

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS FLORESTAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

Luciane Gorski

**CARACTERIZAÇÃO DA MADEIRA DE *Ateleja glazioviana* Baill. PARA
USOS MÚLTIPLOS**

Santa Maria, RS, Brasil
2021

Luciane Gorski

CARACTERIZAÇÃO DA MADEIRA DE
Ateleia glazioviana Baill. **PARA USOS MÚLTIPLOS**

Tese apresentada ao Curso de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Área de Concentração em Tecnologia de Produtos Florestais, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Doutora em Engenharia Florestal**.

Orientador: Prof. PhD. Clovis Roberto Haselein

Santa Maria, RS, Brasil
2021

Gorski, Luciane
CARACTERIZAÇÃO DA MADEIRA DE *Ateleia glazioviana*
Baill. PARA USOS MÚLTIPLOS / Luciane Gorski.- 2021.
103 p.; 30 cm

Orientador: Clovis Roberto Haselein
Coorientador: Elio José Santini
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós
Graduação em Engenharia Florestal, RS, 2021

1. Propriedades tecnológicas 2. Taxa de secagem 3.
Defeitos da madeira 4. Briquetes 5. Painéis de madeira
I. Haselein, Clovis Roberto II. Santini, Elio José III.
Título.

Sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFSM. Dados fornecidos pelo autor(a). Sob supervisão da Direção da Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca Central. Bibliotecária responsável Paula Schoenfeldt Patta CRB 10/1728.

© 2021

Todos os direitos autorais reservados a Luciane Gorski. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.

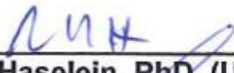
E-mail: lu_gorski@hotmail.com

Luciane Gorski

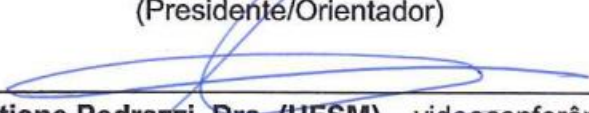
CARACTERIZAÇÃO DA MADEIRA DE
Ateleia glazioviana Baill. **PARA USOS MÚLTIPLOS**

Tese apresentada ao Curso de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Área de Tecnologia de Produtos Florestais, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Doutora em Engenharia Florestal.**

Aprovada em 28 de maio de 2021.



Clovis Roberto Haselein, PhD. (UFSM) – videoconferência
(Presidente/Orientador)



Cristiane Pedrazzi, Dra. (UFSM) – videoconferência



Daniela Silva Lilge, Dra. (UNIPAMPA) – videoconferência



Silvana Rosso, Dra. (UNIPAMPA) – videoconferência



Talita Baldin, Dra. (UFMG) – videoconferência

Santa Maria, RS, Brasil
2021

DEDICATÓRIA

Aos meus pais.

AGRADECIMENTOS

A realização deste trabalho foi possível, principalmente, pelo apoio, compreensão e dedicação de várias pessoas. Obrigada a todos que de alguma forma foram importantes para concretizar esta etapa, em especial, agradeço:

Ao meu orientador, Professor Clovis R. Haselein, por acreditar, confiar e disponibilizar seu tempo e conhecimento.

Aos Professores Elio Jose Santini e Cristiane Pedrazzi, por estarem disponíveis para tirar dúvidas e auxílios a toda a hora.

Aos técnicos Fabiana, Tarso e Nelson que sempre estiveram ao meu lado para dar assistência nas tarefas, resolver problemas e trocar ideias.

Às minhas colegas, Maiara, Amanda, Laura, Bibiana, Talita, que foram parte dos meus dias, sendo realmente amigas, conselheiras, e fundamentais para tornar mais leve qualquer trabalho que poderia parecer desgastante ou difícil. Além dos colegas de laboratório, que estiveram presentes na rotina do LPF e auxiliaram de diversas formas: Guilherme, Roberta, Alessandra, Felipe, Milene, Álisson.

Aos colegas que de alguma forma compartilharam das mesmas experiências e dividiram opiniões: Ronan, Marina, Rossana, Camila, André, Rodrigo, Carline, Fernanda, Paulo Fernando e que auxiliaram em algum momento dos experimentos.

Aos amigos que permaneceram do meu lado, Francieli, Janderson, Jandira, que me estenderam a mão quando pedi, e também foram motivo de descontração e equilíbrio.

Aos meus pais, que sabem a importância da educação de qualidade e nunca mediram esforços para que eu tivesse a melhor e, ao meu irmão, por me apoiar.

À UFSM, como instituição educadora e principalmente formadora de pessoas, ao PPGEF, seus professores e funcionários, e à CAPES, pelo apoio financeiro.

E ainda, agradeço as outras pessoas, que cruzaram este mesmo caminho por algum motivo.

EPÍGRAFE

“A utopia está lá no horizonte. Me aproximo dois passos, ela se afasta dois passos. Caminho dez passos e o horizonte corre dez passos. Por mais que eu caminhe, jamais alcançarei. Para que serve a utopia? Serve para isso: para que eu não deixe de caminhar.”

(Eduardo Galeano)

RESUMO

CARACTERIZAÇÃO DA MADEIRA DE *Ateleia glazioviana* Baill. PARA USOS MÚLTIPLOS

AUTORA: LUCIANE GORSKI

ORIENTADOR: CLOVIS ROBERTO HASELEIN

O interesse por espécies nativas é crescente no sentido de ampliar a diversidade de matérias-primas e valorizar espécies locais. O presente estudo teve a finalidade de caracterizar a madeira de *Ateleia glazioviana* para finalidades múltiplas no mercado, abrangendo suas propriedades tecnológicas para o direcionamento qualificado de seu uso. Três indivíduos da espécie foram coletados no campus da UFSM - Santa Maria/RS, com DAP médio de 32cm, 15m de altura e 25 anos. O trabalho foi dividido em etapas: Etapa I) Determinação das propriedades químicas, físicas e mecânicas da madeira. Com as análises químicas determinaram-se os teores de lignina, holocelulose, alfa-celulose, cinzas e extrativos totais. Para a avaliação das propriedades físico-mecânicas determinaram-se os parâmetros de densidade, retração, anisotropia, flexão estática, MOE e MOR, e flexão dinâmica através do trabalho absorvido (W), coeficiente de resiliência (K), cota dinâmica e resistência ao impacto (fbw). Etapa II) Secagem da madeira para avaliar o desempenho e qualidade da secagem da madeira ao ar livre e em estufa com temperatura constante de 60°C. Nesta etapa, foram confeccionados corpos de prova de dimensões 64x10x2,50cm para realização do processo de secagem. Atingido os teores de umidade de equilíbrio, foi determinada a taxa de secagem para a espécie e realizou-se a avaliação dos defeitos decorrentes da secagem. Os principais defeitos avaliados foram arqueamento, encanoamento, encurvamento e rachaduras. Etapa III) Análise química imediata e avaliação do potencial energético da madeira por meio da produção de briquetes. Foram produzidos briquetes com granulometrias diferentes das partículas de madeira. Os resultados avaliados compreenderam a análise química imediata (teores de cinzas, material volátil e carbono fixo), poder calorífico, densidade básica e energética, e resistência mecânica dos briquetes. Etapa IV) Produção de painéis aglomerados de madeira. Foram realizados dois tratamentos com variação na formação do colchão de partículas, Tratamento 1 com camada homogênea e Tratamento 2 multicamadas e, para avaliação foram obtidos os resultados dos ensaios físicos e mecânicos dos painéis. Os resultados das etapas realizadas apontaram que a madeira de *A. glazioviana* possui densidade de 0,58g/cm³, média a baixa retratibilidade e, o fator anisotrópico indicou comportamento normal. Nos ensaios mecânicos a madeira foi considerada resistente à impactos e resiliente. Nas propriedades químicas, destacaram-se os altos teores de extrativos totais, lignina e cinzas. No que se refere aos resultados da secagem, no geral, a espécie mostrou-se satisfatória quanto à incidência de defeitos, não apresentando peças com colapso ou outros que inviabilizassem seu uso, portanto, dentro dos padrões de qualidade da norma. O defeito do tipo torcimento apresentou-se mais severo nas peças secas em estufa e as rachaduras foram mais significativas nas peças expostas ao ar livre. As propriedades energéticas da madeira apresentaram teor de cinzas de 0,17%, teor de materiais voláteis de 85,30%, teor de carbono fixo igual a 14,52% e poder calorífico superior de 4460,74 kcal/kg, e a propriedade mecânica analisada nos briquetes indicou maior resistência do tratamento formado com partículas de menor granulometria. Nos resultados dos painéis, os melhores resultados foram obtidos com os painéis homogêneos e comprovou-se a viabilidade de seu uso.

Palavras-chave: Propriedades tecnológicas. Taxa de secagem. Defeitos da madeira. Briquetes. Painéis de madeira.

ABSTRACT

CHARACTERIZATION OF *Ateleia glazioviana* Baill. WOOD FOR MULTIPLE USES

AUTHOR: LUCIANE GORSKI
ADVISER: CLOVIS ROBERTO HASELEIN

The interest in native species is growing in the sense of expanding the diversity of raw materials and valuing local species. The present study aimed to characterize *Ateleia glazioviana* wood for multiple purposes in the market, covering its technological properties for the qualified targeting of its use. Three individuals of the species were collected on the campus of UFSM-Santa Maria/RS, with an average diameter of 32cm, 15m in height and 25 years old. The research was divided into stages: Step I) Determination of the chemical, physical and mechanical properties of the wood. With the chemical analyzes, the contents of lignin, holocellulose, alpha-cellulose, ash and total extracts were determined. For the evaluation of the physical-mechanical properties, the parameters of density, retraction, anisotropy, static flexion, MOE and MOR, and dynamic flexion through the absorbed work (W), resilience coefficient (K), dynamic dimension and resistance to the impact (fbw). Step II) Drying the wood to evaluate the performance and quality of drying the wood outdoors and in an oven with a constant temperature of 60°C. In this step, specimens of dimensions 64x10x2.50cm were made to carry out the drying process. Once the equilibrium moisture content was reached, the drying rate for the species was determined and the drying defects were evaluated. The main defects evaluated were bending, cupping, bending and cracking. Step III) Immediate chemical analysis and assessment of the wood's energy potential through the production of briquettes. Briquettes were produced with different granulometries than wood particles. The evaluated results included the immediate analysis (ash content, volatile material and fixed carbon), calorific value, basic and energetic density, and mechanical resistance of the briquettes. Step IV) Production of chipboard panels. Two treatments were performed with variation in the formation of the particle mattress, Treatment 1 with homogeneous layer and Treatment 2 multilayer and, for evaluation, the results of the physical and mechanical tests of the panels were obtained. The results of the steps carried out showed that the wood of *A. glazioviana* has a density of 0.58g/cm³, medium to low retractability, and the anisotropic factor indicated normal behavior. In mechanical tests, the wood was considered resistant to impacts and resilient. In chemical properties, the high levels of total extracts, lignin and ash stood out. Regarding the drying results, in general, the species proved to be satisfactory in terms of defect incidence, with no collapsed parts or others that would prevent its use, therefore, within the quality standards of the norm. The twisting defect was more severe in kiln-dried parts and cracks were more significant in parts exposed to the open air. The energetic properties of the wood had an ash content of 0.17%, a volatile material content of 85.30%, a fixed carbon content of 14.52% and a higher calorific value of 4460.74kcal/kg, and the property mechanics analyzed in the briquettes indicated greater resistance of the treatment formed with particles of smaller granulometry. In the results of the panels, the best results were obtained with the homogeneous panels and the viability of their use was proven.

Keywords: Technological properties. Drying rate. Wood quality. Briquettes. Wood panels.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Demonstrativo da obtenção do material para os testes realizados em cada capítulo.....	23
Tabela 2 – Procedimentos utilizados para a determinação da composição química da madeira.....	33
Tabela 3 – Propriedades químicas da madeira de <i>A. glazioviana</i>	38
Tabela 4 – Propriedades físicas da madeira de <i>A. glazioviana</i>	40
Tabela 5 – Propriedades mecânicas da madeira de <i>A. glazioviana</i>	42
Tabela 6 –Variáveis climáticas e umidade de equilíbrio nos meses observados.	59
Tabela 7 – Teor de umidade e taxa de secagem comparativo entre processos de secagem.....	60
Tabela 8 – Defeitos nas peças de madeira resultantes dos processos de secagem.	62

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa de ocorrência natural (a) e exemplar de Timbó em borda de área agrícola (b).	19
Figura 2 - Localização da área de coleta do material dentro do Campus da UFSM. 21	
Figura 3 – Preparo do material para a caracterização das propriedades tecnológicas.	32
Figura 4 - Ensaio para determinação das propriedades mecânicas da madeira.	36
Figura 5 – Máquinas utilizadas para obtenção dos corpos de prova.....	51
Figura 6 - Secagem da madeira de <i>A. glazioviana</i> ao ar livre e em estufa.	52
Figura 7 - Medição dos defeitos das peças.....	56
Figura 8 - Curva de secagem em estufa.	57
Figura 9 - Curva de secagem ao ar livre.	58
Figura 10 - Variáveis climáticas observadas no período de secagem ao ar livre (ano 2018).	59
Figura 11 - Detalhe de tábua seca ao ar livre atacada por fungo.....	63

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	OBJETIVOS GERAIS	15
1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1	USOS MÚLTIPLOS DA MADEIRA	16
2.2	A ESPÉCIE	18
3	METODOLOGIA GERAL DA PESQUISA	20
3.1	CARACTERIZAÇÃO GERAL DA ÁREA	20
3.1.1	Localização geográfica	20
3.1.2	Obtenção da matéria-prima	22
3.1.3	Estrutura da pesquisa	22
4	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	24
5	CAPÍTULO I: PROPRIEDADES QUÍMICAS, FÍSICAS E MECÂNICAS DA MADEIRA DE <i>Ateleia glazioviana</i> BAILL.	29
5.1	INTRODUÇÃO	29
5.2	MATERIAL E MÉTODOS	31
5.2.1	Coleta do material	31
5.2.2	Caracterização tecnológica da madeira	32
5.2.2.1	<i>Propriedades químicas</i>	32
5.2.2.2	<i>Propriedades físicas</i>	33
5.2.2.2.1	Densidade básica e aparente	33
5.2.2.2.2	Retração da madeira	34
5.2.3	Análise dos dados	37
5.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
5.3.1	Propriedades químicas	38
5.3.2	Propriedades físicas	40
5.3.3	Propriedades mecânicas	42
5.4	CONCLUSÃO	43
5.5	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	43
6	CAPÍTULO II: SECAGEM E QUALIDADE DA MADEIRA DE <i>Ateleia glazioviana</i> BAILL.	48
6.1	INTRODUÇÃO	48
6.2	MATERIAL E MÉTODOS	49
6.2.1	Coleta do material	50
6.2.2	Desdobro e confecção dos corpos de prova	50
6.2.3	Secagem da madeira	51
6.2.3.3.1	Rachadura	54
6.2.3.3.2	Arqueamento	55
6.2.3.3.3	Encurvamento	55
6.2.3.3.4	Encanoamento	55
6.2.3.3.5	Ocorrência de fungos	56

6.2.4	Análise dos resultados	56
6.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	57
6.3.1	Secagem	57
6.3.2	Defeitos	61
6.3.3	Ocorrência de fungos	63
6.4	CONCLUSÃO	64
6.5	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	65
6	CAPÍTULO III – ARTIGO 1: USO ENERGÉTICO DA MADEIRA DE <i>Ateleia glazioviana</i> BAILL. NA FORMA DE BRIQUETES	1
7	CAPÍTULO IV – ARTIGO 2: PAINÉIS AGLOMERADOS PRODUZIDOS COM MADEIRA DE <i>Ateleia glazioviana</i> BAILL.	1
9	CONSIDERAÇÕES FINAIS	66

1 INTRODUÇÃO

A grandiosidade de um país como o Brasil, tanto em território quanto em biodiversidade, esconde espécies com alto potencial comercial. O conhecimento popular determina algumas finalidades de uso local para a exploração de plantas, já o conhecimento científico pesquisa a fundo as propriedades e características de cada espécie, família, gênero, com a finalidade de preservação e aplicação de forma global. Neste sentido, as árvores nativas têm sido alvo de observações cada vez mais atentas na esfera científica.

São 46.689 espécies nativas da flora brasileira reconhecidas em seis biomas do Brasil (FLORA DO BRASIL, 2019), nem todas estudadas, sendo o ritmo de registro de novas espécies de, em média, 300 por ano, tornando-se assim, o país com maior número de espécies da flora, com destaque para a Mata Atlântica (FAPESP, 2016). As florestas de ambientes úmidos são as mais pesquisadas, deixando as florestas secas, como a Floresta Estacional Decidual - FED, carentes de informações e estudos florísticos (GONÇALVES, 2015).

As FEDs se caracterizam por apresentar muitas espécies exclusivas, diminuto número de espécies arbóreas de grande altura e pela quase total ausência de plantas epífitas e ainda, essa região fitoecológica ganha destaque pelas diversas espécies madeireiras de alto valor econômico. Nos estados do RS e SC essa floresta apresenta remanescentes espalhados em meio às grandes áreas convertidas em lavouras ou plantios de espécies florestais exóticas que fornecem matéria-prima para indústrias do setor e ainda sofrem a pressão de grandes áreas alagadas para geração de energia (FONTANA e SEVEGNANI, 2012), tornando-se assim, uma importante região florestal para estratégias de conservação e investigação científica.

Explorada desde o estabelecimento dos primeiros colonizadores, a Floresta Estacional não esconde os efeitos dessa retirada sistemática, ao longo do tempo, de lenha e madeiras nobres. Seu escasso valor econômico na atualidade é consequência da exploração seletiva das espécies mais valiosas (MARCHIORI, 2009).

A árvore popularmente chamada de Timbó (*Ateleia glazioviana* Baill.) (LONGHI, 1995) é uma espécie pioneira com ocorrência na Floresta Estacional, desde o estado do Rio de Janeiro até a Argentina, com presença marcante nas regiões noroeste do Rio Grande do Sul e oeste de Santa Catarina, onde apresenta rápido crescimento (SOBRAL et al. 2006). Com potencial para indústria de móveis, sua madeira possui

também sugestão de uso para energia e ainda, benefícios como adubação verde e florada de interesse para a meliponicultura (CORADINI, SIMINSKI e REIS, 2011).

Embora a *Ateleia glazioviana* seja ainda uma espécie pouco investigada, no sul do país outras espécies nativas se destacaram ao longo dos anos por suas qualidades e tiveram sucesso no mercado. A Bracatinga (*Mimosa scabrella*), que ocorre em Floresta Ombrófila Mista, a partir da década de 30, teve incentivos florestais para a produção de lenha com uso em fogões domésticos, fornalhas, locomotivas das estradas de ferro, olarias e fundições (FRIEDERICH et al, 2015; CARPANEZZI, 1988). Atualmente, a biomassa florestal destaca-se como uma fonte de energia renovável, composta principalmente por lenha e carvão vegetal, representando 8,8% da matriz energética do Brasil, segundo o Balanço Energético Nacional (BEN, 2020).

A respeito do mercado moveleiro, até a década de 70 era abastecido por Pinheiro-brasileiro (*Araucaria angustifolia*), e outras espécies com histórico de grande exploração como a Imbuia (*Ocotea porosa*) e a Grápia (*Apuleia leiocarpa*). A Ervamate (*Ilex paraguariensis*) teve investimentos fortes na década de 80 em sistemas agrossilviculturais para abastecer o mercado ervateiro.

Hoje, os principais polos moveleiros continuam situados na região sul e Sudeste, embora tenham substituído sua matéria-prima nativa por espécies exóticas, como o Pinus e o Eucalipto, com implantação de amplas áreas para suprir a demanda de produção, as quais se mostraram uma alternativa ambiental com diversos benefícios econômicos. As indústrias de processamento madeireiro têm ampliado o leque de seus produtos, de maneira que existe uma grande variedade de produtos derivados da madeira: madeira maciça, chapas de madeira reconstituída como aglomerado, MDF, MDP, OSB e compensado (BRAINER, 2018). Para esse setor, embora tenha se consolidado um quadro de uso intenso de painéis reconstituídos, a madeira maciça ainda encontra espaço, em especial, no segmento de exportação e nos móveis de alto valor agregado comercializados internamente para um público seletivo.

Outro setor que apresenta crescimento do consumo de madeira é o setor de biomassa. A produção de energia, tanto industrial através da queima de carvão quanto doméstico com utilização direta como lenha, destaca-se pela vantagem de ser proveniente de fonte renovável (CARNEIRO et al., 2014). Dentre os produtos sólidos de madeira utilizados como fonte de energia, estão os briquetes, os cavacos de

madeira, os toretes, os péletes e o carvão vegetal (LONGUE JUNIOR e COLODETTE, 2013).

O reconhecimento através de pesquisas aprofundadas classifica a viabilidade do uso das madeiras nativas em novas perspectivas de desenvolvimento silvicultural e industrial (FRANK FILHO, 2005).

Com base no exposto acima, o trabalho objetiva avaliar as propriedades químicas, físicas e mecânicas da madeira de *Ateleia glazioviana*. Com o conhecimento básico das características da madeira, em um segundo momento, buscou-se aferir o desempenho da madeira frente ao processo de secagem e na composição de produtos. Assim, este trabalho busca, portanto, identificar o potencial múltiplo desta espécie, através das hipóteses:

- A madeira apresenta qualidades desejáveis para produção de serrados.

Ou ainda:

- A madeira possui características que limitam seu uso em alguns setores industriais.

E na segunda etapa, outras duas possibilidades de direcionamento de uso da madeira foram testadas:

- A madeira possui características caloríficas adequadas para a produção de energia em forma de briquete.
- É viável o seu uso na produção de painéis de madeira reconstituída.

1.1 OBJETIVOS GERAIS

Determinar as características da madeira de *Ateleia glazioviana* e ainda, avaliar o potencial da madeira para produção de serrados, briquetes e painéis aglomerados de madeira.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar a composição química da madeira;
- Determinar as principais propriedades físicas da madeira, sendo elas: densidades, básica e aparente e, anisotropia;
- Determinar as propriedades mecânicas de flexão estática e dinâmica, trabalho absorvido, cota dinâmica e resistência ao impacto;

- Avaliar o desempenho de peças de madeira serrada submetidas à secagem ao ar livre e em estufa, bem como, determinar a qualidade da madeira seca;
- Produzir partículas de madeira e confeccionar painéis aglomerados, com posterior avaliação das suas propriedades tecnológicas;
- Produzir e testar a eficiência energética de briquetes feitos com resíduos de madeira.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 USOS MÚLTIPLOS DA MADEIRA

Segundo a Fundação Brasileira para a Conservação da Natureza (FBCN, 1980), o conceito de uso múltiplo foi criado pelo serviço florestal dos Estados Unidos, na década de 50, quando se passou a buscar novas alternativas de manejo integrado dos principais recursos naturais renováveis.

Muito antes da conceituação, as florestas já eram consagradas pelas funções múltiplas que possuem, podendo englobar proteção de ecossistemas, manutenção do clima, conservação do solo, produção de matéria-prima, oferta de alimentação, energia, lazer, melhoria da qualidade de vida e outros, fundamentais para o desenvolvimento das sociedades. Haja visto que, entre os principais benefícios indiretos da presença das florestas estão os relacionados à água, solo, ar e funções sociais, já os benefícios diretos do manejo florestal sustentável são a produção de madeira, lenha, resinas e essências (EMBRAPA, 2015).

Os produtos madeireiros são os mais lembrados quando se fala em floresta. Dentro desse ramo, a aplicabilidade em diversos setores é baseada na classificação das aptidões de cada tipo de madeira o que torna o mercado diversificado. O consumo de madeira atende diversos usos: celulose, postes, moirões, estacas, dormentes, caixotaria, laminação e partículas, móveis, serraria, carvão, lenha, cada qual com suas características próprias (REMADE, 2007).

As serrarias juntamente com a indústria de painéis à base de madeira destacam-se no segmento de produtos sólidos de madeira no Brasil. As serrarias produzem maior diversidade de produtos, como pranchas, pranchões, blocos, tábuas, caibros, vigas, sarrafos, pontaletes e ripas, resultando em peças com dimensões

variáveis e em diferentes graus de acabamento para uso externo e interno (LONGUE JUNIOR e DALCONETTE, 2013; FERREIRA, 2003; MURARA JUNIOR et al., 2005).

Os painéis de madeira apresentam-se como alternativas interessantes à madeira maciça, pois, além de suas propriedades mecânicas aprimoradas também apresentam diminuição dos defeitos intrínsecos da madeira, como a presença de nós, medula, desvio de grã, assim como as limitações consequentes das dimensões das peças de madeira proporcionando maior aproveitamento da matéria-prima sem comprometer a qualidade final do produto (IWAKIRI et al., 2005).

A versatilidade do processo produtivo de painéis de madeira permite a obtenção de diversos produtos, tais como: o compensado, o MDP (*Medium Density Particleboard*), o MDF (*Medium Density Fiberboard*) e o OSB (*Oriented Strand Board*). Os painéis OSB podem ser utilizados na fabricação de elementos estruturais para construção civil (vigas, lajes e paredes estruturais autoportantes), de acordo com Ferro et al. (2019). Os painéis MDP são utilizados como matéria-prima para fabricação de móveis, entre outros artefatos da indústria do mobiliário residencial e comercial. Suas principais aplicações são: portas, laterais de móveis, prateleiras, divisórias, tampos retos, gavetas (ABIPA, 2015).

A madeira para energia em nosso país tem sido historicamente relacionada à produção de carvão vegetal, aos consumos residencial, industrial e agropecuário (BRITO, 2007). A matriz energética do Brasil é grande parte proveniente de fontes renováveis e a demanda é crescente (BEN, 2019). As ações visando à sustentabilidade do setor englobam o uso de carvão vegetal proveniente de madeira de florestas plantadas e aumento da eficiência energética da madeira através do desenvolvimento de produtos específicos como os briquetes e pellets. Estes, são considerados combustíveis sólidos produzidos a partir da compactação de resíduos de madeira, aumentando a densidade e a resistência do produto, permitindo assim, longos transportes com menores custos.

Os pellets e briquetes podem ser compostos por resíduos de madeiras em geral, como pó de serra, cavacos ou pedaços de madeira picadas, sem o uso de aglutinantes. A utilização é para a queima em fornos, caldeiras, aquecedores, torradores e outros similares, pois seu poder calorífico é três vezes maior do que a lenha (FENERICK, et al. 2019). A escolha da espécie para uso como biomassa prioriza madeiras com maior poder calorífico, pois essa propriedade está relacionada

ao rendimento energético que por sua vez está relacionado à constituição química (TEIXEIRA et al., 2020; JESUS et al., 2017).

Com o alto nível de exigência do mercado, cada vez mais as pesquisas de melhoramento genético estão voltadas para atingir a excelência das espécies, tornando-as ideais para um setor industrial específico. A importância disso, pode ser evidenciada vista em casos de clones desenvolvidos para madeira destinadas à serraria com qualidade superior da tora, também exemplificado por indivíduos com altos teores de celulose para o máximo rendimento na polpação, cultivares para produzir biomassa para fins energéticos, entre outros (FILHO e SANTOS, 2013). A floresta possui qualidades múltiplas, com possibilidade de oferecer mais produtos e serviços, promovendo a diversificação da base produtiva agroindustrial.

Complementando, as florestas possuem valor inestimável pelos benefícios e variedade de produtos que oferecem, tanto para sustento quanto finalidade comercial. Para tanto, a caracterização das propriedades relacionadas ao local de produção é essencial para a fixação da madeira como uma matéria-prima. Isto, através do fortalecimento das cadeias produtivas, a consolidação de mercado e o desenvolvimento de ações de pesquisa, como fatores essenciais para a promoção do uso dessas espécies potenciais.

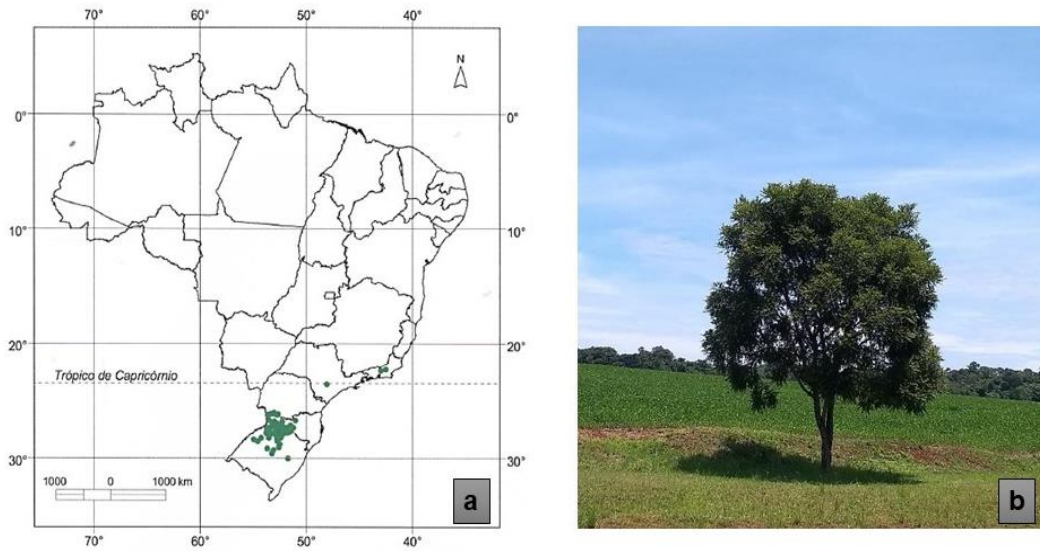
2.2 A ESPÉCIE

O gênero Fabaceae é rico em espécies e largamente distribuído sobre todo o território nacional. Carente de estudos, mas com forte presença no noroeste do Rio Grande do Sul é o Timbó (*Ateleia glazioviana* Baill.) também chamado popularmente como timbozinho, maria-preta ou cinamomo-bravo (LONGHI, 1995).

A distribuição geográfica do Timbó (Figura 1) abrange a Argentina (região de Misiones) e Brasil, neste se estende do estado do Rio de Janeiro até a metade norte do RS, no Planalto Médio e na Depressão Central (SOBRAL et al., 2006). Nas regiões noroeste do Rio Grande do Sul e oeste de Santa Catarina é a espécie mais abundante exclusiva da Floresta Estacional Decidual do Alto Uruguai. Aparece ocupando beiras de estradas, rebordos de matas e áreas agrícolas abandonadas (RAMBO, 2000) e muitas vezes se destaca por formar extensos agrupamentos quase puros, chamados de parques de timbós ou timbozais (CORADINI, SIMINSKI e REIS, 2011). É típica de

solos argilosos, vermelhos, úmidos e profundos da região do Planalto Meridional (CARVALHO, 1994).

Figura 1 - Mapa de ocorrência natural (a) e exemplar de Timbó em borda de área agrícola (b).



Fonte: Carvalho (2003) e foto da própria autora (2017).

É uma planta heliófita e decídua, atinge alturas de 10 a 20 metros e diâmetro até 70cm (na altura do peito - DAP). As principais características botânicas fazem referência ao tronco que é cilíndrico e o fuste é mais ou menos retilíneo, tomando formato cônico de copa quando isolada. A casca é rugosa, de cor marrom-escura, quase negra, com fissuras irregulares, longitudinais. As folhas são compostas, alternas, imparipenadas, com 21 a 30 folíolos elíptico-lanceolados. As flores, que desabrocham de novembro a janeiro, são pequenas, brancas e dispostas em cachos axilares. A frutificação ocorre no final do verão e início do outono sendo os frutos semicirculares ou ovalados, achatado, indeiscente, de cor bege clara, com uma só semente, amadurecendo de março a maio (CORADINI, SIMINSKI e REIS, 2011).

O Timbó possui potencial econômico pela sua madeira e folhas, e ainda, pelos aspectos ecológicos. A madeira é classificada como leve ou moderadamente densa, com massa específica aparente situando-se entre 0,50 e 0,76g/cm³ (CARVALHO, 2003), com casca e alburno de odor forte e desagradável. Sua cor bege-amarelada, é interessante para uso em obras internas como forros, paredes internas e sarrafos,

além de peças como cadeiras, caixas etc. Para obras externas necessita de substâncias preservativas, por ter baixa durabilidade. Considerada uma madeira macia, atraente para fabricação de painéis e laminados. Segundo Mattos et al. (2000) pode ser empregado na produção de energia pois a espécie apresenta um poder calorífico superior de 4492kcal/kg, qualidade afirmada por Silva et al. (2012).

Quanto ao desenvolvimento no RS, é uma das espécies pioneiras com mais rápido crescimento nas regiões do Alto Uruguai e Missões. Pode ser indicada para sistemas agroflorestais por apresentar grande adaptação a vários tipos de solos e indicada para recuperação de ecossistemas degradados, por ser precursora e agressiva. Neste mesmo sentido, por tratar-se de leguminosa, é também usada como adubação verde (BAGGIO, 2002) para enriquecimento de solos e ainda, como quebra-vento em áreas de lavouras convencionais em sua região de ocorrência (CORADINI, SIMINSKI e REIS, 2011).

As suas folhas já foram amplamente estudadas e são comprovadamente tóxicas para os animais, principalmente quando ingeridas por bovinos e ovinos, podendo provocar abortos, insuficiência cardíaca e lesões do sistema nervoso ou até morte (RAFFI, et al. 2006; GARCIA Y SANTOS et al. 2004; GAVA et al., 2001; STIGGER, et al. 2001; KISSMAN E GROTH, 1999; STOLF et al., 1994) devendo, portanto, ser evitada em consórcio com animais. Outros autores afirmam que a espécie possui elevado potencial alelopático (PIESANTI et al, 2003) e ainda substâncias com poder citotóxico contra células humanas cancerígenas (YOKOSUKA et al., 2007).

3 METODOLOGIA GERAL DA PESQUISA

3.1 CARACTERIZAÇÃO GERAL DA ÁREA

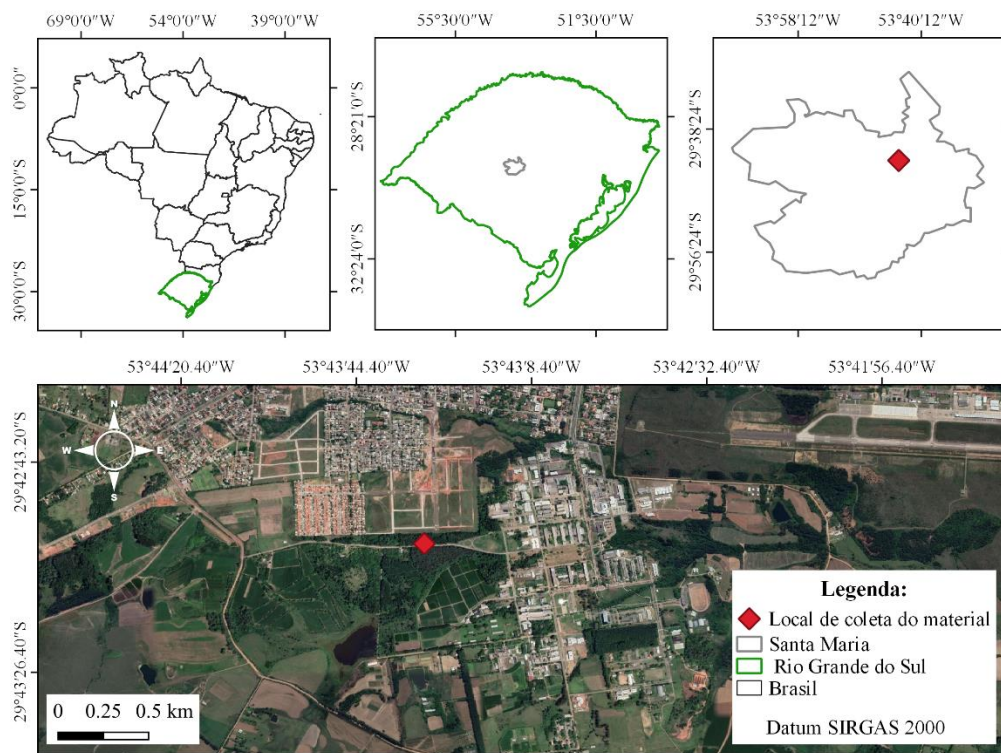
A seguir serão descritas as características do local de coleta e os procedimentos para obtenção da matéria-prima do estudo.

3.1.1 Localização geográfica

O campus da Universidade Federal de Santa Maria - UFSM situado no município de Santa Maria, Rio Grande do Sul, na região central do Estado, encontra-

se a aproximadamente 103m de altitude, com coordenadas de referência de 29°43'14,5" S e 53°42'53,6" O, conforme Figura 2. Localizada na região fisiográfica da Depressão Central do Estado em zona de transição com o Planalto Meridional, essa região apresenta duas topografias bem distintas (LONGHI, et al., 2000; REITZ, KLEIN e REIS, 1988) onde ocorrem feições geomorfológicas com declividades fortes chegando a relevo escarpado (Rebordo do Planalto), seguidas por coxilhas sedimentares com relevo suave ondulado a forte ondulado e várzeas de depósitos fluviais recentes com relevo plano. (DALMOLIN e PEDRON, 2009).

Figura 2 - Localização da área de coleta do material dentro do Campus da UFSM.



Fonte: A autora (2021).

No município de Santa Maria ocorrem basicamente dois tipos de formações vegetais, sendo elas muito distintas entre si sob os aspectos fisionômico, estrutural e florístico: os campos nativos nas regiões de vales, e a vegetação arbórea composta pela Floresta Estacional Decidual que cobre as escarpas da Serra Geral e vários morros, situados na Depressão Central (LONGHI, et al., 2000; MACIEL FILHO, 1977). A nova denominação para este tipo de floresta, segundo Schumacher et al. (2011), é

Floresta Estacional Subtropical, devido à perda das folhas por mais de 50% das espécies do dossel, quando no período do inverno, por causa do balanço hídrico.

Os solos predominantes no município de Santa Maria são os Argissolos, Planossolos e Neossolos, sendo mais expressivos na região do Campus, em Camobi, o tipo Argissolo Vermelho distrófico típico, que no geral são caracterizados pela baixa fertilidade natural e alta suscetibilidade à erosão (DALMOLIN e PEDRON, 2009).

3.1.2 Obtenção da matéria-prima

A espécie foi coletada no campus sede da Universidade Federal de Santa Maria. Os indivíduos de *Ateleia glazioviana* (Timbó) foram selecionados em área de plantio experimental misto de espécies nativas e exóticas, próximo ao Jardim Botânico. No total, foram suprimidas três árvores, escolhidas de forma visual pelo bom aspecto fitossanitário, com diâmetro médio (DAP) de 32cm e altura aproximada de 15 metros.

Para o corte, utilizou-se motosserra e motosserra desgalhadora com cabo extensível. Em seguida, o material foi transportado para o Laboratório de Produtos Florestais da UFSM, para ser desdobrado. Os discos de 5 cm nas posições 0,10 m e 1,30 m foram retirados no local da derrubada e separados para a determinação da densidade básica e análises químicas, e seccionadas as duas primeiras toras de 1,50 m e galhos mais grossos para os demais testes. Após 24 horas do corte, as toras foram desdobradas em serra fita de dois eixos para retirada das costaneiras e também para tábuas de 3 cm de espessura (para secagem), bem como o pranchão central com 8 cm para a confecção dos corpos de prova dos ensaios físicos e mecânicos.

Também foram retirados discos na base das árvores, a 0,10cm, utilizados para a determinação da idade, através da contagem dos anéis de crescimento, realizada no Laboratório de Manejo Florestal, o qual possui lupa e luzes especiais para este tipo de análise dendrocronológica.

3.1.3 Estrutura da pesquisa

Para o melhor entendimento desta pesquisa, adotou-se uma sequência de capítulos, cada qual com o objetivo de determinação das características da espécie

para diferentes mercados do setor madeireiro, com vistas ao uso múltiplo. Os capítulos foram dispostos da seguinte forma:

Capítulo I – PROPRIEDADES QUÍMICAS, FÍSICAS E MECÂNICAS DA MADEIRA DE *Ateleia glazioviana* BAILL.: determinação das características tecnológicas da madeira de *Ateleia glazioviana*, através das propriedades químicas, físicas e mecânicas.

Capítulo II – SECAGEM E QUALIDADE DA MADEIRA DE *Ateleia glazioviana* BAILL.: avaliação da secagem, ao ar livre e em estufa, de peças de madeira de *Ateleia glazioviana* por meio da determinação da taxa de secagem e análise dos defeitos resultantes, com a finalidade de conhecimento acerca do uso da espécie para serraria.

Capítulo III – USO ENERGÉTICO DA MADEIRA DE *Ateleia glazioviana* BAILL. NA FORMA DE BRIQUETES: caracterização energética da madeira, por meio da determinação do poder calorífico e análise química imediata e, avaliação da qualidade dos briquetes para geração de energia sustentável.

Capítulo IV – PAINÉIS AGLOMERADOS PRODUZIDOS COM MADEIRA DE *Ateleia glazioviana* BAILL.: avaliação das propriedades tecnológicas de painéis de partículas de madeira confeccionados com a espécie como alternativa ao uso da madeira maciça.

Conforme as finalidades de uso da madeira definidas pelos capítulos, adotaram-se diferentes equipamentos para obtenção do material, de acordo com a Tabela 1.

Tabela 1 – Demonstrativo da obtenção do material para os testes realizados em cada capítulo.

Testes/Usos	Sequência de obtenção	Equipamentos	Quantidade de corpos de prova
Idade da árvore	Discos a 0,10m	Motosserra	1 de cada árvore
Densidade básica	Cunhas opostas de discos a 1,30m	Motosserra para obtenção dos discos e serra fita para corte em formato de cunhas	2 cunhas de cada disco
Propriedades químicas	Cunhas opostas de discos a 1,30 m e posterior transformação em serragem	Motosserra para obtenção dos discos e serra fita para corte em formato de cunhas. Picador Flake e moinho tipo Wiley para a transformação em serragem	2 cunhas de cada disco
Propriedades físicas	Pranchão central resserrado em corpos de prova	Após o desdobro em pranchão central foram utilizadas serra circular e destopadeira	Anisotropia 17 cps

Propriedades mecânicas	Pranchão central reserrado em corpos de prova	Após o desdobro em pranchão central foram utilizadas serra circular e destopadeira	Flexão estática 22 cps Flexão dinâmica 30 cps
Tábuas para secagem	Tábuas de dimensões 64,0 x 10,0 x 2,5cm	Serra fita + serra circular + destopadeira + desempenadeira + desengrossadeira	13 peças para secagem ao ar livre e 13 peças para estufa
Produção de briquetes	Tábuas e discos sem casca	Picador Flake e moinho tipo Wiley para a transformação das peças em serragem. Briquetadeira para formação dos briquetes	10 briquetes por tratamento
Análise química imediata	Tábuas	Picador Flake e moinho tipo Wiley para a transformação em serragem	3 repetições por análise
Produção de painéis	Tábuas e discos sem casca	Picador Flake e moinho de martelos para a transformação das peças em partículas	3 painéis por tratamento

Fonte: A autora (2021).

Posteriormente aos referidos capítulos, as considerações finais fazem uma abordagem geral dos resultados alcançados em cada linha de pesquisa com o intuito de resumir as conclusões obtidas para o uso múltiplo da madeira de *A. glazioviana*.

4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIPA. Associação Brasileira da Indústria de Painéis de Madeira – ABIPA. Números. 2015. Disponível em: <http://www.abipa.org.br/números.php>.

BAGGIO, J. A. Timbó: uma alternativa para a produção perene de adubo verde. **Circular Técnica**, nº 68, Embrapa. ISSN 1517-5278. Colombo. PR, Dezembro, 2002.

BEN. Balanço Energético Nacional: Empresa de Pesquisa Energética. 2020. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>
Acesso em: 02/01/2021.

BRAINER, M. S. C. P. Setor moveleiro: aspectos gerais e tendências no brasil e na área de atuação do bnb. **Caderno Setorial**: ETENE, ano 3, n 34, junho, 2018. Disponível em: https://www.bnb.gov.br/documents/80223/3585904/moveis_34-2018.pdf/f0e0657f-a6c2-db33-f139-04d95692453e. Acesso em: 17/01/2021.

BRITO, J. O. O uso energético da madeira: Estudos Avançados, 21 (59). 2007. Disponível em:
<https://www.scielo.br/j/ea/a/VJ7X8vqjmj8LZWzZzzKx6wdj/?lang=pt&format=pdf>.
Acesso em: 03/05/2021.

CARNEIRO, A. C. O. et al. Potencial energético da madeira de *Eucalyptus* sp. Em função da idade e de diferentes materiais genéticos. **Revista Árvore**, Viçosa, MG: v.38, n.2, p.375-381, 2014.

CARPANEZZI, A. A. Manual técnico da Bracatinga (*Mimosa scabrella* Benth). **EMBRAPA**, CNPF, Curitiba, 1988. 70p.

CARVALHO, P. E. R. Espécies arbóreas brasileiras. Embrapa: **Informação Tecnológica**. Coleção Espécies Arbóreas Brasileiras, v.1. p. 1039. Colombo, PR: Embrapa Florestas, 2003.

CARVALHO, P. E. R. Espécies florestais brasileiras: recomendações silviculturais, potencialidades e usos da madeira. Colombo: Embrapa - CNPF; Brasília: Embrapa-SPI, 640p.,1994.

CORADINI, L.; SIMINSKI, A.; REIS, A.; **Espécies Nativas da Flora Brasileira de Valor Econômico Atual ou Potencial: Plantas para o Futuro - Região Sul**. 1ª ed. v. 1, p. 13-934. Brasília: MMA, 2011. Também disponível em: <http://www.creasp.org.br/biblioteca/wp-content/uploads/2012/11/Regiao_Sul.pdf>.

DALMOLIN, R. S. D.; PEDRON, F. A. Solos do município de Santa Maria: História Natural de Santa Maria. **Ciência e Ambiente**. Santa Maria, n 38, p. 59-77, jan-jun, 2009.

EMBRAPA. **Serviços ambientais em sistemas agrícolas e florestais do Bioma Mata Atlântica**. Lucilia Maria Parron ... [et al.], editores técnicos. p. 370, Brasília, DF: Embrapa, 2015.

FBCN, Fundação Brasileira para a Conservação da Natureza. Boletim FBCN, v. 15, p. 26-35, Rio de Janeiro,1980.

FAPESP. **A maior diversidade de plantas do mundo**. Edição 241, março, 2016. Disponível em: <http://revistapesquisa.fapesp.br/2016/03/21/a-maior-diversidade-de-plantas-do-mundo/>. Acesso em: 06 Jan. 2019.

FENERICK, D. C.; SILVA, J. C. da; SACOMANO, L. C. P.; SOARES, L. R.; PANDOLFI, M. A. C. Cadeia produtiva de briquetes: competitividade no mercado, processo de produção e projeção em longo prazo. **Revista Interface Tecnológica**, [S. l.], v. 16, n. 1, p. 437-448, 2019.

FERRO, F. S. et al. 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, jul./set., 2019.

FILHO, E. P.; P. E. T. SANTOS. Escolha de cultivares de eucaliptos em função do ambiente e do uso. EMBRAPA: **Comunicado Técnico** n. 316. Colombo/PR, Out, 2013.

Flora do Brasil 2020 em construção. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/>. Acesso em: 06 Jan. 2019.

FONTANA, C., SEVEGNANI, L. Quais são as espécies arbóreas comuns da floresta estacional decidual em Santa Catarina? **REA – Revista de estudos ambientais**, ISSN 1983 1501, v.14, n.1, p. 74-88, 2012.

FRANK FILHO, F. H. **Seleção de espécies arbóreas nativas de região Sul do Brasil para reflorestamento e emprego na arquitetura e no design**. Dissertação (Mestrado) - Mestrado Profissionalizante em Engenharia - UFRGS. Porto Alegre, RS. 2005.

FRIEDERICH, G. et al. Qualidade da madeira e do carvão vegetal de bracatinga (*Mimosa scabrella* Benth.). **Ciência da Madeira**. Santa Maria, v. 6, n. 2, p. 79-87, 2015.

GARCÍA Y SANTOS, M. C. et al. Lesões perinatais em bovinos na intoxicação experimental por *Ateleia glazioviana* (Leg.Papilionoideae). **Pesquisa Veterinária Brasileira**. Pelotas, v. 24, n. 3, p. 178-184, 2004.

GAVA, A. et al. Intoxicação por *Ateleia glazioviana* (Leg. Papilionoideae) em bovinos. **Pesquisa Veterinária Brasileira**. Lages, v. 21, n. 2, p. 49-59, 2001.

GONÇALVES, T. S. A floresta estacional decidual no Brasil: distribuição geográfica e influência dos aspectos pedogeomorfológicos na vegetação. **Revista Monografias Ambientais – REMOA**. v.14, n.1, p.144-153, Jan-Abr, 2015.

IWAKIRI, S. et al. **Painéis de madeira aglomerada**. In: IWAKIRI, S. (Org.). Painéis de madeira reconstituída. Curitiba: FUPEF, p. 137-182. 2005.

JESUS, M. S. et al. Caracterização energética de diferentes espécies de Eucalyptus. **FLORESTA**, Curitiba, PR, v. 47, n. 1, p. 11 - 16, jan. / mar. 2017.

KISSMANN, K.G.; GROTH, D. Plantas infestantes e nocivas. 2. ed. São Paulo: BASF, t. 2. 978 p. 1999.

LONGHI, S. J. et al. Aspectos fitossociológicos de fragmento de floresta estacional decidual, Santa Maria, RS. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.10, n.2, p.59-74, 2000.

LONGHI, R. A. **Livro das árvores: árvores e arvoretas do sul**. Porto Alegre: L&PM, 1995. 176 p.

LONGUE JUNIOR, D. COLODETTE, J. L. Importância e versatilidade da madeira de eucalipto para a indústria de base florestal. **Pesq. flor. bras.**, Colombo, v. 33, n. 76, p. 429-438, out.- dez., 2013.

MACIEL FILHO, C. L. Caracterização geotécnica das formações sedimentares de Santa Maria, RS. 1977. 123f. Dissertação (Mestrado em Geologia- Universidade Federal do Rio de Janeiro, 1977.

MARCHIORI, J. N. C. A vegetação em Santa Maria: História Natural de Santa Maria. **Ciência e Ambiente**, n 38, p. 93-112, jan-jun, 2009.

MATTOS, P. P.; PEREIRA, J. C. D.; SCHAITZA, E. G.; TEIXEIRA, L.L.; FERRON, R. M. Caracterização física, química e anatômica da madeira de timbó (*Ateleia glazioviana*). **Embrapa, Comunicado Técnico**, n. 47, p. 2-6, 2000.

PIESANTI, R.; SAUSEN, T.; RAMPANELI, M. L.; JACOBI, U. Avaliação do potencial alelopático de *Ateleia glazioviana* Baill. (Timbó). In: Reflorestamento e recuperação ambiental. **Biodiversidade e culturas: a gestão ambiental em foco**. Ijuí, RS: editora Unijuí, Ijuí, RS, p. 165-173, 2003.

RAFFI, M. B.; RECH, R. R.; SALLIS, E. S. V.; RODRIGUES, A.; BARROS, C. S. Miocardiopatia crônica e degeneração esponjosa do encéfalo em ovinos intoxicados experimentalmente por *Ateleia glazioviana*. **Ciência Rural**. Santa Maria, v.36, n 6, nov./dec, 2006.

RAMBO, B. A fisionomia do Rio Grande do Sul. 3. ed. São Leopoldo: ed. Unisinos, 2000. 473p.

REITZ, R.; KLEIN, R. M.; REIS, A. **Projeto madeira do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura e Abastecimento, 525 p. 1988.

REMADE. Revista da Madeira: Espécies tropicais promissoras. Edição nº 108, out. 2007. Disponível em:
http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=1164&subje.
Acesso em: 03/01/2019.

SCHUMACHER, M. V. et al. (Org.). **A Floresta Estacional Subtropical: caracterização e ecologia no rebordo do Planalto Meridional**. Santa Maria: Pallotti, 2011. 320p.

SILVA, D. A. da; CARON, O. B; BHEING, A.; QUEIRÓZ DE SOUZA, V., ELOY, E. Ponto de amostragem ao longo do fuste para estimativa do poder calorífico da madeira. **Ciência Rural**, v.42, n.9, p.1588-1595, set., 2012.

SOARES, T. S.; FIEDLER, N. C.; SILVA, J. A.; GASPARINI JÚNIOR, A. J. Produtos florestais não madeireiros. **Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal**. n. 11, fev, 2008.

SOBRAL, M.; JARENKOW, J. A.; BRACK, P.; IRGANG, B.; LAROCCA, J.; RODRIGUES, R. S. **Flora arbórea e arborescente do Rio Grande do Sul, Brasil**. São Carlos, RiMA/Novo Ambiente. 2006.

STIGGER, A. L. et al. Intoxicação experimental por *Ateleia glazioviana* (Leg. Papilionoideae) em ovinos. **Pesquisa Veterinária Brasileira**. Rio de Janeiro, v. 21, n. 3, p. 98-108, 2001.

STOLF, L. et al. Aborto em bovinos causado pela ingestão de *Ateleia glazioviana* (Leg. Papilionoideae). **Pesquisa Veterinária Brasileira**. Rio de Janeiro, v. 14, n. 1, p. 15-18, Jan/Mar, 1994.

TEIXEIRA, E. C. et al. Potencial energético da madeira de clones de eucalipto em diferentes espaçamentos. **Research, Society and Development**, v. 9, n.7, 2020.

YOKOSUKA, A. et al. Glaziovianin A, a new isoflavone, from the leaves of *Ateleia glazioviana* and its cytotoxic activity against human cancer cells. **Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters**. v. 17, Issue 11, 1, June, p. 3091-3094. 2007.

5 CAPÍTULO I: PROPRIEDADES QUÍMICAS, FÍSICAS E MECÂNICAS DA MADEIRA DE *Ateleia glazioviana* BAILL.

5.1 INTRODUÇÃO

A madeira é um material único que possui características técnicas, econômicas e estéticas dificilmente encontradas em outros materiais, possibilitando a sua utilização em diversos segmentos industriais. (COSTA et al., 2017; ROCHA et al., 2015).

O conhecimento das propriedades tecnológicas das madeiras é fundamental para definir adequadamente as aplicações a que serão destinadas. Esses parâmetros juntamente a outros fatores (resistência biológica, trabalhabilidade, valor econômico de mercado, estético) permitem que as madeiras sejam classificadas para os usos a que se mostram mais apropriadas, sendo aplicadas como peças estruturais, em ambientes internos e externos, móveis, painéis, embalagens e outros (ARAÚJO, 2007).

A caracterização química apresenta implicações tecnológicas, tais como influência no processo de colagem da madeira e aproveitamento de resíduos para produção de energia (BUFALINO et al., 2012). Seu conhecimento faz-se importante devido aos efeitos dos constituintes químicos da madeira, como os extrativos, sobre a sua utilização, se referindo aqui como o aumento da sua durabilidade, coloração, e no quesito de influência no processo de colagem (LIMA et al., 2007). Os teores de lignina, holocelulose e teor de cinzas também são aspectos importantes para o conhecimento da espécie.

De acordo com Cezaro, Trevisan e Balbinot (2016) para a avaliação da qualidade da madeira, as propriedades de densidade, a retratibilidade e a resistência aos esforços de flexão estática podem ser consideradas as características mais importantes dentre os parâmetros físico-mecânicos e seus valores expressam a combinação de diversos fatores, incluindo a constituição morfológica, anatômica e química do material.

A variação dimensional da madeira é uma característica importante, definida pela contração ou inchamento quando da perda ou ganho de água, que ocorrem abaixo da umidade de saturação das fibras. A contração longitudinal é geralmente desconsiderada, por ser muito pequena; já a contração tangencial costuma ser maior

que a radial (VALE, DIAS e SANTANA, 2010). Segundo Araújo (2007), a contração tangencial é definida como a retração da dimensão da madeira na direção tangencial aos anéis de crescimento, ou na direção perpendicular aos raios, que ocorre quando o teor de umidade passa de saturado para seco. Já a contração radial é definida pelo mesmo autor como a retração da dimensão da madeira na direção longitudinal aos raios, ou na direção perpendicular aos anéis de crescimento.

Na determinação das propriedades mecânicas, o ensaio de flexão estática fornece informações úteis para o cálculo de estruturas, pois com ele é possível determinar o módulo de elasticidade - MOE (SCANAVACA JÚNIOR e GARCIA, 2004), que é de grande importância na caracterização tecnológica da madeira, pois estima a resistência do material. O MOE é fundamental para a relação com os usos estruturais, como em construção civil (OLIVEIRA e SALES, 2005). Um dos fatores mais utilizados, o módulo de elasticidade indica o grau de rigidez da madeira e está relacionado com a densidade e com todas as propriedades mecânicas (SCANAVACA JÚNIOR, 2001).

Já a determinação da resistência à flexão dinâmica busca determinar a capacidade da madeira em absorver o impacto provocado por tensões além do limite proporcional, também conceituada como resistência ao impacto, realizando a absorção da energia e dissipando-a por meio de deformações (MORESCHI, 2012).

Dentre as diversas atividades que utilizam madeira como matéria-prima, o setor de construção civil é um dos mais exigentes em termos de propriedades físicas, mecânicas e aspectos visuais, o que restringe a sua utilização a um pequeno número de espécies que possuem características aceitas por construtores e consumidores (COSTA et al., 2017; ROCHA et al., 2015). Haselein et al. (2002) destacam que as propriedades mecânicas da madeira são influenciadas por diversos fatores, dentre estes, a posição na árvore, a umidade, o tempo de duração da carga e a estrutura anatômica da madeira.

Apesar de toda a diversidade existente no Brasil, os plantios florestais baseiam-se em um número pequeno de espécies exóticas introduzidas. Para promover novas espécies no mercado é necessária uma série de informações que fundamentam sua utilização, principalmente sobre propriedades tecnológicas da madeira. A determinação das características químicas, físicas e mecânicas das madeiras são importantes para decidir sobre o seu uso adequado, com isso, aumentando o número de espécies a serem utilizadas e diminuindo a pressão sobre as mais comercializadas. Também favorece o manejo florestal, pois com o aumento do número de espécies

potenciais, é possível aumentar a produção por unidade de área e adotar mais opções de colheitas (REIS, 2017).

Nesse sentido, esse capítulo teve o objetivo principal de determinar as características tecnológicas da madeira de *Ateleia glazioviana*, espécie ainda pouco referenciada. Com o conhecimento das características químicas, físicas e mecânicas, espera-se, assim, aumentar os dados científicos disponíveis sobre a madeira e incentivar o plantio dessa espécie nativa, além de fundamentar novas pesquisas no sentido de ampliar a diversificação de madeiras no setor florestal. Afinal, o fortalecimento das cadeias produtivas ocorre por meio da consolidação de mercado e o desenvolvimento de ações de pesquisa, fatores essenciais para a promoção do uso de espécies com potenciais pouco explorados.

5.2 MATERIAL E MÉTODOS

5.2.1 Coleta do material

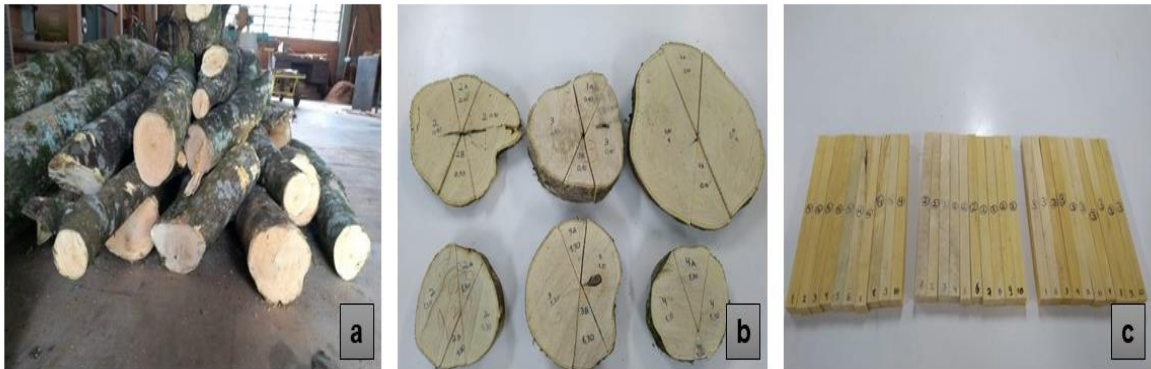
Neste estudo foi utilizada a madeira de *Ateleia glazioviana* (Timbó) coletada no município de Santa Maria, centro geográfico do Estado do RS. O clima na região é do tipo Cfa, subtropical úmido, segundo o sistema de Köppen (MORENO, 1961). Anualmente, a precipitação média é de 1.712 mm e a temperatura média de 19,1 °C (HELDWEIN, BURRIOL e STRECK, 2009).

A coleta foi realizada no campus da UFSM, sede em Santa Maria/RS, tendo sido selecionadas três árvores de *Ateleia glazioviana*, próximas ao Jardim Botânico, em área experimental com espécies nativas e exóticas. As coordenadas geográficas do local são 29°43'0.47"S e 53°43'30.38"O.

O processo de seleção das três árvores foi realizado de forma visual, considerando a fitossanidade e porte das mesmas. As árvores selecionadas possuíam DAP médio de 32cm, 15m de altura e 25 anos de idade, dado verificado por meio de análise dendrocronológica. Foram separados os discos a 0,10m (utilizado na dendrocronologia) e discos a 1,30m de altura para determinação da densidade básica e das propriedades químicas (Figura 3). Após 24 horas do corte, as árvores foram desdobradas no Laboratório de Produtos Florestais do Departamento de Engenharia Florestal da UFSM. A sequência de desdobro foi realizada em serra fita de dois eixos para retirada das costaneiras e de tábuas, além do pranchão central com 8 cm para a

confeção dos corpos de prova dos ensaios físicos e mecânicos. O pranchão central passou pela sequência de serra fita, serra circular e destopadeira para o dimensionamento dos corpos de prova.

Figura 3 – Preparo do material para a caracterização das propriedades tecnológicas.



Fonte: a autora (2018). a) Toras selecionadas b) Cunhas para a determinação da densidade básica e propriedades químicas c) Corpos de prova para determinação das propriedades mecânicas.

5.2.2 Caracterização tecnológica da madeira

A caracterização tecnológica da madeira incluiu análises da composição química e ensaios físicos e mecânicos.

5.2.2.1 Propriedades químicas

Das árvores, foram cortados discos de 5 cm de espessura a 1,30m de altura para realização das análises químicas, sendo utilizadas as 2 cunhas opostas, sem casca, de acordo com a metodologia descrita na norma TAPPI 264 (1997). As cunhas foram reduzidas a partículas em equipamento picador de facas e, posteriormente, foram transformadas em serragem em moinho de facas tipo Wiley. O material foi classificado em peneira vibratória com aproveitamento da fração que passou pela peneira 40 mesh e ficou retido na peneira 60 mesh, sendo então armazenado em vidros para manter o teor de umidade até a realização das análises.

A determinação do teor de umidade do material foi realizada em balança de infravermelho. As análises químicas foram realizadas no Laboratório de Química da Madeira – LAQUIM, anexo ao LPF da UFSM e seguiram as normas da tabela abaixo (Tabela 2).

Tabela 2 – Procedimentos utilizados para a determinação da composição química da madeira.

Análises	Norma TAPPI
Teor de umidade	T210 cm-93
Lignina	T222 om-98
Extrativos totais	T264 cm-97
Teor de cinzas	T211 om-93
Holocelulose	T203 cm-99
Alfa-celulose	T203 cm-99
Hemicelulose	Por diferença*

Legenda: TAPPI=Technical Association of the Pulp and Paper Industry. Por diferença*=Holocelulose – Alfa-celulose. Fonte: a autora (2021).

5.2.2.2 Propriedades físicas

5.2.2.2.1 Densidade básica e aparente

Foram utilizados discos das 3 árvores suprimidas (altura a 0,10m e DAP), os quais foram cortados em cunhas, selecionadas as partes sem defeitos (sem nós, rachaduras, podridão) e tiveram a casca retirada. Seguindo a norma ABCP M14/70 (1968), os discos foram imersos em água e, posteriormente, as cunhas saturadas foram pesadas em balança hidrostática para determinação do volume. Em seguida foram alocadas em estufa com temperatura de 50°C e posteriormente a 103°C, onde permaneceram até a estabilização para a obtenção do peso seco. A densidade básica foi obtida pela relação entre o peso completamente seco e o volume saturado.

Para o cálculo de densidade aparente a 12% foi utilizada a norma COPANT 461 (1972) e Equação 1. Foram confeccionados corpos de prova com dimensões nominais de 100x25x25mm. As amostras foram climatizadas em câmara com umidade e temperatura controladas, até a estabilização de 12% de teor de umidade e, em seguida, foram determinados seus pesos e volumes, através de pesagem em balança e medição com paquímetro, respectivamente.

$$Da = \frac{P_{12\%}}{V_{12\%}} \quad \text{Equação 1}$$

Em que:

Da = densidade aparente (g/cm³);

P12% = peso das amostras com 12% de umidade;

V12% = volume das amostras com 12% de umidade (cm³).

5.2.2.1.2 Retração da madeira

Para esta análise foi retirado o pranchão central da primeira tora de cada árvore com as seguintes dimensões: 1800x10x10mm e a partir deste foram confeccionados os corpos de prova de 100x25x25mm. A determinação da retração da madeira seguiu as especificações da COPANT 462 (1972). Foram determinadas as retrações tangencial, radial, axial e volumétrica e ainda, a anisotropia da madeira.

Os cálculos foram realizados por meio da Equação 2:

$$\beta(r, t, l) = \frac{Dv - Ds}{Dv} * 100 \quad \text{Equação 2}$$

Em que:

$\beta(r, t, l)$ = contração, em uma dada direção – radial, tangencial, longitudinal (%);

Dv = dimensão verde, em uma dada direção (cm)

Ds = dimensão seca, em uma dada direção (cm)

A contração volumétrica foi dada pela diferença entre o volume no estado saturado de umidade e no estado seco, em relação ao volume da madeira no estado saturado de umidade, conforme Equação 3.

$$\beta_{vol} = \frac{Vv - Vs}{Vv} * 100 \quad \text{Equação 3}$$

A partir da contração tangencial (β_t) e da contração radial (β_r) determinou-se o coeficiente de anisotropia (CA), conforme Equação 4.

$$CA = \frac{\beta_t}{\beta_r} \quad \text{Equação 4}$$

Em que:

CA= coeficiente de anisotropia (adimensional);

β_t = contração tangencial (%)

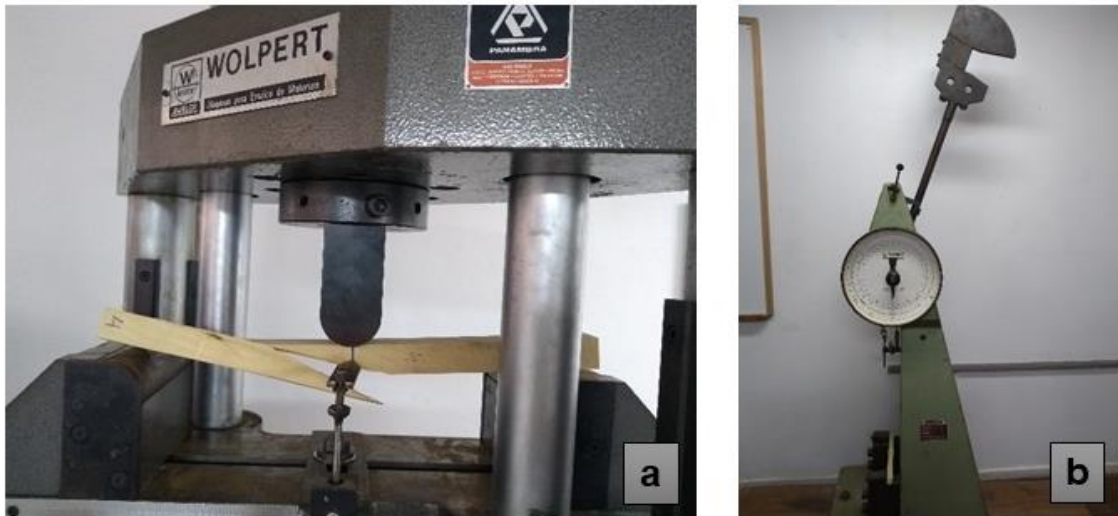
β_r = contração radial (%).

5.2.2.3 Propriedades mecânicas

A confecção, o dimensionamento e o condicionamento dos corpos de prova para flexão estática seguiram o descrito pela norma D143-94 - ASTM (2000), e foi avaliada, respectivamente, pelo módulo de elasticidade – MOE e pelo módulo de ruptura – MOR. A flexão dinâmica seguiu a norma NF B51009 da Association Francaise de Normalization (AFN, 1942). No total, foram utilizados 22 corpos de prova para os ensaios de flexão estática (dimensões: 41x2,5x2,5cm) e 30 corpos de prova para o ensaio de flexão dinâmica (dimensões: 30x2x2cm).

Antes dos ensaios, os corpos de prova foram acondicionados em câmara climatizada a temperatura de 20°C e 65% de umidade relativa, em que permaneceram até atingirem a umidade de equilíbrio, estabilizando seu peso. O ensaio de flexão dinâmica foi realizado no pêndulo de Charpy e os demais foram executados na Máquina Universal de ensaios mecânicos no Laboratório de Produtos Florestais, da Universidade Federal de Santa Maria (Figura 4).

Figura 4 - Ensaio para determinação das propriedades mecânicas da madeira.



Fonte: a autora (2021). a) Ensaio de flexão estática b) Pêndulo Charpy para ensaio de flexão dinâmica.

Além do trabalho absorvido (W) resultante do ensaio direto no Pêndulo de Charpy, estimou-se também, com base na norma da Association Francaise de Normalization (AFN, 1942), o coeficiente de resiliência (K) e a cota dinâmica (CD), com aplicação das Equações 5 e 6. Ainda, determinou-se a flexão dinâmica (f_{bw}) de acordo com a NBR 7190 (ABNT, 1997), por meio da Equação 7.

$$K = \frac{W}{b \cdot \left(\frac{10}{h^{16}}\right)} \quad \text{Equação 5}$$

Em que:

K = coeficiente de resiliência (MPa.m);

W = trabalho absorvido para romper o corpo-de-prova (J);

b e h = dimensões transversais do corpo-de-prova (cm).

$$CD = \frac{K}{\rho_{aparente}^2} \quad \text{Equação 6}$$

Em que:

CD = cota dinâmica;

K = coeficiente de resiliência (MPa.m);

ρ_{ap} = densidade aparente (g/cm^3).

$$f_{bw} = \frac{1000.W}{b.h}$$

Equação 7

Em que:

f_{bw} = resistência ao impacto, em KJ/m²;

W=energia para romper o corpo-de-prova (trabalho absorvido), em Joules (J);

b e h = dimensões transversais do corpo-de-prova (mm).

5.2.3 Análise dos dados

Para interpretação dos dados, utilizou-se estatística descritiva, em que os resultados obtidos para as propriedades físicas, mecânicas e químicas da madeira foram tabulados e analisados por meio dos valores mínimos, máximos, médios e coeficiente de variação.

5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.3.1 Propriedades químicas

Os resultados dos teores dos constituintes da madeira são expressos na Tabela 3.

Tabela 3 – Propriedades químicas da madeira de *A. glazioviana*.

CONSTITUINTE	TEOR (%)	CV (%)
Lignina	22,41	0,8
Extrativos totais	6,40	4,5
Holocelulose	75,62	0,9
Hemicelulose	29,09	0,4
Alfa-celulose	45,86	1,7
Cinzas	1,18	4,3

Legenda: Coeficiente de Variação (CV).

Fonte: A autora (2021).

Para utilização da madeira como fonte de energia, Protásio et al. (2011), afirma que a presença de holocelulose é indesejável, haja vista que há tendência de decréscimo do poder calorífico superior quando o componente estiver presente em altos teores. Já Scalet (2015), complementa que o teor de lignina também está diretamente ligado ao potencial energético da madeira, e que a maior presença de lignina proporciona tempo de queima prolongada, onde, o teor da madeira de timbó de 22,41%. Destaca-se ainda, a presença de altos teores de extrativos (6,40%), característica vantajosa para essa finalidade, devido ao elevado poder calorífico desses componentes (BUFALINO et al., 2012). Pode-se atribuir aos extrativos o cheiro forte e desagradável da madeira quando verde.

Para a potencialidade de produção de celulose, os teores de alfa-celulose, quando em porcentagens altas, são parâmetros para definição das espécies. O timbó neste estudo, apresentou médias menores que 50% para alfa-celulose, o que não é apropriado para tal finalidade, e ainda, neste caso prejudicial, pode-se citar a presença de altos teores de extrativos. Segundo Morais et al. (2005) para a produção de celulose, os extrativos são compostos indesejáveis, pois reduzem o rendimento e qualidade da polpa.

Ainda sobre o teor de extrativos, Severo, Calonego e Sansigolo (2006) afirmam que a acentuada presença desses compostos inviabiliza a cura do cimento quando se utiliza tábuas como formas em construções, e alteram ou comprometem a utilização de tintas e vernizes, pois interferem na cura, na penetração e na polimerização dos adesivos.

A literatura apresenta um teor de cinzas em torno de 0,5% nas madeiras em geral (FENGEL e WEGENER, 1989), constituinte altamente relacionado ao local de plantio. A presença de 1,18% de cinzas é considerada alta. Valor próximo quando comparado à madeira de *Pinus oocarpa*, com valor médio de 1,26%, o que indica que esta possui um teor de compostos inorgânicos elevado (MORAIS, NASCIMENTO e MELO, 2005). Segundo Silva et al. (2017) as cinzas não são desejadas, principalmente, no setor de siderurgia porque alguns dos minerais presentes na madeira são prejudiciais aos processos de produção.

Coldebella et al. (2018) determinaram para a espécie tajuva (*Maclura tinctoria*), também encontrada na mesma formação florística, Estacional Decidual, e com densidade semelhante (0,54 g/cm³) à do presente estudo, a composição de 1,2% de cinzas, 12,6% de extrativos totais, hemicelulose 31% e holocelulose 71% e ainda, 17,6% de lignina.

Em comparação ao gênero mais plantado no país, Eucalyptus, na literatura podem ser encontrados teores de lignina que variam de 27,6 a 30,5% para diversas espécies do gênero (TRUGILHO, 2009), médias próximas ao obtido no presente estudo de timbó. O híbrido *E. grandis* X *E. urophylla* estudado por Soares et al. (2015), apresentou para teor de extrativos, o valor de 9,43%, 21,97% para lignina e teor de cinzas de 0,18%. Para *E. benthamii*, Silva et al. (2015) encontraram 0,24% para o teor de cinzas. Em *E. citriodora* teores de 7,29% para extrativos, 23,31% para lignina, 69,40% de holocelulose (SEVERO, CALONEGO e SANSIGOLO, 2006). Portanto, valores comparáveis com o presente estudo, exceto para teor de cinzas, onde o timbó obteve média mais elevada.

Segundo Barros (2016), as propriedades da madeira são resultantes de um conjunto de fatores que envolvem a organização estrutural, higroscopicidade e composição química, as quais conferem características específicas da madeira. Pettersen (1984) complementa que existe certa variação dos componentes químicos em relação às diferentes alturas da planta, tipo de lenho, localização geográfica, clima e solos.

5.3.2 Propriedades físicas

A madeira deste estudo, com 25 anos, classifica-se como de média densidade, conforme Tabela 4. Segundo Melo, Coradim e Mendes (1990) a densidade da madeira é classificada em três faixas: leve ($\leq 0,51 \text{ g/cm}^3$), média (0,51 a 0,72) e alta ($\geq 0,73 \text{ g/cm}^3$).

De acordo com o mesmo autor, considerando as propriedades da madeira, desde a identificação da espécie até a definição de seu uso, a densidade é considerada o melhor indicativo devido ao baixo custo para sua determinação, em razão de não requerer aparelhos ou máquinas complexas.

Tabela 4 – Propriedades físicas da madeira de *A. glazioviana*.

Variáveis	Meb	Mea	β Tangencial	β Radial	β Longitudinal	β Volumétrica	Anisotropia
Média	0,58	0,74	9,9	5,7	0,2	15,1	1,7
CV	(3%)	(1,9%)	(9,1%)	(10,4%)	(6,2%)	(4,2%)	(17%)

Legenda: Massa específica básica – Meb (g/cm^3), Massa específica aparente – Mea (g/cm^3) a 12% de umidade, Contrações (β) radial, tangencial, longitudinal e volumétrica (%) e Anisotropia (adimensional).
Fonte: A autora (2021).

Para a madeira estudada, o valor médio de contração tangencial encontrado foi de 9,9% e para a contração radial o resultado obtido foi de 5,7%. A contração longitudinal não é preocupante, sendo na maioria das espécies menor que 1%, neste caso bem inferior, com resultado de 0,2%.

A classificação para a contração volumétrica foi de média retração, pois o resultado de 15,1% situou-se na faixa entre 12,3% e 19,4% (Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1985).

A anisotropia se deve à composição dos elementos e suas disposições na formação do lenho, formando três planos – tangencial, radial e longitudinal – e cada plano reage de forma diferente tanto a cargas aplicadas quanto à secagem, podendo assim gerar defeitos nas peças. A mudança nas dimensões das peças de madeira em decorrência da variação no teor de umidade é de grande importância na secagem, a qual tem um efeito direto na utilização final do produto (BRATZ et al., 2015; USTA e GURAY, 2000).

Portanto, o parâmetro usualmente adotado para medir o grau de retratibilidade da madeira e conseqüentemente sua qualidade é o coeficiente de anisotropia. De forma geral, quanto mais próximo de 1 (um), melhor será a trabalhabilidade da espécie (DURLO e MARCHIORI, 1992; SCANAVACA JÚNIOR e GARCIA, 2004). Sendo este parâmetro classificado por Galvão e Jankowski (1998) de acordo com as seguintes faixas: $\leq 1,5$ (madeira muito estável); de 1,6-2,0 (média a baixa); de 2,0-2,5 (média a alta); $\geq 2,6$ (madeira muito instável). Observando isto, o Timbó classifica-se como madeira de média a baixa instabilidade, por seu coeficiente de anisotropia resultante ser de 1,7, ou ainda, considerado normal, segundo Durlo & Marchiori (1992). Trabalhando com a mesma espécie, Tomasi et. al. (2013) encontraram densidade básica igual a $0,51\text{g/cm}^3$ e o coeficiente anisotrópico de 1,74.

Características como a retração volumétrica, indicam que a madeira poderia ser aplicada na marcenaria, em função da média-baixa movimentação dimensional, indicando-se a possibilidade para ser utilizada com maior aproveitamento na construção civil em ambientes internos. Devido à tortuosidade do tronco, característica presente em árvores nativas não manejadas, que reduz o rendimento no desdobro, sugere-se o uso, por exemplo, para portas, forros, rodapés, onde peças de menores dimensões podem ser aproveitadas.

Resultados semelhantes para comparação são reportados por Barros (2016), com a madeira de *Inga* sp., onde a densidade básica foi de $0,58\text{g/cm}^3$, e os parâmetros de contração tangencial igual a 9,6%, radial 4,1% e volumétrica de 12%. No estudo realizado por Cezaro, Trevisan e Balbinot (2016) para a espécie *Chrysophyllum marginatum* (Aguai), com densidade de $0,59\text{ g/cm}^3$, os autores encontraram o valor médio de contração volumétrica de 12,4%. A espécie *Mimosa scabrella* (bracatinga) estudada por Friederich et al. (2015) apresentou $0,58\text{ g/cm}^3$ de massa específica básica. O guapuruvu (*Schizolobium parahyba*) possui densidade básica de $0,49\text{ g/cm}^3$ e densidade aparente de $0,47\text{ g/cm}^3$, e os valores de contração volumétrica igual a 11,1%, tangencial de 5,12% e radial de 4,3% e, anisotropia igual a 1,19 (LPF, 2014).

Segundo dados do LPF (2014), podemos citar outras espécies nativas potenciais de ocorrência na mesma região fitoecológica, porém mais densas, por exemplo, a cabreúva (*Myrcarpus frondosus*) apresenta contração volumétrica de 11,3%, tangencial de 7% e radial de 4,4%. Ainda, com a densidade básica de $0,78\text{ g/cm}^3$ e densidade aparente de $0,92\text{ g/cm}^3$. Sendo o valor de 1,59 para anisotropia. Na mesma fonte de dados, encontra-se a grápia (*Apuleia leiocarpa*), mais densa ($0,75$

g/cm³) porém não tão estável quando comparada ao Timbó, apresentando contração volumétrica de 15,9%, tangencial de 10,1% e radial de 6,5%.

5.3.3 Propriedades mecânicas

Todos os resultados apresentados na Tabela 5 mostram que o coeficiente de variação foi elevado, justificando-se pela variação entre árvores utilizadas no estudo, com valores de MOE de 21747,61 até 72879,80 kgf/cm² e para MOR de 456,72 a 1009,25 kgf/cm².

Tabela 5 – Propriedades mecânicas da madeira de *A. glazioviana*.

Ensaio mecânico	MOE	MOR	W	K	CD	fbw
Média	42937,04	720,22	3,73	2,13	2,89	59,41
CV %	38,6	23,9	31,6	31,8	32,5	31,8
Mínimo	21747,61	465,72	2,04	1,15	1,52	32,01
Máximo	72879,80	1009,25	7,24	4,17	5,82	116,17

Legenda: Ensaio mecânico de flexão estática: MOE e MOR (kgf/cm²). Flexão dinâmica: trabalho absorvido (W) em kgm, coeficiente de resiliência (K) em kgf/cm², cota dinâmica (CD) sem unidade, resistência ao impacto (fbw) em kJ/m².

Fonte: A autora (2021).

Com densidades próximas à espécie do presente estudo, as madeiras de *Tectona grandis* e *Pinus oocarpa*, avaliadas por Almeida et al. (2014) resultaram em valores de 2,9 Kgf para cota dinâmica e 2,3 kgm para trabalho absorvido, respectivamente. A madeira de *Peltophorium dubium*, resultou em valores de 3,59 kgm para trabalho absorvido, 57389 kgf/cm² para MOE e 773 kgf/cm² para MOR (VIVIAN et al. 2010). A *Acacia mearnsii* pesquisada por Delucis et al. (2016), com 4 e 7 anos, apresentou valores de MOE de 84769 e 85329 kgf/cm², respectivamente e valores de MOR de 571 e 611 kgf/cm², para tais idades, respectivamente. Hillig et al. (2018) para *Hovenia dulcis*, encontrou valores de 835 kgf/cm² para MOR e 106315 kgf/cm² para MOE.

Beltrame et al. (2010a) afirmam que para uma madeira ser considerada resiliente, ou seja, de alta resistência ao impacto, o valor de Cota Dinâmica (CD) deve ser superior a 1,2, neste caso, o timbó variou de 1,52 até 5,82, considerado excelente

resultado. Esses autores trabalhando com açoita-cavalo (*Luehea divaricata*) obtiveram valores de 1,05 para CD, 2,9 kgm para W e 67 kJ/m² para fbw. Para *Carya illinoensis*, Beltrame et al. (2012) encontraram valores de CD igual a 0,68 e W igual a 2,98 kgm. Para *Araucaria angustifolia*, Beltrame et al (2010b) encontraram valores de 1,04 kgf para W, de 0,17 kgf/cm² para K e 0,77 para CD, sendo portanto, resultados inferiores quando comparados aos obtidos pelo timbó.

5.4 CONCLUSÃO

A análise dos constituintes químicos demonstrou potencial da madeira para uso energético, principalmente considerando teores de lignina e extrativos. Os componentes químicos apresentaram porcentagens dentro da média para folhosas, exceto para o elevado teor de extrativos que demonstra a presença de substâncias com potencial de estudo qualitativo, embora delimite alguns usos da madeira.

A madeira apresenta estabilidade dimensional boa e densidade média.

Os resultados das propriedades mecânicas foram satisfatórios quando comparados a outras espécies de densidade semelhante, com destaque para a alta resistência a impactos.

5.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABCP. Associação Brasileira de Celulose e Papel. **M14/70**. Normas de ensaio: densidade básica da madeira, São Paulo, 1968.

ALMEIDA, D. H. et al. Tenacidade da madeira como função da densidade aparente. **Rev. Árvore**, Viçosa, v. 38, n. 1, p. 203-207, Feb. 2014.

ARAÚJO, H. J. B. Relações funcionais entre propriedades físicas e mecânicas de madeiras tropicais brasileiras. **Floresta**, Curitiba, PR, v. 37, n. 3, set./dez. 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190**: Projeto de Estruturas de Madeira. Rio de Janeiro, 1997.

ASSOCIATION FRANCAISE DE NORMALIZATION - AFN. Norme Francaise, bois essai de choc ou flexion dynamique. **NF B51-009**. Paris: p.3, 1942.

ASTM. American Society for Testing and Materials. **ASTM 143-94**. Standard Test Methods for small clear specimens of timber. West Conshohocken. 2000.

BARROS, S. V. S. **Avaliação da qualidade da madeira de árvores da Amazônia por método não destrutivo de propagação de onda: tomógrafo de impulso e stress wave timer** - Tese (Doutorado) - INPA, Manaus, 134 f. 2016.

BELTRAME, R. et al. Resistência ao impacto da madeira de açoita-cavalo em diferentes condições de umidade. **Cerne**, v.16, n.4, p.499-504, 2010a.

BELTRAME, et al. Propriedades físico-mecânicas da madeira de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) em três estratos fitossociológicos. **Ciência da Madeira**, Pelotas/RS, v. 01, n. 02, Nov, 2010b.

BELTRAME, R. et al. Resistência ao impacto da madeira de noqueira-pecã em diferentes condições de umidade. **Ciência Rural**, v.42, n.9, 2012.

BRAZ, R. L. et al. Curva Característica de Secagem da Madeira de *Tectona grandis* e *Acacia mangium* ao Ar Livre. **Floresta e Ambiente**. Rio de Janeiro, v. 22, n. 1, p. 117-123, 2015.

BUFALINO, L. et al. Caracterização química e energética para aproveitamento da madeira de costaneira e desbaste de cedro australiano. **Pesquisa florestal brasileira**. Colombo, v. 32, n. 70, p. 129-137, abr./jun. 2012.

CEZARO, J. A.; TREVISAN, R.; R. BALBINOT. Propriedades físico-mecânicas da madeira de *Chrysophyllum marginatum*. **Pesquisa florestal brasileira**. Colombo, v. 36, n. 86, p. 135-143, abr./jun. 2016.

COLDEBELLA, R. et al. Propriedades físicas e químicas da madeira de *Maclura tinctoria* (L.) D. Don ex Steud. **Ciência da Madeira**. Pelotas, v. 9, n. 1, p. 54-61, 2018.

Comissão Panamericana de Normas Técnicas – COPANT. **COPANT 461: Maderas – Determinación del peso específico aparente**. La Paz; 1972.

Comissão Panamericana de Normas Técnicas – COPANT. **COPANT 462: Método de determinación de la contracción**. COPANT; 1972.

COSTA, L. J. et al. Caracterização anatômica e descrição físico-química e mecânica da madeira de *Mimosa schomburgkii*. **Floresta**. Curitiba, v. 47, n. 4, p. 383 -390, out/dez. 2017.

DELUCIS, R. A. et al. Propriedades mecânicas da madeira de acácia-negra aos quatro e sete anos de idade. **Ciência da Madeira**. Pelotas, v.7, n. 2, p. 61-69, 2016.

DURLO, M. A.; MARCHIORI, J. N. C. Tecnologia da madeira: retratibilidade. Santa Maria: CEPEF/FATEC, 33 p. **Série técnica**, 10. 1992.

FENGEL, D.; WEGENER, G. **Wood: chemistry, ultrastructure, reactions**. Berlin: Walter de Gruyter, 1989. 613 p.

- GALVÃO, A. P. M.; JANKOWSKY, I. P. **Secagem racional da madeira**. São Paulo: Nobel. 112p. 1985.
- HASELEIN, C. R. et al. Propriedades de flexão estática da madeira úmida e a 12% de umidade de um clone de *Eucalyptus saligna* Smith sob o efeito do espaçamento e da adubação. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 12, n. 2, p. 147-152, 2002.
- HELDWEIN, A. B.; BURRIOL, G. A.; STRECK, N. A. O clima de Santa Maria: História Natural de Santa Maria. **Ciência e Ambiente**, n° 38, jan-jun, p. 43-58, 2009.
- HILLIG, E; DIGNER, T.; DIAS, A. N. Propriedades físico-mecânicas da madeira de Uva-do-Japão. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 38, out. 2018.
- IPT, Instituto de Pesquisas Tecnológicas. Madeira: o que é e como pode ser processada e utilizada. **Boletim ABPM**, n. 36, p. 1-189, 1985.
- LIMA, C. K. P. et al. Características anatômicas e química da madeira de clones de Eucalyptus e sua influência na Colagem. **Cerne, Lavras**, v. 13, n. 2, p. 123-129, abr./jun. 2007.
- LABORATÓRIO DE PRODUTOS FLORESTAIS. LPF: **Database of Brazilian Wood**. IBAMA: Laboratório de Produtos Florestais Brasília. Disponível em <<http://sistemas.florestal.gov.br/madeirasdobrasil/>>, 2014. Acesso em: dezembro, 2018.
- MELO, J. E.; CORADIM, V. T. R.; MENDES, J. C. Classes de densidade para madeiras da Amazônia brasileira. In: 6° Congresso Florestal Brasileiro, Campos do Jordão, 1990. **Anais...** Campos do Jordão: SBS/SBEF, p. 695-699. 1990.
- MORAIS, S. A. L.; NASCIMENTO, E. A.; MELO, D. C. Análise da madeira de *Pinus oocarpa* parte I – estudo dos constituintes macromoleculares e extrativos voláteis. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.29, n.3, p.461-470, 2005.
- MORENO, J. A. **Clima do Rio Grande do Sul**. Secção de Geografia. Secretaria da Agricultura. Porto Alegre, 42p. 1961.
- MORESCHI, J.C. **Propriedades Tecnológicas da madeira**. Manual Didático. 4ª ed, UFPR, p. 194, 2012.
- OLIVEIRA, F.G.R.; SALES, A. Efeito da densidade e do teor de umidade na velocidade ultrassônica da madeira. **Minerva**, 2(1): 25-31, 2005.
- PETTERSEN, R. C. **The chemical composition of wood**. U. S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, Madison, WI. 1984.
- REIS, P. C. M. R. **Análise estrutural e propriedades tecnológicas da madeira de espécies da Amazônia**. 2017. 81 p. Tese (Doutorado em ciência Florestal) – Universidade federal de Viçosa, Minas Gerais, 2017.

ROCHA, H. L. S. et al. Caracterização físico mecânica da madeira de jurema-preta (*Mimosa tenuiflora*) visando seu emprego na indústria moveleira. **Ciências Agrárias**, Recife, v. 10, n. 2, p. 262-267, 2015.

SCALET, V. **Caracterização e confecção de briquetes da casca de licuri (*Syagrus coronata* (MART) BECC.) para produção de energia**. 2015. 60 p. Dissertação (Mestrado em Ciências dos Materiais) –Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba, 2015.

SCANAVACA JUNIOR, L. **Caracterização silvicultural, botânica e tecnológica do *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake e de seu potencial para a utilização em serraria**. Dissertação (Mestre em Ciências Florestais) – Universidade de São Paulo, Piracicaba. 108 f. 2001.

SCANAVACA JUNIOR, L.; GARCIA, J. N. Determinação das propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Eucalyptus urophylla*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 65, p. 120-129, jun. 2004.

SEVERO, E. T. D.; CALONEGO, F. W.; SANSIGOLO, C. A. Composição química da madeira de *Eucalyptus citriodora* em função das direções estruturais. **Silva Lus.**, Lisboa, v. 14, n. 1, p. 113-126, jun. 2006.

SILVA, D. A. et al. Propriedades da madeira de *Eucalyptus benthamii* para produção de energia. **Pesquisa Florestal Brasileira**, [S. l.], v. 35, n. 84, p. 481–485, 2015.

SILVA, L. L. H. et al. Características dendrométricas, físicas e químicas da *Myracrodruon urundeuva* e da *Leucaena leucocephala*. **Floresta e Ambiente**, 2017; 24: 2017.

SOARES, C. V. et al. Análise das propriedades da madeira e do carvão vegetal de híbridos de eucalipto em três idades. **CERNE**, Lavras, Brasil vol. 21, núm. 2, abril-jun., pp. 191-197, 2015.

Technical Association of the Pulp and Paper Industry – TAPPI. **TAPPI 211**: Ash in wood, pulp, paper and paperboard: combustion at 525 °C. Atlanta; 2002c.

TOMASI, J. C. et al. Propriedades físicas da madeira de *Ateleia glazioviana* Baill. **Enciclopédia biosfera**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.9, N.16; p. 1824. 2013.

TRUGILHO, P. F. Densidade básica e estimativa de massa seca e de lignina na madeira em espécies de *Eucalyptus*. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, MG, v. 33, n. 5, p. 1228-1239, 2009.

USTA, I., GURAY, A. Comparison of the swelling and shrinkage characteristics of Corsican Pine (*Pinus nigra* var. *mantina*). **Turkish Journal of Agriculture and Forestry**, 24: 461-464. 2000.

VALE, A. T.; DIAS, I. S.; SANTANA, M. A. E. Relações entre propriedades químicas, físicas e energéticas da madeira de cinco espécies de cerrado. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 20, n. 1, p. 137-145, jan.-mar., 2010.

VIVIAN, M. A. et al. Resistência da madeira de canafístula (*Peltophorum dubium* (SPRENG.) TAUB.) ao PSF e a umidade de equilíbrio. **Ciência da Madeira**, Pelotas, v. 01, n. 01, p. 11-24, Maio de 2010.

6 CAPÍTULO II: SECAGEM E QUALIDADE DA MADEIRA DE *Ateleia glazioviana* BAILL.

6.1 INTRODUÇÃO

O Brasil é um grande produtor de madeira serrada, com cerca de 159 mil empresas do setor madeireiro e moveleiro, utilizando matéria-prima proveniente de florestas plantadas, que correspondem a 7,8 milhões de ha, ou nativas, 485,8 milhões de hectares, entretanto, a produção de madeira para abastecimento do mercado mundial e interno é proveniente 91% de florestas plantadas e apenas 9% de florestas nativas (ABIMCI, 2017).

Por outro lado, o país também é um grande consumidor de madeira serrada. É visto que os setores que mais impulsionam o crescimento de áreas de plantios florestais são a construção civil, moveleiro e celulose. De forma que, os primeiros estão intimamente ligados às serrarias e o terceiro produz papeis e embalagens. Nos dois casos, a necessidade de manter o mercado fluindo e atendendo às demandas geram oportunidades de crescimento e diversificação da matéria-prima para agregação de valor no produto.

Entretanto, mesmo que a biodiversidade de espécies florestais com potenciais de utilização nesse setor seja grande, há carência de estudos para colocar esses produtos disponíveis ao mercado. A consequência da utilização limitada em poucas espécies leva à falta de madeira de boa qualidade, o que resulta em aumento dos preços (TRIANOSKI et al., 2014).

No caso de madeira serrada, é essencial que ela esteja em condições de umidade adequadas, para que se ajuste aos usos do setor. Como conceito, a secagem é o processo que consiste na redução da umidade através de técnicas avançadas ou simples, com o objetivo de atingir um teor de umidade pré-estabelecido, buscando minimizar defeitos, com o menor tempo possível, para o uso a que será destinado. A secagem ao ar livre não requer grande investimento nem equipamentos, sendo basicamente o empilhamento da madeira serrada em pátios, deixando-a exposta aos fatores ambientais, permitindo que ocorra a secagem naturalmente até que esta atinja a umidade de equilíbrio do ambiente (SUSIN et al., 2014). Outros métodos, são principalmente as câmaras de secagem ou estufas de aquecimento com temperaturas e demais fatores controlados.

A secagem da madeira é uma etapa de grande importância, pois proporciona vantagens, como a melhoria dos aspectos de trabalhabilidade, a utilização desse material para diversas finalidades e a redução da movimentação dimensional e da possibilidade de ataque de fungos (SUSIN et al. 2014, ANDRADE, 2000, BATISTA, 2015).

O acompanhamento do processo de secagem é decisivo para a obtenção de produtos de qualidade, haja vista que ao longo da perda de umidade das peças pela ação da temperatura a madeira sofre variações dimensionais podendo surgir defeitos indesejáveis. Os defeitos que ocorrem na madeira durante a secagem causam significativos prejuízos para quem seca e desestimula o uso de determinadas espécies suscetíveis a esses defeitos, contribuindo para a exploração seletiva. Martins (1988) cita a existência de diferentes formas de empenamentos: encanoamento, torcimento, encurvamento, arqueamento. Além do colapso e das rachaduras que podem surgir no topo ou superfície das peças.

Devido à necessidade de identificar o potencial de espécies alternativas em substituição às espécies tradicionalmente utilizadas (COSTA et al., 2017), madeiras nativas de uso regional podem tornar-se opções mais acessíveis, como é o caso da *Ateleia glazioviana* na região Sul do Brasil. A espécie aparece principalmente no noroeste do Rio Grande do Sul e oeste de Santa Catarina, onde se destaca por formar extensos agrupamentos quase puros, chamados de parques de timbós ou timbozais (CORADIN, SIMINSKI e REIS, 2011).

Considerando o exposto, os objetivos deste capítulo foram avaliar o desempenho de peças serradas de madeira de *Ateleia glazioviana* submetidas à secagem ao ar livre e em estufa, determinar a taxa de secagem e, medir e qualificar os defeitos após o processo, com a finalidade de conhecimento acerca do uso da espécie para obtenção de serrados.

6.2 MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia adotada para o estudo está descrita a seguir com o detalhamento da matéria-prima e dos processos de secagem.

6.2.1 Coleta do material

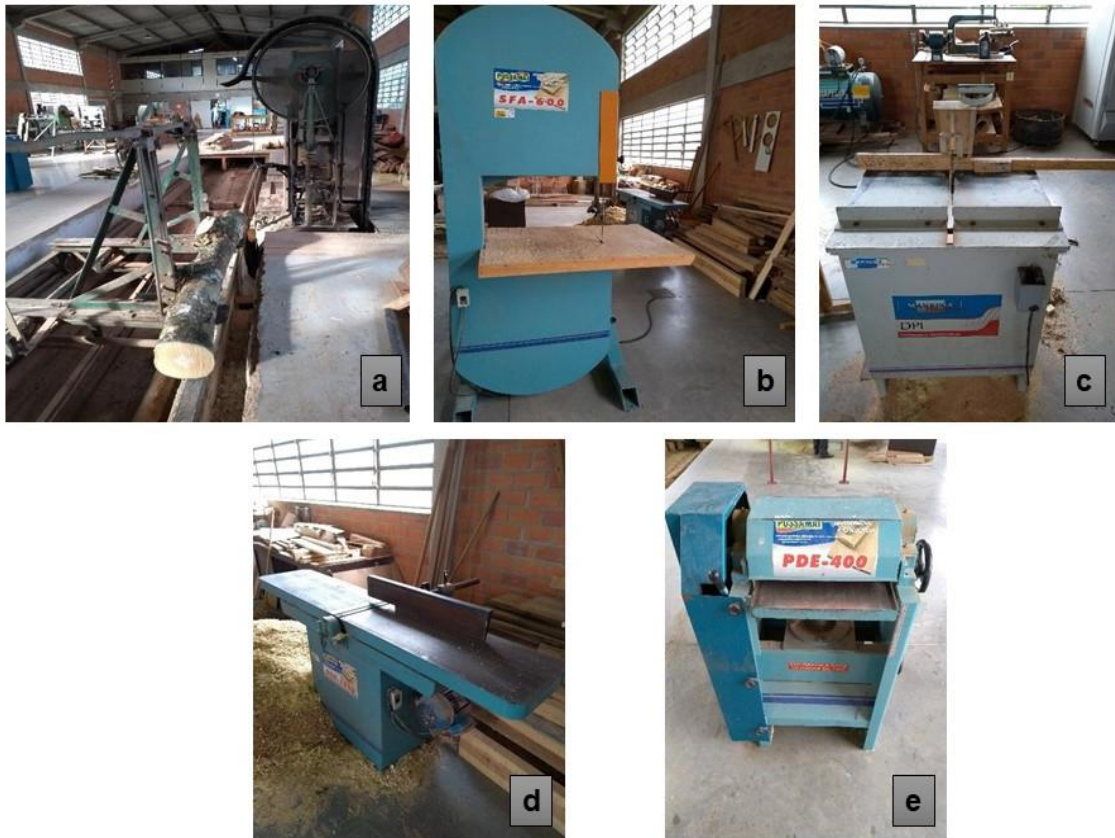
Os indivíduos de *Ateleia glazioviana* Baill. (Timbó) foram selecionados na UFSM, próximos à área do Jardim Botânico. No total, foram coletadas três árvores, com diâmetro médio (DAP) de 32 cm e altura aproximada de 15 metros, e 25 anos de idade. O material foi encaminhado para o Laboratório de Produtos Florestais da UFSM, onde foi desdobrado.

6.2.2 Desdobro e confecção dos corpos de prova

A sequência de desdobro adotou as seguintes etapas: corte em serra de fita vertical para retirada das costaneiras e das tábuas, desdobro primário, e o desdobro secundário incluiu a passagem por serra circular de mesa e serra fita, destopadeira, desempenadeira e desengrossadeira (Figura 5). Não houve preferência de sentido de corte, portanto no final do desdobro obtiveram-se peças nos sentidos longitudinal e radial.

Os corpos de prova para secagem foram dimensionados conforme o aproveitamento durante o desdobro, respeitando dimensões mínimas da norma, obtendo por fim, corpos de prova de dimensões 64,0 x 10,0 x 2,5cm, respectivamente, comprimento, largura e espessura.

Figura 5 – Máquinas utilizadas para obtenção dos corpos de prova.



Legenda: a) Serra de fita primária b) Serra de fita secundária c) Destopadeira d) Desempenadeira e) Desengrossadeira.

Fonte: A autora (2021).

6.2.3 Secagem da madeira

Foram selecionadas aleatoriamente 26 peças, as quais foram divididas em dois ambientes (Figura 6) para secagem conforme as especificações abaixo:

- Estufa de circulação forçada de ar: adotou-se a temperatura convencional de secagem de 60°C, sem variação ao longo do processo de secagem, até as peças atingirem o teor de umidade médio final de 10%.

- Ar livre: as peças de madeira foram colocadas ao ar livre expostas às variações de temperatura, velocidade do ar, insolação e outros fatores climáticos naturais. Os corpos de prova foram dispostos lado a lado sobre uma estrutura de madeira a 0,50 cm de altura do chão, com cobertura de “Brasilite” para evitar incidência de raios solares diretos e chuva. Os corpos de prova permaneceram

expostos ao ar livre até atingirem o teor de umidade de equilíbrio com o ambiente, em torno de 17%

Figura 6 - Secagem da madeira de *A. glazioviana* ao ar livre e em estufa.



Legenda: a) Tábuas selecionadas para secagem b) Tábuas em processo de secagem ao ar livre c) Tábuas em processo de secagem em estufa a 60°C d) Amostras controle sendo secas em estufa a 103°C e) Pesagem e medição das tábuas.

Fonte: A autora (2021).

6.2.3.1 Teor de umidade das peças de madeira

Antes do início da secagem, a partir de todas as peças de madeira de ambos os processos de secagem, foram confeccionadas amostras controles, para determinação exata do TU, conforme Equação 8. Foi realizada a verificação diária do teor de umidade da madeira por meio de amostras controle para a secagem ao ar livre e, as peças em estufa foram verificadas em sua totalidade todos os dias.

$$TU = \frac{PU - PS}{PS} \times 100$$

Equação 8

Em que:

TU: teor de umidade da seção em porcentagem;

Pu: peso úmido da seção em gramas;

Ps: peso seco da seção em gramas.

O teor de umidade da pilha foi calculado por meio da equação descrita a seguir.

$$T_{ua} = \frac{P_a(T_{ui} + 100)}{P_i} - 100 \quad \text{Equação 9}$$

Em que:

TUa: teor de umidade atual (%);

Pa: peso atual da amostra (g);

Pi: peso úmido da amostra (g);

TUi: teor de umidade inicial (%).

E ainda, a determinação da umidade de equilíbrio da madeira foi calculada pela equação de Simpson (1971) com a utilização dos dados climatológicos fornecidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) com estação meteorológica situada em Santa Maria - RS, em funcionamento desde 2001, localizada sob as coordenadas 29,724960° S e 53,720469° O.

As peças ao ar livre permaneceram na pilha até que atingissem o teor médio de umidade equilíbrio para madeira na região central do Rio Grande do Sul, em torno de 17% (SANTINI, 1984). Já na secagem em estufa, foi estabelecido o teor de umidade médio final de 10%.

6.2.3.2 Taxa de secagem

A fórmula adotada para a determinação da taxa de secagem de ambos os processos foi a descrita por Santini (1980), demonstrada na Equação 10. As dimensões das peças foram medidas com paquímetro e a massa úmida aferida em balança digital a cada tempo pré-determinado.

$$T_s = \frac{Q_{ae}}{A_e \times T} \quad \text{Equação 10}$$

Em que:

Ts = Taxa de secagem (g/cm² h);
 Qae = Quantidade de água evaporada (g);
 Ae = Área superficial da peça (cm²);
 T = Tempo de secagem decorrido (horas).

6.2.3.3 Avaliação dos defeitos das peças secas

A avaliação dos defeitos nas peças de madeira serrada foi realizada logo após a finalização dos processos de secagem, tanto ao ar livre quanto em estufa. As características medidas foram: comprimento, largura, espessura e ainda, os seguintes defeitos: rachaduras, empenamentos, arqueamento, encurvamento, colapso e presença de nós. Utilizou-se trena e paquímetro e, para os cálculos, as fórmulas descritas abaixo para cada defeito. A base normativa adotada foi a NBR 9487 (ABNT, 1986) e a NBR 14806 (ABNT, 2002).

6.2.3.3.1 Rachadura

A determinação da quantidade de rachaduras foi feita de forma visual e quantificada por meio de medição com paquímetro, conforme a Equação 11. Os resultados foram transformados em índice de rachaduras com a fórmula abaixo, que relaciona o somatório das medidas das rachaduras pelo comprimento total da peça (Figura 7a).

$$IR = \frac{\sum R}{c} \times 100 \quad \text{Equação 11}$$

Onde:

IR% = índice de rachaduras (%)

$\sum R$ = soma dos comprimentos das rachaduras em ambos os lados da peça (cm)

C = comprimento da peça (cm)

Já para a determinação dos empenamentos, as peças foram colocadas sob uma mesa plana e a medição da flecha do defeito foi feita com paquímetro e folha milimetrada. Determinou-se que a medição fosse feita pela escolha do lado com

defeito mais pronunciado de cada peça. Após a medição, os empenamentos foram determinados utilizando as equações e metodologias apresentadas a seguir.

6.2.3.3.2 Arqueamento

Após a medição na peça, o arqueamento foi determinado pela Equação 12.

$$A = \frac{f}{c} \quad \text{Equação 12}$$

Onde:

A = arqueamento (mm/m)

f = flecha de arqueamento (mm)

c = comprimento da peça (m)

6.2.3.3.3 Encurvamento

Para a determinação do encurvamento, foi utilizada a Equação 13.

$$E = \frac{f}{c} \quad \text{Equação 13}$$

Onde:

E = encurvamento (mm/m)

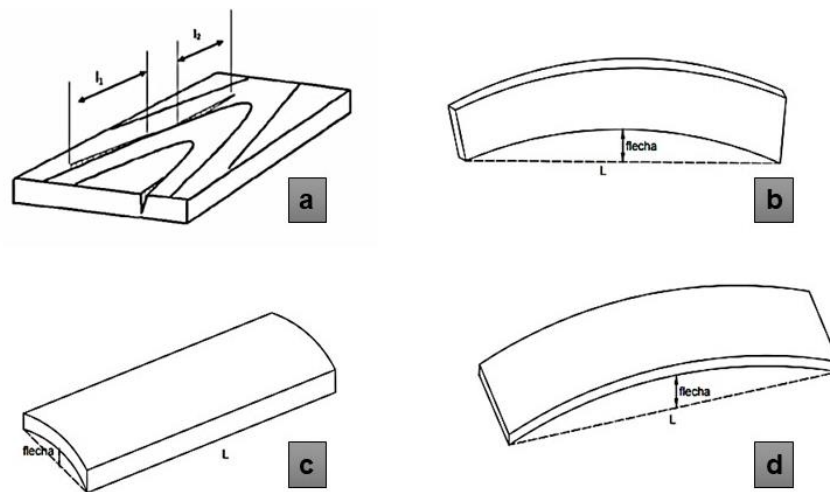
f = flecha de encurvamento (mm)

c = comprimento da peça (m)

6.2.3.3.4 Encanoamento

A medição da flecha do defeito foi realizada com base na largura da peça, sendo obtido, portanto, o valor direto do encanoamento, conforme a figura abaixo (Figura 7c).

Figura 7 - Medição dos defeitos das peças.



Fonte: adaptado de Rocha (2000). Legenda: a) Rachaduras b) flecha de arqueamento c) flecha de encanoamento d) flecha de encurvamento

6.2.3.3.5 Ocorrência de fungos

Considerada prejudicial, a ocorrência de ataque de fungos na madeira foi avaliada tanto nas peças em estufa quanto nas expostas ao processo de secagem ao ar livre. Para tanto, foram identificadas visualmente as peças afetadas com identificação do patógeno com auxílio de microscópio em laboratório e posteriormente avaliados os efeitos causados na madeira.

6.2.4 Análise dos resultados

De forma geral, os resultados foram interpretados através das médias e comparações com outros autores. Para a avaliação da qualidade das peças de madeira, adotou-se parâmetros da norma NBR 14806 (ABNT, 2002), onde para todas as classes de qualidade, o encanoamento é permitido desde que a espessura da peça, após aplainamento não difira mais do que 4% da espessura nominal correspondente para a primeira e segunda classes, 6% para a terceira classe e 8% para a quarta classe e sem limites para as seguintes classes. E ainda, foram observados outros parâmetros específicos para cada deformação descritos na norma.

Para comparação entre os métodos de secagem, utilizou-se o programa SISVAR (FERREIRA, 2011) para a análise de variância, e nos casos em que a hipótese da nulidade foi rejeitada, aplicou-se o teste de Tukey (95% de probabilidade) para a diferenciação das médias.

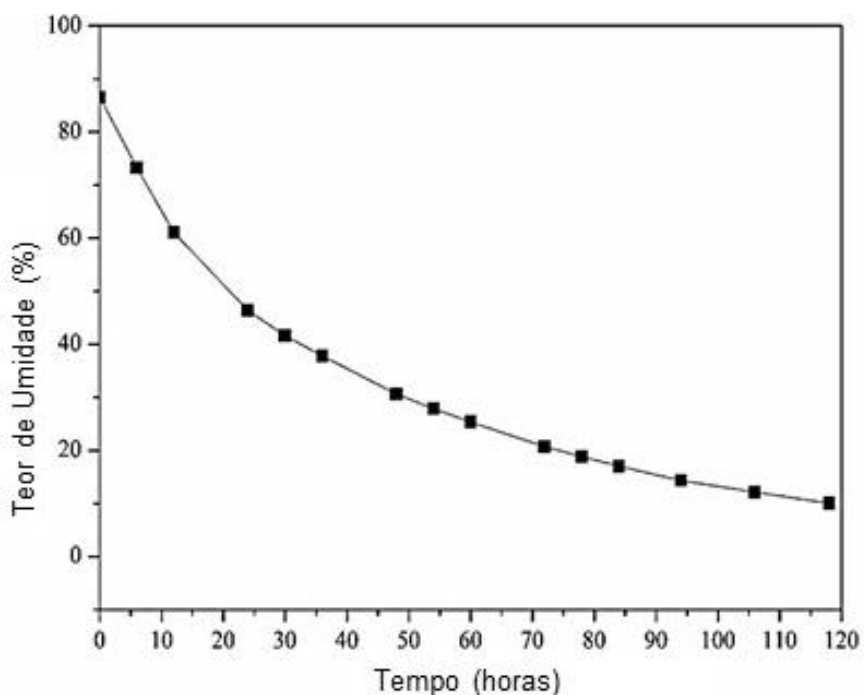
6.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir são expostos os resultados da secagem da madeira de *Ateleia glazioviana* e a qualidade das peças serradas.

6.3.1 Secagem

As peças que foram avaliadas na secagem em estufa com circulação forçada de ar em temperatura constante de 60°C iniciaram o processo de secagem com TU=86% e dispenderam 118 horas para atingir o teor médio de umidade requerido, estipulado em 10% (Figura 8).

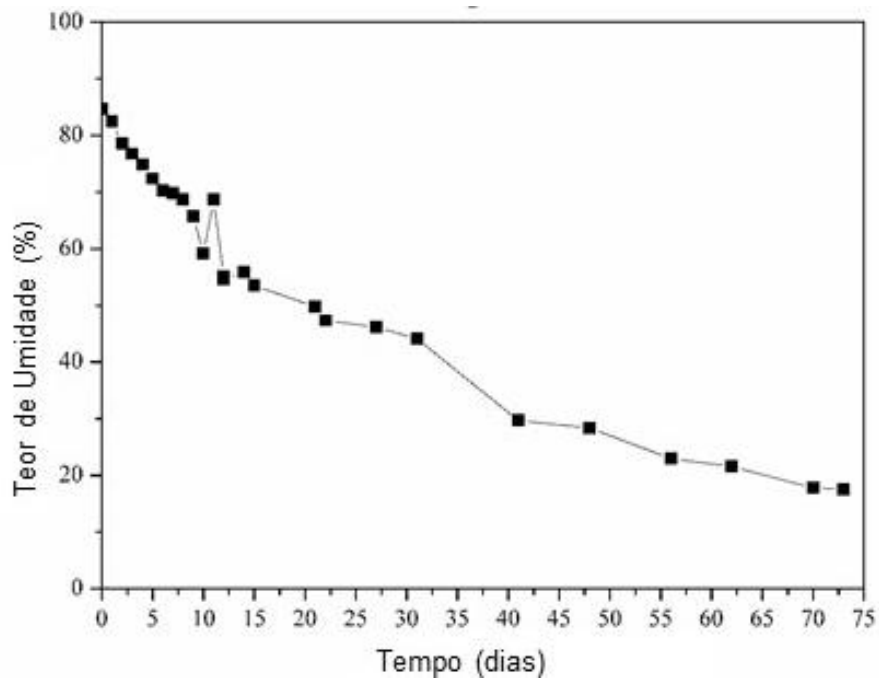
Figura 8 - Curva de secagem em estufa.



Fonte: A autora (2021).

O processo de secagem ao ar livre foi realizado ao longo dos meses de junho, julho e agosto, tendo início no dia 12/06/2018 (TU inicial = 84%) e término no dia 24/08/2018, portanto, totalizando 74 dias para atingir o teor de umidade médio final de 17,6% (Figura 9). Resultado semelhante para a umidade de equilíbrio média de Santa Maria/RS foi relatado por Susin et al. (2014).

Figura 9 - Curva de secagem ao ar livre.

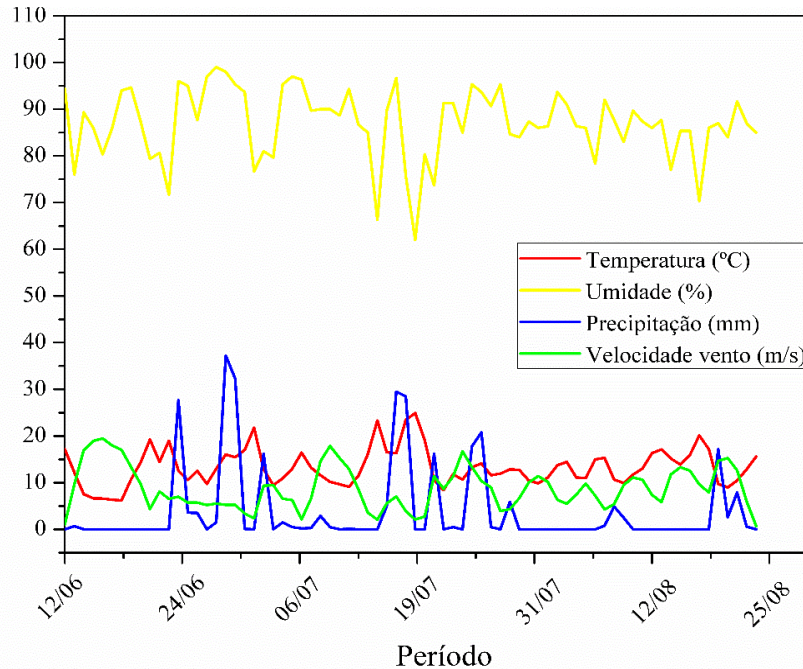


Fonte: A autora (2021).

De acordo com Menezes (1998), o tempo entre o início da secagem da madeira verde e a obtenção da umidade de equilíbrio depende de vários fatores que envolvem desde as características intrínsecas da madeira, e especialmente as condições climáticas, além da pilha e do pátio.

A Figura 10 aponta picos de instabilidade climática ao longo do período em que as peças de madeira permaneceram no ambiente externo para secagem. As peças sofreram alterações de teor de umidade devido aos períodos de muita diferença na precipitação e temperatura, como foi observado principalmente no mês de julho.

Figura 10 - Variáveis climáticas observadas no período de secagem ao ar livre (ano 2018).



Fonte: A autora (2021).

Segundo Heldwein, Burriol e Streck (2009), não são raros os períodos de grande flutuação de temperatura no inverno, alcançando valores altos para a época nos dias de predominância de “Vento Norte”, em contraposição a noites límpidas muito frias. Além disso, ainda é frequente o Minuano, mas o vento local predominante em Santa Maria é Sudestado.

Tabela 6 –Variáveis climáticas e umidade de equilíbrio nos meses observados.

MÊS	T (°C)	Umidade (%)	Precipitação acumulada (mm)	Vel. vento (m/s)	Umidade de equilíbrio (%)
Junho	12,1	88,8	106,5	9,6	19,9
Julho	14,0	86,7	147,0	8,0	19,0
Agosto	13,4	85,8	36,5	9,0	18,6
Médias	13,2	87,1	290,0	8,9	19,2

Legenda: Temperatura média (T°C), Umidade relativa do ar média (%), Precipitação acumulada (mm), Velocidade média do vento (m/s) e Umidade de equilíbrio (%) dos meses de Junho, Julho e Agosto do ano 2018.

Fonte: A autora (2021).

No geral, a média para a Umidade de Equilíbrio (Tabela 6) calculada pela Fórmula de Simpson, nos meses de junho a agosto para a cidade de Santa Maria foi de 19,2%, próxima do teor de umidade alcançado pelas peças expostas ao ar livre após o período de 74 dias.

Para a secagem ao ar livre, Oliveira e Carvalho (2001) citam que o tempo de secagem pode variar de 3 a 6 meses e depende da espécie e das condições atmosféricas do local.

A madeira recém cortada apresenta elevada umidade, sendo assim, durante o processo de secagem, há rápida perda de água no início e, à medida que a umidade da madeira vai aproximando-se do ponto de saturação das fibras, em torno de 30%, a perda de água torna-se mais difícil e conseqüentemente a secagem torna-se mais lenta (JANKOWSKY, 1990). Isso se justifica pelo fato de que, no início da secagem, a água livre presente nas cavidades celulares dos elementos vasculares da madeira sai facilmente através da evaporação, uma vez que é mantida na madeira por forças capilares muito fracas, perdendo-se facilmente todo esse tipo de água (BRAZ, et al. 2015). No presente estudo, a média do teor de umidade inicial das peças foi de 85%, tendo a presença de algumas com mais de 100%.

Conforme a Tabela 7, a perda de umidade das peças de madeira ao ar livre seguiu a tendência exposta acima, havendo perda de cerca de 30% (82% a 53%) do teor de umidade inicial nos primeiros 15 dias de secagem (360 horas), e chegando ao ponto de saturação das fibras em aproximadamente 41 dias (984 horas). Posterior a isso, somaram-se mais de 30 dias para a estabilização do peso e, portanto, do teor de umidade.

Tabela 7 – Teor de umidade e taxa de secagem comparativo entre processos de secagem.

ESTUFA			AR LIVRE					
Horas	TU	TS	Horas	TU	TS	Horas	TU	TS
6	73,30	12,65	24	82,44	1,20	360	53,49	0,04
12	61,07	5,86	48	78,56	0,45	528	49,80	0,04
24	46,38	3,61	72	76,76	0,14	576	47,34	0,03
30	41,62	0,94	96	74,89	0,11	696	46,19	0,01
36	37,80	0,63	120	72,38	0,12	792	44,11	0,02

48	30,63	0,89	144	70,30	0,08	1032	29,67	0,08
54	27,87	0,31	168	69,79	0,02	1200	28,40	0,79
60	25,32	0,25	192	68,68	0,01	1368	22,95	0,06
72	20,73	0,38	216	65,74	0,08	1512	21,58	0,01
78	18,84	0,15	240	59,13	0,16	1704	17,78	0,01
84	17,05	0,13	264	68,68	0,07	1776	17,92	0,00
94	14,34	0,17	288	55,08	0,02	-	-	-
106	12,18	0,12	312	54,57	0,01	-	-	-
118	10,03	0,11	336	55,94	0,02	-	-	-

Legenda: TU= teor de umidade (%). TS=taxa de secagem (g/cm²h)10³.

Fonte: A autora (2021).

A taxa de secagem para as peças em estufa variou de 12,65 (g/cm²h)10³ nas primeiras 6 horas observadas, até a estabilização em 0,11 (g/cm²h)10³, taxa média de 1,87 (g/cm²h)10³. Já a taxa de secagem ao ar livre média foi de 0,14 (g/cm²h)10³, teve início em 1,20 (g/cm²h)10³ finalizando em 0,01 (g/cm²h)10³.

Para *Hovenia dulcis*, Talgatti et al. (2016) encontraram TS= 4,88 (g/cm²h)10³. Os valores referentes a taxa de secagem média encontrados para a madeira de *Eucalyptus grandis* no verão, foram 2,1 (g/cm²h)10³, já na secagem convencional a taxa de secagem foi de 2,8 (g/cm²h)10³. No inverno a taxa de secagem média da madeira de *Eucalyptus grandis* apresentou 0,9 (g/cm²h)10³ durante a secagem ao ar livre, para a secagem convencional a taxa foi de 4,0 (g/cm²h)10³ (ROSSO, 2006).

6.3.2 Defeitos

Apesar das condições críticas a qual foram submetidas as peças de madeira para secagem, considerando a não utilização de pesos de contenção em estufa, e a estação climática desfavorável para a secagem de peças ao ar livre, mesmo assim, os resultados foram satisfatórios (Tabela 8). As rachaduras só foram observadas na superfície das peças, sendo maior a incidência e a gravidade em peças secas ao ar livre, não havendo nenhum caso de rachadura de topo. Todas as peças resultaram em algum tipo de empenamento tanto em peças submetidas à secagem em estufa quanto ao ar livre, exceto no caso de encanoamento para as peças secas no ambiente externo, que não apresentaram tal defeito.

Tabela 8 – Defeitos nas peças de madeira resultantes dos processos de secagem.

DEFEITO (mm/m)	ESTUFA		%	AR LIVRE		%
Arqueamento	5,05	a	100	5,23	a	77
Encurvamento	4,03	a	92	4,75	a	69
Encanoamento	1,33		30,8	-		-
Torcimento	6,64	b	77	3,91	a	85
Rachaduras	75,03	a	23	128,63	b	30

Legenda: Porcentagem das peças que apresentaram o defeito (%). Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem entre si ao nível de 5% de significância pelo teste de Tukey.

Fonte: A autora (2021).

Segundo Galvão e Jankowsky (1985) a ocorrência de rachaduras é motivada pelas diferentes contrações radiais e tangenciais e diferenças de umidade dentro da madeira. Já os empenamentos (torção, encanoamento, encurvamento, arqueamento) ocorrem por duas causas principais: diferença entre as contrações (radial, tangencial) na mesma peça ou ainda devido às tensões de crescimento.

O encanoamento ocorreu apenas nas peças em estufa e pode ser explicado tanto pela secagem mais rápida em uma das faces ou por uma face se contrair mais que a outra, mesmo com secagem uniforme, em razão do sentido de corte da peça, radial ou tangencial (CINIGLIO (1998). Nesse estudo, a estufa utilizada não possuía características específicas para a evaporação da água, que não ocorreu de maneira uniforme pelas superfícies da madeira devido ao fato de as peças estarem posicionadas diretamente sob as bandejas de metal, causando acúmulo de umidade nas áreas de contato. Este fator poderia ter sido evitado com a utilização de grades vazadas ou sarrafos para espaçamento.

De acordo com o especificado na norma NBR 14806 (ABNT, 2002), na questão de arqueamento, tanto as peças secas em estufa quanto ao ar livre, estão no limite de tolerância para a primeira classe, que é de 5 mm/m de comprimento. Para encurvamento, este mesmo valor é admissível, o que classifica todas as peças do estudo na primeira classe, tanto na secagem ao ar livre como em estufa. Para encanoamento, na primeira classe admite-se até 4% da espessura nominal da peça, o que, conforme Tabela 8, a média de 1,3 mm/m representa 5,32%, direcionando as peças para a terceira classe, que admite até 6% da espessura nominal da peça.

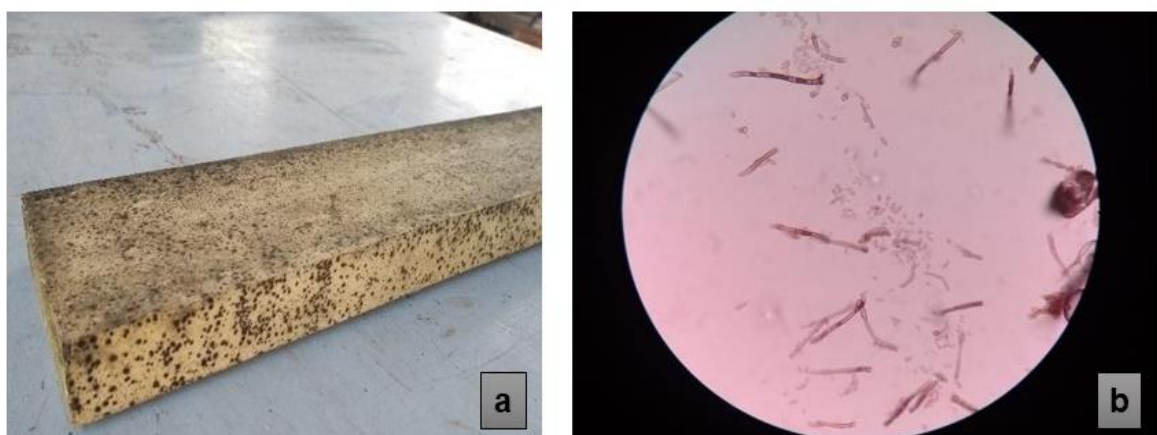
Não se observou a ocorrência de colapso nas peças, considerado o defeito mais grave na secagem, haja vista que a temperatura adotada para a secagem em

estufa que foi de 60°C é convencional, o que também não ocorreu ao ar livre, mesmo que com grande variação das condições climáticas. Mesmo assim, adotou-se o procedimento de aplainamento de todas as peças para melhorar a qualidade das tábuas, principalmente devido ao defeito de torcimento. Resultado disso, apenas 7% das peças não tiveram a eliminação total dos defeitos de secagem após aplainamento para retirada de 5 mm da espessura, e, para peças ao ar livre, 38% delas permaneceram com defeitos.

6.3.3 Ocorrência de fungos

Durante as aferições contínuas e diárias do peso e medição do tamanho das peças que estavam em processo de secagem ao ar livre, observou-se o aparecimento repentino de fungos na madeira (Figura 11), tomando completamente a superfície de todas as tábuas e causando aspecto pulverulento, em tom verde-oliva acinzentado. Este fato foi observado quando o teor de umidade da madeira estava próximo a 50%, aproximadamente no 18º dia de acompanhamento. Relacionou-se esse acontecimento com as variações repentinas de temperatura e umidade, em consonância com o teor de umidade presente na madeira, o que pode ter favorecido o aparecimento de fungos.

Figura 11 - Detalhe de tábua seca ao ar livre atacada por fungo.



Legenda: a) Tábua atacada por fungo. b) Identificação em microscópio do fungo *Cladosporium* sp.
Fonte: A autora (2021).

As variações dos teores de umidade do ambiente durante o período de secagem da madeira são reflexo da instabilidade da estação na época em que a pilha foi montada (inverno), quando ocorreram períodos de chuva e frio intercalados com períodos de calor repentino e sol em um curto espaço de tempo.

Segundo Kollmann e Côté (1968), teores médios de umidade entre 35 e 50% são favoráveis ao crescimento de fungos na madeira. Os mesmos autores afirmam que de um modo geral, madeiras completamente saturadas de água ou com umidades abaixo do ponto de saturação das fibras não são atacadas. Magalhães (2005) define os fungos causadores de bolores como aqueles que ficam aparentes na superfície da madeira, sobretudo quando úmida, e alteram apenas a aparência da peça que, se aplainada ou lixada, pode ser aproveitada e, os fungos manchadores são aqueles que se alimentam de substâncias presentes na madeira, causando aspecto estético desfavorável, diferentes dos apodrecedores que causam prejuízos às propriedades mecânicas da madeira.

Uma amostra das peças foi analisada pelo Laboratório de Fitopatologia da UFSM e o fungo foi identificado como *Cladosporium* sp., fungo manchador. O mesmo fungo já foi relatado em estudo de secagem de *Eucalyptus grandis* (MESQUITA, LIMA e TRUGILHO, 2006).

Ao término do estudo de secagem da madeira, as peças passaram por processo de aplainamento para verificação da camada atingida e retirada das manchas superficiais, com resultados totalmente satisfatórios, não sendo observados prejuízos à qualidade da madeira. Ainda assim, aconselham-se estudos aprofundados sobre a ocorrência desse tipo de fungo na madeira e os prejuízos que podem causar.

Recomenda-se que a secagem da madeira ao ar livre ocorra em estação climática mais favorável, como por exemplo o verão, para se evitar transições abruptas de temperatura e umidade, como ocorreu neste estudo, que ocasionaram o surgimento de fungos na madeira.

6.4 CONCLUSÃO

A secagem em estufa com temperatura constante de 60° foi efetivada em 118 horas, apresentando taxa de secagem rápida. É essencial que novos estudos com variações de patamares de temperaturas sejam realizados para avaliar a secagem em

estufa de maneira complementar. Nas primeiras 24h foi observada a maior perda de umidade, sendo considerado o período crítico para surgimento de defeitos.

A secagem ao ar livre delongou 74 dias para atingir o teor de umidade de equilíbrio, portanto, uma espécie de fácil secagem. Indica-se que a secagem dessa espécie ao ar livre seja feita em época com menor incidência de chuva para que ocorra de forma gradual ou adotando-se estratégias de pré-secagem. As variações climáticas do período influenciaram diretamente na taxa de secagem e podem ter refletido no aparecimento dos defeitos das peças.

No geral, a madeira de *A. glaziovenana* mostrou-se pouco suscetível à defeitos, não apresentando peças com colapso ou outros defeitos que inviabilizassem seu uso, portanto, dentro dos padrões de qualidade da norma. O defeito do tipo torcimento apresentou-se mais severo nas peças secas em estufa e as rachaduras foram mais significativas nas peças expostas ao ar livre.

A madeira de *A. glaziovenana* mostrou-se sensível ao ataque de fungos manchadores *Cladosporium* spp. durante o processo de secagem ao ar livre.

6.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIMCI, Associação Brasileira da Indústria de Madeira Processada Mecanicamente. **Estudo Setorial em Síntese 2017**, Curitiba, 2017.

ANDRADE A. **Indicação de programas para a secagem convencional de madeiras** (Dissertação). Piracicaba: Universidade de São Paulo; 2000.

Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. **NBR 9487**: Classificação de madeira serrada de folhosas. Rio de Janeiro; 32 p. 1986.

Associação brasileira de normas técnicas – **ABNT**. Madeira serrada de eucalipto – Requisitos, NBR 14806. Rio de Janeiro; 11 p. 2002^a.

BATISTA, D. C.; KLITZKE, R. J.; PEREIRA DA ROCHA, M. Qualidade da secagem convencional conjunta da madeira de clones de três espécies de *Eucalyptus* sp. **Ciência Florestal**, vol. 25, núm. 3, julho-set., pp. 711-719. UFSM, Santa Maria, Brasil. 2015.

BRAZ, R. L. et al. Curva característica de secagem da madeira de *Tectona grandis* e *Acacia mangium* ao ar livre. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 22, n. 1, p. 117-123, 2015.

CINIGLIO, G. **Avaliação da secagem de madeira serrada de *E. grandis* e *E. urophylla***. (Dissertação de Mestrado em Ciências Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba. 73p. 1998.

CORADINI, L.; SIMINSKI, A.; REIS, A.; **Espécies Nativas da Flora Brasileira de Valor Econômico Atual ou Potencial: Plantas para o Futuro - Região Sul**. 1ª ed. v. 1, p. 13-934. Brasília: MMA, 2011. Também disponível em: <http://www.creasp.org.br/biblioteca/wp-content/uploads/2012/11/Regiao_Sul.pdf>.

COSTA, L. J. et al. Caracterização anatômica e descrição físico-química e mecânica da madeira de *Mimosa schomburgkii*. **Floresta**, Curitiba, v. 47, n. 4, p. 383 -390, out/dez. 2017.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.

GALVÃO, A. P.; JANKOWSKY, I. P. **Secagem racional da madeira**. São Paulo: Nobel, 111 p. 1985.

HELDWEIN, A. B.; BURRIOL, G. A.; STRECK, N. A. O clima de Santa Maria: História Natural de Santa Maria. **Ciência e Ambiente**, n. 38, p. 43-58, jan-jun, 2009.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. Dados Meteorológicos. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesAutomaticas>. Acesso em jun-jul-agosto de 2018.

JANKOWSKY, I. P. **Fundamentos de secagem de madeiras**. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz da Universidade de São Paulo. Piracicaba, p. 13, 1990.

KOLLMANN, F. F. P.; CÔTÉ Jr., W. A. **Principles of wood science and technology**. New York: Springer Verlag, 592 p., v. 1: Solid wood. 1968.

MAGALHÃES, W. L. E. Controle de manchadores e apodrecedores da madeira de pinus. II Seminário de Atualidades em Proteção Florestal Controle de Incêndios, Pragas, Doenças e Plantas Invasoras em Áreas Florestais, **Anais...** Junho, 2005 – Blumenau/SC. 2005.

MARTINS, V. A. **Secagem de madeira serrada**. Brasília: Ministério da Agricultura IBDF/LPF, 89p. 1988.

MENEZES, L. F. Desdobro, secagem e beneficiamento da madeira de Eucalipto - Experiência da Flosul. In: SEMANA INTERNACIONAL SOBRE PRODUTOS SÓLIDOS DE MADEIRA DE ALTA TECNOLOGIA, 1, Belo Horizonte, 1998. **Anais...** Belo Horizonte, p. 261-5. 1998.

MESQUITA, J. B., LIMA, J. T., TRUGILHO, P. F., Micobiota associada à madeira serrada de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden durante a secagem ao ar livre. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 16, n. 1, p. 45-50, 2006.

OLIVEIRA, J. T. S., CARVALHO, A. M. L., Secagem e Preservação da Madeira de Eucalipto. **Revista da Madeira**, n. 55, p. 58-61, 2001.

ROCHA, M. P. ***Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden e *Eucalyptus dunnii* Maiden como fontes de matéria-prima para serraria.** Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 186f. 2000.

ROSSO, S. **Qualidade da madeira de três espécies de *Eucalyptus* resultante da combinação dos métodos de secagem ao ar livre e convencional.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal), Universidade Federal de Santa Maria (UFSM-RS), Santa Maria, 91 p., 2006.

SANTINI, E J. Influência de temperatura na taxa de secagem e contração da madeira de *Pinus elliottii* proveniente de plantios de rápido crescimento. FUPEF. Série Técnica, 5. 15p. 1980.

SANTINI, E.J. Umidade de equilíbrio da madeira para algumas cidades do Rio Grande do Sul. In: CONGRESSO FLORESTAL ESTADUAL, 5. Nova Prata, RS, **Anais...** p. 828-840, 1984.

SIMPSON, W. T. Equilibrium moisture content prediction of wood. **Forest products journal**, Madison, v. 21, n. 5, p. 48-9, Mai, 1971.

SUSIN, F. et al. Taxa de secagem e qualidade da madeira serrada de *Hovenia dulcis* submetida a dois métodos de secagem. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 21, n. 2, p. 243-250, 2014.

TALGATTI, M. et al. Tratamentos térmicos e secagem da madeira serrada de uva-do-Japão. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 11, n. 3, p. 224-229, 2016.

TRIANOSKI, R. et al. Evaluation of mechanical properties of the wood of tropical pines species. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 42, n. 101, p. 21-28, 2014.

6 CAPÍTULO III – Artigo 1: USO ENERGÉTICO DA MADEIRA DE *Ateleia glazioviana* BAILL. NA FORMA DE BRIQUETES

Resumo: O uso de briquetes como alternativa sustentável para geração de energia traz novas possibilidades de aproveitamento de biomassas florestais. O objetivo deste trabalho foi produzir e avaliar a qualidade de briquetes com madeira de *Ateleia glazioviana*, espécie nativa do sul do Brasil. Antes do processo de confecção dos briquetes, as partículas de madeira foram preparadas de acordo com a norma ABNT NBR 8112, para a análise química imediata, realizada, com verificação do teor de umidade e determinação do teor de cinzas (CZ), materiais voláteis (MV) e carbono fixo (CF), além da determinação da densidade a granel e poder calorífico superior (PCS). A briquetagem foi realizada com temperatura fixa de 100°C, pressão de 100 bar/psi, compactação durante 5 minutos e, resfriamento durante 3 minutos. Foram produzidos quatro tratamentos, com variação da granulometria das partículas para composição dos briquetes, com dez repetições cada. Os testes realizados nos briquetes foram para determinar a densidade básica e a resistência à tração por compressão diametral (RTCD). Nos briquetes confeccionados com pó foram obtidas as maiores resistências à tração por compressão diametral. As propriedades físicas e energéticas dos briquetes não apresentaram variação estatística entre os quatro tratamentos produzidos com diferentes granulometrias das partículas. Os resultados da análise química imediata e do PCS foram compatíveis às espécies utilizadas para geração de energia atualmente, sobretudo com baixos teores de cinzas.

Palavras-chave: biomassa, co-produtos, espécie alternativa, análise química imediata, poder calorífico superior

ENERGY USE OF *Ateleia glazioviana* BAILL. WOOD IN BRIQUETTES

Abstract: The use of briquettes as a sustainable alternative for energy generation brings new possibilities for using forest biomass. The objective of this research was to produce and evaluate the quality of briquettes with *Ateleia glazioviana* wood, native species of southern Brazil. Before the process of making the briquettes, the wood particles were prepared according to the ABNT NBR 8112 standard, for immediate chemical analysis, carried out, with verification of the moisture content and determination of the ash content (AC), volatile materials (VM) and fixed carbon (CF), in addition to the determination of bulk density and superior calorific power (SCP). The briquetting was carried out with a fixed temperature of 100°C, pressure of 100 bar/psi, compaction for 5 minutes and cooling for 3 minutes. Four treatments were produced, varying the particle size for the composition of the briquettes, with ten repetitions each. The tests carried out on the briquettes were to determine the basic density and the tensile strength by diametrical compression (RTCD). In briquettes made with powder, the highest tensile strengths were obtained by diametrical compression. The physical and energetic properties of the briquettes did not show statistical variation between the four treatments produced with different particle sizes. The results of the immediate chemical analysis and the PCS were compatible with the species used for power generation today, mostly presented low ash contents.

Keywords: biomass, co-products, alternative species, immediate analysis, gross calorific value

INTRODUÇÃO

Devido às pressões ambientais por otimização no uso de recursos naturais, busca-se desenvolver novos produtos a partir de resíduos florestais ou da indústria madeireira (FURTADO et al., 2010) principalmente para a geração de energia. Entre as possíveis biomassas florestais, a serragem advinda do desdobro de toras nas indústrias madeireiras torna-se uma alternativa energética sustentável e renovável (SCHNEID, 2020; BRASIL, 2015).

Dentre as diferentes opções para o aproveitamento dos resíduos, pode-se citar a geração de energia pela queima direta ou a transformação em briquetes, pellets e carvão vegetal (MOUTINHO et al., 2016). O principal benefício da utilização de serragem na forma de briquetes é relacionado ao gerenciamento sustentável desses resíduos como opção de energia em volumes compactos a partir de um recurso natural renovável e não poluente, diferente das fontes fósseis de energia (ACIOLI, 1994).

Segundo Souza et. al. (2016) os resíduos de madeira podem retornar ao processo produtivo, a fim de agregar valor nos produtos, visando trazer vantagens econômicas e ambientais para as indústrias, ao invés do descarte inadequado. A biomassa lignocelulósica é a mais abundante no planeta e pode ser utilizada como matéria-prima para diversos produtos industriais, estimulando uma série de pesquisas biotecnológicas (LU et al., 2008).

A briquetagem consiste no processo de densificação de uma massa lignocelulósica através da compactação sob elevadas temperaturas utilizando uma prensa mecânica, os resíduos passam por homogeneização, tanto da composição quanto do tamanho de partícula, adição de um aglomerante, quando necessário, e compactação, resultando em um sólido com elevada densidade e características combustíveis menos heterogêneas (SALAME, 1992; MORAES et al., 2006). Dessa forma, o processo de briquetagem torna seu produto padronizado em relação à densidade, teor de umidade, dimensão, forma e poder calorífico, transformando-os em combustíveis mais limpos e eficientes, de acordo com Dias Junior et al. (2014).

Ampla variedade de estudos para avaliação da qualidade energética estão sendo realizadas com as madeiras das espécies comerciais *Pinus* e *Eucalyptus*, e outros menos convencionais como madeira de *Tectona grandis* (SILVA et al., 2015), *Bambusa* sp. (DIAS JUNIOR et al., 2014), madeira de *Coffea arabica* (LEITE et al., 2014), *Cupressus lusitanica* (ALMEIDA et al., 2015), borra de café (SOARES et al., 2015), bagaço de cana-de-açúcar (SILVA et al., 2015), fibra de coco e palha de cana-de-açúcar (PADILHA et al., 2016), resíduos de madeira laminada de paricá, e demais resíduos agroflorestais como a casca de arroz (MORAIS et al., 2006; COSTA et al., 2019), *Ilex paraguariensis* (BORTOLUZZI et al., 2019), falha de pinhão de *Araucaria angustifolia* (JACINTO et al., 2016).

Atualmente, na matriz energética do Brasil, a biomassa responde por 9,53% da matriz energética. Destaque para o bagaço de cana, resíduos florestais, licor negro, que é um subproduto da indústria papeleira, biogás do lixo e de resíduos agropecuários, casca de arroz, entre outras fontes. Mas, segundo os cientistas, o potencial de exploração energética da biomassa do nosso país tende a crescer (INSTITUTO DE ENERGIA E AMBIENTE, 2020).

Para que o Brasil possa aumentar a participação da lenha e produtos da madeira na sua matriz energética, são necessárias melhorias no acesso à tecnologia florestal para pequenos e médios produtores, tanto de silvicultura como de conversão da madeira em energia, aumentando o potencial de geração de energia de plantios futuros (ELOY et al. 2019).

Nesse sentido, com a perspectiva de despertar interesse técnico sobre novas possibilidades de matéria-prima para geração de energia, este estudo teve o objetivo de produzir e avaliar a qualidade de briquetes confeccionados a partir da madeira de *Ateleia glazioviana*, espécie nativa da região Sul do Brasil.

MATERIAL E MÉTODOS

Coleta e preparo do material

Foram coletadas três árvores da espécie *Ateleia glazioviana* (Timbó) em área experimental dentro do campus sede da Universidade Federal de Santa Maria. Os indivíduos possuíam idade de 25 anos, diâmetro médio (DAP) de 32 cm e altura aproximada de 15 metros. As toras foram desdobradas em tábuas na serraria do Laboratório de Produtos Florestais da UFSM, assim como, os demais procedimentos também foram realizados no mesmo local.

As tábuas foram transformadas em partículas por meio de moagem em picador tipo Flake e posteriormente em moinho de facas tipo Wiley. As partículas foram peneiradas para a obtenção das frações retidas na malha de 2,45 mm, fração retida na malha 1,0 mm e a fração de material com granulometria mais fina, a qual passou pelas peneiras, nomeada nesta etapa como pó. As partículas foram pré-secas em temperatura ambiente e armazenadas em sacos plásticos até a realização das etapas posteriores.

Análise química imediata

A análise química imediata das partículas de madeira foi realizada de acordo com a norma ABNT NBR 8112, com verificação do teor de umidade e determinação do teor de cinzas (CZ), materiais voláteis (MV) e carbono fixo (CF). Todas as análises foram realizadas com três repetições.

Inicialmente, o material já transformado em partículas foi homogeneizado e classificado em peneira de 40/60 mesh. Para a determinação do teor de umidade das amostras utilizou-se da mesma norma, que estabelece o método para determinação da umidade em estufa a $105^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$.

A determinação do teor de cinzas das amostras foi realizada de acordo com a Equação 1. Utilizaram-se 2g de amostra das partículas, absolutamente secos, os quais foram colocados em cadinhos de porcelana e introduzidos em forno mufla até atingirem a temperatura de 525°C , onde permaneceram durante 4 horas. Após, foram resfriados e pesados para obtenção do teor de cinzas por meio da Equação 1.

$$CZ = \left(\frac{m_1 - m_0}{m} \right) \times 100 \quad \text{Equação 1}$$

Em que:

CZ= teor de cinzas (%)

m1= massa inicial do cadinho + amostra (gramas)

m0= massa final do cadinho + amostra (gramas)

m= massa da amostra (gramas)

O teor de materiais voláteis foi quantificado em mufla pré-aquecida a uma temperatura de $900 \pm 10^{\circ}\text{C}$. Os cadinhos de metal com tampa contendo aproximadamente 1 g (absolutamente seco) foram posicionados na porta aberta da mufla durante 3 minutos, e dentro da mufla foram calcinados por mais 7 minutos com a porta fechada, posteriormente os cadinhos foram colocados em dessecador até o resfriamento para determinação da massa final. A determinação do resultado foi calculada com a Equação 2.

$$MV = \left(\frac{m_1 - m_0}{m} \right) \times 100 \quad \text{Equação 2}$$

Em que:

MV= material volátil (%)

m1= massa inicial do cadinho + amostra (gramas)

m0= massa final do cadinho + amostra (gramas)

m= massa da amostra (gramas)

A porcentagem de carbono fixo da biomassa foi calculada de acordo com Equação 3.

$$CF = 100 - (MV + CZ) \quad \text{Equação 3}$$

Em que:

CF= Teor e carbono fixo (%)

MV= Teor de materiais voláteis (%)

CZ= Teor de cinzas (%)

Determinação do poder calorífico superior (PCS)

A análise calorimétrica foi realizada no laboratório de Bromatologia e Nutrição de Ruminantes da UFSM, em calorímetro modelo Parr 6400, com obtenção direta do valor PCS (kcal/kg) seguindo a norma ABNT NBR 8633 (1984). A análise das amostras foi realizada em triplicata.

Confecção dos briquetes

Para a confecção dos briquetes foram utilizadas as três frações de partículas da madeira acima descritas, formando três tratamentos homogêneos e um quarto tratamento formado pela mistura de todas as granulometrias. A máquina briquetadeira hidráulica utilizada foi a LIPPEL modelo LB 32, com cilindro de metal de aproximadamente 32 mm, de acordo com o manual técnico do equipamento. O teor de umidade médio do material foi de 8,5%.

A quantidade de material inserida no cilindro do equipamento foi de 40 gramas, e os parâmetros (Tabela 1) adotados para a confecção dos briquetes foram: pressão de 100 bar/psi, 100°C de temperatura de compactação durante 5 minutos e, 3 minutos de resfriamento sem pressão, com ventilação forçada. Cada tratamento foi composto por 10 repetições.

Tabela 1 – Parâmetros de produção dos briquetes.

PARÂMETROS DE BRIQUETAGEM	Quantidade de material: 40 g	
	Pressão: 100 bar/psi	
	Temperatura: 100°C	
	Tempo de compactação: 5'	
	Tempo de resfriamento: 3'	
TRATAMENTOS	Granulometria	Teor de umidade do material
T 1	Peneira 2,45 mm	6,99%
T 2	Peneira 1,0 mm	8,99%
T 3	Pó	9,50%
T 4	Mix (T1+T2+T3)	8,49%

Fonte: a autora (2021).

Avaliação dos briquetes

Densidade a granel

A densidade a granel foi calculada para as frações dos materiais adotadas nos tratamentos, por meio da pesagem de cada amostra em um recipiente com volume conhecido e relacionando massa/volume.

Densidade básica e densidade energética

A densidade básica dos briquetes confeccionados foi calculada por meio da relação entre massa/volume, sendo que a massa foi determinada em balança de precisão e o volume obtido pela medição com paquímetro do diâmetro central e da altura dos briquetes.

Para a determinação da densidade energética foi utilizada a Equação 4.

$$\text{DEN} = \text{Db} \times \text{PCS} \quad \text{Equação 4}$$

Em que:

DEN= densidade energética (kcal/m³)

Db= densidade básica (kg/m³)

PCS= poder calorífico superior (kcal/kg)

Resistência à tração por compressão diametral

A resistência mecânica dos briquetes foi testada em Máquina Universal de Ensaios. A execução do teste de resistência à tração por compressão diametral foi baseada na adaptação dos procedimentos da norma ABNT NBR 7222 (1994) e a velocidade adotada de 3 mm/min, até atingir a força máxima para o rompimento do briquete. O cálculo da resistência foi obtido por meio da Equação 5.

$$RTCD = \frac{2 \times F}{\pi \times D \times L} \quad \text{Equação 5}$$

Em que:

RTCD= resistência à tração por compressão diametral (MPa)

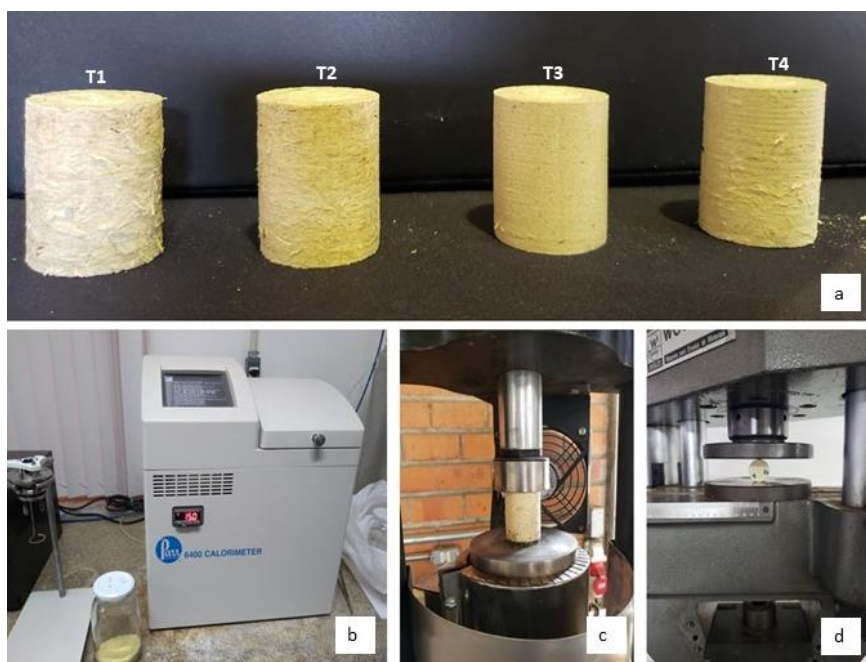
F= força (Kgf)

D= diâmetro do corpo de prova (cm)

L= comprimento do corpo de prova (cm)

Os briquetes permaneceram em câmara com temperatura controlada de $20 \pm 3^\circ\text{C}$ e umidade relativa constante de 65% durante 30 dias para aclimação antes da realização dos testes (Figura 1).

Figura 1 – Amostras dos briquetes produzidos com a madeira de *A. glazioviana* e testes realizados.



Legenda: a) Briquetes produzidos, na sequência, T1, T2, T3 e T4 b) Calorímetro c) Briquete saindo do pistão da briquetadeira d) Teste de resistência à tração por compressão diametral em Máquina Universal de Ensaio. Fonte: a autora (2021).

Análise estatística

Os resultados da análise química imediata e poder calorífico são apresentados na forma de estatística descritiva, com tabulação dos resultados médios e coeficiente de variação.

A análise dos dados de densidade básica e energética, e RTCD dos briquetes foi realizada pelo delineamento inteiramente casualizado com avaliação da normalidade. Verificada essa hipótese, procedeu-se a realização da análise de variância e aplicação do teste de Tukey a 5% de significância para comparação das médias dos tratamentos por meio do programa estatístico Sisvar (FERREIRA, 2011).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos pela análise química imediata e de PCS apontam boas características energéticas da espécie, com baixo teor de cinzas de 0,17% e alto poder calorífico superior de 4460,74 kcal/kg, de acordo com a Tabela 2.

Tabela 2 – Análise química imediata e poder calorífico do material.

ANÁLISE	Resultados	CV (%)
Teor de Cinzas (%)	0,17	14,79
Material Volátil (%)	85,30	2,19
Carbono Fixo (%)	14,52	12,67
PCS (kcal/kg)	4460,74	0,19

Legenda: PCS: poder calorífico superior. CV: coeficiente de variação. Fonte: A autora (2021).

De acordo com Gonçalves et al. (2009), a biomassa para uso como combustível, deve apresentar baixo teor de cinzas em sua composição, pois esse é um material indesejado quando consideradas as operações de manejo e manutenção de caldeiras.

O poder calorífico, por sua vez, definido como a quantidade de energia liberada na combustão completa de uma unidade de massa do material combustível e apresenta significativa dependência da constituição química

elementar e mineral da biomassa (PROTÁSIO et al., 2011). Portanto, assim como o teor de cinzas, o PCS é um excelente parâmetro para se avaliar a potencialidade energética de combustíveis de biomassa (PROTÁSIO et al., 2011; BRAND, 2010; FRIEDLET et al., 2005; PARIKH et al., 2005).

Quando comparados às biomassas florestais citadas por Brand (2010), entre elas madeira de coníferas e madeira de folhosas, os valores obtidos pela madeira de timbó encontram-se na faixa para madeira de folhosas, entretanto, com teor de cinzas que se assemelha às coníferas.

Para o poder calorífico superior da mesma espécie Mattos et al. (2000) determinaram o valor de 4637 kcal/kg, bem semelhante ao presente estudo. Da mesma forma, FURTADO et al. (2010) apresentaram PCS para biomassa florestal de *Pinus* variando de 3864 kcal/kg a 5031 kcal/kg. Também citando o gênero, para a espécie *Pinus taeda*, Moura et al. (2012) encontraram o poder calorífico superior na faixa de 4.550 e 4.950 kcal/kg.

Para cinco espécies de *Eucalyptus*, Jesus et al. (2017) encontraram valores de PCS análogos ao timbó. Onde, *Eucalyptus grandis X urophylla*, 4538 kcal/kg, *Eucalyptus propínqua*, 4623 kcal/kg, *Eucalyptus robusta*, 4669 kcal/kg, *Eucalyptus pellita*, 4634 kcal/kg e a espécie *Eucalyptus botryoides* apresentou 4620 kcal/kg.

Enquanto a densidade básica da madeira da espécie varia de 0,51 g/cm³ a 0,53 g/cm³ (TOMASI et al., 2013), a densidade básica dos briquetes chega a 1,14 g/cm³ (Tabela 4), destacando assim o ganho de massa, ou seja, a quantidade de material por unidade de volume, o que contribui na redução dos custos de transporte do produto e nas propriedades energéticas.

Tabela 4 – Densidade a granel, densidade básica e resistência à tração por compressão diametral (RTCD) dos briquetes produzidos com a madeira de *A. glazioviana*.

TRATAMENTO	ρ a granel (g/cm ³)	ρ básica (g/cm ³)	ρ Energética (Mcal/m ³)	RTCD (Mpa)
T1	0,13	1,12 a	4994,09 a	0,19 b
T2	0,13	1,11 a	4950,20 a	0,18 b

T3	0,15	1,14 a	5111,79 a	0,27 a
T4	0,20	1,11 a	4949,20 a	0,22 b

Legenda: ρ = densidade. Médias seguidas pelas mesmas letras na coluna não apresentam diferença estatística (Tukey, $\alpha = 0,05$). Fonte: A autora (2021).

É desejável que os resíduos lignocelulósicos apresentem maiores valores de densidade a granel, pois fatores como os custos com transporte e a densidade energética são essenciais na viabilidade econômica das energias renováveis.

Quirino (1991) e Quirino et al. (2004) afirmaram que a densificação de resíduos pode proporcionar um aumento de cinco vezes ou mais na energia que o volume de resíduo que lhe deu origem, levando-se em consideração a densidade a granel e o poder calorífico, transformando resíduos de baixa densidade em produto de qualidade superior. Além disso, a briquetagem permite a obtenção de um produto não só compacto, porém com forma, tamanho e parâmetros mecânicos adequados, bem como resistente ao apodrecimento ou à degradação devido à lignina que impermeabiliza a superfície do briquete, o que facilita o transporte e o armazenamento (ZERBINATTI et al., 2014).

Quirino (2000) traz alguns parâmetros ideais para briquetes compactados em briquetadeira, como a densidade média que deve estar compreendida entre $1,07 \text{ g/cm}^3$ e $1,2 \text{ g/cm}^3$ e o teor de umidade, imprescindível que esteja centrado entre 8% e 12% para a eficiente compactação dos resíduos. De acordo com Jacinto et al. (2016), para a geração de energia, quanto menor a umidade, melhor será a eficiência energética do combustível.

Desta forma, os briquetes encontram-se dentro dos padrões estabelecidos, sem diferença estatística entre os tratamentos e com o teor de umidade das partículas para confecção dos briquetes variando de 7% a 9,5%, conforme Tabela 1.

A maior resistência mecânica foi observada no T3, onde os briquetes foram produzidos apenas com a fração pó da madeira, relacionando-se numericamente com a maior densidade básica ($1,14 \text{ g/cm}^3$), resultante da maior razão de compactação das partículas, que resultam em menos espaços vazios

durante a compactação. Embora, os resultados de resistência foram menores do que os encontrados por Oliveira et al. (2017) de 3,51 MPa para briquetes de serragem de Pinus e para briquetes de serragem de Eucalipto, de 0,82 Mpa, obtida por Protásio et al. (2011)

O maior valor de densidade básica gerou também a maior densidade energética, ao encontro dos resultados encontrados na literatura, sendo que valores altos de densidade básica contribuem para o aumento da densidade energética, resultando em melhor qualidade dos briquetes.

Os melhores resultados obtidos pelos briquetes formados com a fração pó, e não pela mistura de granulometrias (T4) estão em concordância com Shaw (2009) que afirma que granulometrias menores tendem a possuir elevada densidade e resistência mecânica, sendo que o inverso também ocorre, ocasionando o aparecimento de fissuras que comprometem a qualidade do material. Estes dados, contudo, estão em discordância com o trabalho de Dias et al. (2012), que afirmam que a condição ideal é a presença de partículas de diferentes tamanhos, pois isso possibilita o melhor empacotamento das partículas e contribui para a alta resistência dos briquetes.

CONCLUSÃO

Os resultados de poder calorífico superior foram condizentes com espécies de uso energético como o *Eucalyptus*.

Os briquetes produzidos com a madeira de *Ateleia glazioviana* mostraram-se competentes nos aspectos químicos, físicos e energéticos.

As propriedades físicas e energéticas dos briquetes não apresentaram variação estatística entre os quatro tratamentos produzidos com diferentes granulometrias das partículas. A propriedade mecânica analisada indicou maior resistência à tração por compressão diametral do T3, briquetes formados com partículas de menor granulometria (pó).

De forma satisfatória, esse trabalho possibilitou analisar as propriedades energéticas da madeira de *Ateleia glazioviana* e fornecer dados de uma nova opção de biocombustível alternativo e regionalizado como fonte energética de

qualidade superior, comparativamente à lenha, por exemplo, ou a outros materiais já comercializados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACIOLI, J. L. **Fontes de energia**. Brasília: UnB, 1994. 138p.

ALMEIDA, C.C. F. et al. Qualidade energética da madeira e de briquetes produzidos a partir de *Cupressus lusitanica* Mill. **Sci. For.**, Piracicaba, v. 43, n. 108, p. 1003-1011, dez. 2015.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICA - NBR 7222: Concreto e argamassa. Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos, Associação Brasileira de Normas Técnicas: Rio de Janeiro, 2011.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICA – NBR 8633: Carvão vegetal - determinação do poder calorífico. Associação Brasileira de Normas Técnicas: Rio de Janeiro, 1984.

BRAND, M. A. **Energia de Biomassa florestal**. Rio de Janeiro: Interciência, 2010. 114p.

BRASIL. Empresa de Pesquisa Energética (EPE). Balanço Energético Nacional 2015: Ano Base 2014 – Relatório Síntese. Rio de Janeiro: EPE, 2015.

BORTOLUZZI, C. Propriedades Energéticas de Briquetes de Resíduos de Erva-mate (*Ilex paraguariensis*). **Revista Gestão & Sustentabilidade**, v. 1, n. 1, p. 149 - 161, 4 jun. 2019.

COSTA, S. C. **Briquetes a partir de resíduos de biomassa agrícola**. 63 f. Dissertação (Mestrado) – UNISUL - Universidade do Sul de Santa Catarina, Palhoça, 2019.

DIAS, J. M. C. S. et al. **Produção de briquetes e péletes a partir de resíduos agrícolas, agroindustriais e florestais**. Brasília: Embrapa Agroenergia, 2012.

DIAS JÚNIOR, A. F.; ANDRADE, A. M.; COSTA JÚNIOR, D. S. Caracterização de briquetes produzidos com resíduos agroflorestais. **Pesq. flor. bras.**, Colombo, v. 34, n. 79, p. 225-234, jul./set. 2014.

ELOY, E. et al. Produtividade energética de espécies florestais em plantios de curta rotação. **Ciência Rural**, v. 45, n. 8, p.1424-1431, 2015.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n.6, p. 1039-1042, 2011.

- FREITAS, A. J. et al. Efeito da pressão e do tempo de compactação nas propriedades de briquetes de resíduos madeiros de paricá. **Nativa**, Sinop, v.4, n.6, p.380-385, nov./dez, 2016.
- FRIEDLET, A. et al. Prediction of heating values of biomass fuel from elemental composition. **Analytica Chimica Acta**. v. 544, n. 1-2, p. 191-198, 2005.
- FURTADO, T. S. et al. Variáveis do processo de briquetagem e qualidade de briquetes de biomassa florestal. **Pesquisa Florestal brasileira**, Colombo, v. 30, n. 62, p. 101-106, mai./jul., 2010.
- GONÇALVES, J. E.; SARTORI, M. M. P.; LEÃO, A. L. Energia de briquetes produzidos com rejeitos sólidos urbanos e madeira de *Eucalyptus grandis*. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, v. 13, n. 5, p. 657 - 661, 2009.
- INSTITUTO DE ENERGIA E AMBIENTE. Instituto de Energia e Ambiente: Bioenergia, Universidade de São Paulo. Disponível em: <http://gbio.webhostusp.sti.usp.br/?q=pt-br/noticia...> Acesso em: 14/11/2020.
- JACINTO, R. C. et al. Análise da qualidade energética da falha de pinhão para a produção de briquetes. **Sci. For.**, Piracicaba, v. 44, n. 112, p. 821-829, dez. 2016.
- JESUS, M. S. et al. Caracterização energética de diferentes espécies de Eucalyptus. **FLORESTA**, Curitiba, PR, v. 47, n. 1, p. 11 - 16, jan. / mar. 2017.
- LEITE, E. R. S. et al. Avaliação da qualidade da madeira de *Coffea arabica* L. como fonte de bioenergia. **CERNE**, Lavras, v. 20, n. 4, p. 541-549, Dec. 2014.
- LU, S.; et al. Differential expression of three eucalyptus secondary cell wall-related cellulose synthase genes in response to tension stress. **Journal of Experimental Botany**, v. 59, n. 3, p. 681-695, 2008.
- MATTOS, P. P. et al. Caracterização física, química e anatômica da madeira de timbó (*Ateleia glazioviana*). **Comunicado Técnico**, EMBRAPA, n. 47, p.1-6, nov., 2000.
- MOURA, L. F. et al. Estimativa de poder calorífico e caracterização para uso energético de resíduos da colheita e do processamento de *Pinus taeda*. **FLORESTA**, Curitiba, PR, v. 42, n. 2, p. 325 - 334, abr./jun. 2012.
- MOUTINHO, V. H. P. et al. Propriedades Químicas e Energéticas de Madeiras Amazônicas do Segundo Ciclo de Corte. **Floresta e Ambiente**, 23(3): 443-449, 2016.

MORAIS, M. R. et al. Obtenção de briquetes de carvão vegetal de cascas de arroz utilizando baixa pressão de compactação. In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, An. 6., Campinas, 2006.

OLIVEIRA et al., Resíduos de pinus para a produção de briquete. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 40, n. 3, p. 683-691, 2017.

PADILLA, E. R. D.. et al. Produção e Caracterização Físico-Mecânica de Briquetes de Fibra de Coco e Palha de Cana-de-Açúcar. **Rev. Virtual Quim.**, v. 8, n. 5, p.1334-1346, 2016.

PARIKH, J.; CHANNIWALA, S. A.; GHOSAL, G. K. A correlation for calculating HHV from proximate analysis of solid fuels. **Fuel**, v. 84, n. 5, p. 487-494, 2005.

PROTÁSIO, T. P., et al. Compactação de biomassa vegetal visando à produção de biocombustíveis sólidos. **Pesq. flor. bras.**, Colombo, v. 31, n. 68, p. 273-283, out./dez, 2011.

QUIRINO, W. F. Briquetagem de resíduos lignocelulósicos. **Circular Técnica** do Laboratório de Produtos Florestais-LPF, Brasília, v. 1, n. 2, p. 69-80, 1991.

QUIRINO, W. F. **Utilização energética de resíduos vegetais**. Laboratório de produtos florestais LPF/IBAMA. Módulo do curso "Capacitação de agentes 31 multiplicadores em valorização da madeira e dos resíduos vegetais", p. 4-32, 2000.

QUIRINO, W. F. et al. Poder calorífico da madeira e de resíduos lignocelulósicos. **Biomassa e Energia**, Viçosa, v. 1, n. 2, p. 173-182, 2004.

SALAME, J. E. F. **Estudo básico para briquetagem do carvão vegetal**. Escola de Minas e Metalurgia, Ouro Preto, 1992. 19p.

SCHNEID, E. Uso de serragem de diferentes espécies florestais no processo de compactação. **Adv. For. Sci**, Cuiabá, v. 7, n. 4, p. 1203-1212, 2020.

SHAW, M. D.; KARUNAKARAN, L. G.; TABIL, A. Physicochemical characteristics of densified untreated and steam exploded poplar wood and wheat straw grinds. **Biosystems Engineering**, England, v. 103, n. 2, p. 198-207, 2009.

SILVA, S. B.; et al. Qualidade de briquetes produzidos com resíduos obtidos do processamento da madeira de *Tectona grandis*. In: II Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia da Madeira, Belo Horizonte, set., 2015.

SILVA, D. A.; et al. Caracterização de biomassas para briquetagem. **FLORESTA**, Curitiba, PR, v. 45, n. 4, p. 713 - 722, out. / dez. 2015.

SOARES, L. S., et al. Utilização de Resíduos de Borra de Café e Serragem na Moldagem de Briquetes e Avaliação de Propriedades. **Matéria (Rio J.)**, Rio de Janeiro, v. 20, n. 2, p. 550-560, 2015.

SOUZA, F.; VALE, A. T. Densidade energética de briquetes de biomassa lignocelulósica e sua relação com os parâmetros de briquetagem. **Pesq. Flor. Bras.**, v.36, n.88, p.405-413, 2016.

TOMASI, J. C. et al. Propriedades físicas da madeira de *Ateleia glazioviana* Baill. **Enciclopédia biosfera**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.9, N.16; p. 1824. 2013.

ZERBINATTI, O. E. et al. Briquetagem de resíduos de cafeeiro conduzido no sistema safra zero. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, v. 35, n. 3, p. 1143-1152, maio/jun, 2014.

7 CAPÍTULO IV – Artigo 2: PAINÉIS AGLOMERADOS PRODUZIDOS COM MADEIRA DE *Ateleia glazioviana* BAILL.

Resumo: Este estudo objetivou a avaliação das propriedades tecnológicas de painéis de média densidade confeccionados com partículas de madeira da espécie *Ateleia glazioviana*. As árvores, com 25 anos de idade, foram coletadas em Santa Maria, estado do Rio Grande do Sul, onde a espécie tem ocorrência natural. As toras foram desdobradas em tábuas, reduzidas em partículas ‘flake’ e posteriormente picadas em moinho de martelo para obtenção de duas granulometrias de partículas. Foram realizados dois tratamentos, T1 com colchão homogêneo de mix de partículas das duas granulometrias obtidas e o T2 multicamadas com diferentes granulometrias nas camadas externas e interna (proporção 40:60:40). O adesivo aplicado com pistola aspersora dentro de tambor giratório foi ureia-formaldeído no teor de 10% (base peso seco) com catalisador (sulfato de amônio) e 1% de emulsão de parafina. O colchão de partículas, de dimensões 40x40x0,95cm, foi pré-prensado a frio durante 5 minutos e, em seguida, prensado a temperatura de 180°C durante 8 minutos e pressão de 30kgf. Após climatização, os corpos de prova foram cortados de acordo com a norma ABNT NBR 14810-2 (2002) e foram realizados os testes físicos para determinação do teor de umidade, densidade, razão de compactação, absorção de água e inchamento em espessura. Os testes mecânicos realizados foram para determinação da flexão estática, ligação interna e arrancamento de parafuso de superfície. Os resultados evidenciaram a viabilidade de uso da madeira de *Ateleia glazioviana* na fabricação de painéis aglomerados, com indicação de uso que não exija alta resistência mecânica e limitado a ambientes internos.

Palavras-chave: Timbó, painéis reconstituídos, produtos à base de madeira.

AGGLOMERATED PANELS PRODUCED WITH *Ateleia glazioviana* WOOD

Abstract: This study aimed to evaluate the technological properties of medium density panels made with wood particles of the species *Ateleia glazioviana*. The 25-year-old trees were collected in Santa Maria, state of Rio Grande do Sul, where the species is naturally occurring. The logs were split into boards, reduced into 'flake' particles and later chopped in a hammer mill to obtain two particle sizes. Two treatments were done, T1 with a homogeneous mattress of mix of particles of the two granulometries obtained and T2 multilayer with different granulometries in the outer and inner layers (ratio 40:60:40). The adhesive applied with a spray gun inside a rotating drum was 10% urea-formaldehyde (dry weight basis) with catalyst (ammonium sulfate) and 1% paraffin emulsion. The particle mattress, with dimensions 40x40x0.95cm, was pre-pressed cold for 5 minutes and then pressed at a temperature of 180°C for 8 minutes and a pressure of 30kgf. After acclimatization, the specimens were cut in accordance with the ABNT NBR 14810-2 (2002) standard and physical tests were performed to determine the moisture content, density, compaction ratio, water absorption and swelling in thickness. The mechanical tests performed were to determine static bending, internal bonding and surface screw pullout. The results showed the viability of using wood from *Ateleia glazioviana* in the manufacture of particleboard panels, with an indication for use that does not require high mechanical strength and is limited to indoor environments.

Keywords: Timbo, reconstituted panels, wood-based products.

INTRODUÇÃO

Os painéis de madeira aglomerada, ou painéis de madeira reconstituída, caracterizam-se como painéis produzidos a partir de partículas de madeira distribuídas aleatoriamente, aglutinadas por ação de um adesivo e aplicação de pressão e temperatura a fim de se obter um produto específico (MOSLEMI, 1974; BRITO, 1984; TSOUMIS, 1991; MALONEY, 1993; IWAKIRI, 2005; MATTOS et al., 2008).

As vantagens dos painéis aglomerados abrangem a eliminação dos defeitos da madeira, anisotropia e instabilidades dimensionais, além da menor exigência da qualidade da matéria-prima acarretando menor custo de produção. Devido aos parâmetros do processo de produção, os painéis de madeira também possibilitam o controle das propriedades físicas e mecânicas do produto além da obtenção de peças de dimensões maiores, principalmente quando comparado a madeira maciça (TRIANOSKI, 2010).

As principais aplicações dos painéis de partículas aglomeradas são na fabricação de portas, divisórias, rodapés e amplamente na produção de móveis em geral, segundo Iwakiri et al. (2005).

No Brasil, os principais produtos de madeira reconstituída fabricados são os painéis de fibra de média densidade (MDF), painéis de fibras de alta densidade (HDF), painéis de partículas de média densidade (MDP) e painéis de partículas orientadas (OSB), de acordo com Cunha et al. (2019). Os números referentes ao mercado no Brasil são expressivos, segundo estatísticas do Indústria Brasileira de Árvores (IBÁ, 2020), foram exportados cerca de 580 mil m³ de painéis de madeira no segundo trimestre do ano 2020.

No país, as madeiras mais utilizadas são os gêneros *Pinus* e, em menor quantidade, *Eucalyptus*. A madeira utilizada na fabricação de painéis como matéria-prima é proveniente de reflorestamento, tais como, folhosas ou coníferas, sendo a escolha feita devido às características que se deseja para o painel, também a partir da região e disponibilidade de matéria-prima nesta localidade (ARAÚJO et al., 2019).

Trianoski et al. (2016) cita que além das espécies convencionais, outras espécies têm sido avaliadas tecnologicamente para esta finalidade, buscando ampliar a oferta de matéria-prima e melhorar a qualidade do produto final, onde pode-se citar os estudos realizados por Bufalino et al. (2012) com *Toona ciliata*; Iwakiri et al. (2012) com *Melia azedarach*, Trianoski et al. (2013) com *Cryptomeria japonica*, Napoli et al. (2013) com *Mimosa scabrella* e *Hovenia dulcis*, Martins et al. (2014) com *Cecropia pachystachya*, assim como resíduos agrícolas, como casca de arroz, de algodão e de coco, e outras, conforme mencionado por Mamza et al. (2014).

Diante do exposto, pesquisas de matérias-primas para o desenvolvimento de novos produtos, que possuam eficiência técnica superior ou equivalente aos materiais tradicionalmente utilizados pela indústria atualmente, são essenciais para atender as exigências do mercado globalizado (CUNHA et al., 2019; BELINI et al. 2014; FARRAPO et al. 2014). Além disso, é fundamental a oferta de espécies florestais alternativas para que se mantenha a sustentação do mercado, tornando-o ainda mais promissor (MISKALO, 2009), haja vista que, de acordo com Iwakiri et al. (2010), em relação à matéria-prima dos painéis de madeira, os gêneros mais utilizados são *Pinus* e *Eucalyptus*.

Uma das espécies com estudos escassos é o Timbó (*Ateleia glazioviana* Baill.) também chamado popularmente como timbozinho, maria-preta ou cinamomo-bravo (LONGHI, 1995). Espécie pioneira com ocorrência desde o Estado do Rio de Janeiro até a Argentina, conquanto tem intensa presença nas regiões noroeste do Rio Grande do Sul e oeste de Santa Catarina (SOBRAL et al. 2006). A madeira é classificada como leve ou moderadamente densa, com massa específica aparente situando-se, segundo Carvalho (2003), entre 0,50 e 0,76 g/cm³, e pode ser considerada uma madeira macia, atraente para fabricação de painéis e laminados.

Como forma de introduzir o uso da madeira de *Ateleia glazioviana*, este estudo objetivou produzir painéis aglomerados de madeira a partir da espécie e, avaliar suas propriedades físicas e mecânicas.

MATERIAL E MÉTODOS

Coleta e preparo do material

As árvores utilizadas como matéria-prima para a formação dos painéis aglomerados de madeira foram selecionadas em área experimental situada dentro do campus da Universidade Federal de Santa Maria. A espécie utilizada nesse estudo foi a *Ateleia glazioviana*, popularmente nomeada como Timbó. Os indivíduos possuíam idade de 25 anos e densidade básica de 0,58 g/cm³.

Inicialmente, as toras foram desdobradas em tábuas na serraria do Laboratório de Produtos Florestais da UFSM, as quais foram transformadas em partículas através de picador tipo 'flake' e na sequência, para obtenção de partículas de menores dimensões, em moinho de martelos. As partículas foram peneiradas para a obtenção de duas frações granulométricas distintas para composição do colchão, sendo a fração retida na malha de 2,45 mm e outra fração entre a malha 2,45 mm e 1,0 mm, havendo em ambas a eliminação do pó. As partículas foram parcialmente secas ao ar livre e permaneceram em sacos hermeticamente fechados até a etapa seguinte.

Formação dos painéis

As especificações dos painéis são descritas detalhadamente na Tabela 1. O teor de umidade das partículas no momento da produção dos painéis era de 4%, atingido com secagem em estufa em temperatura de 60°C. A resina utilizada para colagem das partículas foi o adesivo comercial ureia-formaldeído (UF) na porcentagem de 10% com base no peso seco da partícula, além de 1% de catalisador (sulfato de amônio) e, para a diminuição da absorção de umidade, aplicou-se 1% (base peso seco) de emulsão de parafina. Adotou-se o teor de umidade de 12% para a mistura das partículas.

Tabela 1 – Parâmetros de formação dos painéis.

PARÂMETROS	Quantidade de partículas por painel: 812 g
	Dimensões do painel: 40x40x0,95cm
	Densidade nominal: 0,65g/cm ³
	Pressão: 30kgf
	Temperatura: 180°C
	Tempo de prensagem: 8 minutos
TRATAMENTOS	Formação do colchão
T1	Mix - camada homogênea
T2	Duas granulometrias - multicamadas 40:60:40

Fonte: A autora (2021).

Foram definidos dois tratamentos variando a composição do colchão, onde o tratamento 1 (T1) foi composto por um mix de partículas de granulometria retida na malha de 2,45 mm misturadas (mix) em partículas que passaram pela malha da peneira com 2,45 mm e ficaram retidas na malha 1 mm. O tratamento 2 (T2) foi composto por multicamadas. O miolo do T2 foi formado por partículas da malha 2,45 mm e as camadas externas com partículas que passaram pela malha da peneira com 2,45 mm e ficaram retidas na malha 1 mm, na proporção 40:60:40. Para ambos os tratamentos foram mantidas as especificações, com três repetições cada.

A aplicação da resina e da parafina foi realizada com pistola de ar comprimido acoplada em tambor giratório, no sentido de obter melhor homogeneização das partículas. Em seguida, as partículas foram distribuídas manualmente em caixa formadora de dimensões 40x40x15cm obtendo o colchão. Após a pré-prensagem a frio de aproximadamente 5 minutos, o colchão foi direcionado à prensa hidráulica aquecida a uma temperatura de 180°C, onde permaneceu durante 8 minutos. Foram utilizadas barras de ferro limitadoras de 0,95 cm durante a prensagem para a obtenção da espessura do painel e ainda, chapas de aluzinco para evitar que o colchão aderisse aos pratos da prensa.

Avaliação dos painéis

Após a prensagem, os painéis permaneceram em câmara climatizada, com umidade relativa de 65% e temperatura de 20°C, durante um período aproximado de 30 dias. As amostras foram dimensionadas conforme norma NBR 14810-2 (ABNT, 2018) e os testes seguiram a mesma norma (Figura 1).

Figura 1 – Confeccção dos painéis.



Legenda: a) Pré-prensagem a frio após a aplicação da resina e emulsão de parafina nas partículas em tambor giratório. b) Colchão de partículas pronto para ser prensado. c) Prensa hidráulica com controle de temperatura e pressão d) Painel seccionado em corpos-de-prova para realização dos testes. Fonte: A autora (2021).

De acordo com a norma citada anteriormente, os seguintes testes foram realizados para a determinação da qualidade dos painéis. A caracterização física foi realizada com os ensaios de teor de umidade, densidade, razão de compactação (RC), absorção de água (AA) e inchamento em espessura (IE), ambos após 2 horas e 24 horas de imersão em água. Foram realizados os ensaios mecânicos de flexão estática (MOE e MOR) e os testes de ligação interna e arrancamento de parafuso de superfície em Máquina Universal de Ensaios.

Análise estatística

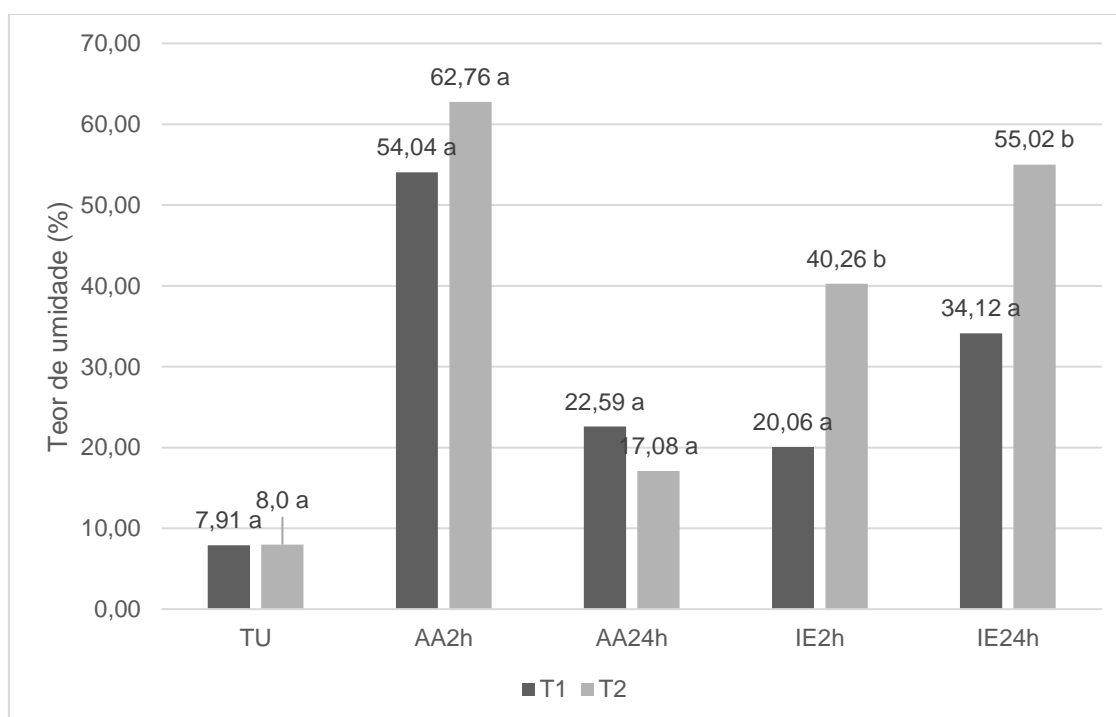
Os resultados foram verificados através de teste de hipótese com nível de significância de 5% e teste de médias Tukey em pacote estatístico SISVAR

(FERREIRA, 2011), e ainda, comparação com referências bibliográficas e normas de qualidade de painéis.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos nos testes físicos dos painéis aglomerados de madeira de *Ateleia glazioviana* podem ser observados na Figura 2.

Figura 2 – Resultados dos tratamentos para os testes de teor de umidade (TU), absorção de água (AA) e inchamento em espessura (IE).



Fonte: A autora (2021).

O teor de umidade final para os painéis do T1 foi de 7,91% e, o resultado do T2 foi de 8% sem diferença estatística entre os tratamentos, teores abaixo da umidade de equilíbrio do ambiente (câmara de climatização). Em conformidade, portanto, com a norma NBR 14810-2 (ABNT, 2002) que demonstra o critério para o teor de umidade dos painéis, o qual deve estar compreendido entre 5 e 13%.

Estes resultados, explicam-se devido principalmente ao processo de prensagem a quente e da aplicação de emulsão de parafina na formação do

colchão. Weber e Iwakiri (2015) explicam que a higroscopicidade é reduzida pela transformação da madeira em partículas, além do processo de secagem e prensagem a quente, o que pode contribuir para a redução dos sítios higroscópicos e levar à perda da água de constituição.

No que se refere ao inchamento em espessura, os painéis não atingiram o valor máximo de 22% para IE durante 24h, definido pela norma brasileira.

Para a norma NBR 14810-2 (2002) e EN 312-2 (2003), não há especificação de valores máximos para a propriedade de absorção de água, cujos valores não apresentaram diferença entre os tratamentos.

Os painéis de partículas de madeira, quando expostos à umidade, sofrem alterações e, em alguns casos a magnitude desta propriedade é um fator que limita a utilização deste produto (TRIANOSKI, 2010). Os testes de absorção de água, após 2 horas e 24 horas de imersão, demonstraram igualdade entre os tratamentos. Entretanto, para os testes de inchamento em espessura, após 2 horas e 24 horas, os tratamentos diferiram significativamente, com menor aumento de espessura para o tratamento T1, apresentando vantagem para o mix de partículas.

O tipo de resina pode ter prejudicado os resultados de absorção de água e inchamento em espessura, já que uma das desvantagens da ureia-formaldeído é a baixa resistência à umidade, o que limita seu uso à ambientes secos. Entretanto, a resina de UF tem sido amplamente utilizada na indústria de painéis à base de madeira há mais de um século, com as vantagens de fácil manuseio e baixo custo em relação a outras resinas (VALLE et al., 2020; LUBIS et al., 2017).

Tabela 2 – Resultados dos tratamentos para densidade, razão de compactação (RC), espessura final, módulo de elasticidade (MOE), módulo de ruptura (MOR), ligação interna (LI) e arrancamento de parafuso.

Trat	Densidade (g/cm ³)	RC	Espessura final (mm)	MOE (MPa)	MOR (MPa)	LI (Mpa)	Arrancamento de parafuso (N)
T1	0,59 a	1,01 a	9,8 a	1267,12 a	8,21 a	0,25 a	44,95 a
T2	0,63 a	1,08 a	10,1 a	885,22 b	6,33 b	0,07 b	53,93 a

Legenda: Trat: tratamento. RC: razão de compactação (sem unidade). MOE: Módulo de elasticidade. MOR: Módulo de ruptura. LI: ligação interna. Médias seguidas pelas mesmas letras na coluna não apresentam diferença estatística (Tukey, $\alpha = 0,05$). Fonte: A autora (2021).

A classificação da densidade dos painéis foi de média densidade, conforme estudo realizado por Iwakiri et al. (2005) que estabelece intervalo entre 0,59 e 0,80 g/cm³ para tal classificação.

No que diz respeito à densidade da madeira para a produção de painéis de partículas, as espécies mais adequadas possuem densidade de até 0,55 g/cm³ (MALONEY, 1993; MOSLEMI, 1974). A densidade da madeira influencia a razão de compactação do painel, que, segundo Maloney (1993) define a faixa ideal entre 1,3 e 1,6, para densificação de painéis, resultados não atingidos no presente estudo. Os resultados abaixo do esperado para a razão de compactação justificam-se pela densidade da madeira utilizada de 0,58 g/cm³.

No entanto, segundo Cloutier (1998), apesar de menos desejadas, madeiras de espécies com densidades maiores podem ser empregadas em mistura com aquelas de densidade mais baixa.

A espessura final dos painéis não apresentou diferença estatística entre os tratamentos, com médias de 9,8mm e 10,1mm para o T1 e T2, respectivamente. Resultados apontam a eficiência do uso de ‘stops’ ou limitadores de ferro durante a prensagem do colchão. E ainda, demonstram a baixa liberação das tensões de compressão que ocorrem logo após a abertura da prensa.

Os ensaios de flexão apresentaram diferenças significativas ao nível de significância de 5%, sendo que o T1 apresentou médias maiores tanto para MOE

quando para MOR. A norma NBR 14810-2 (ABNT, 2002) e a norma EN 312 (2003) definem valor mínimo de MOE de 1800 Mpa, em painéis com espessura entre 6 e 13 mm, para uso em condições secas. Sendo assim, os painéis não atingiram valores de flexão satisfatórios de acordo com a norma. Apesar disso, o tratamento T1 (1267,12 MPa) apresentou valor significativamente superior ao T2 (885,22 Mpa).

Sanches (2012) trabalhando com quatro espécies de folhosas, *Eucalyptus spp.*, *Pinus spp.*, *Hovenia dulcis*, *Mimosa scabrella*, obteve médias comparativas para o módulo de ruptura que variaram entre 6,19 MPa e 9,46 Mpa. Para ligação interna, o mesmo autor encontrou valores de 0,57 MPa a 1,24 Mpa, bem superiores quando comparadas ao presente estudo. Assim como, os valores médios do teste de arrancamento de parafuso na superfície variaram entre 436,11 e 628,61 N.

Guimarães Jr et al. (2013) avaliaram painéis aglomerados de *Eucalyptus grandis*, *Pinus oocarpa* e *Acacia mangium*. Obtiveram resultados de MOE 1803; 1830 e 2559 MPa, respectivamente para cada espécie e, da mesma forma, para MOR os valores foram de 11; 11 e 18 MPa. Para ligação interna, os painéis resultaram em médias de 0,59; 0,27 e 0,73 MPa.

Segundo Cunha et al. (2019), é recorrente o não atendimento aos padrões de qualidade em diversos estudos de painéis de madeira confeccionados com diferentes matérias-primas, como *Nectandra sp.* e *Ocotea sp.* (LONGO et al., 2015), *Pinus oocarpa* (SCATOLINO et al., 2013), *Pinus taeda* e *Grevillea robusta* (TRIANOSKI et al., 2011), *Pinus taeda*, *Eucalyptus saligna*, *Mimosa scabrella* (NAPOLI, 2013).

Para a ligação interna, as mesmas normas especificam que os resultados mínimos para painéis de espessura de 6 a 13mm devem atingir 0,40 Mpa, valores não alcançados pelos tratamentos realizados nesse estudo. No que diz respeito aos valores não esperados para o teste de ligação interna, onde os painéis atingiram baixos resultados, pode-se inferir que as causas são variadas. De forma geral, o teor de extrativos interfere na colagem de painéis aglomerados/MPD, assim, espécies com altos teores de extrativos geram painéis cuja colagem é menos eficiente e de qualidade inferior em relação às

com baixos teores (BUFALINO et al, 2012). Para colagens mais eficientes, o aumento no teor de adesivo pode ser satisfatório.

A norma americana de comercialização, ANSI208.1 (ANSI, 1993) aponta valores mínimos para recomendação de uso dos painéis. Em relação a norma ANSI A208.1 (ANSI, 1993) os painéis do presente estudo classificam-se como de baixa densidade, atingindo os valores mínimos de MOE e MOR para a categoria LD1 em ambos os tratamentos. Em relação à ligação interna (TP: tração perpendicular) o tratamento T1 enquadra-se na categoria LD2 e o tratamento T2 atingiu parâmetros para LD1, com aplicação indicada para enchimento de portas, que não exigem grandes resistências, porém com funções de isolamento acústico e térmico.

Para resistência ao arrancamento de parafuso na superfície do painel, a norma citada, para painéis de partículas de baixa e de média densidade admite valores mínimos de 550 N e de 1000 N, respectivamente, portanto, os resultados não atingidos e bem abaixo do esperado. É possível que a espessura dos painéis pode ter prejudicado os testes de arrancamento de parafuso, considerando que a espessura mínima para os testes estipulada é de 14 mm, e os painéis do presente estudo foram confeccionados com espessura de 9,5 mm.

Para a norma americana, o teor aceitável para inchamento em espessura para 24 horas é de 35%. Portanto, o tratamento T1 apresentou resultados satisfatórios com percentual de 34,12 para esse teste.

CONCLUSÃO

Na comparação entre a composição dos painéis (homogêneo ou multicamadas), os painéis homogêneos tiveram melhor desempenho para os parâmetros de resistência mecânica (MOE e MOR) e ligação interna. No mesmo sentido, em relação às propriedades físicas, os painéis formados com o Mix apresentaram melhores resultados para o inchamento em espessura nos períodos testados, apesar de não atingirem os padrões de algumas normas avaliadas, os teores apresentam conformidade apenas com a norma americana para o teste após 24h.

Foi comprovada a viabilidade de uso da madeira de *Ateleia glazioviana* na fabricação de painéis aglomerados, com indicação de uso que não exijam resistência mecânica e limitado seu uso em condições secas. Indica-se que novas pesquisas sejam realizadas com variação do tipo e teor de adesivo e adição de partículas de espécies de menor densidade básica para obtenção de melhores propriedades.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR: 14810-2**. Painéis de partículas de média densidade: requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2002.

AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE. Particleboards, **ANSI A 208.1**. New York, 1993.

ARAUJO, C. K. C. et al. Caracterização mecânica de painéis particulados de média densidade produzidos a partir de resíduos de madeira. **Revista Gestão Industrial**, Ponta Grossa, v. 15, n. 1, p. 197-211, jan./mar.2019.

BELINI, U. L. et al. Painel multicamadas com reforço de partículas de bambu. **Scientia Forestalis**, v. 42, n. 103, p. 421-427, 2014.

BUFALINO, L. et al. Caracterização química e energética para aproveitamento da madeira de costaneira e desbaste de cedro australiano. **Pesquisa florestal brasileira**, Colombo, v. 32, n. 70, p. 129-137, abr./jun. 2012.

CARVALHO, P. E. R. Espécies arbóreas brasileiras. Embrapa: **Informação Tecnológica**. Coleção Espécies Arbóreas Brasileiras, v.1. 1039p. Colombo, PR: Embrapa Florestas, 2003.

CLOUTIER, A. Oriented strandboard (OSB): raw material, manufacturing process, properties of wood-base fiber and particle materials. In: 1st International Seminar on Solid Wood Products of High Technology. **Anais...** Belo Horizonte, MG, p. 173-185, 1998.

CUNHA, A. B. et al. Technological properties of particleboards produced using mixture of pines and bamboo. **Ciência Rural**, v. 49, n. 5, 2019.

European Committee for Standardization. **European Standard EN 312: Particleboard - Specifications**. Brussel, Belgium, 2003.

FARRAPO, C. L. et al. Aproveitamento da madeira de *Pterocarpus violaceus* na produção de painéis aglomerados. **Scientia Forestalis**, v. 42, n. 103, p. 329-335, 2014.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n.6, p. 1039-1042, 2011.

GUIMARÃES JUNIOR, J. B., et al. Produção de painéis aglomerados da madeira de desrama de *Acacia mangium*. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 33, n. 76, p. 387–391, 2013.

IWAKIRI, S. et al. **Painéis de madeira aglomerada**. In: IWAKIRI, S. (Org.). Painéis de madeira reconstituída. Curitiba: FUPEF, p. 137-182. 2005.

IWAKIRI, S. et al Avaliação do potencial de utilização da madeira de *Schizolobium amazonicum* "Paricá" e *Cecropia hololeuca* "Embaúba" para produção de painéis aglomerados. **Acta Amazonica**, v.40, n.2, Manaus, 2010.

IWAKIRI, S. et al. Produção de painéis aglomerados homogêneos e multicamadas de (Cinamomo) e com diferentes teores de resina. **Cerne**: 18(3): 465-470, 2012.

LONGHI, S. J. Aspectos fitossociológicos de fragmento de Floresta Estacional Decidual, Santa Maria, RS. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.10, n.2, p.59-74, 2000.

LONGHI, R. A. **Livro das árvores: árvores e arvoretas do sul**. Porto Alegre: L&PM, 1995. 176 p.

LONGO, B. L. et al. Caracterização tecnológica de painéis particulados localizados com resíduos de cinco espécies tropicais. **Scientia Forestalis**, v.43, n.108, p. 907-917, 2015.

LUBIS, M. A. R. et al. Modificação de adesivos de resina de uréia-formaldeído com isocianatos bloqueados usando bissulfito de sódio. **International Journal of Adhesion and Adhesives**. v. 73, p. 118-124, 2017.

MALONEY, T. M. Modern particleboard & dry-process fiberboard. San Francisco: Miller Freeman, 681 p. 1993.

MARTINS, E. H. et al. Painéis aglomerados convencionais produzidos com madeira de *Cecropia pachystachya*. **Biosfera**, v. 10, n. 19, p. 1418-1425, 2014.

MATTOS, R. L. G.; GONÇALVES, R. M.; CHAGAS, F. B. **Painéis de madeira no BRASIL: panorama e perspectivas**. **Produtos Florestais**. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 27, p. 121-156, mar. 2008.

- MISKALO, E. P. **Avaliação do potencial de utilização de bambu (*Dendrocalamus giganteus*) na produção de painéis de partículas orientadas**. 2009. 130 f. Mestrado (Dissertação) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, 2009.
- MOSLEMI, A. A. **Particleboard: technology**. London: Southern Illinois University, 1974. v. 2, 245p.
- NAPOLI, L. M. et al. Propriedades físicas da madeira e de painéis aglomerados localizados com misturas de espécies florestais, **Florestal**, v.43, n.3, p.475-484, 2013.
- SANCHES, F. L. **Qualidade de painéis aglomerados produzidos com mistura de madeiras de quatro espécies florestais**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual do Centro Oeste, PR– Irati, PR: UNICENTRO, 2012.
- SCATOLINO, M. V. et al. Uso da espiga de milho na produção de painéis aglomerados. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 37, n.4, 2013.
- SOBRAL, M.; JARENKOW, J. A.; BRACK, P.; IRGANG, B.; LAROCCA, J.; RODRIGUES, R. S. **Flora arbórea e arborescente do Rio Grande do Sul, Brasil**. São Carlos, RiMA/Novo Ambiente. 2006.
- SOUZA, A. M. et al. Wood-based composite made of wood waste and epoxy-based ink-waste as adhesive: A cleaner production alternative. **Journal of Cleaner Production**, v. 193, p.549-562, 2018.
- TRIANOSKI, R. **Avaliação do potencial de espécies florestais alternativas, de rápido crescimento, para produção de painéis de madeira aglomerada**. 2010. 260 f. Mestrado (Dissertação) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, 2010.
- TRIANOSKI et al. Avaliação de espécies alternativas de rápido crescimento para produção de painéis de madeira aglomerada de três camadas. **Scientia Forestalis**, v.39, n.89, p.97-104, 2011.
- TRIANOSKI, R.; et al. Utilização da madeira de *Cryptomeria japonica* para produção de painéis aglomerados. **Scientia Forestalis**, v. 41, n. 97, p. 57-64. 2013.
- TRIANOSKI, R. et al. Incorporação de *Grevillea robusta* na Produção de Painéis Aglomerados de Pinus. **Floresta Ambient.**, Seropédica, v.23, n.2, p. 278-285, June, 2016.
- VALLE, A. C. M. et al. Physical and mechanical properties of particleboard from *Eucalyptus grandis* produced by urea formaldehyde resin with SIO₂ nanoparticles. **Engenharia Agrícola**, v. 40, n. 3, p. 289-293, 2020.

WEBER, C; IWAKIRI, S. Utilização de resíduos de compensados, MDF e MDP para produção de painéis aglomerados. **Revista Ciência Florestal**, v.25, n.2, p.405-413, 2015.

9 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A caracterização das propriedades tecnológicas da madeira proporciona complementação aos escassos estudos já realizados com a espécie, mostrando pontos positivos, principalmente no aspecto da relação entre média densidade, boa resistência mecânica e a baixa movimentação dimensional.

No aspecto de secagem, não foram encontrados na literatura dados referentes ao Timbó, importantes para orientar o seu uso na serraria, sobre o qual se pode dizer que a madeira apresentou comportamento semelhante a outras espécies convencionais no mercado. A secagem foi rápida e a qualidade da madeira serrada classificou-se nas normas exigidas.

A produção de briquetes resulta em uma alternativa compacta e densificada, com maior poder de geração de energia por unidade de volume. O timbó apresentou características interessantes na formação de coproduto rentável e sustentável, haja vista que pode ser feito do aproveitamento de resíduos de serrarias, ou ainda, considerando o aproveitamento integral de toras para formação de briquetes. A avaliação da qualidade de briquetes, apesar de grande variedade de biomassas existente no país, é dificultada pela falta de normatização técnica brasileira com regulamentação de classes de utilização.

No que abrange a confecção de painéis com partículas de madeira, a espécie demonstrou aptidão de uso principalmente para aplicações que não requerem grande resistência mecânica. A produção de painéis com espécies nativas torna-se uma alternativa para aumentar o aproveitamento da madeira diante dos troncos com características naturais não-retilíneas.

Acredita-se que a madeira de *Ateleia glazioviana* possa ser usada como alternativa para as indústrias brasileiras ou pelo menos regionais, para complementar ou substituir as espécies utilizadas atualmente, na sua maioria exóticas, em diversos setores produtivos da cadeia florestal. Plantios experimentais, fomento para produtores, associados ao incentivo para pesquisa de aptidão e, avaliação da adaptação e crescimento da espécie são os primeiros passos para o abastecimento diversificado e sustentável do mercado de

produtos madeireiros e ainda o fortalecimento do uso doméstico e para subsistência.