

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CAMPUS DE CURITIBANOS
DEPARTAMENTO DE AGRICULTURA, BIODIVERSIDADE E FLORESTAS
CURSO DE ENGENHARIA FLORESTAL

Camila Alves Corrêa

Propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Liquidambar styraciflua* L. aos 24 anos

Curitibanos, SC

2021

Camila Alves Corrêa

Propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Liquidambar styraciflua* L. aos 24 anos

Trabalho Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Florestal do Centro de Ciências Rurais da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Florestal.

Orientador: Prof.^a Dr.^a. Karina Soares Modes

Curitibanos, SC

2021

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Corrêa, Camila Alves
Propriedades físicas e mecânicas da madeira de
Liquidambar styraciflua L. aos 24 anos / Camila Alves
Corrêa ; orientadora, Karina Soares Modes, 2021.
45 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Campus
Curitibanos, Graduação em Engenharia Florestal,
Curitibanos, 2021.

Inclui referências.

1. Engenharia Florestal. 2. Espécie alternativa. 3.
Densidade básica. 4. Estabilidade dimensional. 5.
Resistência mecânica. I. Modes, Karina Soares. II.
Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em
Engenharia Florestal. III. Título.

Camila Alves Corrêa

Propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Liquidambar styraciflua* L. aos 24 anos

Este Trabalho Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de “Bacharel em Engenharia Florestal” e aprovado em sua forma final pelo Curso de Engenharia Florestal

Curitiba, 16 de agosto de 2021.



Documento assinado digitalmente
Mário Dobner Junior
Data: 07/09/2021 07:47:26-0300
CPF: 034.250.659-55
Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

Prof. Dr. Mário Dobner Junior
Coordenador do Curso

Banca Examinadora:



Documento assinado digitalmente
Karina Soares Modes
Data: 06/09/2021 12:49:44-0300
CPF: 003.082.240-86
Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

Profª. Drª. Karina Soares Modes
Orientadora
Universidade Federal de Santa Catarina



Documento assinado digitalmente
Magnos Alan Vivian
Data: 06/09/2021 13:25:09-0300
CPF: 007.088.210-06
Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

Prof. Dr. Magnos Alan Vivian
Avaliador
Universidade Federal de Santa Catarina



Documento assinado digitalmente
Kelen Haygert Lencina
Data: 06/09/2021 13:51:55-0300
CPF: 011.476.600-26
Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

Profª. Drª. Kelen Haygert Lencina
Avaliadora
Universidade Federal de Santa Catarina

AGRADECIMENTOS

A minha mãe, Giseli da Silva Alves, por ter me apoiado com todo seu amor em todos os momentos, por ser o maior exemplo que eu poderia ter de força e superação, e por não me deixar desistir de realizar este sonho.

A minha irmã, Marina Alves Corrêa, pelo carinho, amor, parceria e por sempre estar disposta a ajudar.

Ao meu namorado, Raphael Queiroz, pelo amor, companheirismo, paciência e compreensão durante todos esses anos.

Aos meus familiares e amigos, pela ajuda e incentivo.

A minha Orientadora, Karina Soares Modes, por ter acreditado em mim e sempre se mostrar disposta a ajudar e contribuir para um melhor aprendizado.

A Universidade Federal de Santa Catarina, pelo ensino gratuito e de qualidade, pelo apoio financeiro durante a graduação e pela oportunidade de desenvolver pesquisa científica.

Ao CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, pela bolsa de estudos que viabilizou a realização deste trabalho.

A empresa Florestal Gateados Ltda, pelo fornecimento da madeira avaliada.

A todos que contribuíram para a realização deste trabalho.

Muito obrigada!

RESUMO

A base florestal comercial de Santa Catarina é formada, quase exclusivamente, por florestas plantadas dos gêneros *Pinus* e *Eucalyptus* e, a contribuição de espécies de outros gêneros nos plantios comerciais não é significativa. Em virtude disto, deve-se buscar espécies alternativas para reduzir a dependência do setor industrial madeireiro daquelas usadas tradicionalmente, diversificando a base florestal. O *Liquidambar styraciflua* L. é uma espécie alternativa potencial para o reflorestamento no Brasil, logo, torna-se importante o desenvolvimento de estudos que forneçam novas informações tecnológicas sobre a madeira da mesma. Assim, o presente estudo teve como objetivo avaliar as propriedades físicas e mecânicas da madeira de *L. styraciflua*, a fim de delinear o seu potencial aos 24 anos como fonte de matéria-prima para a produção de produtos sólidos. A madeira utilizada foi proveniente de árvores da espécie em crescimento no município de Campo Belo do Sul – SC. Foram determinadas as alturas total e comercial de árvores representativas do povoamento, esta última considerada a posição correspondente ao diâmetro mínimo de 8 cm, extraíram-se discos para amostragem ao longo do tronco (considerando a altura comercial como 100%), nas posições 0% (base), 25%, 50%, 75% e 100%, e um disco adicional na posição do DAP, para caracterização das propriedades físicas. Da primeira tora de cada árvore foram confeccionados os corpos de prova para os ensaios mecânicos da madeira, realizados de acordo com as recomendações da norma COPANT. A madeira de *L. styraciflua* apresentou densidade básica ponderada igual a 0,52 g/cm³, sendo classificada como média. Os valores de densidade básica da madeira não diferiram estatisticamente ao longo do comprimento comercial do fuste, evidenciando uma uniformidade desta propriedade no sentido longitudinal da árvore. As contrações lineares totais nos sentidos radial, tangencial e volumétrica foram de 5,19%, 11,13% e 15,76% respectivamente. A madeira avaliada foi considerada mais estável dimensionalmente em comparação aos estudos com algumas espécies de folhosas de uso tradicional do gênero *Eucalyptus*. O coeficiente de anisotropia total obtido foi igual a 2,2 o que indica que a secagem deve ser conduzida de forma lenta para evitar a incidência de defeitos. Em relação às propriedades mecânicas, obtiveram-se valores de resistência (MOR) e rigidez (MOE) ao ensaio de flexão estática igual a 59,24 N/mm² e 7.964,42 N/mm² respectivamente, e para a resistência ao cisalhamento paralelo à grã valor de 11,77 N/mm². A madeira de *L. styraciflua* é indicada para aplicações que solicitam maior resistência ao cisalhamento, podendo ser aplicada por exemplo em seções de partes estruturais compostas por peças entalhadas.

Palavras-chave: Espécie alternativa. Densidade. Estabilidade dimensional. Resistência mecânica.

ABSTRACT

The commercial forest base of Santa Catarina is formed almost exclusively by planted forests of the genera *Pinus* and *Eucalyptus* and the contribution of species from other genera in commercial plantations is not significant. Because of this, alternative species should be sought to reduce the dependence of the timber industrial sector on those traditionally used, diversifying the forest base. *Liquidambar styraciflua* L. is a potential alternative species for reforestation in Brazil, so it becomes important to develop studies that provide new technological information on its wood. Thus, the present study aimed to evaluate the physical and mechanical properties of *L. styraciflua* wood in order to outline its potential at 24 years as a source of raw material for the production of solid products. The wood used came from trees of the growing species in the municipality of Campo Belo do Sul - SC. The total and commercial heights of trees representing the stand were determined, the latter considered the position corresponding to the minimum diameter of 8 cm, discs were extracted for sampling along the trunk (considering the commercial height as 100%), at positions 0% (base), 25%, 50%, 75% and 100%, and an additional disc in the POSITION of the DAP, for characterization of the physical properties. From the first log of each tree, the specimens were made for the mechanical tests of the wood, carried out according to the recommendations of the COPANT standard. The wood of *L. styraciflua* presented weighted basic density equal to 0.52 g/cm³, being classified as average. The values of basic density of the wood did not differ statistically along the commercial length of the wood, evidencing a uniformity of this property in the longitudinal direction of the tree. The total linear contractions in the radial, tangential and volumetric directions were 5.19%, 11.13% and 15.76%, respectively. The wood evaluated was considered more stable dimensionally compared to studies with some species of hardwoods of traditional use of the genus *Eucalyptus*. The total anisotropy coefficient obtained was 2.2, which indicates that drying should be conducted slowly to avoid the incidence of defects. Regarding mechanical properties, resistance (MOR) and stiffness (MOE) values were obtained at the static bending assay equal to 59.24 N/mm² and 7,964.42 N/mm², respectively, and for shear resistance parallel to the total value of 11.77 N/mm². *L. styraciflua* wood is indicated for applications that request greater shear resistance, and can be applied for example in sections of structural parts composed of notched parts.

Keywords: Alternative species. Density. Dimensional stability. Mechanical resistance.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Coloração das folhas de <i>Liquidambar styraciflua</i> L. em diferentes estações do ano.	15
Figura 2 – Forma de tronco da espécie <i>Liquidambar styraciflua</i> L. aos 24 anos de idade plantada em Campo Belo do Sul, SC.	16
Figura 3 – Direções ou eixos principais da madeira.....	18
Figura 4 – Esquema de retirada dos discos e primeira tora de cada árvore.....	21
Figura 5 – Discos para amostragem ao longo do tronco.	22
Figura 6 – Cunhas após 30 dias de imersão em água (A). Utensílio de madeira com aparato metálico pontiagudo (B). Imersão das cunhas em água para determinação do volume saturado (C).....	23
Figura 7 – Corpos de prova para avaliação da contração da madeira.	25
Figura 8 – Ensaio de flexão estática em máquina universal de ensaios mecânicos.	27
Figura 9 – Ensaio de cisalhamento em máquina universal de ensaios mecânicos.	28
Figura 10 – Variação longitudinal da densidade básica da madeira de <i>Liquidambar styraciflua</i> L.....	29
Figura 11 – Regressões lineares e respectivas equações para estimativa das propriedades mecânicas em função da densidade aparente a 12% de umidade dos corpos de prova.....	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1– Classificação da madeira em função da densidade básica.....	24
Tabela 2 – Análise de variância para as densidades básicas entre as posições longitudinais do fuste.	29
Tabela 3 – Propriedades físicas da madeira de <i>Liquidambar styraciflua</i> L.	31
Tabela 4– Propriedades mecânicas da madeira de <i>Liquidambar styraciflua</i> L.....	33

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ACR – Associação Catarinense de Empresas Florestais

COPANT – Comissão Panamericana de Normas Técnicas

DAP – Diâmetro a Altura do Peito (1,30 m)

UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina

MOE – Módulo de Elasticidade

MOR – Módulo de Ruptura

PSF – Ponto de Saturação das Fibras

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	OBJETIVOS	12
1.1.1	Objetivo Geral.....	12
1.1.2	Objetivos Específicos	12
2	REFERENCIAL TEÓRICO	14
2.1	CARACTERIZAÇÃO DA ESPÉCIE	14
2.2	PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS DA MADEIRA	17
3	METODOLOGIA.....	21
3.1	OBTENÇÃO DO MATERIAL	21
3.2	PROPRIEDADES FÍSICAS.....	22
3.2.1	Densidade básica e sua variação longitudinal - cunhas.....	22
3.2.2	Estabilidade dimensional e densidade aparente - corpos de prova.....	24
3.3	PROPRIEDADES MECÂNICAS	26
3.3.1	Resistência e rigidez ao ensaio de flexão estática	26
3.3.2	Resistência ao esforço de cisalhamento paralelo a grã.....	27
3.4	ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	28
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	29
4.1	DENSIDADE BÁSICA E SUA VARIAÇÃO LONGITUDINAL	29
4.2	ESTABILIDADE DIMENSIONAL E DENSIDADE APARENTE	31
4.3	PROPRIEDADES MECÂNICAS DA MADEIRA.....	33
5	CONCLUSÃO.....	38
	REFERÊNCIAS	39

1 INTRODUÇÃO

Santa Catarina é referência nacional no mercado de produtos florestais, visto que possui uma extensa base florestal capaz de atender a cadeia de produtos de madeira distribuída dentro e fora do Estado. A base florestal comercial de Santa Catarina é formada quase que exclusivamente por florestas plantadas, principalmente com espécies do gênero *Pinus* seguido pelo gênero *Eucalyptus*, segundo a Associação Catarinense de Empresas Florestais (ACR, 2019) e, não é significativa a contribuição de espécies de outros gêneros nos plantios comerciais. Em virtude disto, surge a necessidade de diversificar a base industrial madeireira atual no Estado, e para tal, devem-se buscar espécies alternativas, diminuindo assim a dependência do setor industrial madeireiro daquelas usadas tradicionalmente.

O *Liquidambar styraciflua* L. é uma espécie arbórea, folhosa, originária das Américas do Norte e Central com ampla distribuição natural, abrangendo as regiões Leste, Sudeste e Sul dos Estados Unidos, avançando pelo México, até a América Central. No Sul dos Estados Unidos, esta é uma das espécies de folhosa de maior área plantada para fins de produção de madeira, sendo considerada nos locais de origem de alta qualidade para usos gerais em construções, marcenaria e industrialização por apresentar textura uniforme, dureza, densidade média e facilidade de ser polida (KORMANIK, 1990; SHIMIZU; SPIR, 2004; SHIMIZU, 2005).

Esta espécie é formada por árvores caducifólias que atingem grande porte, possuem tronco retilíneo, se destacam por suas características adaptativas e de tolerância quanto as condições do solo para seu desenvolvimento, e ainda, são apropriadas para a região de ocorrência de geadas (LORENZI *et al.*, 2003; SHIMIZU; SPIR, 2004; SHIMIZU, 2005).

“O liquidambar é uma espécie alternativa valiosa para plantios florestais no sudoeste do Paraná, com potencial de produtividade de madeira em torno de 40 m³/ha/ano.” (SHIMIZU; SPIR, 2004, p. 490).

O estudo das características físico-mecânicas da espécie *L. styraciflua* L. em diferentes idades ou condições de crescimento, permite a avaliação da qualidade da madeira produzida com destino a composição de produtos sólidos.

Dentre as propriedades físicas, a que mais se destaca por sua importância tecnológica e para a utilização da madeira é a densidade básica, principalmente pela facilidade de ser determinada e por se correlacionar com grande parte das outras propriedades da madeira,

expressando sua qualidade final e seu comportamento nos processos tecnológicos e industriais (BATISTA; KLITZKE; SANTOS, 2010; OLIVEIRA; HELLMEISTER; TOMAZELLO FILHO, 2005). Segundo Oliveira, Hellmeister e Tomazello filho (2005), na caracterização da madeira, a determinação da densidade e principalmente de sua variação dentro da árvore, é fundamental como subsídio ao entendimento de sua qualidade. Outra importante propriedade física da madeira é a retratibilidade, que indica sua variação dimensional (inchamento ou encolhimento), que ocorre quando há ganho ou perda de água abaixo do ponto de saturação das fibras (SCANAVACA JUNIOR; GARCIA, 2004).

Já as propriedades mecânicas definem a resistência da madeira quando submetida a esforços externos e são influenciadas principalmente pela densidade, teor de umidade, porcentagem de lenho juvenil, ângulo das microfibrilas, inclinação da grã e quantidade de extrativos (EVANS *et al.*, 2000 *apud* LOBÃO *et al.*, 2004; JOSINO 2014). Entre as principais propriedades mecânicas da madeira estão a resistência à esforços de compressão, flexão, tração, cisalhamento e fendilhamento (ARAUJO, 2002).

Há poucos estudos sobre o *Liquidambar styraciflua* L. no Brasil (MATTOS *et al.*, 2001), principalmente quanto a qualidade da madeira, e por ser uma espécie alternativa potencial para o reflorestamento, torna-se importante o desenvolvimento de estudos que forneçam novas informações tecnológicas sobre a mesma.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Avaliar as propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Liquidambar styraciflua* L., em crescimento no município de Campo Belo do Sul, SC, a fim de delinear o seu potencial aos 24 anos de idade como fonte de matéria-prima para a produção de produtos sólidos de madeira.

1.1.2 Objetivos Específicos

Determinar a densidade básica e densidade aparente da madeira (verde, 12% e 0% de umidade);

Caracterizar a variação dimensional da madeira por meio da contração linear e volumétrica, coeficiente de retratibilidade e de anisotropia;

Determinar a resistência e rigidez da madeira ao ensaio de flexão estática;

Determinar a resistência da madeira aos esforços de cisalhamento paralelo à grã (planos tangencial e radial).

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 CARACTERIZAÇÃO DA ESPÉCIE

Segundo Kormanik (1990), o liquidambar (*Liquidambar styraciflua* L.) é uma espécie arbórea, folhosa, originária da região Sul e Sudeste dos Estados Unidos, estendendo-se por toda região Leste de Connecticut, Flórida e Leste do Texas, encontra-se ainda a Oeste de Missouri, Arkansas e Oklahoma, crescendo também em locais dispersos no Noroeste e Centro do México, Guatemala, Belize, Salvador, Honduras e Nicarágua, sendo utilizado nessas regiões principalmente para madeira serrada, marcenaria, madeira compensada, combustível e celulose.

Segundo Shimizu (2005), a espécie é utilizada a anos para fins medicinais, para tratamento de doenças de pele, disenterias e outros males, porém, a atividade mais lucrativa para esta espécie, principalmente no Sul dos Estados Unidos, é a produção de lâminas para painéis compensados.

“Nos locais de origem do *L. styraciflua*, a precipitação média anual varia de 1.020 mm no Norte a 1.500 mm no Sul, com temperatura mínima de -21 °C e máxima de 38 °C.” (KORMANIK, 1990, p. 400).

“*L. styraciflua* é uma espécie com crescimento relativamente rápido, tendo uma vida média de 200 anos, e atingindo a maturidade reprodutiva com cerca de 20- 30 anos de idade.” (MORRIS *et al.*, 2008, p. 3890).

A árvore apresenta copa cônica ou piramidal bastante longa, com folhas simples, alternas, com pecíolo longo, palmatilobadas, com 5-7 lobos agudos, verdes-brilhantes e de margens serrilhadas, de 6-12 cm de comprimento e, os frutos são do tipo cápsula globosa, espinescentes, com sementes pequenas e aladas (LORENZI *et al.*, 2003, p.148).

“As árvores são de grande porte, atingindo altura entre 24 e 40 m com diâmetro de até 1,5 m quando adultas, sua madeira é moderadamente dura e sua casca tem coloração marrom acinzentada apresentando sulcos estreitos.” (BISHOP, 2001, p. 70).

De acordo com Lorenzi *et al.* (2003), as árvores desta espécie também possuem atributos ornamentais pela exuberância das cores outonais que suas folhas atingem (Figura 1), sendo utilizadas no paisagismo de parques e jardins, na arborização de ruas e avenidas e na formação de aléias ao longo de caminhos e estradas.

Figura 1– Coloração das folhas de *Liquidambar styraciflua* L. em diferentes estações do ano.



Fonte: Franganillo (2018).

“Uma importante característica desta espécie é a capacidade de se desenvolver em solos úmidos, onde a maioria das espécies arbóreas não teria condições de prosperar.” (SHIMIZU; SPIR, 2004, p. 488). “É talvez uma das espécies de madeira mais adaptável em sua tolerância a diferentes condições do solo e do local.” (KORMANIK, 1990, p. 400). “O seu maior crescimento se observa em solos férteis, frescos, úmidos e areno-argilo-humíferos, de textura média e reação neutra, tolerando algum grau de salinidade.” (SHIMIZU, 2005, p. 129).

“O *L. styraciflua* foi introduzido no Brasil na década de 1970, no Município de Lençóis Paulista, SP, pela família Schukar, do México e, adaptou-se bem ao clima subtropical do Sudeste e Sul do Brasil, tolerando geadas nos municípios de Colombo, PR, e Canoinhas, SC.” (KALIL FILHO; WENDLING; TRACZ, 2011, p. 1).

Estudos realizados demonstraram que esta espécie possui potencial para o reflorestamento pelo fuste retilíneo (Figura 2) e pela boa qualidade de sua madeira, pois suas propriedades físicas, principalmente a densidade, apresentam poucas variações ao longo do tronco da árvore e sua densidade básica seria em torno de 0,52 g/cm³ (CARPENTER; HOPKINS, 1966; MATTOS *et al.*, 2001).

Freitas *et al.* (2015), confirmam a homogeneidade da densidade básica ao longo do fuste, e afirmam que essa é uma das características que faz o *L. styraciflua* aos 8 anos de idade já apresentar atributos positivos para a produção de polpa celulósica e papel, além disso, a espécie apresenta fibras mais longas que a média para as folhosas em geral, se tornando um diferencial.

Rezende *et al.* (2007) realizaram um estudo de comparação entre as variações da densidade básica da madeira de *L. styraciflua* e *P. tecunumannii* em Agudos, SP, e concluíram

que o *L. styraciflua* pode ser uma alternativa viável para reflorestamentos no Brasil, por possuir características interessantes para a produção de móveis e construção civil quando comparadas à espécie de pinus, tais como maior densidade média e menor variação da densidade.

De acordo com Matos *et al.* (2001) a madeira de *L. styraciflua* mostrou-se adequada para processamento mecânico, com níveis aceitáveis de contração volumétrica e índice de anisotropia de contração, e os valores encontrados para a densidade básica e para o poder calorífico são aceitáveis para a produção de energia.

“No Brasil, principalmente no Sul e Sudeste, esta espécie é uma das alternativas de grande potencial para o setor florestal, dada sua capacidade de adaptação e crescimento já comprovados nos plantios experimentais, e os múltiplos usos da sua madeira.” (SHIMIZU, 2005, p. 130). Em um plantio experimental realizado em Quedas do Iguaçu, PR, por Shimizu e Spir (2014) o *L. styraciflua* foi considerado uma espécie alternativa valiosa para plantios florestais, com potencial de produtividade de madeira em torno de 40 m³/ha/ano, semelhante a eucaliptos de rápido crescimento.

Figura 2– Forma de tronco da espécie *Liquidambar styraciflua* L. aos 24 anos de idade plantada em Campo Belo do Sul, SC.



Fonte: O autor (2021).

2.2 PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS DA MADEIRA

Segundo Freitas *et al.* (2015), devido à influência que as características genotípicas, qualidade do sítio e clima têm sobre o desenvolvimento das árvores, a madeira apresentará estrutura variável, com diferentes propriedades anatômicas e físico-mecânicas, sendo importante conhecer tais propriedades para um melhor aproveitamento do material. As principais propriedades físicas e mecânicas da madeira que provocam impacto na qualidade do produto final a ser produzido são a densidade, a estabilidade dimensional (retratibilidade) e a resistência mecânica.

Panshim e Zeeuw (1970), citados por Scanavaca Junior e Garcia (2004), explicam que a densidade básica é a massa de madeira seca em relação ao seu volume saturado e por ser de fácil determinação e apresentar boa correlação com as propriedades mecânicas da madeira, é uma das propriedades físicas mais estudadas no mundo. De acordo com Melo (2002) a densidade básica é muito usada na comparação entre propriedades de espécies e na condução de programas de secagem.

A densidade é uma das propriedades da madeira que, quando analisada em função da espécie, variedade, povoamento, idade, árvore, e até mesmo dentro de uma amostra ou disco, apresenta diferentes valores, isto enfatiza o grau de complexibilidade e a gama de informações diferenciadas que se pode extrair desta linha de pesquisa para diferentes povoamentos florestais (REZENDE; SAGLIETTI; GUERRINI, 1995, p. 134).

Alguns autores, como Panshin e Zeeuw (1980) e Lima *et al.* (2000), mencionam que essa característica aumenta muito rapidamente durante o período juvenil, cresce mais lentamente em um estágio intermediário da idade, até se tornar mais ou menos constante na fase da maturidade da árvore (*apud* CEZARO; TREVISAN; BALBINOT, 2016).

A densidade da madeira pode ser alterada em função das características da própria espécie, bem como das influências externas, assim como variações ambientais e intervenções silviculturais. As causas da alteração da densidade podem ser indiretas, ou seja, através da modificação de outras características da própria madeira, em detrimento das características da espécie ou, então, da influência em que o meio ambiente em que ela se desenvolve exerce (LATORRACA; ALBUQUERQUE, 2000, p. 280).

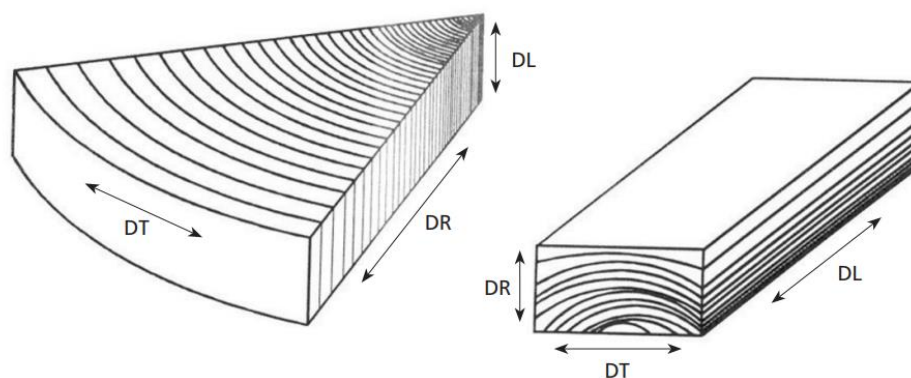
A densidade aparente é a relação entre a massa e o volume, ambos a um teor de umidade definido, normalmente determinada a 12 ou 15% de umidade, havendo, portanto, necessidade de condicionar a madeira em ambiente climatizado, o que torna o processo mais demorado, além de muitas vezes, ser necessário corrigir os valores obtidos, devido à variação que normalmente ocorrem em torno do teor de umidade desejado (MELO, 2002, p. 12).

Logsdon (1998), em seu trabalho sobre a influência da umidade sobre as propriedades físico-mecânicas afirma que a densidade aparente da madeira depende do seu teor de umidade, sendo inútil referir-se à densidade de uma amostra, sem fornecer o teor de umidade. Esse mesmo autor relacionou a densidade aparente com o teor de umidade e constatou um aumento da densidade aparente com o aumento da umidade.

“A madeira é uma matéria prima porosa e higroscópica, com capacidade de trocar continuamente água com o meio ambiente, buscando sempre uma condição de equilíbrio de potencial energético entre esses dois meios.” (REZENDE, 2003, p. 120). Para o referido autor, quando uma peça de madeira perde água diminuindo sua umidade, além da perda de massa, ela sofre uma diminuição em suas dimensões, denominada de retratibilidade linear e, conseqüentemente, em seu volume, denominado retratibilidade volumétrica, e estas variações dimensionais se processam até praticamente um valor fixo de umidade, que fica em torno de 28% para a grande maioria das espécies, este valor é denominado ponto de saturação das fibras (PSF).

Abaixo do PSF, a madeira começa a sofrer variações dimensionais, contraindo-se ao perder água ou inchando ao ganhar umidade. Essas variações dimensionais ocorrem de forma diferente em cada plano, tangencial, radial e longitudinal (Figura 3), e têm como consequência os defeitos nas peças de madeira, como empenamentos, abaulamentos, colapsos, encanoamentos e arqueamentos, que podem ser reduzidos controlando-se o processo de secagem (BRAZ *et al.*, 2015, p. 118).

Figura 3– Direções ou eixos principais da madeira.



Fonte: Melo (2002).

Legenda: DT= direção tangencial; DR= direção radial; DL= direção longitudinal.

Segundo Oliveira, Tomazello Filho e Fiedler (2010) o princípio da retratibilidade se deve ao fato de as moléculas de água estarem ligadas por pontes de hidrogênio às microfibrilas dos polissacarídeos que formam a madeira, e quando estas são forçadas a sair, deixam um

espaço, e as forças de coesão tendem a reaproximar as microfibrilas, causando, portanto, contração da madeira como um todo. Os autores também explicam que o fenômeno da expansão é o inverso, ou seja, quando a água é adsorvida pela madeira, tende a penetrar entre as microfibrilas, causando, portanto, o afastamento delas e o consequente inchamento da peça de madeira como um todo.

Além da umidade, a densidade da madeira também influencia na estabilidade dimensional, segundo Oliveira, Tomazello Filho e Fiedler (2010) as madeiras mais densas, por terem maior concentração de células com paredes mais espessas, tendem a absorver mais água por unidade de volume e, conseqüentemente, a expandir ou contrair mais do que aquelas de menor densidade.

Durlo e Marchiori (1992 *apud* GUIMARÃES JUNIOR *et al.*, 2016) afirmam que o mais importante índice para se avaliar a estabilidade dimensional da madeira é o coeficiente ou fator anisotrópico, definido pela relação entre as contrações tangencial e radial, quanto maior essa relação, maior será a tendência ao fendilhamento e empenamento da madeira.

O estudo do comportamento das variações dimensionais da madeira é essencial para a sua utilização industrial, tanto na construção civil como na produção de móveis, e as relações existentes entre densidade, umidade, retratibilidade e expansão da madeira são de fundamental importância para a sua correta utilização (REZENDE; SAGLIETTI; GUERRINI, 1995, p. 133).

“Para que uma determinada espécie de madeira possa ser usada para fins estruturais, é necessário o conhecimento da resistência do material.” (JOSINO, 2014, p. 12). De acordo com Evans *et al.* (2000 *apud* LOBÃO *et al.*, 2004) em relação a resistência mecânica, sabe-se que as propriedades mecânicas da madeira são dependentes, principalmente, da densidade básica, da porcentagem de madeira juvenil, da largura dos anéis, do ângulo das microfibrilas, da inclinação da grã, da quantidade de extrativos, do teor de umidade, da intensidade ao ataque de insetos, do tipo, localização e quantidade de nós, dentre outros fatores.

Segundo Lobão *et al.* (2004), a variabilidade da maior parte das propriedades mecânicas da madeira pode ser estimada com base na variação da densidade do material. Os autores verificaram em seu estudo sobre as propriedades físico-mecânicas de eucalipto com diferentes densidades, que a madeira de menor densidade atingiu, em todos os resultados, menor resistência mecânica, em comparação com as madeiras de alta densidade, evidenciando a forte relação entre a densidade da madeira e as suas propriedades mecânicas.

Moreschi (2014) explica que o ensaio mecânico de cisalhamento paralelo a grã da madeira consiste na separação das suas fibras causada por esforços contrários, aplicados

paralelos às mesmas (por deslizamento), sendo a resistência ao cisalhamento um dado de importância em madeira cavilhadas, roletes, calandras, polias, vigas, postes, etc. Já o ensaio mecânico para a determinação da resistência à flexão estática da madeira consiste na aplicação de uma carga a um corpo de prova que repousa sobre dois apoios, na metade de seu comprimento, para causar tensões e deformações mensuráveis até sua ruptura. “Esta propriedade é usada para dimensionamento de peças fletidas, comparação entre espécies, arqueamento, etc.” (MELO, 2002, p. 18).

3 METODOLOGIA

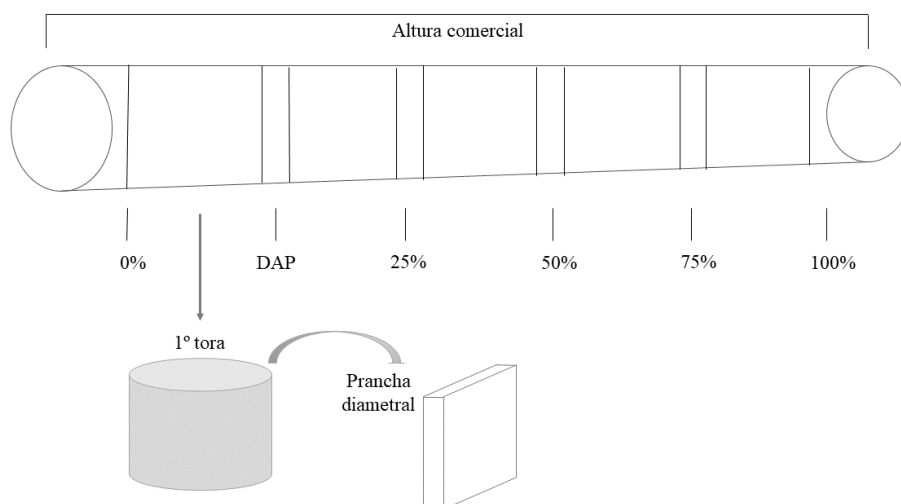
3.1 OBTENÇÃO DO MATERIAL

As toras de *L. styraciflua* L. foram obtidas de um povoamento experimental de 24 anos de idade, de propriedade da empresa Florestal Gateados Ltda, situada no município de Campo Belo do Sul, Santa Catarina (SC).

O clima predominante na região é quente e temperado com classificação Cbf de acordo com Köppen, com pluviosidade média anual de 1.647 mm, segundo Pandolfo (2002). De acordo com Wrege *et al.* (2012) a temperatura média mensal na região é de 16,5 °C, a média das temperaturas mínimas durante o ano é de 12,4 °C, a mínima anual absoluta é de 0,6 °C, e, a média das temperaturas máximas durante o ano é de 22 °C com uma máxima absoluta de 30,9 °C.

Foi realizado o abate com motosserra de árvores representativas do povoamento e em seguida determinadas as alturas total e comercial, esta última considerada a posição correspondente ao diâmetro mínimo de 8,0 cm. A partir do valor da altura comercial foram calculadas as posições de retirada dos discos para amostragem ao longo do tronco (considerando a altura comercial como 100%), nas posições 0% (base), 25%, 50%, 75% e 100%, e um disco adicional na posição do DAP (Diâmetro a altura do peito) (Figura 4), segundo metodologia descrita por Vital (1984).

Figura 4 – Esquema de retirada dos discos e primeira tora de cada árvore.



Fonte: o autor (2021).

Os discos e a primeira tora de cada árvore (porção entre os discos da base e do DAP) devidamente identificados (Figura 5), foram levados para o Laboratório de Recursos Florestais da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Campus de Curitibanos, no qual foram conduzidos os procedimentos de caracterização física e mecânica da madeira.

Figura 5 – Discos para amostragem ao longo do tronco.



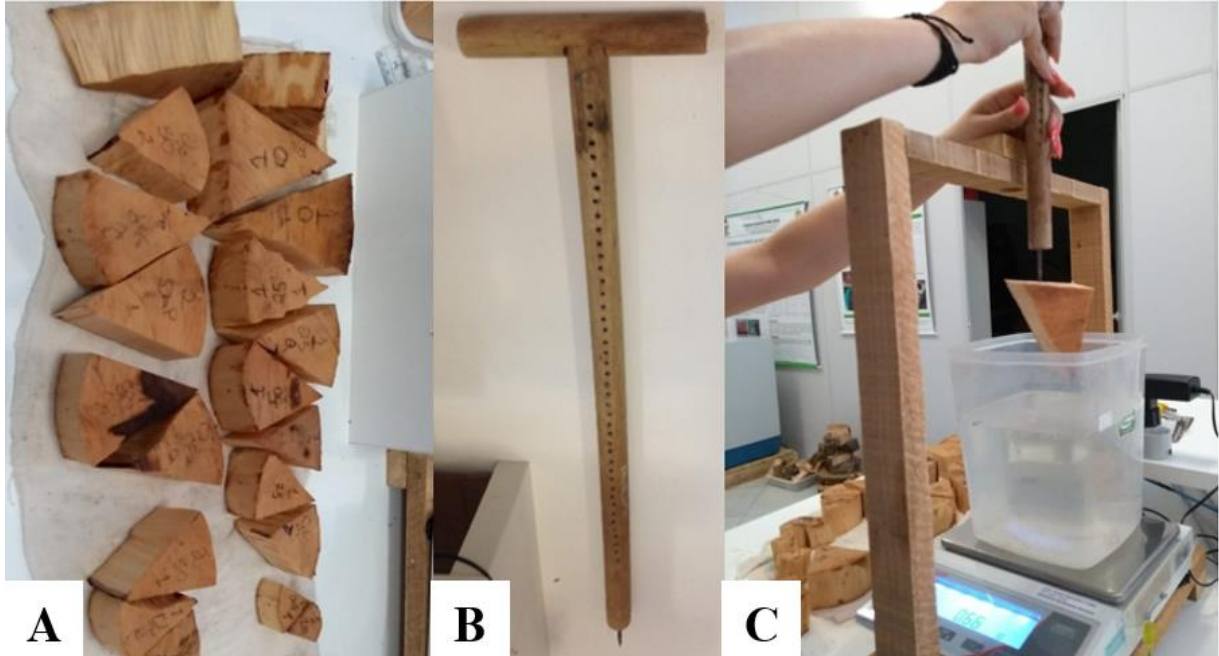
Fonte: O autor (2021).

3.2 PROPRIEDADES FÍSICAS

3.2.1 Densidade básica e sua variação longitudinal - cunhas

Dos discos retirados ao longo do tronco foram marcadas e seccionadas duas cunhas diametricamente opostas com auxílio de facão e martelo, em seguida foram identificadas e submetidas a imersão em água por aproximadamente 30 dias para obtenção do volume saturado pelo método do empuxo. Nesse método, como a água é um líquido de densidade igual a 1,0 g/cm³, o peso do líquido deslocado com a imersão da amostra corresponde diretamente ao volume saturado da mesma. Para tal, utilizou-se um recipiente com volume de água suficiente para a imersão completa das cunhas e este foi colocado sobre uma balança analítica. As cunhas, uma por vez, foram fixadas em um aparato metálico pontiagudo, e com auxílio deste, foram completamente imergidas na água, sem encostar nas bordas ou fundo do recipiente, para determinação da massa do volume de água deslocado. A massa anidra das cunhas foi determinada após secagem em estufa a 103 °C ± 2 °C até massa constante e posterior pesagem em balança analítica.

Figura 6 – Cunhas após 30 dias de imersão em água (A). Utensílio de madeira com aparato metálico pontiagudo (B). Imersão das cunhas em água para determinação do volume saturado (C).



Fonte: O autor (2021).

A partir das informações obtidas de volume saturado e massa anidra das amostras determinou-se a densidade básica das cunhas (Equação 1). A partir da densidade básica das cunhas determinou-se a densidade básica dos discos e, em seguida dos toretes através da média aritmética das densidades básicas dos discos que se encontravam nas extremidades de cada torete. Com base nesses dados e no volume de cada torete, obtido pelo método de Smalian, determinou-se a densidade básica ponderada da árvore (Equação 2).

$$DB = \frac{\text{Massa anidra (kg)}}{\text{Volume saturado (m}^3\text{)}} \quad (1)$$

$$DB (\text{árvore}) = \frac{(DB \text{ torete } 1 (\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}) \cdot \text{vol torete } 1(\text{m}^3) + \dots + (DB \text{ torete } 5 (\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}) \cdot \text{vol torete } 5(\text{m}^3))}{\text{Volume árvore (m}^3\text{)}} \quad (2)$$

Sendo:

DB = densidade básica (Kg/m³);

Vol = volume (m³).

Para classificar a madeira avaliada quanto a propriedade física de densidade básica utilizou-se a classificação proposta por Durlo (1991) (Tabela 1).

Tabela 1– Classificação da madeira em função da densidade básica.

Classe	Densidade (g/cm ³)	
Madeira excepcionalmente leve	≤	0,30
Madeira leve	0,31	0,50
Madeira média	0,51	0,70
Madeira pesada	0,71	0,90
Madeira muito pesada	0,91	1,10
Madeira excepcionalmente pesada	≥	1,11

Fonte: Durlo (1991).

3.2.2 Estabilidade dimensional e densidade aparente - corpos de prova

Para esta determinação foram utilizados os discos extraídos da região do DAP (1,30 m da base) com 8,0 cm de espessura para a extração dos corpos de prova de dimensão 3,0 x 2,0 x 5,0 cm (tangencial x radial x longitudinal) (Figura 7), segundo a norma brasileira NBR 7190 (ABNT, 1997) a partir de uma bagueta radial excluindo-se a região da medula. As amostras tiveram seus sentidos anatômicos demarcados para determinação da contração. Na sequência foram submersas em água à temperatura ambiente para saturação da parede celular por aproximadamente 30 dias. Após este período foram pesadas em balança analítica (com precisão de 0,01 g) e tiveram os sentidos anatômicos mensurados com auxílio de paquímetro digital (com precisão de 0,01 mm). Após as amostras foram condicionadas em câmara climática à temperatura de 20 °C e umidade relativa de 65% até massa constante e em seguida repetida as mesmas avaliações. Posteriormente o material foi posto para secar em estufa à temperatura de 103 ± 2 °C, realizando-se após massa constante, nova pesagem e mensuração dos sentidos anatômicos.

De posse das informações determinou-se a contração linear e volumétrica total por meio da equação 3, considerando o intervalo entre a condição de saturação da parede celular e a condição de madeira anidra.

$$\beta_{L,V} = \frac{DU,VU(cm^3) - DS,VS(cm^3)}{DU,VU(cm^3)} \times 100 \quad (3)$$

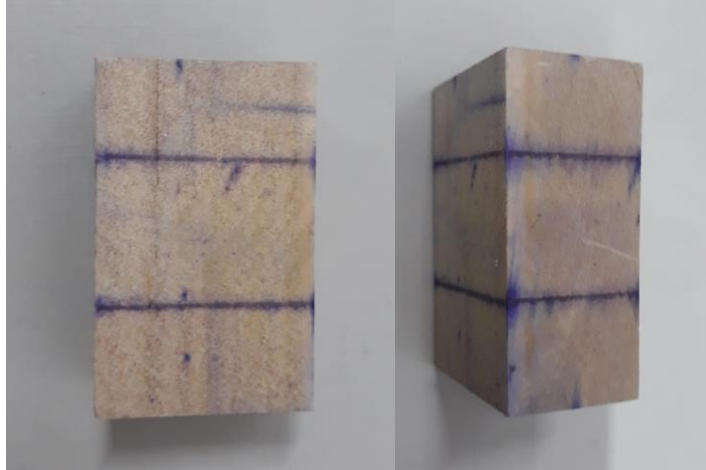
Sendo:

$\beta_{L,V}$ = contração linear/ volumétrica;

DU = dimensão úmida;

VU= volume úmido;
 DS= dimensão seca;
 VS= volume seco.

Figura 7 – Corpos de prova para avaliação da contração da madeira.



Fonte: o autor (2021).

Com os valores obtidos para massa anidra e volume anidro após secagem em estufa a 103 ± 2 °C, do volume e massa saturada da amostra após período de imersão em água, e da massa e volume do material após período de condicionamento em câmara climática calculou-se a densidade aparente a 12% de umidade, da madeira anidra e da madeira verde, conforme a equação 4. Determinou-se também o coeficiente de retratibilidade para a contração em cada sentido anatômico e o coeficiente de anisotropia para a contração total, conforme as equações 5 e 6, respectivamente.

$$ME (12\%, 0\%, Verde) = \frac{\text{massa (g) (12\%,0\%,verde)}}{\text{volume (cm}^3\text{) (12\%,0\%,verde)}} \quad (4)$$

Sendo:

ME (tu%) = massa específica aparente à umidade de 12%, 0% e da madeira verde;

Massa (tu%) = massa à umidade de 12%, 0% e da madeira verde;

Volume (tu%) = volume à umidade de 12%, 0% e da madeira verde.

$$Q\beta = \frac{(D12\% - D0\%) \times M0\%}{(M12\% - M0\%) \times D12\%} \quad (5)$$

Sendo:

$Q\beta$ = coeficiente de retratibilidade para contração;

D12% = dimensão a 12% de umidade;

D0% = dimensão a 0% de umidade;

M12% = massa a 12% de umidade;
 M0% = massa a 0% de umidade.

$$CA = \frac{\beta_{tg} \%}{\beta_{rd} \%} \quad (6)$$

Sendo:

CA = coeficiente de anisotropia;

β_{tg} = contração linear na direção tangencial;

β_{rd} = contração linear na direção radial.

3.3 PROPRIEDADES MECÂNICAS

Para esta avaliação utilizou-se a primeira tora de cada árvore com comprimento de 1,30 m, que foram desdobradas por meio de uma serra de fita, obtendo-se uma prancha diametral, com cerca de 8,0 cm de espessura e largura correspondente ao diâmetro da tora. Nesta foi distribuída a alocação dos corpos de prova evitando-se a influência da posição radial sobre a resistência da madeira. Os testes foram realizados em máquina universal de ensaios mecânicos, com capacidade de 30 toneladas existente no Laboratório de Recursos Florestais da UFSC, no campus de Curitibanos (SC).

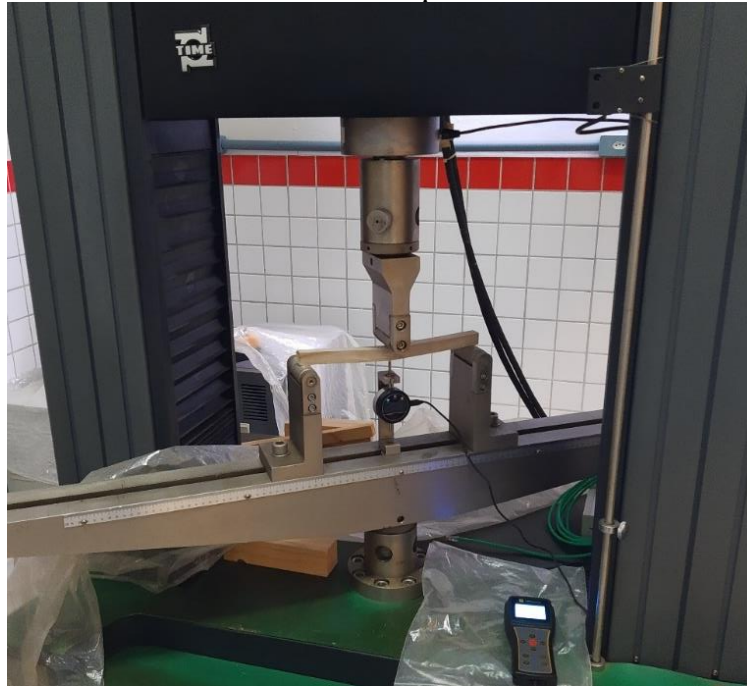
Antes dos testes, todos os corpos de prova submetidos aos ensaios mecânicos foram previamente submetidos ao acondicionamento em câmara climática a temperatura de 20 °C e 65% de umidade relativa até massa constante, a fim de eliminar a influência da umidade. Após esta condição e antes de cada ensaio os corpos de prova foram pesados e tiveram o volume mensurado para determinação da densidade aparente à umidade de condicionamento para posterior estimativa da resistência mecânica da madeira em função dessa variável.

3.3.1 Resistência e rigidez ao ensaio de flexão estática

Para o ensaio de flexão estática (Figura 8), os corpos de prova possuíam dimensão de 2,0 x 2,0 x 30,0 cm, sendo a última dimensão no sentido axial ou longitudinal, conforme as recomendações da norma COPANT 30: 1-006 (1972), a velocidade do teste foi de 1,3 mm/min com aplicação da carga na face tangencial do corpo de prova. O vão que é a distância entre os apoios que sustentam o corpo de prova, foi de 280 mm (14 vezes a espessura do corpo de prova). A rigidez (MOE ou módulo de elasticidade) e resistência (MOR ou módulo de ruptura) ao

esforço de flexão estática foram determinadas diretamente pelo sistema computadorizado do equipamento de testes.

Figura 8 – Ensaio de flexão estática em máquina universal de ensaios mecânicos.



Fonte: O autor (2021).

3.3.2 Resistência ao esforço de cisalhamento paralelo a grã

Para o ensaio de cisalhamento paralelo à grã foram utilizados corpos de prova com dimensões de 5,0 x 5,0 x 6,3 cm, sendo a última dimensão no sentido axial ou longitudinal, conforme as recomendações da norma COPANT 30: 1-007 (1971), a velocidade do teste foi de 0,6 mm/min com aplicação da carga no sentido paralelo a grã (Figura 9). Os resultados referentes a resistência ao cisalhamento foram calculados com base na carga máxima necessária para rompimento dos corpos de prova e da área de aplicação da carga (Equação 7).

$$R_{cis} = \frac{P_{m\acute{a}x} (N)}{A (mm^2)} \quad (7)$$

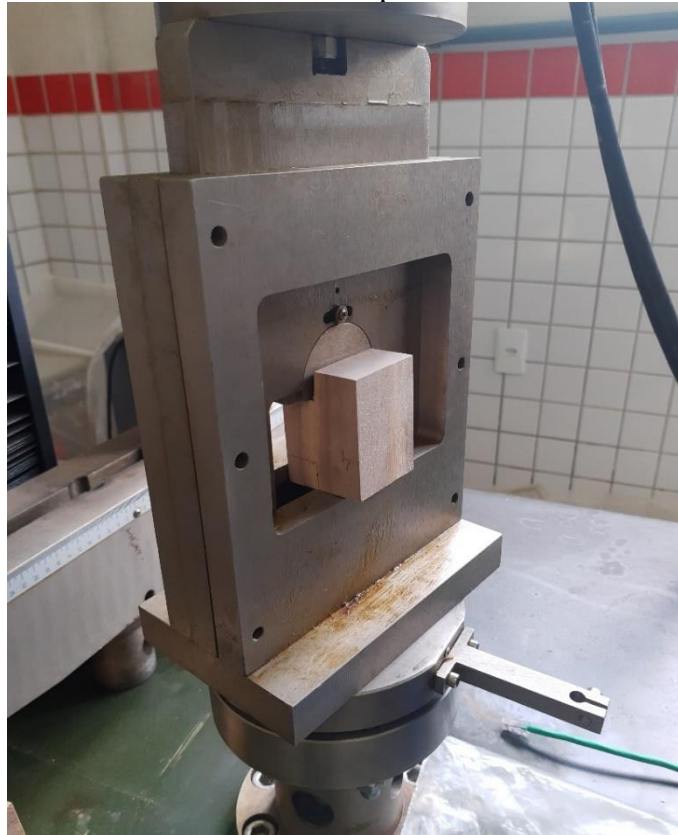
Sendo:

R_{cis} = resistência ao cisalhamento (N/mm²);

$P_{m\acute{a}x}$ = carga ou força máxima (N);

A = área de aplicação da força (mm²).

Figura 9 – Ensaio de cisalhamento em máquina universal de ensaios mecânicos.



Fonte: o autor (2021).

3.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA

A variação longitudinal da densidade básica foi avaliada a partir de um delineamento inteiramente casualizado (DIC) com 6 tratamentos, sendo eles as posições longitudinais ao longo do comprimento comercial das árvores (0%, DAP, 25%, 50%, 75%, 100%) e 3 repetições. Efetuou-se a análise de variância (ANOVA), e quando significativo empregou-se o teste de médias de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade de erro, para tal utilizou-se o software estatístico R Studio.

As propriedades físicas de densidade aparente e estabilidade dimensional, bem como as propriedades mecânicas de resistência e rigidez à flexão estática e resistência ao esforço de cisalhamento paralelo a grã, foram avaliadas a partir da estatística descritiva. Foi utilizado diferentes modelos de regressão para estimar as propriedades mecânicas avaliadas em função da densidade aparente dos corpos de prova e verificar sua relação, aplicando-se o programa Excel versão Microsoft® Excel® 2019.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 DENSIDADE BÁSICA E SUA VARIAÇÃO LONGITUDINAL

A análise de variância mostrou não haver diferença estatística entre os valores de densidade básica da madeira de *L. styraciflua* analisados ao longo do comprimento comercial do fuste (Tabela 2).

Tabela 2 – Análise de variância para as densidades básicas entre as posições longitudinais do fuste.

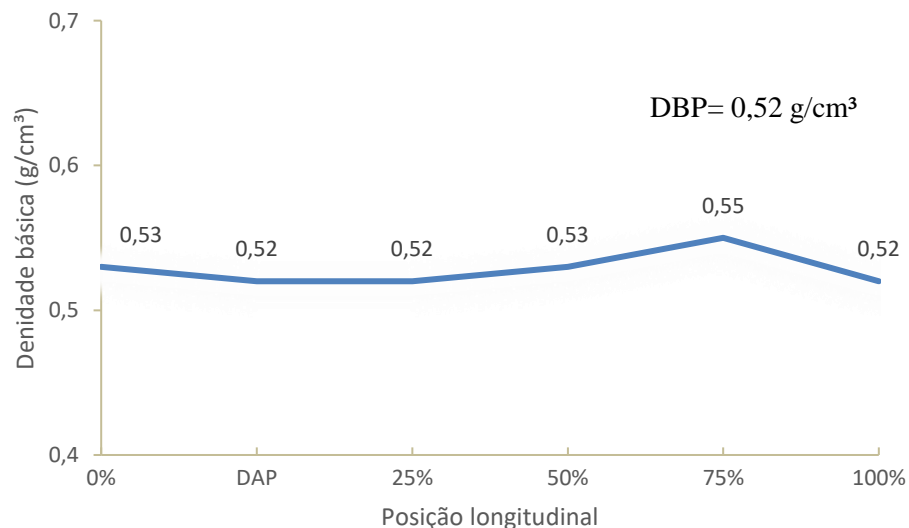
FV	GL	SQ	QM	FC	Pr>Fc
Tratamento	5	0,0021384	0,00042769	0,71328	0,62529
Resíduo	12	0,0071953	0,00059961		
Total	17	0,0093338			

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Legenda: FV= fontes de variação; GL= graus de liberdade; QM= quadrado médio; FC= teste F. (p. valor>0,05).

A variação longitudinal (base-topo) da densidade básica em cada posição de amostragem pode ser observada na figura 10.

Figura 10 – Variação longitudinal da densidade básica da madeira de *Liquidambar styraciflua* L.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Legenda: DBP= densidade básica ponderada.

A uniformidade da densidade básica no sentido da base para o topo da árvore (Figura 10) é um fato também já relatado por outros autores para mesma espécie, tais como Mattos *et al.* (2001), Freitas *et al.* (2015) e Freitas *et al.* (2017). Este resultado demonstra que, de maneira geral, qualquer porção da árvore pode ser utilizada para uma mesma finalidade e, segundo Lima *et al.* (2015), a grande homogeneidade da densidade básica pode indicar a qualidade das propriedades mecânicas da madeira.

Segundo Oliveira, Hellmeister e Tomazello Filho (2005), madeiras com densidade básica mais homogênea, no interior do tronco, apresentam um comportamento melhor nas operações de processamento, refletindo em maior uniformidade nas demais propriedades tecnológicas. “Esta característica indica que quando suas peças forem submetidas ao processo de secagem terão uniformidade na perda de água, reduzindo assim, significativamente, a deformação do material.” (VALÉRIO *et al.*, 2008, p. 25).

As peças de madeira com menor variação de densidade são adequadas para utilizações que exigem material homogêneo e com menor variabilidade nas propriedades físico-mecânicas, como para móveis e construção civil (OLIVEIRA; HELLMEISTER; TOMAZELLO FILHO 2005; REZENDE *et al.*, 2007).

A densidade básica ponderada obtida para a madeira da espécie *L. styraciflua* L. aos 24 anos de idade foi de 0,52 g/cm³ (Figura 10), valor equivalente ao registrado por Mattos *et al.* (2001) para esta mesma espécie aos 16 anos e pouco superior aos 0,49 g/cm³ encontrado por Freitas *et al.* (2015) em madeira com idade de 8 anos.

Levando em consideração a classificação de Durlo (1991), a densidade básica da madeira de *L. styraciflua* aos 24 anos, pode ser considerada como média, pois se encontra no intervalo entre 0,51 e 0,70 g/cm³.

A densidade da madeira é uma característica importante na previsão do comportamento do material frente aos processos de industrialização. Para Silveira, Rezende e Vale (2013) espécies mais leves apresentam maior quantidade de água livre e essa água pode ser retirada mais facilmente durante o processo de secagem, ao contrário de madeiras mais densas que são mais difíceis de secar e susceptíveis a defeitos. De fato, a densidade básica exerce grande influência no processo de secagem, e geralmente, quanto maior for esta propriedade maior será a instabilidade dimensional do material, por possuir uma maior concentração de parede celular espessa com capacidade de adsorver e dessorver água do meio.

Segundo o Forest Products Laboratory (1999), madeiras de alta densidade são difíceis de colar por várias razões. Primeiro é que este tipo de madeira possui menos espaços vazios

(poros), devido às paredes celulares mais espessas, fazendo com que os adesivos não penetrem com facilidade na madeira. Além disso, as tensões severas exercidas na linha de cola produzidas por espécies de alta densidade à medida que mudam de dimensão com mudanças no teor de umidade também contribuem fortemente para a dificuldade na adesão.

Em função da madeira de *L. styraciflua* aos 24 anos ter o valor de densidade básica do volume comercial da árvore classificada como média, é esperado um comportamento satisfatório frente aos processos de industrialização acima descritos.

4.2 ESTABILIDADE DIMENSIONAL E DENSIDADE APARENTE

Os valores referentes a propriedade de estabilidade dimensional, como contração linear e volumétrica total, coeficiente de retratibilidade para contração e coeficiente de anisotropia, bem como a densidade aparente verde, anidra e a 12% de umidade da madeira de *L. styraciflua* L. constam na tabela 3.

Tabela 3 – Propriedades físicas da madeira de *Liquidambar styraciflua* L.

Propriedades físicas	Parâmetro	Média
Densidade aparente (g/cm ³)	12% de umidade	0,52
	Anidra	0,49
	Verde	0,91
Contração total (%)	Radial	5,19
	Tangencial	11,13
	Volumétrica	15,76
Coeficiente de retratibilidade (contração)	Radial	0,18
	Tangencial	0,29
	Volumétrico	0,46
Coeficiente de anisotropia total	Contração	2,2

Fonte: Elaborada pelo autor (2021).

Os valores de densidade aparente observados para a madeira de *L. styraciflua* foram inferiores aos registrados por Freitas *et al.* (2015) que obtiveram para a mesma espécie valores de densidade aparente a 12% de umidade e anidra iguais a 0,55 e 0,59 g/cm³ respectivamente. O valor de densidade aparente a 12% de umidade obtido foi equivalente ao citado pelo Forest Products Laboratory (2010) para a mesma espécie.

A maior porcentagem de contração no sentido tangencial em relação ao sentido radial já era esperado e pode ser explicado por alguns fatores de ordem anatômica. Um desses fatores

é a restrição oferecida pelos raios, uma vez que o tecido radial é orientado horizontalmente no fuste da árvore, contrai menos na direção do comprimento dos raios, reduzindo desta forma a magnitude da contração radial em relação a contração sofrida no sentido tangencial.

As porcentagens de contração linear total registradas para a espécie foram um pouco inferiores em relação as registradas por Mattos *et al.* (2001) que observaram para a contração radial, tangencial e volumétrica porcentagens de 5,4%, 12,7% e 18,5% respectivamente, para a madeira de *L. styraciflua* aos 16 anos de idade com 0,52 g/cm³ de densidade básica, esta última equivalente ao valor ponderado do presente estudo. A porcentagem de contração volumétrica registrada foi equivalente à obtida por Lima *et al.* (2015), para a mesma espécie aos 24 anos e densidade básica um pouco inferior (0,48 g/cm³).

Freitas *et al.* (2015), estudando as propriedades físicas da madeira de *L. styraciflua* aos 8 anos, encontraram valores de contração radial, tangencial e volumétrica de 5,53%, 15,24% e 21,79% respectivamente e da mesma forma, a madeira avaliada aos 24 anos se mostrou mais estável dimensionalmente.

Comparando os resultados de contração para o *L. styraciflua* com espécies do gênero *Eucalyptus*, pode-se verificar que os valores obtidos são inferiores aos observados em alguns estudos.

Benin, Waltzlawick e Hillig (2017), estudando a madeira do *Eucalyptus benthamii*, encontraram valores de retração radial, tangencial e volumétrica de 6,59%, 16,20% e 24,75% respectivamente, para uma densidade básica de 0,51 g/cm³, sendo esta próxima a relatada no presente estudo (0,52 g/cm³). Müller *et al.* (2014), observaram também para a espécie *E. benthamii*, com densidade básica de 0,52 g/cm³, valores de contração iguais a 5,91%, 13,87% e 18,52% nas direções radial, tangencial e volumétrica, respectivamente. Oliveira e Silva (2003) registraram para o *Eucalyptus saligna* com densidade básica de 0,47 g/cm³, valores de contração radial, tangencial e volumétrica iguais a 7,67%, 14,83% e 26,0%, respectivamente.

Portanto, a madeira de *L. styraciflua* apresentou maior estabilidade dimensional em relação a algumas espécies do gênero *Eucalyptus*, de densidade muito próxima a do presente estudo.

O coeficiente de anisotropia total para a madeira de *L. styraciflua* aos 24 anos foi de 2,2 e expressa quantas vezes a contração no sentido tangencial é superior a contração no sentido radial. Levando em consideração a classificação de Klizke (2007), esta madeira é classificada como instável, com qualidade média baixa, portanto possui tendência de apresentar defeitos como rachaduras e empenamentos se o processo de secagem for mal conduzido. O valor de

coeficiente de anisotropia observado é próximo ao relatado por Mattos *et al.* (2001) de 2,3 e inferior ao descrito por Freitas *et al.* (2015) de 2,7 para a mesma espécie.

4.3 PROPRIEDADES MECÂNICAS DA MADEIRA

Os valores referentes as propriedades mecânicas de resistência (MOR) e rigidez (MOE) ao ensaio de flexão estática e resistência ao esforço de cisalhamento paralelo a grã constam na tabela 4.

Tabela 4– Propriedades mecânicas da madeira de *Liquidambar styraciflua* L.

Parâmetro		Média	Máximo	Mínimo	DP	CV (%)
DA (g/cm ³)		0,65	0,71	0,60	0,029	5
Flexão Estática (N/mm ²)	MOE	7.964,42	11.760,95	4.846,56	1.799,19	23
	MOR	59,24	75,13	42,02	7,30	12
		Média	Máximo	Mínimo	DP	CV (%)
DA (g/cm ³)		0,67	0,76	0,58	0,05	8
Cisalhamento (N/mm ²)		11,77	14,98	7,52	1,68	14

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Legenda: DA= densidade aparente a 12% de umidade; MOE= módulo de elasticidade; MOR= módulo de ruptura; DP= desvio padrão; CV= coeficiente de variação.

O valor médio de módulo de ruptura ou resistência (MOR) encontrado para a espécie é inferior ao valor de 101,60 N/mm² relatado por Freitas *et al.* (2015) para madeira da mesma espécie com densidade aparente (12%) de 0,55 g/cm³, já o valor médio do módulo de elasticidade ou rigidez (MOE) ficou próximo ao observado pelos autores (7.652,7 N/mm²). Já em relação ao estudo de Faust *et al.* (1991) o valor médio de MOR é superior ao valor de 42,76 N/mm² relatado pelos autores para mesma espécie, porém o valor médio de MOE foi inferior aos 11.652,14 N/mm² registrado pelos autores, que não fizeram menção a densidade aparente (12%) da madeira avaliada.

Comparando os valores de resistência (MOR) e rigidez (MOE) ao ensaio de flexão estática para a madeira de *L. styraciflua* com espécies pertencentes ao gênero *Eucalyptus*, constatou-se que os valores obtidos são inferiores aos observados em alguns estudos.

Os valores obtidos para o MOE e MOR foram respectivamente 57% e 44% inferiores aos relatados por Rodrigues (2002) para madeira de *Eucalyptus grandis* com densidade aparente (12%) de 0,67 g/cm³. Em comparação ao registrado por Müller *et al.* (2014) para a madeira de *Eucalyptus benthamii* com densidade aparente (12%) de 0,61 g/cm³, os resultados obtidos para

o MOE e MOR foram respectivamente 18% e 29% inferiores. Já em relação ao estudo de Talgatti *et al.* (2018) para clones de eucalipto (*E. grandis* x *E. urophylla*) com densidade aparente (12%) equivalente à registrada no presente estudo ($0,64 \text{ g/cm}^3$), os valores médios de MOR e MOE à flexão estática obtidos para a madeira de *L. styraciflua* foram superiores, em 11% e 41%, respectivamente.

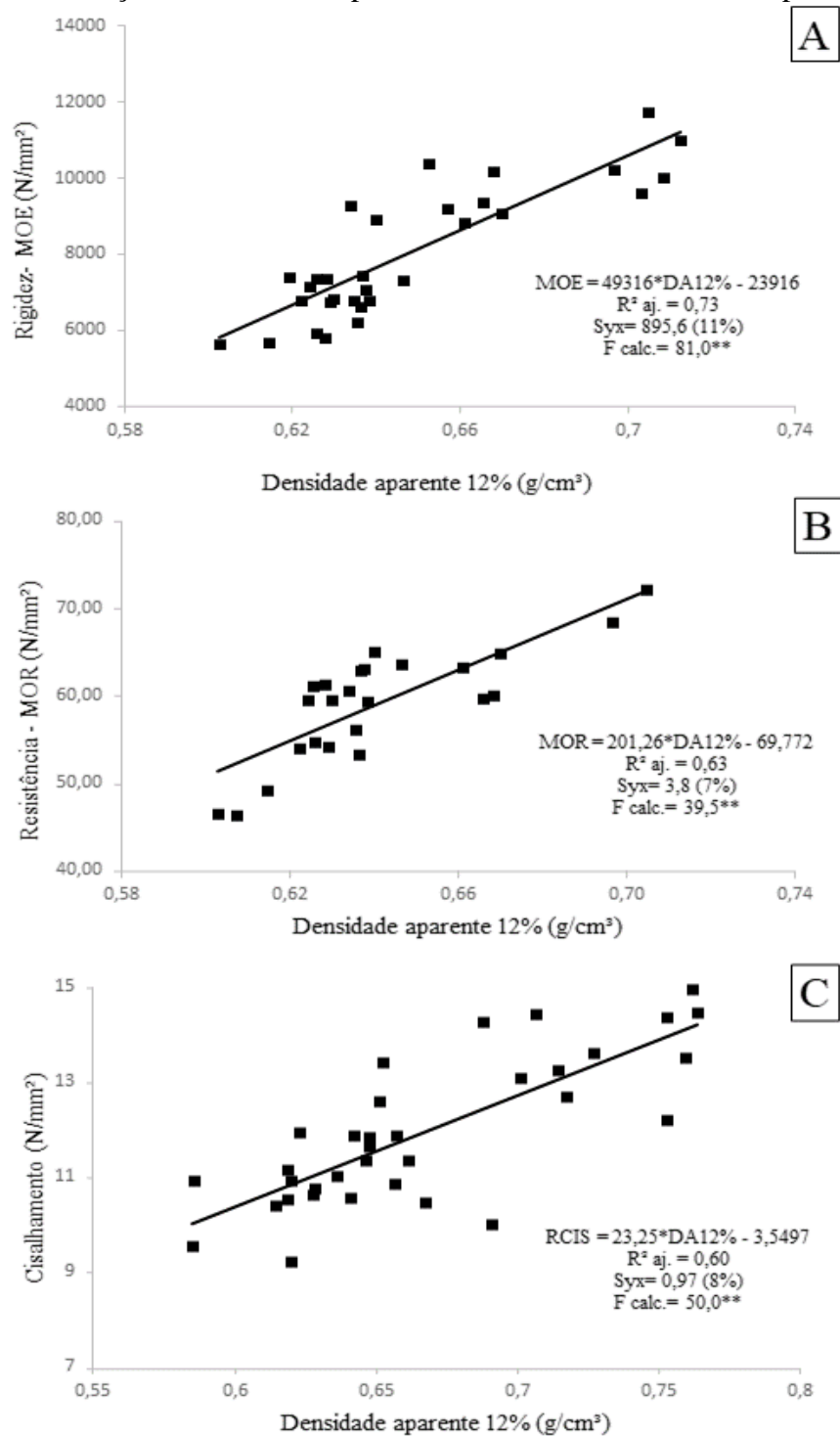
Segundo Veiga *et al.* (2018) quanto maior for a densidade da madeira, maiores serão suas propriedades mecânicas e elásticas, com exceção em casos de defeitos e variações anatômicas expressivas. Desta forma, a presença, por exemplo de desvios de grã na madeira avaliada em função de características intrínsecas ao material ou a presença de defeitos próximos a região de amostragem dos corpos de prova pode ter influenciado na relação entre essas propriedades. Segundo Bishop (2001) a madeira de *L. styraciflua* apresenta muitas vezes grã irregular do tipo entrecruzada.

O valor médio de resistência ao cisalhamento obtido para a madeira de *L. styraciflua* foi semelhante ao valor de $11,00 \text{ N/mm}^2$ registrado no Forest Products Laboratory (2010) para a espécie com densidade aparente (12%) de $0,52 \text{ g/cm}^3$ e, superior ao valor de $7,5 \text{ N/mm}^2$ observado por Lima *et al.* (2015) para mesma espécie, não tendo relatado no trabalho a densidade aparente (12%) do material avaliado.

Em comparação a espécies do gênero *Eucalyptus* nota-se que a espécie em estudo atingiu valores de resistência ao cisalhamento próximos aos relatados em alguns trabalhos. Rodrigues (2002) registrou para a madeira da espécie *E. grandis* de densidade aparente (12%) equivalente à registrada neste estudo, resistência média igual a $10,22 \text{ N/mm}^2$, portanto a madeira de *L. styraciflua* apresentou resistência 15,2% superior. Müller *et al.* (2014) registraram para a madeira de *E. benthamii* com densidade aparente (12%) de $0,61 \text{ g/cm}^3$ valor de resistência igual a $11,41 \text{ N/mm}^2$. Matos e Molina (2016) encontraram para a madeira de *E. saligna* com densidade aparente (12%) de $0,74 \text{ g/cm}^3$ um valor médio de resistência ao cisalhamento igual a $12,98 \text{ N/mm}^2$, desta forma a madeira de *L. styraciflua* foi 9,3% inferior, provavelmente devido a maior densidade do *E. saligna* utilizado para comparação.

Na figura 11 constam as equações e respectivo coeficiente de determinação, erro padrão e significância, para estimativa das propriedades mecânicas da madeira de *L. styraciflua* em função da densidade aparente dos corpos de prova.

Figura 11 – Regressões lineares e respectivas equações para estimativa das propriedades mecânicas em função da densidade aparente a 12% de umidade dos corpos de prova.



Fonte: Elaborada pelo autor (2021).

Legenda: DA= densidade aparente 12%; RCIS= resistência ao cisalhamento paralelo a grã; MOR= módulo de ruptura à flexão estática; MOE= módulo de elasticidade à flexão estática; ** F <0,01.

Foi testada a relação da densidade aparente com as propriedades mecânicas da madeira por meio de diferentes modelos de regressão, tendo-se obtidos os melhores ajustes pelos modelos lineares, que apresentaram maior coeficiente de determinação ajustado ($R^2_{aj.}$). Corroborando este resultado, Vivian *et al.* (2010), também encontraram melhores ajustes, na estimativa das propriedades mecânicas em função da densidade aparente, através de modelos lineares.

Observa-se (Figura 11A e 11B) a existência de relações entre a densidade aparente e as propriedades de resistência e rigidez avaliadas para madeira de *L. styraciflua*. Em geral, para os corpos de prova de maior densidade aparente (12% de umidade) obteve-se propriedades mecânicas superiores, em relação aos de menor densidade.

De acordo com Dias e Lahr (2002) quanto mais próximo da unidade estiver o valor de R^2 , melhor qualidade apresenta a regressão, ou seja, quanto maior o coeficiente de determinação maior é a correlação existente entre os parâmetros.

Com relação à análise das equações obtidas para estimar as propriedades mecânicas em função da densidade aparente a 12% de umidade, o melhor ajuste foi observado para estimativa da rigidez (MOE) à flexão estática, em que a densidade explicou sozinha 73% da variação (Figura 11A). A equação gerada para prever a resistência (MOR) à flexão estática em função da densidade aparente apresentou coeficiente de determinação igual a 63% (Figura 11B). Este resultado demonstra que a equação obtida para estimar a rigidez apresenta maior confiabilidade para utilização na predição desta propriedade em função da densidade aparente para madeira de *L. styraciflua*. Da mesma forma, Padilha (2016) avaliando a correlação existente entre as propriedades mecânicas e densidade aparente para a madeira de *Pinus patula*, obteve melhor ajuste para a equação gerada para estimativa da rigidez (33%) em relação a equação gerada para estimativa da resistência (25%), com maior coeficiente de determinação.

Klock (2000), avaliou a qualidade da madeira juvenil de *Pinus maximinoi* e obteve coeficientes de determinação através das regressões de 0,83 para a resistência e 0,70 para a rigidez. Comportamento oposto ao observado neste trabalho, onde obteve-se menor coeficiente de determinação para a estimativa da resistência, no entanto, o valor de R^2 aj. obtido para estimativa da rigidez (73%) foi muito próximo ao registrado pelo autor.

Rocha *et al.* (2017) estudando a resistência e rigidez à flexão estática em madeira de eucalipto encontraram alta correlação destas propriedades com a densidade aparente, em que ambos apresentaram acréscimo em seus valores com o aumento da densidade. De acordo com os autores, observar o comportamento das propriedades mecânicas da madeira em virtude da

variação de sua densidade é uma prática indispensável na indústria madeireira, uma vez que a densidade aparente, por ser uma propriedade de fácil mensuração, revela-se como um potencial estimador das propriedades mecânicas do material.

A resistência ao esforço de cisalhamento paralelo a grã foi estimada em função da densidade aparente através do modelo linear, em que a variável independente conseguiu explicar 60% da variação (Figura 11C). Como se pode observar na figura 11C, a correlação entre a resistência ao esforço de cisalhamento e a densidade aparente se apresenta de forma direta, sendo, entretanto, inferior à verificada para a rigidez (MOE) e resistência (MOR) ao esforço de flexão estática, o que indica menor influência da densidade aparente sobre esta propriedade de resistência, para a madeira avaliada. Este resultado está de acordo com o registrado por Klock (2000) que obteve para madeira de *Pinus taeda* coeficiente de determinação superior (74%) entre rigidez (MOE) e densidade aparente em comparação com o registrado para a mesma relação envolvendo a resistência ao cisalhamento (53%). Modes *et al.* (2021) também obtiveram para madeira de *Pinus glabra* coeficientes de determinação superiores para a estimativa da resistência (MOR) e rigidez (MOE) (82%) à flexão estática em função da densidade aparente, comparativamente ao registrado para a estimativa da resistência ao cisalhamento (62%).

A menor influência da densidade aparente do corpo de prova sobre a resistência ao esforço de cisalhamento pode ser atribuída a região em que ocorre a ruptura no momento do ensaio. De acordo com Moreschi (2014) quando o esforço é aplicado no plano tangencial há uma grande influência da diferença entre a porcentagem dos lenhos inicial e tardio que são rompidos, enquanto que no plano radial há grande influência dos raios da madeira.

5 CONCLUSÃO

A densidade básica do volume comercial da madeira de *L. styraciflua* avaliada pode ser classificada como média (0,52 g/cm³). Não foi observada diferença estatística para densidade básica ao longo do comprimento comercial do fuste, o que evidencia uma uniformidade desta propriedade no sentido longitudinal da árvore. Para densidade aparente anidra, verde e a 12% de umidade observaram-se os valores de 0,49, 0,91 e 0,52 g/cm³, respectivamente.

Para as contrações nas direções tangencial, radial e volumétrica observaram-se as porcentagens de 11,13%, 5,19% e 15,76%, respectivamente. A madeira avaliada foi considerada mais estável dimensionalmente levando em consideração resultados de estudos com a mesma espécie, bem como algumas espécies de folhosas de uso tradicional como do gênero *Eucalyptus*.

O coeficiente de anisotropia total obtido para a espécie (2,2) possibilita classificá-la como instável, portanto, deve ter a secagem conduzida de forma lenta para evitar a incidência de defeitos.

Para a rigidez (MOE) e resistência (MOR) ao ensaio de flexão estática observaram-se os valores de 7.964,42 e 59,24 N/mm² respectivamente e, para resistência ao cisalhamento obteve-se valor de 11,77 N/mm². Os resultados dos ensaios mecânicos realizados indicam que a substituição de espécies de florestas plantadas de uso tradicional (gênero *Eucalyptus*) por esta espécie na produção de elementos estruturais, em usos que sejam exploradas as propriedades elásticas e de resistência a partir de esforços aplicados ao longo do comprimento do material, deve ser conduzida com cautela, em função das diferenças observadas nos estudos utilizados para comparação. Já para aplicações em que seja solicitada maior resistência ao cisalhamento, esta espécie é mais indicada, visto que apresentou resistência satisfatória em relação aos estudos utilizados para comparação, podendo ser aplicada por exemplo em seções de partes estruturais compostas por peças entalhadas.

As regressões lineares indicam a existência de correlação direta entre as propriedades mecânicas e a densidade da madeira de *L. styraciflua*. A equação obtida para estimar a rigidez (MOE) à flexão estática apresentou maior confiabilidade para utilização na predição desta propriedade em função da densidade aparente.

REFERÊNCIAS

- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM. **ASTM D143**: Standard methods of testing small clear specimens of timber. Philadelphia: ASTM, 1994.
- ARAUJO, Henrique José B. **Agrupamento das espécies madeireiras ocorrentes em pequenas áreas sob manejo florestal do projeto de colonização Pedro Peixoto (AC) por similaridade das propriedades físicas e mecânicas**. 2002. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 7190**. Projeto de Estrutura de Madeira. Rio de Janeiro: ABNT, 1997.
- ASSOCIAÇÃO CATARINENSE DE EMPRESAS FLORESTAIS –ACR. **Anuário Estatístico de Base Florestal para o estado de Santa Catarina**: 2018. Lages: ACR, 2019.
- BATISTA, Djeison C.; KLITZKE, Ricardo J.; SANTOS, Carlos Vinícius T. Densidade básica e retratibilidade da madeira de clones de três espécies de *Eucalyptus*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 20, n. 4, p. 665-674, out.-dez., 2010.
- BENIN, Cristiane C.; WALTZLAWICK, Luciano F.; HILLIG, Everton. Propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Eucalyptus benthamii* sob efeito do espaçamento de plantio. **Ciência Florestal**, Santa Maria. v. 27, n. 4, p. 1375-1384, out.-dez. 2017.
- BISHOP, George N. **Native trees of Georgia**. 11. ed. rev. Georgia: Georgia forestry commission, University of Georgia, 2001.
- BRAZ, Rafael 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, ago. 2015.
- CARPENTER, B. E.; HOPKINS, W. C. Specific gravity values of sweetgum to wood and bollywood. **Forest Products Journal**, Baton Rouge, v.16, n.7, p. 30, jul. 1966.
- CEZARO, Jussan A.; TREVISAN, Rômulo; BALBINOT, Rafaelo. Propriedades físico-mecânicas da madeira de *Chrysophyllum marginatum*. **Pesquisa florestal brasileira**, Colombo, v. 36, n. 86, p. 135-143, abr.- jun. 2016.
- COMISIÓN PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS – COPANT. **COPANT 30:1-007**: Maderas: método de determinación de Cisalhamento. Caracas: COPANT, 1971.
- COMISIÓN PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS – COPANT. **COPANT 30: 1-006**: Maderas: método de determinación de flexión estática. Caracas: COPANT, 1972.

DIAS, Fabrício M.; LAHR, Francisco Antônio R. A densidade aparente como estimador de propriedades de resistência e rigidez da madeira. **Madeira: arquitetura e engenharia**, São Carlos, v. 3, n. 8, mai.-ago. 2002.

DURLO, M. A. **Tecnologia da Madeira: peso específico**. Santa Maria: UFSM, CEPEF, 1991. (Série Técnica, n° 8).

FAUST, Timothy D. *et al.* Potential utilization of sweetgum and yellow-poplar for structural lumber. *In: ANNUAL HARDWOOD SYMPOSIUM*, 19., 1991, Mississipi. **Anais [...]**. Mississipi: Mississipi State University, 1991, p. 75-98.

FRANGANILLO, Jorge. My bonsai: *Liquidambar styraciflua*. 2018. Disponível em: <<https://mybonsai.com.br/blog/liquidambar-liquidambar-styraciflua/>> Acesso em: 20 jun. 2021.

FREITAS, Thaís P. *et al.* Caracterização anatômica e físico-mecânica da madeira de *Liquidambar* sp. **Floresta**, Curitiba, v. 45, n. 4, p. 723 - 734, out.- dez. 2015.

FREITAS, Thaís P. *et al.* Potencial de uso da madeira de *Liquidambar* sp. para produção de polpa celulósica e papel. **Revista Ciências Agrárias**, Belem, v. 60, n. 4, p. 328-334, out.-dez. 2017.

FOREST PRODUCTS LABORATORY – LPF. **Wood handbook**: wood as an engineering material. Madison: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 1999. (General Technical Report, 113).

FOREST PRODUCTS LABORATORY – LPF. **Wood handbook**: wood as an engineering material. Madison: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 2010. (General Technical Report, 190).

GUIMARÃES JUNIOR, José B. *et al.* Caracterização tecnológica da madeira de *Myracrodruon urundeuva* em diferentes classes diamétricas. **Enciclopédia biosfera**, Goiânia, v. 13 n. 24, p. 250, dez. 2016.

JOSINO, Maiara N. **Relação da resistência com a umidade e com a densidade da madeira de um clone de *Eucalyptus urophylla***. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Florestal) – Universidade de Brasília, Brasília, 2014.

SCANAVACA JUNIOR, Laerte; GARCIA, José N. Determinação das propriedades físico-mecânicas do *Eucalyptus urophylla*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 65, p. 120-129, jun. 2004.

KALIL FILHO, Antônio N.; WENDLING, Ivar; TRACZ, Anderson L. **Estaquia de *Liquidambar styraciflua* para resgate de clones superiores**. Colombo, PR: Embrapa Florestas, 2011. (Comunicado técnico, 271).

KLITZKE, R. J. Secagem da madeira. *In: OLIVEIRA, J. T. S.; FIEDLER, N. C.; NOGUEIRA, M. Tecnologias aplicadas ao setor florestal brasileiro*. Visconde do Rio Branco: Suprema Gráfica e editora Ltda, 2007. p. 271-366.

KLOCK, Umberto. **Qualidade da madeira juvenil de *Pinus maximinoi* H. E. Moore**. 2000. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000.

KORMANIK, Paul P. *Liquidambar styraciflua* L. Sweetgum. In: BURNS, Russel M.; HONKALA, Barbara H. **Silvics of North America**. Washington: Departamento da Agricultura dos Estados Unidos, 1990. p. 400-405. (Manual de Agricultura para Pesquisa em Gerenciamento de Madeira, 654).

LATORRACA, João Vicente F.; ALBUQUERQUE, Carlos Eduardo C. Efeito do rápido crescimento sobre as propriedades da madeira. **Floresta e ambiente**, Seropédica, v. 7, n. 1, p. 279-291, jan.-dez. 2000.

LIMA, Israel L. *et al.* Anatomia e propriedades da madeira de *Liquidambar styraciflua* aos 24 anos de idade em três classes de diâmetro. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 43, n. 107, p. 733-744, set. 2015.

LOBÃO, Moisés S. *et al.* Caracterização das propriedades físico-mecânicas da madeira de Eucalipto com diferentes densidades. **Árvore**, Viçosa-MG, v. 28, n. 6, p. 889-894, ago. 2004.

LOGSDON, Norman B. **Influência da umidade nas propriedades de resistência e rigidez da madeira**. 1998. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 1998.

LORENZI, Harri. *et al.* **Árvores exóticas no Brasil: madeireiras, ornamentais e aromáticas**. Nova Odessa, SP: Instituto Plantarum, 2003.

MATTOS, Patrícia P. *et al.* **Características da madeira de *Liquidambar styraciflua***. Colombo, PR: Embrapa Florestas, 2001. (Circular técnica Embrapa florestas, 49).

MATOS, Gabriela S.; MOLINA, Júlio C. Resistência da madeira ao cisalhamento paralelo às fibras segundo as normas ABNT NBR 7190:1997 e ISO 13910:2005. **Revista matéria**, Rio de Janeiro, v. 21, n. 4, p. 1069- 1079, mar. 2016.

MELO, Júlio E. **Madeira: características e aplicações**. 1. ed. Brasília: Laboratório de Produtos Florestais, 2002. (Curso para capacitação de agentes multiplicadores em valorização da madeira e resíduos vegetais).

MODES, Karina S. *et al.* Caracterização físico-mecânica da madeira de *Pinus glabra* Walt. In: EVANGELHISTA, W. V. **Madeiras Nativas e Plantadas do Brasil: qualidade, pesquisas e atualidades**. Guarujá, SP: Científica Digital, 2021. p.178-191.

MORESCHI, João C. **Propriedades da madeira**. 4. ed. Curitiba: Departamento da Engenharia e Tecnologia Florestal da UFPR, 2014. (Apostila).

MORRIS, Ashley B. *et al.* Phylogeographical structure and temporal complexity in American sweetgum (*Liquidambar styraciflua*; Altingiaceae). **Molecular Ecology**, [S.l.], v. 17, p. 3889-3900, ago. 2008.

MULLER, Bruna V. *et al.* Avaliação das principais propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cabbage. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 21, n. 4, p. 535-542, dez. 2014.

OLIVEIRA, José Tarcísio S.; HELLMEISTER, João C.; TOMAZELLO FILHO, Mário. Variação do teor de umidade e da densidade básica na madeira de sete espécies de eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 29, n.1, p.115-127, nov. 2005.

OLIVEIRA, José Tarcísio S.; TOMAZELLO FILHO, Mário; FIEDLER, Nilton C. Avaliação da retratibilidade da madeira de sete espécies de *Eucalyptus*. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 34, n. 5, p. 929-936, mar. 2010.

OLIVEIRA, José Tarcísio S.; SILVA, José C. Variação radial da retratibilidade e densidade básica da madeira de *Eucalyptus saligna*. **Árvore**, Viçosa-MG, v. 27, n. 3, p. 381-385, mai. 2003.

PADILHA, Ediéli M. **Propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Pinus patula* Schtdl. & Cham.** 2016. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Catarina, Curitibanos, 2016.

PANDOLFO, C. *et al.* **Atlas climatológico do Estado de Santa Catarina.** Florianópolis: Epagri, 2002.

REZENDE, Marcos A. Retratabilidade da madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e *Eucalyptus grandis* e suas relações com a densidade e umidade. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 64, p. 120-127, dez. 2003.

REZENDE, Marcos A.; SAGLIETTI, José Roberto C.; GUERRINI, Ivan A. Estudo das interrelações entre massa específica, retratabilidade e umidade da madeira do *Pinus caribaea* var. *hondurensis* aos 8 anos de idade. **IPEF**, Botucatu, n.48-49, p.133-141, jan.-dez. 1995.

REZENDE, Marcos A. *et al.* Estudo das variações da densidade da madeira de *Liquidambar styraciflua* e do *Pinus tecunumannii* como parâmetro de qualidade para a produção de móveis. **Holos environment**, Rio Claro, SP, v.7, n.1, p.60, jun. 2007.

ROCHA, Sofia Maria G. *et al.* Resistência a flexão em peças de madeira de eucalipto para produção de estofados. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA MADEIRA, 3., 2017, Florianópolis. **Anais [...]**. Florianópolis: Universidade do Estados de Santa Catarina, 2017.

RODRIGUES, Rodrigo Augusto D. **Variabilidade de propriedades físico-mecânicas em lotes de madeira de serrada de eucalipto para construção civil.** 2002. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

SHIMIZU, Jarbas Y.; SPIR, Ivana Helena Z. Produtividade de madeira de liquidambar (*Liquidambar styraciflua* L.) de diferentes procedências em Quedas do Iguaçu, PR. **Árvore**, Viçosa-MG, v. 28, n. 4, p. 487- 491, ago. 2004.

SHIMIZU, Jarbas Y. Liquidambar para produção de madeira no sul e sudeste do Brasil. **Bol. Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 50, p. 127-138, jan.-jun. 2005.

SILVEIRA, Livia Helena C.; REZENDE, Alba V.; VALE, Ailton T. Teor de umidade e densidade básica da madeira de nove espécies comerciais amazônicas. **Acta amazônica**, Manaus, v. 43, n. 2, p.179-184, mai. 2013.

TALGATTI, Maiara. *et al.* Propriedades físicas e mecânicas da madeira de clones de eucalipto. **Scientia Agraria Paranaensis**, Marechal Cândido Rondon, v. 17, n. 4, p. 434-442, out.-dez. 2018.

VALÉRIO, Álvaro F. *et al.* Determinação da densidade básica da madeira de Cedro (*Cedrela fissilis* Vell.) ao longo do fuste. **Pesquisa aplicada e Agrotecnologia**, Guarapuava-PR, v.1, n.1, p. 23-28, set.-dez. 2008.

VEIGA, Tais Regina L. A. *et al.* Propriedades mecânicas de amostras individualizadas da madeira e do carvão de *Eucalyptus urophylla* e de *Corymbia citriodora*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 46, n. 117, p. 107-114, mar. 2018.

VITAL, B.R. **Métodos de determinação da densidade da madeira**. Viçosa: SIF/UFV, 1984.

VIVIAN, Magnos A. *et al.* Propriedades físico-mecânicas da madeira de canafístula aos 10 anos de idade. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 40, n. 5, p. 1097-1102, mai. 2010.

WREGGE, Marcos S. *et al.* **Atlas climático da região sul do Brasil: Estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul**. 2.ed. Brasília, DF: Embrapa, 2012.