

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

**PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS DA MADEIRA DE
Tetrorchidium rubrivenium Poeppig & Endlicher**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Rosana Lamana Guma

Santa Maria, RS, Brasil

2013

**PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS DA MADEIRA DE
Tetrorchidium rubrivenium Poeppig & Endlicher**

Rosana Lamana Guma

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

Orientador: Prof. Clovis Roberto Haselein

Santa Maria, RS, Brasil

2013

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Lamana Guma, Rosana
Propriedades tecnológicas da madeira de *Tetrorchidium rubrivenium* Poeppig & Endlicher / Rosana Lamana Guma.-
2013.
62 p.; 30cm

Orientador: Clovis Roberto Haselein
Coorientadores: Elio José Santini, Darci Alberto Gatto
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, RS, 2013

1. Tecnologia da madeira 2. Anatomia da madeira I.
Haselein, Clovis Roberto II. Santini, Elio José III.
Gatto, Darci Alberto IV. Título.

© 2013

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

E-mail: rosana_guma@yahoo.com.br

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Rurais
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal**

**A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado**

**PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS DA MADEIRA DE *Tetrorchidium
rubrivenium* Poeppig & Endlicher**

elaborada por
Rosana Lamana Guma

como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Engenharia Florestal

COMISSÃO EXAMINADORA:

**Clovis Roberto Haselein, Dr.
(Presidente/Orientador)**

Luciano Denardi, Dr. (UFSM)

Silviana Rosso, Dra. (UNIPAMPA)

Santa Maria, 28 de fevereiro de 2013.

AGRADECIMENTOS

Meus agradecimentos se iniciam com a Associação dos Fumicultores do Brasil (AFUBRA) onde surgiu a necessidade da pesquisa desta espécie. Ressalto o agradecimento para o Engenheiro Florestal Juarez Pedroso pelo empenho na realização do trabalho, principalmente do licenciamento e coleta do material. Obrigada também ao professor Jorge Farias pelo auxílio na concretização deste projeto.

Obrigada aos professores Clóvis Haselein e Elio Santini pela orientação, apoio e esclarecimentos. Aos integrantes da banca: Luciano Denardi e Silvana Rosso, obrigada pelas contribuições e correções.

Obrigada ao professor Luciano Denardi e à colega, Engenheira Florestal Talita Baldin, por todo auxílio e acompanhamento nas atividades de descrição anatômica. Pela disponibilidade, receptividade e todo o conhecimento passado. À família Duarte que me recebeu tão carinhosamente em Frederico, em especial à Manoela.

Muito obrigada aos colegas Priscilla Baggio, sempre prestativa e pronta para auxiliar no que fosse preciso desde o planejamento das atividades até os cortes e realização dos testes; e Walmir Menezes que também foi muito importante para a realização deste trabalho. Estendo os agradecimentos aos demais colegas de laboratório que sempre que possível estiveram dividindo momentos de trabalho, conversas, cafés e risadas comigo durante este período: Bibiana Argenta, Felipe Susin, Michêle dos Santos, Daniele Costa, Danilo Freitas, Lenon Huller, Douglas Carvalho e André Missio.

Obrigada aos funcionários da universidade: Tarso, Fabiana, Nelson, Tita e Roni. Muito obrigada também ao "Seu Zé", que tão alegre e competentemente nos auxiliou nos trabalhos de cortes dos corpos de prova.

À minha família pelo apoio e carinho. Aos meus amigos pelos momentos de distração que ajudam a dar forças para continuar. Muito tenho a agradecer também ao Fábio que acompanhou todo o período de mestrado. Obrigada pelo incentivo, paciência, sugestões e principalmente pelo companheirismo nos dias e noites de estudo.

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal
Universidade Federal de Santa Maria

PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS DA MADEIRA DE *Tetrorchidium rubrivenium* *Poeppig & Endlicher*

AUTORA: ROSANA LAMANA GUMA

ORIENTADOR: CLÓVIS ROBERTO HASELEIN

LOCAL E DATA DA DEFESA: SANTA MARIA, 28 DE FEVEREIRO DE 2013.

O presente trabalho tem objetivo de descrever a anatomia da madeira de *Tetrorchidium rubrivenium* (Euphorbiaceae), estudar as características físicas verificando sua variação ao longo da árvore e determinar suas propriedades mecânicas, a fim de identificar possíveis usos do material. *Tetrorchidium rubrivenium*, popularmente chamado de canemaçu, é uma espécie arbórea pertencente à família botânica Euphorbiaceae, subfamília Crotonoideae e que ainda é uma espécie nativa pouco estudada. Foram utilizadas cinco árvores coletadas no interior de Vale do Sol, RS. Foi expedida licença ambiental para a obtenção do material, conforme legislação vigente. Amostras do material foram trabalhadas para confeccionar lâminas histológicas e para quantificação de fibras, utilizadas para a descrição anatômica da madeira. Confeccionaram-se também corpos de prova de dimensões pré-estabelecidas para realização dos seguintes testes: massa específica verde e básica, teor de umidade verde, contrações radial e tangencial, cisalhamento, compressão paralela e perpendicular, dureza, flexão estática e resistência ao choque. Constatou-se que o lenho do canemaçu é composto em sua maior parte por fibras e raios e em menor percentual parênquima axial e vasos. As características anatômicas são condizentes com o esperado para a família e subfamília que o canemaçu pertence. A madeira possui massa específica (ME) básica média de 0,4062 g/cm³, esta apresenta relação significativa com a altura comercial da árvore. Relações significativas também foram encontradas entre a ME verde, o teor de umidade verde e as contrações radial e tangencial com a posição em relação à altura comercial da árvore. A madeira apresentou baixa resistência mecânica para compressão paralela, dureza e flexão estática, e resistência mediana para cisalhamento. As propriedades mecânicas foram relacionadas com a ME a 12% de umidade, verificando-se significância com a compressão perpendicular, dureza radial e tangencial, módulo de elasticidade, módulo de ruptura, trabalho absorvido e coeficiente de resiliência. Para estas propriedades, foram ajustados modelos para predição dos respectivos valores a partir da ME. A madeira de canemaçu mostra-se apta para a utilização em móveis, chapas aglomeradas, caixotaria e embalagens em geral, e na confecção de objetos de decoração, acabamento interno e brinquedos.

Palavras-chave: Anatomia da madeira. Propriedades físico-mecânicas. Massa específica.

ABSTRACT

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal
Universidade Federal de Santa Maria

TECHNOLOGICAL PROPERTIES OF *Tetrorchidium rubrivenium* Poeppig & Endlicher WOOD

AUTHOR: ROSANA LAMANA GUMA

ADVISOR: CLOVIS ROBERTO HASELEIN

PLACE AND DATE OF DEFENSE: SANTA MARIA, FEBRUARY 28, 2013.

This work aims to describe the wood anatomy, study the physical characteristics and verify its variation along the tree height, and determine the mechanical properties of *Tetrorchidium rubrivenium* (Euphorbiaceae) wood, to identify possible uses of this material. *Tetrorchidium rubrivenium*, of popular name canemaçu, is an arboreal species of Euphorbiaceae botanical family, Crotonoideae subfamily, which is a native species poorly studied. Five trees of this specie were cut in Vale do Sol, Rio Grande do Sul State, Brazil. Environmental license for obtainment of this material was issued according current legislation. Samples of this material were prepared for confection of histologic and quantitative fiber slides, used to describe wood anatomy. Predetermined sized samples were also prepared for the following tests: green and basic specific density, green moisture content, radial and tangential shrinkage, shear, parallel and perpendicular compression, hardness, static and impact bending. The canemaçu wood is composed mostly by fibers and rays, and in lower portion by axial parenchyma and vessels. These anatomic characters agree with expected features for canemaçu family and subfamily. Basic specific density of wood was 0.4062 g/cm^3 , and presented significant relationship with the position in relation to commercial height of the tree. Similar relationship was found with green specific density, green water content and radial and tangential wood shrinkages. The wood of canemaçu presented low mechanical resistance for parallel compression, hardness and static bending, and median shear resistance. The mechanical properties of canemaçu wood were also related with specific density at 12% moisture and significant relationship was observed with perpendicular compression, radial and tangential hardness, modulus of elasticity, modulus of rupture, work to maximum load in bending and resilience coefficient. Predictive models in function of specific density at 12% moisture were adjusted for these mechanical properties. In according with results of this study, the wood of canemaçu is appropriate to be used on furniture, particleboard, crates and general packaging, and on the manufacture of decorative items, internal finishing and toys.

Key words: Wood anatomy. Physical and mechanical properties. Specific density.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Altura comercial (Hc) e diâmetro à altura do peito (DAP) das árvores de <i>Tetrorchidium rubrivenium</i> utilizadas no estudo.....	26
Tabela 2 – Propriedades analisadas, origem e dimensões dos corpos de prova e velocidade dos ensaios para caracterização da madeira de <i>Tetrorchidium rubrivenium</i>	27
Tabela 3 – Características do lenho de <i>Tetrorchidium rubrivenium</i>	38
Tabela 4 – Média, desvio padrão, coeficiente de variação e intervalo de confiança das contrações tangencial e radial e das respectivas massas específicas a 12% de umidade (ME 12%) da madeira de <i>Tetrorchidium rubrivenium</i>	44
Tabela 5 – Média, desvio padrão, coeficiente de variação e intervalo de confiança dos valores das compressões perpendicular e paralela às fibras e respectivas massas específicas a 12% de umidade (ME 12%) da madeira de <i>Tetrorchidium rubrivenium</i>	47
Tabela 6 – Média, desvio padrão, coeficiente de variação e intervalo de confiança dos valores de dureza nas faces radial, tangencial e axial e massa específica a 12% de umidade (ME 12%) da madeira de <i>Tetrorchidium rubrivenium</i>	48
Tabela 7 – Equações ajustadas para estimar a resistência à dureza nas faces radial (Drd) e tangencial (Dtg) da madeira de <i>Tetrorchidium rubrivenium</i> em função da massa específica a 12% de umidade (ME).....	50
Tabela 8 – Média, desvio padrão, coeficiente de variação e intervalo de confiança dos valores do Módulo de elasticidade (MOE) e do Módulo de ruptura (MOR) e a respectiva massa específica a 12% de umidade (ME 12%) da madeira de <i>Tetrorchidium rubrivenium</i>	50
Tabela 9 – Equações ajustadas para estimar o módulo de elasticidade (MOE) e o módulo de ruptura (MOR) da madeira de <i>Tetrorchidium rubrivenium</i> em função da massa específica a 12% de umidade (ME).....	52

Tabela 10 – Média, desvio padrão, coeficiente de variação e intervalo de confiança do trabalho absorvido (W), do coeficiente de resiliência (K) e da cota dinâmica (CD) e a respectiva massa específica a 12% de umidade (ME 12%) da madeira de *Tetrorchidium rubrivenium*..... 52

Tabela 11 – Equações ajustadas para estimar o trabalho absorvido (W) e o coeficiente de resiliência (K) da madeira de *Tetrorchidium rubrivenium* em função da massa específica a 12% de umidade (ME)..... 54

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 – Folhas de *Tetrochidium rubrivenium*. A – Prancha da espécie com detalhamento do material reprodutivo. Fonte: Flora brasiliensis. B – Folhas da espécie coletadas a campo. Fonte: Rosana Guma. 17
- Figura 2 – Esquema de delimitação dos cortes da madeira de *Tetrochidium rubrivenium* para posterior confecção dos corpos de prova..... 27
- Figura 3 – Cortes histológicos da madeira de *Tetrochidium rubrivenium*, antes (A) e depois (B) do processo de coloração. 29
- Figura 4 – Madeira de *Tetrochidium rubrivenium* sendo submetida a diferentes testes mecânicos: cisalhamento (A), compressão perpendicular (B), flexão estática (C) e dureza (D). 33
- Figura 5 – Percentagem dos diferentes tipos celulares no lenho de *Tetrochidium rubrivenium*..... 36
- Figura 6 – Detalhes anatômicos da madeira de *Tetrochidium rubrivenium*. 40
- Figura 7 – Valores medidos e retas das equações para massa específica verde (ME Verde) e massa específica básica (ME Básica) da madeira de *Tetrochidium rubrivenium* em função da altura comercial (Hc) da árvore..... 42
- Figura 8 – Valores medidos e ajuste da equação para o teor de umidade verde (TU verde) da madeira de *Tetrochidium rubrivenium* em função da altura comercial (Hc) da árvore. 43
- Figura 9 – Valores medidos e modelo da equação ajustado para contração radial (Crd) e contração tangencial (Ctg) da madeira de *Tetrochidium rubrivenium*, em função da altura comercial (Hc) da árvore (acima) e da massa específica a 12% de umidade (ME) (abaixo)..... 45

Figura 10– Valores medidos e reta da equação, quando significativa, para as resistências à compressão perpendicular (CPerp) (esquerda) e paralela (direita) às fibras da madeira de <i>Tetrorchidium rubrivenium</i> , em função da massa específica a 12% de umidade (ME).....	47
Figura 11– Valores medidos e retas das equações (quando significativas) para dureza nas faces radial (Rd), tangencial (Tg) e axial em função da massa específica a 12% de umidade, na madeira de <i>Tetrorchidium rubrivenium</i>	49
Figura 12– Valores medidos e ajuste das equações para o módulo de elasticidade (MOE) e o módulo de ruptura (MOR) em função da massa específica a 12% de umidade da madeira de <i>Tetrorchidium rubrivenium</i>	51
Figura 13– Valores medidos de trabalho absorvido (W) (acima), coeficiente de resiliência (K) (centro) e cota dinâmica (CD) e respectivos ajustes das equações (quando significativo) em função da massa específica a 12% de umidade (ME) da madeira de <i>Tetrorchidium rubrivenium</i>	53

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	14
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	16
	2.1 A espécie estudada.....	16
	2.2 Anatomia do lenho.....	18
	2.3 Propriedades físicas da madeira.....	20
	2.4 Propriedades mecânicas da madeira.....	23
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	26
	3.1 Obtenção do material.....	26
	3.2 Anatomia da madeira.....	28
	3.2.1 Confeção das lâminas.....	28
	3.2.2 Descrição do lenho.....	29
	3.3 Características Físicas.....	30
	3.3.1 Massa específica e teor de umidade verde.....	30
	3.3.2 Contração radial e tangencial.....	31
	3.4 Características mecânicas da madeira.....	32
	3.4.1 Cisalhamento.....	33
	3.4.2 Compressão paralela e perpendicular.....	34
	3.4.3 Dureza.....	34
	3.4.4 Flexão estática.....	34
	3.4.5 Resistência ao choque.....	35
	3.4.6 Análise estatística das características mecânicas.....	35
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	36
	4.1 Descrição da anatomia da madeira.....	36
	4.2 Características físicas da madeira.....	41
	4.2.1 Massa específica e teor de umidade verde.....	41
	4.2.2 Contração radial e tangencial.....	43
	4.3 Características mecânicas.....	46
	4.3.1 Cisalhamento.....	46
	4.3.2 Compressões perpendicular e paralela.....	46
	4.3.3 Dureza.....	48
	4.3.4 Flexão estática.....	50
	4.3.5 Resistência ao choque.....	52
5	CONCLUSÃO.....	55
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	56
7	APÊNDICE.....	62
	Apêndice A – Imagens da madeira de <i>Tetrorchidium rubrivenium</i> :.....	62

1 INTRODUÇÃO

A pressão antrópica é um dos fatores que mais influencia na redução da área de vegetação arbórea no país. Em 2002, a mata atlântica, por exemplo, já estava reduzida a 8 % de sua extensão original. Entretanto, de acordo com o Ministério do Meio Ambiente - MMA (2002), os biomas encontrados no Brasil ainda são os que abrigam uma das maiores diversidade de espécies florestais do mundo, ofertando os mais variados produtos.

Esse cenário também é verificado em grande parte das propriedades rurais, na qual a floresta ainda é vista como um empecilho para a expansão de áreas de produção agropastoril e consequente obtenção de renda. Isso porque, com a intenção principal de preservar a biodiversidade, muitos defendem que a floresta deve permanecer intocada, já que no passado, a exploração desordenada reduziu drasticamente a população de espécies florestais, como foi citado anteriormente.

A utilização de produtos oriundos da floresta como fonte de renda dos produtores pode mudar seu modo de pensar e agir sobre este ecossistema. Dentre estes produtos pode-se destacar a madeira, que é um dos que apresenta maior aplicabilidade. Além disso, trata-se de um material renovável que se reintegra ao ambiente, quando em apodrecimento, sem causar prejuízos ambientais (SOUZA et al, 1997). O conhecimento das características da madeira, aliado ao manejo sustentável podem acarretar em ganhos tanto ambientais, como financeiros em uma propriedade.

Melo et al. (2006) afirmam que cada espécie possui diferentes características, havendo a necessidade de analisar diferentes aspectos que podem afetar a qualidade de uso do material. Segundo Paes et al. (1995) e Gonçalves et al. (2009), a intensificação da exploração da madeira para uso tanto industrial como construtivo só pode ser indicado após o conhecimento das suas propriedades físicas e mecânicas. Além disso, a descrição das características anatômicas e o conhecimento do comportamento da madeira possuem relevância no âmbito de identificação de espécie, que auxilia na predição ou justificativa de possíveis comportamentos quando submetida a intempéries. Segundo Paes et al. (1995), somente assim é possível prognosticar o comportamento do material em diferentes

utilizações. Além disso, o conhecimento tende a gerar apreço e uso racional dos produtos oriundos da natureza, acarretando na redução da pressão sobre o ecossistema.

Uma espécie arbórea, ocorrente nas matas da região central do Rio Grande do Sul, que possui potencial de recuperar ambientes degradados (BACKES e IRGANG, 2004) e que pode apresentar aplicabilidade madeireira é o canemaçu (*Tetrorchidium rubrivenium* Poepp & Endl). Reitz et al. (1988) caracterizam sua madeira como leve a moderadamente pesada, com superfície ligeiramente áspera ao tato, possuindo coloração de branco-amarelada a amarelo-claro, sem gosto e cheiro distintos. Porém, as pesquisas que caracterizam as principais propriedades da madeira desta espécie são muito escassas e pouco precisas. Dessa forma, pesquisas científicas mais detalhadas e sob maior rigor técnico são necessárias para melhor caracterização anatômica e físico-mecânica desta espécie.

Este trabalho, portanto, tem objetivo de descrever a anatomia da madeira, estudar as características físicas e verificar sua variação ao longo da árvore e determinar as propriedades mecânicas da madeira de canemaçu, a fim de identificar possíveis usos do material.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A espécie estudada

Com mais de 7000 espécies e 300 gêneros, a família Euphorbiaceae é encontrada em maior concentração em regiões tropicais, especialmente sobre a América e a África. Dentre suas espécies são classificados árvores, arbustos, ervas e até lianas.

De acordo com Denardi (2007), estudos de filogenia apontaram a necessidade de reestruturação da família Euphorbiaceae, segregando a família em: Euphorbiaceae, Picodendraceae, Putranjivaceae.

O canemaçu (*Tetrorchidium rubrivenium* Poeppig & Endlicher) pertence à família Euphorbiaceae e subfamília Crotonoideae (WEBSTER, 1994). A espécie recebe diversos outros nomes populares, como Bauna, no estado do Espírito Santo; Peroba-d'água-amarela, no estado de São Paulo (MAINIERI; CHIMELO, 1989); Pau-branco, Embirão e Café-com-leite, no interior do estado do Rio Grande do Sul.

De acordo com Reitz et al. (1988), o canemaçu é uma árvore que alcança até 25 metros de altura e 80 centímetros de diâmetro, formando um fuste alto, com copa densa e folhagem verde-escura (Figura 1).

Poeppig (1845) relatou pela primeira vez a existência de *Tetrorchidium rubrivenium* no Peru, descrevendo-a e salientando sua maior ocorrência nas florestas do leste que no norte do país. Além de Poeppig, diversos outros autores também relataram a ocorrência desta espécie, em vários locais da América Latina. Müller (1874) publicou a existência da espécie no antigo Vice-Reino de Nova Granada, que hoje corresponde aos países da Colômbia, Panamá e Equador. Este autor também afirmou que a espécie era encontrada no Brasil, especialmente na região do Alto Amazonas. A ocorrência da espécie na Jamaica é citada por Fawcett e Rendle (1920), onde recebe nome popular de “*gum wood*” devido a substância viscosa que era obtida de seu tronco. Na Costa Rica, também há relatos da espécie, salientando a cor branca-amarelada da madeira (STANDLEY, 1937). IUCN (1982) registra a espécie na vegetação do Parque Nacional Yurubi, na região montanhosa

da Venezuela. Mais recentemente, Backes e Irgang (2004) afirmam que sua distribuição geográfica mundial concentra-se na América do Sul, ocorrendo do México até a Venezuela, no Peru e no Brasil.

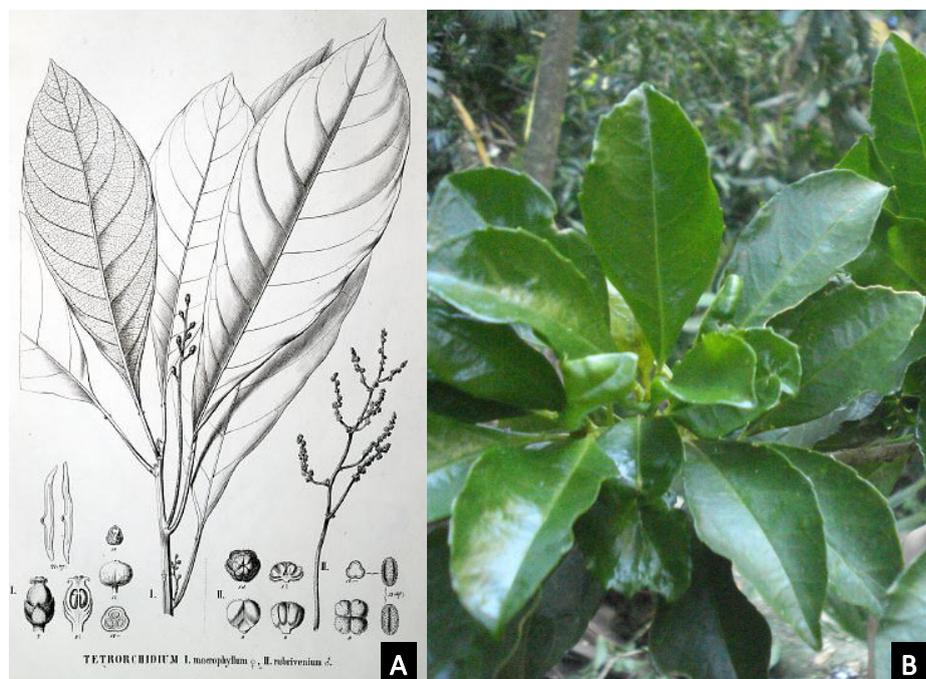


Figura 1 – Folhas de *Tetrochidium rubrivenium*. A – Prancha da espécie com detalhamento do material reprodutivo. Fonte: Flora brasiliensis. B – Folhas da espécie coletadas a campo. Fonte: Rosana Guma.

No Brasil, a ocorrência de *Tetrochidium rubrivenium* está compreendida desde a Amazônia até o Rio Grande do Sul (BACKES e IRGANG, 2004). Dentro do estado do Rio Grande do Sul, esta espécie é encontrada na região do Alto Uruguai, desde o Rio Ijuí até o Rio Uruguai (REITZ et al., 1988). Ruschel et al. (2005) relatam a presença de *Tetrochidium rubrivenium* no Parque do Turvo, localizado entre os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina em remanescentes da Floresta Estacional Decidual. Ruschel et al. (2007) contabilizaram três indivíduos por hectare no referido parque, indicando a madeira como de interesse comercial e fazendo parte do grupo sucessional das espécies oportunistas/clímax.

Grings e Brack (2009) mencionam também a existência da espécie no município de Nova Petrópolis, em áreas de Matas de Araucária e de Mata de Encosta. O canemaçu também foi identificado no município de Turvo (EMERICH,

2009). Este autor classifica a espécie como secundária inicial. Já Backes e Irgang (2004) informam que esta espécie pertence ao grupo sucessional das pioneiras rústicas.

Em Santa Catarina, Siminski (2009) ao estudar as formações florestais no Estado, cita a presença da espécie na Floresta Ombrófila Densa, observando que a maior parte dos indivíduos pertence ao estrato arbustivo, além de arvoretas e outros no estrato arbóreo pioneiro.

Reitz et al. (1988) descrevem que a espécie é mais encontrada em capoeiras e capoeirões possuindo, portanto, adaptação para desenvolvimento em locais expostos e com maior incidência de luz. Backes e Irgang (2004) também afirmam que o canemaçu possui bom desenvolvimento em vegetação secundária alterada, podendo ser uma boa alternativa para a recuperação desses ambientes. Dessa forma, a implantação desta espécie em áreas degradadas pode ser uma alternativa para proporcionar altos incrementos de biomassa, com potencial de retorno financeiro aos produtores, principalmente àqueles detentores de pequenas propriedades rurais.

2.2 Anatomia do lenho

As características anatômicas e as propriedades químicas e físicas são fatores diretamente relacionados com as propriedades da madeira (Haygreen e Bowyer, 1982). Isso porque, a madeira é constituída por conjunto de células que variam de uma espécie para outra, tanto na sua composição, quanto em arranjo e dimensões.

As células da madeira cumprem diferentes funções, tais como: sustentação, armazenamento e transporte de água e substâncias nutritivas na planta (BOTOSSO, 2011). De acordo com Santos (1987) estas diferenças na composição celular contribuem para a formação de diferentes propriedades nas espécies, tornando capaz a identificação, classificação e distinção de uma dentre as mais diversas espécies. Os estudos anatômicos geralmente empregados nesse tipo de

investigação são aqueles realizados em escala microscópica, pois possibilitam, por vezes, chegar a um grau de distinção ao nível de espécies (COSTA, 2001).

Botosso (2011) ressalta que para quem pretende designar o destino industrial da madeira, a anatomia é um elemento de total importância. O autor cita cinco objetivos principais do conhecimento destes caracteres: “a) conhecer a madeira, visando o seu emprego correto; b) identificar espécies; c) distinguir madeiras aparentemente idênticas; d) predizer utilizações adequadas de acordo com suas características estruturais; e) prever e compreender o seu comportamento no que diz respeito a sua utilização”.

Na madeira de folhosas, a anatomia é descrita observando-se principalmente os vasos e suas pontuações; fibras; parênquima axial; raios; e a presença de outros elementos como células oleaginosas ou cristais (BOTOSSO, 2011). Os vasos são constituídos de células alongadas sobrepostas que formam uma estrutura tubiforme que tem função de conduzir ascendentemente líquidos na árvore. Para que isso ocorra, a extremidade dos vasos possui perfurações, conhecidas como placas de perfuração. A presença desses elementos é a principal distinção entre coníferas (ginospermas) e folhosas (angiospermas). Além das placas de perfuração, os vasos possuem pontuações na sua parede para ligação com células vicinais.

Com a função principal de sustentação, as fibras são células alongadas, com a extremidade afilada e como dois tipos de pontuações que as classificam como fibrotraqueoides (pontuações areoladas e grandes – até 9 μm) e fibras libriformes (pontuações de até 4 μm) (BURGER e RICHTER, 1991; COSTA, 2001; BOTOSSO, 2011).

O parênquima axial é responsável por armazenar substâncias no lenho e se distingue em dois tipos: apotraqueal (não associados aos vasos) e paratraqueal (associado aos vasos). De acordo com Botosso (2011) o tipo e a distribuição do parênquima axial já são suficientes para distinguir, em diversos casos, a que família botânica a madeira pertence.

Outro conjunto de células importantes são os raios. Eles apresentam função de armazenar, transformar e conduzir substâncias nutritivas no lenho. Possuem ampla variação de morfologia que acarretam em detalhes eficazes para distinção de espécie. Além disso, são separados em dois tipos: raios homogêneos (único formato de células) e heterogêneos (BURGER e RICHTER, 1991; BOTOSSO, 2011).

Devido a esta ampla diversidade de hábitos vegetativos e por ter espécies distribuídas em diversos ambientes, existe uma ampla variabilidade nas características anatômicas da madeira das espécies da família Euphorbiaceae. De acordo com Mennega (1987) essa ampla variação dos caracteres anatômicos do lenho resulta na dificuldade de uma caracterização geral desta estrutura em nível de família. Apesar disso, Marchiori (2000) destaca as principais características anatômicas da madeira encontradas na família. Entre elas, podem-se citar placas de perfuração variando de escalariformes ou simples e as pontoações intervasculares de muito pequenas até grandes, parênquima axial por vezes aparecendo abundante e por vezes ausente, sendo tanto apotraqueal quanto paratraqueal, e fibras que também podem apresentar pontoações simples ou areoladas. Além dessas características, outra que ocorre em todas as espécies da família Euphorbiaceae é a presença de raios heterogêneos, que podem apresentar tubos laticíferos em determinadas espécies.

Mennega (1987) apresenta características anatômicas da madeira da subfamília Crotonoideae, à qual pertence o canemaçu. Segundo a autora, na subfamília as pontoações intervasculares e raio-vasculares são semelhantes e variam de médias até muito grandes, o parênquima axial é apotraqueal difuso ou em faixas, os raios são heterocelulares e por vezes fundidos, as fibras geralmente são largas de paredes finas e não septadas. Entretanto, diferindo das características gerais da família, a madeira das espécies desta subfamília não apresenta placas de perfuração escalariformes.

2.3 Propriedades físicas da madeira

A determinação das propriedades físico-mecânicas da madeira é de grande relevância, pois a partir destes estudos é possível obter as informações necessárias para descrever seu comportamento nos diversos usos possíveis (OLIVEIRA, 1998). Entre as principais propriedades da madeira, pode-se destacar a massa específica básica, que relaciona a composição química e o volume de matéria lenhosa por

peso e está relacionada praticamente a todas as suas propriedades tecnológicas. (DURLO, 1991).

Ela é um importante fator na determinação das propriedades que caracterizam diferentes espécies florestais, árvores de mesma espécie e até dentro da mesma árvore (FOELKEL et al., 1971). Reforçando este último ponto, podem ocorrer variações nos valores de massa específica básica da madeira até mesmo entre diferentes partes de uma mesma árvore. (FERREIRA e KAGEYAMA, 1978; BODIG e JAYNE, 1982; DENARDI, 2007).

Através da massa específica é possível quantificar o material lenhoso por unidade de volume. A massa específica depende da composição do lenho (espessura da parede das fibras e da quantidade de espaços vazios que os vasos e o parênquima ocupam), do teor de extrativos, da posição em que a amostra de madeira foi extraída (sentido medula – casca, base – topo) e das condições de crescimento do indivíduo florestal (FERREIRA e KAGEYAMA, 1978; TOMAZELLO FILHO, 1985; BURGER e RICHTER, 1991; DENARDI, 2007; KRETSCHMANN, 2010).

De forma geral, as madeiras de baixa massa específica, apresentam paredes de fibras finas e parênquima axial e radial não abundantes, são de mais fácil trabalhabilidade e possuem menor variabilidade.

Moreschi (2010) afirma que geralmente as madeiras mais resistentes, elásticas e duras são as mais pesadas (de alta massa específica). Além disso, a variabilidade da maior parte das propriedades mecânicas da madeira pode ser estimada com base na variação da sua densidade (PANSHIN e DE ZEEUW, 1980 apud LOBÃO et al., 2004). Segundo estes autores, isso pode ser explicado porque as propriedades de resistência à flexão estática e o seu módulo de elasticidade estão correlacionados com a densidade, a qual, por sua vez, também está correlacionada com as dimensões das células. Entretanto, para viabilizar a comparação das massas específicas de diferentes amostras é necessário levar em consideração o teor de umidade da madeira no momento da avaliação. Os teores de umidade mais utilizados nesta avaliação são de 0, 12 e 15%.

A interação da madeira com o ambiente é responsável por alterações nas suas dimensões. A retratibilidade é a movimentação da madeira em decorrência da alteração do teor de umidade. Essas variações passam a ocorrer quando há perda ou ganho de umidade abaixo do ponto de saturação das fibras (PSF), que se dá à

umidade entre 28 e 30 %. Isso porque o volume da parede das células depende da quantidade de água ligada a ela.

Por isso, o material também deve ser testado quanto sua capacidade de retratibilidade, pois esta indica as variações dimensionais que a madeira sofre com a troca de umidade com o ambiente onde se encontra.

A variação das dimensões da madeira pode ser no sentido radial, quando ocorre entre os anéis de crescimento, ou tangencial, quando ocorre praticamente paralela aos anéis de crescimento. Longitudinalmente, a variação é muito pequena (SCANAVACA JR. e GARCIA, 2004; KRETSCHMANN, 2010), pois a maioria dos seus elementos estruturais é organizada verticalmente, o que faz com que o número de paredes em determinada área seja muito menor neste sentido.

Markwardt e Wilson (1935) também afirmam que a contração da madeira resulta de perda da umidade absorvida e pode ser afetado por diversas variáveis. De forma geral, uma maior contração está associada com uma maior densidade do material.

A contração radial combinada com a contração tangencial pode acarretar na distorção da peça de madeira devido à diferença de contração nas duas direções. Para conhecer essa relação é calculado o coeficiente de anisotropia, que é a razão entre as contrações tangencial e radial. Quanto mais próximo este valor for de 1,0, menor será a propensão da madeira à ocorrência de defeitos e, portanto, melhor é a espécie para a utilização em projetos de marcenaria (SCANAVACA JR. e GARCIA, 2004).

Segundo Durlo e Marchiori (1992), as variações que ocorrem na madeira não são desejáveis, já que podem vir a limitar sua utilização para diversas finalidades. Keinert et al (1992) também salientam a possível limitação do uso da madeira para diversos segmentos industriais, quando as variações das dimensões do material apresentam-se elevadas.

Por isso, Kretschmann (2010) ressalta a importância de considerar a estabilidade dimensional da madeira, visando sua aplicação correta e evitar danos aos produtos dela oriundos.

Em função do relatado acima, o conhecimento do teor de umidade da madeira é fundamental. A variação no teor de umidade da madeira pode acarretar em variações nas suas propriedades mecânicas, além das diferenças no seu volume, anteriormente relatadas. Essa variação ocorre de forma distinta para cada sentido

anatômico da madeira e, por esse motivo, ela é considerada um material anisotrópico. Como exemplo pontual de teor de umidade, temos o teor de umidade da madeira verde, que é aquele obtido da madeira recém cortada, que pode variar de 30% a mais de 200%. Isso porque a madeira, nessas condições, além da água no lúmen, possui as paredes celulares completamente saturadas de água (KRETSCHMANN, 2010).

2.4 Propriedades mecânicas da madeira

A madeira é considerada um material que responde diferentemente em cada uma das suas direções. Isso acarreta em propriedades mecânicas independentes nos sentidos radial, tangencial e longitudinal. Perpendicular às fibras da madeira, tem-se os sentidos radial e tangencial, sendo que este último é tangente aos anéis de crescimento. Paralelo às fibras, tem-se o sentido longitudinal (KRETSCHMANN, 2010).

As propriedades mecânicas da madeira são ligadas a responder o quanto estas podem suportar quando submetida a forças externas. Os resultados obtidos com essas avaliações são de suma importância para a adaptação de uso de cada espécie, gerando segurança e economia na utilização de seus produtos. Entre as principais propriedades mecânicas da madeira podemos citar a flexão estática, a resistência ao choque, a dureza, a compressão e o cisalhamento.

A madeira possui a capacidade de voltar a sua forma original após a aplicação de determinada carga. Moreschi (2010) caracteriza esta propriedade como elasticidade. A elasticidade ocorre quando as deformações produzidas por um determinado esforço são totalmente recuperáveis após a remoção da carga. Entretanto, quando o limite de carga é superado, as deformações na madeira serão plásticas, ou seja, irreversíveis e com conseqüente ruptura (KRETSCHMANN, 2010). Para descrever tais propriedades da madeira, podem ser calculados o Módulo de elasticidade (MOE) e o Módulo de Ruptura (MOR) através de ensaios de flexão estática. Este ensaio consiste em alocar o corpo de prova sobre dois apoios e, na metade dele, aplicar carga mensurando sua deformação até a ruptura (MORESCHI,

2010). A partir destes parâmetros é possível conhecer a resistência do material quando submetido a uma força em sentido perpendicular ao eixo longitudinal das fibras da madeira (SCANAVACA JR. e GARCIA, 2004).

A resistência ao choque é a capacidade de madeira para absorver o impacto que provoca tensões para além do limite proporcional. Essa capacidade é de grande relevância na obtenção de produtos oriundos da madeira, especialmente quando a finalidade prática deste estiver ligada diretamente com o impacto, como cabos de ferramentas, na construção de escadas, carrocerias e também certos artigos esportivos (KRETSCHMANN, 2010; MORESCHI, 2010).

Beltrame et al. (2012) salienta que a forma e as dimensões do corpo de prova, a temperatura, o ângulo das fibras e as propriedades físicas e anatômicas da madeira podem influenciar na capacidade da espécie em resistir ao choque. A partir do teste, determina-se o coeficiente de resiliência que corresponde à resistência que o material apresenta quando submetido a uma força de impacto súbito. De forma geral, a força que a madeira consegue absorver num impacto é superior àquela aplicada de forma constante e vagarosa (MARTINS, 2010). Para comparações entre diferentes madeiras, utiliza-se a cota dinâmica, pois esta considera as diferentes massas específicas que as espécies possuem, eliminando o efeito desta variável sobre os resultados (MORESCHI, 2010).

A dureza é geralmente definida como a resistência à penetração de outro material sólido quando este lhe aplica uma carga. Na prática, é calculada a partir da carga requerida para incorporar uma esfera de tamanho padrão em suas faces (TOMASELLI e BINDER, 1981). De acordo com Martins (2010), a dureza está relacionada com a capacidade do material resistir à riscos, principalmente quando utilizado em assoalhos, e também à facilidade de realizar trabalho nas peças, com a utilização de ferramentas.

A compressão paralela é avaliada com a aplicação de uma carga, com velocidade controlada, exercendo pressão no sentido das fibras até que ocorra a ruptura do corpo-de-prova (MORESCHI, 2010). Já a compressão perpendicular é utilizada para avaliar a madeira para utilização mais específica, como na construção civil ou carpintaria, simulando a carga que o material é submetido durante o uso. No teste, não há ruptura da madeira e sim a tensão no limite proporcional, podendo ser calculado também o módulo de elasticidade (MARTINS, 2010).

A capacidade da madeira de resistir ao deslizamento de uma parte interna sobre a outra, ao longo das fibras, pode ser obtida pelo teste de cisalhamento. Neste teste ocorre a aplicação de uma carga em uma área específica da madeira, que resistirá até a sua ruptura. A tensão máxima de cisalhamento é o esforço suportado pelo um material antes da ruptura (KRETSCHMANN, 2010).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Obtenção do material

A madeira utilizada para a realização deste trabalho foi obtida de cinco árvores de *Tetrorchidium rubrivenium*, retiradas de um povoamento florestal natural localizado no município de Vale do Sol, Rio Grande do Sul, coordenadas 29° 36' 14" S e 52° 40' 58" O. Antes do abate das árvores, foi encaminhado a licença ambiental para a realização do trabalho, conforme legislação vigente. Além disso, foi coletado material botânico para exame no Herbário Florestal da Universidade Federal de Santa Maria com vista à identificação correta da espécie.

O corte das árvores foi realizado em junho de 2012, imediatamente após a liberação do licenciamento ambiental. Para cada árvore cortada foi determinada a altura comercial (Hc), baseada no diâmetro mínimo de 12 cm, e o diâmetro à altura do peito (DAP), que é medida a 1,3 m de altura (Tabela 1). Foram obtidos de discos de 8,0 cm de espessura a partir da base do tronco (aproximadamente 0,1 m de altura), DAP e a 25, 50, 75 e 100 % da Hc, conforme esquema apresentado na figura 2.

Tabela 1 – Altura comercial (Hc) e diâmetro à altura do peito (DAP) das árvores de *Tetrorchidium rubrivenium* utilizadas no estudo.

Árvore	Hc (m)	DAP (cm)
1	19,5	64,0
2	15,0	49,0
3	16,6	60,0
4	19,0	65,0
5	14,7	48,0

De cada disco foram confeccionados corpos de prova para a determinação da massa específica verde (ME verde) e massa específica básica (ME básica) e contração radial (β Rd) e tangencial (β Tg). A partir do disco do DAP também foram extraídas amostras para a análise das características anatômicas da madeira.

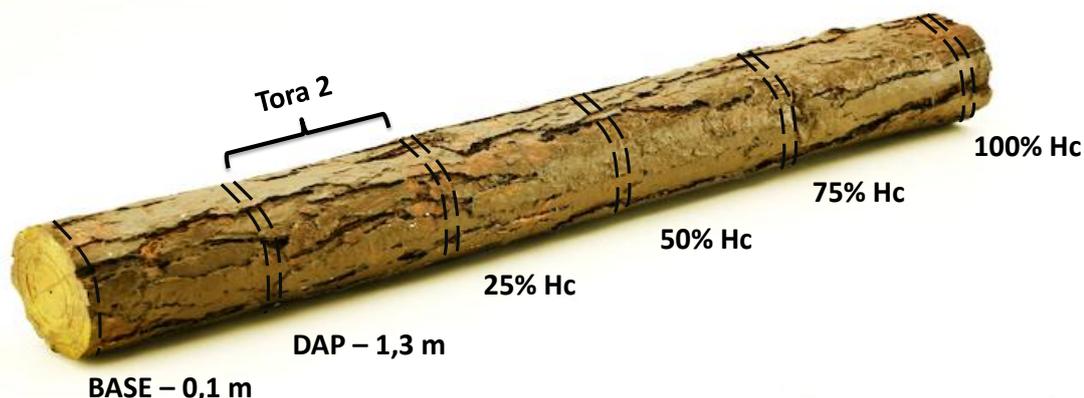


Figura 2 – Esquema de delimitação dos cortes da madeira de *Tetrarchidium rubrivenium* para posterior confecção dos corpos de prova.

Os corpos de prova para os ensaios mecânicos foram retirados da segunda tora, que corresponde à madeira situada entre o DAP e a 25% de Hc. Esta tora foi processada para obtenção de um pranchão central, de 8,0 cm de espessura, contendo a medula, para que fosse possível a confecção dos corpos de prova de orientação tanto radial quanto tangencial. Os corpos de prova para cada ensaio foram cortados do pranchão na seguinte ordem: flexão estática, compressão paralela (CParal), compressão perpendicular (CPerp), cisalhamento, dureza e resistência ao choque, de acordo as dimensões expostas na Tabela 2.

Tabela 2 – Propriedades analisadas, origem e dimensões dos corpos de prova e velocidade dos ensaios para caracterização da madeira de *Tetrarchidium rubrivenium*.

	Propriedade	Corpos de prova		Velocidade do ensaio (mm/min)
		Origem	Dimensão (cm)	
Físicas	Análise anatômica		1,5 x 1,5 x 2,0	-
	Massa específica	Discos	cunhas	-
	Contração		2,5 x 2,5 x 10,0	-
Mecânicas	Cisalhamento		5,0 x 5,0 x 6,3	0,6
	Compressão paralela		5,0 x 5,0 x 20,0	0,6
	Compressão perpendicular	Pranchão central	5,0 x 5,0 x 15,0	0,3
	Dureza		5,0 x 5,0 x 15,0	6
	Flexão estática		5,0 x 5,0 x 76,0	1,3
	Resistência ao choque		2,0 x 2,0 x 30,0	-

3.2 Anatomia da madeira

3.2.1 Confeção das lâminas

De um dos discos do DAP foram seccionados, da parte mais próxima da casca, três corpos de prova de madeira com dimensão de 1,5 x 2,0 x 2,0 cm que serviram de material para confecção das lâminas histológicas. A partir da visualização da superfície da madeira de cada bloco, auxiliado por lupa, foi verificado o posicionamento dos raios na face transversal, visando obter um bloco perfeitamente orientados para cada plano anatômico da madeira: transversal (X), longitudinal radial (R) e longitudinal tangencial (T).

Para confeccionar as lâminas histológicas, os blocos de madeira foram imersos em um Becker com água e colocados sobre uma chapa aquecedora à aproximadamente 120°C. Após 9 horas de fervura, os blocos foram seccionados em micrótomo, regulado para cortar a madeira com 20 µm de espessura. Os cortes retirados foram acondicionadas em água, para posterior coloração por imersão em solução contendo 70% de Azul de Astra e 30% de Safranina. A solução corante permaneceu em contato com o material durante 15 minutos, retirando-se então o excesso com água destilada (Figura 3).

Posteriormente, com vistas à retirada da água dos cortes, o material foi imerso sucessivamente numa série alcoólica contendo teores crescentes de álcool diluído em água destilada (30%, 50%, 70% e 90%) e duas vezes em álcool absoluto. Por fim, os cortes de madeira foram imersas em xilol. Esta última etapa chamada de diafanização serve para tornar a madeira semi-transparente.

Para a montagem das lâminas permanentes, colocou-se *Entellan* sobre a lâmina de vidro, para então acomodar os cortes de madeira orientados nos três planos anatômicos da madeira: transversal (X), longitudinal radial (R) e longitudinal tangencial (T), respectivamente. Em seguida, colocou-se lentamente as lamínulas sobre os cortes a fim de evitar o aparecimento de bolhas de ar.

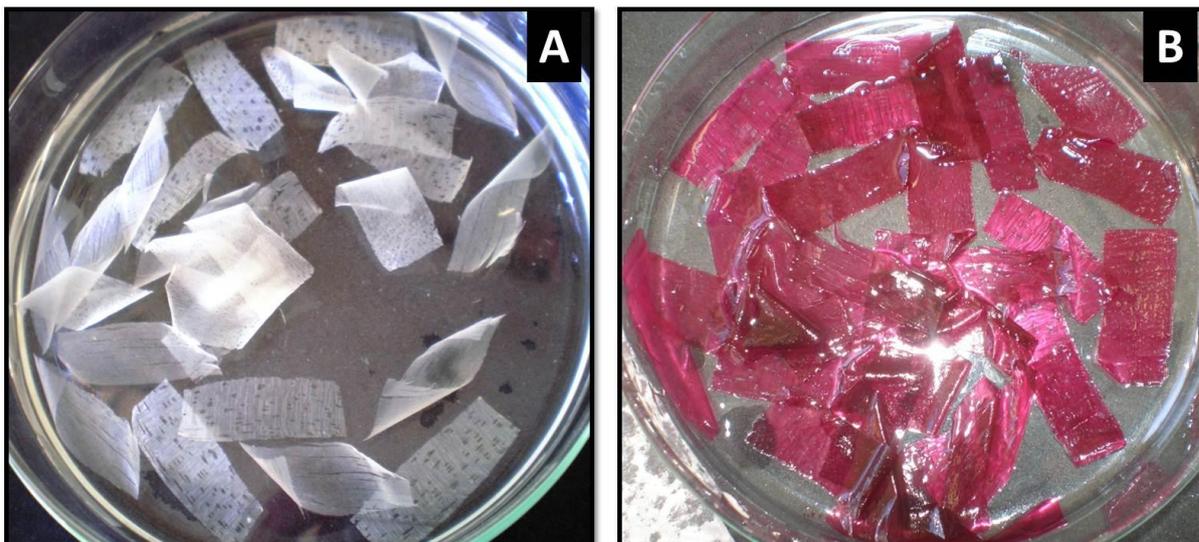


Figura 3 – Cortes histológicos da madeira de *Tetrorchidium rubrivenium*, antes (A) e depois (B) do processo de coloração.

As lâminas de macerado, para quantificação das fibras da madeira, foram confeccionadas separadamente, seguindo o Método Ácido Nítrico-Acético descrito por Barrichelo e Foelkel (1983). Neste processo, utilizando um estilete, a madeira foi cortada em pequenos palitos, que foram então dissociados em solução macerante. Para tal, colocou-se os palitos de madeira em banho-maria durante duas horas na solução macerante, composta por cinco partes de ácido acético e uma de ácido nítrico. Esta solução foi diluída em água destilada na proporção 2:1, respectivamente. O material foi então separado da solução macerante utilizando papel filtro, para posterior tingimento, ainda úmido, com solução de safranina 1%. Para a confecção das lâminas foi necessário desidratar o material com álcool comum e na sequência com álcool absoluto. A diafanização e a montagem das lâminas foram feitas seguindo um procedimento semelhante ao das lâminas histológicas.

3.2.2 Descrição do lenho

Após a secagem das lâminas por 72 horas, foram realizadas as avaliações qualitativas e quantitativas de cada corte das lâminas e das lâminas de macerado, em microscópio óptico e de acordo com as instruções oficiais do International

Association of Wood Anatomists (IAWA, 1989). Os resultados são apresentados conforme indicado na norma acima citada, sendo que cada parâmetro segue a seguinte apresentação dos dados: *Média ± Desvio Padrão (Limite inferior – Limite superior)*. Para a quantificação das frações de tecido do lenho foi utilizada metodologia descrita por Marchiori (1980).

3.3 Características Físicas

3.3.1 Massa específica e teor de umidade verde

Os discos de madeira obtidos nas seis diferentes posições de cada árvore: 0, 25, 50, 75 e 100% da HC, e no DAP (correspondente a aproximadamente 7,5% da Hc), ainda verdes, foram seccionados em cunhas opostas. Essas cunhas foram pesadas, para determinação da massa verde (em gramas), e submetidas ao método gravimétrico, para determinação do volume verde (cm³), conforme metodologia proposta por Vital (1984). Com esses dados foi calculada a massa específica verde (ME verde – g/cm³), conforme equação 1, que relaciona a massa verde com o volume verde da amostra.

$$ME_{verde} = \frac{Massa\ verde}{Volume\ verde} \quad (1)$$

O cálculo da massa específica básica (ME básica) seguiu a mesma lógica da equação 1, alterando-se apenas a massa do material, que ao invés de verde, foi aquela determinada quando o material estava seco (aproximadamente 0% de umidade). A massa dos corpos de prova secos deu-se após secagem das amostras em estufa a 103°C até atingir peso constante.

A partir do peso dos corpos de prova secos (P seco) e seus respectivos pesos quando a madeira estava verde (P verde), foi calculado o teor de umidade da madeira verde (TU verde), conforme equação 2. Para tal, foram utilizados 62 corpos de prova.

$$TU_{verde} = \frac{P_{verde} - P_{seco}}{P_{seco}} \times 100 \quad (2)$$

Para realização das análises estatísticas calculou-se a média, o desvio padrão, o coeficiente de variação e o intervalo de confiança ao conjunto de dados de cada variável (ME verde, ME básica e TU verde). Posteriormente, os resultados foram avaliados por análise de regressão simples, verificando-se o efeito da altura comercial das árvores sobre as massas específicas (ME verde e ME básica) e o TU verde da madeira. Quando significativos a 5% de probabilidade, os modelos foram selecionados com base na sua significância e dos coeficientes na equação de regressão, no coeficiente de determinação e no menor valor do erro-padrão da estimativa.

3.3.2 Contração radial e tangencial

A partir dos discos coletados nas seis diferentes posições do tronco, com a madeira saturada, foram confeccionados corpos de prova de 2,5 x 2,5 x 10,0 cm, sendo a maior medida no sentido radial ou sentido tangencial. Sempre que possível, foi retirado um corpo de prova próximo à medula, um no centro e um próximo à casca.

Os corpos de prova, ainda verdes, foram medidos nos sentidos radial, tangencial e longitudinal e pesados, e então acondicionados em câmara climatizada com 65% de umidade e temperatura de 20°C. Nessas condições, a madeira atinge 12% de umidade, aproximadamente. Foram realizadas mais duas etapas de medições e pesagem das amostras, conforme norma D143-94 da American Society for Testing and Materials (ASTM, 2000). A primeira foi feita quando os corpos de prova estavam com 12% de umidade e a segunda quando estavam com 0%, após secagem em estufa a 103°C. Calculou-se também a massa específica a 12% de umidade (ME 12%) desses corpos de prova, seguindo o mesmo princípio da equação 1.

A contração da madeira foi calculada pela relação entre a dimensão úmida e a dimensão seca em estufa para as direções radial (Rd) e tangencial (Tg), conforme equação 3.

$$\beta = \frac{D_u - D_o}{D_u} \times 100 \quad (3)$$

Sendo: β = Contração (%); D_u = dimensão úmida (cm); D_o = dimensão seca (cm).

Com os valores da contração tangencial (β_{Tg}) e da contração radial (β_{Rd}) foi determinado o coeficiente de anisotropia (Ca), conforme equação 4.

$$Ca = \frac{\beta_{Tg}}{\beta_{Rd}} \quad (4)$$

Calculou-se a média, o desvio padrão, o coeficiente de variação e o intervalo de confiança ao conjunto de dados de cada variável (β radial, β tangencial e Ca). Posteriormente, os resultados foram avaliados por análise de regressão simples, verificando-se o efeito da altura comercial das árvores ou da ME12% sobre cada uma das direções da contração da madeira. Quando significativos a 5% de probabilidade, os modelos foram selecionados com base na significância do modelo e dos coeficientes na equação de regressão, no coeficiente de determinação e no menor valor do erro-padrão da estimativa.

3.4 Características mecânicas da madeira

As características mecânicas da madeira de canemaçu foram determinadas com os ensaios de cisalhamento (Figura 4A), compressão paralela, compressão perpendicular (Figura 4B), flexão estática (Figura 4C), dureza de Janka (Figura 4D) e resistência ao choque.

Após a confecção dos corpos de prova para cada um desses ensaios, conforme descrição na Tabela 2, o material foi acondicionado em câmara climatizada com 65% de umidade relativa e 20°C de temperatura, até apresentarem peso constante. Todos os corpos de prova foram então pesados e medidos para a obtenção da massa específica a 12% de umidade (ME 12%) de cada peça, que é calculada seguindo o mesmo princípio da equação 1.

Para a realização dos testes, adotou-se metodologia descrita pela norma D143-94 da American Society For Testing And Materials (ASTM, 2000). O ensaio de resistência ao choque foi conduzido em Pêndulo de Charpy e os demais foram feitos em Máquina Universal de Ensaio, no Laboratório de Produtos Florestais da Universidade Federal de Santa Maria (Figura 4).

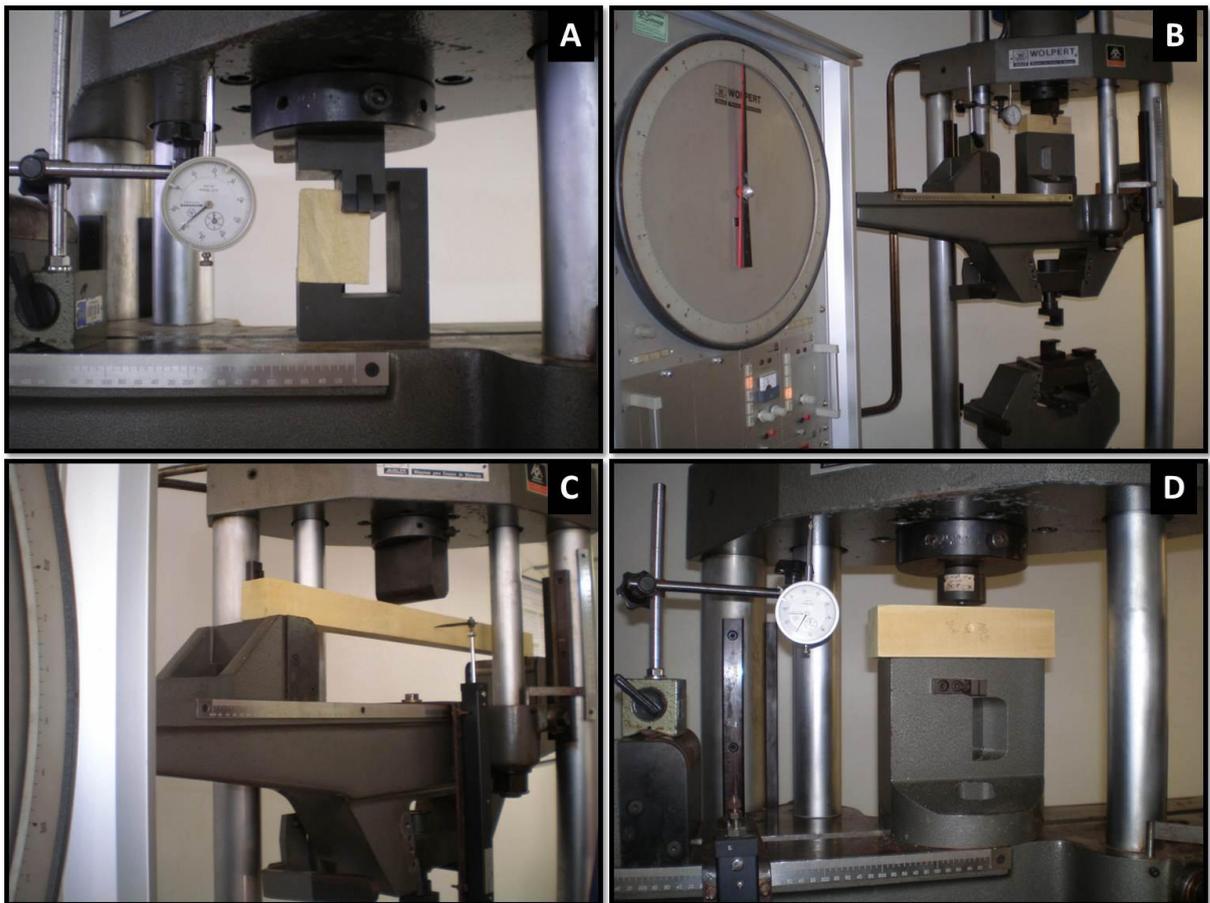


Figura 4 – Madeira de *Tetrochidium rubrivenium* sendo submetida a diferentes testes mecânicos: cisalhamento (A), compressão perpendicular (B), flexão estática (C) e dureza (D).

3.4.1 Cisalhamento

O valor do cisalhamento foi obtido pela relação entre a carga máxima que o corpo de prova suportou e a área em que esta foi aplicada, descrito na equação 5.

$$\sigma = \frac{P_{m\acute{a}x}}{b \times h} \quad (5)$$

Sendo: σ = cisalhamento (kg/cm²); P m^áx = carga m^áxima que a pea de madeira resistiu (kg); b x h: dimens^ão da \acute{a} rea de aplica^ão da carga (cm).

3.4.2 Compress^ão paralela e perpendicular \grave{a} gr^ã

Os corpos de prova foram submetidos a esforo no sentido paralelo e no sentido perpendicular \grave{a} s fibras (Figura 4B). A carga m^áxima suportada foi dividida pela \acute{a} rea de aplica^ão, obtendo-se a tens^ão no limite proporcional da madeira \grave{a} compress^ão paralela e perpendicular \grave{a} gr^ã.

3.4.3 Dureza

Atrav^{és} do teste de dureza de Janka determinou-se o esforo (kg/cm²) da penetra^ão de um esfera de 1 cm² na madeira de canemau. Foram feitas seis penetra^ões em cada corpo de prova, sendo duas em cada face: radial, tangencial e axial (nos topos). Para a an^{ál}ise dos dados foi utilizada a m^édia de cada face.

3.4.4 Flex^ão est^ática

No teste de flex^ão est^ática, cada corpo de prova, apoiado nas extremidades (Figura 4C) foi submetido a aplica^ão de carga cont^{ín}ua at^é sua ruptura. Os valores do M^ódulo de Ruptura (MOR) e do M^ódulo de Elasticidade (MOE) foram obtidos conforme equa^ões 6 e 7, respectivamente.

$$MOR = \frac{3}{2} \frac{P_{m\acute{a}x} \times L}{b \times h^2} \quad (6)$$

Sendo: P^{má}x = carga m^áxima aplicada; L = dist^ância entre o apoio e o ponto de aplica^ão da carga; b e h = dimens^ões do corpo de prova no local de aplica^ão da carga.

$$MOE = \frac{1}{4} \left(\frac{L^3}{b \times h^3} \right) \times \left(\frac{\Delta P}{\Delta L} \right) \quad (7)$$

Sendo: ΔP = variação da carga aplicada; e ΔL = variação no deslocamento aplicado.

3.4.5 Resistência ao choque

A resistência da madeira do canemaçu ao choque foi avaliada através do trabalho necessário pelo pêndulo de Charpy para quebrar os corpos de prova, dado pela equação 8. A cota dinâmica foi calculada com a relação entre K e a massa específica básica da madeira de cada corpo de prova.

$$K = \frac{W}{b \times h} \quad (8)$$

Sendo: K = resistência ao choque (kgm/cm²); e W = trabalho absorvido para romper o corpo de prova.

3.4.6 Análise estatística das características mecânicas

Para cada teste mecânico, o conjunto de dados foi submetido à análise estatística, calculando-se a média, o desvio padrão, o coeficiente de variação e o intervalo de confiança. Cada característica mecânica foi relacionada com a ME 12% dos respectivos corpos de prova, realizando-se uma regressão simples para verificação do modelo com melhor ajuste aos dados, baseando-se na significância do modelo (quando significativo a 5% de probabilidade) e dos coeficientes na equação de regressão, no coeficiente de determinação e no valor do erro-padrão da estimativa.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Descrição da anatomia da madeira

A madeira desta espécie apresenta anéis de crescimento indistintos. O tecido lenhoso de *Tetrorchidium rubrivenium* é constituído principalmente por fibras e raios, correspondendo respectivamente a 45 e 33% do total. Os 22% restantes estão divididos, em números redondos, igualmente e entre os vasos e o parênquima axial (Figura 5).

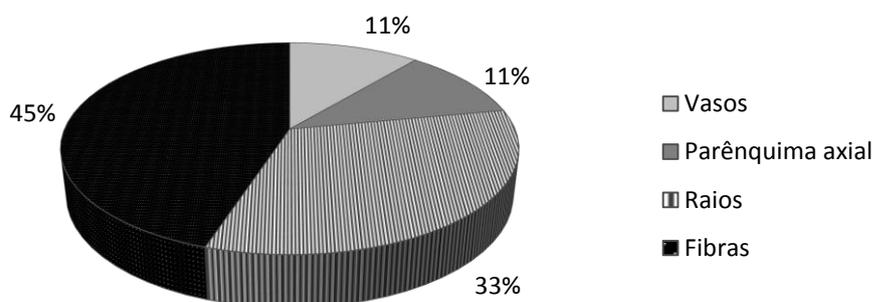


Figura 5 – Percentagem dos diferentes tipos celulares no lenho de *Tetrorchidium rubrivenium*.

Vasos: De seção arredondada até oval, os poros medem $133 \pm 34,19$ (88 – 223) μm de diâmetro (Tabela 3), em distribuição difusa e arranjo radial. Agrupamento variando de solitários e múltiplos radiais, por vezes, dispostos em múltiplos racemiformes, e com frequência de $7,5 \pm 3$ (4 – 12) vasos/ mm^2 . Elementos vasculares de 1043 ± 295 (1600 – 450) μm de comprimento, providos de apêndices em ambas ou apenas em uma das extremidades, placas de perfuração simples e oblíquas. Espessamentos helicoidais, tiloses e depósitos, ausentes. Pontoações intervasculares alternas, arredondadas a poligonais, com $15 \pm 2,5$ (13 – 20) μm de diâmetro; possuem aberturas lenticulares inclusas, horizontais, frequentemente cruzadas em forma de “x” no par. Pontoações parênquima-vasculares e raio-vasculares semelhantes entre si, em tamanho e forma; são arredondadas até

elípticas, com aberturas lenticulares inclusas ou com bordas muito reduzidas, parecendo simples.

Parênquima Axial: Apotraqueal difuso, menos frequentemente paratraqueal escasso. Contrastam-se com as fibras, em plano transversal, principalmente pela menor espessura de sua parede. As séries parenquimáticas, em geral formadas por 3 – 7 células, medem $978 \pm 256,6$ (500 – 1440) μm de altura por $42 \pm 12,5$ (25 – 80) μm de largura.

Raios: Heterogêneos, reunindo células procumbentes, quadradas e eretas, com frequência de $11 \pm 1,6$ (8 – 13) raios/mm. Os raios unisseriados, que correspondem a 50% do tecido radial, são compostos normalmente por células somente eretas, ou quadradas e eretas. Os multisseriados, predominantemente bisseriados (45%), seguidos por trisseriados (4,7%) e tetrasseriados (0,33%), são constituídos por células procumbentes ao centro, e nas extremidades fileiras com 1 a 4 células quadradas e/ou eretas. Raios fusionados frequentes. Células envolventes, raras.

Fibras: Do tipo fibrotraqueóides, não-septadas. São fibras curtas ($1476 \pm 403,22$ (770 – 2520) μm), com paredes predominantemente delgadas a espessas. Pontoações areoladas arredondadas, com aberturas em fenda vertical exclusiva, presentes na face radial e extremamente raras ou ausentes na face tangencial da parede. Espessamentos helicoidais, bem como fibras gelatinosas, traqueóides vasculares e traqueóides vasicêntricos, ausentes.

Outros caracteres: Máculas medulares, cistos glandulares e trabéculas, ausentes.

A madeira de *Tetrorchidium rubrinevium* não apresentou distinção de camadas de crescimento, diferindo de outras espécies da mesma família como *Sapium glaudulsom*, *Sebastiana commersoniana* e *Gymnanthes concolor* Spreng. (MARCHIORI et al., 2011). Entretanto, esta ausência é diagnosticada em outras espécies da mesma família, como *Joannesia princeps* e *Hieronyma alchorneoides*. Isso pode ser explicado pela ampla variabilidade anatômica dentro da família (MARCHIORI, 2000). *Joannesia princeps* também apresenta outras características similares ao canemaçu, como parênquima axial predominantemente apotraqueal

(MAINIERI; CHIMELO, 1989), que também é descrito pelos autores em *Alchornea triplinervia*. A presença deste tipo de parênquima no lenho de canemaçu está de acordo com o referido para a subfamília Crotonoideae por Mennega (1987).

Outra característica marcante na subfamília é a presença de fibras não septadas de paredes geralmente finas (MENNEGA, 1987), comportamento este verificado no lenho da espécie em estudo, concordando com a descrição de Mainieri e Chimelo (1989) para o canemaçu. Quanto ao comprimento das fibras, Marchiori et al. (2010) traz as mesmas características ao descrever *Sapium glandulosum*.

Tabela 3 – Características do lenho de *Tetrorchidium rubrivenium*.

CARACTERES ANATÔMICOS	N	MÍN	MÉDIA	MÁX	CV (%)
Fração de vasos (%)	6	10	11,3	12	-
Frequência de vasos (vasos/mm ²)	10	4	8	12	37,3
Diâmetro do lume de vasos (µm)	40	88	133	223	25,7
Comprimento de elementos vasculares (µm)	25	450	1043	1600	28,2
Fração de raios (%)	6	31	33,3	36	-
Frequência de raios (raios/mm)	10	8	11	13	14,5
Altura de raios unisseriados (µm)	25	210	527	1070	4,3
Largura de raios unisseriados (µm)	25	25	33	43	16,4
Altura de raios multisseriados (µm)	25	490	726	1090	31,3
Largura de raios multisseriados (µm)	25	30	59	110	44,2
Fração de fibras (%)	6	42	44,8	46	-
Espessura da parede (µm)	10	3	5	6	23,0
Comprimento de fibras (µm)	25	770	1476	2520	27,3

Sendo: N o número de observações; MÍN o valor mínimo encontrado; MÉD a média dos valores; MÁX o valor máximo encontrado; e CV o coeficiente de variação.

Os raios, em sua maioria, heterogêneos e fusionados demonstram o mesmo comportamento descrito para a família (MARCHIORI, 2000) e para a subfamília (MENNEGA, 1987), e o relatado por Denardi (2007) em *Sebastiania schottiana*, contendo células eretas e quadradas. O canemaçu apresentou 50% dos raios unisseriados e 45% bisseriados, divergindo de Mainieri e Chimelo (1989), que apontam ser raríssimos os raios bisseriados na espécie. Entretanto, no que diz respeito à frequência de raios, os valores são semelhantes. Os autores indicam a

frequência de raios igual para *Chaetocarpus* sp., outra espécie da família. A mesma frequência de raios é descrita por Marchiori et al. (2010) em *Sapium glaudulsom*, sendo ausente a presença de raios fusionados.

Os valores de diâmetro de vasos da espécie ficam próximos dos citados para *Alchornea triplinervia*, que variam de 120 a 200 μm , podendo chegar a 250 μm . Chavarri et al. (2006), descrevendo oito espécies da mesma família, Euphorbiaceae, relatam grande variação na frequência de raios entre gêneros e também dentro de um mesmo gênero. As espécies *Drypetes variabilis* e *Hieronyma alchorneoides* apresentaram frequência de vasos semelhantes ao canemaçu. Todas as espécies estudadas pelos autores apresentaram predomínio de porosidade difusa, assim como o ocorrido com a espécie em estudo. Cosmo et al. (2010), estudando o xilema de *Sebastiania commersoniana* (Euphorbiaceae) constatou comprimentos de vasos menores que no canemaçu, tendo como valor médio 602 μm e podendo atingir até 1025 μm . Apesar disso, o comportamento mostrou-se próximo, sendo que a maior parte dos vasos é do tipo solitário, ocorrendo múltiplos com arranjo radial. A frequência de vasos para o canemaçu, descrita por Mainieri e Chimelo (1989), chegou a até 20 vasos/ mm^2 , valor superior ao encontrado no presente estudo, que foi de 12, enquanto os valores de diâmetro de lúmen foram semelhantes.

As placas de perfuração são predominantemente simples, o que ocorre também em outras espécies da família, como *Alchornea triplinervia*, *Pachystroma illicifolium*, *Hieronyma alchorneoides* e *Joannesia princeps* (MAINIERI; CHIMELO, 1989). Isso concorda com a caracterização de Mennega (1987) e com a descrição de Chavarri et al. (2006) nas espécies por eles estudadas.

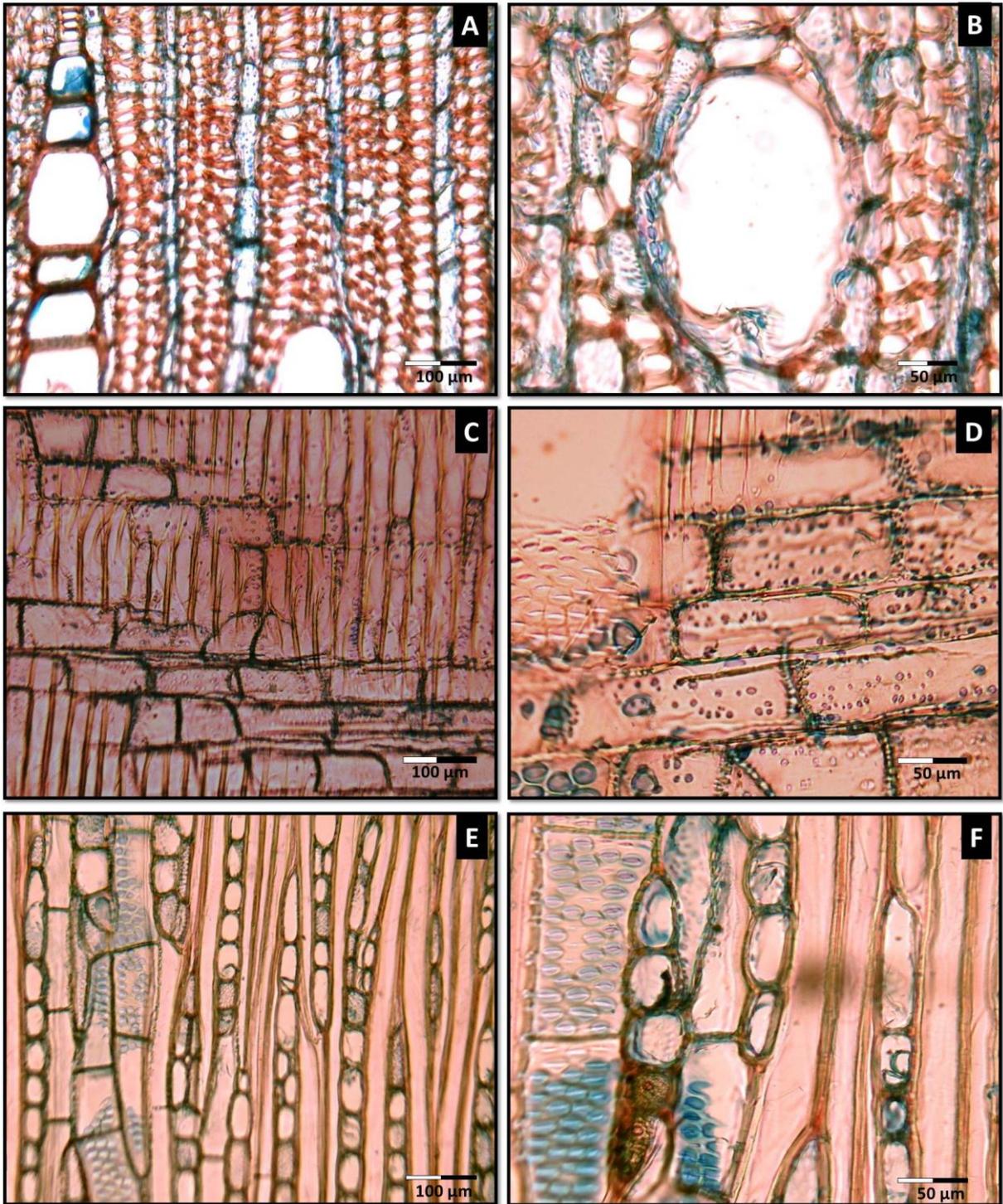


Figura 6 – Detalhes anatômicos da madeira de *Tetrorchidium rubrivenium*. A: Seção transversal (em aumento de 10x) parênquima axial predominantemente apotraqueal; B: Seção transversal em aumento de 20x; C: Seção longitudinal radial (em aumento de 10x), presença de raios heterogêneos; D: Seção radial em aumento de 20x. E: Seção longitudinal tangencial (em aumento de 10x) com raios, em sua maioria, unisseriados com células quadradas e eretas. F: Seção transversal em aumento de 20x – pontoações arredondadas.

4.2 Características físicas da madeira

4.2.1 Massa específica e teor de umidade verde

Os valores obtidos para massa específica verde da madeira de canemaçu foram de $1,0889 + 0,0455$ ($1,0774 - 1,1005$) g/cm^3 , enquanto que para a massa específica básica foram de $0,4062 \pm 0,0011$ ($0,3979 - 0,4145$) g/cm^3 . Os dados apresentaram coeficientes de variação de 4,2 e 8,1%, respectivamente.

Mainieri e Chimelo (1989) descrevem diversas espécies florestais da mesma família com valores de ME básica similares ao do canemaçu. Entre elas, destacam-se *Joannesia princeps*, *Croton echinocarpus* e *Alchornea triplinervia*. Os autores classificam-as como madeiras leves. A mesma classificação é adotada por IBAMA, (2012), que apresenta valores equivalentes de ME básica em outras espécies da família, como *Sapium glandulosum*, *Sapium marmieri* e *Hura crepitans*, pois apresentam ME básica igual ou menor que $0,500 \text{ g/cm}^3$.

Na análise de regressão simples, realizada para relacionar a variação das massas específicas em função da altura comercial da árvore, o modelo estatístico que melhor se ajustou aos dados foi a regressão linear. Na figura 7, estão apresentados os valores das medições laboratoriais e a reta da equação para cada massa específica analisada.

Os modelos testados foram significativos, sendo possível descrever uma relação entre a altura comercial da árvore e suas massas específicas. Tanto para ME verde quanto para ME básica há uma tendência de que, quanto maior for a altura comercial, maiores serão os valores de ME. Cardoso et al. (2002) encontraram a mesma tendência de aumento da ME básica com o aumento da altura, para a madeira de *Eucalyptus globulus*. A ME básica também apresentou tendência crescente ao longo do tronco em um híbrido clonal de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* em um estudo realizado por Gonçalves et al. (2009).

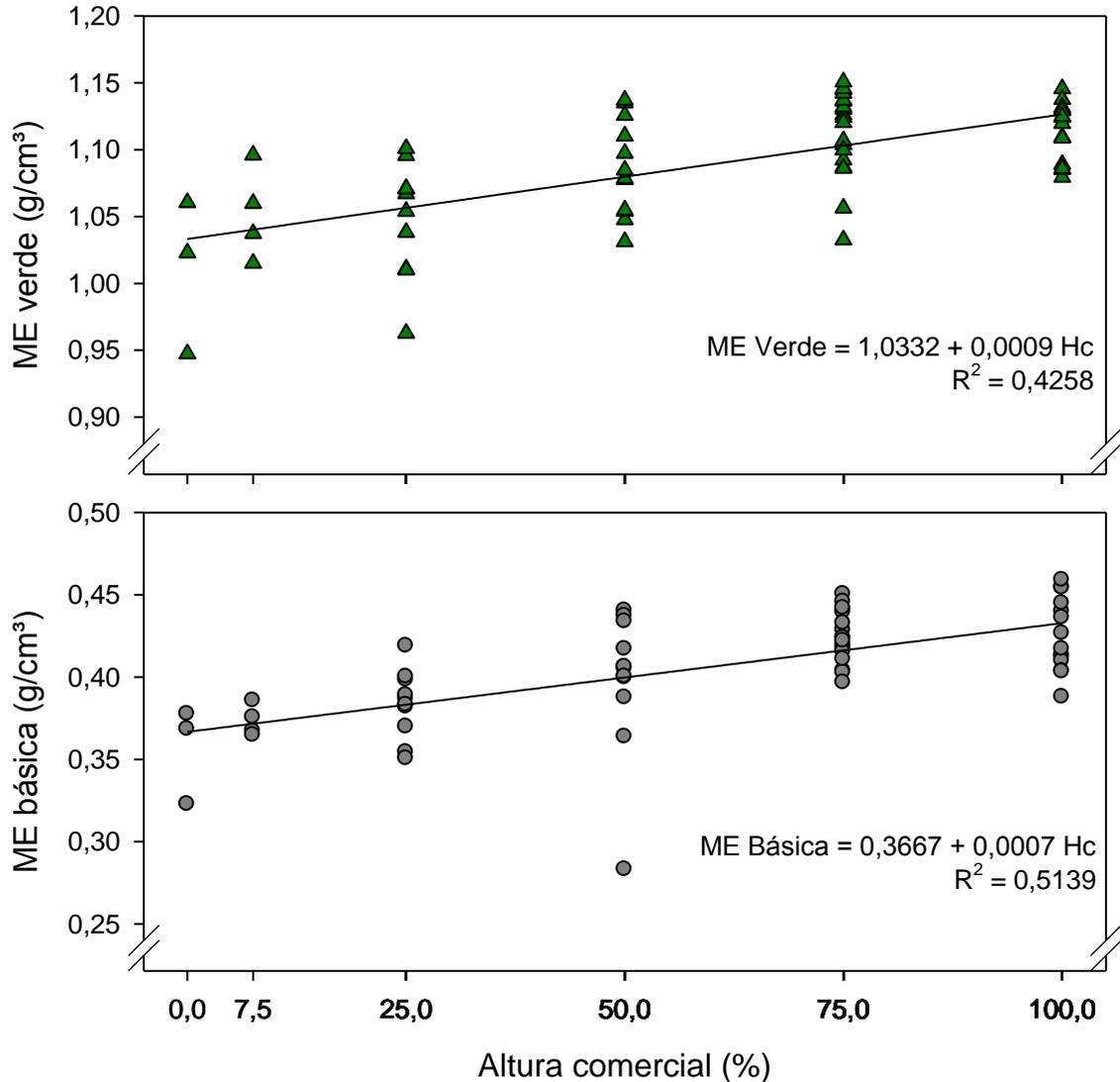


Figura 7 – Valores medidos e retas das equações para massa específica verde (ME Verde) e massa específica básica (ME Básica) da madeira de *Tetrorchidium rubrivenium* em função da altura comercial (Hc) da árvore.

A madeira verde de canemaçu apresenta valor médio de teor de umidade de 167%. Os dados também apresentaram baixo valor de coeficiente de variação, não atingindo 7% e valores de $167 \pm 11,63$ (164,42 – 170,38) %. Dentre os TU verdes das madeiras de Euphorbiaceae, descrito por IBAMA (2012), a espécie com TU mais próximo é *Hura crepitans*, com valor de 177,5%. A regressão simples para ver a relação entre os valores de TU verde e a porcentagem da altura comercial apresentou como modelo mais significativo a equação $TU_{VERDE} = 185,196 -$

$2,59798 \times \sqrt{Hc}$. O valor de P foi $<0,0001$, do R^2 foi de 0,4434 e o S_{yx} de 8,0085. Os valores reais e o ajuste da equação aos dados estão apresentados na figura 8.

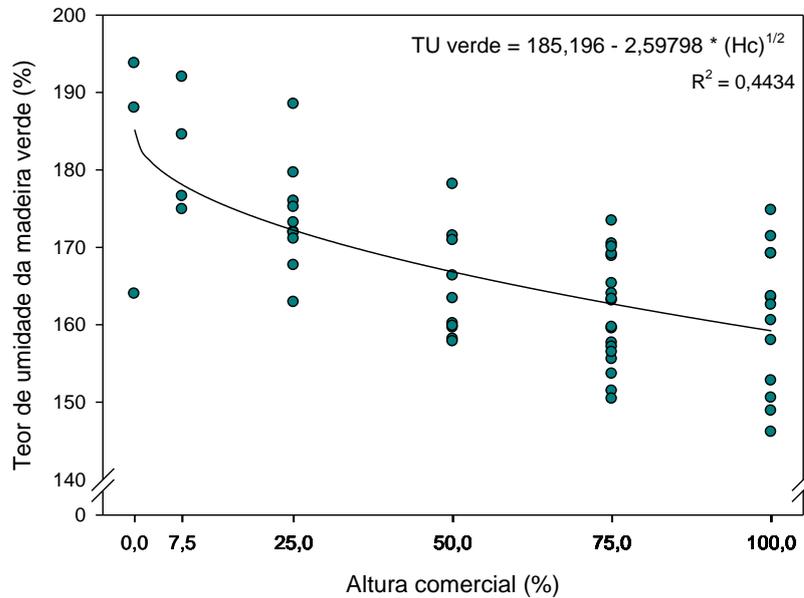


Figura 8 – Valores medidos e ajuste da equação para o teor de umidade verde (TU verde) da madeira de *Tetrorchidium rubrivenium* em função da altura comercial (Hc) da árvore.

A partir desses dados pode-se verificar que há uma tendência de redução do TU verde com o aumento da altura comercial da árvore. O que está de acordo com Oliveira et al. (2005), que afirmam que a relação entre a variação do teor de umidade da madeira com a massa específica é negativa, tanto no sentido radial, quanto longitudinal. Portanto, com o aumento da ME ao longo da altura da árvore, haverá um decréscimo do teor de umidade.

4.2.2 Contração radial e tangencial

As contrações radial e tangencial da madeira de canemaçu apresentaram valores médios de 2,63 e 5,87 %, respectivamente (Tabela 4), resultando em um coeficiente de anisotropia de 2,23.

Tanto os valores de ME verde e básica quanto os percentuais de contração, verificados da madeira de canemaçu, são semelhantes aos descritos para *Anacardium giganteum* (família Anacardiaceae), que apresenta ME básica de 0,38 g/cm³ e coeficiente de anisotropia de 2,21 (IBAMA, 2012).

Os valores de contração radial e tangencial foram também relacionados com a altura comercial das árvores e com a ME 12%. Foi verificada relação significativa entre os dados das contrações com a altura comercial e entre a contração radial e a ME 12% (Figura 9). As equações ajustadas aos dados mostram que a contração radial tende a aumentar com o aumento da altura comercial e com o aumento da massa específica a 12%. Por outro lado, a contração tangencial diminui com o aumento da altura comercial.

Tabela 4 – Média, desvio padrão, coeficiente de variação e intervalo de confiança das contrações tangencial e radial e das respectivas massas específicas a 12% de umidade (ME 12%) da madeira de *Tetrorchidium rubrivenium*.

Parâmetro estimado	Contração Tangencial		Contração Radial		
	Contração	ME 12%	Contração	ME 12%	
Repetições	36	36	24	24	
Média (%)	5,8739	0,4486	2,6329	0,4473	
Desvio Padrão	0,4755	0,0375	0,4106	0,0442	
Coeficiente de variação (%)	8,1	8,3	15,6	9,9	
Intervalo de confiança	Limite inferior	5,7130	0,4359	2,4595	0,4286
	Limite superior	6,0348	0,4613	2,8063	0,4659

As relações entre a Hc (%) e as contrações, apesar de significativas, apresentaram valores baixos de R², especialmente para contração tangencial. Na relação com a massa específica, apenas a contração radial apresentou significância, ajustando-se a seguinte equação aos dados: $C_{rd} = \sqrt{(37,1981 - (130563/ME))}$. Este modelo apresentou valor de P = 0,0004. O valor de R² foi mais elevado, chegando a 0,4412, e o $S_{yx} = 0,0549$.

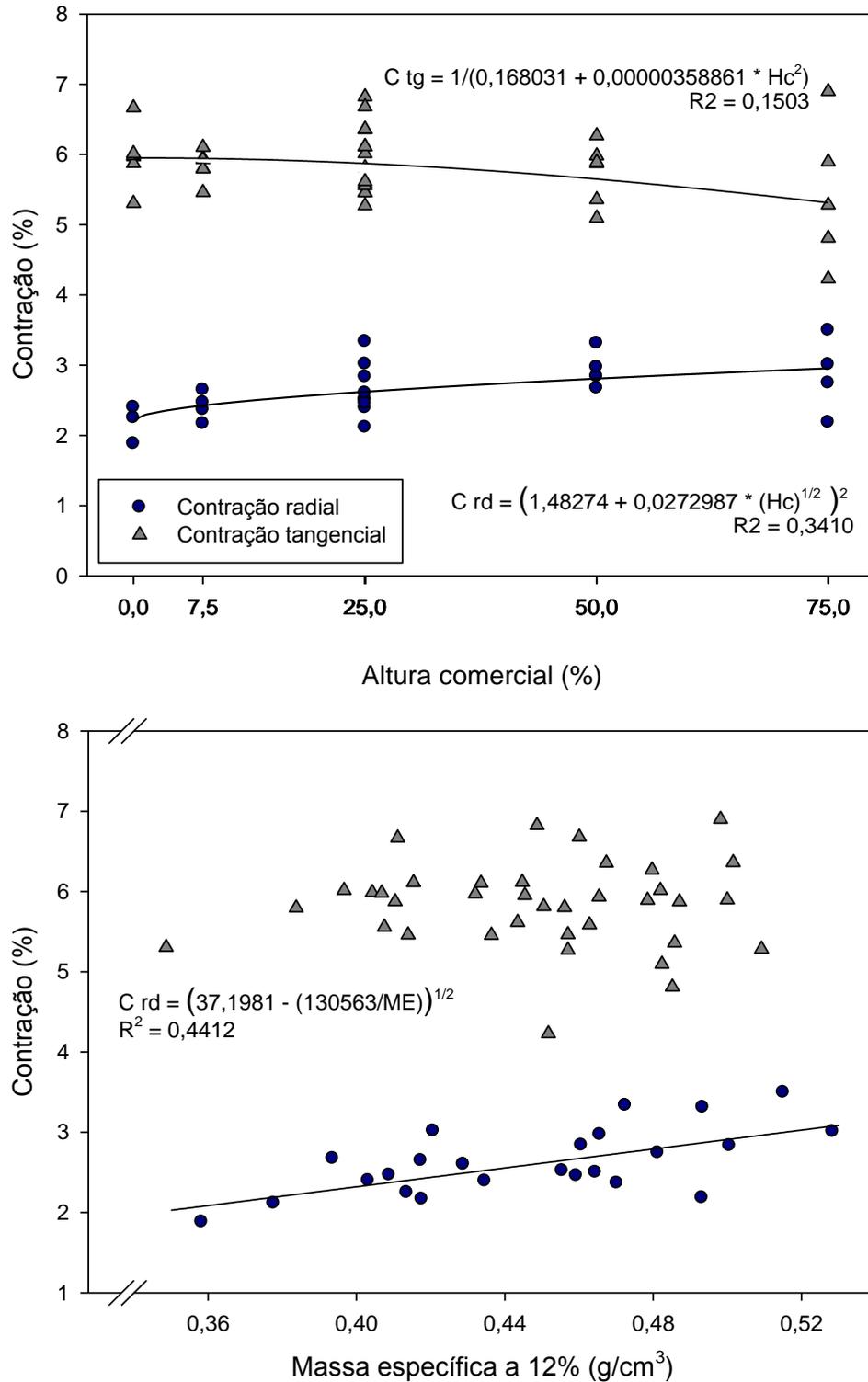


Figura 9 – Valores medidos e modelo da equação ajustado para contração radial (Crd) e contração tangencial (Ctg) da madeira de *Tetrochidium rubrivinium*, em função da altura comercial (Hc) da árvore (acima) e da massa específica a 12% de umidade (ME) (abaixo).

4.3 Características mecânicas

4.3.1 Cisalhamento

Verificou-se que a madeira de *Tetrorchidium rubrivenium* é capaz de resistir, em média, $78,9 \pm 4,03$ ($76,93 - 80,81$) kgf/cm² quando submetida a esforços de cisalhamento. Os valores calculados apresentaram coeficiente de variação de 5,1%. Os corpos de prova possuíam ME 12% média de $0,4120 \pm 0,0197$ ($0,4025 - 0,4215$) g/cm³. Entretanto, não houve relação significativa entre a ME 12% e a resistência ao cisalhamento na madeira de canemaçu, pois o modelo que melhor se ajustou aos dados apresentou valor de P muito alto (0,4102). Mainieri (1978) descreve valor médio de 67 kgf/cm² para madeiras do gênero *Tetrorchidium* a 15% de umidade. Valores inferiores são esperados, quanto maior for o teor de umidade da peça de madeira.

O canemaçu apresentou valor de cisalhamento próximo àqueles determinados para *Cedrela* sp. (Meliaceae), *Nectandra rubra* (Lauraceae) e *Hura crepitans* (Euphorbiaceae), que foram de 76, 75 e 71 kgf/cm², respectivamente (IBAMA, 2012). Ainda segundo IBAMA (2012), valores até 78 kgf/cm² são considerados baixos, e aqueles entre 78 e 117 kgf/cm² são considerados médios. Desta forma, a madeira do canemaçu estaria no limite entre essas duas classes.

4.3.2 Compressões perpendicular e paralela à grã

Ao submeter a madeira à esforços de compressão, verificaram-se valores de 71,71 kgf/cm² para aplicação de carga no sentido perpendicular às fibras e 293,45 kgf/cm² no sentido paralelo (Tabela 5). Para a madeira de *Araucaria angustifolia* foram encontrados valores de 69,6 kgf/cm² na compressão perpendicular de árvores no estrato superior e de 331,6 kgf/cm² na compressão paralela de árvore no estrato inferior, classificando esta última como baixa (BELTRAME et al., 2010). Dessa forma, pode-se inferir também que a madeira de canemaçu apresenta valores baixos de compressão paralela.

Tabela 5 – Média, desvio padrão, coeficiente de variação e intervalo de confiança dos valores das compressões perpendicular e paralela às fibras e respectivas massas específicas a 12% de umidade (ME 12%) da madeira de *Tetrochidium rubrivenium*.

Parâmetro estimado	Compressão perpendicular		Compressão paralela		
	Resistência	ME 12%	Resistência	ME 12%	
Repetições	21	21	21	21	
Média	71,7100	0,4400	293,4520	0,4363	
Desvio padrão	13,8205	0,0282	32,1213	0,0292	
Coeficiente de variação	19,3	6,4	10,9	6,7	
Intervalo de confiança	Limite inferior	65,4171	0,4263	278,8300	0,4230
	Limite superior	77,9991	0,452	308,0730	0,4496

Aos dados de CPerp e CParal buscou-se ajustar modelos de regressão em função das respectivas ME12%. Entretanto, foi verificada relação significativa apenas para a CPerp, conforme ilustrado na figura 10.

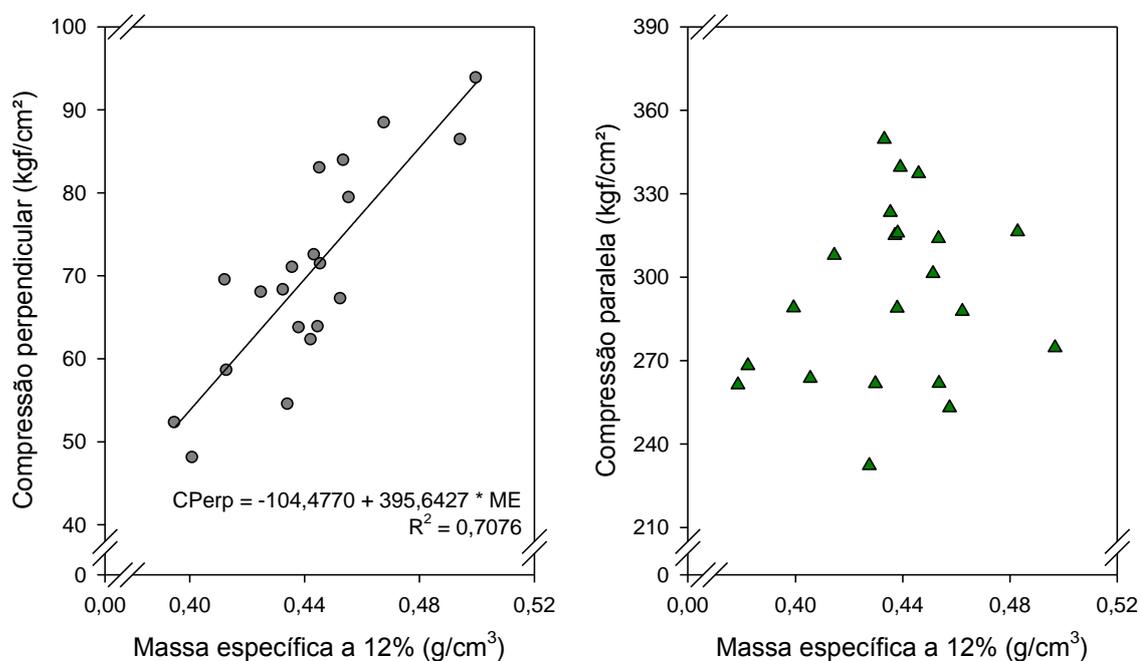


Figura 10– Valores medidos e reta da equação, quando significativa, para as resistências à compressão perpendicular (CPerp) (esquerda) e paralela (direita) às fibras da madeira de *Tetrochidium rubrivenium*, em função da massa específica a 12% de umidade (ME).

A equação ajustada aos dados da CPerp em função da ME 12% mostrou-se altamente significativa, com valor de P de 0,001 e coeficiente de determinação de 0,71. A equação também indica que quanto maior a massa específica da madeira a 12% de umidade, maior será a resistência da madeira à compressão perpendicular (Figura 10). Para a CParal, o modelo que melhor se ajustou aos dados apresentou valor de P de 0,2937, evidenciando ausência de significância na relação entre os dados a 5% de probabilidade.

4.3.3 Dureza

A dureza da madeira do canemaçu apresentou valores médios de 174, 192 e 320 kgf/cm² nas faces radial, tangencial e axial, respectivamente (Tabela 6). Os coeficientes de variação se apresentaram de acordo com o sugerido por USDA (1987), que é de 20%. Valores semelhantes de dureza foram encontrados para *Jacaranda copaia*, que apresenta ME básica de 0,34 g/cm³ (SILVA FILHO et al, 1992), valor este um pouco inferior ao observado para o canemaçu, de 0,4062 g/cm³, conforme tabela 6.

Tabela 6 – Média, desvio padrão, coeficiente de variação e intervalo de confiança dos valores de dureza nas faces radial, tangencial e axial e massa específica a 12% de umidade (ME 12%) da madeira de *Tetrorchidium rubrivenium*.

Parâmetro estimado	Radial	Tangencial	Axial	ME 12%	
Repetições	20	20	20	20	
Média (kgf/cm ²)	174,725	192,15	320,025	0,5153	
Desvio padrão	28,6317	40,0539	24,9607	0,0438	
Coeficiente de variação (%)	16,4	20,8	7,8	8,5	
Intervalo de confiança	Limite inferior	161,3250	173,4040	308,3430	0,4948
	Limite superior	188,1250	210,8960	331,7070	0,5358

A relação da dureza da madeira de canemaçu, nas três faces, com a ME 12% é apresentada na figura 12. Aos dados medidos foram ajustadas equações da dureza em função da ME 12%, quando a relação foi significativa a 5% de probabilidade. Para as faces radial e tangencial foi verificado ajuste significativo,

sendo os modelos do tipo linear os que apresentaram menor valor de P (0,0257 e 0,0429, respectivamente) e maior R^2 (0,2473 e 0,2087, respectivamente) (Tabela 7). Para os dados de dureza na face axial, o modelo com melhor ajuste aos dados apresentou valor de P de 0,0882, valor este muito alto para o rigor utilizado nas análises estatísticas, caracterizando-o, portanto, como não significativo.

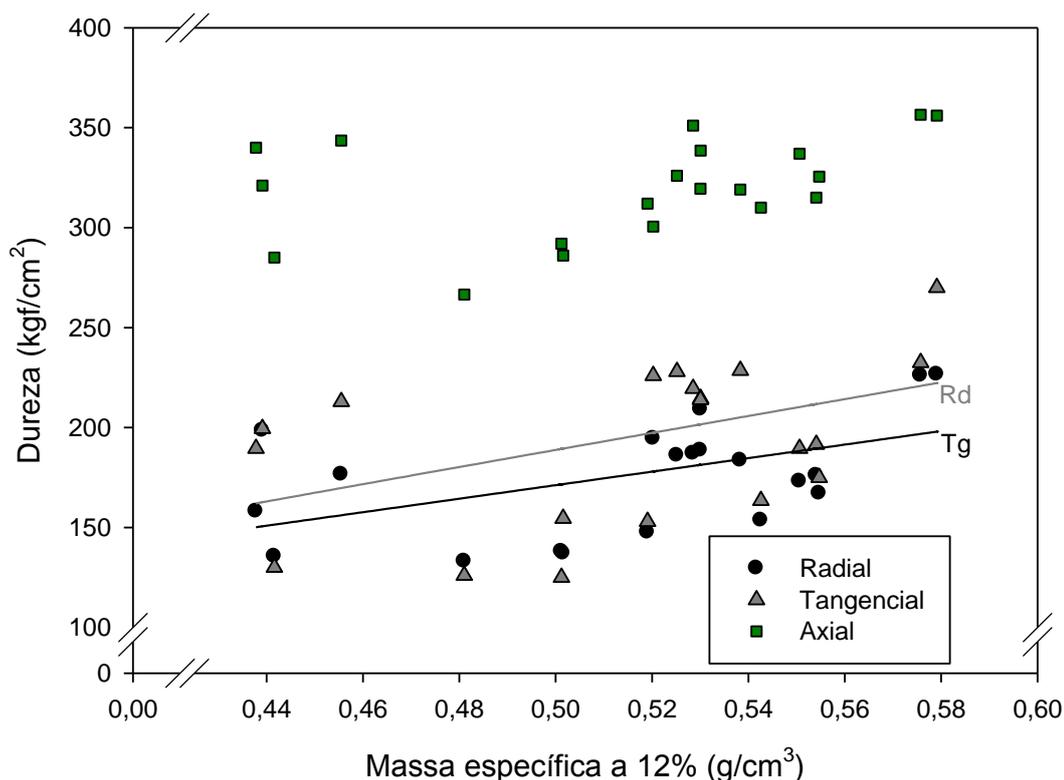


Figura 11– Valores medidos e retas das equações (quando significativas) para dureza nas faces radial (Rd), tangencial (Tg) e axial em função da massa específica a 12% de umidade, na madeira de *Tetrarchidium rubrivenium*.

Apesar de serem significativas (Tabela 7), as equações ajustadas resultaram em baixos valores R^2 , fazendo com que boa parte da variação dos dados não seja explicada pelo modelo. Entretanto, pode-se verificar que a dureza tende a aumentar com o aumento da ME 12%, tanto na face radial quanto na tangencial. Essa constatação concorda com Silva Filho et al. (1992), que ao estudar oito espécies de madeiras tropicais, afirmaram que existe estreita relação da dureza com a massa específica da madeira, e que estas mostram-se diretamente proporcionais.

Tabela 7 – Equações ajustadas para estimar a resistência à dureza nas faces radial (Drd) e tangencial (Dtg) da madeira de *Tetrorchidium rubrivenium* em função da massa específica a 12% de umidade (ME).

	Radial	Tangencial	Axial
Valor de P	0,0257	0,0429	0,0882*
Equação	$D_{rd} = 88,4289 + 322,769 ME^2$	$D_{tg} = 81,2631 + 414,745 ME^2$	-
R ²	0,2473	0,2087	-
S _{yx}	25,5207	36,6072	-

*não significativo a 95% de confiança

4.3.4 Flexão estática

Os valores médios de MOE e MOR, obtidos a partir do teste de flexão estática, foram de 67.908 e 558 kgf/cm², respectivamente (Tabela 8). Os coeficientes de variação dos testes estão de acordo com aqueles indicados por USDA (1987), que são de 22% para MOE e 16% para MOR. Os valores de MOE e MOR são semelhantes àqueles de madeiras com baixa resistência mecânica, conforme classificação do IBAMA (2012).

Tabela 8 – Média, desvio padrão, coeficiente de variação e intervalo de confiança dos valores do Módulo de elasticidade (MOE) e do Módulo de ruptura (MOR) e a respectiva massa específica a 12% de umidade (ME 12%) da madeira de *Tetrorchidium rubrivenium*.

Parâmetro estimado	MOE	MOR	ME 12%	
Repetições	18	18	18	
Média (kgf/cm ²)	67.908,3	557,7	0,4542	
Desvio padrão	11.501,6	92,9	0,0483	
Coeficiente de variação (%)	16,9	16,7	10,6	
Intervalo de confiança	Limite inferior	62.188,7	511,5	0,4301
	Limite superior	73.627,9	603,9	0,4782

Houve relação significativa entre os valores de MOE e MOR quando relacionados com a ME 12%. Dessa forma, ajustaram-se equações a este conjunto

de dados, visando demonstrar o aumento da MOE e da MOR em função do aumento da ME 12% (Figura 12).

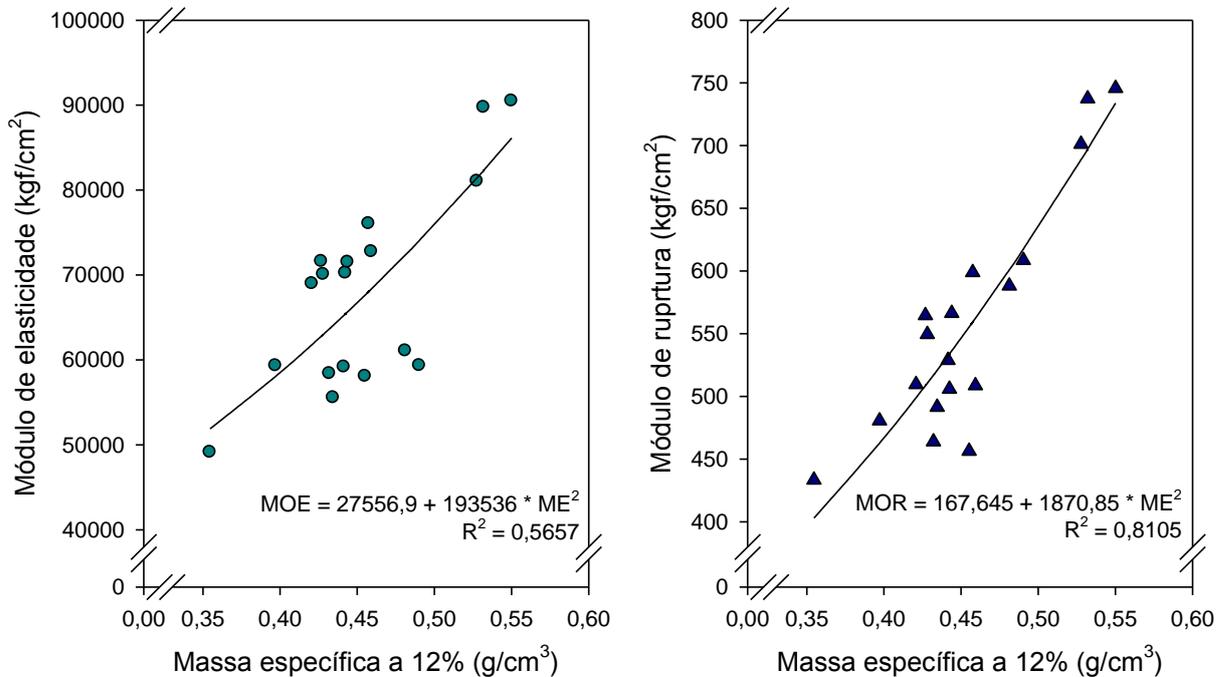


Figura 12– Valores medidos e ajuste das equações para o módulo de elasticidade (MOE) e o módulo de ruptura (MOR) em função da massa específica a 12% de umidade da madeira de *Tetrorchidium rubrivenium*.

As equações dos modelos que melhor se ajustaram aos dados de MOE e MOR em função da ME 12% estão apresentadas na tabela 16. Verificou-se altos valores de R^2 , principalmente para MOR (0,81), indicando que o modelo pode explicar a maior parte da variância dos dados. Além disso, os valores de P dos modelos foram muito menores que 0,05, evidenciando seu efeito significativo (Tabela 9).

Tabela 9 – Equações ajustadas para estimar o módulo de elasticidade (MOE) e o módulo de ruptura (MOR) da madeira de *Tetrorchidium rubrivenium* em função da massa específica a 12% de umidade (ME).

Parâmetro	MOE	MOR
Valor de P	0,0003	<0,0001
Equação	MOE = 27556,9 + 193536 ME ²	MOR = 167,645 + 1870,85 ME ²
R ²	0,5657	0,8105
S _{yx}	7813,11	41,6803

4.3.5 Resistência ao choque

A madeira de canemaçu, quando submetida ao impacto, apresentou valores de trabalho absorvido e de coeficiente de resiliência médios de 9,8 J e 0,2279 kgm/cm², respectivamente (Tabela 10). O valor médio do coeficiente de resiliência corresponde ao obtido para o gênero *Tetrorchidium*, de 0,23 (MAINIERI, 1978)

Tabela 10 – Média, desvio padrão, coeficiente de variação e intervalo de confiança do trabalho absorvido (W), do coeficiente de resiliência (K) e da cota dinâmica (CD) e a respectiva massa específica a 12% de umidade (ME 12%) da madeira de *Tetrorchidium rubrivenium*.

Parâmetro estimado	W ^(a)	K ^(b)	CD	ME 12% ^(c)	
Repetições	33	33	33	33	
Média	9,8	0,2279	0,4921	0,4618	
Desvio padrão	2,5247	0,0585	0,1176	0,0201	
Coeficiente de variação	25,7	25,7	23,9	4,3	
Intervalo de confiança	Limite inferior	8,9078	0,2072	0,4505	0,4547
	Limite superior	10,6982	0,2487	0,5338	0,4689

^(a) J; ^(b) kgm/cm²; ^(c) g/cm³.

Na figura 13 estão apresentados os valores obtidos no teste de resistência ao choque em função da ME 12%. Modelos significativos foram ajustados apenas para W e K, com valores de P = 0,0113 e 0,0068, respectivamente (Tabela 11). O modelo para ajuste da CD em função da ME 12% apresentou valor de P = 0,5256.

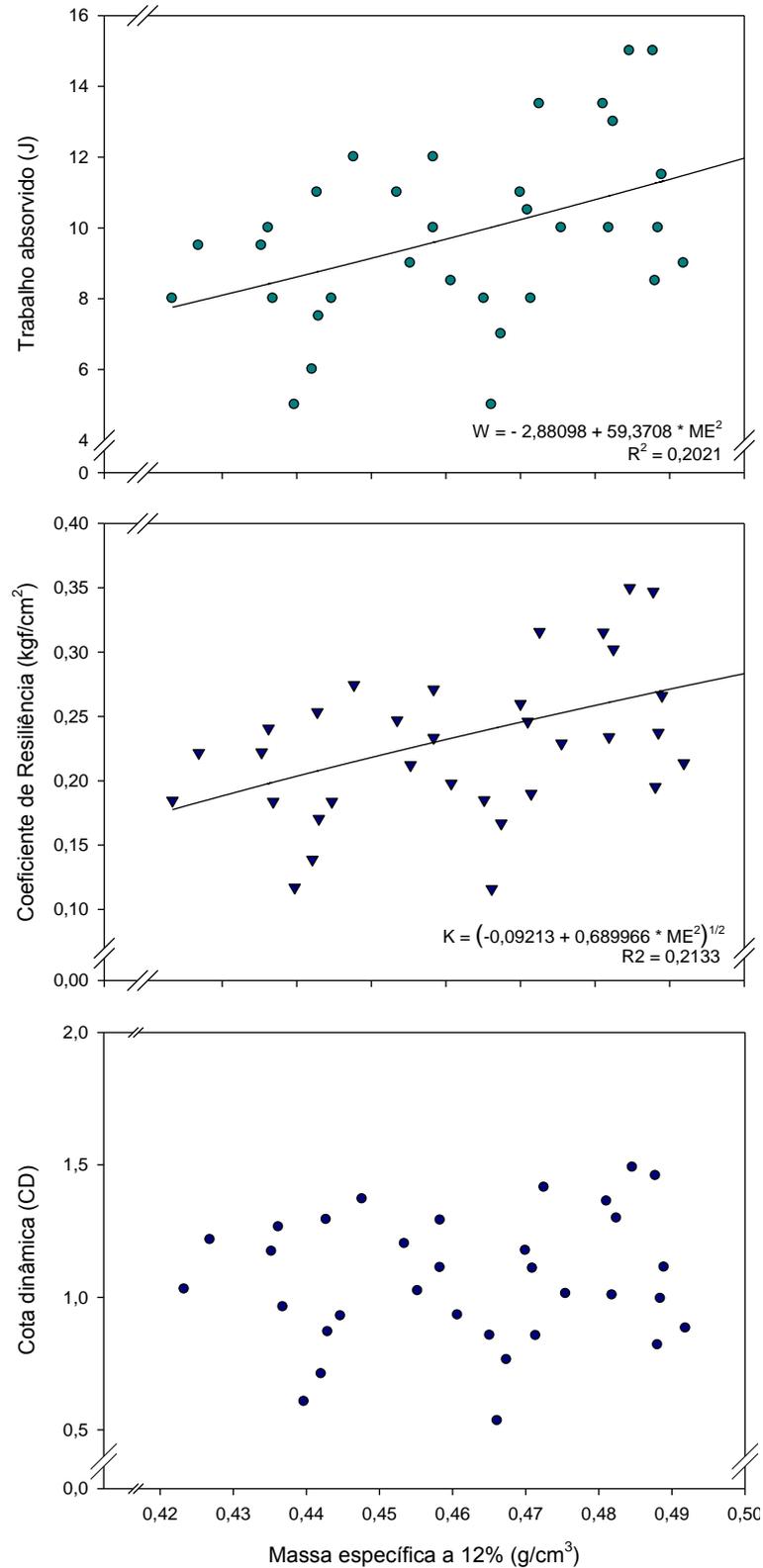


Figura 13– Valores medidos de trabalho absorvido (W) (acima), coeficiente de resiliência (K) (centro) e cota dinâmica (CD) e respectivos ajustes das equações (quando significativo) em função da massa específica a 12% de umidade (ME) da madeira de *Tetrorchidium rubrivenium*.

A partir dos valores de R^2 verifica-se que não é possível explicar parte da variação dos modelos ajustados para W e K, que apresentam coeficiente de determinação de 0,20 e 0,21, respectivamente (Tabela 11). Entretanto, é possível observar que os valores de W e K tendem a aumentar com o aumento da ME 12% (Figura 13).

Tabela 11 – Equações ajustadas para estimar o trabalho absorvido (W) e o coeficiente de resiliência (K) da madeira de *Tetrorchidium rubrivenium* em função da massa específica a 12% de umidade (ME).

Parâmetro	W	K
Valor de P	0,0113	0,0068
Equação	$W = -2,88098 + 59,3708 \times ME^2$	$K = \sqrt{(-0,09213 + 0,689966 ME^2)}$
R^2	0,2021	0,2133
S_{yx}	0,4496	0,0249

Para todas as propriedades mecânicas da madeira de canemaçu foram realizadas relações entre os resultados de cada propriedade com a ME 12% dos respectivos corpos de prova usados em cada teste. Em função da elevada importância desta característica física da madeira, esses dados foram comparados, verificando-se pequena variação nas médias, desvios padrões, coeficientes de variação e intervalos de confiança da ME 12% entre os corpos de prova provenientes de cada teste. A média desta propriedade variou de 0,419 (cisalhamento) a 0,515 (dureza) g/cm^3 . O coeficiente de variação da ME 12% foi baixo em todos os testes, mantendo-se sempre menor que 11%, concordando com os dados de ME verde e ME básica.

5 CONCLUSÕES

A madeira de *Tetrorchidium rubrivenium* apresenta características anatômicas condizente com o esperado para uma espécie pertencente à família Euphorbiaceae e à subfamília Crotonoideae, a qual pertence.

A altura comercial da árvore de canemaçu influencia significativamente todas as propriedades físicas testadas, possibilitando o ajuste de equações para estimativa das massas específicas verde e básica, do teor de umidade e do coeficiente de contração em função da posição na árvore.

A madeira apresentou baixa resistência mecânica para compressão paralela à grã, dureza e flexão estática, e resistência mediana para cisalhamento.

A massa específica da madeira de canemaçu apresenta relação significativa com as seguintes propriedades mecânicas: contração radial, compressão perpendicular, dureza radial e tangencial, módulo de ruptura, módulo de elasticidade, trabalho absorvido e coeficiente de resiliência. Para estas propriedades é possível estimar seus valores a partir da massa específica. Entretanto, para as propriedades contração tangencial, cisalhamento, compressão paralela à grã, dureza axial e cota dinâmica isso não é possível, pois não apresentam relação significativa com a massa específica.

A madeira de canemaçu mostra-se apta para a utilização em móveis, chapas aglomeradas, caixotaria e em embalagens em geral. Além de suas características físico-mecânicas, por sua cor clara, também podem ser confeccionados objetos de decoração e acabamento interno. A baixa massa específica, que lhe confere baixo peso nas peças, indica um possível uso na fabricação de brinquedos.

Indicam-se trabalhos adicionais mais específicos para a determinação da capacidade de adesão e aplicação de produtos de acabamento e outros pertinentes ao processo produtivo.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASTM - American Society for testing and materials. **Standard methods of testing small clear specimens of timber**: D 143. Philadelphia, 2000. 31p.

BACKES, P.; IRGANG, B. **Mata Atlântica**: as árvores e a Paisagem. Porto Alegre: Paisagem do Sul, 2004. 396 p.

BARRICHELO, L. E. G.; FOELKEL, C. E. B. Processo nítrico-acético para maceração de madeira. **Silvicultura**, n. 28, p. 732-733, 1983.

BELTRAME, R.; SOUZA, J. T.; MACHADO, W. G.; VIVIAN, M. A.; BULIGON, E. A.; PAULESKI, D. T.; GATTO, D. A.; HASELEIN, C. R. Propriedades físico-mecânicas da madeira de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) em três estratos fitossociológicos. **Revista Ciência da Madeira**, Pelotas/RS, v. 01, n. 02, Novembro de 2010.

BELTRAME, R.; MATTOS, B. D.; GATTO, D. A.; LAZAROTTO, M.; HASELEIN, C. R.; SANTINI, E. J. Resistência ao impacto da madeira de noqueira-pecã em diferentes condições de umidade. **Revista Ciência Rural**, Santa Maria, v.42, n.9, p.1583-1587, set, 2012.

BODIG, J., JAYNE, B.A. **Mechanics of wood and wood composites**. New York: Van Nostrand Reinhold Company, 1982

BOTOSSO, P. C. **Identificação macroscópica de madeiras**: guia prático e noções básicas para o seu conhecimento. Colombo: EMBRAPA Florestas, 2011. 65p.

BURGER, L. M.; RICHTER, H. G. **Anatomia da madeira**. São Paulo: Nobel, 1991. 154 p.

CARDOSO, G. V.; FRIZZO, S. M. B.; ROSA, C. A. B.; FOELKEL, C. E.; ASSIS, T. F.; OLIVEIRA, P. **Variação da densidade básica da madeira de *Eucalyptus globulus* no sentido longitudinal da árvore**. (Anais) São Paulo: 35º Congresso e Exposição Anual de Celulose e Papel – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel, 2002.

CHAVARRI, R.; BLANCA, N.; LEON H.; WILLIAMS, J. Anatomía xilemática de ocho especies de la subfamilia Phyllanthoideae (Euphorbiaceae) en Venezuela. **Plantula**, v.4(1), p.39-48, 2006.

COSMO, N. L.; KUNIYOSHI, Y. S.; BOTOSSO, P. C. Anatomia da madeira de *Sebastiania commersoniana* (Baillon) Smith & Downs (Euphorbiaceae): aspectos funcionais e ecológicos. **Acta Botanica Brasilica**, vol.24, n.3. São Paulo. 2010.

COSTA, A. **Coletâneas de Anatomia da Madeira**: a anatomia da madeira. 2001. Disponível em: <<http://www.joinville.udesc.br/sbs/professores/arlindo/materiais/APOSTILANATOMIA1.pdf>>. Acesso em: 4 de setembro de 2012.

DENARDI, L. **Anatomia e flexibilidade do caule de quatro espécies lenhosas para o manejo biotécnico de cursos de água**. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

DURLO, M.A. Tecnologia da madeira: peso específico. Santa Maria: UFSM/CEPEF/FATEC, 1991. 29 p. (Série Técnica, 8).

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

EMERICH, K. H. **Composição florística e relação entre variáveis ambientais e a estrutura da comunidade arbórea de fragmento florestal ciliar no Rio Turvo, município de Turvo, Santa Catarina**. 2009. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2009.

FAWCETT, W.; RENDLE, A. B. Dicotyledons: Families Leguminosae to Callitrichaceae. **Flora of Jamaica**. London: British Museum (Natural History), 1920.

FERREIRA, M.; KAGEYAMA, P.Y. **Melhoramento da densidade básica da madeira de eucalipto**. Boletim IPEF, v. 6, n. 20, p. 1-14, 1978.

FOELKEL, C. E. B.; BRASIL, M. A. M.; BARRICHELO, L. E. G. Métodos para determinação da densidade básica de cavacos para coníferas e folhosas. **Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais**, n.2/3, p. 65-74, 1971.

GONÇALVES, F. G.; OLIVEIRA, J. T. S.; DELLA LUCIA, R. M.; NAPPO, M. E.; SARTÓRIO, R. C. Densidade básica e variação dimensional de um híbrido clonal de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.33, n.2, p.277-288, 2009.

GRINGS, M.; BRACK, P. Árvores na vegetação nativa de Nova Petrópolis, Rio Grande do Sul. **Iheringia**, Sér. Bot., Porto Alegre, v. 64, n. 1, p. 5-22, 2009.

HAYGREEN, J. G.; BOWYER, J. L. **Forest products and wood science introduction**. Ames: Iowa State University, 1982. 549p.

IAWA – International Association of Wood Anatomists. **IAWA list of microscopic features for hardwood identificacion**. IAWA Bulletin, v. 10, n. 3, p. 218-359, 1989.

IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Database of Brazilian Woods**. Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br/lpf/madeira/>>. Acesso em: 22 de outubro de 2012.

IUCN – International Union for Conservation of nature and Natural Resources. **Directory of Neotropical Protected Areas**. Dublin: Tycooly International Publishing, 1982.

KEINERT JR, S.; ROZAS, C. E. M.; ESTURION, J. A.; MATSUNAGA, D. K.; ALBERTO, M. M.; RINCOSKI, C. R. Relação entre a contração e o teor de umidade em madeira de *Pinus taeda* e *Pinus elliottii* em vários ângulos de grã. **Revista Ciência Florestal**, Santa Maria, v.2, n.1, p. 81-86, 1992.

KRETSCHMANN, D. E. **Wood Handbook**: Wood as an Engineering Material. Madison: USDA Forest Service, Forest Products Laboratory, 2010.

LOBÃO, M. S.; DELLA LÚCIA, R. M.; MOREIRA, M. S. S.; GOMES, A. Caracterização das propriedades físico-mecânicas da madeira de eucalipto com diferentes densidades. **Revista Árvore**, v.28, n.6, Viçosa, 2004.

MAINIERI, C. Fichas de Características de Madeiras Brasileiras. Publicação IPT, São Paulo (966), 1978

MAINIERI, C. CHIMELO, J. P. **Fichas de características das madeiras brasileiras**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, Divisão de Madeiras. 2a.ed. 1989.

MARCHIORI, J.N.C. **Estudo anatômico do xilema secundário e da casca de algumas espécies dos gêneros Acacia e Mimosa, nativas no estado do Rio Grande do Sul**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 1980. 186p.

MARCHIORI, J. N. C. **Dendrologia das Angiospermas: das bixáceas às rosáceas**. Santa Maria: Ed. UFSM, 2000. 240p.

MARCHIORI, J. N. C.; MUNIZ, G. I. B.; SANTOS, S. R. **Madeiras do Rio Grande do Sul: descrição microscópica de 35 espécie nativas. v. 2.** Santa Maria: Anatterra, 2010.

MARCHIORI, J. N. C.; DENARDI, L.; SANTOS, S. R. **Madeiras do Rio Grande do Sul: descrição microscópica de 34 espécie nativas. v. 3.** Santa Maria: Anatterra, 2011.

MARKWARDT, L. J.; WILSON, T. R. C. **Strength and related properties of woods grown in the United States.** Washington: United States Department of Agriculture, 1935.

MARTINS, T. F. R. M. **Dimensionamento de estruturas em madeira: coberturas e pavimento.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Instituto Superior Técnico: Universidade Técnica de Lisboa, 2010.

MELO, R. R.; PAES, J. B.; LIMA, C. R.; FERREIRA, A. G. Estudo da variação radial da densidade básica de sete madeiras do semi-árido. **Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal**, ano IV, n.7, p.1-8, 2006.

MENNEGA, A. M. W. Wood anatomy of the Euphorbiaceae, in particular of the subfamily Phyllanthoideae. **Botanical Journal of the Linnean Society**, vol 94, p. 111-126. 1987.

MMA – MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Biodiversidade Brasileira: Avaliação e Identificação de Áreas e Ações Prioritárias para a conservação, utilização sustentável e repartição dos benefícios da biodiversidade nos biomas brasileiros.** Brasília: MMA/SBF, 2002.

MORESCHI, J. C. **Propriedades tecnológicas da madeira.** Manual didático. 3 ed, UFPR, 2010.

MÜLLER, J. **Flora brasiliensis: Euphorbiaceae.** Vol XI, Pars II. 1874

OLIVEIRA, J. T. S.; HELLMEISTER, J. C. **Caracterização da madeira de eucalipto para a construção civil.** São Paulo: EPUSP, 1998 (Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP).

OLIVEIRA, J. T. S.; HELLMEISTER, J. C.; FILHO, M. T. Variação do teor de umidade e da densidade básica na madeira de sete espécies de eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.29, n.1, p.115-127, 2005.

PAES, J. B.; LIMA, C. R.; SILVA, J. M. **Variação Longitudinal e radial da densidade básica da madeira de algaroba** (*Prosopis juliflora* D.C.). In: Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira, 5, Belo Horizonte-MG, p.225-234, 1995.

PANSHIN, A. J.; DE ZEEUW, C. **Textbook of wood technology**. 4 ed. New York: 1980. 722p

POEPPIG, E. **Nova Genera ac Species Plantarum**: in regno chilensi peruviano et in terra amazonica. Lipsiae, Germany: Frederici Hofmeister, 1845.

REITZ, R.; KLEIN, R. M.; REIS, A. **Projeto madeira do Rio Grande do Sul**. Governo do Estado do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1988. 528p.

RUSCHEL, A. P.; GUERRA, M. P.; MOERSCHBACHER, B. M.; NODARI, R. O. Valuation and characterization of the timber species in remnants of the Alto Uruguay River ecosystem, southern Brazil. **Forest Ecology and Management**, vol. 217, p. 103–116, 2005.

RUSCHEL, A. P.; NODARI, R. O.; MOERSCHBACHER, B. M. Woody plant species richness in the Turvo State park, a large remnant of deciduous Atlantic forest, Brazil. **Biodiversity and Conservation**, vol. 16, p. 1699–1714, 2007.

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

SANTOS, E. **Nossas madeiras**. Belo Horizonte: Itatiaia. 1987

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

SILVA FILHO, D. F.; ROCHA, J. S.; MOURA, J. B.; Influência da densidade na dureza janka em oito espécies madeireiras da Amazônia central. **Revista Acta Amazonica**, v.22(2), p.275 – 283, 1992.

SIMINSKI, A. **A floresta do futuro: conhecimento, valorização e perspectivas de uso das formações florestais secundárias no estado de Santa Catarina**. 2009. Tese (Doutorado em Recursos Genéticos Vegetais) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

SOUZA, M. H.; MAGLIANO, M. M.; CAMARGOS, J. A. A. **Madeiras tropicais brasileiras**. Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. Laboratório de Produtos Florestais, 1997.

STANDLEY, P. C. **Flora of Costa Rica**. Vol XVIII. Chicago: Field Museu of Natural History, 1937.

TOMASELLI, I.; BINDER, J. E. Dificuldades na determinação da dureza Janka e sugestões para melhoramentos na precisão. **Revista Floresta**, v. 12 (1), Junho, 1981.

TOMAZELLO FILHO, M. **Variação da densidade básica e da estrutura anatômica da madeira do *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus grandis***. IPF, n. 29, p 37-45, 1985.

USDA – United States Department of Agriculture. **Wood Handbook: wood as an engineering material**. Agriculture Handbook no. 72, Washington, DC, 1987.

VITAL, B. R. **Métodos de determinação da densidade da madeira**. Viçosa, MG: Sociedade de investigações florestais, 1984. 21p. (Boletim Técnico, 1).

WEBSTER, G. L. **Annals of the Missouri Botanical Garden**. Vol. 81, n. 1. St. Louis, 1994.

7 APÊNDICE

Apêndice A – Imagens da madeira de *Tetrorchidium rubrivenium*:

Corte da árvore (A), detalhes do disco recém cortado (B), discos de todas as posições de uma árvore (C), características visuais da madeira e serragem (D).

