

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL

VALORIZAÇÃO TECNOLÓGICA DA MADEIRA DE *Tachigali vulgaris*
PROVENIENTE DE PLANTIOS DE DOIS SÍTIOS DISTINTOS
LOCALIZADOS NO ESTADO DO AMAPÁ

JORGE BRENO PALHETA ORELLANA

ORIENTADOR: JOAQUIM CARLOS GONÇALEZ

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

BRASÍLIA/DF: MAIO – 2015

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

“VALORIZAÇÃO TECNOLÓGICA DA MADEIRA DE TACHIGALI
VULGARIS PROVENIENTE DE PLANTIOS DE DOIS SÍTIOS DISTINTOS
LOCALIZADOS NO ESTADO DO AMAPÁ”

JORGE BRENO PALHETA ORELLANA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO ACADÊMICO SUBMETIDA AO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS, DO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL, DA FACULDADE DE
TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, COMO PARTE DOS
REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE.

APROVADA POR:



Profº Dr. JOAQUIM CARLOS GONÇALEZ (Departamento de Engenharia
Florestal-EFL/UnB);
(Orientador)



Profº Dr. ALEXANDRE FLORIAN DA COSTA (Departamento de Engenharia
Florestal-EFL/UnB);
(Examinador Interno)



Profº Dr. NEWTON JORDÃO ZERBINI (Belo Monte Transmissora de
Energia/Eletronorte);
(Examinador Externo)

Profº Dr. AILTON TEIXEIRA DO VALE (Departamento de Engenharia
Florestal-EFL/UnB).
(Examinador Suplente)

Brasília-DF, 28 de maio de 2015.

FICHA CATALOGRÁFICA

Ov Orellana, Jorge Breno Palheta
Valorização tecnológica da madeira de *Tachigali vulgaris* proveniente plantios de dois sítios distintos localizados no estado do Amapá. / Jorge Breno Palheta Orellana; orientador Joaquim Carlos Gonzalez. -- Brasília, 2015.
74 p.

Dissertação (Mestrado - Mestrado em Ciências Florestais) -- Universidade de Brasília, 2015.

1. tachi-branco. 2. floresta plantada. 3. ecossistemas. 4. propriedades da madeira. 5. usos. I. Gonzalez, Joaquim Carlos, orient. II. Título.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ORELLANA, J.B.P. (2015). Valorização tecnológica da madeira de *Tachigali vulgaris* proveniente plantios de dois sítios distintos localizados no estado do Amapá. Dissertação de Mestrado, Publicação PPG EFL. DM-256/2015, Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, DF, 74p.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Jorge Breno Palheta Orellana.

TÍTULO: Valorização tecnológica da madeira de *Tachigali vulgaris* proveniente plantios de dois sítios distintos localizados no estado do Amapá.

GRAU: Mestre

ANO: 2015

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte dessa dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter me concedido a vida, além do amor incondicional e apoio recebido de meus pais e familiares, estando sempre presente no meu desenvolvimento pessoal e profissional.

A minha amada esposa Bruna Bárbara Maciel Amoras Orellana, por estar ao meu lado em todas as ocasiões, partilhando sua vida comigo a quase 15 anos e ter dado significativa contribuição para que pudéssemos enfrentar este desafio do mestrado em Brasília com sucesso.

Ao amigo e orientador Dr. Joaquim Carlos Gonzalez, por todos os ensinamentos transmitidos, pela paciência, solidariedade e parcerias incondicionais ofertadas a mim, cujas quais contribuíram de forma significativa para meu desenvolvimento profissional, e irão me acompanhar por toda vida.

Ao Departamento de Engenharia Florestal da UnB, especialmente aos professores Dr. Ailton Teixeira do Vale, Dr. Reginaldo Sérgio Pereira e ao amigo Francisco Cesar Borges Silva (secretário de pós-graduação), por toda parceria firmada ao longo do curso.

À CAPES pela bolsa de estudos concedida, cuja qual foi primordial para nossa estadia em Brasília e realização deste trabalho.

A Embrapa Amapá, nas pessoas dos pesquisadores Dr. Jorge Segovia, Dr. Marcelino Carneiro Guedes, Dr. Rogério Mauro e Dr. Nagib Melém, pela significativa contribuição institucional e pelo auxílio com as atividades de campo.

Ao Serviço Florestal Brasileiro, em especial aos amigos Dr. Alessandro e Dr. Divino, pela ajuda incondicional na realização deste trabalho.

Aos amigos Roseli Matos e Nilson Borges, que sempre nos apoiaram nesta jornada acadêmica e profissional, e em especial a jovem memória da amiga Roselina de Araújo Correa, que teve sua vida interrompida antes da conclusão de seu mestrado em gestão pública.

A todos os colegas de curso, de profissão e do mercado de trabalho, que contribuíram para o desenvolvimento desta pesquisa, em especial ao Pablo Cantuária, Tadeu Beltrão, Atul Suresh, Clara Concha e Mayara Machado. Meu eterno agradecimento a vocês.

À Sr^a. Sulene Santos por ter cedido o plantio de sua propriedade como área de estudo, e aos demais moradores do assentamento Piquiazal que contribuíram no trabalho de campo.

Com muito orgulho agradeço à Universidade de Brasília pela oportunidade de ter desenvolvido este trabalho e pela obtenção do título.

Por fim, agradeço imensamente a todos os amigos e familiares que alguma forma contribuíram e que torceram por esta conquista.

RESUMO

VALORIZAÇÃO TECNOLÓGICA DA MADEIRA DE *Tachigali vulgaris* PROVENIENTE PLANTIOS DE DOIS SÍTIOS DISTINTOS LOCALIZADOS NO ESTADO DO AMAPÁ

A espécie *Tachigali vulgaris* conhecida como tachi-branco ou carvoeiro, é uma leguminosa tropical de rápido crescimento, com um bom rendimento em plantios florestais, direcionada para usos energéticos. A caracterização tecnológica da madeira define melhor o conhecimento de sua qualidade permitindo o uso racional desta matéria prima, potencializando a sua utilização em diversos segmentos industriais. Este trabalho objetou caracterizar a madeira de tachi-branco (*Tachigali vulgaris*), através da análise das suas propriedades físicas, químicas e mecânicas, proveniente de plantios de dois sítios distintos, localizados Estado do Amapá, visando o uso múltiplo da madeira. As coletas foram realizadas em dois plantios experimentais de *T. vulgaris*, localizados em ecossistemas diferentes, cerrado e terra firme, pertencentes a Embrapa/Amapá. Após a realização do inventário florestal, as árvores foram classificadas em três classes diamétricas (classe 1: 6,0-17,0cm; classe 2: 17,5-29,0cm) e classe 3: 29,5-37,0cm). Sorteou-se, ao acaso, 8 árvores de cada classe, totalizando 24 árvores abatidas de cada ecossistema. As toras foram desdobradas em corpos-de-prova em três tamanhos distintos e foram utilizados para as análises químicas (lignina e extrativos), determinação das propriedades físicas (densidade básica e retratibilidades) e propriedades mecânicas (flexão estática), além dos ensaios não destrutivos (ondas ultrassônicas, *stress wave* e colorimetria). Os resultados mostram que a nível macro das áreas de estudo, o ecossistema parece não ter influenciado de forma significativa na maioria das propriedades tecnológicas da madeira de tachi branco. No entanto, quando se faz a repartição das árvores em classes de diâmetro, dentro de cada ecossistema, tem que se tomar cuidado em analisar cada propriedade, pois poderá haver influência do diâmetro da árvore em determinada propriedade. Esta espécie possui cloração marrom claro, densidade e retratibilidades médias, além de resistências também médias quanto aos módulos de elasticidade e de ruptura em flexão estática. A técnica de *stress wave*, mostrou estimativas do módulo de elasticidade dinâmico mais próximo do módulo de elasticidade estático determinado em flexão estática. A madeira de *Tachigali vulgaris* (tachi branco), utilizada em plantios homogêneos, independente do ecossistema, mostra potencial para ser usada nos segmentos industriais de móveis, produção de lâminas, construções leves, utensílios, embalagens e revestimentos internos (forro e lambri). Recomenda-se o incentivo e apoio governamental em seus programas de desenvolvimento florestal aos proprietários de pequeno e médio porte com esta espécie.

Palavras-chave: tachi-branco, floresta plantada, ecossistemas, propriedades da madeira, usos.

ABSTRACT

VALUATION TECHNOLOGY OF *Tachigali vulgaris* WOOD FROM TWO DIFFERENT PLANTATIONS SITES LOCATED IN THE STATE AMAPÁ

The *Tachigali vulgaris* species known as tachi-branco or coal, is a tropical legume rapid growth, with a good performance in forest plantations, directed to energy uses. Technological characterization of wood best describes the knowledge of quality allowing the rational use of this raw material, enhancing its use in various industries. This work objected to characterize wood tachi-branco (*Tachigali vulgaris*), through the analysis of their physical, chemical and mechanical properties, from planting two different sites, located state of Amapá, targeting the multiple use of wood. Samples were collected in two experimental plantings of *T. vulgaris*, located in different ecosystems, savannah and land belonging to Embrapa /Amapá. After conducting the forest inventory, trees were classified into three diameter classes (Class 1: 6,0-17,0cm; Class 2: 17,5-29,0cm) and Class 3: 29,5-37,0cm) . It has drawn, at random, eight trees of each class, totaling 24 trees felled each ecosystem. The logs were deployed in bodies of the test piece in three different sizes and were used for chemical analysis (lignin and extractives), determination of the physical properties (basic density and retractability) and mechanical properties (static bending), in addition to non-destructive testing (ultrasonic waves, stress wave and colorimetry). The results show that the macro level of the study areas, the ecosystem seems to have influenced significantly in most of the technological properties of the white tachi wood. However, when it makes the distribution of trees in diameter classes within each ecosystem, it has to be taken care of analyzing each property as there could be influence of tree diameter in certain property. This species has light brown color, density and medium retractabilities, and also media resistance as the modulus of elasticity and rupture in static bending. The stress wave technique, showed estimates the nearest dynamic modulus of elasticity Static modulus of elasticity determined in static bending. Wood *Tachigali vulgaris* (tachi-branco), used in homogeneous stands, regardless of the ecosystem, shows potential for use in industrial segments of furniture, production of blades, light buildings, utensils, containers and liners (liner and wainscoting). It is recommended incentives and government support in their forest development programs for small and medium-sized owners with this species.

Keywords: tachi-white, planted forest ecosystems, wood properties, uses.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
3. HIPÓTESE	13
4. REVISÃO DE LITERATURA	14
4.1. A Espécie <i>Tachigali vulgaris</i>	14
4.2. Propriedades da Madeira	16
4.3. Química da Madeira	17
4.4. Propriedades Físicas	19
4.4.1. <i>Densidade</i>	19
4.4.2. <i>Retratibilidade</i>	19
4.5. Propriedades Mecânicas	20
4.5.1. <i>Flexão Estática</i>	20
4.6. Propriedades da Madeira por Métodos não Destrutivos	21
4.6.1. <i>Colorimetria</i>	22
4.6.2. <i>Ultrassom</i>	23
4.6.3. <i>Stress Wave</i>	25
3.7 Influência do Sítio nas Propriedades da Madeira	26
5. MATERIAL E MÉTODOS	27
5.1. Descrição das Áreas de Coleta	27
5.2. Classificação Diamétrica das Árvores e Retirada das Pranchas	28
5.3. Preparação dos Corpos-de-Prova	29
5.4. Análise Química	30
5.4.1. <i>Teor de Lignina</i>	30
5.4.2. <i>Teor de Extrativos</i>	31
5.5. Propriedades Físicas (Densidade Básica e Retratibilidade)	32
5.6. Propriedade Mecânica (Flexão Estática – MOE e MOR)	34
5.7. Ensaio não Destrutivos	35
5.7.1. <i>Ultrassom</i>	35
5.7.2. <i>Stress wave</i>	36
5.7.3. <i>Colorimetria</i>	37
5.8. Análise Estatística	37
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
6.1. Teor de Lignina e Extrativos	38
6.2. Densidade Básica e Retratibilidade	42

6.3. Colorimetria	48
6.4. Ensaio Ultrassom e <i>Stress wave</i>	54
6.5. Flexão Estática (MOR e MOE)	57
7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	61
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	63
ANEXO 1 - Tabela das análises físico-químicas do solo nos dois plantios.....	74

LISTA DE TABELAS

Tabela 5.1. Classificação diamétrica das árvores nos ecossistemas.....	29
Tabela 6.1. Médias e desvio-padrão dos parâmetros químicos por classe diamétrica no plantio de cerrado.....	39
Tabela 6.2. Médias e desvio-padrão dos parâmetros químicos por classe diamétrica no plantio de terra-firme.....	39
Tabela 6.3: Valores médios de densidade básica e retratibilidade radial, tangencial e volumétrica nos dois ecossistemas estudados.....	42
Tabela 6.4: Análise de variância da densidade básica (Db), retratibilidade radial (Rrd), retratibilidade tangencial (Rtg) e retratibilidade volumétrica (Rv) por classe diamétrica.....	45
Tabela 6.5: Médias da densidade básica (Db), retratibilidade radial (Rrd), retratibilidade tangencial (Rtg) e retratibilidade volumétrica (Rv) por classe diamétrica.....	45
Tabela 6.6: Correlações entre densidade básica (Db) e retratibilidades radial (Rrd), tangencial (Rtg) e volumétrica (Rv) nos plantios de cerrado e terra-firme..	48
Tabela 6.7: Médias dos parâmetros colorimétricos nas faces radial e tangencial da madeira nas áreas de cerrado e terra-firme.....	49
Tabela 6.8: Médias dos parâmetros colorimétricos por classe diamétrica nos plantios de cerrado e terra-firme.....	50
Tabela 6.9: Valores médios, coeficiente de variação e desvio padrão dos parâmetros de <i>stress wave</i> e ultrassom.....	54
Tabela 6.10: Análise de variância para os resultados dos ensaios de <i>stress wave</i> e ultrassom nos ecossistemas de cerrado e terra-firme.....	56
Tabela 6.11: Análise de variância para os resultados dos ensaios de <i>stress wave</i> e ultrassom nos ecossistemas de cerrado e terra-firme.....	57
Tabela 6.12: Valores médios, coeficiente de variação e desvio-padrão do Módulo de Ruptura (MOR) e Módulo de Elasticidade Estático (MOE) nos plantios de cerrado e terra-firme.....	57
Tabela 6.13: Análise de variância do MOR e MOE em flexão estática para as duas áreas estudadas.....	58
Tabela 6.14: Valores médios do MOR e MOE em flexão estática para as três classes de diâmetros e para as duas áreas estudadas.....	59
Tabela 6.15: Correlações entre <i>stress wave</i> e flexão estática nos plantios de cerrado e terra-firme.....	59

Tabela 6.16: Correlações entre ultrassom e flexão estática nos plantios de cerrado e terra-firme.....	60
---	----

LISTA DE FIGURAS

Figura 5.1: Plantios de <i>Tachigali vulgaris</i> em ecossistema de terra-firme (1) e cerrado (2).....	27
Figura 5.2: Retirada das pranchas para confecção dos corpos-de-prova.....	29
Figura 5.3: Ensaio para determinação do teor de extrativos.....	32
Figura 5.4: Saturação e secagem dos corpos de prova	32
Figura 5.5: Máquina utilizada no ensaio de flexão estática.....	34
Figura 5.6: Ensaio de colorimetria no espectrofotômetro.....	37
Figura 6.1. Teores de lignina em função da densidade básica da madeira de tachi-branco em plantio de cerrado.....	40
Figura 6.2. Teores de lignina em função da densidade básica da madeira de tachi-branco em plantio de terra-firme.....	41
Figura 6.3. Teor de extrativos em função da densidade básica da madeira de tachi-branco nos plantios de cerrado (A) e terra-firme (B).....	42
Figura 6.4: Relação entre densidade básica e retratibilidade radial (Rrd), tangencial (Rtg) e volumétrica (Rv) nos plantios de cerrado (esquerda) e terra-firme (direita).....	47
Figura 6.5: Curva de reflectância por plantio, em função do comprimento de onda.....	51
Figura 6.6: Curva de reflectância por classes diamétricas no plantio de cerrado, em função do comprimento de onda.....	52
Figura 6.7: Curva de reflectância por classes diamétricas no plantio de terra-firme, em função do comprimento de onda.....	53

1. INTRODUÇÃO

Na Amazônia, a conservação, o manejo, o uso sustentável dos recursos naturais, o planejamento e ordenamento territorial e a avaliação de impactos ambientais, passam necessariamente pelo conhecimento da biodiversidade, o que tornam enormes as demandas pela informação científica de alta qualidade (PEIXOTO e MORIM, 2003).

No que se refere ao potencial madeireiro e moveleiro brasileiro, deve-se ter em conta que as espécies nativas são fornecedoras de matérias primas pelas suas características físicas, mecânicas, com facilidades de serem transformadas por equipamentos simples e com baixo consumo energético, mostrando-se competitivas em relação aos outros materiais, nas mais diversas aplicações na construção civil e na fabricação de móveis (ZENID, 1997).

Beltrame et al. (2010) afirmam que o desenvolvimento tecnológico no uso da madeira como material estrutural cresceu substancialmente nas últimas décadas, aumentando sua utilização para diversos fins, além do surgimento de novos produtos e subprodutos a base de madeira.

Entretanto, segundo Brasil (2006), há um desequilíbrio cada vez mais acentuado entre a demanda e a oferta de produtos florestais de espécies nativas que invariavelmente advém da exploração de recursos naturais, pois não há produção significativa proveniente de plantações estabelecidas com estas espécies. Assim, é consenso que esse desequilíbrio poderá ser solucionado pela oferta de produtos originados de plantações florestais e agroflorestais baseadas em espécies nativas.

Na Amazônia, plantios experimentais pioneiros com espécies tropicais nativas começaram a ser desenvolvidos na década de 50 com o objetivo de produzir celulose e fornecer lenha e carvão vegetal para siderurgias da região. Contudo, Lima (2012) afirma que plantações comerciais, principalmente de espécies nativas, na região Amazônica ainda são modestas, considerando as dimensões das áreas plantadas em relação às áreas degradadas passíveis de serem incorporadas ao processo produtivo.

Um dos fatores que é primordial para a obtenção de uma madeira com boa qualidade e boas propriedades físicas e mecânicas em plantios florestais é a escolha do sítio. Assim, com base no efeito das diferenças de qualidade dos sítios nas propriedades

tecnológicas da madeira e de acordo com a finalidade do plantio, justificam-se, em muitos casos, grandes investimentos técnicos e econômicos no manejo florestal para se conseguir ganhos de produtividade (GONÇALVES et al.,1990).

Na avaliação da qualidade da madeira podem ser empregados diversos métodos. A avaliação não-destrutiva, devido ao baixo custo dos equipamentos, rapidez e praticidade dos testes, tornou-se uma importante ferramenta na determinação das propriedades físicas e mecânicas da madeira.

As propriedades mecânicas definem o comportamento da madeira quando submetida a esforços de natureza mecânica permitindo compará-la com outras madeiras de propriedades conhecidas e por analogia indicar as provas adicionais necessárias para conhecer sua utilização (STANGERLIN et al., 2008a).

Araújo (2002) afirma que dentre as propriedades físicas mais importantes da madeira estão a densidade e a retratibilidade (contração e inchamento em função do teor de umidade da madeira), e entre as propriedades mecânicas estão a flexão estática.

Segundo Autran (2006) essas propriedades são determinadas por meio de ensaios de laboratório, realizados seguindo normas que especificam métodos e procedimentos para realização de testes em corpos-de-prova de dimensões estabelecidas.

2. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho consistiu na caracterização da madeira de tachi-branco (*Tachigali vulgaris*), através da análise das suas propriedades físicas, químicas e mecânicas, proveniente plantios de dois sítios distintos, localizados Estado do Amapá.

3. HIPÓTESE

A madeira de tachi-branco (*Tachigali vulgaris*), proveniente de plantios localizados no Estado do Amapá, independente do ecossistema de origem, tem potencial para usos múltiplos.

4. REVISÃO DE LITERATURA

4.1. A Espécie *Tachigali vulgaris*

Entre as espécies de potencial para múltiplo uso da Amazônia tem-se *Tachigali vulgaris*, também identificada como tachi-branco, carvoeiro, tachi-do-campo (CAMPOS FILHO, 2009). Segundo Lorenzi (1992) é uma planta rústica e apresenta bom potencial de crescimento nas regiões tropicais, sendo recomendada para reflorestamentos heterogêneos em áreas degradadas.

De acordo com Silva e Lima (2007) entre os gêneros de leguminosas arbóreas neotropicais, *Tachigali* e *Sclerolobium* destacam-se pela elevada riqueza de espécies e pela abundância em ambientes de margens de rios e em formações florestais em regeneração. Embora nas últimas revisões tenham sido considerados distintos e reconhecidas respectivamente 23 e 34 espécies, a delimitação genérica mostrava-se ainda bastante imprecisa. Neste contexto, foi aceita a expansão do conceito genérico de *Tachigali* para incluir espécies com hipanto cupular com estípite aderido ao fundo. Assim, o resultado da revisão nomenclatural efetuada em *Tachigali*, foi a transformação do *Sclerolobium paniculatum* para *Tachigali vulgaris*.

Lorenzi (1992) menciona ainda que o habitat desta espécie é a mata de transição, matas ciliares do cerrado, cerrado denso e cerradão, sendo também comum em áreas recém desmatadas. O autor a considera uma árvore de rápido crescimento devido à formação de nódulos de micorrizas em suas raízes, capazes de retirar nitrogênio gasoso do ar e disponibilizá-lo no solo, produzindo anualmente grande quantidade de frutos.

De acordo com Carpanezzi et al. (1983), trata-se de uma espécie que tem apresentado um comportamento silvicultural extremamente promissor em plantios experimentais, fato que é reforçado pelas suas características ecológicas: é uma espécie pioneira, agressiva, aparecendo em ampla faixa de condições climáticas e edáficas.

Lima (2004) menciona que esta espécie tem sido testada em ensaios comparativos na Amazônia há mais de 25 anos. Os resultados desses experimentos têm indicado a espécie como promissora para produção de lenha e energia, porém seus plantios comerciais ainda são incipientes. Apesar de a espécie ocorrer em uma larga faixa de condições edafoclimáticas, é preciso conhecer os fatores de clima, solo e as

interações que estão relacionados à maior produtividade da espécie, e como estes fatores interagem.

Quanto a sua adaptação, segundo o mesmo autor, analisando o crescimento do *Tachigali vulgaris* em diferentes sítios na Amazônia, verificou que as classes de textura e a densidade dos solos nos diferentes sítios, são variáveis físicas importantes para determinar a melhor combinação sítio-espécie. Solos com textura argilosa a muito argilosa favorecem ao melhor desempenho desta espécie. O autor concluiu ainda que não se detectou nenhum fator climático que restrinja seriamente o crescimento da espécie nos cinco sítios analisados na Amazônia.

Dentre as características da madeira de *Tachigali vulgaris* tem-se uma superfície irregularmente lustrosa, com textura média e grã reversa. A madeira é de baixa resistência natural ao apodrecimento (CARVALHO, 2005). É uma madeira moderadamente densa (0,65 a 0,81 g/cm³), a 15% de umidade (PAULA, 1980). A massa específica básica varia entre 0,60 a 0,74 g/cm³ (TOMASELLI et al., 1983; MOREIRA et al., 2000; VALE et al., 2001). O alburno é de coloração bege-amarelo-claro, pouco diferenciado do cerne. O cerne tem cor amarelo-claro-oliváceo, irregular (CARVALHO, 2005).

Mochiutti et al. (1999) afirmam que madeira produzida pelo *S. paniculatum* (antes assim chamado) tem características similares a madeira de eucalipto, quanto ao poder calorífico e ao rendimento de peso e volume no processo de carbonização. Esta é uma das vantagens da utilização desta espécie para a recuperação de solos, pois no final do período de pousio, o agricultor poderá obter bons rendimentos econômicos com a venda da lenha ou carvão, além de recuperar a área para novos cultivos.

Desse modo, a madeira do taxi-branco é usada, principalmente, na confecção de mourões, esteios, na construção civil e em embalagens. Troncos novos, geralmente retos, são usados como caibros (JENRICH, 1989). Além disso, possui grande aptidão para produção de carvão vegetal, lenha e álcool, sendo também recomendada para arborização de parques e rodovias. Seu potencial para uso comercial está relacionado com o rápido crescimento (com incrementos anuais de 2,5 m em altura e 3,4 cm em diâmetro) em plantios a pleno sol e seu crescimento é monopodial (CARVALHO, 2005). Estudos indicam que a espécie possui papel importante na dinâmica da

comunidade vegetal (FELFILI et al., 1999; FRAN CZAK et al., 2011; SOLÓRZANO et al., 2012).

4.2. Propriedades da Madeira

Em razão de suas boas propriedades físicas e mecânicas, a madeira vem sendo empregada para os mais variados fins e, com a possibilidade de escassez dos recursos minerais não-renováveis, é provável que, futuramente, seja a principal fonte de matéria-prima para a construção civil, fabricação de móveis e casas. O conhecimento das propriedades físicas e mecânicas da madeira é uma importante base tecnológica para a utilização racional desse material, a fim de atender às normas de segurança e durabilidade (STANGERLIN, 2008b).

Considerando a alta diversidade de espécies na Amazônia, características tecnológicas possibilitam agrupar madeiras em função de suas propriedades físicas, mecânicas e tecnológicas, identificando aquelas com possibilidades de substituir as madeiras tradicionais nas diversas utilizações (ARAUJO, 2002).

Assim, o conhecimento das propriedades físicas e mecânicas das madeiras é fundamental para definir adequadamente as aplicações a que serão destinadas e dimensionar, com segurança, as partes componentes de uma estrutura com esse material. Combinados a outros fatores (resistência à degradação biológica e abiótica, facilidade de processamento com ferramentas, valor econômico de mercado, estético, etc.), os parâmetros dessas propriedades permitem que as madeiras sejam classificadas em usos a que se mostram mais apropriadas, como, por exemplo, peças estruturais, ambientes internos e externos de habitações, móveis, painéis e embalagens (ARAUJO, 2007).

Latorraca et al. (2000) observaram que as propriedades da madeira variam conforme o crescimento da árvore, com a ressalva de que a porção da madeira correspondente aos primeiros anéis formados apresenta menor massa específica e fibras mais curtas, entre outras características, ou seja, a diferença entre lenho juvenil e adulto. Verificaram que há aumento da massa específica, bem como da espessura da parede celular em anéis sucessivos, a partir do centro para a periferia do tronco da árvore, no sentido medula-casca. Também foi verificado que a densidade tende a aumentar com a

idade, com conseqüente aumento da espessura da parede celular e diminuição da largura das células.

Tradicionalmente, a caracterização das propriedades da madeira é feita por meio da avaliação destrutiva de corpos-de-prova amostrados e especificamente preparados para esse fim. Essa prática pode introduzir variabilidade adicional nos resultados em função de fatores como amostragem inadequada ou problemas na confecção do corpo-de-prova (CUNHA e MATOS, 2010). Entretanto, descobriu-se que é possível uma caracterização eficaz por meio de métodos não destrutivos, nos quais não é necessária a extração de corpos-de-prova, pois a avaliação é feita na própria peça ou estrutura (ROSS et al., 1998).

Ainda nesse sentido, Stangerlin et al. (2008b) afirmam que a obtenção dos resultados a partir de avaliações destrutivas é, por vezes onerosa, em razão do tempo consumido com a confecção dos corpos-de-prova e custo de material. Por sua vez, as avaliações não-destrutivas permitem a obtenção de informações mais precisas e mais amplas, medindo-se um número maior de amostras, em função da rapidez dos testes.

Logo, os avanços tecnológicos têm permitido melhorar o aproveitamento das propriedades da madeira e de seus derivados, criando novos produtos e ampliando sua aplicação, o que possibilitará que a madeira seja um material ainda mais versátil e empregado, já que seu aproveitamento não danifica o meio ambiente (OLIVEIRA, 2005).

4.3. Química da Madeira

Quimicamente, a madeira é melhor definida como um biopolímero tridimensional, formado por celulose, hemicelulose e lignina, e uma menor quantidade de extrativos e materiais inorgânicos. A substância química mais abundante numa árvore viva é a água, mas na madeira em base seca, toda a parede celular da madeira é formada por polímeros de açúcares (carboidratos, 65 a 75%), que são combinados com a lignina (18 a 35%) (ROWELL et al, 2005).

A constituição química elementar compreende a formação essencialmente orgânica da madeira, sendo fundamental para entender seu comportamento quanto ao processo de combustão. É composta por 50% de carbono, 44% de oxigênio, 6% de

hidrogênio e 0,4% de nitrogênio (CORDER, 1973; BARRICHELO, 1979; BRITO, 1994; QUIRINO et al., 2005).

Os polissacarídeos, ou holocelulose, compreendem a fração total dos carboidratos da madeira livre de extrativos. Juntamente com a lignina, são os principais componentes da madeira. Os polissacarídeos compreendem a celulose e as hemicelulose (PEREIRA et al., 2000). A celulose é o principal constituinte da parede celular dos vegetais e o composto orgânico mais comum na natureza.

A lignina, o segundo material mais abundante no reino vegetal, é uma substância química que confere rigidez à parede celular e atua como um composto de ligação da celulose e polioses, gerando uma estrutura resistente a impacto, compressão e dobra. Pelo decréscimo que causa na permeação de água por meio das paredes das células dos tecidos condutores do xilema, a lignina tem uma função importante no intrincado transporte interno de água, nutrientes e metabólitos (PHILIPP e D'ALMEIDA, 1988).

Ligninas são amorfas, altamente complexas, ligadas quimicamente às hemiceluloses, e, em alguns casos, formam um complexo lignina-carboidrato que são resistentes à hidrólise mesmo em condições de polpação. Não existem evidências de que a lignina se associe à celulose (ROWELL et al., 2005).

Ainda segundo Rowell et al. (2005), em relação aos extrativos, o autor explica que são compostos químicos da parede celular, geralmente formados a partir de graxas, ácidos graxos, álcoois graxos, fenóis, terpenos, esteróides, resinas ácidas, resinas, ceras, e alguns outros tipos de compostos orgânicos. Estes compostos existem na forma de monômeros, dímeros e polímeros. Em geral, as coníferas têm mais extrativos que as folhosas. A maioria dos extrativos, tanto nas coníferas como nas folhosas, está localizada no cerne (sem considerar a casca), e alguns são responsáveis pela cor, odor e durabilidade da madeira.

Apesar do baixo teor de extrativos em relação aos demais componentes, sua presença pode influir na escolha da madeira para determinados fins, como os extrativos que interferem na cor da madeira e conseqüentemente em seu valor estético. Ou ainda os compostos aromáticos que impedem o ataque da madeira por fungos e insetos; ou os taninos e resinas que interferem negativamente nos processos de hidrólise da madeira ou de produção da polpa (SANTOS, 2008).

4.4. Propriedades Físicas

Junto com as propriedades químicas, as propriedades físicas são de suma importância para se conhecer uma madeira e suas possibilidades enquanto matéria-prima para a produção industrial. A caracterização física é um passo importante para definir a utilização final da madeira e, dentre as características físicas que devem ser determinadas invariavelmente está a densidade, cuja variação tem influência nas contrações e nas resistências mecânicas da madeira (RAZERA NETO, 2005).

4.4.1. Densidade

Segundo Shioyama (1990), a densidade é uma quantificação direta do material lenhoso por unidade de volume, estando relacionada a muitas propriedades e características tecnológicas fundamentais para a produção e utilização dos produtos florestais, um dos parâmetros mais importantes entre as diversas propriedades físicas da madeira, pois afeta todas as demais propriedades desta. Seus efeitos, porém, são interativos e difíceis de serem avaliados isoladamente.

Dessa forma, a densidade da madeira é um forte indicador de qualidade e uma característica complexa resultante da combinação de diversos fatores. Ela varia entre as espécies, dentro de uma mesma espécie e até dentro de uma mesma árvore nos sentidos radial e axial, sendo influenciada por fatores internos (i.e. posição no tronco, proporção de madeira adulta e juvenil, proporção de cerne e alburno) e externos (local de crescimento, condições climáticas e métodos silviculturais) (CHAUHAN et al., 2006).

Bowyer et al. (2003) relatam que a densidade da madeira tem grande variação, por causa de inúmeros fatores, entre os quais: condição do solo, localização geográfica e fonte genética. Cita também que o teor de extrativos varia de menos de 3% a mais de 30% do peso seco da madeira tendo por isso grande influência na densidade.

Segundo Braz et al. (2014), a densidade da madeira também pode ser considerada como um bom indicador das propriedades de resistência da madeira, colaborando na interpretação do comportamento de uma árvore sujeita à ação de ventos.

4.4.2. Retratibilidade

De acordo com Oliveira (1997), retratibilidade da madeira é o fenômeno decorrente da variação dimensional, em função da troca de umidade da madeira com o

meio que a envolve. Ocorrendo somente abaixo do ponto de saturação de fibras, pois a umidade responsável pela retratibilidade está localizada nas paredes celulares.

Ainda segundo o autor, todo material higroscópico, como a madeira e vários outros materiais celulósicos, apresenta contração quando o seu teor de umidade do ponto de saturação das fibras (psf) é reduzido até à condição absolutamente seca ou anidra. A contração e a expansão higroscópica da madeira são dois dos mais importantes problemas práticos que ocorrem durante a sua utilização, como consequência da mudança do teor de umidade. A magnitude das variações dimensionais depende de inúmeros fatores, como o teor de umidade, a direção estrutural (radial, tangencial ou longitudinal), a posição dentro da árvore, a densidade da madeira, a temperatura, o grau de estresse de secagem causada pelo gradiente de umidade, entre outros.

Severo (1998) diz que sendo a madeira um material anisotrópico é mais importante ter conhecimento das variações lineares, das dimensões nas diferentes direções, do que a variação volumétrica total da madeira.

4.5. Propriedades Mecânicas

4.5.1. Flexão Estática

Sabe-se que as propriedades mecânicas da madeira são dependentes, principalmente, da densidade básica, da porcentagem de madeira juvenil, da largura dos anéis, do ângulo das microfibrilas, da inclinação da grã, da quantidade de extrativos, do teor de umidade, da intensidade ao ataque de insetos, do tipo e da localização e quantidade de nós, dentre outros fatores (EVANS et al., 2000).

Stangerlin et al. (2010) também descrevem sobre os fatores que podem influenciar as propriedades mecânicas da madeira, dentre as quais cita-se: a forma e as dimensões das peças, o ângulo de inclinação das fibras, a massa específica, o teor de umidade, a temperatura, as propriedades anatômicas, a composição química e a deterioração do material.

Dentre os ensaios mecânicos realizados para avaliação da qualidade da madeira pode-se destacar a flexão estática. Segundo Moreschi (2010), a propriedade mecânica de flexão estática se refere ao comportamento que a madeira possui ao ser submetida a

uma carga aplicada em sua face tangencial, com o objetivo de provocar seu flexionamento. Para fins práticos, a madeira, até determinado ponto, apresenta uma característica elástica, onde se cessarmos a força que a deforma, ela ainda apresenta capacidade de voltar ao seu estado original. A partir do ponto em que a madeira deixa de ser elástica, ela passa a ser plástica. Ou seja, ela não apresenta mais a capacidade em retornar ao seu estado original, mesmo quando a força que a deforma é cessada.

O módulo de elasticidade (MOE) é obtido com a aplicação de uma carga com velocidade constante, sendo seu valor o limite em que a madeira volta ao seu estado normal quando a carga é retirada, sem que haja qualquer deformação permanente. O módulo de ruptura (MOR) é o valor a partir do ponto em que, após ser submetida a um valor extremo de carga, a madeira deforma e não volta ao seu estado original (FPL, 1999).

4.6. Propriedades da Madeira por Métodos não Destrutivos

A avaliação não destrutiva é definida como sendo a ciência de identificar as propriedades físicas e mecânicas de uma peça de determinado material sem alterar suas capacidades de uso final (ROSS et al., 1998).

Diversas são as vantagens dos testes não-destrutivos, tais como segurança, baixo custo, versatilidade (LEE et al., 2011; OLIVEIRA e SALES, 2006), considerável redução do tempo de teste, não são requeridos equipamentos laboratoriais padrões (MACHEK et al., 2001; OLIVEIRA et al., 2005b), e o fácil transporte do equipamento em comparação com as técnicas destrutivas.

Todo método não destrutivo usa alguma forma de propagação de energia através ou em volta de um material para deduzir algumas características importantes do material examinado. Esta energia pode resultar de cargas estáticas ou dinâmicas ou ser geradas por ondas eletromagnéticas ou elásticas (SCHAD et al., 1996).

De acordo com Kabir et al. (2002), avaliação não destrutiva é uma ferramenta importante para a caracterização de madeira e pode ser utilizada industrialmente para melhorar o processo de controle de qualidade, assegurando uma maior uniformidade da matéria-prima e dos seus derivados.

Outra aplicação dos métodos não destrutivos é a avaliação *in situ* de estruturas, ou seja, na avaliação *in loco*, permitindo a sua manutenção ou a reabilitação através de

um mapeamento das zonas degradadas, que permite a avaliação para ser feita a sua integridade estrutural, sem a necessidade de remover parte da estrutura (OLIVEIRA, et al, 2002).

4.6.1. *Colorimetria*

Entre as principais propriedades organolépticas, ou seja as propriedades percebidas pelos sentidos humanos, que têm importância para a identificação e classificação de madeiras, inclui-se a cor (ARAUJO, 2002).

Existem dois métodos para a determinação da cor, o método comparativo e o quantitativo. O método comparativo ou sistema de ordenação de cores mais conhecido é o sistema Munsell que tem como base um atlas de cor que serve para selecionar, medir e comparar a aparência dos objetos. Por sua vez, o método quantitativo mais utilizado é a colorimetria, a ciência da medição da cor (GONÇALEZ et al., 2001).

Segundo Lavisvi et al., (1989) a colorimetria é a medição quantitativa das cores, que permite registrar objetivamente uma cor e de traduzi-la em dados numéricos. Assim, por meio dela, a impressão sensorial cor deixa de ser subjetiva para ser objetiva, podendo ser expressa quantitativamente, de uma forma numérica, pela medição por refletância em espectrofotômetro de um determinado objeto. Uma forma objetiva na colorimetria é possível, desde que se trabalhe com valores normalizados quanto às fontes luminosas, geometrias de observação e sensibilidade média do olho humano.

Os colorímetros já foram os principais aparelhos para análise numérica da cor, por serem portáteis, de fácil manuseio, apresentarem baixo custo de fabricação e permitirem a obtenção direta dos valores das medidas dos componentes cromáticos. Porém estes instrumentos são incapazes de gerar dados de reflectância espectral, e limitam os resultados (GONÇALEZ e MACEDO, 2003). Hoje, com o avanço da tecnologia, os espectrofotômetros se tornaram portáteis e com uma grande redução em seu custo.

Espectrofotômetros medem a quantidade de cada comprimento de onda da luz que uma superfície reflete ou transmite (HOLDSHIP, 2008). São aparelhos que apresentam a curva de reflectância de uma amostra em função do comprimento de onda. O seu princípio de funcionamento consiste em uma luz policromática e difusa que ilumina a amostra e passa por um prisma ou por uma grade e sofre uma difração Os

componentes monocromáticos, então, atingem detectores espectrais, cada um localizado no ponto correspondente ao seu comprimento de onda. Cada um desses detectores manda, para um processador de sinais, o sinal correspondente à energia relativa recebida e o fator de reflectância é, então, registrado e apresentado em forma de gráfico (SILVA, 2004).

A alteração da cor da madeira exposta à luz solar ocorre devido à modificação de grupos cromóforos capazes de absorver a radiação ultravioleta nos comprimentos de onda entre 300 e 700 nanômetros (nm). Existem diferentes relatos sobre a profundidade da degradação e os fatores que afetam a penetração da luz ultravioleta na madeira. A penetração depende da densidade da madeira e da distribuição dos comprimentos de onda da radiação ultravioleta e da luz visível. Assim, madeiras menos densas são menos penetradas por radiação ultravioleta e por comprimentos de ondas curtos (WILLIAMS, 2005).

Assim, a colorimetria vem evoluindo ano a ano, fazendo da propriedade cor um fator chave na qualidade da madeira, podendo ainda ser utilizada, para avaliar propriedades mecânicas (MOR e MOE) de painéis de partículas orientadas de madeira (THOMPSON, 2006) e propriedades físicas e mecânicas de madeira maciça (RIBEIRO, 2009).

4.6.2. *Ultrassom*

As ondas acústicas de frequência superior a 20.000 Hz são chamadas ondas de ultrassom. O método ultrassonoroso apóia-se na análise de propagação de uma onda e sua relação com as constantes elásticas da madeira. As ondas propagam-se com velocidades que dependem da direção de propagação e das constantes elásticas do material (NOGUEIRA e BALLARIN, 2003).

Segundo Oliveira (2001), a sua utilização oferece várias vantagens, incluindo o baixo custo do equipamento em comparação com o das máquinas de classificação automática e é relativamente simples de utilizar, os quais favorecem difusão fácil do método para a indústria da madeira.

Diferentemente de outros sólidos ortotrópicos, a propagação de ondas ultrassônicas em madeiras constitui um fenômeno de considerável complexidade. As constantes de propagação, isto é, a velocidade e os coeficientes de absorção, são

significativamente afetados não somente pela heterogeneidade da composição química, por sua microestrutura, pela irregularidade na disposição dos elementos anatômicos, inerentes à estrutura biológica da madeira, como também por sua natureza higroscópica (CARRASCO e AZEVEDO JR., 2003).

Os fatores que influenciam a propagação de ondas ultrassônicas em madeira são propriedades físicas do substrato, características geométricas da espécie (macro e microestruturas), as condições do meio (temperatura, umidade) e o procedimento utilizado para as medições (frequência e sensibilidade dos transdutores, o seu tamanho, a localização e características dinâmicas do equipamento) (BUCUR e BÖNHKE, 1994).

Os aparelhos de ultrassom baseiam-se no geral, na relação entre a velocidade de propagação de uma onda ultrassônica na madeira e as propriedades mecânicas da peça. O equipamento pode ser usado para classificar lotes de madeira em diferentes categorias de rigidez e para estimar a resistência mecânica de uma peça individual (OLIVEIRA et al., 2005).

Conforme Oliveira et al. (2002), a aplicação e medição consiste no posicionamento de dois transdutores acelerômetro no material a ser avaliado. A onda ultrassônica é introduzida no material por um dos transdutores e gravada pelo outro transdutor, com a leitura de tempo - em microssegundos - realizada pelo próprio instrumento de ultrassom. Os tempos registrados são utilizados para calcular o módulo de elasticidade dinâmico, com base na Equação 01.

$$E_d = \rho \times v^2 \times 10^{-6} \quad \text{Equação (01)}$$

Onde:

E_d : módulo de elasticidade dinâmico (MPa)

ρ : densidade da madeira a 12% umidade (kg/m³)

v : velocidade da onda longitudinal (m/s)

Ainda de acordo com Oliveira et al. (2002), os valores do módulo de elasticidade que se obtém por meio do método de ultrassons são geralmente mais elevados do que os encontrados com a de flexão estática. De acordo com Halabe et al. (1995), isto acontece porque a madeira é um material viscoso, elástico e altamente absorvente a impactos.

Segundo Bucur (2003), as condições para a preparação satisfatória das amostras dependem da magnitude da atenuação da onda ultra-sônica na madeira. Um limite mínimo para o tamanho do corpo-de-prova é necessário, pois a onda ultra-sônica deve possuir a característica de onda plana em um meio infinito.

4.6.3. *Stress Wave*

Entre as diversas técnicas empregadas de classificação de madeira, destaca-se o *Stress Wave*. Esta técnica vem sendo investigada há mais de 30 anos e tem sido utilizada para diversas aplicações na indústria de produtos florestais. É o método acústico mais utilizado, onde as ondas sonoras são geradas a partir de um impacto ou de vibração forçada (PUEHRINGER, 2002), através do choque de um martelo, pêndulo ou outros materiais. A velocidade de propagação de uma onda de tensão induzida e sua atenuação no material são os principais parâmetros analisados nesta técnica (TARGA et al., 2005).

Assim, o *stress wave* baseia-se na teoria de propagação de ondas unidirecionais em uma barra homogênea e elástica. A aplicação de um impacto em umas das extremidades da barra gera uma onda que imediatamente movimenta-se ao longo do comprimento da barra. A onda percorre toda a extensão da barra a uma velocidade constante sendo captada na outra extremidade (GORNIAK e MATOS, 2000), o tempo transcorrido é registrado em microssegundos e utilizado para o cálculo da velocidade de propagação das ondas, conforme Equação 02.

$$V = t/d$$

Equação (02)

Onde:

V: velocidade de propagação das ondas (m/s)

d: distância entre os condutores (m)

t: tempo de propagação das ondas (s)

Este método pode ser empregado para diversas finalidades, entre estas: estimativa de propriedades mecânicas, avaliação do grau de ataque biológico, classificação de lâminas e de madeira, etc. (DEL MENEZZI et al., 2010). Além disso, apresenta algumas vantagens sobre outros métodos acústicos, especialmente no que diz

respeito ao equipamento utilizado nas avaliações que é bem mais simples, portátil, facilitando a avaliação em qualquer local, inclusive no campo, com baixo custo (SHIMOYAMA, 2005).

3.7 Influência do Sítio nas Propriedades da Madeira

Uma árvore é influenciada pelos fatores genéticos integrados com o meio ambiente o qual compreende os fatores climáticos, solo, topográficos e a competição com outros vegetais e animais. A interação de todos estes fatores sobre a planta expressa a qualidade do sítio sendo que se as condições de crescimento são boas o sítio é considerado bom e vice-versa. Entretanto, um sítio pode ser bom para uma determinada espécie e ruim para outra, sendo por isso, a qualidade do sítio, definida individualmente para cada espécie (SELLE et al., 1994; CAMPOS, 1970).

Diante de questões importantes e complexas que compõem o contexto do planejamento da produção de madeira, tornam-se indispensáveis as informações relacionadas à qualidade da madeira que será produzida em função dos sítios de crescimento, como uma ferramenta fundamental para a tomada de decisão (CASTELO et al., 2008).

Diversos autores já analisaram o efeito do sítio nas propriedades da madeira. Gonçalves et al. (2009) verificaram que apesar da não consideração de outras variáveis como idade e fatores silviculturais, pode-se afirmar que a região de procedência da madeira (sítio) teve influência na qualidade da madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, por sua vez, nas propriedades físicas, mecânicas e principalmente colorimétricas.

Gouveia et al. (2012) estudando as características tecnológicas da madeira de *Eucalyptus* para produção de celulose kraft, verificaram que o sítio teve efeito na densidade da madeira, espessura de parede, teor de extrativos, lignina, relação siringila/guaiacila e carboidratos.

Em estudo recente, Meneses et al. (2015) concluíram que a densidade básica e as características de crescimento em um clone de *Eucalyptus urophylla* foram influenciadas significativamente pela capacidade produtiva do sítio, idade e a interação desses fatores.

5. MATERIAL E MÉTODOS

5.1. Descrição das Áreas de Coleta

O cenário do presente estudo é o estado do Amapá, uma unidade da federação localizada no extremo norte do país, pontuada pelo seu clima tropical e sua vegetação exuberante e diversificada. Apresenta uma superfície de 14.281.485,5ha, sendo limitado ao sul pelo estado do Pará, ao leste pela foz do rio Amazonas, ao norte/nordeste pelo Oceano Atlântico e ao oeste pela Guiana Francesa.

A coleta do material lenhoso foi realizada em dois plantios experimentais da Embrapa Amapá, localizados em ecossistemas diferentes: cerrado e terra firme (Figura 5.1). A espécie estudada foi o tachi branco (*Tachigali vulgaris*).



Figura 5.1: Plantios de *Tachigali vulgaris* em ecossistema de terra-firme (1) e cerrado (2).

O Campo Experimental da Embrapa situado no ecossistema de cerrado está a margem direita da BR-156, distando 44 km da cidade de Macapá, capital do Estado do Amapá, com uma superfície de aproximadamente 1300 ha. Encontra-se localizado entre as coordenadas geográficas de 00°22'55" e 00°24'30" de latitude norte e de 51°01'40" e 51°04'10" de longitude a Oeste de Greenwich. O clima predominante na área é o do tipo Am intermediário para Aw, da classificação de Köppen (BRASIL, 1974), que se caracteriza por apresentar chuvas do tipo monção. A temperatura média mensal varia de 27,0 a 27,3°C ao longo do ano. Apresenta regime pluviométrico total anual com valores em torno de 2.000 a 2.350mm, com dois períodos bem definidos; um chuvoso, e um outro seco bem definido. A vegetação predominante na área é a característica de campo cerrado e cerrado nas áreas planas e suave onduladas; de florestas nas encostas dos drenos e buritizais nas “veredas” das planícies úmidas dos drenos, onde ocorrem os solos hidromórficos (Gleissolos, Organossolos e Neossolos). Os Latossolos mapeados

no Campo Experimental são profundos a muito profundos, bem drenados e de fertilidade natural muito baixa, mas com propriedades físicas boas (RODRIGUES et al., 2000). Neste campo experimental havia três plantios de *Tachigali vulgaris* (tachi-branco), o escolhido foi um de 20 anos, com espaçamento 3,0m x 2,5m, totalizando uma área de 6.125km².

A outra área está localizada no assentamento Piquiazal, no município de Mazagão, região sul do estado do Amapá, em ecossistema de terra-firme com expressão integralmente florestal com relevo suave ondulado. A média anual de precipitação é de 2250mm, sendo que 80% das chuvas ocorrem no primeiro semestre do ano. As temperaturas variam de 20,5°C a 36,7°C ao longo do ano. A maior parte do solo do assentamento é formado por sedimentos areno-argilosos pertencentes ao grande grupo Latossolo-Amarelo, de textura muito argilosa. Além disso apresenta alta pedregosidade e baixa fertilidade natural típica dos ambientes de terra-firme (IEPA, 2004). O local selecionado foi o lote n° 54 do assentamento, que possui um plantio de *Tachigali vulgaris* em consórcio com *Acacia mangium*, resultado de um experimento da Embrapa/AP sobre competição das espécies. Este plantio possui espaçamento 3,0m x 3,0m, que corresponde a uma área de 3.897m² e estava com 16 anos de idade.

5.2. Classificação Diamétrica das Árvores e Retirada das Pranchas

Nos dois plantios obteve-se as medidas de diâmetro à altura do peito (DAP) de todas as árvores vivas e a altura das árvores abatidas. As árvores foram numeradas e a cada dez árvores uma fita de demarcação foi amarrada contendo sua numeração correspondente.

Os dados foram digitalizados e organizados em ordem crescente do diâmetro. Dessa forma as árvores foram distribuídas em intervalos diferentes de diâmetro. Para a determinação do número de classes diamétricas aplicou-se a fórmula de Sturges (Equação 03), conforme Higuchi *et al.* (2008):

$$[K = 1 + 3,33 \times \text{Log}(n)] \quad \text{Equação (03)}$$

Onde:

K = número de classes

n = número de indivíduos amostrados.

Assim, chegou-se ao número inicial de oito classes diamétricas. Em função das árvores pertencentes, principalmente as classes de diâmetros menores, não apresentarem corpos de prova suficientes para todos os ensaios, reduziu-se o número de classe diamétricas para três (Tabela 5.1). Após classificadas, foram sorteadas ao acaso oito árvores de cada classe para serem abatidas, totalizando 24 árvores de cada ecossistema.

Tabela 5.1. Classificação diamétrica das árvores nos ecossistemas.

	TERRA-FIRME	CERRADO
Classe	Intervalo de diâmetro (cm)	Intervalo de diâmetro (cm)
1	6,0 – 17,0	6,0 – 17,0
2	17,5 -29,0	17,5 – 29,0
3	29,5 – 37,0	29,5 – 37,0

Com auxílio de motosserra as árvores eram abatidas ao nível do solo e a base do tronco retirada até a altura de 2,5m. Em seguida, as toras foram desdobradas em pranchas para posterior retirada dos corpos-de-prova, conforme Figura 5.2.



Figura 5.2: Retirada das pranchas para confecção dos corpos-de-prova.

5.3. Preparação dos Corpos-de-Prova

As pranchas retiradas foram transportadas para Brasília/DF e levadas para o Laboratório de Produtos Florestais (LPF) do Serviço Florestal Brasileiro (SFB). A

confeção dos corpos de prova específicos para cada teste foi feita conforme determina a norma COPANT (1972) adota pelo LPF.

De cada prancha foram confeccionados corpos-de-prova, ao acaso, com dimensões de 2cm x 2cm x 46cm, que foram utilizados nos ensaios de técnicas não destrutivas e convencionais descritas por RIBEIRO (1999). Cada corpo-de-prova foi particionado em mais três sub-amostras, uma nas dimensões de 2cm x 2cm x 10cm para determinação das propriedades físicas: densidade básica e retratibilidades tangencial, radial e volumétrica, outra de 2cm x 2cm x 5cm para caracterização anatômica e química e a terceira de 2cm x 2cm x 30cm para os ensaios de flexão estática e não destrutivos (colorimetria, ultrassom e *stress wave*).

Os corpos de prova de 2cm x 2cm x 30cm foram colocados em câmara de climatização, onde permaneceram por um período de 40 dias, para estabilização do teor de umidade (12% de umidade). Os corpos de prova 2cm x 2cm x 10cm foram submersos em água, por mais de 40 dias para sua saturação. Os corpos de prova menores foram preparados para os estudos de anatomia e química. O número de corpos de prova por árvore variou de acordo com a classe diamétrica e com a qualidade das pranchas. No entanto, nunca foi inferior a 15 amostras por classe diamétrica.

5.4. Análise Química

5.4.1. Teor de Lignina

O teor da lignina ácida (Lignina Klason) foi determinada nas três classes diamétricas de estudo. Amostras de madeira foram moídas e classificadas em peneiras com granulometria de 40mesh e 60mesh. Com isso, as amostras foram submetidas à limpeza, com etanol e posteriormente com água quente, além de limpeza inicial com etanol:tolueno.

Para a determinação dos teores de ligninas insolúvel e lignina solúvel, foram adotados os procedimentos laboratoriais LAP 003 (TEMPLETON e EHRMAN, 1995) e LAP 004 (TEMPLETON e EHRMAN, 1995), respectivamente.

Mediram-se duas alíquotas de cada amostra com aproximadamente 300mg, diretamente em tubos de ensaio de tamanho médio, identificando-os com os números

das amostras. Adicionou-se 3,0ml de H₂SO₄ a 72% em cada tubo de ensaio com amostra, colocando-se os tubos de ensaio em banho-maria a 30°C durante 2 horas.

Decorridas as 2 horas, transferiu-se o conteúdo de cada tubo de ensaio para o frasco de vidro. Adicionou-se 84,0ml de água deionizada em cada frasco, desta forma, a concentração do ácido para hidrólise baixou para 4% (p/p), após tal transferência, cada frasco foi tampado com rolhas de borracha e lacrado com anel de alumínio e autoclavados a 121°C por 1h. Após o ciclo de autoclavagem, os frascos foram resfriados à temperatura ambiente por 20 minutos.

A parcela de lignina insolúvel foi lavada do frasco com água deionizada quente, visando transferir para cadinhos filtrantes, qualquer lignina sólida do frasco. Cada cadinho filtrante contendo a lignina insolúvel foi seca em estufa a 105°C, até a estabilização da massa.

Para a determinação da lignina solúvel Preparou-se uma solução de H₂SO₄ a 4% (p/p). Para isto mediu-se 3mL de H₂SO₄ a 72% (p/p) e diluiu-se a solução com a adição de 84mL de água deionizada. O filtrado de cada kitassato, que foi separado na etapa da filtragem após a autoclavagem, foi retirado uma alíquota de 1mL e diluído com água deionizada até completar 10mL em balão volumétrico.

5.4.2. *Teor de Extrativos*

A preparação das amostras para os ensaios foi feita de acordo com os procedimentos contidos na norma TAPPI T-264 om-88 (TAPPI, 1996).

Primeiramente, secou-se os balões de extração em estufa a 115°C por 2 (duas) horas e esfriou-se os mesmos em dessecador, e em seguida, mediu-se a massa dos balões. Preparou-se em capela de exaustão, uma alíquota de 210 ml de uma mistura de Etanol:Tolueno, na proporção em volume de (1:2) respectivamente. Para cada amostra foram separadas duas alíquotas com massa de aproximadamente 2,0g e acondicionadas em casulos de celulose. Cada casulo contendo suas respectivas alíquotas foi inserido na coluna de extração do Soxhlet.

Assim, cada balão de extração foi preenchido com aproximadamente 210 ml de solução etanol:tolueno e logo em seguida foram encaixados em extratores Soxhlet e

assentados sobre as placas aquecedoras, que foram ligadas em potência aproximada de 65%, conforme graduação dos potenciômetros das mesmas (Figura 5.3).

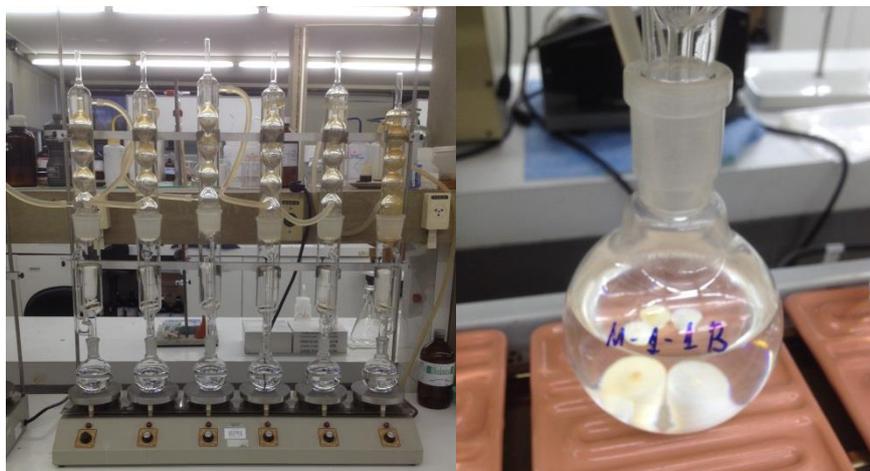


Figura 5.3: Ensaio para determinação do teor de extrativos.

Cada extração durou aproximadamente 14 horas. Após esse período foram retirados gradativamente das colunas de extração os solventes sem extrativos, até restar aproximadamente 2,0 ml de solvente com extratos em cada balão de extração. Os balões foram secos com os extratos por 2 horas em estufa a 115°C.

5.5. Propriedades Físicas (Densidade Básica e Retratibilidade)

Os corpos de prova com dimensões 2cm x 2cm x 10cm, foram saturados em água, para obtenção da massa úmida (saturada). Em seguida, as amostras foram levadas à estufa a uma temperatura de $103 \pm 2^\circ\text{C}$, até que atingissem massa constante, para obtenção da massa seca (Figura 5.4).



Figura 5.4: Saturação e secagem dos corpos de prova.

Dessa forma, foram realizadas medições nas direções tangencial, radial e volumétrica dos corpos de prova, utilizando-se um paquímetro digital, com precisão de 0,01 mm, nas condições totalmente saturado e totalmente seco para obter-se a retratibilidade da madeira, conforme as Equações 4, 5 e 6. Determinou-se também a massa úmida (saturada) e a massa seca (0% umidade).

$$Rt = \frac{Dt_{saturada} - Dt_{seca}}{Dt_{saturada}} \times 100 \quad \text{Equação (04)}$$

Onde,

Rt= retratibilidade tangencial (%);

Dt_{saturada}= dimensão na direção tangencial, na condição saturada (mm);

Dt_{seca}= dimensão na direção tangencial, na condição seca (mm);

$$Rr = \frac{Dr_{saturada} - Dr_{seca}}{Dr_{saturada}} \times 100 \quad \text{Equação (05)}$$

Onde,

Rr= retratibilidade radial (%);

Dr_{saturada}= dimensão na direção radial, na condição saturada (mm);

Dr_{seca}= dimensão na direção radial, na condição seca (mm);

A retratibilidade volumétrica foi determinada por meio da seguinte equação (5):

$$RV = \frac{V_{saturado} - V_{seco}}{V_{saturado}} \times 100 \quad \text{Equação (06)}$$

Onde,

RV= retratibilidade volumétrica (%);

V_{saturado}= volume da amostra na condição saturada (cm³);

V_{seco}= volume da amostra na condição seca (cm³).

A densidade básica (Db) foi obtida através da Equação 07, onde M – massa seca em gramas (0% de umidade); e V – volume saturado em cm³.

$$Db = \frac{M_{seca}}{V_{saturado}} \quad \text{Equação (07)}$$

5.6. Propriedade Mecânica (Flexão Estática – MOE e MOR)

O ensaio de flexão estática foi realizado no Laboratório de Tecnologia da Madeira do Departamento de Engenharia Florestal da UnB, utilizando uma máquina de ensaio universal modelo EMIC DL 30 kN (Figura 5.5). Para tanto, o ensaio baseou-se na norma COPANT 555 (1973), para ensaio com corpo de prova reduzido, com velocidade de aplicação da carga de 1mm/min. A célula de carga utilizada foi a de 2.000 kg. As dimensões das amostras eram de 2 cm x 2 cm x 30 cm, sendo 1 cm para cada apoio e 28 cm de vão.



Figura 5.5: Máquina utilizada no ensaio de flexão estática.

Para determinar os respectivos Módulo de Elasticidade (MOE) e Módulo de Ruptura (MOR) utilizou-se as Equações (08) e (09):

$$MOE = \frac{PL^3}{48 bdh^3} \quad \text{Equação (08)}$$

Onde:

MOE= Módulo de elasticidade à flexão estática (kg/cm²);
P=Carga no limite proporcional (kg);

d=Deformação correspondente à carga no limite proporcional (cm).
b= base da amostra (cm);
h= altura da amostra (cm).

$$MOR = \frac{3PL}{2bh^2} \quad \text{Equação (09)}$$

Onde:

MOR= Módulo de ruptura à flexão estática (kg/cm²)

P= Carga máxima aplicada (kg);

L= Comprimento da amostra (cm);

b= base da amostra (cm);

h= altura da amostra (cm).

5.7. Ensaios não Destrutivos

Os ensaios de ultrassom, *stress wave* e colorimetria foram realizados no Laboratório de Tecnologia da Madeira do Departamento de Engenharia Florestal da UnB.

5.7.1. Ultrassom

Para o ensaio de ultrassom foi utilizando o equipamento USLab para madeira, com potência de 700 V, resolução de 0,1 μ s e transdutores de onda longitudinal e de seção plana que operam na frequência de 45 kHz, o qual consegue determinar as propriedades elásticas e assim classificar a qualidade do material analisado por meio da velocidade da propagação de ondas do material. Foram utilizados dois transdutores equivalentes: um para emissão e outro para recepção das ondas ultra-sonoras. A cada início de série de ensaios o equipamento era calibrado utilizando-se um corpo-de-prova de acrílico. Após a calibração, era aplicado uma camada de gel medicinal nas faces dos transdutores para facilitar a aderência e assim, mediu-se o tempo de propagação da onda nos corpos-de-prova de 2cm x 2cm x 30 cm, que também foram usados para os ensaios convencionais de flexão estática e colorimetria.

Para a determinação do Módulo de Elasticidade Dinâmico (MOE_{du}) utilizou-se a Equação (10):

$$MOE_{du} = D_{12\%} \times Vel^2 \quad \text{Equação (10)}$$

Onde,

MOEd = Módulo de Elasticidade Dinâmico (MPa);

D_{12%} = densidade da madeira a 12% de umidade (kg/m³);

Vel = velocidade da onda ultrassônica (m/s).

5.7.2. *Stress wave*

Para os mesmos corpos de prova de 2cm x 2cm x 30 cm, realizou-se o ensaio de ondas de tensão (*Stress wave*). Utilizou-se o equipamento *Stress Wave Timer 239A* (Metriguard Inc.), que mede o tempo de propagação de uma onda de tensão que percorre a amostra por meio de dois transdutores acelerômetros. Antes do ensaio, cada amostra de 30 cm de comprimento, recebeu uma marcação de 1,0cm em cada extremidade e outra no meio da amostra. Em cada uma dessas marcações foram tomadas as dimensões da amostra. Também foi obtida a massa de cada amostra.

As amostras foram fixadas em braçadeiras de alavanca, e em seguida um pendulo induziu a onda de tensão que percorreu toda a amostra até atingir o outro acelerômetro. Foram efetuadas em cada amostra três leituras do tempo de propagação da onda. A distância foi igual ao vão de ensaio indicado pela norma COPANT 555, para o ensaio de flexão estática. Neste caso, o vão foi de 28 cm de comprimento. O tempo utilizado foi o tempo médio obtido nas três leituras.

Para a determinação da velocidade foi utilizada a Equação (11):

$$V = \frac{L}{t \times 10^{-6}} \quad \text{Equação (11)}$$

Onde,

V= velocidade de propagação da onda de tensão (m/s);

L= distância percorrida pela onda de tensão (m);

t= tempo de trânsito da onda de tensão (μs).

O módulo de elasticidade dinâmico foi obtido pela Equação (12):

$$MOEd = V^2 D_{12\%} \frac{1}{g} \quad \text{Equação (12)}$$

Onde,

MOEd = módulo de elasticidade dinâmico (N/mm²);
V= velocidade de propagação da onda de tensão (m/s);
D_{12%}= densidade a 12% de umidade (kg/m³); e
g= aceleração da gravidade (9,804 m/s²).

5.7.3. Colorimetria

Para o ensaio de colorimetria foi utilizado um espectrofotômetro *ColorEye XTH* acoplado a um computador, com iluminante *Pulsed Xenon D65* e ângulo de 10° C, em temperatura ambiente, conforme Figura 5.6.



Figura 5.6: Ensaio de colorimetria no espectrofotômetro.

Foram realizadas 10 leituras para cada face (radial e tangencial) do corpo de prova, totalizando 20 leituras por corpo de prova. Os parâmetros colorimétricos determinados foram L* (claridade), coordenadas a* e b*, C (saturação) e h* (ângulo de tinta). Para o cálculo dos parâmetros C (saturação) e h* (ângulo de tinta), foram utilizadas as Equações (13) e (14), conforme procedimento descrito por Gonzalez (1993).

$$C = \frac{(a^{*2} + b^{*2})}{2} \quad \text{Equação (13)}$$

$$h = \tan^{-1}(b/a) \quad \text{Equação (14)}$$

5.8. Análise Estatística

A análise dos dados foi realizada utilizando-se o pacote estatístico Genes (Cruz, 2013). Os resultados foram submetidos à análise estatística descritiva: cálculo de média, mínimo, máximo e desvio padrão, além da análise de variância, com significâncias a 1 e 5 % de probabilidade. Utilizou-se o teste de Tukey quando necessário. Determinou-se correlações pelo método de Pearson a 1 e 5 %.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

É importante fazer uma análise geral das duas áreas estudadas (cerrado e terra-firme), chamadas de sítios ou ainda de ecossistemas para entender o desenvolvimento dos plantios de *Tachigali vulgaris* (tachi-branco) e possíveis influências na qualidade de suas madeiras.

A área de cerrado apresenta latossolos profundos a muito profundos, bem drenados e de fertilidade natural muito baixa, mas com propriedades físicas boas. A área deste solo possui em média: 16,9g/kg de matéria orgânica, 685g/kg de areia total e 83g/kg de silte. A Embrapa classifica este solo como de textura média (anexo 1). O plantio desta área possuía 20 anos de idade.

A área de terra firme apresenta latossolo-amarelo, de textura muito argilosa, alta pedregosidade e baixa fertilidade natural, típica deste ecossistema. Segundo Orellana (2015), a área deste solo possui em média: 47,9g/kg de matéria orgânica, 76g/kg de areia total e 380g/kg de silte. A Embrapa classifica este solo como de textura argilosa (Anexo 1). O plantio desta área estava com 16 anos de idade.

Comparando-se as duas áreas verifica-se que a área de terra-firme possui teores de matéria orgânica, argila e silte bem superiores a área de cerrado. Já o cerrado possui solo argiloso/arenoso.

Apesar de idades diferentes, em algumas partes da discussão deste trabalho, há comparações (em termos de tendências) de propriedades da qualidade da madeira entre áreas, com a finalidade de mostrar a influência dos sítios, desconsiderando as diferenças de idades. Por esta razão também não se fez análises estatísticas das propriedades da madeira entre áreas.

6.1. Teor de Lignina e Extrativos

Os valores de teores de lignina insolúvel, solúvel, total e extrativos por classe diamétrica no plantio de *Tachigali vulgaris* nas áreas de cerrado e terra-firme são encontrados nas Tabela 6.1 e 6.2.

Tabela 6.1. Médias e desvio-padrão dos parâmetros químicos por classe diamétrica no plantio de cerrado.

Classes Diamétricas		Extrativos Totais (%)	Lignina Insolúvel (%)	Lignina Solúvel (%)	Lignina Total (%)
Classe 1	Media	4,38	27,84	1,61	29,44
	D.P	0,53	0,78	0,14	0,75
Classe 2	Media	5,43	29,89	1,45	31,33
	D.P	1,21	0,73	0,06	0,38
Classe 3	Media	5,63	28,58	1,48	30,06
	D.P	0,77	1,05	0,09	0,84
Média Geral		5,15	28,77	1,51	30,28
D.P		0,84	0,85	0,10	0,66

Tabela 6.2. Médias e desvio-padrão dos parâmetros químicos por classe diamétrica no plantio de terra-firme.

Classes Diamétricas		Extrativos Totais (%)	Lignina Insolúvel (%)	Lignina Solúvel (%)	Lignina Total (%)
Classe 1	Media	5,30	25,41	1,81	27,22
	D.P	2,28	0,82	0,28	1,46
Classe 2	Media	6,11	27,94	1,50	29,44
	D.P	2,40	0,60	0,07	0,75
Classe 3	Media	5,40	29,28	1,34	30,62
	D.P	0,69	0,10	0,03	0,35
Média Geral		5,60	27,59	1,55	29,10
D.P		1,79	0,51	0,13	0,85

Os teores de lignina insolúvel médio entre as classes variaram de 27,84% a 29,89% (média de 28,77%) no cerrado e 25,41% a 29,28% (média de 27,54%) na terra-firme. Os de lignina solúvel médio entre as classes tiveram variação de 1,45% a 1,61% no cerrado (média de 1,51%) e de 1,34% a 1,81% (média de 1,55%) na terra-firme. Já os teores de extrativos totais médios entre classes tiveram amplitude na área de cerrado de 4,38% a 5,63% (média de 5,15%) e na terra-firme de 5,30% a 6,11% (média de 5,60%).

Observa-se um comportamento inverso entre as ligninas insolúvel e solúvel nas três classes diamétricas nos dois plantios. No plantio cerrado o teor de extrativos foi fortemente influenciado pelo aumento da classe diamétrica. No plantio da terra-firme, a classe 2 apresentou o maior teor de extrativos e o aumento do diâmetro não foi acompanhado do referido teor.

Entre os ecossistemas (cerrado e terra firme), pode-se dizer que as médias dos componentes químicos estudados tiveram pouca variação, parecendo que o sítio não mostrou grande influência na composição química desta espécie.

Santos (2008), estudando características químicas da madeira de cinco espécies lenhosas do cerrado do centro-oeste, identificou um teor médio de lignina de 31,42% para tachi-branco. O autor observou que as espécies com maior densidade apresentaram maiores teores de lignina.

A densidade básica será discutida mais detalhadamente em tópico específico adiante, entretanto é importante estabelecer aqui uma relação entre o teor de lignina insolúvel e solúvel com a densidade básica obtida nas classes diamétricas utilizadas nos ensaios químicos no plantio de cerrado e terra-firme.

Assim, nas Figuras 6.1 e 6.2 é possível observar que os teores de lignina tiveram baixa correlação com a densidade básica, sendo a relação entre a lignina insolúvel com a densidade básica no plantio de terra-firme (Figura 6.2) a que apresentou maior R^2 . Essas relações só foram satisfatórias utilizando-se uma linha de tendência polinomial.

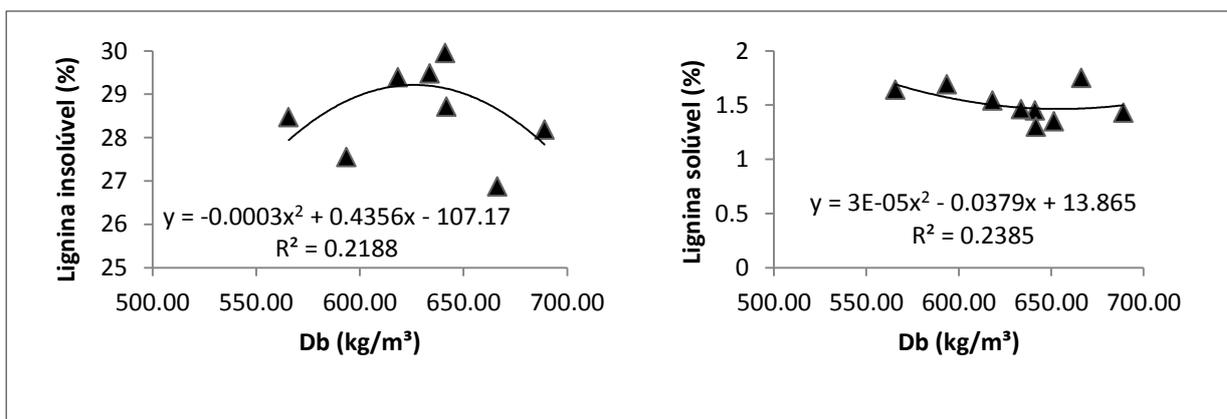


Figura 6.1. Teores de lignina em função da densidade básica da madeira de tachi-branco em plantio de cerrado.

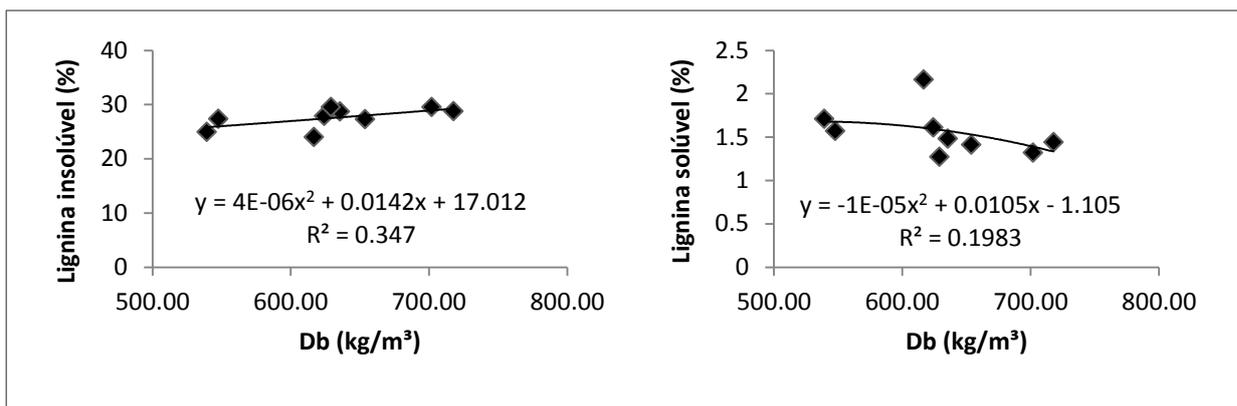


Figura 6.2. Teores de lignina em função da densidade básica da madeira de tachi-branco em plantio de terra-firme.

Vale et al. (2010) analisando conjuntamente cinco espécies do cerrado, dentre elas o tachi-branco, verificaram que o incremento da densidade básica foi acompanhado de um aumento significativo do teor de lignina, culminando em uma relação significativamente positiva. No entanto, o autor também externa que é possível não haver correlação entre estes parâmetros para algumas espécie. Trugillo et al. (1996) verificando a influência da idade nas características físico-química da madeira de *Eucalyptus*, observaram que o teor de lignina apresentou correlação negativa com a densidade básica, sugerindo que as madeiras mais densas possuem menores quantidades de lignina. Assim, tendo em vista que os plantios analisados neste trabalho já haviam atingindo a maturidade, possivelmente este fato possa ter influenciado a baixa correlação entre a densidade básica e os teores de lignina, conforme observado por Trugillo et al. (1996).

Santos (2008) encontrou um valor médio de teor de extrativos para tachi-branco de 6,14%. Este valor é um pouco superior aos valores médios encontrados neste trabalho. No entanto, está próximo ao valor da classe diamétrica 2 de terra firme.

A relação entre o teor de extrativos e a densidade básica apresentou comportamentos distintos nos plantios analisados, cujas respostas foram obtidas através de equação de regressão polinomial conforme se observa na Figura 6.3. Entretanto, como na lignina, a correlação entre estes parâmetro foi baixa, demonstrando não haver relação entre os diâmetros das árvores e o teor de extrativos nas duas áreas estudadas.

Vale et al. (2010) não encontraram relação significativa entre teor de extrativos e densidade básica para espécies do cerrado incluindo o tachi-branco. Santos (2008) também não encontrou relação de causa e efeito entre densidade básica e extrativos, mas afirma que madeira com grandes quantidades de extrativos costumam ser mais densas.

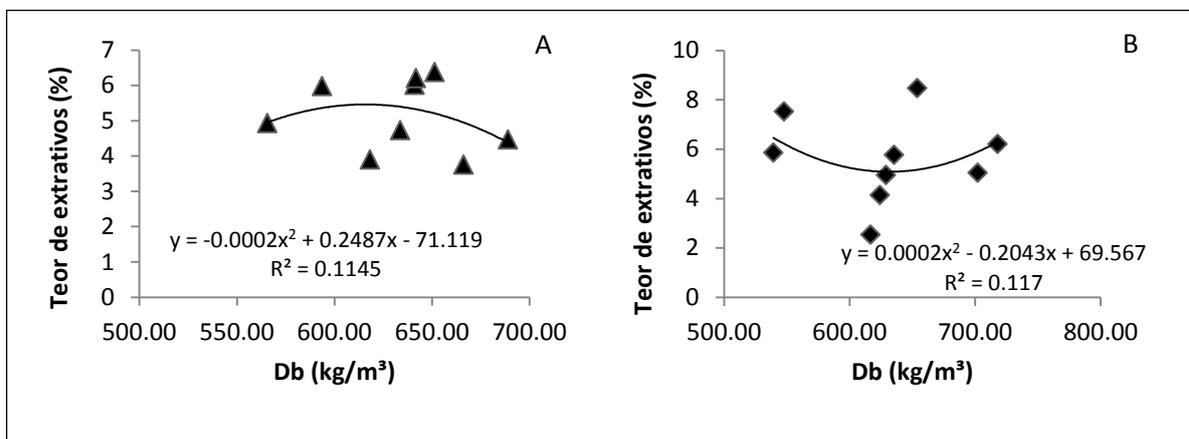


Figura 6.3. Teor de extrativos em função da densidade básica da madeira de tachi-branco nos plantios de cerrado (A) e terra-firme (B).

6.2. Densidade Básica e Retratibilidade

Os valores médios da densidade básica (Db) e das retratibilidades radial (Rrd), tangencial (Rtg) e volumétrica (Rv) para os dois plantios de *Tachigali vulgaris* (tachi-branco) constam na Tabela 6.3.

Tabela 6.3: Valores médios de densidade básica e retratibilidade radial, tangencial e volumétrica nos dois ecossistemas estudados.

	Cerrado				Terra-firme			
	Db (Kg/m ³)	Rrd (%)	Rtg (%)	Rv (%)	Db (Kg/m ³)	Rrd (%)	Rtg (%)	Rv (%)
Média	610.58	3.56	6.12	10.22	625.44	3.19	6.36	9.61
Mínimo	481.88	0.90	2.48	5.5	452.64	0.63	3.32	5.16
Máximo	727.69	8.06	9,58	14,21	740.09	5.79	8.95	13.33
CV	8.53	25.24	15.39	13.47	9.03	24.87	13.81	11.70
DP	52.11	0.90	0.94	1.376	56.47	0.79	0.87	1.12

A área de cerrado apresentou valores numéricos maiores para as retratibilidades radial e volumétrica em relação à área de terra-firme. Por outro lado, a área de terra firme apresentou densidade básica e retratibilidade tangencial maiores. Observa-se que

não há um comportamento uniforme das propriedades estudadas dentro de cada área. Acredita-se que apesar de existir esta diferença numérica entre as áreas, na prática não haverá efeito, pois os valores são bem próximos.

No entanto, a superioridade da densidade básica na área de terra firme, pode ser atribuída às condições ambientais típicas deste ecossistema, solo e clima, podem ter favorecido para o incremento desta variável. Na área de cerrado o solo é mais arenoso, enquanto na terra-firme há mais teores de argila e silte. Castelo et al. (2008), ao analisar a influência de diferentes sítios em árvores de *Pinus* com idades de 14, 16 e 18 anos, constataram que as madeiras provenientes do sítio com taxa de crescimento mais elevada, possuía textura de solo mais argiloso, mostrando tendência a terem maiores valores para densidade. Assim, o ambiente natural pode também ser um fator que influencia na determinação da densidade básica. Porém, segundo Foelkel (1985) há casos em que as diferenças entre ambientes não alteram expressivamente os valores de densidade básica das populações amostradas. As variações da densidade básica ocasionadas pelas diferenças entre ambientes podem estar associadas ao ritmo de crescimento das árvores. Silva et al. (2004) estudando a influência da idade na massa específica aparente da madeira de *Eucalyptus grandis* de 10, 14, 20 e 25 anos, verificaram que a madeira de 10 anos apresentou os menores valores de massa específica. No entanto, os maiores valores de massa específica foram encontrados na madeira de 20 anos, seguida da de 25.

Segundo a classificação proposta por Melo et al. (1990) para madeiras tropicais, as médias de densidade básica obtidas classificam a madeira de tachi-branco dos plantios estudados como madeira de densidade média. Os coeficientes de variação para a densidade básica, nas duas áreas foram inferiores a 10%, considerado baixo por Gomes (2000), o que implica em uma maior homogeneidade da madeira para esta propriedade. Ainda conforme este autor os coeficientes de variação são considerados médios, quando estão na faixa 10 a 20%; altos, quando está entre 20 e 30%; e muito altos, quando superiores a 30%. Para a propriedade de retratibilidade, estes coeficientes estão na faixa de alto a muito altos, mostrando a heterogeneidade da madeira nos dois plantios, principalmente para a retratibilidade radial. Não se aconselha o desdobramento da madeira desta espécie neste sentido.

Santos (2008) analisando a densidade básica e retração volumétrica de tachi-branco em vegetação nativa no centro-oeste encontrou médias de 780 kg/m³ e 12,24% respectivamente. Estes valores são superiores ao encontrados neste trabalho. Já Zerbini (2008) encontrou para tachi-preto (*Tachigali paniculata*) médias de retratibilidade radial, tangencial e volumétrica de 4,87%, 8,27% e 13,28% respectivamente, e densidade básica de 540 kg/m³. Oliveira (2005) analisando a contração da madeira de tachi-branco no centro-oeste sob diferentes níveis de adubação aos 18 anos de idade encontrou valores médios de retratibilidade tangencial, radial e volumétrica de 7,2%, 3,2% e 10,9%, respectivamente. Estes valores são próximos aos encontrados neste trabalho.

As Tabela 6.4 e 6.5 apresentam a análise de variância e as médias das retratibilidades radial, tangencial e volumétrica e densidade básica dos dois plantios para as 3 classes diamétricas estudadas.

Observando-se as Tabelas 6.4 e 6.5 verifica-se que os valores médios da densidade básica crescem conforme o aumento da classe de diâmetro das árvores nos dois plantios. Parece haver uma relação direta entre crescimento das classes de diâmetros e a densidade básica média de cada classe, independente dos sítios. Ferreira (1972) trabalhando com *E. grandis* mostrou acréscimos nas densidades diretamente proporcionais ao crescimento diametral. A retratibilidade radial na área de cerrado foi maior na menor classe diamétrica. Já na área de terra firme esta propriedade não mostrou diferenças significativas entre as classes diamétricas estudadas. A retratibilidade tangencial foi menor na classe. Entre as outras duas classes não houve diferenças estatísticas para esta propriedade. A classe diamétrica 3 foi a que apresentou as maiores médias de retratibilidade volumétrica em ambos sítios. Por outro lado, esta propriedade foi menor na classe 1.

Tabela 6.4: Análise de variância da densidade básica (Db), retratibilidade radial (Rrd), retratibilidade tangencial (Rtg) e retratibilidade volumétrica (Rv) por classe diamétrica.

Cerrado					
FV	GL	Db(kg/m ³)	Rrd(%)	Rtg(%)	Rv(%)
Tratamento	2	16.97**	13.68**	6.71**	1.66ns
Resíduo	276				
Terra-firme					
FV	GL	Db(kg/m ³)	Rrd(%)	Rtg(%)	Rv(%)
Tratamento	2	23.48**	1.03ns	9.83**	4.87**
Resíduo	252				

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < .01$)

* significativo ao nível de 5% de probabilidade ($.01 \leq p < .05$)

Tabela 6.5: Médias da densidade básica (Db), retratibilidade radial (Rrd), retratibilidade tangencial (Rtg) e retratibilidade volumétrica (Rv) por classe diamétrica.

Cerrado				
	Db(kg/m ³)	Rrd(%)	Rtg(%)	Rv(%)
1 (6-17cm)	584.69 b	3.88 a	5.82 b	10.17 ab
2 (18-29cm)	619.14 a	3.24 c	6.26 a	10.09 b
3 (30-37cm)	625.09 a	3.64 b	6.26 a	10.45 a
Terra-firme				
	Db(kg/m ³)	Rrd(%)	Rtg(%)	Rv(%)
1 (6-17cm)	586.53 c	3.32 a	5.92 b	9.22 b
2 (18-29cm)	630.13 b	3.14 a	6.43 a	9.65 a
3 (30-37cm)	647.90 a	3.17 a	6.55 a	9.81 a

Médias seguidas por letras diferentes em uma mesma coluna apresentam diferença significativa pelo teste Tukey.

De acordo com Sallenave (1955) e Guiscafre (1978), citados por Gonzalez (1993), a classificação das madeiras quanto à retratibilidade volumétrica (Rv) pode variar de fraca a forte. Madeiras com retratibilidade volumétrica fraca apresentam valores de 4 a 9%; madeiras com retratibilidade volumétrica média apresentam valores de 9,1% a 14%; e madeiras com retratibilidade volumétrica forte apresentam valores de 14,1 a 19%. Com base nesta classificação, todas as classes diamétricas, tanto na área de

cerrado, quanto na de terra-firme, a madeira do tachi-branco classificou-se como de retratibilidade volumétrica média.

Segundo Oliveira e Silva (2003), o coeficiente de anisotropia, que corresponde à relação entre a retratibilidade tangencial e radial, geralmente varia de 1,5 a 2,5 quanto maior essa relação maior será a tendência ao fendilhamento e empenamento da madeira. Logo, quanto mais este coeficiente se aproximar de 1 (um), melhor será a estabilidade dimensional da madeira. No ambiente de cerrado este coeficiente correspondeu a 1,71 e na terra-firme 1,99, o que permite classificar a madeira do tachi-branco nas duas áreas como normal, segundo a classificação de Durlo e Marchiori (1992). Pode-se inferir que utilizando-se um programa de secagem da madeira correto, esta espécie não deverá apresentar maiores problemas durante a sua secagem.

A Figura 6.4 apresenta a relação entre a densidade básica com as retratibilidades nos ambientes de cerrado e terra-firme, respectivamente.

Os baixos coeficientes de determinação em todas as equações lineares nas duas áreas demonstram que não houve influência da densidade básica na retratibilidade em nenhuma das faces da madeira de tachi-branco. Assim, os baixos graus de associação entre essas variáveis revelam que as variações das contrações desta madeira parecem ocorrer indiferentemente ao aumento do diâmetro das árvores, indicando uma estabilidade satisfatória podendo ser trabalhada com diversos tamanhos de indivíduos. Somente nos gráficos da área de cerrado (Figura 6.4) que se verifica uma leve tendência de aumento da retratibilidade tangencial e volumétrica com o crescimento da densidade básica.

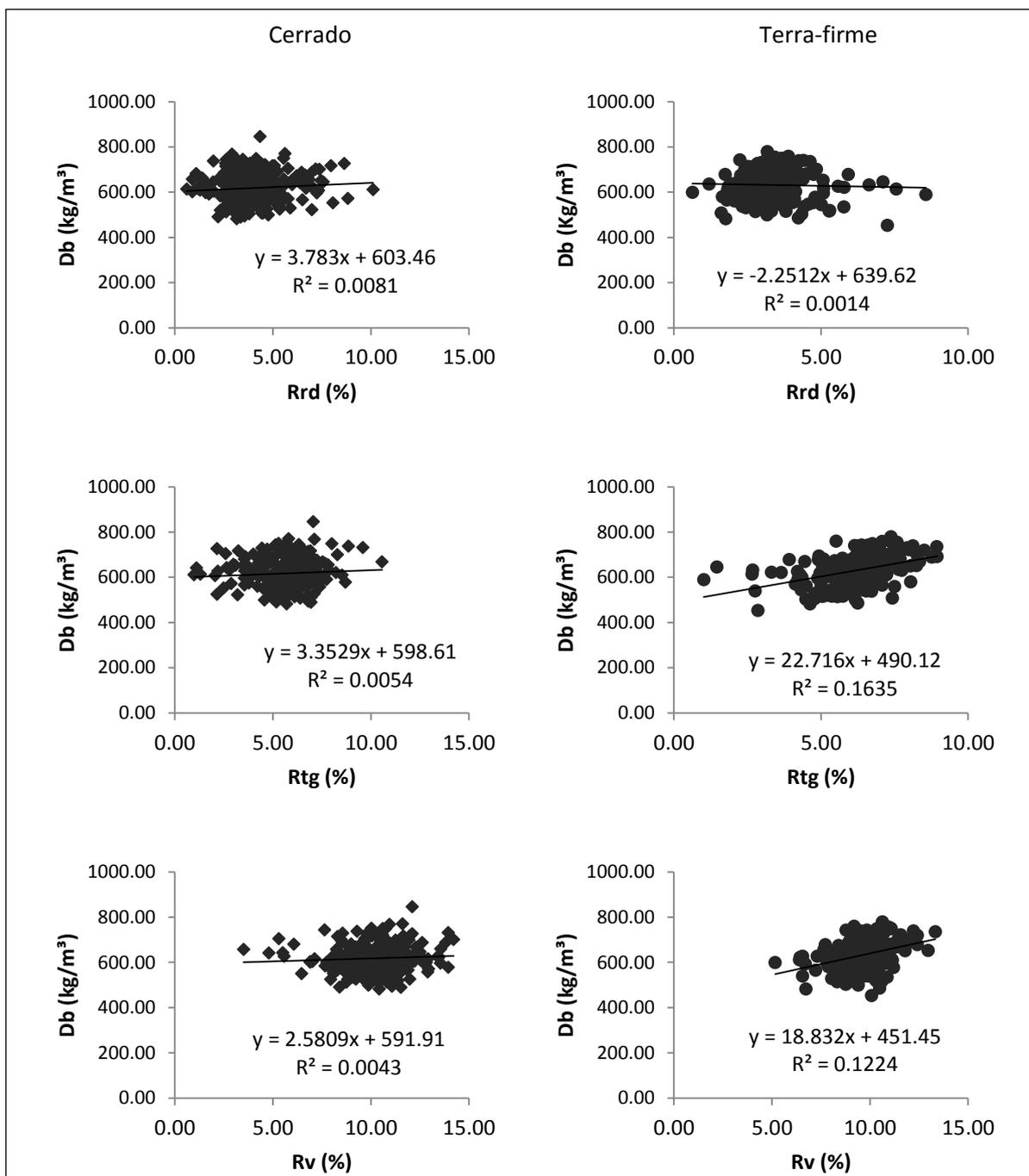


Figura 6.4: Relação entre densidade básica e retratibilidade radial (Rrd), tangencial (Rtg) e volumétrica (Rv) nos plantios de cerrado (esquerda) e terra-firme (direita).

A Tabela 6.6 mostra os coeficientes de correlação de Pearson entre as variáveis analisadas dentro de cada tipo de ecossistema. Esta correlação foi realizada colocando-se todos os indivíduos das três classes diamétricas dentro de cada plantio.

Tabela 6.6: Correlações entre densidade básica (Db) e retratibilidades radial (Rrd), tangencial (Rtg) e volumétrica (Rv) nos plantios de cerrado e terra-firme.

Cerrado				
	Db	Rrd	Rtg	Rv
Db	1			
Rrd	0.090	1		
Rtg	0.063	-0.415**	1	
Rv	0.062	0.533**	0.350**	1
Terra-firme				
	Db	Rrd	Rtg	Rv
Db	1			
Rrd	-0.037	1		
Rtg	0.398**	-0.353**	1	
Rv	0.349**	0.491**	0.610**	1

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < .01$)

* significativo ao nível de 5% de probabilidade ($.01 \leq p < .05$)

Na área de cerrado, os coeficientes foram mais próximos a zero nas relações entre a densidade básica com as retratibilidades, porém positivas. Segundo Dancey e Reidy (2005), $r = 0,10$ até $0,30$ é considerada uma relação fraca, $r = 0,40$ até $0,6$ é moderado e $r = 0,70$ até 1 seria uma relação forte.

Assim, no plantio de cerrado, as relações entre as retratibilidades foram de fraca a moderada sendo todas significativas a 1% de probabilidade. As relações entre retratibilidades tangencial e radial com a retratibilidade volumétrica foram significativas e positivas, logo, quanto maior a retratibilidade tangencial e a radial, maior será a retratibilidade volumétrica da madeira.

A correlação de Pearson no plantio da área de terra-firme apresentou coeficientes significativos em todas as relações, exceto entre densidade básica e retratibilidade radial. Nesta área as relações também variaram de fraca a moderada. Neste plantio houve relação positiva e significativa entre densidade básica e retratibilidade tangencial e volumétrica. Também houve relação significativa e positiva entre retratibilidade radial e tangencial com a retratibilidade volumétrica.

6.3. Colorimetria

Os valores médios dos parâmetros colorimétricos nas faces radial e tangencial, a coeficiente de variação, desvio-padrão e a amplitude são apresentados na Tabela 6.7. Os

parâmetros colorimétricos (L^* , a^* , b^* , C e h°) permitem caracterizar de maneira quantitativa e qualitativa a cor de cada madeira.

Tabela 6.7: Médias dos parâmetros colorimétricos nas faces radial e tangencial da madeira nas áreas de cerrado e terra-firme.

CERRADO					
Radial					
	L^*	a^*	b^*	C	h°
Média	53.33	12.69	22.76	26.10	60.81
Mínimo	38.65	7.91	12.12	15.37	50.24
Máximo	68.35	19.25	32.07	36.75	69.03
CV	8.74	17.93	15.66	15.28	5.13
DP	4.66	2.27	3.56	3.98	3.12
Tangencial					
	L^*	a^*	b^*	C	h°
Média	53.34	12.76	22.55	25.95	60.50
Mínimo	39	4.55	10.62	11.55	49.52
Máximo	77.99	20.67	32.93	38.37	69.21
CV	10.78	19.69	16.73	16.65	5.05
DP	5.75	2.51	3.77	4.32	3.05
TERRA-FIRME					
Radial					
	L^*	a^*	b^*	C	h°
Média	57.36	11.47	22.39	25.18	63.01
Mínimo	42.65	6.36	13.06	14.58	56.21
Máximo	74.14	18.21	31.22	36.09	69.01
CV	9.40	19.22	13.89	14.66	3.39
DP	5.39	2.20	3.11	3.69	2.14
Tangencial					
	L^*	a^*	b^*	C	h°
Média	57.22	11.19	21.35	24.13	62.51
Mínimo	42.19	5.62	13.43	14.92	55.52
Máximo	75.89	20.05	31.97	37.14	70.25
CV	12.87	20.53	14.65	15.58	3.67
DP	7.36	2.29	3.12	3.75	2.29

Em que: L^* = claridade; a^* e b^* = coordenadas cromáticas; C = saturação; h° = ângulo de tinta.

Agrupando-se as médias totais das faces tangencial e radial por área chega-se as seguintes médias para o cerrado $L^*=53,34$; $a^*=12,73$; $b^*=22,66$; $C=26,03$; $h^*=60,66$, e na terra-firme $L^*=57,29$; $a^*= 11,33$; $b^*= 21,87$; $C=24,66$ e $h^*=62,76$. Tomando-se como base a classificação colorimétrica proposta por Camargos e Gonzalez (2001) segundo o agrupamento Cluster, ambas as áreas se enquadram na coloração marrom-

claro, a qual possui valores de L* entre 45 e 61, a* entre 10 e 13, b* 16 e 25*, C de 19 a 28 e h* entre 54 a 66. Assim, o sítio (cerrado e terra-firme) parece não ter influenciado de forma significativa na cor da madeira de tachi-branco.

Na Tabela 6.8 observa-se que em todos os parâmetros colorimétricos houve diferença entre as médias das três classes diamétricas em cada face da madeira, tangencial e radial dentro de cada área estudada.

Tabela 6.8: Médias dos parâmetros colorimétricos por classe diamétrica nos plantios de cerrado e terra-firme.

	Cerrado									
	L*		a*		b*		C		h*	
	T	R	T	R	T	R	T	R	T	R
1	58.16a	55.68a	11.62b	11.99b	18.96c	19.43c	22.28c	22.85c	58.69c	58.44c
2	51.59c	51.83c	12.99a	12.83a	21.76b	21.85b	25.36b	25.36b	59.22b	59.55b
3	53.13b	53.81b	12.98a	12.83a	24.58a	24.80a	27.83a	27.96a	62.32a	62.82a
	Terra-firme									
	L*		a*		b*		C		h*	
	T	R	T	R	T	R	T	R	T	R
1	62.37a	58.27b	10.47c	10.72c	20.04c	20.04c	22.64c	22.76c	62.72a	62.15b
2	52.88c	54.02c	11.80a	12.00a	22.52a	23.59a	25.45a	26.49a	62.57ab	63.20a
3	59.61b	60.28a	10.85b	11.21b	20.68b	22.05b	23.37b	24.75b	62.37b	63.13a

Valores, em uma coluna, dentro de cada área e em uma mesma face, seguidos por uma mesma letra, não possuem diferenças estatísticas, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Observando-se a Tabela 6.8, verifica-se que tanto na área de cerrado como na área de terra firme há diferenças significativas para quase todos os parâmetros colorimétricos entre as classes de diâmetros de cada área estudada. Na face tangencial como na radial para a área de cerrado, a madeira de tachi branco foi mais claras (L* maior) na classe diamétrica 1. A classe 2 foi a mais escura para ambas as faces desta área. Os menores valores das coordenadas a* e b* na classe 1, explicam a maior claridade em ambas as faces dentro da área de cerrado.

Para o ecossistema terra firme, a classe diamétrica 2 foi a mais escura para ambas as faces, o mesmo comportamento da área de cerrado. No entanto, a maior claridade da face radial foi apresentada pela classe diamétrica 3. Isso permite inferir, que as classes diamétricas tem influência na cor da madeira de tachi branco de acordo com cada ecossistema estudado. Há uma tendência da classe de menor diâmetro apresentar madeira mais clara, exceto para a face radial da área de terra firme.

Analisando-se a presença de extrativos dentro das classes diamétricas de cada ecossistema, verifica-se uma tendência da classe 1 apresentar menor teor de extrativos. Isso pode ajudar a entender a cor mais clara da madeira desta classe. Kishino e Nakano (2004) concluíram haver correlação entre a ocorrência de extrativos e a cor em diferentes localizações na madeira. Além disso, significativas mudanças na cor da madeira podem ser atribuídas a extrativos.

Na Figura 6.5 é possível visualizar as curvas de reflectância por plantio, onde as médias das faces tangencial e radial foram bastante próximas, retratando os valores encontrados na Tabela 6.8 para ambas as áreas. Lembrando que a curva espectral é a “assinatura” da cor de cada situação estudada.

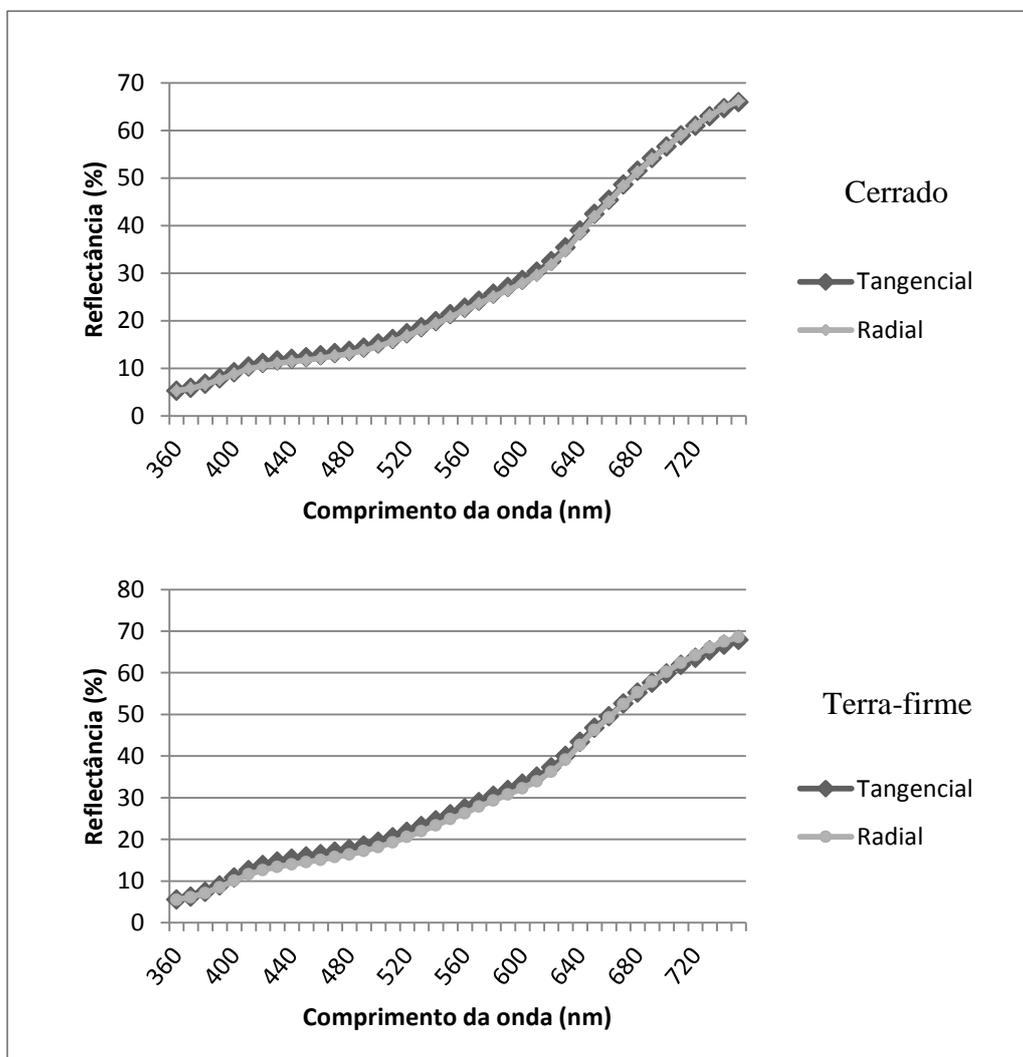


Figura 6.5: Curva de reflectância por plantio, em função do comprimento de onda.

Para a análise mais detalhada sobre as cores das faces tangencial e radial, dentro de cada classe, em cada ecossistema estudado, fez-se as curvas de reflectâncias em função do comprimento de onda (Figuras 6.6 e 6.7).

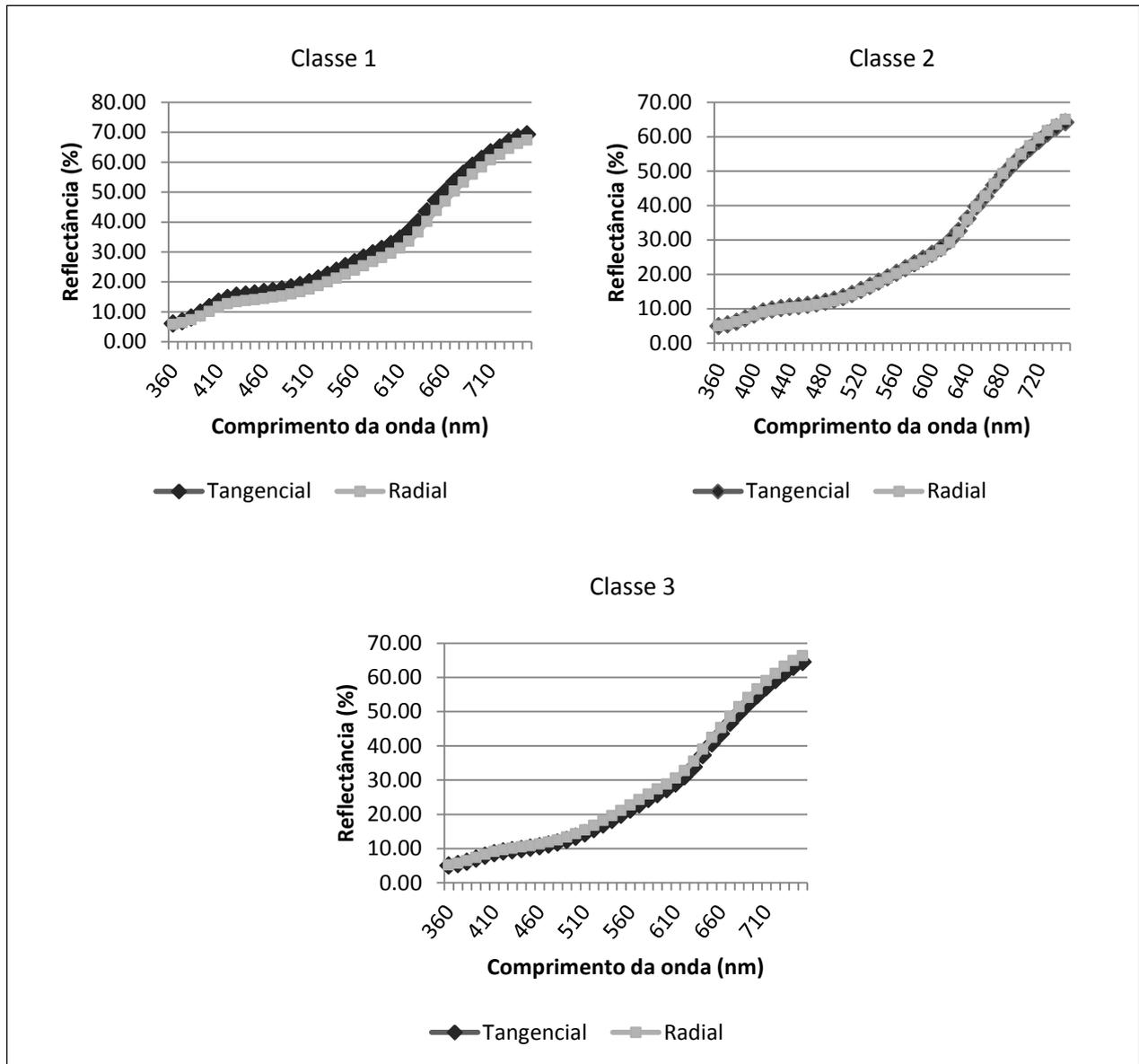


Figura 6.6: Curva de reflectância por classes diamétricas no plantio de cerrado, em função do comprimento de onda.

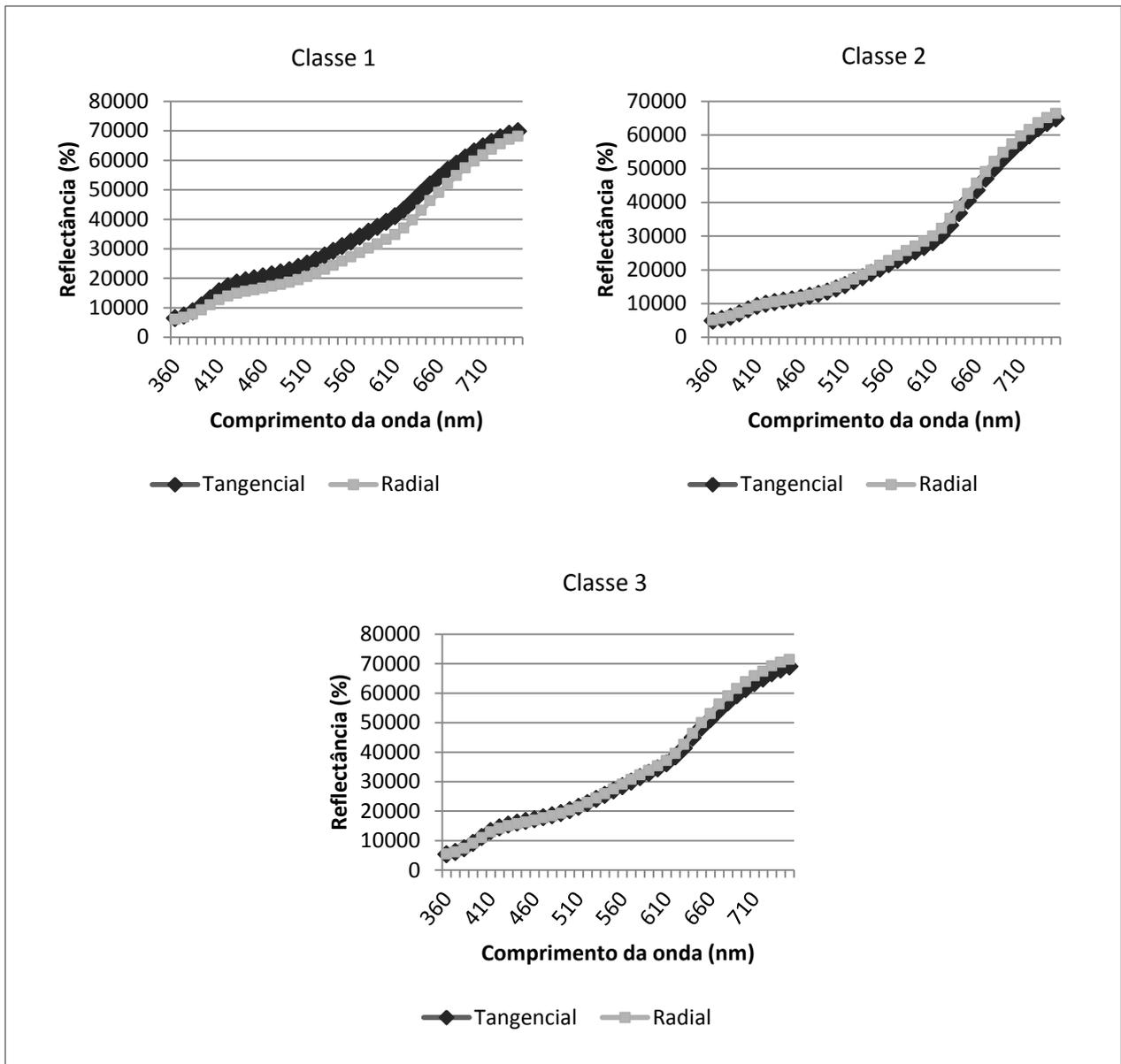


Figura 6.7: Curva de reflectância por classes diamétricas no plantio de terra-firme, em função do comprimento de onda.

Observando-se as Figuras 6.6 e 6.7, verifica-se o comportamento das curvas espectrais dentro de cada classe de diâmetro, retratando os dados da Tabela 6.7 para as duas áreas estudadas. Isto é a face tangencial da classe 1 é mais clara na face tangencial, mostrando uma maior reflectância do comprimento de onda nesta. Isso para ambas as áreas de estudo. Na classe diamétrica 2 verifica-se a tendência da reflectância ser maior na face radial para ambas as áreas. A diferença colorimétrica entre as classes diamétricas e entre faces da madeira permite o industrial fazer uma seleção da madeira por classe ou por face no intuito de obter materiais mais homogêneos quanto a sua cor. Assim durante

o desdobro da madeira desta espécie poderá se obter peças mais claras ou mais escuras, de acordo com a solicitação de mercado.

6.4. Ensaio Ultrassom e *Stress wave*

A Tabela 6.9 mostra a estatística descritiva da velocidade de propagação e do módulo de elasticidade dinâmico da madeira de tachi branco para as duas áreas estudadas, obtidos a partir dos ensaios de *stress wave* e ultrassom, no sentido longitudinal da amostra.

Tabela 6.9: Valores médios, coeficiente de variação e desvio padrão dos parâmetros de *stress wave* e ultrassom.

	CERRADO			
	Stress Wave		Ultrassom	
	Vprop (m/s)	MOEd (MPa)	Vprop (m/s)	MOEd (MPa)
Média	4283.76	12455.19	4819.05	15823.87
Mínimo	3243.24	7874.51	3916.08	9902.2
Máximo	4912.28	17768.52	5447.47	23247.33
CV	5.91	12.45	4.211	11.43
DP	253.52	1550.69	202.93	1808.67
	TERRA-FIRME			
	Stress Wave		Ultrassom	
	Vprop (m/s)	MOEd (MPa)	Vprop (m/s)	MOEd (MPa)
Média	4326.29	12728.09	4869.77	16183.60
Mínimo	3471.07	7319.94	4261.8	10022.68
Máximo	4827.59	15929.14	5243.45	22720.21
CV	5.13	13.63	3.16	12.34
DP	222.07	1735.64	154.25	1997.92

Onde: Vprop - velocidade de propagação, MOEd - módulo de elasticidade dinâmico.

As médias da velocidade de propagação encontradas em ambos plantios estão dentro do limiar proposto por diversos autores como Gonzalez et al. (2001) e Nogueira (2005) que relataram valores entre 4.000 a 6.000 m/s. Observa-se que a variabilidade

dos dados de velocidade de propagação das duas áreas foi abaixo de 10%, limite considerado como de ótima precisão segundo Stangerlin et al. (2010).

Os valores médios dos MOEds e o MOEdu para a madeira de tachi branco das áreas de cerrado e terra firme, foram respectivamente, 12455,19Mpa 15823,87Mpa e 12728,09Mpa e 16183,60Mpa.

Tanto os valores médios das velocidades de propagações como dos módulos de elasticidades dinâmicos para ambas as áreas estão de acordo com o observado em diversos outros trabalhos com espécies plantadas e nativas. Vivian et al. (2012) analisando a espécie *Eucalyptus cloeziana* aos 16 anos de idade através do método de ultrassom, encontrou média de 4.116 m/s de velocidade de propagação e 13544MPa de constante elástica dinâmica.

Candian e Sales (2009), estudando a madeira de *Eucalyptus citriodora*, encontrou uma velocidade média propagação de 4379m/s e um módulo de elasticidade dinâmico de 14501Mpa. Zerbini (2008) encontrou para a madeira de *Tachigali myrmecophila* (tachi-preto) uma velocidade de propagação média de 5.400m/s para o ultrassom.

Calderon (2012) estudando quatro espécies amazônicas encontrou valores da velocidade de propagação e do módulo de elasticidade dinâmico para ultrassom e para o *stress wave*, conforme segue: *Aspidosperma macrocarpon* (velocidade ultrassom = 4903m/s, MOEdu = 16438Mpa – velocidade s. wave = 3806m/s, MOEds = 10115Mpa); *Symphonia globulifera* (velocidade ultrassom = 5188m/s, MOEdu = 22793Mpa – velocidade s. wave = 3986m/s, MOEds = 13788MPa); *Ocotea costulata* (velocidade ultrassom = 4458m/s, MOEdu = 15506MPa – velocidade s. wave = 3757m/s, MOEds = 10050Mpa) e *Brosimum paraense* (velocidade ultrassom = 5019m/s, MOEdu = 28023MPa – velocidade s. wave = 3883m/s, MOEds = 17112MPa). Os valores médios da velocidade de propagação e do módulo de elasticidade dinâmico pelo método de ultrassom apresentaram médias superiores em relação ao método por ondas de tensão também neste trabalho. Outros autores encontraram resultados semelhantes como por exemplos (TELES, 2014; e STANGERLIN, 2010).

Segundo Goncalez (2001), quanto menor a frequência de excitação do material, maior seria a proximidade entre os resultados obtidos em ensaios dinâmicos e seus correspondentes estáticos. Isso poderia explicar os melhores resultados obtidos nos

ensaios de stress wave (frequências de excitação menores), quando comparados com aqueles do método do ultrassom (frequências de excitação da ordem de 45 kHz) em relação ao módulo de elasticidade estático em flexão estática.

As Tabelas 6.10 e 6.11 apresentam a análise de variância e as médias das propriedades acústicas, determinadas por ultrassom e *stress wave* nas três classes de diâmetros e para as duas áreas estudadas.

Analisando os parâmetros por classe, nota-se que não há uma padronização da variação das médias obtidas. Para a área de cerrado, os valores médios de MOEd do *stress wave* e MOEd do ultrassom, foram menores na classe 3. Na área de terra firme, tanto os valores do MOEd do *stress wave*, como o do MOEd do ultrassom, mostraram tendência de ser maior na classe diamétrica 3 e menor na classe 1. A velocidade de propagação da onda foi menor, para os dois métodos na classe diamétrica 3.

Tabela 6.10: Análise de variância para os resultados dos ensaios de *stress wave* e ultrassom nos ecossistemas de cerrado e terra-firme.

Cerrado					
FV	GL	Stress Wave		Ultrassom	
		Vprop	MOEd	Vprop	MOEd
Tratamento	2	23.39**	5.90**	20.24**	4.54*
Resíduo	298				
Terra-firme					
FV	GL	Stress Wave		Ultrassom	
		Vprop	MOEd	Vprop	MOEd
Tratamento	2	5.41**	6.97**	8.55**	13.99**
Resíduo	254				

Onde: Vprop - velocidade de propagação, MOEd - módulo de elasticidade dinâmico.

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < .01$)

* significativo ao nível de 5% de probabilidade ($.01 \leq p < .05$)

ns não significativo ($p \geq .05$)

Tabela 6.11: Teste de médias para os resultados dos ensaios de *stress wave* e ultrassom nos ecossistemas de cerrado e terra-firme.

Cerrado				
	Stress Wave		Ultrassom	
	Vprop	MOEd	Vprop	MOEd
1 (6,0-17,0 cm)	4398.78 a	12508.61 b	4899.07 a	15478.74 b
2 (17,5-29,0 cm)	4312.09 b	12915.39 a	4828.67 b	16176.27 a
3 (29,5-37,0 cm)	4144.53 c	12111.04 c	4715.24 c	15656.79 b
Terra-firme				
	Stress Wave		Ultrassom	
	Vprop	MOEd	Vprop	MOEd
1 (6,0-17,0 cm)	4353.57 a	12098.19 b	4865.35 b	15088.15 c
2 (17,5-29,0 cm)	4367.78 a	12897.82 a	4906.86 a	16288.24 b
3 (29,5-37,0 cm)	4266.60 b	13236.63 a	4817.08 c	16816.38 a

Onde: Vprop - velocidade de propagação, MOEd - módulo de elasticidade dinâmico. Médias seguidas pela mesma letra na mesma coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 1 e 5% de probabilidade. Valores, em uma coluna, dentro de cada área e em uma mesma face, seguidos por uma mesma letra, não possuem diferenças estatísticas, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

6.5. Flexão Estática (MOR e MOE)

A Tabela 6.12 apresenta as médias, coeficiente de variação e desvio padrão para os módulos de ruptura (MOR) e módulo de elasticidade (MOE) em flexão estática.

Tabela 6.12: Valores médios, coeficiente de variação e desvio-padrão do Módulo de Ruptura (MOR) e Módulo de Elasticidade Estático (MOE) nos plantios de cerrado e terra-firme.

	Cerrado		Terra-firme	
	MOR (MPa)	MOE (MPa)	MOR (MPa)	MOE (MPa)
Média	91.52	11875.23	99.13	12363.69
Mínimo	40.34	2205.91	34.51	4027.69
Máximo	130.22	112498.28	142.99	116669.04
CV	21.61	67.46	21.58	57.85
DP	19.78	8011.34	21.39	7153.29

Os valores médios do MOR e MOE estáticos da madeira de taxi branco das áreas de cerrado e terra firme foram respectivamente, 91,52MPa e 11875,23MPa ; 99,13MPa e 12363,69MPa. Nota-se que apesar da proximidade dos valores entre as

áreas, a madeira do plantio de terra-firme apresentou médias de MOR e MOE levemente superiores.

Os valores de MOR e MOE encontrados nesta pesquisa foram superiores ao determinado por Oliveira (2005) em madeira de tachi-branco do centro-oeste proveniente de plantio homogêneo. As médias para o módulo de ruptura (MOR) encontrado por este autor variaram de 61,97MPa a 66,29MPa, enquanto o módulo de elasticidade (MOE) variou entre 5628,82MPa a 6107,18MPa.

Araújo (2007) avaliando 163 espécies de madeiras tropicais determinou para o *Sclerolobium paraense*, uma espécie semelhante ao *Tachigali vulgaris*, um módulo de ruptura de 123,37MPa e um módulo de elasticidade de 13.435MPa. Valores do MOE bem próximos ao encontrados neste trabalho.

De acordo com a classificação proposta por IBAMA (2011) conforme as propriedades mecânicas, a madeira do tachi-branco tanto do plantio de cerrado quanto de terra-firme apresentam alto módulo de ruptura e módulo de elasticidade médio. Nascimento et al. (1997) após analisar a densidade básica e as propriedades mecânicas de várias espécies da Amazônia, indicaram o tachi-branco encontrado no Amapá para uso na construção leve e pesada.

A Tabela 6.13 apresenta a análise de variância e a Tabela 6.14 contém o teste de média para o modulo de ruptura (MOR) e modulo de elasticidade (MOE) em flexão estática para as três classes de diâmetros das duas áreas estudadas.

No plantio de cerrado o MOR cresceu com o aumento da classe de diâmetro das árvores. Já o MOE foi maior na classe 2. Na área de terra-firme a classe 1 apresentou a menor média para o MOR e o MOE e a classe 2 e 3 as maiores.

Tabela 6.13: Análise de variância do MOR e MOE em flexão estática para as duas áreas estudadas.

F	Cerrado			Terra-firme		
	GL	MOR	MOE	GL	MOR	MOE
Classe	2	25.88**	2.89ns	2	18.77**	2.65ns
Amostras	274			243		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < .01$)

* significativo ao nível de 5% de probabilidade ($.01 \leq p < .05$)

ns não significativo ($p \geq .05$)

Tabela 6.14: Valores médios do MOR e MOE em flexão estática para as três classes de diâmetros e para as duas áreas estudadas.

Classes diamétricas	Cerrado		Terra-firme	
	MOR	MOE	MOR	MOE
1 (6,0-17,0 cm)	81.27 c	10473.47 b	84.06b	10524.34 b
2 (17,5-29,0 cm)	92.30 b	13168.22 a	103.50a	13262.36 a
3 (29,5-37,0 cm)	101.69 a	11547.57 ab	102.69a	12278.66 ab

Valores, em uma coluna, dentro de cada área e em uma mesma face, seguidos por uma mesma letra, não possuem diferenças estatísticas, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A Tabela 6.15 apresenta as correlações de Pearson entre os parâmetros utilizados nos ensaio de *stress wave* e os parâmetros de flexão estática nas duas áreas.

Tabela 6.15: Correlações entre *stress wave* e flexão estática nos plantios de cerrado e terra-firme.

	Cerrado			
	Vprops	MOEds	MOR	MOE
Vprops	1			
MOEds	0.698**	1		
MOR	-0.001	0.295**	1	
MOE	0.005	0.050	0.159**	1
	Terra-firme			
	Vprops	MOEds	MOR	MOE
Vprops	1			
MOEds	0.59**	1		
MOR	0.033	0.182**	1	
MOE	0.132*	0.003	0.180**	1

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < .01$)

* significativo ao nível de 5% de probabilidade ($.01 \leq p < .05$)

Analisando-se a Tabela 6.15, observa-se correlações mais marcantes entre a velocidade de propagação do *stress wave* e o modulo de elasticidade dinâmico também determinado pelo *stress wave* para as duas áreas de estudo. Verifica-se ainda outras correlações de menor intensidades entre as propriedades determinadas, apesar de significativas, poucas informações aporta.

A Tabela 6.16 apresenta as correlações de Pearson entre os parâmetros utilizados nos ensaio de ultrassom e os parâmetros de flexão estática nas duas áreas de estudo.

Tabela 6.16: Correlações entre ultrassom e flexão estática nos plantios de cerrado e terra-firme.

Cerrado				
	Vpropu	MOEdu	MOR	MOE
Vprops	1			
MOEdu	0.533**	1		
MOR	0.008	0.380**	1	
MOE	0.015	0.104	0.158**	1
Terra-firme				
	Vpropu	MOEds	MOR	MOE
Vprops	1			
MOEds	0.373**	1		
MOR	0.058	0.207**	1	
MOE	0.142*	-0.033	0.179**	1

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < .01$)

* significativo ao nível de 5% de probabilidade ($.01 < p < .05$)

Assim como observado na Tabela 6.15, a melhor correlação ocorreu entre o módulo de elasticidade dinâmico e a velocidade de propagação na área de cerrado. As demais correlações, apesar de algumas significativas, são baixas, não trazendo informações relevantes.

Mcdonald et al. (1990), afirmam que altas correlações podem ser observadas entre os módulos de elasticidade obtidos a partir das técnicas de ondas acústicas (Ed) e flexão estática (MOE). É mais difícil relacionar MOR com Ed, pois a presença de defeitos e a inclinação das fibras têm efeito mais significativo no MOR do que na velocidade longitudinal da onda.

Segundo Oliveira et al. (2003), os valores do módulo de elasticidade obtidos no método de ultrassom são usualmente maiores que os encontrados na flexão estática. Os mesmos autores citando Simpson e Wang (2001), explicam que isso ocorre pelo fato de a madeira ser um material viscoelástico e altamente amortecedor. Na vibração de uma espécie de madeira, a força elástica restaurada é proporcional ao deslocamento e a força dissipativa é proporcional à velocidade. Portanto, quando a força é aplicada com curta duração, o material se comporta como um sólido elástico, enquanto que para uma longa duração o comportamento é igual ao de um líquido viscoso.

7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O estudo de caracterização da madeira de tachi branco (*Tachigali vulgaris*) permitiu concluir que:

- a nível macro das áreas de estudo, o sítio não influenciou na maioria das propriedades tecnológicas da madeira de tachi branco. No entanto, quando se faz a repartição das árvores em classes de diâmetro, dentro de cada ecossistema, poderá haver influência do diâmetro da árvore em determinada propriedade;

- os componentes químicos estudados tiveram pouca variação, parecendo que o sítio não mostrou grande influência na composição química desta espécie;

- os teores de extrativos e de lignina mostraram fraca correlação com a densidade básica da madeira;

- a espécie foi classificada como de densidade e retratibilidade média. Estas duas propriedades apontam um vasto uso da espécie em segmentos como movelaria, construção leves, molduras, lâminas, etc.;

- houve uma relação direta entre o aumento da densidade básica e o aumento da classe diamétrica para os dois sítios;

- as diferenças entre ambientes não alteraram os valores de densidade básica da madeira;

- a madeira de *Tachigali vulgaris* apresentou uma coloração marrom claro para os dois sítios.

- as classes diamétricas influenciaram a cor da madeira. Houve uma tendência da classe de menor diâmetro apresentar madeira mais clara, influenciada pela menor percentagem de extrativos;

- os valores médios das velocidades de propagações, tanto de ultrassom como de stress wave, para ambas as áreas, permitiram estimar o módulo de elasticidade dinâmico (MOEd) da espécie, de forma rápida e eficaz;

- a técnica de stress wave, mostrou estimativas do MOEd mais próximo do módulo de elasticidade estático determinado em flexão estática;

- considerando os módulos de elasticidade e de ruptura em flexão estática, a madeira de tachi branco apresentou resistência média;

- a madeira de *Tachigali vulgaris* (tachi-branco), utilizada em plantios homogêneos, independente do ecossistema, mostrou potencial, não somente para ser utilizada para produção de energia, mas também para os segmentos industriais de móveis, produção de lâminas, construções leves, utensílios, embalagens e revestimentos internos (forro e lambri);

- esta espécie pode ser considerada uma opção interessante para plantios em pequenas e médias propriedades, pois o seu uso múltiplo permite agregar valor na renda destes proprietários;

Recomenda-se estudar plantios com esta espécie em ecossistemas diferentes com as mesmas idades e mesmos tratamentos silviculturais, fazendo-se determinações das propriedades tecnológicas ao longo do fuste longitudinal e radial; empregar outras técnicas não destrutivas (infravermelho, rugosidade, análise de imagem, envelhecimento artificial) com a finalidade de aprofundar o conhecimento sobre a qualidade desta espécie e desenvolver estudos específicos de acordo com o segmento industrial de utilização, para maior potencialização de uso da espécie; o incentivo e apoio governamental em seus programas de desenvolvimento florestal aos proprietários de pequeno e médio porte com esta espécie.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, H. J. B. Relações Funcionais Entre Propriedades Físicas e Mecânicas De Madeiras Tropicais Brasileiras. **Floresta**, Curitiba, v.37, n.3, 2007.

ARAÚJO, H.J.B. de. **Agrupamento de madeiras ocorrentes em pequenas áreas sob manejo florestal do Projeto de Colonização Pedro Peixoto (AC) por similaridade das propriedades físicas e mecânicas**. 2002. (Dissertação): Mestrado em Recursos Florestais - Escola Superior Luiz de Queiroz, Piracicaba. 2002, 184p.

AUTRAN, C. S.; GONÇALEZ, J. C. Caracterização colorimétrica das madeiras de muirapiranga (*Brosimum rubescens*Taub.) e de seringueira (*Hevea brasiliensis*, clone Tjir 16 Müll Arg.) visando à utilização em interiores. **Revista Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 16, n. 4, p. 445-451, 2006.

BALLARIN, A. W.; NOGUEIRA, M. Determinação do módulo de elasticidade da madeira juvenil e adulta de *Pinus taeda* por ultra-som. **Engenharia Agrícola**, v.25, n.1, p. 19-28, 2005.

BARRICHELO, L.E.G. **Estudo das características físicas, anatômicas e químicas da madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* Barr e Golf para produção de celulose Kraft** (2002). (Tese): Doutorado em Livre Docência - ESALQ/USP, Piracicaba, 1979, 167p.

BELTRAME, R; GATTO, D.A.; MODES, K.S.; STANGERLIN, D.M.; TREVISAN, R.; HASELEIN, C.R. Resistência ao impacto da madeira de açoita-cavalo em diferentes condições de umidade. **Cerne**, Lavras v.16, n.4, 2010.

BOWYER, J. L.; SHMULSKY, R.; HAYGREEN, J. G. **Forest products and wood science: an introduction**. Ames: Blackwell, 2003. 554p.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Projeto RADAMBrasil. Folha SA.22 - Belém: geologia, geomorfologia, solos, vegetação, uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 1974.

BRASIL. Plano nacional de silvicultura com espécies nativas e sistemas agroflorestais – PENSAF. 2006. Disponível em http://www.mma.gov.br/estruturas/pnf/arquivos/pensaf_v1.pdf. Acessado em 13/02/2015.

BRAZ, R.L.; OLIVEIRA, J.T.S.; ROSADO, A.M.; VIDAURRE, G.B.; PAES, J.B.; TOMAZELLO FILHO, M.; LOIOLA, P.L. Caracterização anatômica, física e química da madeira de clones de *Eucalyptus* cultivados em áreas sujeitas à ação de ventos. **Ciência da Madeira** (Brazilian Journal of Wood Science), v.5, n.2, p. 127-137, 2014.

BRITO, J.O. Usos energéticos do *Eucalyptus grandis*. In: Jornadas Forestales de Entre Rios, 9., 1994, Concordia. **Anais...** Concordia: INTA, p.1-14, 1994.

BUCUR, V.; BÖHNKE, I. Factors affecting ultrasonic measurements in solid wood. *Ultrasonics*, n.32, v.5, p.385-390. 1994.

BUCUR, V. **Nondestructive characterization and imaging of wood**. New York: Springer-Verlag, 2003.

CALDERON, C.M.A. **O segmento moveleiro na região do Alto Juruá – AC: Perfil e uso de tecnologias alternativas para a caracterização das principais espécies madeireiras**. 2012. (Tese) Doutorado em Ciências Florestais, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 158p. 2012.

CAMARGOS, J.A.A.; GONÇALEZ, J.C. A colorimetria aplicada como instrumento na elaboração de uma tabela de cores de madeira. **Brasil Florestal**, Brasília, n. 71, p.30-41, 2001.

CAMPOS, J. C. C. Principais fatores do meio que afetam o crescimento das árvores. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 2, n. 3, p. 45-52, 1970.

CAMPOS FILHO, E.M. **Coleção plante as árvores do Xingu e Araguaia: volume II, guia de identificação**. São Paulo: Instituto Socioambiental, 2009.

CANDIAN, M.; SALES, A. Aplicação das técnicas não destrutivas de ultra-som, vibração transversal e ondas de tensão para avaliação de madeira. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v.9, n.4, p. 83-98, 2009.

CARPANEZZI, A. A.; MARQUES, L. C. T.; KANASHIRO, M. **Aspectos ecológicos e silviculturais de taxi-branco-daterra-firme - *Sclerolobium paniculatum***. Curitiba: EMBRAPA-URPFCS, Circular técnica, 8, 1983. 10 p.

CARRASCO, E.V.M.; AZEVEDO JR., A.P. Avaliação não destrutiva de propriedades mecânicas de madeiras através de ultra-som - fundamentos físicos e resultados experimentais. **Cerne**, v. 9, n. 2, p. 178-191, 2003.

CARVALHO, P.E.R. Taxi-Branco – Taxonomia e nomenclatura. Embrapa Florestas, Circular Técnica, n.111, 2005.

CASTELO, P. A. R.; MATOS, J. L. M. de; DEDECEK, R. A.; LAVORANTI, O. J. Influência de diferentes sítios de crescimento sobre a qualidade da madeira de *Pinus taeda*. **Floresta**, Curitiba, PR, v. 38, n. 3, 2008.

CHAUHAN S.S, DONNELLY R, HUANG C-L, NAKADA R, YAFANG Y, WALKER J. Wood Quality: in Context. In: Walker JCF. Primary Wood Processing Principles and Practice. 2nd ed. University of Canterbury, Christchurch, New Zealand: Springer; 2006.

COPANT: COMISSION PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS. **Maderas: selección y colección de muestras**. Caracas: COPANT, 1972. (COPANT; 458).

COPANT: COMISSION PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS. **Maderas:** método de determinación de la flexión estática. 555. Caracas: COPANT, 1973. (COPANT 30:1-006).

CORDER, S.E. **Wood and bark as fuel.** Corvallis, Oregon State University, Research Bulletin n.14, 1973. 32p.

CUNHA, A.B. e MATOS, J.L.M. Determinação do módulo de elasticidade em madeira laminada colada por meio de ensaio não destrutivo (“*stress wave timer*”). **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.34, n.2, p.345-354, 2010.

CRUZ, C. D. GENES – A software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 35, p.271-276, 2013.

DANCEY, C.; REIDY, J. **Estatística sem matemática para Psicologia:** Usando SPSS para Windows. Porto Alegre, Artmed. 2006.

DEL MENEZZI, C.H.S.; SILVEIRA, R.R.; SOUZA, M.R. Estimativa das propriedades de flexão estática de seis espécies de madeiras amazônicas por meio da técnica não-destrutiva de ondas de tensão. **Acta Amazonica**. v.40 n.2, 2010.

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

EVANS, J.L.W.; SENFT, J. F.; GREEN, D. W. Juvenile wood effect in red alder: analysis of physical and mechanical data to delineate juvenile and mature wood zones. **Forest Products Journal**, v.50, n. 7/8, 2000.

FELFILI, J. M.; HILGBERT, L. F.; FRANCO, A. C.; SOUSA-SILVA, J. C.; RESENDE, A. R.; NOGUEIRA, M.V. P. Comportamento de plântulas de *Sclerolobium paniculatum* Vog. var. *rubiginosum* (Tul.) Benth., sob diferentes níveis de sombreamento, em viveiro. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 22, n. 2, p. 297-301, 1999.

FERREIRA, M. Variação da densidade básica da madeira de povoamentos comerciais de *Eucalyptus grandis* W.Hill ex Maiden nas idades de 11, 12, 13, 14 e 16 anos. **IPEF**, v. 4, p. 65-89, 1972.

FOELKEL, C.E.B. A busca da qualidade da madeira do e ucalipto para produção de celulose através de árvores projetadas pelo homem. In: Simpósio sobre Tendências do Desenvolvimento Florestal Brasileiro. **Anais...** Piracicaba, IPEF, p.1-13. 1985.

FOREST PRODUCTS LABORATORY. **Wood handbook:** wood as an engineering material. Madison: U.S, Forest Products Laboratory, 1999. 463 p.

FRANCZAK, D.D.; MARIMON, B.S.; MARIMON-JUNIOR, B.H.; MEWS, H.A.; MARACHIPES, L.; OLIVEIRA, E.A. Changes in the structure of a savanna forest over

a six-year period in the Amazon-Cerrado transition, Mato Grosso state, Brazil. **Rodriguésia**, v. 62, p. 425-436, 2011.

GOMES, F.P. **Curso de estatística experimental**. 14^a ed. Piracicaba, Degaspari. 2000. 477p.

GONÇALEZ, J.C. **Caracterisation technologique de quatre especes peu connues de la forêt Amazonienne**: anatomie, chimie, couleur, propriétés physiques et mécaniques. Nancy. 1993. (Thèse) Doctorat en Sciences Forestières - Ecole Nationale du Génie Rural, des Eaux et des Forêts, Nancy, France, 1993. 445 f.

GONÇALEZ, J. C.; JANIN, G.; SANTORO, A. C. S.; COSTA, A. F. da; VALE, A. T. do. Colorimetria quantitativa: uma técnica objetiva de determinar a cor da madeira. **Brasil Florestal**, Rio de Janeiro, n. 72, p. 47-58, 2001.

GONÇALEZ, J.C.; VIEIRA, F.S.; CAMARGOS, J.A.A.; ZERBINI, N.J. Influência do sítio nas propriedades da madeira de *Pinus caribae* var. *hondurensis*. **Cerne**, Lavras, v. 15, n. 2, p. 251-255, 2009.

GONCALVES, J.C.; MACEDO, D.G. Colorimetria aplicada à madeira de eucalipto. In: SILVA, J.C.; GOMES, J.M. (Eds.) II Seminario de Produtos Solidos de Madeira de Eucalipto. Belo Horizonte. p.81-95, 2003.

GONÇALVES, J.L. de M.; COUTO, H.T.Z. do; KAGEYA, A.P.Y.; DEMATTÊ, J.L.I. Interações genótipo solo em sítios florestais de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* em alguns solos do baixo potencial produtivo do Estado de São Paulo. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n.43/44, p.40-49, 1990.

GORNIK, E.; MATOS, J. L. M. Métodos não destrutivos para determinação e avaliação de propriedades da madeira. In: Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira, **Anais...** São Carlos: UFSC, p. 121-131, 2000.

GOUVEA, A.F.G.; GOMES, C.M.; MATOS, L.M.; SOUZA, T.A.; KUMABE, F.J.B.; BENITES, P.K.R.M. Efeito do sítio nas características tecnológicas da madeira de *Eucalyptus* para produção de celulose kraft. **Ciência da Madeira** (Braz. J. Wood Sci.), Pelotas, v. 03, n. 02, p.102-115, 2012.

INSTITUTO DE PESQUISAS CIENTÍFICAS E TECNOLÓGICAS DO AMAPÁ – IEPA. Plano de Recuperação de Assentamentos: PA Piquiazal. Macapá-AP: INCRA, 2004.

JENRICH, H. **Vegetação arbórea e arbustiva nos altiplanos das chapadas do Piauí central**: características, ocorrência e empregos. Teresina: GTZ, 1989. 70 p.

HALABE, U. B.; BIDIGALU, G. M.; GANGARAO, H. V. S.; ROSS, R. J. Nondestructive evaluation of green wood using stress wave and transverse vibration techniques. *Materials Evaluation*. p.1013-1018. 1995.

HIGUCHI, N.; CARVALHO JR. J. A. Fitomassa e conteúdo de carbono de espécies da Amazônia. In: Seminário Emissão x Seqüestro de CO₂ – Uma nova oportunidade de negócios para o Brasil. Rio de Janeiro. 1994. **Anais...** Companhia Vale do Rio Doce. Rio de Janeiro. p.125 – 154, 1994.

HOLDSCHIP, R. A influência dos sistemas de gerenciamento de cores em provas digitais. 2008. (Dissertação) Mestrado em Desenho Industrial -Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2008. 123p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS – IBAMA. **Banco de dados de madeiras brasileiras**. 2011. Disponível em < <http://www.mad-uliana.com.br/site/pt/pdf/03-freijo.pdf>> Acessado em 23/04/2015.

KABIR, M.F.; SCHMOLDT, D.L.; SCHAFER, M.E. Time domain ultrasonic signal characterization for defects in thin unsurfaced hardwood lumber. **Wood and fiber science**, v.34, n.1, p.165-182, 2002.

KISHINO, M.; NAKANO, T. Artificial weathering of tropical woods. Part 1: changes in wettability. **Holzforschung**, v. 58, n. 5, p. 552-557. 2004.

LATORRACA, J.V.; ALBUQUERQUE, C.E.C. Efeito de rápido crescimento sobre as propriedades da madeira. **Revista Floresta e Ambiente**, v.7, n.1, p.279-291, 2000.

LAVISCI, P.; JANIN, G.; UZIELLI, L. Qualité du bois de six essences du maquis méditerranéen. *Foret Mediterraneenne*, Marseille, t. XI, n°1, julho 1989.

LEE S, LEE JS, KIM K, LEE J AND YEO H. Basic study on nondestructive evaluation of artificial deterioration of a wooden rafter by ultrasonic measurement. **Journal of Wood Science**, n.57, v.5, p.387-394, 2011.

LIMA, R,M,B. **Crescimento do *Sclerolobium paniculatum* Vogel na Amazônia, em função de fatores de clima e solo**. (Tese), Doutorado em Ciências Florestais, Curitiba, Universidade Federal do Paraná, 2004. 212p.

LIMA, R.M.B. Silvicultura de florestas plantadas na Amazônia. In: Anais/encarte técnico-científico do workshop sobre gestão da conservação florestal e ambiental na Amazônia. Manaus: Ed. Aufiero, 2012.

LORENZI, H. Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. Nova Odessa: **Plantarum**, v.1, 1992. 373 p.

MACHEK, L.; MILITZ H.; SIERRA-ALVAREZ, R. The use of an acoustic technique to assess wood decay in laboratory soil-bed tests. **Wood Science and Technology**, v.34 n.6, 467-472, 2001.

MENESES, V.A.; TRUGILHO, P.F.; CALEGARIO, N.; LEITE, H.G. Efeito da idade e do sítio na densidade básica e produção de massa seca de madeira em um clone do *Eucalyptus urophylla*. **Scientia Forestalis**, v.43, n. 105, 2015.

- MCDONALD, K. A. FALK, R. H.; MALLORY, M. P. Nondestructive testing of wood products and structures: state of the art and research needs. **Madison**, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. p.137-147, 1990.
- MELO, J.E.; CORADIN, V.T.R.; MENDES, J.C. Classes de densidade para madeiras da Amazônia brasileira. In: Congresso Florestal Brasileiro, 6., 1990, Campos do Jordão. **Anais...** São Paulo: Sociedade Brasileira de Silvicultura, v.3, p.695-699. 1990.
- MOCHIUTTI, S.; MELÉM JUNIOR, N. J.; FARIAS NETO, J. T.; QUEIROZ, J. A. L. Taxi-branco (*Sclerobium paniculatum*): Leguminosa arbórea para a recuperação de áreas degradadas pela agricultura migratória. Comunicado Técnico. Macapá: Embrapa Amapá, n.28, 1999. 5p.
- MOREIRA, W. S.; BEZERRA, R. G.; MOREIRA, I. P. S.; SUMITAMI, V. Estudo do potencial da madeira e do carvão de algumas espécies do Cerrado. In: Congresso e Exposição Internacional sobre Florestas, 6., 2000, Porto Seguro. **Resumos técnicos**. Rio de Janeiro: Instituto Ambiental Biosfera, p. 402-404, 2000.
- MORESCHI, J.C. **Propriedades tecnológicas da madeira**. Curitiba: Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal, Setor de Ciências Agrárias/UFPR, 2010. 176 p.
- NASCIMENTO, C.C.; GARCIA, J.N.; DIÁZ, M.P. Agrupamento de espécies madeireiras da Amazônia em função da densidade básica e propriedades mecânicas. **Madera y Bosques**, v.3, n.1, p.33-52. 1997.
- NOGUEIRA, M.; BALLARIN, A.W. Sensibilidade dos ensaios de ultra-som à ortotropia elástica da madeira. In: Conferência Pan-Americana de Ensaio Não-Destrutivos, 3., 2003, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: ABENDE, 2003.
- OLIVEIRA, F. G. R. **Estudo de propriedades mecânicas de dicotiledôneas por meio de ensaios não destrutivos utilizando equipamento de ultra-som**. 2001. (Dissertação) Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais – EESC, USP São Carlos, 2001, 55p.
- OLIVEIRA, F.G.R; CAMPOS, J.A.O.; PLETZ, E.; SALES, A. Nondestructive evaluation of wood using ultrasonic technique. **Maderas, Ciencia y Tecnología**, v.4 n.2, p. 133-139, 2002.
- OLIVEIRA, F.G.R; CANDIAN, M.; LUCCHETTE, F.F.; CALIL JR, C.; SALES, A. Avaliação de propriedades mecânicas de madeira por meio de ultra-som. In: III Conferência Pan-Americana de testes não destrutivos (Painel). Rio de Janeiro, Brasil, junho, 2003.
- OLIVEIRA, F.G.R; CANDIAN, M.; LUCCHETTE, F.F.; SALGON, J.L.; SALES A. Moisture content effect on ultrasonic velocity in *Goupia glabra*. **Materials Research**; v.8, n.1, p.11-14, 2005a.
- OLIVEIRA, F.G.R.; MILLER, K.P.; CANDIAN, M.; SALES, A. Influência da seção transversal na velocidade ultra-sônica na madeira de *Eucalyptus citriodora*. **Cerne**, v. 11, n. 2, p.197-203, 2005b.

OLIVEIRA, F.G.R.; SALES, A. Relationship between density and ultrasonic velocity in Brazilian tropical woods. **Bioresource Technology**, v.97, n.18, p.2443-2446, 2006.

OLIVEIRA, J. T. S. **Caracterização da madeira de eucalipto para construção civil**. 1997. (Tese) Doutorado em Engenharia Civil - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997. 252 f.

OLIVEIRA, J. T. S.; SILVA, J. C. Variação radial da retratibilidade e densidade básica da Madeira de *Eucalyptus saligna* Sm. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.27, n.3, p.381-385, 2003.

OLIVEIRA, J.B. **Caracterização Mecânica e contração da madeira de *Sclerolobium paniculatum* Vogel cultivado em um plantio homogêneo sob diferentes níveis de adubação**. (Dissertação) Mestrado em Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília-DF, 45p. 2005.

ORELLANA, B.B.M.A. **Quantificação da biomassa e potencial energético de *Tachigali vulgaris* em áreas plantadas no estado do Amapá**. (Dissertação) Mestrado em Ciências Florestais, Universidade de Brasília, Brasília, 2015, 77p.

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

PAULA, J. E. de. Madeiras que produzem álcool, coque e carvão. **CNP - Atualidades**, Brasília, DF, n. 72, p. 31-45, 1980.

PEREIRA, J.C.D.; STURION, J.A.; HIGA, A.R.; HIGA, R.C.V.; SHIMIZU, J.Y. Características da madeira de algumas espécies de eucalipto plantadas no Brasil. **Colombo**: Embrapa Florestas, 2000. 113p.

PEIXOTO, A.L.; MORIM, M.P. Coleções Botânicas: documentação da biodiversidade brasileira. **Ciência e Cultura**, v.55, n.3, 2003.

PHILIPP, P.; D'ALMEIDA, M. L.O. **Celulose e papel**: tecnologia de fabricação da pasta celulósica. 2. ed. São Paulo: IPT, 1988. 964 p.

PUEHRINGER, C.A. Uso de emissão de ondas de tensão para avaliação não destrutiva de árvores e da madeira de *Pinus taeda* L. (Dissertação) Mestrado em Ciências Florestais, Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2002. 114p.

QUIRINO, W.F.; VALE, A.T. do; ANDRADE, A.P.A.de; ABREU, V.L.S.; AZEVEDO, A.C. dos S. Poder calorífico da madeira e de materiais lignocelulósicos. **Revista da Madeira**, São Paulo, n.89, p.100-106, 2005.

RAZERA NETO, A. **Espécies de madeiras tropicais brasileiras na produção de móveis com madeira sólida na região de Curitiba e municípios vizinhos**. 2005. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005. 134p.

- RIBEIRO, M. A. **Instrumentação**. Tek Treinamentos LTDA. 8ª ed,1999.
- RIBEIRO, P. G. **Utilização de técnicas não destrutivas para caracterização de madeiras de *Pinus caribaea* Va r. *hondurensis* de *Eucalyptus grandis***. 2009. (Dissertação) Mestrado em Ciências Florestais - Universidade de Brasília, Brasília, 2009. 114 p.
- ROSS, R.J.; BRASHAW, B.K.; PELLERIN, R.F. Nondestructive evaluation of wood. **Forest products journal**, v.48, n.1, p.14-19, 1998.
- RODRIGUES, T.E.; OLIVEIRA JÚNIOR, R.C.; VALENTE, M.A.; BARRETO, W. de O. Caracterização e classificação dos solos do Campo Experimental do Cerrado da Embrapa Amapá, Estado do Amapá. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2000. 37p.
- ROWELL, R. M.; PETTERSEN, R.; HAN, J. S.; ROWELL, J. S.; TSHABALALA, M. A. **Cell Wall Chemistry**. In: R. M. Rowell (Ed.), Handbook of wood chemistry and wood composites, CRC Press, 1.ed., 2005. 487p.
- SANTOS, I.D. Influência dos teores de lignina, holocelulose e extrativos na densidade básica, contração da madeira e nos rendimentos e densidade do carvão vegetal de cinco espécies lenhosas do cerrado. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade de Brasília, Brasília. 2008, 92p.
- SCHAD, K. C.; SCHMOLDT, D. L.; ROSS, R. J. **Nondestructive methods for detecting defects in softwood logs**. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. Madison: Res. Pap. FPL–RP–546, 1996. 13p.
- SELLE, G. L.; SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G. Classificação de sítio para *Pinus taeda* L., através aa altura dominante, para a região de Cambará do Sul, RS, Brasil. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.4, n.1, p. 77-95, 1994.
- SEVERO, E.T.D. **Estudo sobre o efeito da vaporização nas propriedades e comportamento de secagem na madeira de *Eucalyptus dunnii* Maid**. 1998. (Tese) Doutorado em Engenharia Florestal - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1998. 200p.
- SHIMOYAMA, V.R. **Variações da densidade básica e características anatômicas e químicas da madeira em *Eucalyptus* sp.** 1990. (Dissertação) Mestrado em Ciência Florestal. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1990. 93p.
- SHIMOYAMA, V.R. **Estimativas de propriedades da madeira de *Pinus taeda* através do método não destrutivo emissão de ondas de tensão, visando a geração de produtos de alto valor agregado**. 2005. (Tese) Doutorado em Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná, 2005. 151p.
- SILVA, G. B. **Colorimetria - Propagação de erros e cálculo da incerteza de medição nos resultados espectrofotométricos**. (Dissertação) Mestrado em Metrologia - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004. 93p.

SILVA, J.C. OLIVEIRA, J.T.S.; TOMAZELLO FILHO, M.; KEINERT JÚNIOR, S.; MATOS, J.L.M. Influência da idade e da posição radial na massa específica aparente da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden. **Floresta**, v.34, n.1, p.13-22, 2004.

SILVA, L.F.G.; LIMA, H.C. Mudanças Nomenclaturais no Gênero *Tachigali* Aubl. (Leguminosae – Caesalpinioideae) no Brasil. **Rodriguésia**, v.58, n.2, p.397-401, 2007.

SOLORZANO, A.; PINTO, J. R. R.; FELFILI, J. M.; HAY, J. D. V. Perfil florístico e estrutural do componente lenhoso em seis áreas de cerradão ao longo do bioma Cerrado. **Acta Botanica Brasilica**, v.26, n.2, p.328-341, 2012.

STANGERLIN, D.M.; MELO, R.R.; DOMINGUES, J.M.X. Determinação da resistência ao impacto para as madeiras de *Eucalyptus dunnii*, *Corymbia citriodora* e *Pouteria pachycarpa*. In: XI Encontro Brasileiro em Madeira e Estruturas de Madeira, 14, Londrina, Anais... 2008.

STANGERLIN, D. M.; CALEGARI, L.; SANTINI, E.J.; DOMINGUES, J.M.X.; GATTO, D.A.; MELO, R.R. Determinação do módulo de elasticidade em madeiras por meio de métodos destrutivo e não-destrutivo. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.3, n.2, p.145-150, 2008.

STANGERLIN, D. M.; MELO, R. R. DE; GATTO, D. A.; CADEMARTORI, P. H. G. Propriedades de flexão estática da madeira de *Carya illinoensis* em duas condições de umidade. **Ciência da Madeira**, Pelotas, v. 01, n. 02, p. 70-79, 2010.

TAPPI. **Preparation of wood for chemical analysis**. T. 264 om-88. TAPPI test methods. Atlanta: TAPPI Press. 1996.

TARGA, L.A.; BALLARIN, A.W.; BIAGGIONI, M.A.M. Avaliação do módulo de elasticidade da madeira com uso de método não-destrutivo de vibração transversal. **Eng.Agrícola**, v.25 n.2, 2005.

TEMPLETON, D.; EHRMAN, T. **Determination of Acid-Insoluble Lignin in Biomass - LAP-003**. National Renewable Energy Laboratory - NREL. 1995.

TEMPLETON, D.; EHRMAN, T. **Determination of acid-Soluble Lignin in Biomass - LAP-004**. National Renewable Energy Laboratory - NREL. 1995

THOMPSON, R. M. **Resistência de painéis de partículas orientadas (OSB) tratados termicamente frente ao intemperismo**. 2006. (Monografia) Graduação em Engenharia Florestal - Universidade de Brasília, Brasília, 2006. 48 p.

TOMASELLI, I.; MARQUES, L. C. T.; CARPANEZZI, A. A.; PEREIRA, J. C. D. Caracterização da madeira de taxi-branco-da-terra-firme (*Sclerolobium paniculatum* Vogel), para energia. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Curitiba, n. 6/7, p. 33-44, 1983.

TRUGILHO, P. F.; LIMA, J. T.; MENDES, L.M. Influência da idade nas características físico-químicas e anatômicas da madeira de *Eucalyptus saligna*. **Revista Cerne**, Lavras, v.2 n.1. p. 94-111. 1996.

VALE, A. T. do; COSTA, A. F. da; GONÇALEZ, J. C.; NOGUEIRA, M. Relações entre a densidade básica da madeira, o rendimento e a qualidade do carvão vegetal de espécies do Cerrado. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 25, n. 1, p. 89-95, 2001.

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

VIVIAN, M.A.; MODES, K.S.; SANTINI, E.J.; CARVALHO, D.E.; MORAIS, W.W.C.; SOUZA, J.T.; GATTO, D.A. Estimativa dos módulos de elasticidade e ruptura da madeira de *Eucalyptus cloeziana* f. Muell por meio de método não destrutivo. **Ciência da Madeira (Braz. J. Wood Sci.)**, v. 03, n. 02, p. 91-101, 2012.

WILLIAMS, R.S. Weathering of wood. In: ROWELL, R.M.(Ed.). Handbook of wood chemistry wood composites. Florida: CRC Press, v. 1. p. 139-186, 2005.

ZENID, G.J. **Identificação e grupamento das madeiras serradas empregadas na construção civil habitacional na cidade de São Paulo**. (Dissertação) Mestrado em Ciências – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1997. 169p.

ZERBINI, N.J. **Madeiras tropicais com potencial comercial na região do rio Xingu (Pará, Brasil):** propriedades tecnológicas e cadeia produtiva. (Tese) Doutorado em Engenharia Florestal, Brasília, Universidade de Brasília. 2008. 187p.

ANEXO

ANEXO 1 - Tabela das análises físico-químicas do solo nos dois plantios.

Parâmetros	Áreas de coleta	
	Cerrado	Terra-firme
pH	4,9	5,0
Matéria Orgânica (g/kg)	16,9	47,93
P (mg/dm ³)	1	1
K (cmolc/dm ³)	0,02	0,02
Al (cmolc/dm ³)	1,1	1,3
Saturação de Bases (%)	3	2
Argila (g/kg)	232	544
Areia Grossa (g/kg)	412	33
Areia Fina (g/kg)	273	43
Areia Total (g/kg)	685	76
Silte (g/kg)	83	380
Classificação SBCS*	Franco-argiloarenosa	Argila
Classificação Embrapa	Textura média	Textura argilosa

*Sociedade Brasileira de Ciência do Solo