

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

Tatiéli Fernanda Bonafé

**Caracterização físico-mecânica da madeira de *Podocarpus lambertii* Klotzsch Ex Endl
aos 26 anos procedente de plantio**

Curitibanos, SC

2024

Tatiéli Fernanda Bonafé

**Caracterização físico-mecânica da madeira de *Podocarpus lambertii* Klotzsch Ex Endl
aos 26 anos procedente de plantio**

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

2024

Ficha catalográfica gerada por meio de sistema automatizado gerenciado pela BU/UFSC. Dados inseridos pelo próprio autor.

Bonafé, Tatiéli Fernanda

Caracterização físico-mecânica da madeira de *Podocarpus lambertii* Klotzsch Ex Endl aos 26 anos procedente de plantio. / Tatiéli Fernanda Bonafé ; orientadora, Karina Soares Modes, 2024.

41 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Curitibanos, Graduação em Engenharia Florestal, Curitibanos, 2024.

Inclui referências.

1. Engenharia Florestal. 2. Pinheiro-bravo. 3. Densidade. 4. Madeira serrada. 5. Dureza Janka. I. Modes, Karina Soares. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia Florestal. III. Título.

Tatiéli Fernanda Bonafé

**Caracterização físico-mecânica da madeira de *Podocarpus lambertii* Klotzsch Ex Endl
aos 26 anos procedente de plantio**

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, 25 de novembro de 2024.

Prof. Dr. Marcelo Bonazza
Coordenador do Curso

Banca Examinadora:

Prof^a. Dr^a. Karina Soares Modes
Orientadora
Universidade Federal de Santa Catarina

Eng. Florestal Caroline Vaz Cendron
Avaliadora
Universidade Federal de Santa Catarina

Eng. Florestal Gustavo Henrique Mozzer Regazolli
Avaliador
Universidade Federal de Santa Catarina

Dedico este trabalho ao meu pai, Nilson Bonafé, *in memoriam*.

AGRADECIMENTOS

Pela coragem, agradeço à minha versão mais jovem. Mesmo com medo, escolheu e abraçou o desconhecido.

Pelo amor, zelo e proteção, agradeço à minha mãezinha, Silvana. Você é a dona do amor mais profundo que existe em mim, meu porto seguro e a razão da minha existência.

Pelos inúmeros abraços e momentos de descontração, agradeço às minhas irmãs e ao meu sobrinho. Espero inspirá-los em um futuro próximo.

Pelo incentivo de sempre estudar, agradeço aos meus dindos, Simone e Geraldo. Vocês me apresentaram à universidade pública e a um mundo de possibilidades.

Por acompanhar e acolher todas as minhas versões, agradeço à minha querida amiga Luciana. Você me acompanha desde a adolescência e esteve presente nos momentos mais decisivos da minha vida.

Pelas mensagens de carinho e encorajamento, agradeço aos meus avós, tios e primos.

Aos amigos e aos colegas da UFSC Curitibanos, agradeço pela parceria e por terem me ajudado a suportar a saudade de casa. Mesmo que o nome de cada um não esteja escrito aqui, saibam que foram importantes nessa jornada. Sem o amparo e apoio de vocês, eu teria desistido.

Ao Núcleo de Estudos e Pesquisa em Melhoramento Genético e Biotecnologia Florestal, agradeço pelo apoio nas pesquisas. Os trabalhos foram mais leves e descontraídos com a parceria de vocês.

Pela orientação, confiança, paciência e amizade, agradeço à minha orientadora, Karina. Foi um privilégio ser orientada por alguém tão dedicada, compreensiva e humana. Seu profissionalismo é um exemplo e sua orientação fez toda a diferença no meu percurso.

À professora Kelen, agradeço pelo apoio constante, tanto acadêmico quanto pessoal. Você foi fundamental para que eu chegasse até aqui. Tive a sorte de poder aprender e evoluir contigo.

À Universidade Federal de Santa Catarina, pelo ensino, pesquisa e extensão gratuitos e de qualidade. Aos professores, assistência estudantil, técnicos e terceirizados, obrigada.

À Florestal Gateados, pelo fornecimento da madeira utilizada neste trabalho, obrigada.

Todos vocês fazem parte desta conquista.

“Ninguém ignora tudo. Ninguém sabe de tudo. Todos nós sabemos alguma coisa. Todos nós ignoramos alguma coisa. Por isso aprendemos sempre.” (Freire, 1999, 11 ed., p. 66)

RESUMO

O objetivo do presente estudo foi caracterizar a espécie *Podocarpus lambertii* Klotzsch Ex Endl aos 26 anos, com origem de plantio experimental, quanto as propriedades físico-mecânicas de sua madeira com vistas a verificar o potencial madeireiro da mesma como alternativa para o mercado de madeira sólida. Foram amostradas três árvores do povoamento, das quais foi removido um disco de 8,0 cm de espessura da região do diâmetro a altura do peito (DAP) para avaliação da densidade básica, densidade aparente da madeira verde, condicionada a 12% de umidade e anidra, bem como da contração linear e volumétrica total, coeficiente de retratibilidade linear e volumétrico e coeficiente de anisotropia. A primeira tora com 1,30 m de comprimento foi utilizada na determinação das propriedades mecânicas de flexão estática, cisalhamento paralelo à grã e dureza Janka. A densidade básica observada para *P. lambertii* foi de 0,392 g/cm³, enquanto a densidade aparente da madeira verde, condicionada a 12% de umidade e anidra foram 0,933, 0,469 e 0,431 g/cm³, respectivamente. A contração linear observada no sentido tangencial foi de 5,97%, no sentido radial de 2,97%, longitudinal de 0,25% e volumétrico de 9,11%, resultando num coeficiente de anisotropia de 2,03. Quanto às propriedades mecânicas, a madeira apresentou resistência (MOR) de 49,04 N/mm² e rigidez (MOE) de 4.651,07 N/mm² no ensaio de flexão estática e resistência ao cisalhamento de 8,35 N/mm². A dureza Janka observada foi de 44,96 N/mm² no sentido axial, 30,35 N/mm² no sentido radial e 27,33 N/mm² no sentido tangencial. A resistência e a rigidez da madeira de *P. lambertii* foram inferiores ao observado na literatura para outras espécies de coníferas comercialmente utilizadas, indicando um uso limitado da espécie para aplicações que demandam alta exigência mecânica. Contudo, a boa estabilidade dimensional observada, aliada à leveza, reduz a propensão a defeitos durante a secagem, tornando-a mais adequada para aplicações secundárias ou decorativas.

Palavras-chave: Pinheiro-bravo. Densidade. Dureza Janka.

ABSTRACT

The objective of this study was to characterize the wood of *Podocarpus lambertii* Klotzsch Ex Endl, at 26 years of age, from an experimental plantation, regarding its physical and mechanical properties, demonstrating the species' timber potential as a market alternative. Three trees from the stand were sampled, and an 8.0 cm thick disc was extracted at the diameter at breast height (DBH) region to evaluate basic density, apparent density of green wood, wood conditioned to 12% moisture content, and oven-dry wood. Linear and volumetric total shrinkage, linear and volumetric shrinkage coefficients, and anisotropy coefficient were also assessed. The first log, measuring 1.30 m in length, was used to determine the mechanical properties of static bending, shear parallel to the grain, and Janka hardness. The basic density observed for *P. lambertii* was 0.392 g/cm³, while the apparent densities of green wood, 12%-moisture-conditioned wood, and oven-dry wood were 0.933, 0.469, and 0.431 g/cm³, respectively. Linear shrinkage values were 5.97% in the tangential direction, 2.97% in the radial direction, 0.25% in the longitudinal direction, and 9.11% volumetric shrinkage, resulting in an anisotropy coefficient of 2.03. Regarding mechanical properties, the wood showed a modulus of rupture (MOR) of 49.04 N/mm², a modulus of elasticity (MOE) of 4,651.07 N/mm² in static bending tests, and shear strength parallel to the grain of 8.35 N/mm². The Janka hardness was observed as 44.96 N/mm² in the axial direction, 30.35 N/mm² in the radial direction, and 27.33 N/mm² in the tangential direction. The strength and stiffness of *P. lambertii* wood were lower than reported in the literature for other commercially used conifer species, indicating limited use for applications requiring high mechanical performance. However, its good dimensional stability, combined with its lightness, reduces the likelihood of drying defects, making it more suitable for secondary or decorative applications.

Keywords: Pinheiro-bravo. Density. Janka Hardness.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1– Distribuição de <i>Podocarpus lambertii</i> no Brasil.....	17
Figura 2– Madeira de <i>Podocarpus lambertii</i> . A) Aparência casca interna e da madeira verde; B) Aparência da madeira após desdobro.	19
Figura 3 – Orientações anatômicas da madeira.	20
Figura 4 – Delimitação dos sentidos anatômicos (A) e corpos de prova submersos em água para saturação completa das paredes celulares (B e C).	24
Figura 5 – Pontaletes extraídos das toras utilizados na confecção dos corpos de prova.....	27
Figura 6 – Aplicação da carga durante o ensaio de flexão estática.	28
Figura 7– Aplicação da carga durante o ensaio de cisalhamento paralelo à grã.	29
Figura 8 – Aplicação da carga no topo (A) do corpo de prova durante o ensaio de dureza Janka.	30
Figura 9 – Ruptura da madeira durante o ensaio de flexão estática.	34
Figura 10 – Comparação de corpos de prova antes e após o ensaio de cisalhamento.....	35
Figura 11 – Deformações causadas no corpo de prova durante o ensaio de dureza Janka.	36

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classificação da madeira em função da densidade básica.....	25
Tabela 2 – Classes de resistência para coníferas, segundo o Anexo B da NBR 7190.	29
Tabela 3 – Estatística descritiva das propriedades físicas da madeira de <i>P. lambertii</i>	31
Tabela 4 – Comparação da densidade básica da madeira de <i>P. lambertii</i> em relação a outras espécies de coníferas utilizadas no segmento de madeira serrada no Brasil.	31
Tabela 5 – Estatística descritiva do ensaio de flexão estática para <i>P. lambertii</i>	33
Tabela 6 – Estatística descritiva do ensaio de cisalhamento para <i>P. lambertii</i>	34
Tabela 7 – Estatística descritiva do ensaio de dureza Janka para <i>P. lambertii</i>	35

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	OBJETIVOS	16
1.1.1	Objetivo Geral.....	16
1.1.2	Objetivos Específicos	16
2	REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1	<i>Podocarpus lambertii</i> KLOTZSCH EX ENDL	17
2.2	PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DA MADEIRA	19
2.2.1	Densidade e estabilidade dimensional da madeira	20
2.2.2	Ensaio mecânico.....	21
3	METODOLOGIA.....	23
3.1	ORIGEM E PREPARAÇÃO DO MATERIAL	23
3.2	ENSAIOS FÍSICOS	23
3.2.1	Densidade básica.....	23
3.2.2	Densidade aparente e estabilidade dimensional	25
3.3	ENSAIOS MECÂNICOS	26
3.3.1	Resistência e rigidez ao ensaio de flexão estática.....	27
3.3.2	Resistência ao esforço de cisalhamento paralelo a grã.....	28
3.3.3	Dureza Janka	29
3.4	ANÁLISE DE DADOS	30
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	31
4.1	PROPRIEDADES FÍSICAS.....	31
4.2	PROPRIEDADES MECÂNICAS	33
5	CONCLUSÃO.....	37
	REFERÊNCIAS.....	38

1 INTRODUÇÃO

O relatório da Indústria Brasileira de Árvores (IBA) de 2023 revelou que, dos 9,94 milhões de hectares de áreas cultivadas no Brasil em 2022, 1,9 milhão de hectares foram destinados ao cultivo de pinus. O estudo também indicou que 76% dos plantios no país são compostos por espécies do gênero *Eucalyptus*, seguido pelo gênero *Pinus* com 19%, evidenciando a concentração dos plantios florestais brasileiros nesses dois gêneros. Além disso, apenas 5% das áreas de reflorestamento no Brasil são ocupadas por outras espécies, como seringueira, paricá, teca e acácia-negra.

Santa Catarina se destaca na produção florestal brasileira, ocupando a segunda posição em área plantada com Pinus, com um total de 701 mil hectares, ficando atrás apenas do Paraná (IBÁ, 2023). Ainda, o estado lidera as exportações nacionais de madeira serrada de coníferas, reforçando sua importância no setor, segundo a mesma fonte. Em 2022, o relatório da Associação Catarinense de Empresas Florestais (ACR) destacou que a exportação de produtos como madeira serrada, painéis e molduras representou uma contribuição econômica expressiva, fortalecendo o papel do estado como referência na produção e comercialização de produtos florestais. Essa posição estratégica reflete a eficiência produtiva e a organização do setor florestal catarinense, bem como a qualidade da matéria-prima ofertada.

Contudo, a concentração da produção florestal em poucos gêneros apresenta desafios, incluindo vulnerabilidade a pragas e doenças, além da limitação do mercado florestal quanto à diversidade de usos e propriedades da madeira. Nesse sentido, devem ser conduzidas pesquisas que visem ampliar o conhecimento sobre as propriedades físico-mecânicas da madeira de espécies nativas e exóticas alternativas, como forma de subsidiar a diversificação da base florestal e promover sua integração ao mercado, reduzindo a dependência de gêneros amplamente cultivados.

Estudos sobre propriedades físicas e mecânicas, como densidade, resistência e dureza, são fundamentais para identificar as melhores aplicações para cada tipo de madeira e promover um uso eficiente e responsável desses materiais. Adicionalmente, a renovação das bibliografias técnicas e científicas sobre as espécies nativas brasileiras é necessária para que novos dados reflitam os avanços no uso de técnicas sustentáveis no setor florestal.

Podocarpus lambertii é uma conífera nativa com características desejáveis do ponto de vista industrial, abrangendo desde atributos visuais e organolépticos até a qualidade físico-mecânica, podendo ser uma alternativa às madeiras comumente utilizadas. Vivian *et al.*

(2024) realizaram um estudo com essa espécie, visando avaliar a qualidade da madeira para a produção de polpa celulósica de fibra longa. Os resultados indicam que ela pode ser uma alternativa ou um complemento ao segmento de fibras longas, atualmente abastecido exclusivamente pelo gênero *Pinus* no país.

Carvalho (2004) menciona ainda que se trata de uma espécie de grande potencial para reflorestamentos, uma vez que não é exigente quanto ao solo e ao clima, além de ser tolerante a baixas temperaturas.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Caracterizar a madeira de *Podocarpus lambertii* aos 26 anos oriunda de área plantada quanto as suas propriedades físico-mecânicas, demonstrando o potencial madeireiro da espécie para o segmento de madeira serrada.

1.1.2 Objetivos Específicos

Caracterizar a madeira de *P. lambertii* quanto:

- Densidade básica;
- Densidade aparente da madeira verde, a 12% e 0% de umidade;
- Coeficiente de anisotropia, retratibilidade e contração linear e volumétrica;
- Resistência e rigidez da madeira frente ao ensaio de flexão estática;
- Resistência da madeira aos esforços de cisalhamento paralelo à grã nos planos radial e tangencial;
- Dureza da madeira pelo ensaio de dureza Janka.

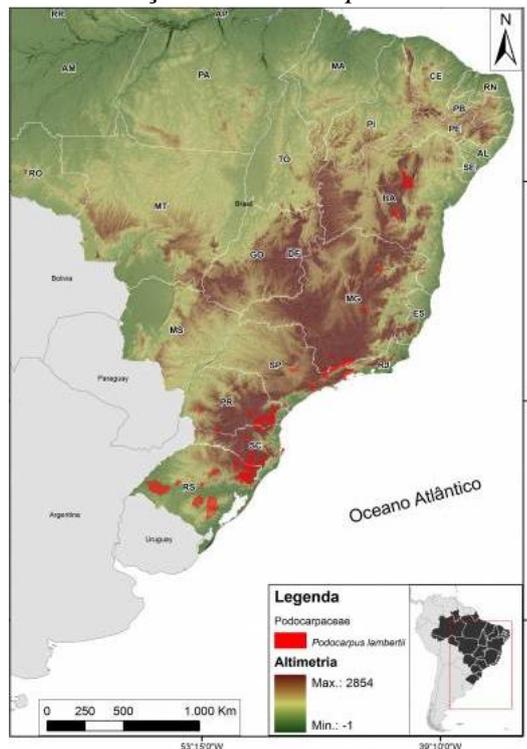
2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 *Podocarpus lambertii* KLOTZSCH EX ENDL

Podocarpus lambertii Klotzsch Ex Endl ou pinheiro-bravo, como é chamado na linguagem popular, é uma conífera da família Podocarpaceae. A espécie é nativa e sua distribuição no território brasileiro é irregular (Figura 1), concentrando-se em duas áreas: no centro da Bahia, e entre Minas Gerais e o Rio Grande do Sul, abrangendo os biomas Caatinga, Mata Atlântica e Pampa (Carvalho, 2004; GBIF, 2024; SIBBR, 2024).

De acordo com Bernardi (2019), em função da amplitude geográfica, as populações de *P. lambertii* ocorrem em uma diversidade de regimes climáticos classificados como Cfb (temperado úmido), Cfa (subtropical úmido) e Cwb (subtropical de altitude), conforme o sistema de classificação climática de Köppen. O autor ainda descreve que, embora a altitude de ocorrência da espécie seja variável, observa-se uma predominância das suas populações entre 790 e 1.700 metros. Além disso, pesquisas realizadas por Longhi *et al.* (2009) indicam que *P. lambertii* demonstra um desenvolvimento superior em habitats caracterizados por solos não pedregosos, com baixa inclinação e níveis de umidade moderados.

Figura 1– Distribuição de *Podocarpus lambertii* no Brasil.



Fonte: CNCflora (2013).

A espécie, segundo Bernardi (2019), é característica da Floresta Ombrófila Mista (FOM), na qual se encontram as maiores concentrações populacionais. Na FOM, ela ocorre frequentemente em associação com *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze (pinheiro-brasileiro), *Gymnanthes klotzschiana* Müll.Arg. (branquilho), *Cedrela fissilis* Vell. (cedro) e *Ilex paraguariensis* A. St-Hil (erva-mate).

Pela descrição de Carvalho (2004), *P. lambertii* apresenta notável capacidade de regeneração natural, especialmente em capoeiras e vegetação secundária mais avançada, adaptando-se tanto a áreas sombreadas quanto a pleno sol. A classificação sucessional da espécie é objeto de debate na literatura, dada a diversidade de interpretações encontradas. Enquanto alguns autores a identificam como uma espécie secundária (Carvalho, 2004; Chiamolera; Ângelo, Boeger, 2010), outros estudos a consideram pioneira (Fontoura *et al.*, 2006; Lorenzi, 1992).

Quanto a morfologia, *P. lambertii* apresenta porte médio, com alturas variando entre 10 e 27 metros e diâmetros de até 120 centímetros, dependendo das condições de crescimento (Carvalho, 2004; Lorenzi, 1992; Mattos, 1979). Conforme Marchiori (1996), os indivíduos jovens apresentam tronco reto e copa cônica, enquanto os adultos, à medida que crescem, desenvolvem um tronco mais tortuoso e ramificado, formando uma copa arredondada que alcança o segundo estrato arbóreo da floresta. Carvalho (2004) observa que, em ambientes isolados, a árvore tende a se ramificar mais, enquanto em florestas, há perda dos ramos inferiores, resultando em um tronco mais uniforme.

De acordo com a bibliografia de Carvalho (2004), apesar do lento crescimento e da baixa produtividade volumétrica (7,55 m³/ha/ano aos 15 anos), a espécie tem grande potencial para reflorestamentos, uma vez que não é exigente quanto ao solo e ao clima, é tolerante a baixas temperaturas, além de iniciar a reprodução a partir dos 8 anos de idade.

A madeira de *P. lambertii* possui coloração predominantemente bege clara com tonalidades amareladas, sem distinção perceptível entre cerne e alborno (Figura 2), conforme a descrição feita por Lorenzi (1992). Segundo o autor, a madeira é leve, com densidade aproximada de 0,45 g/cm³, além de apresentar textura fina e grã reta. Entretanto, sua baixa resistência ao apodrecimento e ao ataque de cupins de madeira seca compromete sua durabilidade em determinadas condições.

Figura 2– Madeira de *Podocarpus lambertii*. A) Aparência da casca interna e da madeira verde; B) Aparência da madeira após desdobro.



Fonte: O autor (2024).

Maixner e Ferreira (1976) pontuam que as características físico-mecânicas da espécie são desejáveis para fabricação de aglomerados, papel e celulose, uma vez que é composta por traqueídeos. Palmer e Pitman (1992) descrevem que a madeira é relativamente forte, com baixas quantidades de resina e tem aparência satisfatória, sendo essas características adequadas para fabricação de pisos, caibros, vigas, móveis e portas.

P. lambertii, junto com a *A. angustifolia*, foi amplamente explorado para suprir a demanda madeireira dos setores da construção civil e industrial (Vibrans *et al.*, 2020). Essa exploração excessiva, aliada à degradação dos habitats naturais, resultou em uma significativa redução populacional, culminando na inclusão da espécie na lista de espécies ameaçadas de extinção em Santa Catarina, na categoria "Em Perigo" (EN) (CONSEMA, 2014).

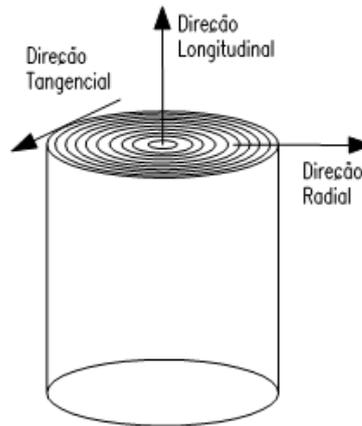
2.2 PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DA MADEIRA

A madeira é um material heterogêneo, higroscópico (que tem capacidade de perder ou adquirir umidade do ambiente), resultante de um processo biológico, cuja estrutura pode ser descrita pela quantidade, disposição, orientação e composição química dos seus elementos anatômicos (Santos, 2022; Klock, 2000).

De acordo com Santos (2022) esses elementos são determinantes para as propriedades da madeira e são influenciadas por fatores como condições térmicas, composição do solo e umidade. Segundo o autor, esses fatores explicam as variações nas

propriedades físicas e mecânicas da madeira entre diferentes espécies, entre árvores da mesma espécie e dentro de um mesmo indivíduo. Além disso, ela também apresenta caráter anisotrópico, o que significa que suas propriedades variam nas suas diferentes direções anatômicas (Santos, 2022) (Figura 3).

Figura 3 – Orientações anatômicas da madeira.



Fonte: Adaptado de Santos (2022).

A caracterização isolada das propriedades da madeira pode ser inadequada para determinar sua aplicabilidade como matéria-prima (Melo *et al.* 2013). Assim, uma abordagem mais eficaz é analisar essas propriedades de forma integrada, possibilitando uma avaliação mais completa das potencialidades e limitações da madeira em diferentes contextos de uso (Melo *et al.*, 2010).

2.2.1 Densidade e estabilidade dimensional da madeira

A densidade básica, conforme Silveira, Rezende e Vale (2013), é uma propriedade complexa que resulta da relação entre a massa seca e o volume saturado da madeira. Os autores destacam que essa característica é essencial na avaliação da qualidade da madeira, sendo influenciada por fatores como a largura das células, a espessura das paredes celulares, o diâmetro do lúmen, além da proporção e distribuição dos diferentes tecidos no lenho.

Além disso, Lopes e Garcia (2002) pontuam que a densidade básica pode variar entre espécies, entre árvores da mesma espécie e até dentro de uma mesma árvore, com relação à idade do povoamento, e ainda com as condições ambientais do local onde se encontra.

Panshin e De Zeeuw (1964) observaram que a densidade da madeira aumenta com a idade da árvore, ocorrendo de maneira mais acentuada durante a fase juvenil.

Santos (2022) descreve que no contexto da madeira, a massa e o volume abrangem não apenas a parte sólida (madeira), mas também a fração líquida (água) e os espaços vazios celulares e intercelulares, o que resulta em variações nos valores de densidade em função das condições de umidade. O autor também pontua que em decorrência dessas flutuações, existem outros tipos de densidade para uma mesma amostra de madeira para além da densidade básica: densidade verde, densidade seca e densidade aparente.

Almeida *et al.* (2014) explicam que a densidade aparente é definida como a relação entre a massa da madeira e seu volume a uma umidade de equilíbrio. Eles ressaltam que este parâmetro é crucial, pois possibilita a estimativa de várias propriedades mecânicas essenciais, como resistência, rigidez e trabalhabilidade.

Quanto à estabilidade dimensional, Almeida (2015) refere-se à capacidade da madeira de manter suas dimensões originais mesmo sob variações de umidade, sendo esse comportamento relacionado ao seu caráter higroscópico, ou seja, ela pode absorver e liberar umidade do ambiente resultando em mudanças dimensionais. Segundo o autor, a madeira sofre retração (diminuição do volume) ao ser submetida à secagem em níveis de umidade abaixo do ponto de saturação das fibras (PSF) e, inchamento quando o processo é inverso, sendo o sentido tangencial é o mais afetado, seguido do radial e axial, respectivamente.

Por sua vez, a retratibilidade é a tendência da madeira a encolher ou expandir, sendo depende da anisotropia, uma vez que a variação ocorre de forma diferente nas direções longitudinal, radial e tangencial, como descreve Santos (2022).

Schulz *et al.* (2020) destacam que a massa específica e a retratibilidade são importantes por influenciarem nas demais características da madeira, sendo a retratibilidade uma das responsáveis por causar defeitos em peças, diminuindo a qualidade dos produtos madeireiros.

2.2.2 Ensaios mecânicos

Ensaios mecânicos são conduzidos de acordo com procedimentos padronizados estabelecidos por Normas Técnicas, garantindo a uniformidade metodológica e possibilitando a comparação dos resultados ao longo do tempo e entre diferentes contextos geográficos, como descrevem Calegari *et al.* (2013).

Uma das metodologias utilizadas para avaliar a qualidade da madeira, conforme Stangerlin *et al.* (2010), é por meio do ensaio de flexão estática. Esse método analisa o comportamento da madeira sob flexão, especialmente quando a face tangencial é submetida a uma carga ou força. Inicialmente, a madeira apresenta um comportamento elástico, retornando ao estado original após a remoção da força. Contudo, ao exceder um determinado limite, o material passa a apresentar características, ou seja, não retorna à sua configuração inicial após a interrupção da força, embora preserve seu estado físico, como detalham os autores.

Outro método importante para avaliação mecânica da madeira é pelo ensaio de resistência ao cisalhamento paralelo às fibras, que avalia a separação das fibras quando submetidas a uma tensão aplicada em paralelo a elas, conforme Hara (2014). Embora a resistência ao cisalhamento esteja proporcional à densidade da madeira, o autor enfatiza que o fator determinante é a orientação da tensão aplicada em relação aos anéis de crescimento, sendo a quebra do material determinada, geralmente, nos planos tangencial e radial. Hara (2014) também ressalta a influência significativa da variação entre o lenho juvenil e o lenho tardio no plano tangencial. Quanto ao plano radial, a resistência ao cisalhamento está associada ao padrão de crescimento da madeira. O autor observa que madeiras com raios mais espaçados apresentam menor resistência ao cisalhamento em comparação com aquelas que possuem anéis de crescimento mais estreitos.

O ensaio de dureza Janka é utilizado para avaliar a resistência da madeira à penetração de uma esfera de aço, fornecendo um indicativo da dureza superficial do material, como descreve Moreschi (2014). Botelho Júnior (2006) caracteriza a dureza como uma propriedade mecânica que reflete a resistência de um material à penetração, riscagem e desgaste. Segundo o autor, este parâmetro é de grande interesse, pois está relacionado à densidade e à trabalhabilidade da madeira, além de permitir a seleção adequada da espécie em função de sua aplicação. Em geral, as madeiras são classificadas em brandas, medianamente duras e duras (Botelho Júnior, 2006).

3 METODOLOGIA

3.1 ORIGEM E PREPARAÇÃO DO MATERIAL

As árvores de *Podocarpus lambertii* utilizadas no estudo são oriundas de um plantio experimental de 26 anos de propriedade da empresa Florestal Gateados S. A. O plantio foi estabelecido com espaçamento de 2,5 m x 1,6 m e contou com controle de mato-competição nos primeiros anos, não sendo feitas podas ou desbastes até a data da coleta.

A empresa fica situada no município de Campo Belo do Sul, Santa Catarina, onde o clima é do tipo Cfb, com verões frescos e ausência de estação seca, segundo a classificação de Köppen (Dubreuil *et al.*, 2015). A temperatura média local é 16°C, com precipitação média anual variando entre 1.300 e 2.400 mm, sendo o relevo do tipo ondulado ou suave ondulado e com ocorrência de geadas, de acordo com Zeller (2010).

Foram amostradas três árvores de *P. lambertii* com DAP médio de 20 cm e de cada uma utilizada a primeira tora gerada entre a posição da base e do DAP (Diâmetro a Altura do Peito) com comprimento de aproximadamente 1,30 m para confecção dos corpos de prova dos ensaios mecânicos. Um disco de 8,0 cm de espessura foi retirado da região do DAP para a confecção dos corpos de prova referentes aos ensaios físicos. Os discos juntamente com os toretes foram conduzidos ao Laboratório de Recursos Florestais II da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Campus de Curitibanos, para que fossem realizados os ensaios físico-mecânicos da madeira.

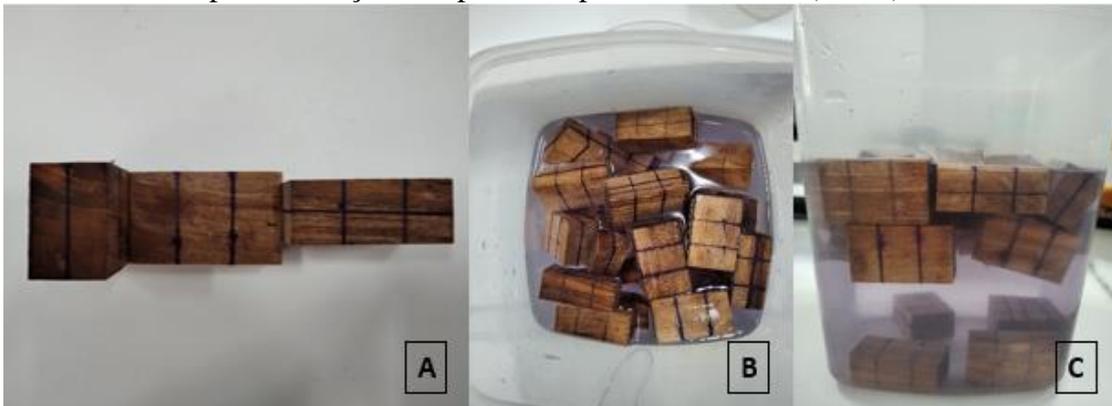
3.2 ENSAIOS FÍSICOS

3.2.1 Densidade básica

Em laboratório, os discos foram submersos em água em uma bacia plástica por aproximadamente 30 dias para a saturação das paredes celulares. De cada disco foi confeccionada uma bagueta central, da qual foram retirados corpos de prova das porções próximas à medula e à casca com dimensões 5,0 x 2,0 x 3,0 cm nos sentidos longitudinal, tangencial e radial, respectivamente, conforme preconizado pela NBR 7190 (ABNT, 1997), por meio de serra circular esquadrejadeira.

Os corpos de prova foram identificados quanto aos sentidos anatômicos, sendo a determinação do volume na condição saturada feita pelo método estereométrico, após a imersão dos mesmos por mais sete dias em água para saturação completa das paredes celulares. (Figura 4).

Figura 4 – Delimitação dos sentidos anatômicos (A) e corpos de prova submersos em água para saturação completa das paredes celulares (B e C).



Fonte: O autor (2024).

Após a saturação completa, foram realizadas medições diretas das dimensões nos sentidos longitudinal, tangencial e radial de cada amostra, utilizando um paquímetro digital com precisão de 0,01 mm, sendo a multiplicação destas medidas o volume saturado. Também nessa ocasião determinou-se a massa de cada amostra em balança analítica.

Uma vez mensurados, os corpos de prova foram submetidos ao condicionamento em câmara climática com controle da temperatura a 20°C e umidade relativa de 65% até atingir peso constante. Uma nova aferição da massa e dos sentidos anatômicos foi realizada para determinação da massa e volume da madeira condicionada a 12% de umidade. Conforme a norma utilizada, essa condição foi atingida após monitoramento da massa do material, quando a diferença de massa entre duas medidas sucessivas não exceder 0,5% em relação à última massa.

Em seguida, os corpos de prova foram submetidos à secagem em estufa com circulação forçada de ar a 103°C ± 2°C até atingir massa constante em balança analítica. Essa massa foi considerada como da madeira anidra, e o volume do material foi determinado pela aferição das dimensões dos corpos de prova. Com os valores de massa anidra e volume saturado obtidos, a densidade básica foi calculada por meio da Equação 1.

$$DB = \frac{\text{massa anidra (g)}}{\text{volume saturado (cm}^3\text{)}} \quad (1)$$

Onde:

DB = densidade básica (g/cm³).

A densidade básica da madeira de *Podocarpus lambertii* foi avaliada conforme a classificação descrita 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 Densidade aparente e estabilidade dimensional

Os mesmos corpos de prova utilizados na determinação da densidade básica foram utilizados na determinação da densidade aparente da madeira verde, a 12% e 0% de umidade, seguindo a norma brasileira NBR 7190 (ABNT, 1997).

Dessa forma, foram utilizados os valores obtidos para massa e volume saturados após imersão em água, da massa e volume dos corpos de prova após o condicionamento em câmara climática e massa e volume anidro obtidos após secagem na estufa, sendo as densidades calculadas por meio da equação 2.

A contração linear e volumétrica foi calculada utilizando a equação 3 para cada direção anatômica (longitudinal, tangencial e radial) e para o volume, com base nas informações da amostra nas condições saturada e anidra.

O coeficiente de retratibilidade para contração nos sentidos anatômicos foi calculado por meio da equação 4 e o coeficiente de anisotropia para a contração total pela equação 5.

$$ME (0\%, 12\%, \text{VERDE}) = \frac{\text{massa (g)}(0\%,12\%,\text{verde})}{\text{volume (cm}^3\text{)}(0\%,12\%,\text{verde})} \quad (2)$$

Onde:

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

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

Volume (tu%) = volume à umidade 0%, 12% e madeira verde;

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

Onde:

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

DU = dimensão na condição saturada;

VU = volume na condição saturada;

DS = dimensão na condição anidra;

VS = volume na condição anidra.

$$Q\beta = \frac{(D12\% - D0\%) * M0\%}{(M12\% - M0\%) * D12\%} \quad (4)$$

Onde:

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

D12% = dimensão a 12% umidade;

D0% = dimensão a 0% de umidade;

M12% = massa a 12% de umidade;

M0% = massa a 0% de umidade.

$$CA = \frac{\beta_{tg\%}}{\beta_{rd\%}} \quad (5)$$

Onde:

CA = coeficiente de anisotropia;

β_{tg} = contração linear na direção tangencial;

β_{rd} = contração linear na direção radial.

3.3 ENSAIOS MECÂNICOS

Para a realização dos ensaios mecânicos, uma prancha diametral de 8,0 cm de espessura foi confeccionada utilizando a primeira tora de cada árvore por meio de uma serra circular esquadrejadeira. A partir da prancha (Figura 5), os corpos de prova foram confeccionados a partir de pontaletes extraídos de diferentes posições da prancha de maneira a minimizar a influência da posição radial na densidade da madeira e conseqüentemente na

resistência. Os testes foram conduzidos em máquina universal de ensaios mecânicos com capacidade de 30 toneladas.

Figura 5 – Pontaletes extraídos das toras utilizados na confecção dos corpos de prova.



Fonte: O autor (2024).

Uma vez confeccionados de acordo com as especificidades de cada ensaio, os corpos de prova foram acondicionados em câmara climática à temperatura de 20 °C e 65% de umidade relativa até atingirem massa constante. Todas as amostras foram pesadas e tiveram o volume mensurado após o condicionamento e antes de cada ensaio, a fim de determinar a densidade aparente à umidade de 12% de cada corpo de prova.

3.3.1 Resistência e rigidez ao ensaio de flexão estática

A condução do ensaio seguiu a norma COPANT 30: 1-006 (1971) que recomenda as dimensões do corpo de prova em 2,0 x 2,0 x 30,0 cm, sendo a última dimensão no sentido longitudinal. A carga foi aplicada no sentido tangencial do corpo de prova, sendo o vão existente entre os apoios do material de 280 mm (14 vezes a espessura do corpo de prova) (Figura 6).

Figura 6 – Aplicação da carga durante o ensaio de flexão estática.



Fonte: O autor (2024).

Os resultados de resistência (MOR ou módulo de ruptura) e rigidez (MOE ou módulo de elasticidade) da madeira submetida ao esforço de flexão estática foram fornecidos pelo sistema computadorizado acoplado à máquina de ensaios.

3.3.2 Resistência ao esforço de cisalhamento paralelo a grã

Os corpos de prova utilizados no ensaio de cisalhamento paralelo à grã seguiram a norma COPANT 30: 1-007 (1971), os quais possuíam dimensões de 5,0 x 5,0 x 6,3 cm, sendo a última dimensão no sentido longitudinal. Durante a execução do ensaio, a carga foi aplicada no sentido paralelo a grã (Figura 7) nos sentidos tangencial e radial, sendo os resultados obtidos com base na carga máxima necessária para o rompimento dos corpos de prova e da área em que a carga foi aplicada, através da equação 6.

$$R_{cis} = \frac{P_{m\acute{a}x} \text{ (N)}}{A \text{ (mm}^2\text{)}} \quad (6)$$

Onde:

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 7– Aplicação da carga durante o ensaio de cisalhamento paralelo à grã.



Fonte: O autor (2024).

O cisalhamento foi avaliado de acordo com o Anexo B da norma brasileira NBR 7190 (1997) da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), intitulada "Projeto de Estruturas de Madeira". Esta norma classifica a madeira de coníferas em três classes de resistência para as propriedades de compressão paralela à grã e cisalhamento, conforme ilustrado na tabela 2.

Tabela 2 – Classes de resistência para coníferas, segundo o Anexo B da NBR 7190.

Classe	Força MPa	Ensaio
C20	20	Resistência compressão paralela à grã
	4	Cisalhamento
C25	21-25	Resistência compressão paralela à grã
	4,1-5,0	Cisalhamento
C30	>26	Resistência compressão paralela à grã
	>5,1	Cisalhamento

Fonte: ABNT (1997).

3.3.3 Dureza Janka

O ensaio de dureza Janka seguiu a norma ASTM D143-14 (2014). Os corpos de prova foram confeccionados com dimensões de 5,0 x 5,0 x 15,0 cm, sendo a última dimensão no sentido longitudinal. Durante a execução do ensaio, a carga foi aplicada nas faces laterais e

nos topos dos corpos-de-prova por meio de uma semi-esfera de 1 cm² de área diametral, com profundidade igual ao raio, a uma velocidade de 6 mm/min (Figura 8).

Figura 8 – Aplicação da carga no topo do corpo de prova durante o ensaio de dureza Janka.



Fonte: O autor (2024).

Os resultados foram obtidos com base na carga máxima necessária para penetrar a semiesfera de área igual a 1 cm², sendo eles fornecidos pelo sistema computadorizado da máquina de ensaios.

3.4 ANÁLISE DE DADOS

Os resultados das propriedades físicas, bem como das propriedades mecânicas de resistência e rigidez à flexão estática, resistência ao esforço de cisalhamento paralelo a grã e dureza Janka da madeira de *P. lambertii* foram avaliados a partir de estatística descritiva dos dados.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 PROPRIEDADES FÍSICAS

Na tabela 3 estão descritos os valores médios obtidos para as propriedades físicas da madeira de *Podocarpus lambertii* aos 26 anos, oriunda de plantio.

Tabela 3 – Estatística descritiva das propriedades físicas da madeira de *P. lambertii*.

Propriedade	Parâmetro	Média	DP	CV (%)
Densidade (g/cm ³)	Básica	0,392	0,017	4,3
	Verde	0,933	0,068	7,3
Densidade aparente (g/cm ³)	12% de umidade	0,469	0,020	4,3
	0% umidade (anidra)	0,431	0,018	4,1
Contração total (%)	Tangencial	5,972	0,821	13,8
	Radial	2,978	0,428	14,4
	Longitudinal	0,255	0,119	46,5
	Volumétrica	9,115	0,931	10,2
Coeficiente de retratibilidade (contração)	Tangencial	0,215	0,023	10,7
	Radial	0,115	0,027	23,4
	Longitudinal	0,012	0,004	29,3
	Volumétrica	0,359	0,035	9,8
Coeficiente de anisotropia total	Contração	2,033	0,304	14,9

Em que: DP = desvio padrão; CV = coeficiente de variação.

Fonte: O autor (2024).

A espécie demonstrou-se relativamente homogênea em termos de densidade, com as maiores variações ocorrendo no estado verde (CV de 7,3%). Segundo a classificação proposta por Durlo (1991), a densidade da madeira de *P. lambertii* na idade avaliada é considerada leve, uma vez que os valores se encontram na faixa entre 0,31 a 0,50 g/cm³.

A Tabela 4 apresenta uma comparação entre a densidade básica da madeira de *P. lambertii* e os dados de outros estudos sobre a espécie, incluindo as densidades de outras coníferas oriundas de plantios utilizadas no segmento de madeira serrada no Brasil.

Tabela 4 – Comparação da densidade básica da madeira de *P. lambertii* em relação a outras espécies de coníferas utilizadas no segmento de madeira serrada no Brasil.

Referência	Espécie	Idade (anos)	DB (g/cm ³)
O autor (2024)	<i>P. lambertii</i>	26	0,392

Vivian <i>et al.</i> (2024)	<i>P. lambertii</i>	26	0,397
Mascarenhas <i>et al.</i> (2013)*	<i>P. lambertii</i>	-	0,50
Zaque; Ferreira; Melo (2018)	<i>A. angustifolia</i>	25	0,439
Vivian <i>et al.</i> (2015)	<i>P. taeda</i>	21	0,435

Em que: DB = densidade básica

*Populações nativas do Rio Grande do Sul.

O valor de densidade básica obtido na região do DAP mostrou-se semelhante ao da densidade básica ponderada pelo volume comercial encontrado por Vivian *et al.* (2024), indicando consistência entre as medidas pontuais e a média representativa da árvore como um todo. Por outro lado, o resultado inferior da densidade básica de *P. lambertii* ao obtido por Mascarenhas *et al.* (2013) pode estar relacionado ao fato da idade, que não foi indicada pelos autores, e pelas condições de crescimento, uma vez que se trata de um estudo que amostrou árvores crescendo em ambiente natural.

A densidade básica encontrada para *P. lambertii* é relativamente baixa em vista da descrita para as coníferas *Araucaria angustifolia* e *Pinus taeda*. A densidade da madeira é fundamental para prever seu comportamento na industrialização, especialmente no processo de secagem, como relatam Silveira, Rezende e Vale (2013). Segundo os autores, espécies menos densas contêm mais água livre, facilitando a secagem, enquanto madeiras mais densas, com paredes celulares espessas, tendem a ser mais difíceis de secar e mais suscetíveis a defeitos. Além disso, madeiras com maior densidade básica apresentam maior instabilidade dimensional devido à maior capacidade de adsorção e dessorção de água.

Os resultados médios obtidos para a densidade aparente, tanto na condição verde quanto a 12% de umidade para *P. lambertii* são superiores aos encontrados para *P. taeda* aos 15 anos de 0,929 g/cm³ e 0,407 g/cm³, respectivamente, e inferiores à de indivíduos com mais de 30 anos (1,091 g/cm³ e 0,555 g/cm³, respectivamente), avaliados por Vivian *et al.* (2022). Bonazza *et al.* (2022) enfatizam que a densidade aparente da madeira verde desempenha um papel importante nos processos de comercialização e abastecimento industrial, pois fornece a base para a conversão precisa entre unidades de volume e massa, utilizada no planejamento e controle logístico.

Os valores de contração observados para *P. lambertii* foram inferiores aos reportados por Melo *et al.* (2013), que estudaram indivíduos com DAP superior a 35 cm provenientes de vegetação nativa. Os percentuais registrados pelos autores foram de 12,3% para a contração volumétrica, 6,2% para a tangencial e 3,9% para a radial. Esse comportamento pode ser explicado pela densidade básica, já que madeiras com maior densidade tendem a apresentar maior contração, influenciada pela transição entre lenho juvenil e lenho adulto. Ainda, os

resultados de contração do presente trabalho são inferiores aos descritos por Vivian *et al.* (2022) para *P. taeda* com mais de 30 anos nos sentidos radial (4,99%), tangencial (7,19) e volumétrico (12,07%).

O coeficiente de anisotropia aqui encontrado foi superior ao observado por Mascarenhas *et al.* (2013), cujo valor foi de 1,62 para a espécie, bem como foi superior ao encontrado por Vivian *et al.* (2022) para *P. taeda* com idade superior a 30 anos (1,46). Conforme a classificação de Nock *et al.* (1975), *P. lambertii* possui um coeficiente de anisotropia médio (entre 1,5 e 2,0) indicando que a madeira apresenta estabilidade dimensional moderada.

4.2 PROPRIEDADES MECÂNICAS

Na tabela 5 são apresentados os resultados médios da análise estatística descritiva para o Módulo de Elasticidade (MOE) e Módulo de Ruptura (MOR) obtidos no teste de flexão estática, juntamente com a massa específica aparente da madeira condicionada à temperatura de 20°C e umidade relativa de 65%. Na figura 9 é possível observar a ruptura da madeira durante a condução do ensaio.

Tabela 5 – Estatística descritiva do ensaio de flexão estática para *P. lambertii*.

	MEA (g/cm ²)	MOE (N/mm ²)	MOR
Mínimo	0,45	3.053,75	33,28
Médio	0,47	4.651,07	49,04
Máximo	0,59	6.321,36	61,52
Desvio padrão	0,02	789,10	7,77
CV (%)	16,91	16,97	15,84

Em que: CV = coeficiente de variação; MEA = massa específica aparente da madeira condicionada; MOE = módulo de elasticidade ou rigidez; MOR = módulo de ruptura ou resistência.

Fonte: O autor (2024).

O módulo de elasticidade e o módulo de ruptura da madeira de *P. lambertii* são inferiores ao descrito por Mascarenhas *et al.* (2013), cuja rigidez e resistência encontrada para espécie foi de 5.149 N/mm² e 65,4 N/mm², respectivamente. Salienta-se que o diâmetro das árvores utilizadas pelos autores era superior a 40 cm, logo a proporção entre lenho juvenil e adulto, bem como a idade podem ter influenciado para este resultado, visto que interferem diretamente na densidade básica. Da mesma maneira, os resultados foram inferiores ao

encontrado por Vivian *et al.* (2022) para *P. taeda* aos 15 anos, tanto para rigidez (6.013,3 N/mm²) quanto para resistência (78,0 N/mm²), a uma massa específica aparente (MEA) a 12% de umidade de 0,41g/cm². Ainda, o MOE e o MOR de *P. lambertii* ficaram abaixo do registrado por Santini, Haselein e Gatto (2000) para madeira de *Araucaria angustifolia* aos 19 anos, cujo módulo de elasticidade e ruptura observados foram 9.574,82 N/mm² e 63,06 N/mm², respectivamente, para madeira de MEA 12% de 0,40 g/cm

Figura 9 – Ruptura da madeira durante o ensaio de flexão estática.



Fonte: O autor (2024).

A tabela 6 apresenta os valores médios e a estatística descritiva para a resistência máxima ao cisalhamento e a massa específica aparente dos corpos de prova de *P. lambertii*, condicionados à temperatura de 20°C e umidade relativa de 65%.

De acordo com o Anexo B da norma brasileira NBR 7190 (1997) da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), a madeira de *P. lambertii* se enquadra na classe C30, a qual inclui aquelas com resistência >5,1 N/mm².

Tabela 6 – Estatística descritiva do ensaio de cisalhamento para *P. lambertii*.

	MEA (g/cm ²)	Resistência ao cisalhamento (N/mm ²)
Mínimo	0,51	6,74
Médio	0,55	8,35
Máximo	0,63	9,72
Desvio padrão	0,023	0,76

CV (%)

4,2

9,1

Em que: CV = coeficiente de variação; MEA = massa específica aparente da madeira condicionada.
Fonte: O autor (2024).

O cisalhamento obtido para *P. lambertii* foi superior ao observado para a espécie por Mascarenhas *et al.* (2013) e Melo *et al.* (2013) (7,1 N/mm² em ambos), bem como por Aguirre *et al.* (2008), o qual encontrou o valor de 6,96 N/mm² para madeira com massa aparente a 15% de umidade de 0,50 g/cm³, oriunda de vegetação nativa. O resultado foi ligeiramente mais baixo ao descrito por Santini, Haselein e Gatto (2000) para *A. angustifolia* aos 19 anos e 24 cm de DAP (8,92 N/mm²). Entretanto, o resultado é inferior ao visto para *P. taeda* aos 18 anos, o qual apresentou resistência de 10,52 N/mm² e MEA de 0,527 g/cm² a 12% de umidade, segundo Trianoski *et al.* (2014). Na figura 10 é possível observar a fissura causada no corpo de prova após o ensaio de resistência ao cisalhamento.

Figura 10 – Comparação de corpos de prova antes e após o ensaio de cisalhamento.



Fonte: O autor (2024).

Os valores médios, a estatística descritiva para dureza e a massa específica aparente dos corpos de prova de *P. lambertii*, condicionados à temperatura de 20°C e umidade relativa de 65%, são descritos na tabela 7.

Tabela 7 – Estatística descritiva do ensaio de dureza Janka para *P. lambertii*.

	MEA (g/cm ²)	Dureza (N/mm ²)		
		Axial	Radial	Tangencial
Mínimo	0,45	38,80	25,10	21,74
Médio	0,47	44,96	30,35	27,33
Máximo	0,50	50,35	36,97	31,45
Desvio padrão	0,013	2,42	2,37	2,67

CV (%)	2,80	5,39	7,80	9,76
--------	------	------	------	------

Fonte: O autor (2024).

A dureza média observada para madeira de *P. lambertii* à massa específica aparente de 0,47 g/cm³ foi superior ao relatado por Santini, Haselein e Gatto (2000) para *A. angustifolia* em todos os sentidos anatômicos, os quais encontraram uma dureza de 23,14 N/mm² para o sentido radial, 24,71 N/mm² para o sentido tangencial e 36,28 N/mm² para o sentido longitudinal. Ao realizar a média de dureza para madeira de *P. lambertii* entre os três sentidos anatômicos, o valor observado foi de 34,21 N/mm². O resultado é superior ao descrito por Mascarenhas *et al.* (2013), os quais observaram uma dureza de 32,2 N/mm², para a espécie, bem como é superior ao encontrado para *P. taeda* aos 18 anos (31,62 N/mm²), de acordo com Trianoski *et al.* (2014). Na figura 11 é possível observar as deformações causadas no corpo de prova durante o ensaio de dureza Janka.

Figura 11 – Deformações causadas no corpo de prova durante o ensaio de dureza Janka.



Fonte: O autor (2024).

5 CONCLUSÃO

A densidade básica da madeira de *Podocarpus lambertii* Klotzsch Ex Endl aos 26 anos pode ser classificada como leve ($0,392 \text{ g/cm}^3$), e associada aos valores reduzidos de contração e ao coeficiente de anisotropia (2,03), indica uma boa estabilidade dimensional e menor propensão a apresentar defeitos de secagem, embora a madeira tenha menor aptidão para aplicações estruturais. A densidade aparente da madeira verde, a 12% de umidade e anidra foram $0,933$, $0,496$ e $0,431 \text{ g/cm}^3$, respectivamente, sendo a massa específica da madeira verde muito semelhante ao descrito na literatura para a espécie.

Os resultados para o módulo de elasticidade (MOE) e módulo de ruptura (MOR) confirmam potencial restrito da espécie para usos de alta exigência mecânica, visto que ambos se mostraram inferiores aos valores observados para outras espécies de coníferas de maior uso comercial. No entanto, a resistência ao cisalhamento foi satisfatória, e a dureza Janka apresentou valores superiores aos de *Araucaria angustifolia*, destacando-se principalmente no sentido axial.

Os resultados sugerem que a madeira de *P. lambertii* é mais indicada para aplicações secundárias ou decorativas, nas quais a leveza e estabilidade dimensional são qualidades mais valorizadas do que a resistência estrutural. Nesse sentido, a espécie mostra potencial para o setor de madeira serrada com usos preferenciais em mobiliário, acabamentos internos e outros produtos que exigem menor resistência mecânica, mas que se beneficiam de boa estabilidade e facilidade de manuseio.

Além disso, é importante destacar que, ao contrário de outras coníferas amplamente utilizadas no segmento de madeira serrada, *P. lambertii* ainda não passou por programas de melhoramento genético, o que pode influenciar suas propriedades e seu desempenho comercial.

REFERÊNCIAS

- AGUIRRE *et al.* Estudo das propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Podocarpus lambertii* Klotzsch oriunda de floresta nativa. *In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA*, 17., 2008, Santa Maria. **Anais [...]**. Santa Maria: CNPQ, 2008. p. 1-5.
- ALMEIDA, D. H. *et al.* Tenacidade da madeira como função da densidade aparente. **Revista Árvore**, v. 38, n. 1, p. 203-207, 2014.
- ALMEIDA, T. H. **Estudo da estabilidade dimensional de madeiras tropicais brasileiras**. 2015. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Programa de Pós-Graduação em Ciências e Engenharia de Materiais, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ABNT. **ASTM D143**: Standard methods of testing small clear specimens of timber. Philadelphia: ASTM, 1994.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 7190**. Projeto de Estrutura de Madeira. Rio de Janeiro: ABNT, 1997.
- BERNARDI, A. P. **Aspectos ecológicos e filogeográficos de *Podocarpus lambertii* Klotzsch Ex Endl.** 2019. Tese (Doutorado em Ciências) – Programa de Pós-Graduação em Recursos Genéticos Vegetais, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2019.
- BOTELHO JÚNIOR, J. A. Avaliação não destrutiva da capacidade resistente de estruturas de madeira de edifícios antigos. 2006. Dissertação (Mestrado em Reabilitação do Patrimônio Edificado) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, 2006.
- CALEGARI, L. *et al.* Normalização técnica para determinação das propriedades físicas e mecânicas de madeiras. **Ciência da Madeira**, v. 4, n. 2, 2013.
- CARVALHO, P. E. R. **Pinheiro bravo – *Podocarpus lambertii***. Colombo, PR: Embrapa Florestas, 2004. (Circular técnica Embrapa Florestas)
- CHIAMOLERA, L. B.; ÂNGELO, A. C.; BOEGER, M. R. Resposta morfoanatômica da folha de *Podocarpus lambertii* Klotzsch ex Endl. (Podocarpaceae) implantado em duas áreas com diferentes graus de sucessão às margens do Reservatório Iraí – PR. **Revista Biotemas**, v. 23, n. 2, p. 1-11, 2010.
- COMISIÓN PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS – COPANT. **COPANT 30: 1-006**: Maderas: método de determinación de flexión estática. Caracas: COPANT, 1971.
- COMISIÓN PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS – COPANT. **COPANT 30:1-007**: Maderas: método de determinación del cizallamiento paralelo al grano. Caracas: COPANT, 1971.
- CONSELHO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE (CONSEMA). **Resolução CONSEMA nº 51, de 05 de dezembro de 2014. Lista Oficial de Espécies da Flora Ameaçadas de**

Extinção em Santa Catarina. Diário Oficial do Estado de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2014. Disponível em: <https://www.ima.sc.gov.br/>. Acesso em: 19 out. 2024.

CORRÊA, C. A. **Propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Liquidambar styraciflua* L. aos 24 anos.** 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Curitibanos, Curitibanos, 2021.

DUBREUIL, V. *et al.* Os tipos de climas anuais no Brasil: uma aplicação da classificação de Köppen de 1961 a 2015. **Confins** [online], n. 37, 2018. Disponível em: <http://journals.openedition.org/confins/15738>>. Acesso em: 22 jun. 2022.

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

FONTOURA, S. B.; GANADE, G.; LAROCCA, J. Changes in plant community diversity and composition across an edge between Araucaria forest and pasture in South Brazil. **Revista Brasileira de Botânica**, n. 29, p. 79–91, 2006.

GLOBAL BIODIVERSITY INFORMATION FACILITY- GBIF. *Podocarpus lambertii* Klotzsch ex Endl. Disponível em: <https://www.gbif.org/species/5285964>>. Acesso em: 22 set. 2024.

HARA, M. M. *et al.* Resistencia ao cisalhamento paralelo às fibras de madeira mediante esforço induzido por puncionamento. **Revista Engenharia e Construção Civil**, v. 1, n. 2, p. 40-54, 2014.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES - IBA. Relatório Anual 2023. Disponível em: <https://iba.org>. Acesso em: 31 out. 2024.

INOUE, M. T.; RODERJAN, C. V.; KUNIYOSHI, Y. S. **Projeto Madeira do Paraná.** Curitiba: Sudesul/ IBDF/ FUPEF, 1984.

KLOCK, U. **Qualidade da madeira juvenil de *Pinus maximinoi* H. E. Moore.** 2000. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000.

LONGHI, S. J. *et al.* Fatores ecológicos determinantes na ocorrência de *Araucaria angustifolia* e *Podocarpus lambertii*, na Floresta Ombrófila Mista da FLONA de São Francisco de Paula, RS, Brasil. **Ciência Rural**, v.40, n. 1, 2009.

LOPES, G. A.; GARCIA, J. N. Densidade básica e umidade natural da madeira de *Eucalyptus saligna* Smith, de Itatinga, associados aos padrões de casca apresentados pela população. **Ciência Florestal**, n. 62, p. 13-23, 2002.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras:** manual de identificação e cultivos de plantas arbóreas nativas do Brasil. Nova Odessa: Plantarum, 1992.

MAIXNER, A. E.; FERREIRA, L. A. B. Contribuição ao estudo das essências florestais e frutíferas nativas no Estado do Rio Grande do Sul. **Trigo e Soja**, n. 18, p. 3-20, 1976.

MARCHIORI, J. N. C. Anatomia do xilema secundário de *Mimosa incana* (Spreng.) Benth. **Ciência Florestal**, v. 6, n. 1, p. 53-63, 1996.

MASCARENHAS, A. R. P. *et al.* Caracterização Tecnológica da Madeira de Espécies de Coníferas Nativas e Exóticas. **Scientific Electronic Archives**, v. 3, p. 1-5, 2013.

MATTOS, J. R. **Contribuição ao estudo do pinheiro-bravo (*Podocarpus lambertii* Kl.) no sul do Brasil**. Porto Alegre: Instituto de Pesquisa de Recursos Naturais Renováveis “AP”, 1979 (Publicação IPRNR, 2).

MELO, R. R. *et al.* Caracterização física e mecânica da madeira de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze. **Agrária**, v. 1, n. 5, p. 67-73, 2010.

MELO, R. R. *et al.* Uso das características tecnológicas da madeira para o agrupamento de espécies florestais. **Nativa**, v. 1, p. 01-07, 2013.

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

NOCK, P. H.; RICHTER, H. G.; BURGER, L. M. **Tecnologia da madeira**. Curitiba: UFPR, 1975.

PALMER, E.; PITMAN, N. **Trees of Southern Africa**. A. A Balkema: Cape Town, 1992.

PANSHIN, A. J.; DE ZEEUW, C. **Textbook of wood technology**. 2 ed. New York: McGraw Hill, 1964.

SANTINI, E. J. HASELEIN, C. R.; GATTO, D. A. Análise comparativa das propriedades físicas e mecânicas da madeira de três coníferas de florestas plantadas. **Ciência Florestal**, v. 10, n. 1, p. 85-93, 2000.

SANTOS, L. M. A. **Madeiras**. Disponível em: <https://semanaacademica.org.br/system/files/artigos/artigo_madeiras_lara_monalisa.pdf>. Acesso em: 24 maio 2022.

SCHULZ, H. R. *et al.* Avaliação de propriedades físicas das madeiras de seis espécies florestais. **Matéria**, v. 3, n. 25, e-11905, 2020.

SILVEIRA, L. H. C.; REZENDE, A. V.; VALE, A. T. Teor de umidade e densidade básica da madeira de nove espécies comerciais amazônicas. **Acta Amazonica**, v. 43, n. 2, 2013.

SISTEMA DE INFORMAÇÃO SOBRE A BIODIVERSIDADE BRASILEIRA -SIBBR. *Podocarpus lambertii* Klotzsch ex Endl. Disponível em: <<https://ala-bie.sibbr.gov.br/ala-bie/species/295406>>. Acesso em: 22 set. 2024.

SOUZA, C. V. V. *et al.* Ensaio de cisalhamento paralelos às fibras com dimensões reduzidas em madeira de *Eschweilera ovata*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA MADEIRA, 3., 2017, Florianópolis. **Anais [...]**. Florianópolis, 2017.

STANGERLIN, D. M. *et al.*; Propriedades de flexão estática da madeira de *Carya illinoensis* em duas condições de umidade. **Ciência da Madeira**, v. 1, n. 02, p. 70-79, 2010.

TRIANOSKI, R. *et al.* Avaliação das propriedades mecânicas da madeira de espécies de *Pinus* tropicais. **Scientia Forestalis**, v. 42, n. 101, p. 21-28, 2014.

VIBRANS, A. C. *et al.* **Inventário Florístico Florestal de Santa Catarina: Aspectos Históricos e Conservação**. Blumenau: Edifurb, 2020.

VIVIAN, M. A. *et al.* Ciclos de produção de *Pinus taeda* L. com mais de 30 anos: uma alternativa para obtenção de madeira para usos sólidos e estruturais. **Ciência Florestal**, v. 32, n. 2, p. 573-596, 2022.

VIVIAN, M. A. *et al.* Qualidade da madeira de *Podocarpus lambertii* visando à produção de polpa celulósica de fibra longa. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 23, n. 3, 2024.

VIVIAN, M. A. *et al.* Qualidade das madeiras de *Pinus taeda* e *Pinus sylvestris* para a produção de polpa celulósica kraft. **Scientia Forestalis**, v. 43, n. 105, p. 183-191, 2015.

ZAQUE, L. A. M.; FERREIRA, M. D.; MELO, R. R. Variação radial e longitudinal da massa específica básica da madeira de *Araucaria angustifolia* com diferentes idades. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 38, n. 1, p. 203-207, 2018.

ZELLER, R. H. **Plano de manejo**: Reserva Particular do Patrimônio Natural Emilio Einsfeld Filho, Santa Catarina. 2010. <Disponível em: https://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/docs-planos-de-manejo/rppn_emilio_einsfeld_filho_pm.pdf>. Acesso em: 08 jun. 2022.