- Secagem das partículas, momento de suma importância, pois é necessário a redução do teor de umidade para o adequado com a resina a ser utilizada;

- Classificação das partículas, tem-se por intuito a separação das partículas maiores e menores designando para o camada interna e externa respectivamente, quando for um painel de multicamadas;

- Aplicação do adesivo e dos aditivos químicos;

- Formação do colchão;

- Pré-prensagem, fase que auxilia na consistência do painel, além de auxiliar o com o mesmo obtenha uma altura desejada.

- Prensagem a quente dos painéis, onde o conjunto de pressão, temperatura e o tempo de fechamento da prensa serão importantes para a confecção do painel;

- Resfriamento;

- Acondicionamento;

- Acabamento dos painéis;

- Classificação conforme os padrões de qualidade;

- Embalagem e armazenamento.

3.2.2 Adesivo

A praticidade, o fácil manuseio e a capacidade de melhoria das características que o adesivo proporciona são responsáveis pelo grande avanço na indústria dos compostos de madeira, como destaca Gouveia (2001), que no mesmo estudo classifica os adesivos em dois grandes grupos, os naturais e os sintéticos. Sendo os naturais decorrentes de sua origem animal ou vegetal, e os sintéticos se subdividem em relação a seus termofixos que podem ser de uréia, fenol, melamina, resorcinol e epóxi. Que por meio de reações químicas são convertidos a um estado irreversível, mantendo-se resistente a mudanças físicas.

Baldin *et al.* (2016) ressalta a grande importância do adesivo para a produção dos painéis e comenta que os mais utilizados em escala industrial são os fenólicos e uréicos. No referido estudo o autor comenta que atualmente as empresas estão priorizando adesivos de menores custos e toxidade, incentivando estudos que retratam a possibilidade de substituição de resinas sintéticas pelas naturais, como exemplo o tanino obtido de cascas ou da madeira de algumas espécies florestais.

Diferenciar a quantidade de adesivo para conferir as mudanças quanto às propriedades físicas e mecânicas é comumente adotado em diversos estudos, como trabalhado por Iwakiri *et al.* (2005) que analisou painéis de aglomerado com teores de 8, 12 e 15% de adesivo e diferenciando a resina entre uréia-formaldeído (UF) e melamina-uréia-formaldeído (MUF). E nos resultados obtidos concluiu que os painéis com densidade 0,90 g/cm³ e 12% de resina MUF apresentaram valores de propriedades mecânicas superiores ao da norma utilizado no estudo como meio de comparação.

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Fomentado pela premissa dada pela NBR 14.810- parte 1, onde aponta que a geometria das partículas e sua homogeneidade, o adesivo utilizado, a densidade e o processo de fabricação podem ser modificados para fabricarem produtos com utilização final específica. Para atingir os objetivos propostos no presente estudo, foi realizado na primeira parte do projeto uma pesquisa bibliográfica com a finalidade de averiguar em pesquisas já realizadas os procedimentos adotados para a elaboração e ensaio das chapas e o resultado das propriedades físico-mecânicas obtidas.

Em continuidade no estudo realizou-se em laboratório a confecção das chapas de aglomerado e os ensaios para análise de resultados físico-mecânicos. A presente pesquisa seguiu a seguinte sequência de ações conforme apresentado na figura 2.

Figura 2 - Sequência de ações do procedimento metodológico

Fonte: Autor

3.1 Fabricação

A matéria-prima utilizada no estudo corresponde a resíduos aglomerados de diversificadas espécies de madeiras doados pela empresa Madeforte, localizada no município de Gurupi (TO). Especializada no ramo de madeira, todos os resíduos produzidos pela companhia não são reutilizados.

Dacosta et al. (2005) que em seu estudo cita que grande parte dos resíduos possam ser utilizados na confecção de chapas aglomeradas, mas há a necessidade de que esse material esteja limpo e com dimensões não muito diversificada, logo, com a coleta do material e o transporte para o laboratório de construção civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins (IFTO) - Campus Gurupi, o material foi separado por meio de peneira vibratória sendo utilizado os resíduos que passaram pela peneira número 09 com abertura de 2,36 mm, conforme Figura 03.

Figura 3 - Resíduos na Peneira vibratória

Fonte: Autor

Em seguida, os materiais foram acondicionados em estufa de secagem com circulação de ar a uma temperatura de 70º pelo período de 72 horas, conforme realizado por Moizés (2019) em seu procedimento metodológico.

Figura 4 - Resíduos na Estufa

Fonte: Autor

Diante disso realizou-se a pesagem do resíduo para a preparação da porcentagem do adesivo utilizando como base o peso seco das partículas, conforme a Figura 5 e 6. O adesivo utilizado foi o bi-componente à base de fenol-formaldeído com um alto desempenho.

No procedimento metodológico adotado no estudo de Baldin et. al.(2016) foi adotado uma porcentagem de 9% de resina na confecção dos painéis. No entanto, Iwalkiri et. al. (2005) produziu painéis com diferentes concentrações de resinas adotando 8%, 12% e 15% na composição, obtendo nas chapas aglomeradas com teores de 12% de adesivos valores de propriedades mecânicas superiores ao mínimo exigido pela norma utilizado no estudo. Com isso foi adotado no presente trabalho os teores de 15% e 24% de resinas com o intuito de comparar o desempenho das chapas aglomeradas com as divergentes proporções de adesivo.

Diante a alta viscosidade do adesivo utilizado teve-se a necessidade de utilizar um solvente para que facilitasse a adesão da resina com o material, adotando o thinner conforme o estudo de Lacombe (2015) que constata que adição do Thinner como solvente há uma menor perda de massa do material particulado, possivelmente pelo fato de o solvente ser mais volátil e vaporar desde a pré-prensagem mais rapidamente. Sendo adotado uma quantidade de 10 gramas de thinner que foi misturado a ambos componentes do adesivo anterior a adesão ao resíduo.

Em face disso, a tabela 1 demonstra a quantidade em gramas de insumos utilizados para a confecção do painel aglomerado, separando em dois tratamentos os painéis de

diferentes teores de adesivo, sendo o tratamento 1 (T1) - Chapas confeccionadas com 15% de resina e o tratamento 2 (T2) - os painéis fabricados com 24% de resina.

Tabela 01 - Insumos utilizados para a confecção dos painéis

PAINÉIS	Insumos (g)			
	Resíduos de madeira	Adesivo componente A	Adesivo componente B	Thinner
Tratamento 1 - (T1)	105	7,9	7,9	10
Tratamento 2 - (T2)	105	12,6	12,6	10

Fonte: Autor

A mistura do adesivo com os resíduos foi realizada de maneira manual e uniforme por um período máximo de 5 minutos, desfazendo as possíveis aglutinações da resina com o material.

Figura 5 - Pesagem dos resíduos

Fonte: Autor

Figura 6 - Pesagem dos componentes do adesivo em função do percentual de resina.

Fonte: Autor

Para a formação do colchão de partículas, adaptou-se uma forma com chapas de aços e com as dimensões de 16x16 cm para que enquadrasse na máquina universal de ensaio manual pertencente ao laboratório de Construção Civil do IFTO- Campus Gurupi. Usou como desmoldante a cera de carnaúba, aplicando manualmente no molde anterior ao posicionamento da mistura de resíduos, adesivo e solvente.

Figura 7 - Forma para confecção dos painéis

Fonte: Autor

Na máquina universal de ensaio manual ainda foi necessária a utilização de pesos para que fosse feita a adaptação da mesma para recepcionar o colchão de partículas, onde o mesmo foi submetido a uma prensagem de 9000kgf, sendo repetida uma média de 3 vezes para evitar que a espessura do painel se divergissem em toda a extensão.

Figura 8 - Prensagem

Fonte: Autor

Após a prensagem, o molde foi adaptado novamente baseado no estudo de Alexandre (2019) com dois grampos de marceneiros tipo “sargento” para que o colchão pudesse manter sua linearidade após a saída da prensagem, como consta na Figura 09. Em seguida foi submetido à estufa para aceleração do processo de cura do adesivo, sendo submetido a uma temperatura de 180º por 15 minutos, e continuando a uma temperatura média de 70º por aproximadamente 12 horas. Logo após a retirada da estufa ocorreu o desmolde do painel (Figura 10) seguido da obtenção dos corpos de provas por meio de uma serra esquadrejadeira.

Figura 9 - Pós-prensagem, forma adaptada com sargento anterior a ida em estufa

Fonte: Autor

Figura 10 - Painel posterior a estufa e desmoldado

Fonte: Autor

3.2 Metodologia para os ensaios físicos

Para a realização dos ensaios físicos serão utilizados os parâmetros e procedimentos conforme a ABNT 14-810 - parte 2 (2018), para determinação do teor de umidade, densidade e inchamento em 24 horas e a absorção de água em 24 horas.

3.2.1 Determinação da Umidade

Para determinação do teor de umidade os corpos de prova utilizados tiveram dimensões de 50 x 50 mm, submetidos em estufa por (103±2)ºC até obter uma massa constante, conforme as diretrizes da NBR 14.810 - 2 (2018). Para determinação da porcentagem de umidade, utilizou a seguinte fórmula.

Cálculo para o Teor de Umidade *Equação 1*

$$TU = \frac{MU - MS}{MS} \times 100$$

Onde:

TU = é a umidade residual do CP (%);

Mu = é a massa úmida do CP (g);

Ms = é a massa seca do CP (g).

3.2.2 Determinação da Densidade

A densidade foi calculada por meio da razão entre massa e volume. Sendo utilizado CPs de dimensões 50 x 50 mm , utilizando um paquímetro e uma balança de precisão para realizar as medições de comprimento, largura, espessura e determinação da massa, conforme determina a norma 14-810.

Cálculo da densidade *Equação 2.*

$$D = \frac{M}{L \times C \times E} \times 10^6$$

Onde:

D = Densidade (kg/m³);

M = Massa do CP (g);

L = Largura do CP (mm);

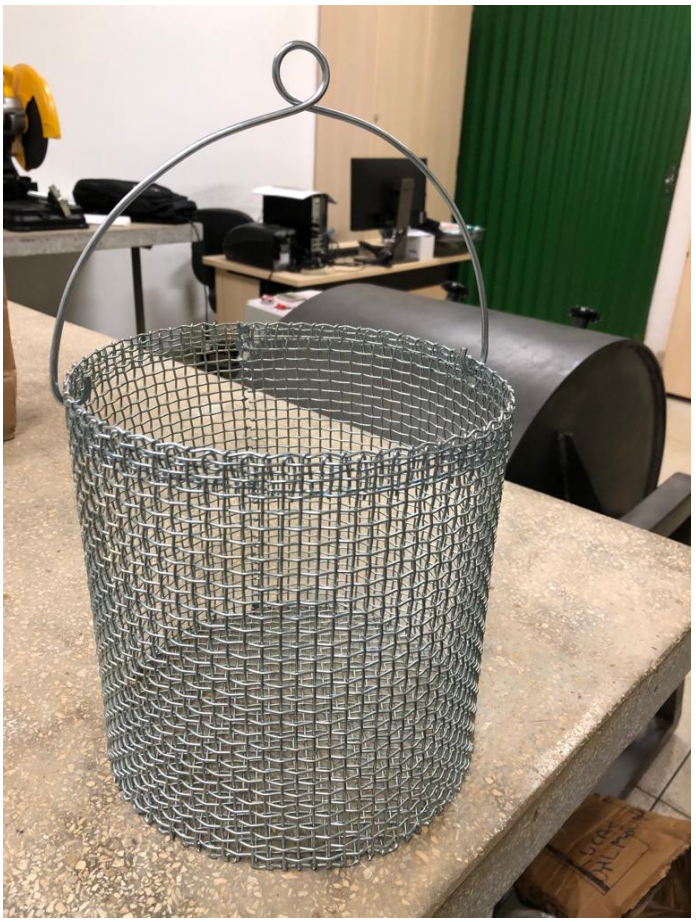
C = Comprimento do CP (mm);

E = Espessura do CP (mm).

3.2.3 Determinação do Inchamento e Absorção de Água após 24h

Para determinação do inchamento e absorção de água foram utilizados CPs com dimensões de 50 x 50 cm, e submerso em água por um período de 24 horas, com o auxílio da cesta conforme a Figura 11 para que seguindo as diretrizes da norma a superfície superior do CP ficasse no mínimo 25 mm submerso ao nível de água.

Figura 11 - Cesta para auxiliar no ensaio de inchamento e absorção após 24h



Fonte: Autor

Os cálculos de inchamento e absorção de água foram feitos seguindo a norma da NBR 14.810 - parte 2 (2018), em que se aplicou as seguintes equações.

Cálculo do Inchamento em espessura *Equação 3.*

$$I = \frac{E1 - E0}{E0} \times 100$$

Onde:

I = Inchamento em espessura do corpo de prova (%);

E1 = Espessura do corpo de prova após o período de imersão (mm);

E0 = Espessura do corpo de prova antes da imersão (mm).

Equação 4. Cálculo da Absorção de Água

$$A = \frac{M1 - M0}{M0} \times 100$$

A = Absorção de água do corpo de prova (%);

M1 = Massa do corpo de prova após o período de imersão (g);

M0 = Massa do corpo de prova antes da imersão (g).

3.3 Metodologia para os ensaios mecânicos

Para a determinação da resistência à flexão estática no módulo de elasticidade (MOE) e módulo de ruptura (MOR), serão utilizadas as especificações normativas consoante a NBR 14810-2 (2018)

3.3.1 Determinação da Resistência à flexão Estática no Módulo de Elasticidade e Módulo de Ruptura

Foram calculados o módulo de ruptura (MOR) e o módulo de elasticidade (MOE) através da sobreposição de uma carga no CP em uma máquina de ensaio universal no laboratório de engenharia do Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia do Tocantins - Campus Palmas. Adaptando a máquina para um espaçamento de 100 mm comportasse o CP e com o auxílio de um relógio comparador para a análise da deflexão, conforme a Figura 12.

Figura 12 - Realização dos ensaios mecânicos

Fonte: Autor

O cálculo foi realizado seguindo as seguintes fórmulas.

Cálculo da resistência à flexão estática - MOR *Equação 5.*

$$MOR = \frac{1{,}5 \times P \times D}{B \times E^2}$$

Onde:

MOR = Módulo de ruptura (MPa);

P = Carga de ruptura (N);

D = Distância entre apoios do aparelho (mm);

B = Largura do CP (mm);

E = Espessura do CP (mm).

. Cálculo da Resistência à flexão estática - MOE *Equação 6*

$$MOE = \frac{P1 \times D^3}{d \times 4 \times B \times E^3}$$

Onde:

MOE = Módulo de elasticidade (MPa);

P1 = Carga no limite proporcional (N);

d = Deflexão correspondente à carga P1 (mm).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Propriedade físicas dos painéis

Na Figura 13 é apresentado os corpos de provas dos painéis utilizados para caracterização dos ensaios físicos. E a tabela 2 apresenta os resultados obtidos quanto aos ensaios aos quais foram submetidos os CPs.

Figura 13 - Corpos de prova para realização dos ensaios físicos.

Fonte: Autor

Tabela 02 - Valores médios obtidos quando submetidos os corpos de provas a ensaios físicos, e uma comparação quanto a estudos correlacionados.

PAINÉIS AGLOMERADO	PARÂMETROS FÍSICOS			
	TU (%)	D (kg/cm³)	I (%)	A (%)
Tratamento 1 - (T1)	3,60 (7,2)	583,30 (10,0)	14,80 (52,5)	97,30 (17,6)
Tratamento 2 - (T2)	6,90 (1,9)	644,00 (4,3)	18,3 (36,5)	77,4 (13,7)
Alexandre (2019)	-	310,00	17,70	62,28
Baldin *et al* (2016)	10,18	690,00	22,98	27,84
Iwakiri (2005) - (T2)	-	624,00	21,00	105,78
Iwakiri (2005) - (T5)	-	861,00	16,77	51,45

Legenda: T1: corpos de provas com teor de 15% de adesivo; T2: corpos de provas com teor de 24% de adesivo; TU: Teor de Umidade em (%); D: Densidade em (kg/cm³); I: Inchamento após 24H em (%); A: absorção de água após 24H. Valores entre parênteses correspondem ao coeficiente de variação (%). Fonte: Autor.

4.1.1 Teor de umidade

Os valores médios obtidos quanto ao teor de umidade das amostras estão apresentados na Tabela 02. Os resultados obtidos, quanto ao teor de umidade, foram encontrados mediante a recomendação da normativa brasileira NBR 14.810 (2018) que caracteriza como requisito geral para o painel aglomerado um teor de umidade entre 5% a 13%. Em face disso, apenas as chapas com teores de adesivo de 24% (T2) atendem as exigências da norma.

No estudo de Lacombe (2015) que produz painéis aglomerados com a utilização de partículas de pinus, eucalipto, peroba e teca. Aglutinadas com 20 gramas de adesivo e thinner como solvente, apenas as chapas confeccionadas com tecas e pinus obtiveram um valor adequado a normativa brasileira, tendo os demais valores próximos à média mínima. O autor aponta que a utilização do thinner como solvente proporcionou essa aproximação dos resultados obtidos quanto ao mínimo estabelecido pela NBR 14.810 tanto pelo tempo de estabilização e cura pelo quais passaram os painéis, mas também pela rápida volatilização do solvente.

4.1.2 Densidade dos painéis

Os painéis produzidos apresentaram densidade média de 0,583 g/cm³ para os CPs T1 e 0,644 g/cm³ para as chapas com o tratamento 2. Quanto a normatização brasileira (NBR 14.810) caracteriza que a densidade média para painéis de madeira aglomerada pode variar entre 0,551 a 0,750 g/cm³. Contudo, as chapas produzidas atenderam os requisitos quanto a densidade.

Quando comparado a outros estudos como o de Iwalkiri et. al. (2005) que desenvolveu chapas de aglomerado com partículas de pinus ssp, diferenciando os teores e o tipo de resina das diferentes chapas produzidas. Foram obtidos no estudo valores de densidade média de 0,624 g/cm³ a chapas produzidas com teores de 8% e 0,861 g/cm³ quando com o tratamento de 15% de adesivo melamina-uréia-formaldeído (MUF).

Utilizando como adesivo a cola acetato de polivinila (PVA) em uma porcentagem aproximada de 29% e resíduos de espécies da caatinga, Alexandre (2019) dispensou o uso da prensa em seu estudo, alterando a metodologia para uma prensagem manual com o auxílio de “sargentos”, obtendo densidade de 0,31 g/cm³ em seu painel.

Baldin *et al.* (2016) trabalhou com 9% de resina e elaborou painéis com capim - annoni, pinus e o combinado entre os dois materiais, obtendo uma densidade média de 0,69 g/cm³. O autor ainda conclui que a densidade dos painéis independem do adesivo utilizado,

sendo o principal fator quanto a densidade o material de origem, obtido em painéis aglomerados apenas com pinus valores significativamente superiores à mistura de materiais.

4.1.3 Inchamento e absorção de água após 24h

A tabela 2 Apresenta os valores médios obtidos através das análises físicas de inchamento e absorção de água após 24 horas, nos painéis aglomerados.

A NBR 14-810 (2018) apresenta o valor até de 22% para o inchamento durante 24 horas para painéis não estruturais para uso interno em condições secas (tipo P2). Conforme os resultados obtidos, verifica-se que os dois tratamentos se adequam ao requisito estabelecido pela normativa.

Conforme referido Dacosta (2004) o aumento no teor do adesivo reduz o inchamento em espessura e que se aumentar os valores de densidade do painel, a absorção diminui e o inchamento aumenta. Esses resultados foram observados no presente estudo, em que chapas de aglomerados com menos adesivo apresentaram valores menores quanto o inchamento e maiores quanto a absorção de água do que corpo de provas confeccionados com uma porcentagem maior de adesivo.

Quanto à absorção de água em um período de 24 horas, as chapas com um teor de 24% obtiveram um valor médio inferior às confeccionadas com menos adesivo. É importante a ressalva de que nenhuma normativa comumente utilizadas para referenciar a qualidade de chapas aglomeradas, tais como ABNT NBR 14-810 (2018), CS 236-66 (1968), ANSI A 208.1 (1999) e EN 312 (2003) não especificam referência quanto a propriedade de absorção de água (Baldin *et al.*, 2016).

Nos resultados obtidos por Iwalkiri et al. (2005), os painéis desenvolvidos com pinus em diferentes teores e tipos de resinas, notou -se que houve no inchamento uma tendência de redução dessa propriedade quanto ao aumento no uso de adesivo, o que corrobora com a teoria previamente citada de Dacosta. Obtido no estudo valores de 16,765% e 51,452% para o valor médio de inchamento em espessura e absorção de água em 24 horas, respectivamente. Iwalkiri conclui mencionando que no inchamento a resina MUF garantiu aos CPS uma maior estabilidade dimensional apresentando tendências para um menor valor médio obtido, no entanto, na absorção de água constata que o tipo de resina utilizada não apresentou significativa diferença nos resultados.

4.2 Propriedade mecânicas dos painéis

Os corpos de provas utilizados para a realização dos ensaios de determinação da resistência à flexão estática e módulo de elasticidade tiveram dimensões pré - estabelecidas de 150 x 50 mm, conforme ilustrado na Figura 14. E a tabela 3 apresenta os resultados obtidos quanto às propriedades mecânicas analisadas.

Figura 14 - Corpos de prova para a realização dos ensaios mecânicos

Fonte: Autor

Tabela 03 - Valores médios obtidos quando submetidos os corpos de provas ao ensaio de resistência à flexão estática e módulo de elasticidade,e uma comparação quanto a estudos correlacionados.

PAINÉIS	PARAMETROS QUANTO A RESISTÊNCIA	
	MOR (MPa)	MOE (MPa)
Tratamento 1 - (T1)	1,94 (42,43)	102,92 (72,36)
Tratamento 2 - (T2)	2,17 (23,21)	243,77 (39,10)
Alexandre (2019)	0,34	26,01
Lacombe (2015) - Pinus	2,41	317,53
Lacombe (2015) - Eucalipto	5,94	716,02
Lacombe (2015) - Peroba	10,46	1372,08
Lacombe (2015) - Teca	1,92	245,19

Legenda: T1: corpos de provas com teor de 15% de adesivo; T2: corpos de provas com teor de 24% de adesivo;MOR: Módulo de ruptura em (MPa); MOE: Módulo de elasticidade em (MPa). Valores entre parênteses correspondem ao coeficiente de variação (%). Fonte: Autor.

4.2.1 Resistência à flexão estática e módulo de elasticidade

A tabela 3 apresenta os valores médios obtidos através das análises mecânicas da resistência à flexão e módulo de elasticidade dos corpos de provas.

A normativa brasileira NBR 14.810-2 (2018) apresenta como critério mínimo para painéis não estruturais para uso interno em condições seca (tipo P2) um valor de resistência à flexão estática de 11 Mpa para chapas com espessuras entre 6 a 13 mm e o módulo de elasticidade de 1800 Mpa. Conforme os resultados obtidos, os valores médios se apresentaram inferiores ao requisito da norma.

Analisando os valores obtidos, pode ser observado que os melhores resultados se associam as chapas produzidas com teor de resina de 24% o que também se relaciona aos resultado do ensaio de densidade, tendo em vista que esses corpos de provas obtiveram valores superiores aos confeccionados com 15% de adesivo. O que reitera o estudo de Pedrazzi *et al.* (2006) onde observaram que com o aumento do teor de resina e da densidade, os valores do ensaio de resistência à flexão estática e o módulo de elasticidade aumentam.

No entanto, nota-se que o resultado obtido foi bastante superior quando comparado com o estudo de Alexandre (2019) que confeccionou chapas de aglomerados com resíduos de espécies da caatinga e obteve valores médios de 0,34 MPa de MOR e 26,01 MPa de MOE. Um dos possíveis fatores para isso é explicado pelo autor quando na sua metodologia foi dispensado o uso de prensas mecânicas para uma prensagem manual, onde ele enfatiza que não ocorreu uma forte compressão quando comparado a uma prensagem com o auxílio de máquinas.

Os valores obtidos se aproximaram do estudo de Lacombe (2015) que também utilizaram o thinner como solvente e uma prensagem hidráulica, tendo valores médios de 2,41 MPa de MOR e 317,53 MPa de MOE para chapas produzidas a partir de resíduos de pinus, 5,94 MPa de MOR e 716,02 MPa de MOE para confeccionadas com eucalipto, 10,46 MPa de MOR e 1372,08 MPa de MOE para painéis de peroba e 1,92 MPa de MOR e 245,19 MPa de MOE para chapas de teca. Que apesar dos valores também estarem inferiores aos solicitado pela NBR pode ser notado uma certa afinidade nos resultados como no presente estudo, principalmente nos painéis confeccionados com pinus e teca.

Outro fator que pode ter contribuído para a baixa resistência mecânica dos painéis é apontado por Dacosta (2004), que esclarece que a utilização de serragens na fabricação de painéis aglomerados pode incluir uma certa proporção de cascas no material, o que influenciará na redução da resistência da superfície das chapas.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir da análise dos resultados obtidos é possível verificar que os painéis de aglomerados do tratamento 2 apresentaram uma desenvoltura superior aos do T1 quando analisados em decorrência da normativa NBR 14.810 -2 (2018) com os critérios para painéis não estruturais para uso interno em condições seca (tipo P2). Não tendo apenas os resultados dos testes mecânicos segundo o solicitado na norma, o que os desqualifica para uso que necessita uma resistência mecânica.

No entanto, quando comparado a outros estudos, os valores obtidos não se discerniram. Em face disso, é pertinente ressaltar que a adequação da metodologia para o laboratório de construção civil do Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia (IFTO) - Campus Gurupi não apresentou grandes alterações aos resultados, sendo análogo aos comumente apresentados em outros trabalhos, com divergência nas confecções dos painéis.

É importante destacar que dentre as alterações adotadas no estudo que podem ter influenciado os resultados ou que provavelmente auxiliaria no ganho das propriedades estudadas, como a compactação do colchão de partículas em dimensões maiores, como Baldin et al.(2016) que utilizou uma forma de 40x40x0,95 cm, uma prensagem a quente, e seguir o plano de corte estabelecido pela NBR 14.810 (2018). Esses fatores provavelmente ajudariam na confecção dos CPs, e possibilitaria um material mais homogêneo, diminuindo o coeficiente de variação entre corpos de provas pertencentes ao mesmo tratamento.

Outro fator apresentado por Lacombe (2015) é que as condições climáticas influenciam a produção. Em face disso, é possível analisar que a falta de um ambiente com temperaturas controladas e de um condicionamento dos painéis e CPs em câmara fria controlando a temperatura e umidade desejada, auxiliaria com que o material atingisse uma umidade de equilíbrio e possivelmente um aumento nas propriedades analisadas.

Contudo, é tácito que o painel não atingiu todas as condições previstas em norma, mas apresentaram bons resultados diante a comparação a outros estudos. O que viabiliza e incentiva outros estudos ao uso de resíduos de serrarias nas fabricações dos mais diversificados tipos de painéis.

REFERÊNCIAS

ALEXANDRE, Bárbara Carvalho. **Painéis aglomerados produzidos com resíduos de marcenaria**. 2019. 45 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Florestal, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró/RN, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14.810-2**: Painéis de Partículas de Média Densidade - Requisitos e métodos de Ensaio. Rio de Janeiro, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14.810-1**: Painéis de Partículas de Média Densidade - Terminologia. Rio de Janeiro, 2018.

BALDIN, Talita *et al*. Qualidade de painéis aglomerados produzidos com diferentes proporções de madeira e capim-annoni. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 11, n. 3, p. 230-237, jul. 2016.

BRASIL, Alexandre Anders. **As exportações brasileiras de painéis de madeira**. 2002. 85 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.

CABRAL, Carla Priscilla; VITAL, Benedito Rocha; DELLA LUCIA, Ricardo Marius; PIMENTA, Alexandre Santos. Propriedades de Chapas de aglomerado confeccionadas com mistura de Eucalyptus spp e Pinus elliottii. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 31, n. 5, p. 897-905, mar. 2007

CABRAL, Carla Priscilla Távora. **Propriedades de chapas tipo aglomerado e osb, fabricadas com partículas e flocos de madeira de Eucalyptus grandis, Eucalyptus urophylla, eucalyptus cloeziana e pinus elliottii**. 2005. 104 f. Tese (Doutorado) - Curso de Doutorado em Ciência Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.

CRASTO, Renata Cristina Moraes de. **Arquitetura e Tecnologia em sistemas construtivos industrializados: light steel framing**. 2005. 256 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto - MG, 2005.

DACOSTA, Lourdes Patricia Elias. **Utilização de resíduos do processamento mecânico da madeira para a fabricação de chapas de partículas aglomeradas**. 2004. 102 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Engenharia Florestal, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2004.

DACOSTA, Lourdes Patrícia Elias; HASELEIN, Clovis Roberto; SANTINI, Elio José; SCHNEIDER, Paulo Roberto; CALEGAN, Leandro. Qualidade das chapas de partículas aglomeradas fabricadas com resíduos do processamento mecânico da madeira de pinus. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 15, n. 3, p. 311-322, out. 2005.

ESPÍNDOLA, Luciana da Rosa. **Habitação de interesse social em madeira conforme os princípios de coordenação modular e conectividade**. 2010. 173 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

GOUVEIA, Fernando Nunes. **Produção de chapas de partículas orientadas (OSB) a partir das espécies Eucalyptus grandis W.HILL ex Maiden e Pinus elliottii Engelm**. 2001. 81 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Ciência Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa- Mg, 2001.

IWAKIRI, Setsuo *et al*. Produção de painéis aglomerados de alta densificação com uso de resina melamina-uréia-formaldeído. **Cerne.** Lavras, p. 323-328. dez. 2005.

IWAKIRI, Setsuo; SILVA, José Reinaldo Moreira da; MATOSKI, Selma Lúcia Schmidlin; LEONHADT, Gabriela; CARON, José. Produção de chapas de madeira aglomerada de cinco espécies de pinus tropicais. **Floresta e Ambiente**, Curitiba, v. 8, n. 1, p. 137-142, dez. 2001.

LACOMBE, Jane Eliza de Almeida. **Painéis de madeira aglomerado produzidos com resíduos de serragem e poliestireno expandido para aplicações na construção civil**. 2015. 217 f. Tese (Doutorado) - Curso de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2015.

MATTOS, René Luiz Grion; GONÇALVES, Roberta Mendes; CHARGAS, Flávia Barros das. **Painéis de madeira no Brasil: Panorama e perspectivas**. Rio de Janeiro, 2008, v.27,p. 121-156.

MOIZÉS, Fábio Alexandre. **Desenvolvimento de painéis com partículas orientadas (OSB) de Bambu**. 2019. 116 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Bauru, 2019.

PEDRAZZI, Cristiane; HASELEIN, Clovis Roberto; SANTINI, Elio José; SCHNEIDER, Paulo Renato. Qualidade de Chapas de Partículas de Madeira Aglomerada Fabricadas com Resíduos de uma Indústria de celulose. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 16, n. 2, p. 201-212, maio 2006.