



CLÁUDIA VIANA URBINATI

**INFLUÊNCIA DAS CARACTERÍSTICAS
ANATÔMICAS EM JUNTAS COLADAS DE
Schizolobium parahyba var. *amazonicum* (HUBER
ex. DUCKE) BARNEBY (PARICÁ)**

LAVRAS-MG

2013

CLÁUDIA VIANA URBINATI

**INFLUÊNCIA DAS CARACTERÍSTICAS ANATÔMICAS EM JUNTAS
COLADAS DE *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (HUBER ex.
DUCKE) BARNEBY (PARICÁ)**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia da Madeira, área de concentração em Madeira como Matéria-Prima, para a obtenção do título de Doutor.

Orientador

Dr. Fábio Akira Mori

LAVRAS - MG

2013

**Ficha Catalográfica Elaborada pela Coordenadoria de Produtos e
Serviços da Biblioteca Universitária da UFLA**

Urbinati, Cláudia Viana.

Influência das características anatômicas em juntas coladas de
Schizolobium parahyba var. *amazonicum* (Huber ex. Ducke)
Barneby (paricá) / Cláudia Viana Urbinati. – Lavras : UFLA, 2013.
161 p. : il.

Tese (doutorado) – Universidade Federal de Lavras, 2013.

Orientador: Fábio Akira Mori.

Bibliografia.

1. Paricá - Madeira - Anatomia. 2. Interface madeira-adesivo. 3.
Espécie de rápido crescimento. I. Universidade Federal de Lavras.
II. Título.

CDD – 674.144

CLÁUDIA VIANA URBINATI

**INFLUÊNCIA DAS CARACTERÍSTICAS ANATÔMICAS EM JUNTAS
COLADAS DE *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (HUBER ex.
DUCKE) BARNEBY (PARICÁ)**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia da Madeira, área de concentração em Madeira como Matéria-Prima, para a obtenção do título de Doutor.

APROVADA em 22 de agosto de 2013.

Dr. Alcir Tadeu de Oliveira Brandão	UFRA
Dra. Cláudia Lopes Selvati Mori	UFLA
Dr. Fabrício José Pereira	UFLA
Dr. Lourival Marin Mendes	UFLA

Dr. Fábio Akira Mori
Orientador

LAVRAS - MG

2013

Ao bom Pai, pela alegria da vida

Agradeço

Aos meus pais Paulo Urbinati e Osmarina Viana Urbinati (*in memoriam*)

Dedico

À minha família:

André, João e José

Neila e André

Ofereço

AGRADECIMENTOS

À Universidade do Estado do Pará - UEPA pela liberação e apoio incondicionais ao meu aperfeiçoamento profissional.

À Universidade Federal de Lavras - Pós Graduação em Ciência e Tecnologia da Madeira pela realização do curso.

Ao Grupo CONCREN pela doação do material para estudo e pela parceria no transporte do município de Dom Eliseu - PA para o município de Lavras - MG.

À madeireira Corrêa Barros pelo apoio logístico no transporte do material.

Ao meu orientador Prof. Fábio Akira Mori pela orientação e compreensão.

Aos coorientadores, professores Mário Tomazello Filho e Lourival Marin Mendes, pelos esclarecimentos e apoio laboratorial.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia da Madeira, pelos ensinamentos.

Aos Laboratórios da Universidade Federal de Lavras e seus coordenadores pelo pleno apoio no desenvolvimento das atividades.

Aos colegas de trabalho, pelo pronto apoio, uma característica dos discentes do programa.

Aos amigos: docentes, discentes e técnicos, que aqui não preciso citar, meus sinceros agradecimentos, por todos os momentos e aprendizagens. Um grande e desde já saudoso abraço.

RESUMO GERAL

Visando contribuir para o conhecimento de juntas coladas usando madeira de *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (paricá), foram avaliadas as características anatômicas; dimensão dos elementos celulares e densidade no sentido medula-casca e; tensão de ruptura ao ensaio de cisalhamento nas regiões do cerne madeira juvenil, cerne madeira intermediária, cerne/alburno madeira intermediária e alburno madeira intermediária nas condições seca e úmida. O estudo foi realizado de acordo com as orientações usuais para anatomia de madeira, densidade básica e avaliação da tensão de ruptura ao ensaio de cisalhamento. A caracterização anatômica da interface madeira-adesivo foi realizada em corpos de prova colados. O adesivo formulado foi avaliado de acordo com as orientações da ASTM D 1582-60 e o percentual de falhas de acordo com as orientações da ASTM D3110. A espécie analisada apresentou cerne e alburno pouco distintos, textura média, brilho aparente, odor e gosto imperceptíveis, desenhos ausentes e densidade baixa; grã entrecruzada com um aumento significativo do ângulo no sentido medula-casca e, aspectos referentes à estrutura do xilema secundário condizentes com a literatura. A região da madeira juvenil compreendeu, cerca de 38% do raio, sendo melhor caracterizada pelo comprimento e frequência dos elementos de vaso; comprimento, espessura da parede e largura do lume das fibras; altura e largura dos raios e, pela densidade básica e aparente da madeira. O adesivo fenol-formaldeído estendido em 22,5% de farinha de trigo foi satisfatório para a adesão de juntas coladas com paricá. Observou-se um aumento da tensão de ruptura ao ensaio de cisalhamento no sentido medula - casca em ambas as condições analisadas. O filme adesivo apresentou redução da espessura no mesmo sentido, porém com variação qualitativa de penetração entre as regiões. Elementos de vaso, raios e parênquima axial foram as células envolvidas na ancoragem do adesivo. Já as interações físicas foram observadas nas fibras.

Palavras - chave: *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum*. Espécie de rápido crescimento. Anatomia da madeira. Interface madeira-adesivo.

GENERAL ABSTRACT

With the objective of contributing to the knowledge of joints glued with *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (paricá) wood, we evaluated the anatomical characteristics, dimension of the cellular elements and density in the medulla-bark direction; and rupture tension at shearing trial in the core region of the juvenile wood, intermediate core wood, intermediate core/sapwood and intermediate sapwood in dry and humid conditions. The study was performed according to usual orientations of wood anatomy, basic density and rupture tension at shearing trial evaluation. The anatomical characterization of the wood-adhesive interface was performed in glued proof bodies. The formulated adhesive was evaluated according to the ASTM D 1582-60 orientations and the error percentage according to the ASTM D3110. The analyzed species presented core and sapwood little distinct, average texture, apparent shine, imperceptible odor and taste, absent drawings and low density; cross-linked with a significant increase of the angle in the medulla-bark direction and aspects regarding the structure of the secondary xylem befitting literature. The region of juvenile wood comprised around 38% of the radius, being better characterized by the length and frequency of the vase elements: length, wall thickness and width of the fiber lumen; height and length of the radiuses and, by the basic and apparent wood density. The phenol-formaldehyde adhesive extended in 22.5% of wheat flour was satisfactory to the adhesion of the joints glued with paricá. We observed an increase in the rupture tension at shearing trial in the medulla-bark direction in both analyzed conditions. The adhesive film presented reduction of the thickness in the same direction, however, with qualitative variation in the penetration between regions. Vase elements, radiuses and axial parenchyma were the cells involved in anchoring the adhesive, while the physical interactions were observed in the fibers.

Keywords: *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum*. Rapid growth species. Wood anatomy. Wood-adhesive interface.

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

- Figura 1 Localização do município de Dom Eliseu no Estado do Pará31
- Figura 2 Área de coleta do paricá - *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex. Ducke) Barneby em estágio inicial de regeneração32

CAPÍTULO 2

- Figura 1 Obtenção das amostras de paricá - *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex. Ducke) Barneby para o estudo anatômico.....47
- Figura 2 Obtenção das amostras de paricá - *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex. Ducke) Barneby para caracterização da grã48
- Figura 3 Amostras finais de paricá - *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex. Ducke) Barneby para estudo da inclinação da grã nas regiões49
- Figura 4 A e B - determinação das cores do cerne e do alburno de acordo com a tabela de Münsell (1975).....52
- Figura 5 Características dos espécimes estudados de *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum*.....56
- Figura 6 Aspectos do alburno e do cerne de *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum*57
- Figura 7 Aspectos macro e microscópico do ângulo de inclinação das linhas vasculares em paricá - *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex. Ducke) Barneby62
- Figura 8 Direção das linhas vasculares66

Figura 9	Demarcação das camadas de crescimento	68
Figura 10	Aspectos das pontoações dos elementos de vaso do xilema secundário de paricá localizado na região do alburno madeira intermediária	69
Figura 11	Aspectos do raio no xilema secundário de paricá - <i>Schizolobium parahyba</i> var. <i>amazonicum</i> (Huber ex. Ducke) Barneby.....	71
Figura 12	Aspectos das fibras libriformes no xilema secundário de paricá - <i>Schizolobium parahyba</i> var. <i>amazonicum</i> (Huber ex. Ducke) Barneby.....	72

CAPÍTULO 3

Figura 1	Aspecto geral de um disco de madeira de <i>Schizolobium parahyba</i> var. <i>amazonicum</i> (Huber ex. Ducke) Barneby (paricá), mostrando a distância entre os anéis de crescimento, característica da madeira juvenil	101
----------	--	-----

CAPÍTULO 4

Figura 1	Esquema de obtenção das tábuas com 150 cm de comprimento x 2,5 de espessura, sarrafos com 30 cm x 2,5 cm x 0,5 cm e amostras retiradas de acordo com a ASTM D2339 - 98 para o estudo da adesão.....	115
Figura 2	Aspectos do preparo das juntas coladas de paricá (<i>Schizolobium</i> var. <i>amazonicum</i>) para análise em microscópio de transmissão	121
Figura 3	A, B e C - Análise das juntas coladas de paricá (<i>Schizolobium parahyba</i> var. <i>amazonicum</i>) com Microtomógrafo de Raios -X..	123

Figura 4	Aspectos do adesivo fenol-formaldeído estendido em 22,5% de farinha de trigo	125
Figura 5	Área de falha na madeira em juntas coladas de <i>Schizolobium parahyba</i> var. <i>amazonicum</i>	132
Figura 6	Detalhe da interface de adesão de junta colada com paricá na região do alburno madeira intermediária	134
Figura 7	Aspectos gerais da distribuição do adesivo no plano transversal .	135
Figura 8	Aspecto da colagem no plano transversal mostrando o alargamento da linha de cola (seta)	136
Figura 9	Participação dos raios de paricá (<i>Schizolobium parahyba</i> var. <i>amazonicum</i>) (Huber ex. Ducke) Barneby na adesão.....	137
Figura 10	Interseção entre linha de cola e linha vascular	138
Figura 11	Cortes histológicos de juntas coladas de paricá (<i>Schizolobium parahyba</i> var. <i>amazonicum</i>) (Huber ex. Ducke) Barneby, submetidas à fluorescência	140
Figura 12	Microtomografia (microCT) de juntas coladas de paricá (<i>Schizolobium parahyba</i> var. <i>amazonicum</i>) (Huber ex. Ducke) Barneby, com fenol-formaldeído estendido em 22,5% de farinha de trigo	141
Figura 13	Aspecto do adesivo nos elementos de vaso em juntas coladas de paricá (<i>Schizolobium parahyba</i> var. <i>amazonicum</i>).....	143
Figura 14	Participação dos raios (seta) na adesão de juntas coladas de paricá - <i>Schizolobium parahyba</i> var. <i>amazonicum</i>	145
Figura 15	Participação dos raios na adesão de juntas coladas de paricá - <i>Schizolobium parahyba</i> var. <i>amazonicum</i>	146

Figura 16	Participação dos raios na adesão de juntas coladas de paricá - <i>Schizolobium parahyba</i> var. <i>amazonicum</i> mostrando a passagem do adesivo de uma célula a outra facilitada pelas pontoações simples (seta)	147
Figura 17	Participação do parênquima axial na adesão de juntas coladas de paricá - <i>Schizolobium parahyba</i> var. <i>amazonicum</i>	148
Figura 18	Participação das fibras na adesão de juntas coladas de paricá - <i>Schizolobium parahyba</i> var. <i>amazonicum</i>	149
Figura 19	Participação das fibras na adesão de juntas coladas de paricá - <i>Schizolobium parahyba</i> var. <i>amazonicum</i>	150
Figura 20	Participação das fibras na adesão de juntas coladas de paricá - <i>Schizolobium parahyba</i> var. <i>amazonicum</i>	151

LISTA DE GRÁFICOS

CAPÍTULO 2

- Gráfico 1 Variação do ângulo de inclinação das linhas vasculares em paricá - *S. parahyba* var. *amazonicum*.....61

CAPÍTULO 3

- Gráfico 1 Variação nas dimensões dos elementos de vaso no sentido medula-casca da madeira de *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex. Ducke) Barneby (paricá)95
- Gráfico 2 Variação nas dimensões das fibras no sentido medula-casca da madeira de *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex. Ducke) Barneby (paricá)97
- Gráfico 3 Variação nas dimensões dos raios no sentido medula-casca da madeira de *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex. Ducke) Barneby (paricá)98
- Gráfico 4 Perfil da densidade aparente no sentido medula-casca nos espécimes de porta sementes plantados de *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex. Ducke) Barneby (paricá).....102
- Gráfico 5 Variação na densidade básica no sentido medula-casca da madeira de *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex. Ducke) Barneby (paricá)103

CAPÍTULO 4

- Gráfico 1 Comportamento radial da tensão de ruptura ao ensaio de cisalhamento na condição seca nas regiões radiais amostradas em *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum*.....127

Gráfico 2	Comportamento radial da tensão de ruptura ao ensaio de cisalhamento na condição úmida nas regiões radiais amostradas em <i>Schizolobium parahyba</i> var. <i>amazonicum</i>	128
Gráfico 3	Varição na espessura do filme adesivo nas regiões estudadas em <i>Schizolobium parahyba</i> var. <i>amazonicum</i> (Huber ex. Ducke) Barneby	139

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1

Tabela 1	Características dos espécimes estudados.....	33
----------	--	----

CAPÍTULO 2

Tabela 1	Coeficientes de correlação de Pearson entre o ângulo de inclinação da grã e as características estruturais dos elementos de vaso, fibras e raios no sentido medula-casca, nas regiões avaliadas de <i>Schizolobium parahyba</i> var. <i>amazonicum</i> (Huber ex. Ducke) Barneby	63
Tabela 2	Biometria dos elementos celulares em espécimes de <i>Schizolobium parahyba</i> var. <i>amazonicum</i> plantados no município de Dom Eliseu - PA.....	74

CAPÍTULO 4

Tabela 1	Coeficientes de correlação e significância de Pearson (0,05) entre as tensões de ruptura ao ensaio de cisalhamento e as características anatômicas de paricá <i>Schizolobium parahyba</i> var. <i>amazonicum</i> , mensuradas	129
----------	---	-----

SUMÁRIO

	CAPÍTULO 1 Introdução Geral	17
1	INTRODUÇÃO	17
2	REFERENCIAL TEÓRICO	21
2.1	<i>Schizolobium parahyba</i> var. <i>amazonicum</i> (Huber ex. Ducke) Barneby	21
	Barneby	21
2.2	Adesão	23
2.3	Influência das características anatômicas no processo de adesão	26
3	ÁREA DE COLETA	30
4	MATERIAL	33
5	CONSIDERAÇÕES	34
	REFERÊNCIAS	35
	CAPÍTULO 2 Características do xilema secundário de porta sementes de paricá - <i>Schizolobium parahyba</i> var. <i>amazonicum</i> (Huber ex. Ducke) Barneby	42
1	INTRODUÇÃO	44
2	MATERIAL E MÉTODOS	46
2.1	Material	46
2.2	Métodos	50
2.2.1	Propriedades organolépticas	50
2.2.2	Ângulo de inclinação das linhas vasculares (grã)	50
2.2.3	Caracterização macroscópica	50
2.2.4	Obtenção de cortes histológicos	51
2.2.5	Preparo do material macerado	53
2.2.6	Descrição microscópica	53
2.2.7	Análise estatística	54
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	55
3.1	Propriedades organolépticas	55
3.2	Grã	60
3.3	Descrição do xilema secundário	67
4	CONCLUSÕES	78
5	RECOMENDAÇÕES	79
	REFERÊNCIAS	80
	CAPÍTULO 3 Identificação da madeira juvenil em árvores de <i>Schizolobium parahyba</i> var. <i>amazonicum</i> (Huber ex. Ducke) Barneby (Paricá) plantadas no município de dom Eliseu - PA	85
1	INTRODUÇÃO	87
2	MATERIAL E MÉTODOS	90
2.1	Material	90
2.2	Métodos	90

2.2.1	Obtenção dos cortes histológicos	91
2.2.2	Obtenção do material macerado	91
2.2.3	Avaliação da densidade	91
2.2.4	Análise estatística.....	92
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	94
3.1	Avaliação das dimensões dos elementos celulares.....	94
3.2	Avaliação do aspecto geral e perfil radial da densidade da madeira	100
4	CONCLUSÕES	105
	REFERÊNCIAS	106
	CAPÍTULO 4 Estudo da interface madeira-adesivo de juntas coladas com madeira de <i>Schizolobium parahyba</i> var. <i>amazonicum</i> (Huber ex. Ducke) Barneby (Paricá)	109
1	INTRODUÇÃO	111
2	MATERIAL E MÉTODOS	114
2.1	Material.....	114
2.2	Métodos.....	116
2.2.1	Avaliação das propriedades do adesivo.....	116
2.2.2	Avaliação da tensão de ruptura ao ensaio de cisalhamento.....	117
2.2.3	Determinação das falhas na madeira	117
2.2.4	Avaliação microscópica da linha de cola	118
2.2.4.1	Microscópio estereoscópico	118
2.2.4.2	Microscopia de luz	118
2.2.4.3	Microscopia de varredura	119
2.2.4.4	Microscopia de fluorescência.....	119
2.2.4.5	Microscópio eletrônico de transmissão	120
2.2.4.6	Raio - X	122
2.2.5	Análise estatística.....	122
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	124
3.1	Características do adesivo	124
3.2	Tensão de ruptura ao ensaio de cisalhamento em condição seca e úmida	126
3.3	Percentual de falhas na madeira	131
3.4	Avaliação microscópica da interface madeira - adesivo	133
3.4.1	Aspecto geral.....	133
3.4.2	Elementos de vaso e linhas vasculares.....	139
3.4.3	Raios	144
3.4.4	Parênquima axial.....	148
3.4.5	Fibras	149
4	CONCLUSÕES	156
	REFERÊNCIAS	157

CAPÍTULO 1 Introdução Geral

1 INTRODUÇÃO

A floresta amazônica brasileira é reconhecida pela diversidade de espécies e de uso dos recursos naturais que nela são explorados realizados muitas vezes de forma indiscriminada, seja para subsistência ou comercialização. A extração de madeira, que ocorre há mais de 300 anos, inicialmente era realizada de forma seletiva nas matas de várzea ao longo dos principais rios, onde as toras eram transportadas em jangadas. Na década 70, com a abertura de rodovias como a BR - 010 (Belém-Brasília) associada ao esgotamento de reservas florestais da Mata Atlântica, esta atividade passou a ser realizada livremente nas florestas de terra firme, de forma intensa e predatória. Na época, havia grandes desperdícios de produtos; a floresta remanescente era profundamente danificada e os resíduos constituíam riscos de incêndios florestais constantes (VERÍSSIMO, 2012).

Depois da Rio-92 a questão ambiental na Amazônia ganhou força e destaque na agenda da política nacional e internacional. A partir disso, ações desenvolvidas ao longo dos anos reverteram de forma significativa o quadro instalado de exploração insustentável (HOMMA, 2011). Em comparação com o ano de 2012, houve uma importante queda no desmatamento nos primeiros meses de 2013, devendo-se principalmente à exploração manejada. Hoje, entre as principais perspectivas para o setor florestal na Amazônia, está a expansão de plantios florestais, para atender a demanda de matéria - prima e a restauração de florestas primárias destruídas no passado (MARTINS et al., 2013).

Um dos principais requisitos das florestas plantadas para atender à demanda do mercado, é possuir rápido crescimento volumétrico (SOARES et al., 2003). Neste contexto, o paricá (*Schizolobium parahyba var. amazonicum*

(Huber ex. Ducke) Barneby) merece destaque. Pertencente à família Fabaceae, esta espécie pioneira despertou ao longo dos últimos anos o interesse do setor florestal, uma vez que, além de substituir com a mesma qualidade e rendimento superior outras espécies nativas da floresta usadas na indústria de compensados, adaptou-se bem aos plantios limpos e em função do rápido incremento volumétrico (30 m³/ha/ano), mesmo sem melhoramento genético, pode ser colhida aos seis anos de idade.

O paricá foi a primeira pioneira, nativa da Amazônia, plantada em larga escala para atender o setor madeireiro no Norte do país, uma vez que apresenta entre outras qualidades: boa forma de fuste, fácil secagem, bom acabamento, desrama natural e boa trabalhabilidade (SOUZA; CARVALHO; RAMOS, 2005). Estas características ajustadas à tecnologia estão permitindo novos usos à madeira, como por exemplo, na construção civil na forma de Madeira Laminada Colada (MLC), onde é valorizada por ser de coloração branca, uniforme e desprovida de nós, aceita tratamento com facilidade e apresenta boa colagem (TEREZO, 2010).

Apesar da sua importância, ainda pouco se sabe sobre as potencialidades da espécie, principalmente quando se compara às outras plantadas como o eucalipto (*Eucalyptus* sp. - Myrtaceae) e o pinus (*Pinus* sp. - Pinaceae). Atualmente, os estudos a respeito do paricá encontram-se voltados especialmente para a silvicultura, a ecologia, a tecnologia e ao ataque de pragas, uma fragilidade da árvore. Apesar de esforços de pesquisadores como Iwakiri et al. (2010a, 2010b), Lobão et al. (2012) e Terezo e Szücs (2010), do ponto de vista tecnológico, a caracterização da madeira é realizada visando ao conhecimento para fabricação de produtos como os painéis compensados.

Vários fatores afetam a qualidade de um produto. Entre eles, sabe-se que características específicas da madeira utilizada respondem pelas propriedades tecnológicas do produto final, interferindo, por exemplo, na colagem,

estabilidade dimensional e resistência mecânica do mesmo. Em relação à colagem, Marra (1992) relata que os aspectos anatômicos relacionados à dimensão diferenciada de elementos celulares presentes na madeira juvenil e na adulta, no lenho inicial e no tardio, apresentam influência direta na penetração e permeabilidade do adesivo na madeira.

Uma boa colagem é considerada requisito fundamental para atender a qualidade de um produto e depende de vários fatores inerentes não só ao processo produtivo, mas também à matéria-prima utilizada. Dependendo da espécie, a colagem pode ser facilitada ou dificultada. Enquanto espécies menos porosas apresentam dificuldade de penetração do adesivo, naquelas mais porosas a penetração é facilitada, gerando linhas de cola denominadas de "faminta".

O conhecimento da interação adesivo-madeira é, portanto, fundamental para entender a ensaios como a tensão de ruptura da linha de cola ao ensaio de cisalhamento, visando à qualidade do produto, e tem sido facilitado pela análise anatômica da interface sob microscopias de alta resolução.

Apesar de pouco se saber sobre a penetração de adesivo nos espaços intercelulares da madeira; no Brasil já existem trabalhos que relatam sobre a influência das dimensões e características das estruturas anatômicas na adesão (ALBINO; MORI; MENDES, 2010, 2012; IWAKIRI, 2005; LIMA et al., 2007; MARCATI; DELLA LUCIA, 2004).

Estas análises têm sido aperfeiçoadas com técnicas como a microscopia de força atômica, as quais apresentam qualidade de imagens superiores àquelas até então avaliadas apenas com o uso da microscopia de luz (GINDL; DESSIPRI; WIMMER, 2002; KONNERTH et al., 2008; SINGH; DAWSON, 2004; SINGH et al., 2008).

Neste contexto, estudos que tenham como objetivo avaliar minuciosamente a interface madeira - adesivo, por meio da caracterização anatômica da linha de cola, possibilitam um entendimento mais profundo sobre

essa relação, subsidiando estudos diretamente ligados à maximização do consumo de adesivo na indústria e à redução de produtos gerados com baixa qualidade.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex. Ducke) Barneby

Desde a década de 70 quando se realizou o plantio de paricá na zona bragantina, no Estado do Pará, e observou-se o crescimento de 5,5 metros de altura/ano a pleno sol, a espécie passou a ser considerada promissora, com excelente desenvolvimento em plantios e em consórcios variados (SOUZA; CARVALHO; RAMOS, 2005).

A espécie *S. parahyba* var. *amazonicum* encontra-se distribuída na Amazônia brasileira, venezuelana, colombiana, peruana e boliviana. No Brasil pode ser encontrada em florestas primárias e secundárias tanto de terra firme quanto de várzea alta. No Estado do Pará é conhecida pelos nomes vernaculares - faveira, paricá e paricá-grande. A árvore pode alcançar entre 15 e 40 m de altura e 50 a 100 cm de diâmetro a 1,30 m de altura do nível do solo, sendo indicada para plantios comerciais, sistemas agroflorestais e reflorestamento de áreas degradadas, devido a seu rápido crescimento (30m³/ha/ano) e ao bom desempenho tanto em formações homogêneas quanto em consórcios (SILVA et al., 2011; VIEIRA et al., 2007).

O paricá se destaca não só devido à adaptação em plantios, como também em rendimento na indústria e usos, especialmente como painéis. Por isso, grandes monoculturas podem ser encontradas nos Estados do Pará, Mato Grosso e Tocantins, onde se têm aproximadamente 87.900 ha destinados à produção de madeira para fabricação de lâminas e compensados, móveis, acabamentos e molduras. Além destas aplicações o resíduo de paricá gerado na indústria de compensado, é utilizado em mistura com o eucalipto, na produção de MDF (*Medium Density Fiberboard*). No Nordeste e Leste do Estado do Pará, os municípios de Paragominas e Dom Eliseu, respectivamente, detêm a maior

área plantada de paricá (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS - ABRAF, 2013).

Segundo empresa florestal Amata (2009) os investimentos em plantios de paricá no Estado do Pará se deram no final da década de 90, como forma de sair da dependência da liberação de planos de manejo e garantir o fornecimento de matéria prima oriunda de florestas nativas, que estava escassa. Em função das características do paricá, o compensado produzido com sua madeira vem conquistando os mercados interno e externo.

Mesmo em condições adversas, como plantio heterogêneo com pouco ou nenhum tratamento silvicultural, o paricá é uma espécie que apresenta elevado incremento durante o seu desenvolvimento, 15 a 30 m³/ha/ano dependendo da idade (TEREZO, 2010; TONINI et al., 2005).

A madeira do paricá está sendo muito utilizada na produção de painéis compensados, por não necessitar de aquecimento para ser torneada e, por ser clara e leve, o que oferece ao final do processo de fabricação um produto com ótimo acabamento e alta aceitabilidade (CARVALHO, 1994).

Além disso, Colli (2007) menciona que segundo informações do Centro de Pesquisas do Paricá - CPP, a madeira de paricá obtida de reflorestamento reduz de forma significativa as despesas com colheita e transporte. Em função de adaptações na indústria, o rendimento é alto, obtendo-se no processo de laminação, 85% de aproveitamento da madeira contra 55%, em média, para diversas outras espécies da floresta nativa.

Além da fabricação de compensados, a espécie apresenta grande potencial para a construção civil, com desempenho satisfatório como Madeira Laminada Colada (MLC) utilizada em vigas e pilastras (TEREZO; SZÚCS, 2010).

A madeira do paricá é caracterizada por apresentar densidade baixa, na faixa de 0,30 g/cm³, macia ao corte, textura média a grossa, de aspecto sedoso,

grã direita a irregular, cerne creme avermelhado e albúrnio creme claro; processamento fácil e de bom acabamento. Contudo, possui baixa durabilidade natural, sendo susceptível ao ataque de fungos, cupins e insetos xilófagos (COLLI, 2007; MELO; CARVALHO; MARTINS, 1989). A madeira produz celulose de fácil branqueamento e boa qualidade para fabricação de papel de excelente qualidade (STELLA, 2009).

Sob o ponto de vista anatômico, o xilema secundário do paricá é caracterizado por apresentar camadas de crescimento distintas, delimitadas pelo espessamento da parede das fibras; vasos predominantemente solitários, difusos, placa de perfuração simples, pontoações intervasculares alternas, pontoações raio vasculares semelhantes às intervasculares; parênquima axial visível a olho nu, predominantemente aliforme de extensão losangular; raios bisseriados com corpo constituído por células procumbentes e margem por células eretas ou quadradas (LOBÃO, 2011).

2.2 Adesão

O termo adesão é utilizado para referir-se a um fenômeno físico-químico que resulta do contato intermolecular entre dois materiais com a penetração do adesivo na parede celular, envolvendo forças superficiais que se desenvolvem entre os átomos presentes nas duas superfícies (MARRA, 1992).

No que se refere à madeira, para que a adesão aconteça é necessário que o adesivo penetre pelos espaços celulares e intercelulares do substrato, umidificando as paredes. A maior ou menor facilidade de penetração vai depender da natureza e mobilidade molecular do adesivo, da qualidade da superfície do substrato, da pressão e do tempo disponível até que o endurecimento do adesivo o imobilize (GALEMBECK; GANDUR, 2001).

Os mecanismos envolvidos no processo de adesão com madeira podem ser explicados pelas teorias mecânicas, difusão de polímeros e adesão química (MARRA, 1992). Pela teoria mecânica uma boa adesão ocorre somente quando o adesivo penetra em poros ou fendas, ou qualquer outra irregularidade da superfície do substrato e trava-se mecanicamente ao mesmo, só sendo possível em materiais porosos. Pela teoria da difusão de polímeros, a adesão ocorre por meio da difusão de segmentos de cadeia polimérica em nível molecular através da interface (KINLOCH, 1987). Pela teoria de adesão química, ligações primárias iônicas, covalentes ou forças intermoleculares secundárias se estabelecem entre adesivo e substrato, sendo que a formação da ligação depende da reatividade entre adesivo e substrato (MARRA, 1992).

Marra (1992) comenta ainda que a adesão é um campo muito complexo devido ao número de fenômenos envolvidos, à variedade dos materiais a serem colados e à diversidade de condições de colagem. Com relação à madeira, também são encontradas dificuldades, uma vez que existem diferenças químicas, físicas e anatômicas entre espécies e dentro da mesma espécie. As ações do adesivo que ocorrem na região entre dois substratos são: fluidez, transferência, penetração, umedecimento e solidificação (MARRA, 1992). E, fatores relacionados às características da madeira podem afetar a eficiência destas ações. Por exemplo, madeiras de baixa densidade e alta porosidade são mais bem umectadas; enquanto que aquelas de alta densidade são de difícil colagem pela pouca penetração do adesivo, diminuindo a possibilidade do bom desenvolvimento da linha de adesão e, resultando na formação de uma junta de baixa qualidade (MARRA, 1992; TSOUMIS, 1991).

Segundo Santos et al. (2009) no caso dos produtos engenheirados de madeira (PEM), a resistência na linha de adesão é uma das propriedades que deve ser considerada quando se deseja unir painéis de madeira dando segurança à estrutura. Nesse sentido, os autores avaliaram a resistência na linha de adesão

de painéis OSB (*Oriented Strand Board*) tratados termicamente e a influência do lixamento na qualidade de colagem e observaram que, após o tratamento, houve uma queda na penetração do adesivo e na sua resistência, atribuídas à superfície que se tornou mais lisa.

Por ser uma área prioritária para estudo quando se refere ao conhecimento e à qualidade da adesão em produtos acabados, diversas pesquisas têm avançado no conhecimento das relações entre madeira e adesivo, especialmente sob o ponto de vista químico (GAO et al., 2012; KABOORANI; RIEDL, 2011; LIN; SHANG; ZHAO, 2013; MADER et al., 2011; NORDQVIST et al., 2013; QIHENG et al., 2013).

A avaliação de adesivos, bem como a combinação destes também é considerada por vários autores, como Kaboorani e Riedl (2011) que visando melhorar o desempenho de adesivo à base de PVA (Acetato de Polivinila) para uso em água e temperaturas elevadas realizaram várias misturas com MUF (Melamina Uréia-Formaldeído) e MF (Melamina Formaldeído) em diferentes proporções de PVA. Os autores indicaram após o estudo que 15% de MF são o ideal para melhorar a qualidade do adesivo para as condições solicitadas.

A colagem utilizando adesivos naturais, como taninos, e a própria lignina tem recebido especial atenção no intuito de minimizar a emissão de gases cancerígenos oriundos da colagem com fenol-formaldeído (KOUSNNI et al., 2011; MANSOURI et al., 2011). Na avaliação de painéis de araucária colados com tanino de casca e da folha de barbatimão (*Stryphnodendron adstringens*) em diversas formulações, Goulart et al. (2012) encontraram que o tanino extraído da casca do barbatimão foi mais resistente à tensão de ruptura que aquele obtido da folha do barbatimão, sendo recomendado em associação com fenol-formaldeído para adesão em madeira.

2.3 Influência das características anatômicas no processo de adesão

Vários fatores que atuam de forma separada e ou interagindo entre si afetam a qualidade de materiais colados (MALONEY, 1989). Quanto aos aspectos inerentes à madeira como substrato sabe-se que, a estrutura anatômica é muito diversificada, especialmente em espécies folhosas, compostas por elementos celulares que se arranjam de várias formas para constituir o lenho. Essa organização celular depende da espécie botânica, da idade da planta e das condições ambientais na qual a mesma se desenvolve (FAHN, 1982). Além disso, cada elemento celular apresenta uma característica quanto à forma e dimensões estando atreladas às características genotípicas da espécie, função do elemento celular e posição filogenética (BASS, 1982).

De acordo com autores como Marra (1992) e Pizzi (1994) as características anatômicas da madeira apresentam importante influência na adesão. Para efeito de colagem, Marra (1992) considerou que as características dos anéis de crescimento, do cerne e alborno, da idade da árvore, da porosidade, do lenho de reação e do ângulo de inclinação dos elementos celulares estão envolvidas de forma favorável ou desfavorável, uma vez que podem favorecer ou não o processo.

Sabe-se que permeabilidade do adesivo, por exemplo, é facilitada pelo aumento na dimensão do lume e pontuações das paredes das células. A interação entre adesivo e substrato se dá principalmente pelos vasos e espaços vazios, porém, estudos têm comprovado a participação efetiva dos raios e, em menor quantidade, do parênquima axial nesse processo (ALBINO; MORI; MENDES, 2010; SINGH et al., 2008).

De acordo com Singh e Dawson (2004) a aderência do revestimento na madeira é influenciada por diversos fatores, incluindo ancoragem mecânica pelas células. A este respeito, a profundidade de penetração e distribuição do

adesivo nos tecidos, bem como a interação física entre o adesivo e as camadas das células são todas importantes. Entretanto, detalhes dos elementos celulares relacionados à dimensão da abertura de pontoações, placa de perfuração, presença de aréola, tórus ou outras inclusões como tilos, resinas e minerais são relevantes no entendimento sobre a interação entre madeira e adesivo.

Albino, Mori e Mendes (2010) avaliaram a anatomia de juntas coladas com madeiras de *Eucalyptus grandis* e observaram que houve penetrabilidade do adesivo nos elementos de vaso, lume das fibras e ao longo dos raios, porém na placa de perfuração a penetração não foi observada em função da ausência de parede celular.

Lima et al. (2007) avaliaram a influência da estrutura anatômica de clones de *Eucalyptus* na colagem com o uso de microscopia de luz e observaram que os vasos e raios são as principais estruturas envolvidas na penetração do adesivo.

Segundo Garbe (2008) a penetração de adesivo em coníferas está relacionada com os traqueídeos axiais e radiais e, com suas pontoações areoladas. No cerne destas espécies, a permeabilidade é menor, devido à maior quantidade de pontoações aspiradas e obstruções por resina.

Follrich et al. (2010) avaliando a penetração e adesão em pau de balsa (*Ochroma lagopus*) de várias densidades, atribuíram a baixa penetração à parede das células que formam o parênquima axial, que funcionou como um obstáculo à passagem do adesivo.

Para Albuquerque (2002) os planos da maioria das superfícies de peças de madeira a serem coladas não se apresentam exatamente radiais ou tangenciais em relação ao eixo axial da tora, sendo na maioria das vezes transitório. Dependendo da proporção dos lenhos inicial e tardio, as lâminas de madeira produzidas a partir de tornos desfolhadores podem apresentar superfícies com o

máximo de lenho tardio, em virtude de a faca cortar ao longo do anel nesta zona. Ambas as situações podem dificultar ou tornar irregular a penetração do adesivo.

Gavrilovic-Grmusa et al. (2012) avaliando a penetração radial e tangencial e o comportamento da adesão com ureia-formaldeído em diferentes viscosidades, observaram que menores viscosidades permitem maiores penetrações, especialmente no plano radial, em função das pontuações simples e grandes existentes entre raios.

A influência de resinas e gomas presentes na madeira está relacionada com a dificuldade de ocupação dos espaços vazios e com a possível reação do adesivo com resíduos destes materiais. Diferente da impregnação do cerne, os canais resiníferos como são observados em algumas espécies de copaíba (*Copaifera langsdorffii* Desf.) não afetam a qualidade do painel, uma vez que este material pode ser retirado na fase de aquecimento da tora. Porém, de acordo com Iwakiri et al. (2002), dependendo da espécie pode ocorrer a migração e concentração excessiva de extrativos para a superfície, formando a chamada “superfície inativa ou contaminada”. De modo geral, espécies com baixo teor de extrativos são mais desejáveis para a produção de painéis. Além das resinas e gomas, outro fator a ser considerado na penetração dos adesivos é a obstrução de vasos por tilos durante o processo de cernificação de certas folhosas. A tilose provoca o entupimento dos poros e, conseqüentemente, reduz de forma significativa a penetração do adesivo (MARRA, 1992).

Os estudos anteriormente mencionados são fundamentais para o entendimento sobre o processo da adesão e para fabricação de produtos com alto desempenho. Para isso é essencial o conhecimento do substrato em nível microscópico, em que o avanço tecnológico vem esclarecendo várias dúvidas (STOECKEL; KONNETH; GINGL-ALTMUTTER, 2013). Para avaliar o percurso do adesivo durante a permeabilidade no elemento celular, novas técnicas microscópicas têm sido utilizadas.

Singh e Dawson (2004), testando tecnologias para caracterizar a permeabilidade e distribuição de revestimentos no tecido celular, encontraram resultados para a microscopia Confocal de Varrimento a Laser (*Confocal Laser Scanning Microscopy - CLSM*) superiores à tradicional microscopia de luz (LM).

Konnerth et al. (2008), avaliando a penetração de adesivo na parede celular da madeira com o uso de microscopia varredura térmica (SthM), observaram que as diferenças na morfologia da interface entre a parede celular e adesivos podem ser demonstradas por meio das imagens de microscopia de força atômica (AFM) de alta resolução.

3 ÁREA DE COLETA

O material para estudo foi coletado no município de Dom Eliseu - Pa. Segundo Pacheco et al. (2011) o município pertence à Mesorregião do Sudeste Paraense e à Microrregião de Paragominas constituída pelos municípios de Abel Figueiredo, Bom Jesus do Tocantins, Dom Eliseu, Goianésia do Pará, Paragominas, Rondon do Pará e Ulianópolis. O município de Dom Eliseu possui como limites ao Norte os municípios de Paragominas e Ulianópolis; a Leste o Estado do Maranhão; ao Sul o Estado do Maranhão e o município de Rondon do Pará e a Oeste os municípios de Rondon do Pará e Goianésia do Pará (Figura 1).

Inicialmente, a vegetação nativa da região era constituída pelas florestas densas. Entretanto, os constantes desmatamentos aliados à sua condição de frente pioneira e localização estratégica, no cruzamento das rodovias BR 010 (Belém-Brasília) e BR 222 (Marabá/Dom Eliseu), vêm degradando a vegetação original, propiciando o aparecimento de grandes áreas de capoeira.

O solo predominante é do tipo Latossolo Amarelo de textura argilosa. O relevo apresenta grandes variações em níveis altimétricos, de 76 metros na porção noroeste a 330 metros em relação ao nível do mar na porção sul, as mais elevadas da Microrregião de Paragominas.

O clima é mesotérmico úmido, com temperatura média anual em torno de 25° C. Seu regime pluviométrico oscila entre 2.250 mm e 2.500 mm anuais. As chuvas são regulares, sendo os meses de janeiro a junho os de maior concentração (cerca de 80%). A umidade relativa do ar é de aproximadamente 85%.

O comércio atacadista e de fabricação de produtos de madeira são atividades que garantem a maior parte do Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Prestação de Serviço (ICMS) arrecadado pelo município de Dom Eliseu.

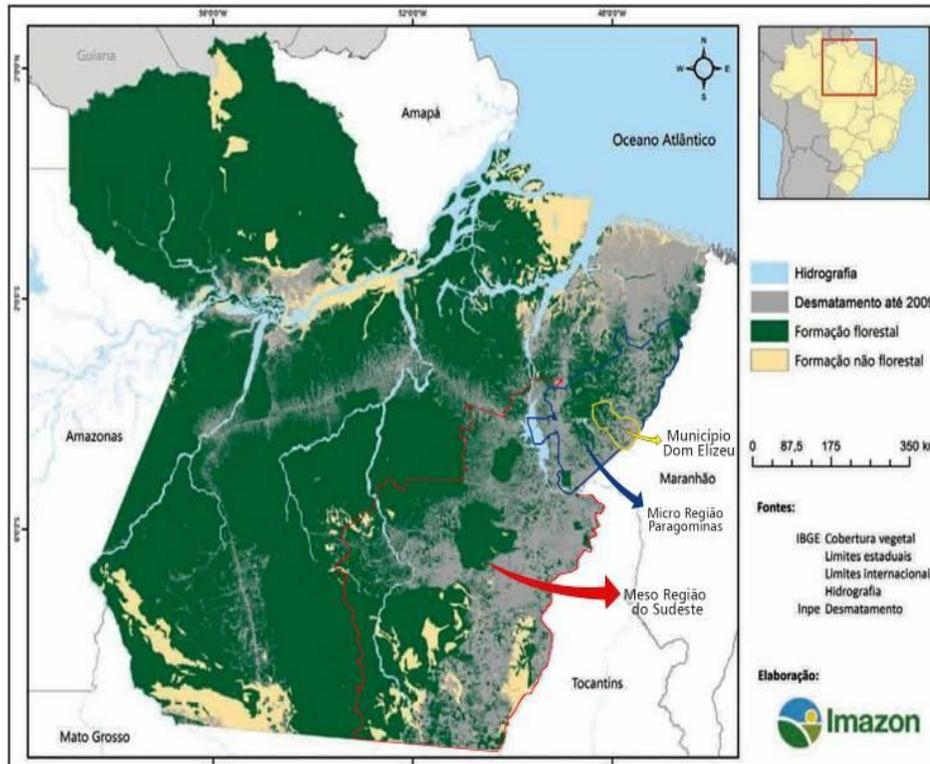


Figura 1 Localização do município de Dom Eliseu no Estado do Pará

Fonte: Adaptado de Veríssimo (2011)

O plantio de paricá de onde foi coletado o material é destinado apenas à coleta de sementes. Por isso, a área apresenta estágios iniciais da regeneração natural (Figura 2). A floração ocorre entre agosto e setembro e a frutificação de outubro a dezembro.



Figura 2 Área de coleta do paricá - *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex. Ducke) Barneby em estágio inicial de regeneração

4 MATERIAL

O trabalho foi realizado com dois espécimes de *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* doados pelo grupo CONCREM e obtidos de um plantio de porta sementes com 14 anos de idade no momento da coleta.

Foram obtidas as seguintes informações: altura total, altura das sapopemas, altura comercial do caule até a primeira bifurcação, obtidas nas árvores já derrubadas e diâmetro a 1,30 m do nível do solo (Tabela 1).

Tabela 1 Características dos espécimes estudados

Espécime	Altura total (m)	Altura da maior sapopema (cm)	Altura comercial (m)	Diâmetro a 1,30m (cm)	Cerne (%)	Alburno (%)
01	24,6	53	18,0	47,0	69	31
02	20,4	37	14,2	40,0	72	28
Média	22,5	45	16,1	43,5	70,5	29,5

As exsicatas do material botânico foram montadas de acordo com as orientações de Martins-da-Silva (2002) e levadas ao herbário IAN da EMBRAPA Amazônia Oriental, onde foram identificadas por comparação com a exsicata de referência número 13109.

De cada indivíduo foram obtidos toretes com 1,50 m de comprimento logo acima das sapopemas. Os mesmos foram devidamente identificados e permaneceram armazenados em um galpão coberto por aproximadamente 30 dias até que fossem transportados do Município de Dom Eliseu para a Universidade Federal de Lavras - MG, onde foram trabalhados nos laboratórios de Tecnologia da Madeira do Departamento de Ciências Florestais para atender aos objetivos do projeto.

5 CONSIDERAÇÕES

A espécie *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* conhecida como paricá é reconhecidamente promissora em diversas frentes de atuação. A espécie vem ganhando mercado como matéria-prima, seja para atender à demanda da indústria de painéis ou da construção civil. Acredita-se que, com o avanço tecnológico e de conhecimento sobre o comportamento da espécie, problemas silviculturais e tecnológicos ainda existentes serão superados muito em breve.

Nos últimos anos, a linha de pesquisa sobre adesão em madeira apresentou um grande avanço em várias frentes. Seja sob o enfoque químico do adesivo ou fatores intrinsecamente relacionados a ele, todos têm evoluído no sentido de associar desenvolvimento tecnológico e sustentabilidade dos recursos naturais com o bem estar social. Análises detalhadas deste processo são facilitadas por microscopia de alta resolução, que auxiliam a elucidar questionamentos ainda existentes.

A descrição anatômica envolvendo a interface madeira adesivo tem contribuindo para o entendimento da relação existente entre o adesivo e o tecido secundário e pode ser considerada uma análise mais detalhada, que se bem esclarecida pode auxiliar na tomada de decisões na indústria.

REFERÊNCIAS

ALBINO, V. C. S.; MORI, F. A.; MENDES, L. M. Estudo da interface madeira-adesivo de juntas coladas com resorcinol-formaldeído e madeira de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 38, n. 87, p. 509-516, 2010.

ALBINO, V. C. S.; MORI, F. A.; MENDES, L. M. Influência das características anatômicas e do teor de extrativos totais na madeira de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden na qualidade da colagem. **Revista Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 22, n. 4, p. 807-815, 2012.

ALBUQUERQUE, C. E. C. **Interações de variáveis no ciclo de prensagem de aglomerados**. 2002. 150 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.

AMATA. **Revisão sobre Paricá: *Schizolobium amazonicum* Huber ex. Ducke**. São Paulo, 2009. 106 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS. **Anuário estatístico da ABRAF ano base 2012**. Brasília, 2013. 148 p. il.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies florestais brasileiras: recomendações silviculturais, potencialidades e uso da madeira**. Brasília: Embrapa-SPI, 1994. p. 470-475.

COLLI, A. **Caracterização da madeira de paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex. Ducke) e propriedades de chapas de partículas aglomeradas com diferentes proporções de fibras de coco (*Cocos nucifera* L.)** 2007. 50 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2007.

FAHN, A. **Plant anatomy**. Oxford: Pergamon, 1982. 544 p.

FOLLRICH, J. et al. Adhesive bond strength of end grain joints in balsa wood with different density. **Wood Research**, Bratislava, v. 55, n. 1, p. 21-32, 2010.

GALEMBECK, F.; GANDUR, M. C. Cientistas explicam o fenômeno da adesão. **Química e Derivados**, São Paulo, v. 393, n. 8, p. 24-32, 2001.

GAO, H. et al. Grafting effects of polypropylene/polyethylene blends with maleic anhydride on the properties of the resulting wood-plastic composites. **Composites: Part A**, Kidlington, v. 43, p. 150-157, 2012.

GARBE, E. A. **Gradiente de umidade e tensões**. 2008.15 p. Monografia (Graduação em Engenharia Industrial da Madeira) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

GAVRILOVIC-GRMUSA, I. et al. Influence of the viscosity of UF resins on the radial and tangential penetration into poplar wood and on the shear strength of adhesive joints. **Holzforschung**, Berlin, v. 66, n. 7, p. 849-856, 2012.

GINDL, W.; DESSIPRI, E.; WIMMER, R. Using UV-microscopy to study diffusion of melamine-urea-formaldehyde resin in cell walls of spruce wood. **Holzforschung**, Berlin, v. 56, p. 103-107, 2002.

GOULART, S. M. et al. Resistência ao Cisalhamento de Painéis Compensados Produzidos com Adesivo à Base de Taninos de *Stryphnodendron adstringens* (barbatimão). **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 19, n. 3, p. 308-315, 2012.

HOMMA, A. K. O. Madeira na Amazônia: extração, manejo ou reflorestamento? **Amazônia Ciência & Desenvolvimento**, Belém, v. 7, n. 13, p. 147-161, 2011.

IWAKIRI, S. et al. Avaliação do potencial de utilização da madeira de *Schizolobium amazonicum* “Paricá” e *Cecropia hololeuca* “Embaúba” para produção de painéis aglomerados. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 40, n. 2, p. 303 - 308, 2010a.

IWAKIRI, S. et al. Produção de compensados de *Pinus taeda* L. e *Pinus oocarpa* Schiede com diferentes formulações de adesivo uréia formaldeído. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 26, n. 3, p. 371-375, 2002.

IWAKIRI, S. et al. Produção de painéis laminados unidirecionais - LVL com lâminas de *Schizolobium amazonicum*, *Eucalyptus saligna* e *Pinus taeda*. **Revista Cerne**, Lavras, v. 16, n. 4, p. 557-563, 2010b.

IWAKIRI, S. **Painéis de madeira reconstituída**. Curitiba: FUPEF, 2005. 247 p.

KABOORANI, A.; RIEDL, B. Improving performance of polyvinyl acetate (PVA) as a binder for wood by combination with melamine based adhesives. **International Journal of Adhesion & Adhesives**, Guildford, v. 31, p. 605-611, 2011.

KINLOCH, A. J. **Adhesion and adhesives**. New York: Chapman and Hall, 1987.

KONNERTH, J. et al. Adhesive penetration of wood cell walls investigated by scanning thermal microscopy (SThM). **Holzforschung**, Berlin, v. 62, p. 91-98, 2008.

KOUISSNI, L. et al. Kraft lignin recovery and its use in the preparation of lignin-based phenol formaldehyde resins for plywood. **Cellulose Chemistry and Technology**, Bucharest, v. 45, n. 7/8, p. 515-520, 2011.

LIMA, C. K. P. et al. Características anatômicas e química da madeira de clones de *Eucalyptus* e sua influência na colagem. **Revista Cerne**, Lavras, v. 13, n. 2, p. 123-129, 2007.

LIN, J.; SHANG, J.; ZHAO, G. The preparation and characterization of liquefied wood based primary fibers. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v. 91, 224-228, 2013.

LOBÃO, M. S. **Dendrocronologia, fenologia, atividade cambial e qualidade no lenho de árvores de *Cedrela odorata* L.; *Cedrela fissilis* Vell. E *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* Hub. ex Ducke, no Estado do Acre, Brasil.** 2011. 215 p. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2011.

LOBÃO, M. S. et al. Qualidade do Lenho de Árvores de *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum*, Acre, Brasil. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 19, n. 3, p. 374-384, 2012.

MADER, A. et al. Interactions and penetration of polymers and nanolatexes into wood: an overview. **Progress in Organic Coatings**, Lausanne, v. 71, p. 123-135, 2011.

MALONEY, T. M. **Modern particleboard & dry-process fiberboard manufacturing.** San Francisco: M. Freeman, 1989. 672 p.

MANSOURI, H. R. et al. Synthetic-resin-free wood panel adhesives from mixed low molecular mass lignin and tannin. **European Journal of Wood and Wood Products**, Berlin, v. 69, p. 221-229, 2011.

MARCATI, C. R.; DELLA LUCIA, R. M. Comportamento do angico-vermelho (*Piptadenia peregrina* Benth.) à adesão com pva (acetato de polivinila) e resorcinol formaldeído. **Revista Cerne**, Lavras, v. 2, n. 1, p. 1-7, 2004.

MARRA, A. A. **Technology of wood bonding**: principles and practice. New York: V. N. Reinhold, 1992. 454 p.

MARTINS-DA-SILVA, R. C. V. **Coleta e identificação de espécimes botânicos**. Belém: Embrapa, 2002. (Série Documentos, 143).

MARTINS, H. F. A. et al. **Boletim transparência florestal da Amazônia legal**. Belém: Imazon, 2013. 12 p.

MELO, J. E.; CARVALHO, G. M.; MARTINS, V. A. **Espécies madeireiras substitutas do mogno (*Swietenia macrophylla* King.)**. Brasília: IBAMA, 1989. 16 p. (Série Técnica, n. 6).

NORDQVIST, P. et al. Plant proteins as wood adhesives: bonding performance at the macro - and nanoscale. **Industrial Crops and Products**, Amsterdam, v. 44, p. 246-252, 2013.

PACHECO, J. J. et al. **Dom Eliseu**: estatística municipal. Belém: IDESP, 2011. 47 p.

PIZZI, A. **Advanced wood adhesives technology**. New York: M. Dekker, 1994. 285 p.

QIHENG, T. et al. Study of the synthesis and bonding properties of reactive hot-melt polyurethane adhesive. **Journal of Applied Polymer Science**, New York, v. 128, n. 3, p. 2152-2161, 2013.

SANTOS, A. M. L. et al. Efeito do tratamento térmico sobre a resistência ao cisalhamento da linha de cola em painéis OSB. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 19, n. 1, p. 31-40, 2009.

SILVA, A. K. L. et al. Litter dynamics and fine root production in *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* plantations and growth forest in Eastern Amazon. **Plant Soil**, Crawley, v. 347, n. 377-386, 2011.

SINGH, A. P.; DAWSON, B. S. W. Confocal microscope: a valuable tool for examining wood-coating interface. **Journal Coatings Technology Research**, Heidelberg, v. 1, n. 3, p. 235-237, 2004.

SINGH, A. et al. Light, confocal and scanning electron microscopy of wood-adhesive interface. **Microscopy and analysis**, Surrey, v. 22, p. 5-8, 2008.

SOARES, N. S. et al. **Vulnerabilidades restringem maiores avanços na economia florestal**. 2003. Disponível em: < <http://www.ciflorestas.com.br/>>. Acesso em: 22 nov. 2010.

SOUZA, D. B.; CARVALHO, G. S.; RAMOS, E. J. A. **Paricá - *Schizolobium amazonicum* Huber ex. Ducke**. Belém: Rede de Sementes da Amazônia, 2005. 2 p.

STELLA, J. C. **Influências das variáveis de ciclo de prensagem e gramatura de cola nas propriedades mecânicas de compensado de paricá (*Schizolobium amazonicum*)**. 2009. 92 p. Monografia (Graduação em Engenharia Industrial Madeireira) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

STOECKEL, F.; KONNERTH, J.; GINDL-ALTMUTTER, W. Mechanical properties of adhesives for bonding wood - A review. **International Journal of Adhesion & Adhesives**, Guildford, v. 45, p. 32-41, 2013

TEREZO, R. F. **Avaliação tecnológica do paricá e seu uso em estruturas de madeira laminada colada**. 2010. 201p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

TEREZO, R. F.; SZÚCS, C. A. Análise de desempenho de vigas em madeira laminada colada de párica (*Schizolobium amazonicum* Huber ex. Ducke). **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 38, n. 87, p. 471-480, 2010.

TONINI, H. et al. **Seleção de equações para o paricá. *Schizolobium amazonicum* Huber ex. Ducke) no estado de Roraima**. Boa Vista: Embrapa, 2005. 20 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 4).

TSOUMIS, G. **Science and technology of wood: structure, properties, utilization**. Nova York: Chapman & Hall, 1991. 494 p.

VERÍSSIMO, A. Amazônia Brasileira: o desafio de conciliar desenvolvimento e conservação. In: TRIGUEIRO, A. (Ed.). **Novos rumos para um planeta em crise**. Rio de Janeiro: Globo, 2012. (Mundo Sustentável, 2).

VERÍSSIMO, A. et al. **Plano de manejo da floresta estadual de Trombetas**. Belém: Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia/Secretaria do Meio Ambiente, 2011. 196 p.

VIEIRA, T. A. et al. Sistemas agroflorestais em áreas de agricultores familiares em Igarapé-Açu, Pará: caracterização, florística, implantação e manejo. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 37, n. 4, p. 549-558, 2007.

CAPÍTULO 2 Características do xilema secundário de porta sementes de paricá - *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex. Ducke) Barneby

RESUMO

Devido à importância do paricá (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum*) na indústria madeireira, seu conhecimento vem sendo aprofundado no intuito de melhorar o manejo e a qualidade de sua madeira. Dentro deste contexto o trabalho teve como objetivo caracterizar as propriedades organolépticas, a estrutura do xilema secundário e o ângulo da grã de porta sementes plantadas de paricá. Para a pesquisa foram utilizados espécimes de um plantio de porta sementes com 14 anos de idade, localizados no município de Dom Eliseu - PA. Foram retiradas amostras de madeira de toretes com 1,50 cm de comprimento obtidas na base do caule e acima das sapopemas. Para a mensuração do ângulo de inclinação da grã foram obtidas amostras com 30 cm de comprimento x 10 cm de largura e 0,5 cm de espessura compreendendo as regiões do cerne e do alburno; madeira juvenil e intermediária. A caracterização anatômica e das propriedades organolépticas seguiu as orientações de Coradin e Muñiz (1992) e *International Association of Wood Anatomists - IAWA Committee* (1989), respectivamente. Os espécimes analisados apresentaram madeira com grã do tipo entrecruzada e aumento significativo do ângulo de inclinação das linhas vasculares no sentido medula-casca; cerne e alburno pouco distintos; textura média; cheiro e gosto indistintos e desenho ausente. Quanto à estrutura anatômica, a espécie apresentou características condizentes com o gênero, sendo observadas diferenças quanto à configuração dos raios; certas características das fibras como: eventual estratificação, presença de cristais e de septos e; arranjo dos vasos.

Palavras-chave: *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum*. Propriedades organolépticas. Grã. Xilema secundário.

**CHAPTER 2 Characteristics of the secondary xylem of paricá seeds –
Schizolobium parahyba var. *amazonicum* Huber ex. Ducke) Barneby**

ABSTRACT

Due to the importance of the paricá (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum*) in the wood industry, its knowledge has been developed in the intent of improving wood management and quality. In this context, this work aimed at characterizing the organoleptic properties, secondary xylem structure and the grain angle of the planted paricá seeds. This research used a planting seed specimen of 14 years of age, located in the municipality of Dom Eliseu, PA, Brazil. We removed wood samples from logs of 1.5 cm of length obtained from the base of the stem and, above the buttresses. In order to measure the grain inclination angle we obtained samples of 30 cm of length x 10 cm of width and 0.5 cm of thickness, enveloping the core and sapwood regions; juvenile and intermediate wood. The anatomical and organoleptic properties' characterizations followed the IAWA Committee (1989) and Coradin and Muñiz (1992) orientations, respectively. The analyzed specimen presented grain wood of the cross-linked type and a significant increase of the inclination angle of the vascular lines in the medulla-bark direction; core and sapwood little distinct; average texture; indistinct taste and smell and absent drawings. In regard to the anatomical structure, the species presented characteristics befitting with the genus, with differences in regard to radius configurations; certain fiber characteristics, such as: eventual stratification, presence of crystals and septum and; vase arrangement.

Keywords: *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum*. Organoleptic properties. Grain. Secondary xylem.

1 INTRODUÇÃO

As espécies pioneiras constituem um grupo ecológico que tem como característica principal a necessidade de maior intensidade de radiação para o seu desenvolvimento e estabelecimento. Estas espécies, presentes em várias famílias de plantas arbóreas como, por exemplo, em Malvaceae, Fabaceae e Meliaceae também são caracterizadas pelo rápido crescimento, baixa densidade da madeira e baixa resistência à herbivoria (ROSA; FRACETO; MOSCHINI-CARLOS, 2012).

Na família Fabaceae, o gênero *Schizolobium* Vogel é constituído por seis espécies. Dentre elas, *Schizolobium parahyba* (Vell.) S.F. Blake, que no Brasil é constituída por duas variedades: *parahyba* (guapuruvú) e *amazonicum* (paricá) (TROPICOS, 2013). O paricá é uma planta não-endêmica, que pode ser encontrada em florestas primárias e secundárias de terra firme e na várzea alta da Amazônia (ÁVILA; SILVA, 2006).

Em função do rápido crescimento, estas espécies são utilizadas com sucesso na regeneração de áreas degradadas ou submetidas à exploração (CARVALHO et al., 2013). Bem como podem ser utilizadas com fins paisagísticos, pelo seu porte e floração amarela vistosa (ZOLET-TURCHETTO et al., 2012).

Pela aptidão ao mercado de compensados na região Norte do Brasil, o paricá foi a primeira pioneira e nativa da Amazônia, plantada em larga escala no intuito de atender à demanda de matéria-prima deste setor.

Apesar do exposto, a anatomia do xilema secundário da espécie é pouco conhecida. Os estudos a respeito encontram-se voltados para a avaliação da dimensão dos elementos celulares no intuito de entender as propriedades tecnológicas da madeira, visando à utilização.

Neste sentido, o objetivo do trabalho foi realizar a caracterização o xilema secundário de porta sementes plantadas de *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex. Ducke) Barneby aos 14 anos de idade.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Material

Informações sobre a descrição da área de coleta e sobre a obtenção das amostras encontram-se detalhadas na subsecção 5 do capítulo 1.

As propriedades organolépticas referentes ao gosto, cor, odor, textura e dureza foram analisadas em discos de madeira obtidos na região superior dos toretes. Já a observação de parâmetros como desenhos e caracterização do tipo e ângulo da grã foram realizados em tábuas obtidas no sentido axial dos toretes.

Para a caracterização anatômica foram coletados discos com 15 cm de espessura na também face superior de cada torete, a 1,30 metros do nível do solo, de onde foram retiradas baguetas (Figura 1), a partir das quais foram obtidas amostras com dimensões aproximadas de 1,5 x 1,5 x 1,5 cm direcionadas nos planos transversal, longitudinal tangencial e longitudinal radial obtidas, de 3 em 3 cm no sentido medula-casca.

Para a mensuração do ângulo de inclinação da grã, foram obtidas amostras das tábuas, com as dimensões: 30 cm de comprimento x 10 cm de largura e 0,5cm de espessura (Figuras 2 e 3). Pelo fato de a análise ser realizada em função do efeito do ângulo da grã na tensão de ruptura da linha de cola, estas amostras foram obtidas após o estudo que determinou as regiões compreendidas pelas madeiras juvenil e intermediária na espécie analisada.



Figura 1 Obtenção das amostras de paricá - *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex. Ducke) Barneby para o estudo anatômico

Nota: A - Obtenção do torete; B - Marcação das regiões amostradas; C - Disco obtido no ápice do torete; D-E - Marcação e obtenção dos tarugos para o estudo anatômico.



Figura 2 Obtenção das amostras de paricá - *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex. Ducke) Barneby para caracterização da grã

Nota: A e B - Marcação e obtenção das tábuas nas regiões amostradas; C - Desengrosso das tábuas; D - Obtenção de amostras nas regiões do cerne e alburno.

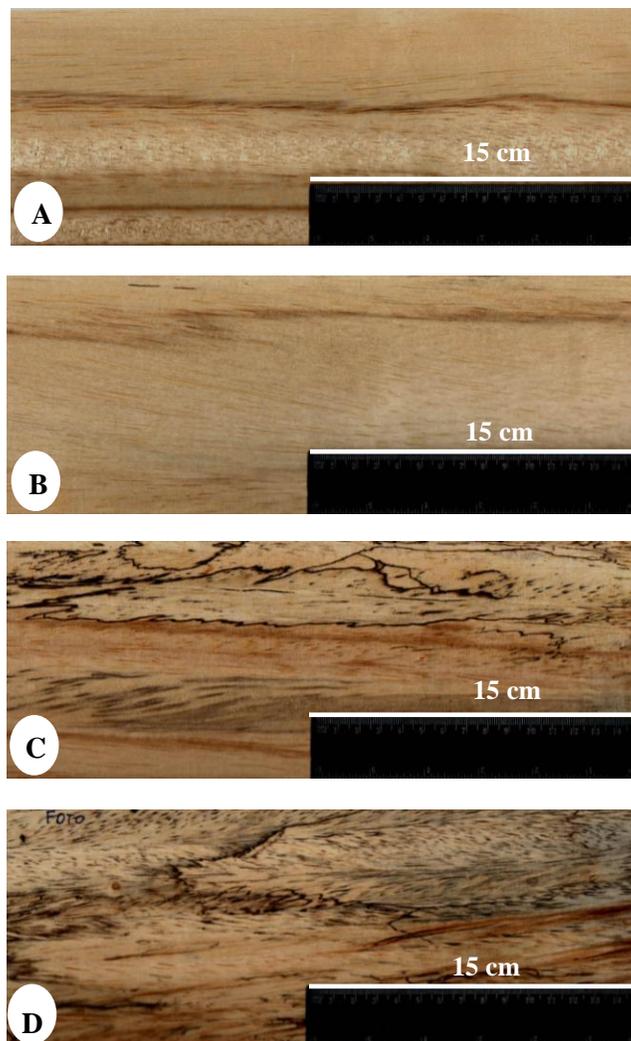


Figura 3 Amostras finais de paricá - *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex. Ducke) Barneby para estudo da inclinação da grã nas regiões

Nota: A - cerne madeira juvenil; B - cerne madeira intermediária; C - cerne/alburno madeira intermediária; D - alburno madeira intermediária.

2.2 Métodos

A seguir são detalhadas as metodologias utilizadas para a realização do estudo anatômico do paricá (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* Huber ex Ducke) Baneby.

2.2.1 Propriedades organolépticas

Para a avaliação das propriedades organolépticas da madeira (cor, brilho, odor, gosto, textura, grã e desenho), seguiram-se as recomendações de Coradin e Muñiz (1992), sendo caracterizadas com o material úmido e seco. A coloração da madeira foi caracterizada de acordo com a tabela de Münsell (1975) para solos (Figuras 4 A-B).

2.2.2 Ângulo de inclinação das linhas vasculares (grã)

Para a mensuração do ângulo, as amostras foram digitalizadas com resolução de 800dpi em scanner HP MFP 1132. Em seguida as imagens foram tratadas com o *software ImageJ* (COLLINS, 2007) para melhor visualização das linhas vasculares. Posteriormente, o ângulo foi mensurado utilizando-se a ferramenta “mensuração de ângulo” do mesmo *software* (Figura 4C). Em cada região amostrada foram realizadas 100 mensurações.

2.2.3 Caracterização macroscópica

A caracterização macroscópica foi realizada em corpos de prova que tiveram suas superfícies aplainadas com o auxílio de um micrótomo de

deslizamento localizado no Laboratório de Anatomia da Madeira da Universidade Federal de Lavras. A descrição foi realizada com uma lupa conta fios de 10x de aumento, seguindo as orientações de Coradin e Muñiz (1992). As imagens foram obtidas em microscópio estereoscópico. Olympus SZX12 acoplado à câmera digital Leica EC3 localizado no Laboratório de Anatomia, Identificação e Densitometria de Raios X em Madeira da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz - ESALQ/USP (Figura 4D).

2.2.4 Obtenção de cortes histológicos

Após amolecimento dos corpos de prova por saturação em água à temperatura ambiente, foram obtidos cortes histológicos com o auxílio do micrótomo de deslize, com espessura de 18 μm no plano transversal e 20 μm nos planos tangencial e radial. Os cortes foram divididos em dois grupos sendo um submetido à clarificação e coloração e o outro, permaneceu ao natural para observação de inclusões celulares. Os cortes foram clarificados com uma solução de hipoclorito de sódio PA, desidratados e corados na seguinte série: etanol 20% (5 min.), coloração com safranina hidro-eflica (1%) (5 min.), etanol 50% (5 min.), 70% (5 min.), 90% (5 min.), etanol-acetato de butila 3:1 v/v (5 min.), etanol-acetato de butila 1:1 v/v (5 min.), etanol-acetato de butila 1:3 v/v (5 min.), acetato de butila (5 min.). As secções naturais seguiram a mesma série, porém sem passar por hipoclorito e corante. Feito isso, os cortes foram montados entre lâmina e lamínula com Entellan 3:1 v/v (Entellan/acetato de butila). Foram preparadas três lâminas permanentes para cada amostra (Figuras 4E-F).



Figura 4 A e B - determinação das cores do cerne e do alburno de acordo com a tabela de Münsell (1975)

Nota: A - determinação da cor do alburno; B - determinação da cor do cerne. C - mensuração do ângulo da grã usando o *software ImageJ*. D - Obtenção de imagens em microscópio estereoscópico. E-F - Obtenção de cortes histológicos e montagem de lâminas no Laboratório de Anatomia de Madeira da Universidade Federal de Lavras.

2.2.5 Preparo do material macerado

Para obtenção do material macerado, fragmentos longitudinais de madeira foram colocados em frascos contendo uma mistura de ácido acético glacial e peróxido de hidrogênio na proporção de 1:1 v/v e levados à estufa, a 60° C, por 24 horas. O material dissociado foi lavado em água destilada para a remoção total da solução e corado com safranina hidro-etílica (1%). Para observação dos elementos celulares dissociados, foram confeccionadas lâminas temporárias, misturando-se uma pequena quantidade de macerado em gotas de glicerol PA entre lâmina e lamínula.

2.2.6 Descrição microscópica

A caracterização microscópica qualitativa e quantitativa foi realizada de acordo com as orientações da *International Association of Wood Anatomists - IAWA Committee* (1989). Foram realizadas 30 mensurações para cada parâmetro analisado, a exceção do diâmetro da abertura da pontoação intervascular para o qual o número de medições foi fixado em 10, conforme orientação da IAWA Committee. A avaliação foi realizada com o software *Wincell - Pro* de concepção canadense e com o qual também foram obtidas as imagens microscópicas. A mensuração do diâmetro das pontoações foi realizada em microscópio eletrônico de varredura - LEO modelo Evo 40, do Laboratório de Microscopia Eletrônica e Análise Ultraestrutural da Universidade Federal de Lavras.

Foram mensurados os seguintes elementos celulares:

- a) Elementos de vaso: frequência/mm² (obj. 4x), diâmetro (obj. 4x), comprimento (obj. 4x) e, diâmetro da abertura das pontoações intervasculares (MEV);

- b) Fibras libriformes: comprimento (obj. 4x), espessura da parede e largura do lume (obj. 40x);
- c) Raios: frequência/mm linear (obj. 4x), comprimento em milímetro (obj. 4x) e largura em número de células (obj. 10x).

2.2.7 Análise estatística

Os dados dos elementos celulares mensurados foram tabulados em Microsoft Excel, onde foram obtidos os valores máximo, mínimo, média, desvio padrão, coeficiente de variação e erro padrão. Os valores radiais para ângulo da grã foram submetidos à análise de variância (ANAVA) e teste Tuckey, ambos a 5% de significância, utilizando o software SPSS, versão 20.0 (INTERNATIONAL BUSINESS MACHINES - IBM, 2012). Para determinar a correlação entre o ângulo da grã e as dimensões dos elementos de vaso, fibras e raios utilizou-se o coeficiente de correlação de Pearson a 5% de probabilidade.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Propriedades organolépticas

Como pode ser observado nas Figuras 5 A, B e C, a medula é parenquimatosa, bem definida e facilmente degradada por agentes xilófagos. Entre o floema e o xilema secundário, foi possível visualizar uma expressiva região esbranquiçada, constituída aparentemente, por células meristemáticas (Figura 5D).

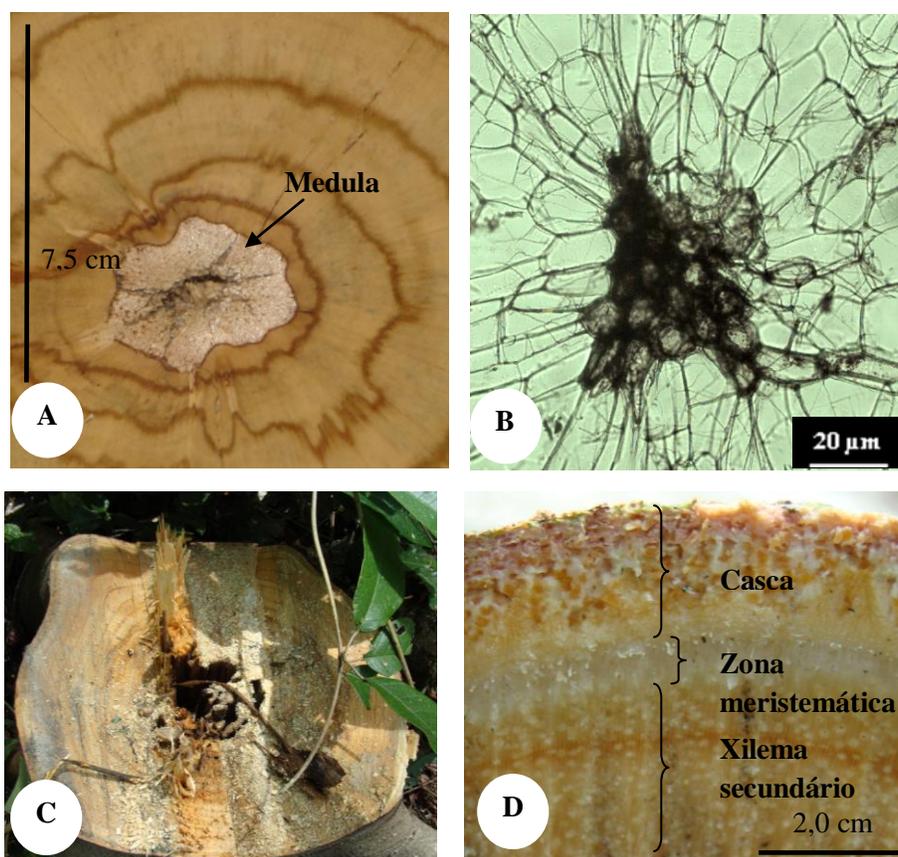


Figura 5 Características dos espécimes estudados de *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum*

Nota: A - C: Medula parenquimatosa, bem definida e centralizada, facilmente degradada por agentes xilófagos. D - Região meristemática próxima à casca, aparente.

A madeira apresenta coloração amarelada, com cerne e alburno pouco distintos. Quando úmido, o cerne apresentou coloração amarelada com manchas rosadas (10Y/R - 8/6). Quando seco, o mesmo assumiu coloração palha muito claro acinzentado (10Y/R - 8/3). O alburno úmido com coloração amarelada (2,5Y/R - 8/6), segundo a tabela de Múnsell quando seco, assumiu coloração amarelo claro acinzentado (2,5Y/R - 8/4). Nesta idade o cerne a 1,30 m de

comprimento e acima das sapopemas, compreendeu cerca de 70% dos discos. O cerne apresentou deposição irregular de substâncias especialmente nas células do raio e do parênquima axial. Via de regra, essa deposição delimitou a região do lenho tardio da camada de crescimento; melhor observado em material recém-cortado e cortes histológicos (Figura 6).

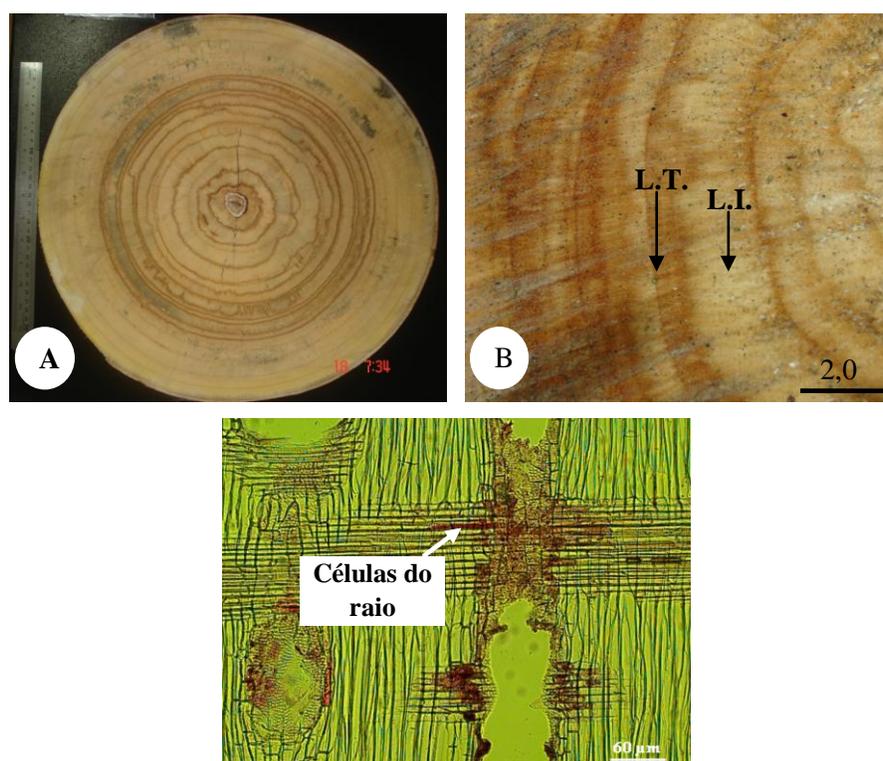


Figura 6 Aspectos do alburno e do cerne de *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum*

Nota: A - Aspecto geral da madeira úmida. B - Madeira recém-cortada mostrando detalhe do lenho inicial (L.I.) e tardio (L.T.) das camadas de crescimento. C - Corte histológico radial natural mostrando deposição de substâncias nas células do raio, que marcam o lenho tardio no cerne.

A madeira apresentou brilho acentuado, de aspecto acetinado quando observado ao longo das tábuas. Cheiro e gosto imperceptíveis, porém, quando aquecida, apresentou odor agradável e adocicado. Macia ao corte manual no plano transversal. Textura na classe das médias com diâmetro dos poros variando entre 100 e 300 μm , sendo os menores valores localizados na região próxima à medula e os maiores na região próxima à casca. Desenhos característicos não foram observados.

As propriedades organolépticas observadas no presente trabalho de modo geral concordam com àquelas descritas por Ávila e Silva (2006), Ramalho (2007), Rizzini (1971), Souza, Carvalho e Ramos (2005) e Souza et al. (2003): brilho acentuado, de aspecto sedoso, cheiro e gosto imperceptíveis, macia ao corte manual, desenhos característicos ausentes e densidade variando de baixa à média.

A textura que foi considerada por Ávila e Silva (2006) e Souza, Carvalho e Ramos (2005) como grossa, no trabalho foi caracterizada como média em função do diâmetro dos vasos. Já autores como Ramalho (2007) e Souza et al. (2003) classificaram a textura do paricá como média a grossa.

Quanto à cor, divergências foram encontradas especialmente no que se refere à tonalidade do cerne e do alburno que não foram definidos para o gênero de acordo com a Tabela de Münsell, seguindo a norma. Record e Hess (1949) descreveram na madeira da espécie *Schizolobium parahyba* (Vell.) S.F. Blake, cerne com coloração marrom palha ou rosado, algumas vezes com estrias marrom rosado, com pouco contraste em relação ao alburno quase branco.

A coloração da madeira de *S. parahyba* var. *amazonicum* apresenta descrição confusa na literatura. Souza, Carvalho e Ramos (2005) descreveram a madeira como tendo cerne creme avermelhado e alburno creme claro. Ávila e Silva (2006) e Rizzini (1971) citaram que a madeira é, de modo geral, branca-amarelada clara. Para Souza et al. (2003) a madeira de paricá apresenta cor

branco-palha ou amarelo pálido com manchas amareladas e rosadas, não havendo distinção entre cerne e alborno. Ramalho (2007) descreveu o paricá com cerne gradualmente diferenciado do alborno que apresentou coloração creme amarelado e o cerne marrom claro.

Seguindo a tabela de Münsell (1975) - “Münsell Soil Color Chart” a madeira de paricá estudada apresentou coloração amarelada, com cerne e alborno pouco distintos. O cerne úmido apresentou coloração amarelada com manchas rosadas e quando seco, passou a branco muito claro acinzentado. Já o alborno úmido com coloração amarelada, quando seco assumiu coloração amarelo claro acinzentado. Estas características se aproximaram daquelas descritas por Ávila e Silva (2006) e Souza et al. (2003). Dalmolin et al. (2005) citam que na tabela de Münsell, o componente matiz é mais fácil de ser definido quando comparado à análise do croma, onde houve maior discordância entre os observadores, possivelmente em função da menor ou maior sensibilidade visual em identificar as diferentes tonalidades. Mesmo assim, o uso da tabela de Münsell foi considerado satisfatório e prático, especialmente em campo.

As estrias de coloração diferenciadas relatadas por Record e Hess (1949) podem corresponder, neste estudo, à deposição de compostos nas células, mais intensamente marcados no lenho tardio das camadas de crescimento do cerne. Segundo Panshin e De Zeeuw (1980) em árvores com formação irregular de cerne as substâncias pigmentadas são retidas como inclusões nas células de armazenamento, enquanto a parede das mesmas permanece não pigmentada, como ocorre em *Fraxinus* spp. No presente trabalho, estes depósitos foram encontrados em células do raio e no parênquima axial. Souza et al. (2003) citam que faixas irregulares de coloração mais escura na espécie formam desenhos, porém pouco definidos.

No caso dos espécimes de paricá estudados, com aproximadamente 14 anos da idade, o cerne na região basal ocupou cerca de 70% da área dos discos.

O tamanho do cerne aumenta com a idade, mas pode ser influenciado pelas condições de crescimento. Existe a premissa de que árvores com crescimento lento apresentam maior quantidade de cerne, enquanto árvores com crescimento mais rápido apresentam maior quantidade de alburno, porém esta não pode ser considerada como característica geral (TSOUMIS, 1991).

Com o aumento da idade, as árvores regulam o tamanho do alburno até um nível ótimo, capaz de suportar as necessidades fisiológicas da planta. Sob condições similares de cernificação (condições ambientais e silviculturais), a largura do alburno é relativamente constante com a espécie. Por esta razão, é muitas vezes considerada de valor diagnóstico (TSOUMIS, 1991). No estudo, sob condições similares de crescimento, os espécimes avaliados apresentaram percentual de alburno muito semelhante de 31 e 28%.

3.2 Grã

A grã foi caracterizada como entrecruzada e apresentou um aumento significativo do ângulo de inclinação das linhas vasculares no sentido medula-casca, com valores médios de 6° na região próxima à medula até 10° próximo à casca. Observou-se também uma diferença significativa entre o cerne e o alburno na madeira intermediária (Gráfico 1, Figura 7). Nas regiões do cerne madeira juvenil e cerne madeira intermediária foram encontrados os menores valores ($2,59^\circ$ e $2,52^\circ$) e na região próxima à casca, os maiores (máximo = $17,5^\circ$).

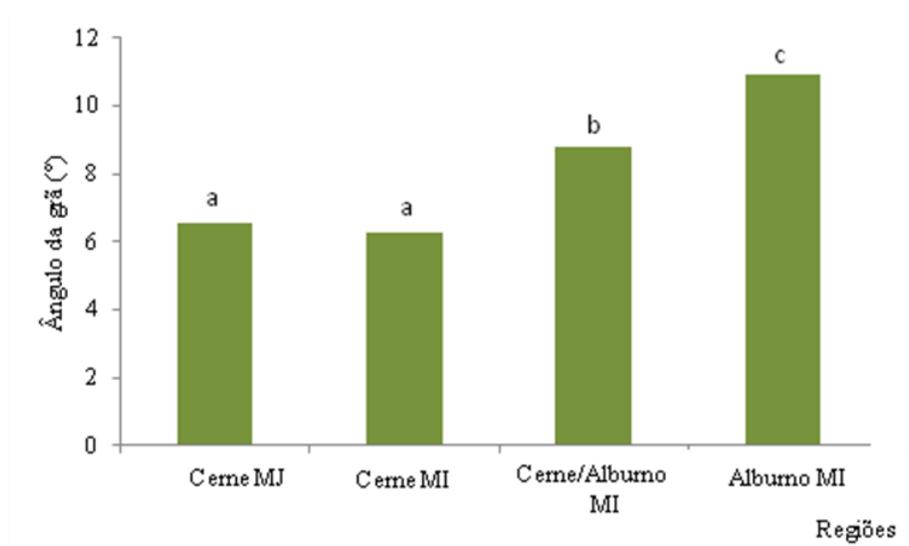


Gráfico 1 Variação do ângulo de inclinação das linhas vasculares em paricá - *S. parahyba* var. *amazonicum*

Nota: Cerne MJ - Cerne Madeira Juvenil; Cerne MI - Cerne Madeira Intermediária; Cerne/Alburno MI - Cerne/Alburno Madeira Intermediária; Alburno MI - Alburno Madeira Intermediária.

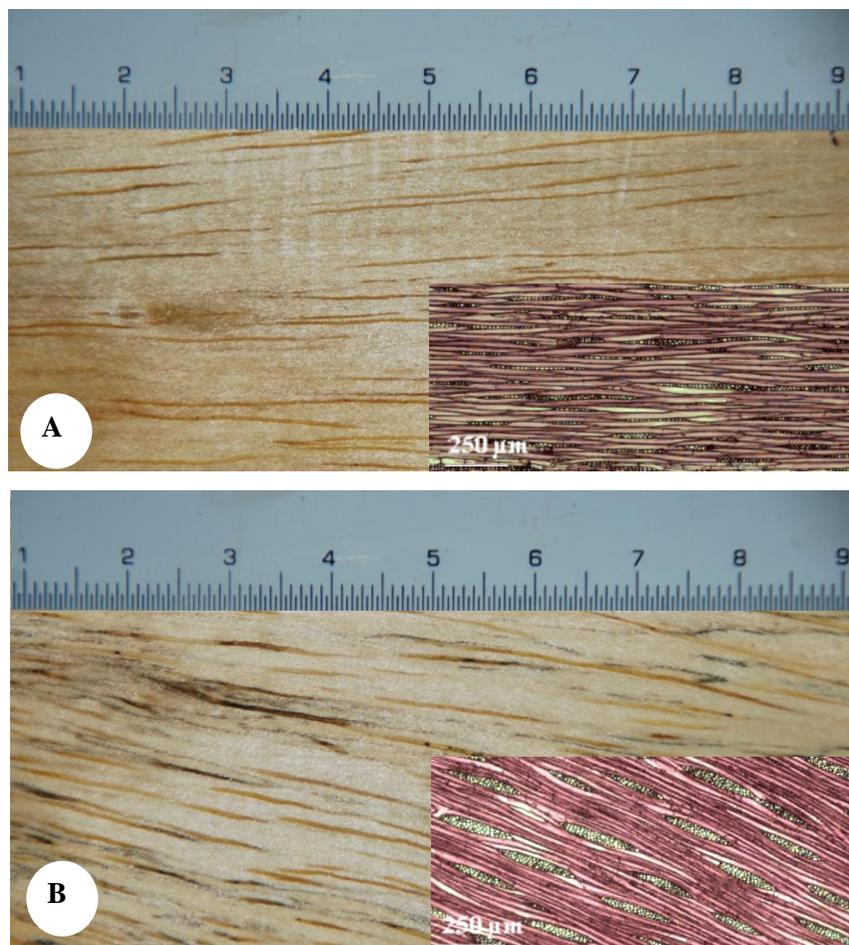


Figura 7 Aspectos macro e microscópico do ângulo de inclinação das linhas vasculares em paricá - *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex. Ducke) Barneby

Nota: A - cerne madeira juvenil; B - Alburno madeira intermediária.

O ângulo de inclinação das linhas vasculares apresentou uma relação forte, porém não significativa com o diâmetro e comprimento dos elementos de vaso. Indicando, possivelmente, que quanto menor o diâmetro dos elementos de vaso, menor será o ângulo de inclinação das linhas vasculares; e quanto maior o

diâmetro provavelmente, haverá um aumento da inclinação da grã, especialmente na região próxima à casca. Já a frequência por mm^2 apresentou uma relação inversa.

O mesmo comportamento foi observado para comprimento, largura do lume e espessura da parede das fibras, respectivamente. Mesmo apresentando correlações positivas com valores elevados, os resultados indicam que a alteração no ângulo da grã não implica obrigatoriamente na mesma alteração na dimensão de elementos de vaso e fibras.

Em relação aos raios as correlações foram mais consistentes. A frequência dos raios por milímetro linear apresentou correlação negativa e significativa, ou seja, com o aumento do ângulo da grã, houve uma redução na frequência de raios por milímetro linear; as demais variáveis apresentaram correlações positivas sendo que para largura dos raios em número de células, a mesma foi significativa (Tabela 1).

Tabela 1 Coeficientes de correlação de Pearson entre o ângulo de inclinação da grã e as características estruturais dos elementos de vaso, fibras e raios no sentido medula-casca, nas regiões avaliadas de *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex. Ducke) Barneby

Variável mensurada		Ângulo da grã (°)	P (0,05)
Elementos de vaso	Diâmetro transversal (μm)	0,738	0,131
	Comprimento (μm)	0,589	0,206
	Frequência (mm^2)	-0,521	0,240
Fibras	Comprimento	0,520	0,240
	Largura do lume	0,815	0,092
	Espessura da parede	-0,564	0,218
Raios	Comprimento (mm)	0,739	0,131
	Largura (n° de células)	0,921*	0,044
	Frequência (mm linear)	-0,957*	0,021

* Significativo a 5% de probabilidade.

Estreitamente relacionada à genética e biomecânica da árvore, a grã definida pela orientação dos elementos celulares pode ser direita, espiralada, entrecruzada, diagonal, reversa ou ondulada. A grã entrecruzada caracterizada no trabalho é, segundo Tsoumis (1991), uma derivação da grã espiralada, apresentando uma alternância na direção dos elementos celulares que mudam em intervalos. Apesar de causarem defeitos semelhantes, porém com menor intensidade àqueles provocados pela grã espiralada, podem apresentar valor decorativo pelas figuras que formam.

A caracterização da grã é especialmente importante para a utilização da madeira, uma vez que, dependendo do tipo e intensidade, pode afetar diretamente suas propriedades, bem como pode apresentar forte influência sobre a secagem, gerando empenamentos, torções, rachaduras, etc. (NOSKOWIAK, 1963).

A grã também é utilizada para auxiliar a identificação de espécies madeireiras, como descreveram Coradin e Muñiz (1992) nas “Normas para Procedimentos em Estudos de Anatomia de Madeira”. Contudo, segundo os autores, sua avaliação requer atenção, recomendando-se realizar a análise no mínimo em três espécimes.

Acuna e Murphy (2006) mencionam que no caso da grã retilínea, por exemplo, os elementos celulares encontram-se bem paralelos ao eixo axial do caule e, quando a inclinação e intensidade de divisão anticlinal das iniciais fusiformes cambiais mudam, ocorre a formação da grã inclinada.

A relação entre o ângulo da grã e a textura é vista com cautela por especialistas, pois, na prática, estes termos são frequentemente deturpados quanto ao seu significado. Textura regular a irregular refere-se ao grau de uniformidade ou aparência e indicam diferenças de estruturas como nos anéis de crescimento e distribuição dos poros. Poros semi-difusos são irregulares quando comparados aos poros difusos, tidos como regulares. Coradin e Muñiz (1992)

classificaram a textura de acordo com o diâmetro dos poros. Textura fina - poros com diâmetro inferior a 100 μm ; textura média - poros com diâmetro entre 100 a 300 μm ; textura grossa - poros com diâmetro superior a 300 μm ou raios muito largos ou, parênquima abundante. Enquanto a grã refere-se à orientação dos elementos celulares (TSOUMIS, 1991).

Apesar de a madeira analisada ter sido classificada como de textura média, houve uma variação significativa nesta classe, onde os menores valores foram encontrados próximos à medula e os maiores próximos à casca, coincidindo com a abertura do ângulo de inclinação das linhas vasculares, contudo sem correlação significativa.

O mesmo padrão de variação para o ângulo de inclinação das linhas vasculares foi encontrado por Noskowiak (1959) para *Pinus resinosa*, onde ângulos menores foram observados nos primeiros anéis de crescimento, chegando a valores próximos a 0°, aumentando rapidamente nos milímetros seguintes em função da idade da árvore. Rauchfuss e Speer (2006) apesar de encontrarem a mesma tendência em carvalho branco (*Quercus alba* L.), mencionam que este padrão não é consistente, podendo haver variações em função dos anéis de crescimento.

Fonweban et al. (2013) encontraram em árvores adultas de *Sitka spruce* com 32 a 65 anos de idade, menores ângulos na fase juvenil de desenvolvimento da árvore do que na fase de maturidade; apresentando uma pequena redução próxima à casca, justificada pela idade adulta das plantas. No presente estudo, a queda no ângulo da grã não foi observada, em função de os espécimes de paricá estudados ainda não terem consolidado a fase adulta da árvore.

As linhas vasculares foram visíveis a olho nu, especialmente na região mais externa das amostras, onde formaram “cones” que, com certa frequência, alternaram a direção caracterizando a grã entrecruzada (Figura 8).

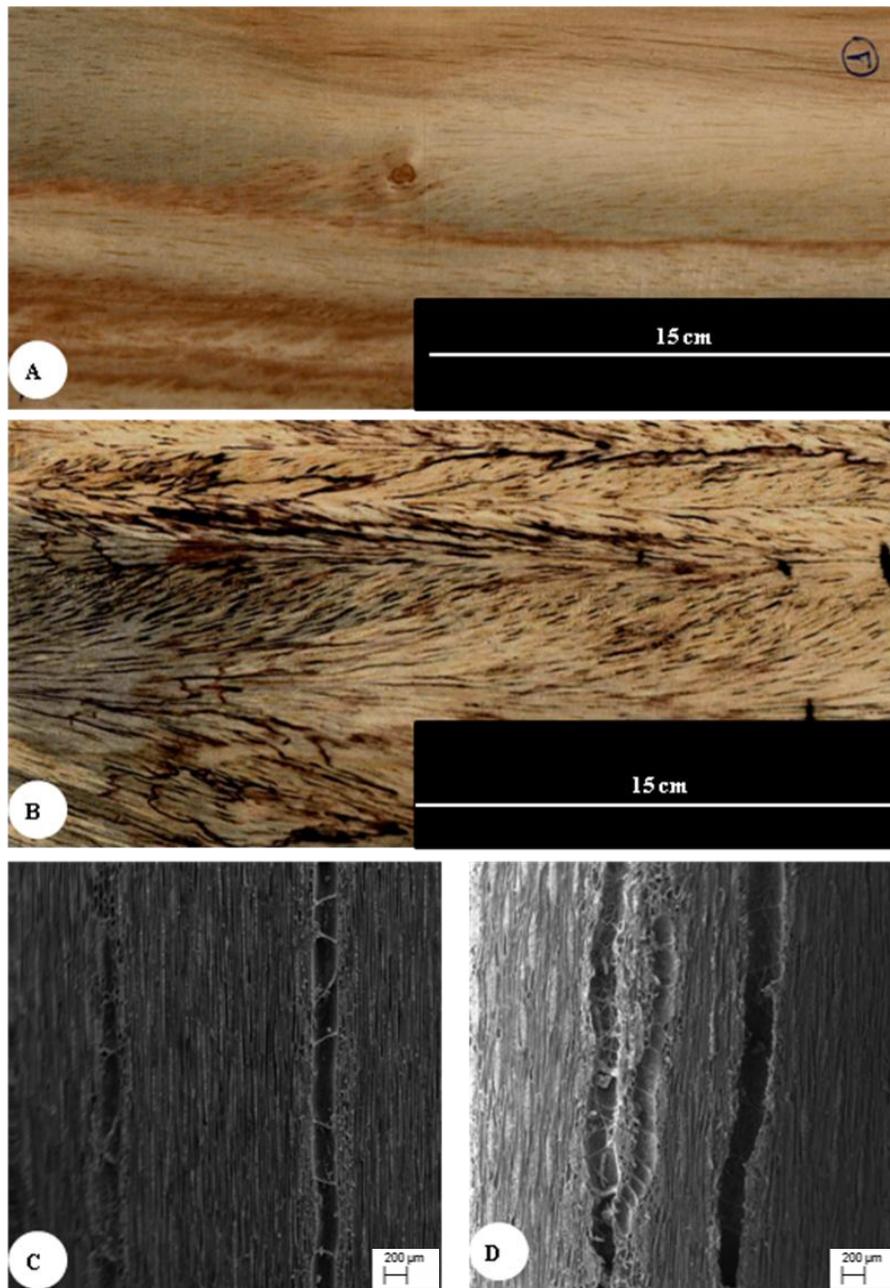


Figura 8 Direção das linhas vasculares

Nota: A - C Linhas vasculares localizadas próximo à medula. B - D Linhas vasculares próximas à casca.

3.3 Descrição do xilema secundário

Qualitativamente, a anatomia do xilema secundário da espécie estudada foi caracterizada por apresentar anéis de crescimento distintos, visíveis a olho desarmado predominantemente delimitados pelo espessamento da parede e achatamento das fibras no limite do anel. Redução do diâmetro dos poros, alargamento dos raios e sutis linhas de parênquima axial delimitando o lenho tardio também foram observados (Figura 9).

Em secção transversal, os poros foram visíveis a olho nu, predominantemente solitários ocorrendo também vasos geminados e em menor porcentagem múltiplos de três a quatro. Difusos, eventualmente distribuídos em anéis semi-porosos na região próxima à medula. Sem arranjo definido. Os elementos de vaso apresentaram placa de perfuração simples e apêndices em uma ou ambas as extremidades. As pontoações intervasculares foram caracterizadas como alternas e guarnecidas, muitas vezes ovaladas. As pontoações raio vasculares apresentaram aréolas distintas semelhantes às intervasculares; algumas com formato poligonal no mesmo raio (Figura 10).

O parênquima axial foi visível a olho nu; do tipo paratraqueal vasicêntrico com aletas curtas próximo à medula e vasicêntrico aliforme de extensão losangular bem definida na região próxima à casca, constituído por 2 a 8 células por série.

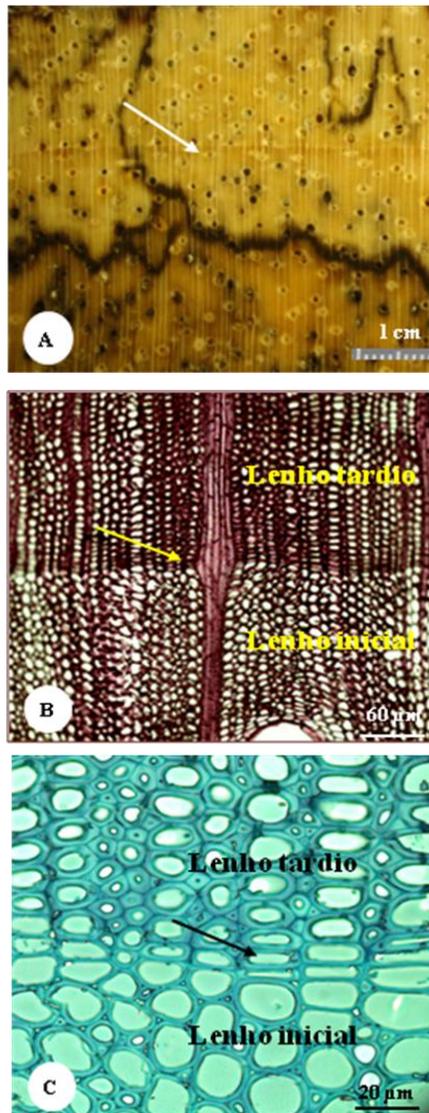


Figura 9 Demarcação das camadas de crescimento

Nota: A - Imagem macroscópica do plano transversal mostrando a camada delimitada pelo espessamento da parede das fibras e sutis linhas de parênquima axial (seta). B - Corte histológico transversal mostrando o alargamento dos raios no limite da camada de crescimento (seta). C - Corte histológico transversal mostrando o achatamento e espessamento da parede das fibras delimitando os lenhos inicial e tardio (seta).

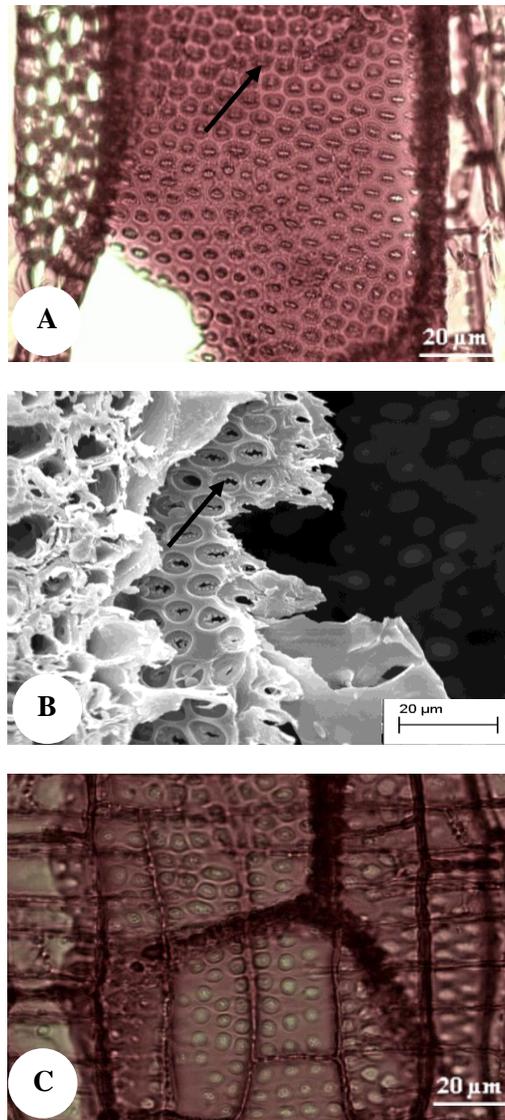


Figura 10 Aspectos das pontoações dos elementos de vaso do xilema secundário de paricá localizado na região do alburno madeira intermediária

Nota: A - Plano longitudinal tangencial - Pontoações intervasculares alternas (seta). B - Plano longitudinal tangencial - Guarnições das pontoações (seta). C - Plano longitudinal radial - Pontoações raio vascular de formato poligonal na célula do raio (seta).

Os raios foram visíveis somente com o auxílio de lente de 10x nos planos transversal e longitudinal tangencial. São não estratificados; apresentando espelhado pouco contrastado. Próximo à medula são heterocelulares, bisseriados, raramente unisseriados e, frequentemente fusionados, constituídos por corpo procumbente e margem com mais de 4 células eretas ou quadradas. Nas demais regiões, os raios são predominantemente homogêneos, constituídos por células procumbentes, com 3 a 5 células de largura. Eventualmente, no contato entre raio e parênquima axial, as células do raio apresentaram maior diâmetro. Também foram observados raios que não apresentaram o “final característico”. Alguns apresentaram alargamento no limite do anel de crescimento. Raras pontoações dos raios apresentaram torus (Figura 11).

Eventualmente foram encontradas fibras bifurcadas e septadas, com pontoações simples. Observadas no plano radial, as fibras apresentaram estratificação irregular na região próxima à medula. Cristais prismáticos em câmaras raramente foram encontrados (Figura 12).

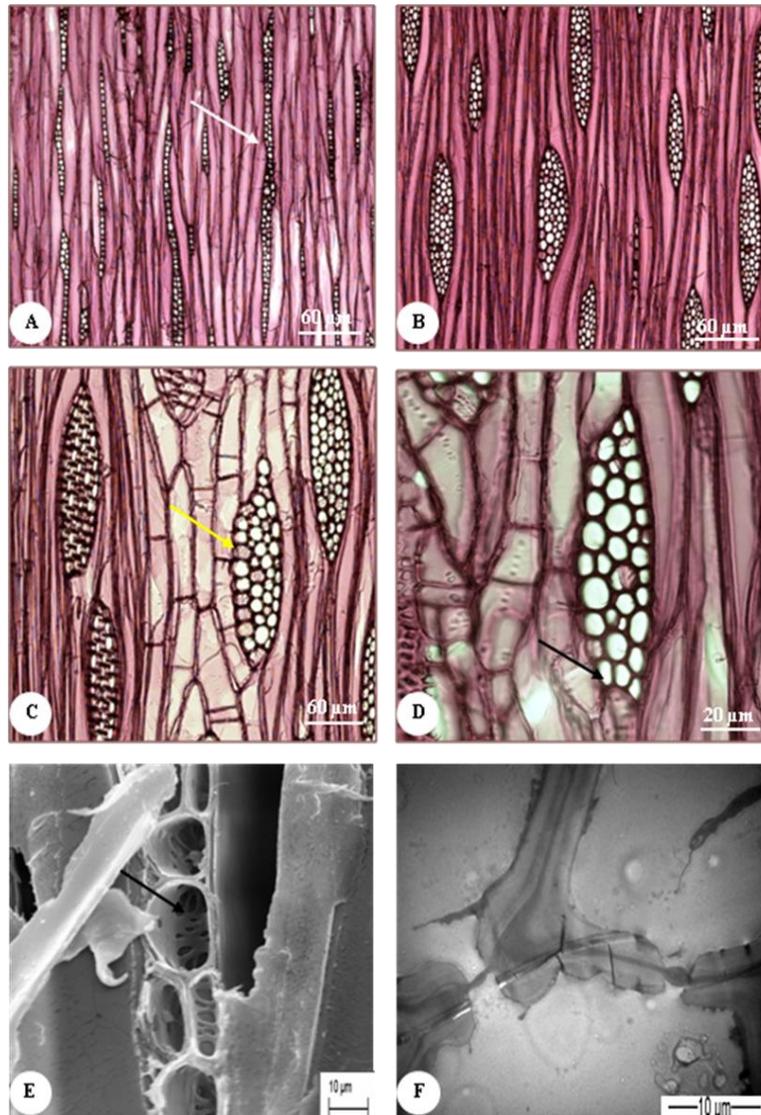


Figura 11 Aspectos do raio no xilema secundário de paricá - *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex. Ducke) Barneby

Nota: A - Raio fusionado localizado próximo à medula (seta). B - Raios multisseriados localizados próximo à casca. C - Células do raio turgidas em contato com as células do parênquima axial (seta). D - Raios com a região final incompleta (seta). E-F - Pontoações simples com formato poligonal entre as células que constituem o raio (seta). E - Microscopia eletrônica de varredura, F - Microscopia de transmissão.

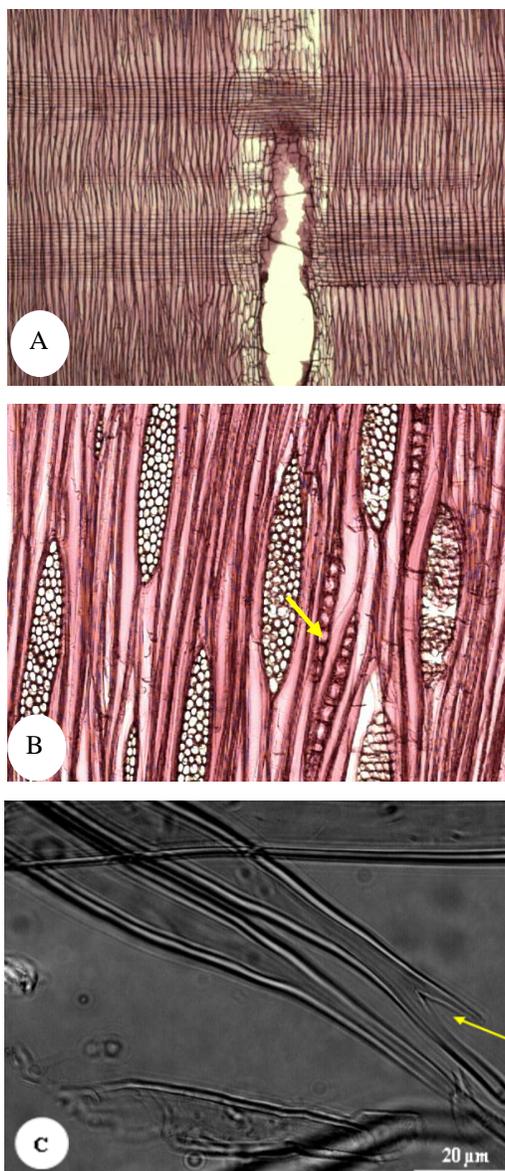


Figura 12 Aspectos das fibras libriformes no xilema secundário de paricá - *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex. Ducke) Barneby

Nota: A - Fibras irregularmente estratificadas encontradas próximas à medula (plano radial). B - Cristais prismáticos raramente observados em cadeias (seta). C - Fibras bifurcadas encontradas em material analisado (seta).

Quantitativamente, os parâmetros analisados apresentaram uma distribuição dos dados muito semelhantes. Os vasos apresentaram diâmetro transversal que variou de 152 a 207 μm , sendo que os maiores valores foram encontrados na região próxima à casca; com comprimentos médios variando de 246 a 303 μm . Baixa frequência por milímetro quadrado, em média de 3 a 4; sendo que os maiores valores (12 a 15) foram encontrados na região da madeira juvenil, entre 1,5 a 4,5 cm da medula e os menores próximos à casca ($1/\text{mm}^2$). Aberturas das pontuações são pequenas de acordo com a classificação da IAWA Committee (1989), em média 4 μm . A espécie analisada apresentou agrupamento de vasos predominantemente solitários, média entre os indivíduos analisados de 67%. Sendo comum encontrar vasos geminados ou múltiplos de 3 a 4, especialmente na região próxima à medula (Tabela 2).

As fibras apresentaram comprimento médio de 996 μm , sendo consideradas medianas. As mesmas apresentaram paredes muito finas, de 2 a 4 μm , com lumes conspícuos que variaram de 21 a 27 μm (Tabela 2).

Os raios são predominantemente multisseriados especialmente na região próxima à casca. Raios unisseriados e bisseriados foram frequentemente observados próximo à medula, especialmente na região inicial da madeira juvenil. Seu comprimento variou de 0,21 a 0,24 mm, sendo os maiores (0,49 mm) encontrados principalmente perto da casca. A frequência variou de 6 a 7 por milímetro linear (Tabela 2).

Tabela 2 Biometria dos elementos celulares em espécimes de *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* plantados no município de Dom Eliseu - PA

	Elementos de vaso						Fibras			Raios			
	Diâmetro (µm)	Comprimento (µm)	Frequência (mm ²)	Diâmetro da abertura da pontuação (µm)	Agrupamento de vasos solitários (%)	Agrupamento de vasos geminados (%)	Agrupamento de vasos múltiplos de 3 e 4 (%)	Comprimento (µm)	Espessura/parede (µm)	Largura/lume (µm)	Comprimento (mm)	Largura (n. de células)	Frequência (mm linear)
Espécime 1													
Máximo	246,43	469,81	15,00	7,57	-	-	-	1.434,17	5,42	35,32	0,31	6,00	11,00
Mínimo	70,62	70,07	1,00	1,57	-	-	-	644,68	1,61	9,75	0,11	2,00	4,00
Média	152,41	246,73	4,00	4,08	60,1	25,4	14,5	979,28	3,16	21,66	0,21	4,00	6,32
C.V. (%)	27,41	26,36	54,5	31,57	-	-	-	18,18	25,84	18,38	18,55	25,65	16,84
D.P.	41,78	65,03	2,2	1,29	-	-	-	178,07	0,82	3,98	0,04	0,99	1,06
Erro padrão	2,88	4,48	0,15	0,09	-	-	-	12,26	0,06	0,27	0,00	0,07	0,07
n.=30													
Espécime 2													
Máximo	289,67	487,52	12	6,80	-	-	-	1.249,73	7,27	39,20	0,30	6	10
Mínimo	76,05	94,25	1	2,10	-	-	-	828	1,88	10,54	0,13	1	4
Média	157,35	264,48	3,36	3,80	74,24	16,02	9,74	1.018,20	3,95	23,38	0,22	3,38	7,04
C.V. (%)	25,22	25,87	55,81	24,78	-	-	-	7,62	19,30	19,98	14,31	26,47	17,18
D.P.	39,69	67,64	1,87	0,94	-	-	-	77,6	0,76	4,67	0,03	0,90	1,21
Erro padrão	2,73	4,66	0,13	0,06	-	-	-	5,34	0,05	0,32	0,00	0,06	0,08
n.=30													

Os estudos relacionados à taxonomia das espécies do gênero *Schizolobium* no Brasil são antigos. Sua identificação, antes confusa quanto à definição de espécies, hoje é bem estabelecida. Apesar disso, os registros sobre a anatomia da madeira desta espécie, especialmente de plantadas são poucos.

Os espécimes estudados de *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* podem ser reconhecidos por apresentar camadas de crescimento distintas, delimitadas predominantemente pelo maior espessamento da parede das fibras na região do lenho tardio; poros com distribuição difusa, sem arranjo definido, circulares, com leve predominância de solitários, desobstruídos; elementos de vaso com placa de perfuração simples e pontoações intervasculares areoladas e guarnecidas; fibras com pontoações simples; parênquima axial paratraqueal vasicêntrico aliforme de extensão losangular; raios predominantemente trisseriados, sendo o corpo constituído por células procumbentes.

Estas características da variedade estão de acordo com a descrição geral dada para o gênero *Schizolobium* Vogel. Pernía e Melandri (2006) avaliando o gênero mencionaram que existe a necessidade de realizar estudos detalhados quanto à descrição anatômica da madeira. Os autores citaram que ainda se têm dificuldades para classificar a composição dos raios, por exemplo. Isso ocorre pela falta de informações que possam consolidar uma chave de identificação para as variedades.

As características das camadas de crescimento observadas, também foram reportadas para ambas as espécies do gênero por autores como Cury e Tomazello Filho (2012), Lobão (2011), Pernía e Melandri (2006), Terezo (2010) e Tomazello Filho et al. (2004). Porém, o alargamento dos raios e a redução do diâmetro dos poros no limite do anel encontrados no presente trabalho não foram observados pelos autores citados.

As características gerais macro e microscópicas dos vasos estão de acordo com a literatura que descreve a anatomia do paricá (*Schizolobium*

parahyba var. *amazonicum*): Bianche (2009), Lobão (2011) e Terezo (2010). Contudo, Terezo (2010) caracterizou o arranjo dos poros em cadeias radiais e diagonais, o que não foi observado neste trabalho. Outra divergência, porém com o resultado encontrado por Bianche (2009), referiu-se ao formato dos vasos, que o autor caracterizou como ovalado. Nisgoski et al. (2012) encontraram para o guapuruvú (*Schizolobium parahyba* var. *parahyba*) apêndices em uma ou ambas as extremidades dos elementos de vaso, da mesma forma que se observou neste trabalho.

Segundo Metcalfe e Chalk (1983) o tipo de pontoação, geralmente, persiste em uma família ou em um grande grupo taxonômico. As pontoações guarnecidas observadas no trabalho, também foram encontradas em espécies de Leguminosas estudadas por Schmid (1965), à exceção do gênero *Bauhinia*.

Apesar de as guarnições em princípio serem comuns em um determinado grupo, deve-se ter cautela quanto à sua adoção como tendo valor diagnóstico, uma vez que pode existir uma relação positiva entre as pontoações guarnecidas e o ambiente, como forma de prevenção ao embolismo (ALVES; ANGYALOSSY-ALFONSO, 2000; CARLQUIST, 1988; RECORD; RESS, 1949).

As fibras apresentaram pontoações simples, raramente bifurcadas e septadas, irregularmente estratificadas próximo à medula. De acordo Itabashi, Yokota, Yoshizawa (1999) e Metcalfe e Chalk (1983), a ocorrência de fibras septadas na madeira é uma característica diagnóstica de certos grupos de dicotiledôneas, como por exemplo, as *Anibas* (Lauraceae). Porém, esta característica não pode ser considerada como valor diagnóstico no trabalho, uma vez que ocorreu de forma esporádica. Esse tipo de fibra pode, segundo Carmello-Guerreiro e Appezzato-da-Glória (2003), armazenar amido e, mais raramente, cristais, como observado no presente estudo. A estratificação irregular foi encontrada somente por Junta del acuerdo de Cartagena - JUNAC

(1981) para *Schizolobium parahyba* var. *parahyba*, porém, o autor não fez menção quanto à região encontrada.

O parênquima axial foi caracterizado como predominantemente aliforme de extensão losangular bem definida, raramente confluyente em função da proximidade dos poros e, em linhas marginais, concordando com Lobão (2011) e Terezo (2010), que avaliaram a anatomia da espécie *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* plantada e nativa, respectivamente. Os resultados divergem daqueles encontrados por Pernía e Melandri (2006) que encontraram parênquima axial do tipo vasicêntrico escasso.

As características encontradas para o parênquima radial concordam com a literatura sendo, predominantemente, homocelulares constituídos por células procumbentes. Por outro lado, assim como Nisgoski et al. (2012) observaram para o guapuruvú, também foram encontrados eventuais raios heterocelulares, próximo à medula. Uma má formação no término dos raios pode ter ocorrido em função de um crescimento intrusivo das fibras, evidenciado pela bifurcação observada.

4 CONCLUSÕES

A madeira do paricá apresenta cerne e alburno pouco distintos; cheiro e gosto indistintos; textura média; macia ao corte manual; densidade básica baixa, de aspecto sedoso e, brilhosa.

O paricá possui grã do tipo entrecruzada e a inclinação das linhas vasculares apresenta um aumento significativo no sentido medula-casca, da região do cerne madeira juvenil para o alburno madeira intermediária, tendo uma correlação positiva e significativa com o parênquima radial: largura em número de células e frequência por milímetro linear.

As características anatômicas do xilema secundário do paricá são condizentes com o gênero. Com divergências quanto ao tipo e composição dos raios, arranjo e formato dos vasos, presença de fibras septadas, bifurcadas e estratificadas irregularmente.

Por apresentar lumens conspícuos, o paricá aparenta ser uma espécie com facilidade para penetração e passagem de fluidos, ou seja, uma madeira permeável.

5 RECOMENDAÇÕES

Rever a forma de execução da norma para caracterização das propriedades organolépticas da madeira, incluindo em parâmetros como cor, odor, brilho, textura, etc., a percepção de três avaliadores, considerando a média e desconsiderando informações discrepantes, a semelhança do que é feito para avaliação de falhas na madeira.

Avaliar a atividade cambial do paricá plantado no sentido de entender a formação de crescimento intrusivo de fibras, formação irregular dos raios, estratificação momentânea das fibras e a formação da grã entre anéis de crescimento.

Avaliar o efeito do espaçamento no ângulo de inclinação da grã e nas propriedades mecânicas da madeira de paricá visando à qualidade de produtos confeccionados com a madeira sólida.

REFERÊNCIAS

ACUNA, M. A.; MURPHY, G. Geospatial and within tree variation of wood density and spiral grain in Douglas-fir. **Forest Products Journal**, Madison, v. 56, n. 4, p. 81-85, 2006.

ALVES, E. S.; ANGYALOSSY-ALFONSO, V. Ecological trends in the wood anatomy of some Brazilian species. I: Growth rings and vessels. **IAWA Journal**, Utrecht, v. 21, n. 3, p. 30, 2000.

ÁVILA, F.; SILVA, S. **Árvores da Amazônia**. São Paulo: Empresa de Artes, 2006. 243p.

BIANCHE, J. J. **Propriedades de aglomerado fabricado com partículas de eucalipto (*Eucalyptus urophylla*), paricá (*Schizolobium amazonicum*) e vassoura (*Sida spp.*)**. 2009. 77 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2009.

CARLQUIST, S. **Comparative wood anatomy**: systematic ecological and evolutionary aspects of dicotyledonean wood. Berlin: Springer Verlag, 1988. 448 p.

CARMELLO-GUERREIRO, S. M.; APPEZZATO-DA-GLÓRIA, B. **Anatomia vegetal**. Viçosa, MG: UFV, 2003. 438 p.

CARVALHO, J. O. P. et al. Mortality of girdled trees and survival of seedlings in canopy gaps after logging in an upland forest in the Brazilian Amazon. **Revista Ciências Agrárias**, Recife, v. 56, n. 1, p. 48-52, 2013.

COLLINS, T. J. Image for microscopy. **BioTechniques**, Natick, v. 43, p. 25-30, 2007.

CORADIN, V. T. R.; MUÑIZ, G. I. B. **Normas para procedimentos em estudos de anatomia de madeira: I. Angiospermae. II. Gimnospermae.** Brasília: IBAMA/LPF, 1992. (Série Técnica, 15).

CURY, G.; TOMAZELLO FILHO, M. Anatomia do lenho de espécies pioneiras do Estado de São Paulo. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 40, n. 96, p. 491-498, 2012.

DALMOLIN, R. S. D. et al. Medida da cor do solo sob diferentes metodologias: carta de Münsell e colorimetria. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 30., 2005, Recife. **Anais...** Recife: UFPE, 2005. 1 CD ROM.

FONWEBAN, J. et al. Modelling the effect of spacing and site exposure on spiral grain angle on *Sitka spruce* (Bong.) Carr. in Northern Britain. **Forestry**, Oxford, v. 86, n. 3, p. 331-342, 2013.

INTERNATIONAL ASSOCIATION OF WOOD ANATOMISTS. List of microscope features for hardwood identification. **IWA Bulletin New Series**, Leiden, v. 10, n. 3, p. 219-332, 1989.

INTERNATIONAL BUSINESS MACHINES. **IBM SPSS statistics for Windows: versão 20.0.** Armonk, 2012.

ITABASHI, T.; YOKOTA, S.; YOSHIKAWA, N. The seasonal occurrence and histology of septate fibers in *Kalopanax pictus*. **IWA Journal**, Utrecht, v. 20, n. 4, p. 395-404, 1999.

JUNTA DEL ACUERDO DE CARTAGENA. **Descripción general y anatómica de 105 maderas del grupo Andino.** Lima, c1981.

LOBÃO, M. S. **Dendrocronologia, fenologia, atividade cambial e qualidade no lenho de árvores de *Cedrela odorata* L.; *Cedrela fissilis* Vell. e *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex. Ducke), no Estado do Acre, Brasil.** 2011. 215 p. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2011.

METCALFE, C. R.; CHALK, L. Anatomy of the dicotyledones. 2. ed. In: _____. **Wood structure and conclusion of the general introduction:** 1-297. Oxford: Clarendon, 1983. v. 2.

MÜNSELL, C. C. **Munsell soil color charts.** Baltimore: Munsell Color Company, 1975.

NISGOSKI, S. et al. Características anatômicas da madeira e índices de resistência do papel de *Schizolobium parahyba* (Vell.) Blake proveniente de plantio experimental. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 40, n. 94, p. 203-211, 2012.

NOSKOWIAK, A. F. Spiral grain in trees: a review. **Forest Products Journal**, Madison, v. 13, n. 7, p. 266-275, 1963.

NOSKOWIAK, A. F. **Spiral grain patterns in red pine and relationship of age and radial growth rate to change of grain angle.** 1959. 273 p. Thesis (Ph.D.) - Syracuse University, New York, 1959.

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

PERNÍA, N. E.; MELANDRI, J. L. Wood anatomy of the tribe Caesalpinieae (Leguminosae Caesalpinioideae) in Venezuela. **IAWA Journal**, Utrecht, v. 27, n. 1, p. 99-114, 2006.

RAMALHO, P. E. **Paricá: *Schizolobium amazonicum***. Colombo: EMBRAPA Florestas, 2007. 8 p. (Circular Técnica, 142).

RAUCHFUSS, J.; SPEER, J. H. Research report age dependence of spiral grain in white oaks (*Quercus alba* L.) in Southwestern Illinois. **Tree-Ring Research**, Loveland, v. 62, n. 1, p. 13-24, 2006.

RECORD, S. Y. R.; HESS, R. **Timbers of the new world**. New Haven: Yale University, 1949.

RIZZINI, C. T. **Árvores e madeiras úteis do Brasil: manual de dendrologia brasileira**. Rio de Janeiro: E. Blucher, 1971. p. 127-130.

ROSA, A. H.; FRACETO, L. F.; MOSCHINI-CARLOS, V. (Org.). **Meio ambiente e sustentabilidade**. Porto Alegre: Bookman, 2012.

SCHMID, R. The fine structure of pits in hardwoods. In: CÔTE, W. A. **Celular ultrastructure of wood plants**. New York: Syracuse University, 1965. p. 291-304.

SOUZA, C. R. et al. **Paricá: *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum*** (Huber ex. Ducke) Barneby. Manaus: EMBRAPA Amazônia Ocidental, 2003. 12 p. (Circular Técnica, 18).

SOUZA, D. B.; CARVALHO, G. S.; RAMOS, E. J. A. **Paricá: *Schizolobium amazonicum*** Huber ex. Ducke. Manaus: Rede de Sementes da Amazônia, 2005. 2 p. (Informativo Técnico).

TEREZO, R. F. **Avaliação tecnológica do paricá e seu uso em estruturas de madeira laminada colada**. 2010. 201 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

TOMAZELLO FILHO, M. et al. Anatomical features of increment zones in different tree species in the state of São Paulo, Brazil. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 66, p. 46-55, 2004.

TROPICOS. **Missouri botanical garden**: banco de dados. Disponível em: <<http://www.tropicos.org>>. Acesso em: 1 jun. 2013.

TSOUMIS, G. **Science and technology of wood**: structure, properties, utilization. Nova York: Chapman & Hall, 1991. 494 p.

ZOLET-TURCHETTO, A. C. et al. Large-scale phylogeography of the disjunct Neotropical tree species *Schizolobium parahyba* (Fabaceae-Caesalpinioideae). **Molecular Phylogenetics and Evolution**, Orlando, v. 65, p. 174-182, 2012.

CAPÍTULO 3 Identificação da madeira juvenil em árvores de *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex. Ducke) Barneby (Paricá) plantadas no município de dom Eliseu - PA

RESUMO

O objetivo do trabalho foi identificar as regiões compreendidas pela madeira juvenil e intermediária em espécimes plantados de paricá no intuito de orientar a retirada de amostras de madeira para avaliação da adesão, sob o ponto de vista microscópico. O material utilizado foi coletado no município de Dom Eliseu - PA, em um plantio com 14 anos de idade uma área destinada apenas à coleta de sementes. De cada árvore amostrada foram obtidos toretes com 1,5 m de comprimento na base do caule, acima das sapopemas. Da face superior dos mesmos foram obtidos discos com aproximadamente 15 cm de espessura, dos quais foram retiradas amostras no sentido medula - casca, de 3 em 3 cm, utilizadas para a mensuração dos elementos celulares e para a determinação da densidade básica. Para a avaliação pela densitometria de raio-X, foram obtidas dos mesmos discos, baguetas com 1,5 cm de largura. O trabalho foi realizado nos laboratórios de Anatomia da Madeira da Universidade Federal de Lavras e nos laboratórios de Anatomia, Identificação e Dendrocronologia da Madeira e no Laboratório de Análise de Imagens do Setor de Tecnologia de Sementes da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz - ESALQ/USP. Pela mensuração dos elementos celulares, foi possível observar que o comprimento de elementos de vaso e fibras, diâmetro dos vasos e espessura da parede tenderam a aumentar no sentido medula-casca; enquanto a frequência de vasos por milímetro quadrado e a largura do lume das fibras tenderam a diminuir. Tanto a densidade básica quanto a aparente tenderam a aumentar no mesmo sentido. Pela análise do conjunto de parâmetros, foi possível identificar que a região da madeira juvenil compreendeu aproximadamente 8 cm de distância da medula, 38% do raio.

Palavras-chave: *Schizolobium parahyba* var. *Amazonicum*. Variação anatômica. Densidade. Densitometria de raio-X.

CHAPTER 3 Identification of juvenile wood in *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex. Ducke) Barneby (paricá) trees planted in the municipality of Dom Eliseu, PA, Brazil

ABSTRACT

The objective of this work was to identify the regions enveloped by juvenile and intermediate wood in paricá planted specimens, with the intent to orient the removal of wood samples for the adhesion evaluation from the microscopic point of view. The material used was collected in the municipality of Dom Eliseu, PA, Brazil, in a 14 year old planting, in an area destined only to seed harvesting. From each sampled tree we obtained logs with 1.5 cm of length in the base of the stem, above the buttresses. From the superior side of the same, we obtained discs of approximately 15 cm of thickness, of which were removed samples in the medulla-bark direction, every 3 cm, used for measuring the cellular elements and to obtain the basic density. For the evaluation with the X-ray densitometry, we obtained baguettes of 1.5 cm of length from the same discs. The work was performed in the Anatomia de Madeira laboratories in the Universidade Federal de Lavras, in the Anatomia, Identificação e Dendrocronologia da Madeira laboratory and in the Laboratório de Análise de Imagens of the Setor de Tecnologia de Sementes of the Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz – ESALQ/USP. With the mensuration of the cellular elements it was possible to observe that the length of the vase elements and fibers, diameter of the vases and the thickness of the wall tended to increase in the medulla-bark direction, while the frequency of the vases per square millimeter and width of the fiber lumen tended to decrease. The basic as well as apparent densities tended to increase in the same direction. By the analyses of the parameter set it was possible to identify that the juvenile wood regions comprised approximately 8 cm of distance from the medulla, 38% of the radius.

Keywords: *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum*. Anatomical variation. Density. X-ray densitometry.

1 INTRODUÇÃO

A variação no xilema de espécies lenhosas é ampla e complexa. Madeiras, aparentemente claras e uniformes visualmente, podem apresentar grandes variações em nível celular, ultraestrutural e químico, as quais podem ser encontradas não só entre espécimes, como também no mesmo caule. Estas variações surgem em função dos períodos de desenvolvimento da planta, correspondendo às fases de juvenilidade, maturidade e senescência e não ocorrem de forma isolada (TSOUMIS, 1991). Elas interagem com mudanças internas próprias, como a formação progressiva do cerne e com estímulos ao qual o câmbio está sujeito durante o desenvolvimento da árvore, que derivam de influências ambientais como, por exemplo, o estresse hídrico.

Além de permitir o entendimento sobre o comportamento biológico da planta, o estudo da variação na dimensão dos elementos celulares é importante sob o ponto de vista tecnológico, por ser um indicativo de possíveis alterações genéticas ou de manejo em florestas plantadas que visem à melhoria da qualidade da madeira para um determinado fim. Estes estudos são comumente realizados pela mensuração dos elementos celulares nos sentidos radial e axial e por técnicas laboratoriais mais rápidas e com boa precisão como a densitometria de raio-X, que avalia o perfil da densidade aparente da madeira.

No Brasil, o conhecimento da variação anatômica de importantes espécies para o setor madeireiro como àquelas pertencentes aos gêneros *Eucalyptus* e *Pinus*, visando à qualidade da madeira produzida e a relação com outras áreas, é bem registrado na literatura (ARANTES et al., 2011; FLORSHEIM et al., 2009; MELO et al., 2013; PALERMO et al., 2013; REBOLLEDO et al., 2013; SETTE JÚNIOR, 2012), entre outros. Porém, comparando-se espécies destes grupos com outras plantadas como o paricá (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum*), a teca (*Tectona grandis*) e o nim

(*Azadirachta indica*), as quais também apresentam grande potencial para o setor madeireiro, observa-se uma diferença significativa em detrimento às últimas (GONÇALVES et al., 2007; LOBÃO et al., 2012; NISGOSKI et al., 2012; WANG et al., 2013).

Considerando-se a importância de estudar espécies plantadas de rápido crescimento, que geralmente apresentam grande proporção de madeira juvenil, selecionou-se para o trabalho, *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex. Ducke) Barneby. Pertencente à família Fabaceae, a espécie é conhecida vulgarmente no Estado do Pará como paricá. Pioneira e nativa da floresta amazônica pode ser encontrada em países como na Venezuela, Colômbia, Peru e Bolívia. No Brasil, encontram-se distribuídas nos Estados do Acre, Amazonas, Pará e Rondônia (LEWIS, 2013), em florestas primárias de terra firme e várzea alta e em florestas secundárias.

A espécie apresenta densidade da madeira baixa a moderada, sendo muito utilizada na produção de compensados, o qual é bem aceito nos mercados nacional e internacional e, como composto secundário na fabricação de MDF (*Medium Density Fiber*) produzido com *Eucalyptus*. Desde que seja realizado o tratamento contra ataque de agentes xilófagos, o paricá apresenta potencial uso da madeira maciça para a fabricação de saltos para sapatos, embalagens leves, aerodelismo, pranchetas, forros, etc. O resíduo da exploração nativa ou de árvores mortas é muito utilizado como lenha para consumo doméstico em propriedades rurais (SOUZA; CARVALHO; RAMOS, 2003).

O paricá vem ganhando rapidamente espaço no setor florestal por apresentar rápido crescimento; boa qualidade da madeira para produção de compensado sendo: homogênea, lisa e clara; excelente aproveitamento na indústria e, elevado índice de regeneração natural com floração vistosa, sendo indicada para reposição de áreas degradadas e arborização de praças (TEREZO, 2010).

O objetivo deste capítulo foi delimitar a região compreendida pela madeira juvenil da espécie em estudo, por meio da análise anatômica e de densidade, no intuito de orientar a retirada de amostras para a realização do estudo voltado à adesão com a madeira de *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (paricá).

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Material

Informações sobre a descrição da área de coleta e sobre a obtenção das amostras encontram-se detalhadas na subsecção 5 do capítulo 1.

As amostras para estudo foram retiradas de discos com aproximadamente 15 cm de espessura, obtidos nas faces superiores dos toretes. A análise anatômica foi realizada a partir de corpos de prova com 1,5 cm nos planos transversal, longitudinal tangencial e longitudinal radial; localizados de 3 em 3 cm no sentido medula - casca. As mesmas distâncias foram utilizadas para retirada de material para análise da densidade básica. As baguetas para a análise densitométrica foram retiradas com 1,5 cm de largura.

2.2 Métodos

Para determinação das regiões que compreendem o período juvenil e intermediário de crescimento da espécie, realizou-se ao longo do raio:

- a) mensuração de fibras: comprimento, largura do lume e espessura da parede - IAWA Committee (1989);
- b) mensuração de elementos de vaso: comprimento, diâmetro e frequência por milímetro quadrado - IAWA Committee (1989);
- c) mensuração de raios: altura em milímetro, largura em número de células e frequência por milímetro linear - IAWA Committee (1989);

- d) determinação da densidade básica e aparente - NBR 11941 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, 2003) e densitometria de raio-X.

Foram realizadas 30 mensurações para cada parâmetro anatômico analisado, usando o software *Wincell* - Pro de concepção canadense, sendo realizadas em corte histológico e material macerado. O trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Anatomia da Madeira da Universidade Federal de Lavras.

2.2.1 Obtenção dos cortes histológicos

Informações sobre a obtenção dos cortes histológicos encontram-se detalhadas na subsecção 2.2.4 do capítulo 2.

2.2.2 Obtenção do material macerado

Informações sobre a obtenção dos cortes histológicos encontram-se detalhadas na subsecção 2.2.5 do capítulo 2.

2.2.3 Avaliação da densidade

O cálculo da densidade básica da madeira foi realizado seguindo as orientações da NBR 11941 (ABNT, 2003). Corpos de prova foram retirados de 3 em 3 cm no sentido medula - casca e submersos em água até saturação. Posteriormente, foram obtidos os volumes das amostras pelo método do deslocamento por imersão em água. Em seguida as amostras foram colocadas ao ar livre para secagem inicial, sendo posteriormente acondicionadas em estufa a

103 ± 2 °C por 24 horas para obtenção do peso seco em balança digital com precisão de 0,001g.

Para avaliar o perfil da densidade aparente, baguetas radiais tiveram a seção transversal polida com lixas de diferentes granulometrias na seguinte sequência: 80, 100, 120, 180 e 200, para melhor visualização sob raio - X das estruturas da madeira. As amostras foram fixadas com cola em suportes de madeira e, após secos, foram colocados no equipamento de dupla serra circular paralela, de onde foram obtidas tiras de madeira com aproximadamente 2 mm de espessura. As amostras permaneceram em sala climatizada (20°C, 65% UR) por um período de 12 horas para atingir o teor de umidade de 12%.

Posteriormente, as mesmas foram fixadas no densitômetro de raio-X o qual fez a leitura da densidade aparente por meio de um feixe de raio-X de 20 em 20 µm, sendo as informações lidas pelo software: *Quintek Measurement Systems* - QMS. Para realçar as imagens obtidas no raio-X, aplicou-se polietileno glicol 100% na superfície transversal das amostras. As imagens negativas foram adquiridas com um aparelho de raio - X, associado a um Sistema de Radiografia de Espécimes - *System Radiography Specimen*. As análises foram realizadas no Laboratório de Anatomia, Identificação e Dendrocronologia da Madeira e no Laboratório de Análise de Imagens do Setor de Tecnologia de Sementes da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz - ESALQ/USP.

2.2.4 Análise estatística

Os dados dos elementos celulares mensurados foram tabulados em Microsoft Excel, onde foram obtidos os valores máximo, mínimo, média, desvio padrão, coeficiente de variação e erro padrão. Os valores radiais foram submetidos à análise de variância e teste de Tukey para comparação de médias,

ambos a 5% de significância, utilizando o software SPSS, versão 20.0 (INTERNATIONAL BUSINESS MACHINES - IBM, 2012).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Avaliação das dimensões dos elementos celulares

Para o comprimento dos elementos de vaso, observou-se próximo à medula, uma distribuição que variou na faixa de 100 a 250 μm , com valores mínimos raramente encontrados na ordem de 80 μm . No sentido radial, até 7,5 cm da medula as médias foram semelhantes, em torno de 230 μm destoando dos demais pontos que apresentaram um aumento significativo. Quanto ao diâmetro transversal, observou-se que os menores valores foram encontrados próximo à medula (média de 97 μm), especialmente a 1,5 cm. A partir desta distância, observou-se um aumento gradual, porém significativo, com os valores máximos sendo encontrados na região próxima à casca (média de 192 μm). A distribuição da frequência de vasos/ mm^2 foi bem definida. Inverso ao diâmetro transversal dos vasos, os maiores valores foram encontrados nos primeiros centímetros da medula, tendendo a entrar em estabilidade nas posições posteriores - a partir de 7,5 cm de distância da medula. No sentido radial a distância de 1,5 cm, tanto para diâmetro transversal quanto para frequência por milímetro quadrado destoou significativamente das demais (Gráfico 1).

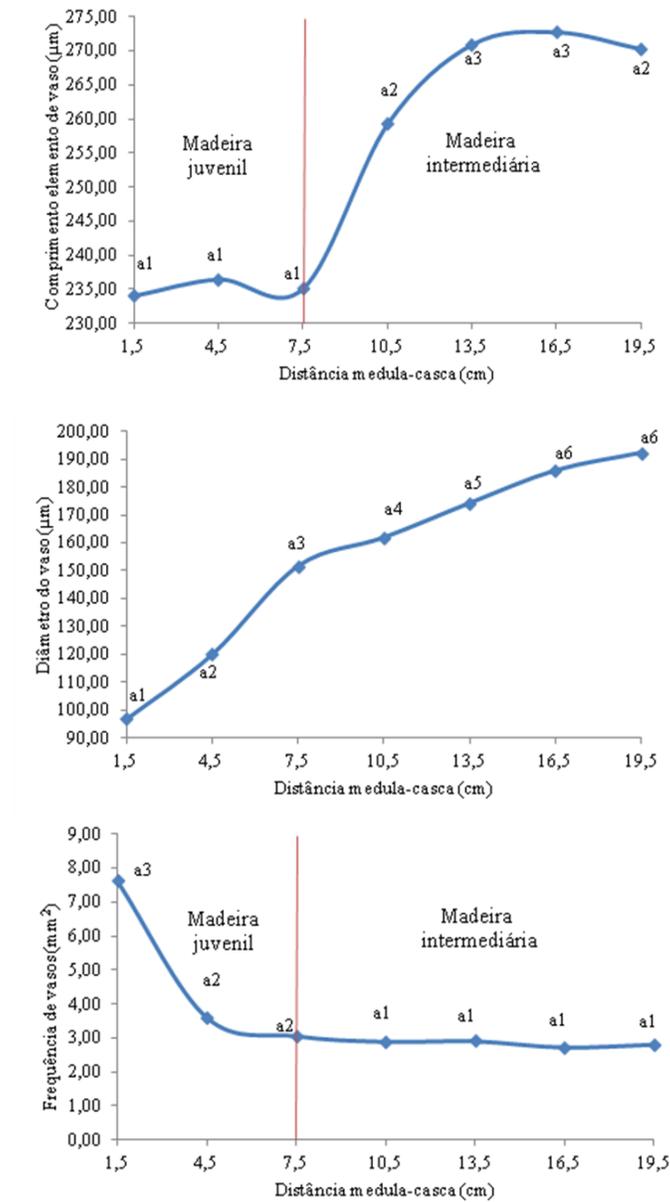


Gráfico 1 Variação nas dimensões dos elementos de vaso no sentido medula-casca da madeira de *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex. Ducke) Barneby (paricá)

Para o comprimento das fibras, observou-se uma distribuição uniforme dos valores. No sentido radial, o comprimento foi menor até 4,5 cm de distância da medula, aumentando de forma significativa até 10,5 cm, quando então tendem a estabilizar. A espessura da parede apresentou uma tendência de aumento no sentido medula-casca, com valores menores encontrados próximos à medula, enquanto os maiores foram encontrados próximo à casca. Para largura do lume, a oscilação foi elevada no sentido radial. Entre os dois primeiros centímetros observou-se um rápido aumento, que gradualmente diminuiu nos centímetros seguintes (Gráfico 2).

Os raios apresentaram uma distribuição uniforme de valores com os mínimos encontrados próximos à casca, à exceção de frequência por milímetro linear. Para altura dos raios observou-se a formação de quatro grupos estatisticamente distintos entre si. Os menores valores foram encontrados próximo à medula - 1,5 cm (mínimo = 0,114mm) aumentando rapidamente no centímetro seguinte (4,5 cm), quando tendeu a estabilizar. A largura em número de células também aumentou no sentido medula-casca, passando de bisseriado e mais raramente unisseriado próximo à medula (1,5 cm) para multisseriado próximo à casca. Para a frequência, observou-se a formação de cinco grupos distintos e que diferiram estatisticamente entre si. Após 1,5 cm da medula, em que foi possível encontrar até 11 raios por mm linear, as reduções foram graduais chegando a 4 raios por mm linear próximo à casca (Gráfico 3).

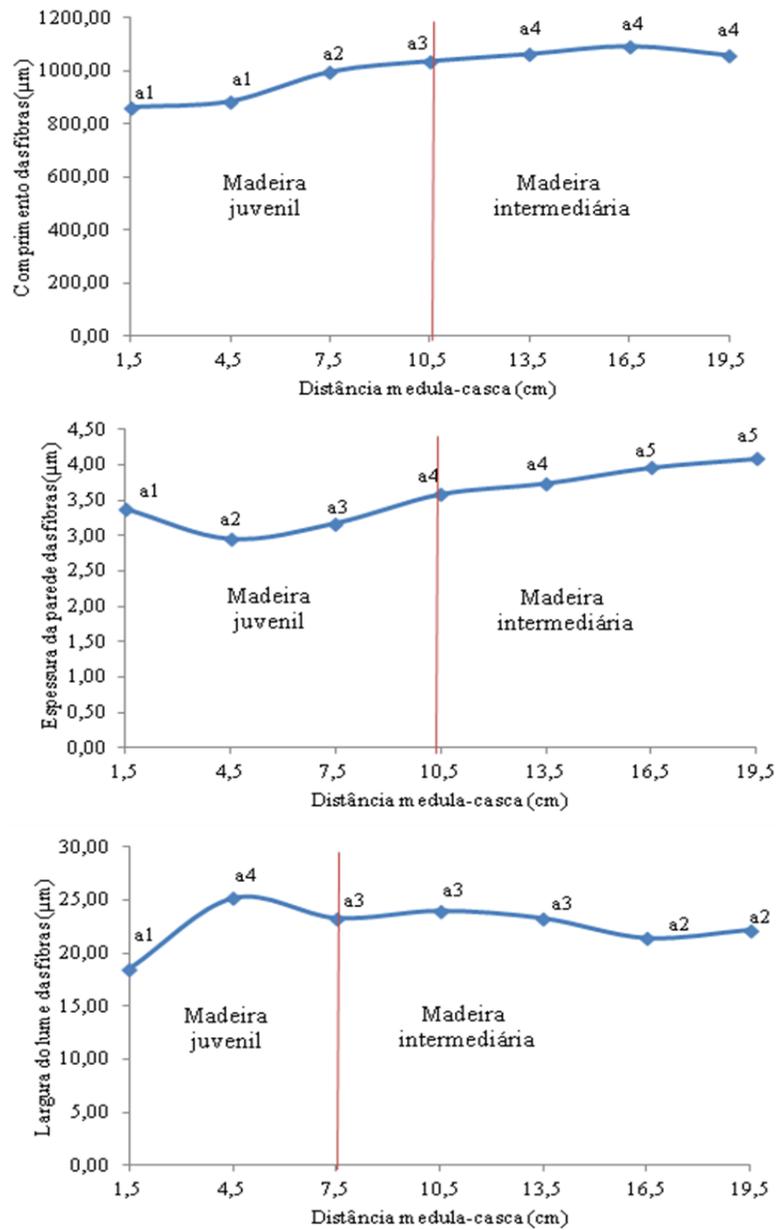


Gráfico 2 Variação nas dimensões das fibras no sentido medula-casca da madeira de *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex. Ducke) Barneby (paricá)

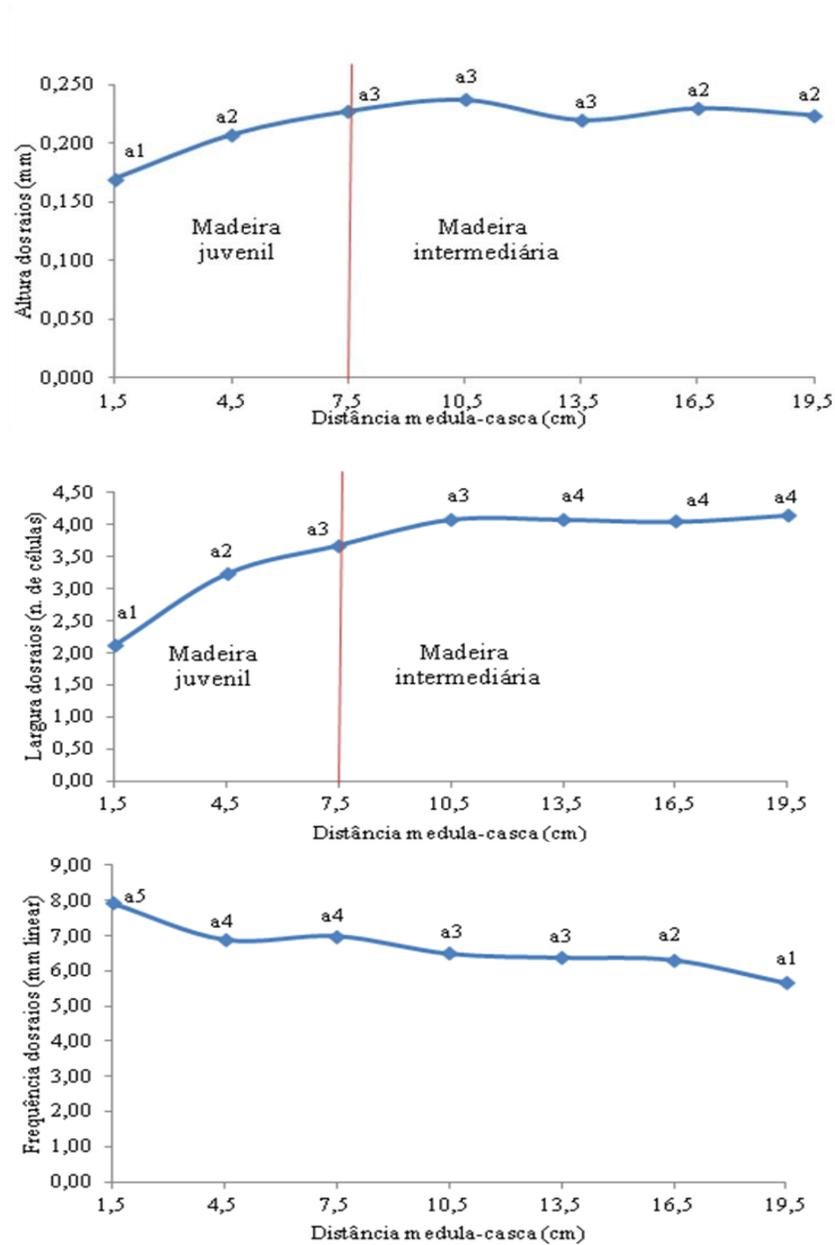


Gráfico 3 Variação nas dimensões dos raios no sentido medula-casca da madeira de *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex. Ducke) Barneby (paricá)

O conhecimento da madeira juvenil é extensivo na literatura e enfatiza a importância prática para utilização da madeira, por ter efeito direto em certas propriedades e por afetar a qualidade do produto final. Para espécies de rápido crescimento, seu conhecimento torna-se ainda mais importante, pois o volume ocupado pela madeira juvenil é maior (TSOUMIS, 1991).

O padrão de variação para cada parâmetro avaliado foi distinto e com flutuação nos valores, sendo que a posição de 1,5 cm é significativamente distinta das demais, na maioria dos parâmetros avaliados; incluindo informações qualitativas como presença de raios fusionados. Isto pode ser um indicativo da madeira formada no estabelecimento inicial do xilema secundário e que possivelmente antecede à formação da madeira juvenil.

Como mencionado, o diâmetro dos elementos de vaso tendeu a aumentar e a frequência a diminuir neste mesmo sentido até aproximadamente 38,46% do raio. Resultados semelhantes foram encontrados por Lobão et al. (2012) para a mesma espécie. Chowdhury et al. (2013) avaliaram a variação das características anatômicas em *Acacia auriculiformis*, uma espécie de baixa densidade pertencente à família Fabaceae. Os autores observaram que em espécimes plantados com 11 anos de idade, o diâmetro dos vasos aumentou de forma significativa até 45% do raio, quando tendeu a estabilizar. Para os autores, isto ocorreu na medida em que a árvore foi se tornando maior em altura e diâmetro, garantindo assim a eficiência na condução de fluidos necessários ao metabolismo da planta. Estas variações podem estar relacionadas também à ação de hormônios como a auxina, indutora da formação de vasos na divisão celular (IQBAL, 1990; TSOUMIS, 1991).

Para o comprimento das fibras no sentido medula - casca, a tendência observada no paricá concorda com aquelas encontradas por Bianche et al. (2012) e Lobão et al. (2012) para a mesma espécie e, por Ballarin e Palma (2003), Chowdhury et al. (2013), Palermo et al. (2013), Urbinati et al. (2003) e Vidaurre

et al. (2011) para outras espécies de rápido crescimento. Esta é uma característica comumente encontrada na madeira juvenil, uma vez que nos primeiros anos de formação do xilema secundário, as iniciais fusiformes apresentam o comprimento reduzido que, com o avançar dos anos, aumenta rapidamente até atingir um valor máximo, seguido de oscilações, quando então tendem a estabilizar (TSOUMIS, 1991).

O comprimento das fibras apresentou o coeficiente de variação inferior em relação ao comprimento dos elementos de vaso. Isto pode ser explicado pela estratificação irregular das fibras observada próximo à medula. Segundo Iqbal (1990), câmbios com iniciais fusiformes estratificadas produzem células que apresentam uma variação sutil em comprimento.

3.2 Avaliação do aspecto geral e perfil radial da densidade da madeira

Observou-se pelo aspecto geral da seção transversal dos discos de *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* que as camadas de crescimento foram bem definidas, sendo que aquelas localizadas na região próxima à medula apresentaram espaçamento maior quando comparadas às localizadas próximo à casca. Com pequena variação entre os espécimes analisados, esta característica se manteve até aproximadamente 11 cm da medula no sentido medula-casca.

Observou-se também uma diferença aparente na deposição de compostos entre as regiões interna e externa do cerne e do alburno, podendo indicar que, possivelmente, a região mais clara do cerne, com anéis de crescimento mais espaçados, compreendeu toda ou grande parte da madeira juvenil (Figura 1).

Os perfis da densidade aparente obtidos com a técnica de densitometria de raio - X confirmaram a tendência observada. Os anéis de crescimento foram bem demarcados por este parâmetro, sendo mais largos e apresentando menor

densidade na região compreendida entre 1,5 a aproximadamente 10 cm. As regiões com maiores densidades e anéis mais estreitos foram observadas próximas à casca (Gráfico 4).

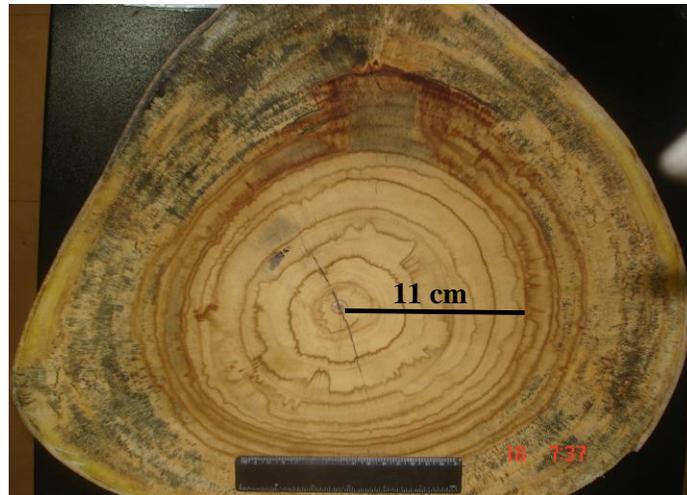


Figura 1 Aspecto geral de um disco de madeira de *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex. Ducke) Barneby (paricá), mostrando a distância entre os anéis de crescimento, característica da madeira juvenil

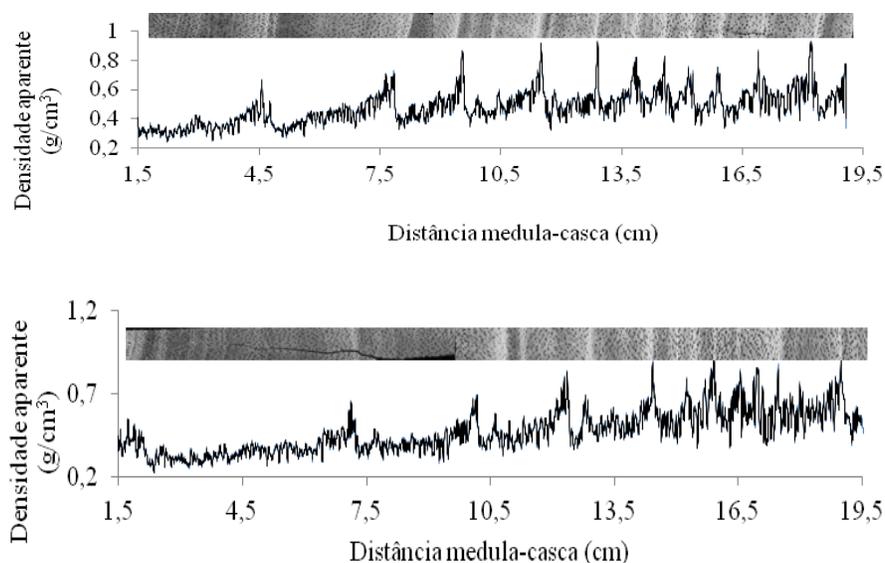


Gráfico 4 Perfil da densidade aparente no sentido medula-casca nos espécimes de porta sementes plantados de *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex. Ducke) Barneby (paricá)

O perfil da densidade aparente, por sua vez, foi confirmado pela avaliação da densidade básica. Os espécimes avaliados apresentaram madeira com densidade baixa (média = $0,33 \text{ g/cm}^3$), variando de $0,20 \text{ g/cm}^3$ na região mais próxima à medula a $0,56 \text{ g/cm}^3$ em regiões mais próximas à casca. Por esta variável os discos de madeira apresentaram duas regiões distintas: uma até aproximadamente 10 cm e outra deste valor em diante (Gráfico 5).

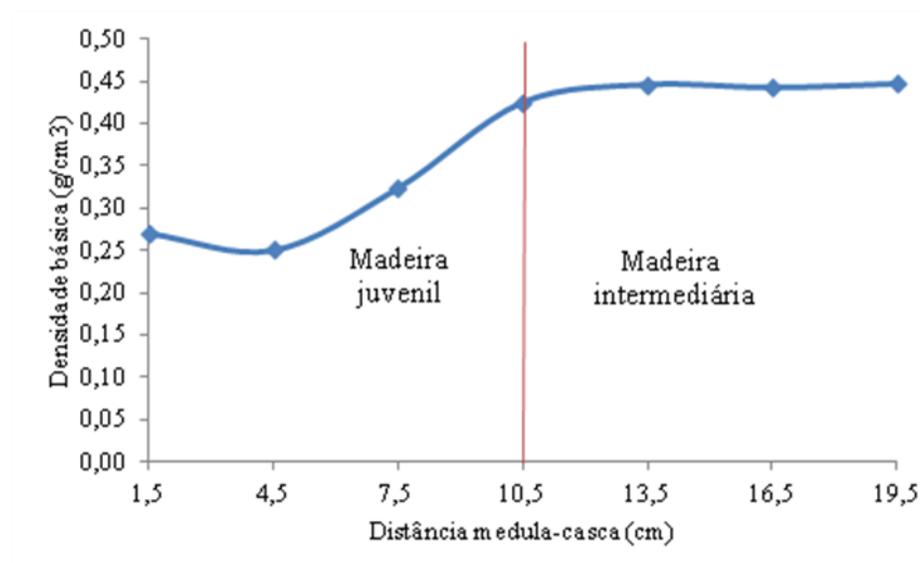


Gráfico 5 Variação na densidade básica no sentido medula-casca da madeira de *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex. Ducke) Barneby (paricá)

A característica observada nos anéis de crescimento também foi relatada por Urbinati et al. (2003) analisando a variação radial em espécimes plantados de *Terminalia ivorensis* aos 34 anos de idade, nos quais os anéis de crescimento mais espaçados compreendiam uma região até 7 cm da medula.

De modo geral, no trabalho observou-se uma tendência na mudança dos valores em aproximadamente 38% do raio. Lobão et al. (2012) avaliando espécimes nativos de *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* e considerando a formação de um anel por ano, encontrou em indivíduos mais jovens (média de 12 anos) uma proporção de madeira juvenil maior (média de 46,38 %) quando comparada com árvores mais velhas com média de 27 anos: 7,57%.

Com base nas características dos anéis de crescimento e comprimento dos traqueídeos de *Pinus elliottii*, Palermo et al. (2013) definiram que a madeira

juvenil na espécie estudada compreendeu a região até 7 anos de idade (38% do raio). A região intermediária compreendeu as idades entre 7 a 23 anos e, partir daí, as árvores passaram a produzir madeira adulta.

Os resultados encontrados para densidade concordam com aqueles encontrados por Bianche et al. (2012) e Lobão et al. (2012) para *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum*, avaliando a densidade básica e aparente em espécimes plantados e nativos, respectivamente.

4 CONCLUSÕES

Aos 14 anos de idade, a madeira juvenil do paricá corresponde a aproximadamente 40% do raio, entre 7,5 a 10,5 cm da medula.

Os parâmetros que melhor definem a região juvenil na espécie são: elementos de vaso: comprimento e frequência por milímetro quadrado; fibras: comprimento, espessura da parede e largura do lume; raios: altura em milímetro e largura em número de células; densidade básica e aparente.

A madeira juvenil apresenta anéis de crescimento mais espaçados entre si e a maioria dos elementos celulares com menores dimensões e frequências elevadas.

Para análise de adesão foram determinadas as seguintes regiões:

- 1 - Cerne madeira juvenil: até 40%.
- 2 - Cerne madeira intermediária: de 40% a 60%.
- 3 - Transição entre cerne e alburno na madeira intermediária: de 60% a 80%.
- 4 - Alburno madeira intermediária: de 80% a 100% do raio.

REFERÊNCIAS

ARANTES, M. D. C. et al. Longitudinal and radial variation of extractives and total lignin content in a clone of *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden x *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake. **Revista Cerne**, Lavras, v. 17, n. 3, p. 283-291, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11941**: madeira, determinação da densidade básica. Rio de Janeiro, 2003. 6 p.

BALLARIN, A. W.; PALMA, H. A. L. Propriedades de resistência e rigidez da madeira juvenil e Adulta de *Pinus taeda*. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 27, n. 3, p. 371-380, 2003.

BIANCHE, J. J. et al. Propriedades de painéis aglomerados fabricados com partículas de eucalipto (*Eucalyptus urophylla*), paricá (*Schizolobium amazonicum*) e vassoura (*Sida* spp.). **Revista Cerne**, Lavras, v. 18, n. 4, p. 623-630, 2012.

CHOWDHURY, M. Q. et al. Anatomical property variation in *Acacia auriculiformis* growing in Bangladesh. **International Wood Products Journal**, London, v. 4, n. 2, p. 75-80, 2013.

FLORSHEIM, S. M. B. et al. Variação nas dimensões dos elementos anatômicos da madeira de *Eucalyptus dunnii* aos sete anos de idade. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, Local, v. 21, n. 1, p. 79-91, 2009.

GONÇALVES, M. P. M. et al. Variação radial da densidade básica e comprimento das fibras da madeira de *Tectona grandis* L. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 14, n. 1, p. 70-75, 2007.

IAWA COMMITTEE. List of microscope features for hardwood identification. **IAWA Bulletin**, Leiden, v. 10, p. 234-332, 1989.

INTERNATIONAL BUSINESS MACHINES. **IBM SPSS statistics for Windows**: versão 20.0. Armonk, 2012.

IQBAL, M. **The vascular cambium**. Taunton: Research Studies, 1990. 245 p.

LEWIS, G. P. **Schizolobium in lista de espécies da flora do Brasil**. Disponível em: <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/jabot/floradobrasil>>. Acesso em: 12 jun. 2013.

LOBÃO, M. S. et al. Qualidade do lenho de árvores de *Schizolobium parahyba* var. , *amazonicum*, Acre, Brasil. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 19, n. 3, p. 374-384, 2012.

MELO, L. E. L. et al. Variação anatômica no lenho de *Astronium lecointei* Ducke. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 20, n. 1, p. 135-142, 2013.

NISGOSKI, S. et al. Características anatômicas da madeira e índices de resistência do papel de *Schizolobium parahyba* (Vell.) Blake proveniente de plantio experimental. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 40, n. 94, p. 203-211, 2012.

PALERMO, G. P. M. Delimitação entre os lenhos juvenil e adulto de *Pinus elliottii* Engelm. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 37, n. 1, p. 191-200, 2013.

REBOLLEDO, P. et al. Variation of internal checks related to anatomical structure and density in *Eucalyptus nitens* wood. **Wood and Fiber Science**, Madison, v. 45, n. 3, p. 1-8, 2013.

SETTE JÚNIOR, C. R. Efeito da idade e posição de amostragem na densidade e características anatômicas da madeira de *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 36, n. 6, p. 1183-1190, 2012.

SOUZA, D. B.; CARVALHO, G. S.; RAMOS, E. J. A. **Paricá: *Schizolobium amazonicum* Huber ex. Ducke**. Manaus: Rede de Sementes da Amazônia, 2003. 2 p. (Informativo Técnico).

TSOUMIS, G. **Science and technology of wood: structure, properties, utilization**. Nova York: Chapman & Hall, 1991. 494 p.

URBINATI, C. V. et al. Variação estrutural quantitativa no lenho de *Terminalia ivorensis* A. Chev., Combretaceae. **Acta Botanica Brasilica**, Porto Alegre, v. 17, n. 3, p. 421-437, 2003.

VIDAURRE, G. et al. Lenho juvenil e adulto e as propriedades da madeira. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 18, n. 4, p. 469-480, 2011.

WANG, K. H. et al. Seasonal variations in cambial anatomy of plantation-grown *Azadirachta excelsa*. **Journal of Tropical Forest Science**, Kuala Lumpur, v. 25, n. 1, p. 111-117, 2013.

CAPÍTULO 4 Estudo da interface madeira-adesivo de juntas coladas com madeira de *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex. Ducke) Barneby (Paricá)

RESUMO

O trabalho teve como objetivo avaliar a interface madeira - adesivo, por meio da análise do adesivo, da tensão de ruptura ao ensaio de cisalhamento e da análise sob microscopia de juntas coladas com madeira de paricá (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum*). Para a realização do estudo, foram obtidos toretes na base do caule, de onde foram retiradas amostras nas regiões do cerne madeira juvenil, cerne madeira intermediária, cerne/alburno madeira intermediária e alburno madeira intermediária. A tensão de ruptura seguiu as orientações da ASTM D2339-98, sendo realizada nas condições seca e úmida (24 horas). Para caracterização microscópica da interface madeira-adesivo, foram obtidas amostras na região central do corpo de prova. Estas amostras foram submetidas às microscopias de luz, fluorescência, varredura, transmissão, estereomicroscópio, microtomografia de raio - X (microCT) e raio - X. O adesivo utilizado foi o fenol-formaldeído estendido em 22,5% de farinha de trigo, o qual teve suas propriedades avaliadas segundo as orientações da ASTM D 1582-60. O adesivo apresentou coloração caramelo, de aspecto viscoso e quando polimerizado, quebradiço. pH = 12,35, gel time = 122 seg. e teor de sólidos = 54%. A tensão de ruptura ao ensaio de cisalhamento em ambas as condições apresentou aumento da região do cerne madeira juvenil em direção ao alburno madeira intermediária. O estudo microscópico revelou uma interface com características qualitativas variáveis e com redução na espessura do filme de adesivo do cerne madeira juvenil para o alburno madeira intermediária. O diâmetro dos vasos, largura dos raios em número de células e pontoações simples entre as células dos raios, pontoações parênquimo-vasculares, largura do lume das fibras e ângulo de inclinação das linhas vasculares foram importantes na penetração do adesivo na madeira. A atração entre o adesivo e a madeira foi observada apenas na parede interna das fibras.

Palavras-chave: *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum*. Interface madeira – adesivo. Estrutura do xilema secundário.

CHAPTER 4 Study of the wood-adhesive interface of joints glued with *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex. Ducke) Barneby (paricá) wood

ABSTRACT

This work aimed at evaluating the wood-adhesive interface by means of analyzing the adhesive, the rupture tension at shearing trial and under microscopy of the joints glued with paricá wood (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum*). In order to perform the study, we obtained logs from the base of the stem, from which we removed samples from the core of the juvenile wood, core of the intermediate wood, core/sapwood of the intermediate wood and sapwood intermediate wood regions. The rupture tension followed the ASTM D2339-98 orientations, performed in dry and humid conditions (24 hours). For the microscopic characterization of the wood-adhesive interface, we obtained samples from the central regions of the proof body. These samples were submitted to light, fluorescence, scan and transmission microscopies, stereomicroscopy, X-ray micro tomography (microCT) and X-ray. The adhesive used was the phenol-formaldehyde extended in 22.5% of wheat flour, which properties were evaluated according to the ASTM D1582-60 orientations. The adhesive presented caramel coloration, viscous aspect and, when polymerized, breakable. pH = 12.35, gel time = 122 seconds and solid content = 54%. The rupture tension at shearing trial in both conditions presented an increase of the core of the juvenile wood region in the direction of the sapwood intermediate wood. The microscopy study revealed an interface with variable qualitative characteristics and with the reduction in the thickness of the adhesive film from the juvenile wood core to the sapwood intermediate wood. The diameter of the vases, width of the radiuses in number of cells and the simple pits between the radius' cells, parenchyma-vascular pits, width of the fiber lumen and inclination angle of the vascular lines were important in the penetration of the adhesive on the wood. The attraction between adhesive and the wood was observed only in the internal wall of the fibers.

Keywords: *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum*. Wood-adhesive interface. Secondary xylem structure.

1 INTRODUÇÃO

A colagem da matéria prima madeira, sob qualquer forma (painéis, resíduos, etc.), tem contribuído indiretamente para a conservação da floresta nativa, uma vez que permite a fabricação de subprodutos com qualidade igual àqueles fabricados com a madeira maciça. Neste processo, a adesão que envolve a ancoragem mecânica, forças atrativas moleculares de ordem física e o desenvolvimento de ligações químicas é, em grande parte, responsável pela garantia da qualidade de produtos colados de madeira com alto desempenho (TSOUMIS, 1991).

Sob o ponto de vista da madeira, propriedades físicas e químicas, bem como a estrutura do xilema secundário de uma espécie, interferem de forma direta na adesão. Diferenças nas dimensões dos elementos celulares estão relacionadas à porosidade e nível de permeabilidade da madeira, os quais influenciam na mobilidade e penetrabilidade do adesivo (MARRA, 1992; PIZZI, 1994).

A eficiência na transferência de adesivo através de uma linha adesiva é um dos fatores mais importantes que determina o desempenho do produto e para isso a penetração na estrutura da madeira é fundamental (KONNERTH et al., 2008).

Apesar da importância da colagem tanto para aplicação industrial quanto para o conhecimento científico, muito de seus aspectos ainda não são bem entendidos, existindo a necessidade de ir além da avaliação macroscópica no intuito de compreender melhor a interação física entre madeira e adesivo.

No Brasil, poucos trabalhos têm sido feitos no intuito de caracterizar anatomicamente a interface adesivo-madeira (ALBINO; MORI; MENDES, 2010, 2012; LIMA et al., 2007). A disposição e morfologia das células que compõem o tecido lenhoso, especialmente em relação às dimensões e

características inerentes às cavidades celulares, são fatores anatômicos que afetam esta interação. A penetrabilidade pode ser facilitada pelo aumento na dimensão do lume das células, pontoações das paredes e cruzamento das pontoações entre células (MARRA, 1992). Sabe-se que a penetração do adesivo no substrato se dá principalmente pelos vasos e espaços intercelulares, porém, estudos têm comprovado a participação efetiva de raios neste processo, os quais permitem a maior penetração do adesivo por meio das pontoações do tipo simples (ALBINO; MORI; MENDES, 2012).

Neste contexto, a microscopia como ferramenta para avaliação detalhada da interface madeira-adesivo é fundamental e tem sido explorada, principalmente fora do Brasil (FOLLRICH et al., 2010; GINGL, 2001; MODZEL; KAMKE; DE CARLO, 2011; SINGH; DAWSON, 2004; SINGH et al., 2008; SMITH; DAI; RAMANI, 2002). Microscopias com aumentos significativos e de alta resolução estão auxiliando no entendimento do processo de adesão em painéis e juntas coladas de madeira, possibilitando alterações no processo que levem ao aumento da qualidade de produtos colados e painéis de madeira.

Apesar de se ter na literatura um conhecimento razoável a respeito da tecnologia da madeira do paricá - *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum*, avaliando aspectos de painéis como: as propriedades mecânicas de compensados e aglomerados mistos, painéis unidirecionais (LVL); Madeira Laminada Colada; atividade cambial e qualidade do lenho (BIANCHE, 2009; COLLI, 2007; IWAKIRI et al., 2010a, 2010b; LOBÃO, 2011; LOBÃO et al., 2012; STELLA, 2009; TEREZO; SZÛCS, 2010); poucos são os registros sobre o conhecimento das interações que envolvem esta espécie (IWAKIRI et al., 2012). Neste sentido, o trabalho teve como objetivo avaliar a tensão de ruptura ao ensaio de cisalhamento de juntas coladas com fenol-formaldeído estendido em 22,5% de

farinha de trigo e, realizar o estudo da interface madeira - adesivo sob o enfoque anatômico.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Material

A obtenção do material de estudo seguiu o mesmo procedimento, detalhado conforme subsecção 5 do capítulo 1.

Para o desdobramento dos toretes e confecção das juntas coladas, realizou-se a marcação das regiões compreendidas pelas madeiras juvenil e intermediária, cerne e alburno, determinadas no capítulo 3. No sentido axial, foram obtidas tábuas com 2,5 cm de espessura por 150 cm de comprimento.

Seguindo as orientações da American Society for Testing and Materials - ASTM D2339-98 (2000) foram retiradas amostras nas seguintes dimensões: 30 cm de comprimento x 10 cm de largura e 0,5 cm de espessura, nas regiões do cerne madeira juvenil, cerne madeira intermediária, cerne/alburno madeira intermediária e somente alburno madeira intermediária. Destas foram obtidas sub-amostras também segundo a norma para o ensaio da linha de cola (Figura 1).

Para as avaliações microscópicas foram utilizadas amostras com 1 cm x 1 cm x 2,5 cm, compreendendo a interface de adesão na região central dos corpos de prova destinados ao cisalhamento.

O adesivo utilizado foi o termo-endurecedor fenol-formaldeído estendido em 22,5% de farinha de trigo.

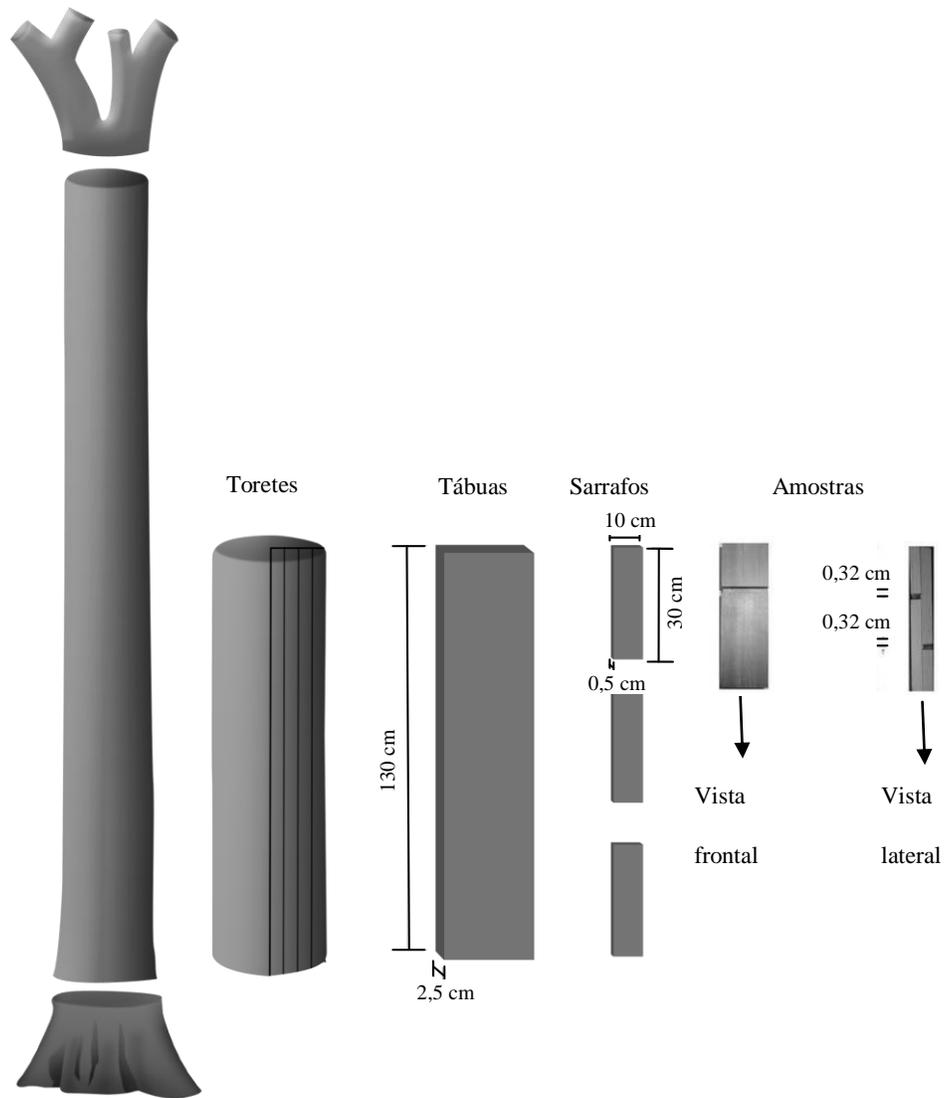


Figura 1 Esquema de obtenção das tábuas com 150 cm de comprimento x 2,5 de espessura, sarrafos com 30 cm x 2,5 cm x 0,5 cm e amostras retiradas de acordo com a ASTM D2339 - 98 para o estudo da adesão

2.2 Métodos

As atividades a seguir visaram a avaliar as propriedades do adesivo utilizado na pesquisa; a tensão de ruptura ao ensaio de cisalhamento e a avaliação da linha de cola sob o ponto de vista anatômico das juntas coladas. Os trabalhos foram desenvolvidos nos laboratórios da Universidade Federal de Lavras - MG e EMBRAPA Instrumentação de São Carlos - SP.

2.2.1 Avaliação das propriedades do adesivo

Para o teste de teor de sólidos, três placas de petri foram secas em estufa a $\pm 103^{\circ}$ C por 12 horas. Depois de taradas, colocou-se 1g de adesivo em cada placa. Estas voltaram à estufa, onde permaneceram por mais 12 horas para o adesivo polimerizar. Após o resfriamento, as amostras foram novamente pesadas em balança com precisão de 0,001 g para obtenção da massa seca. O pH foi medido com um pHmetro, utilizando-se 15 g de adesivo, com três repetições para cada amostra. O adesivo apresentou elevada viscosidade (acima de 3000 cP), não sendo possível mensurá-lo. Para a determinação do tempo de gelatinização, utilizou-se 10g de adesivo em um becker contendo 1 litro de glicerina aquecida a 130° C. Cronometrou-se o tempo em segundos, desde a imersão do tubo na glicerina até o endurecimento do adesivo, pela percepção de resistência à mistura do adesivo ASTM D 1582-60 (ASTM, 1994a).

A gramatura do adesivo utilizada foi de 180g/m^2 , aplicado com espátula em face dupla.

2.2.2 Avaliação da tensão de ruptura ao ensaio de cisalhamento

Após obtenção dos sarrafos, os mesmos permaneceram em sala climatizada (20°C, 65% UR) até atingir a massa constante (teor de umidade de 12%).

Com uma espátula, aplicou-se o adesivo nas amostras, as quais foram imediatamente unidas em pares e colocadas em uma prensa por 15 minutos a uma pressão de 8kgf/cm² a 130° C.

Foram retirados de cada junta colada corpos de prova com as seguintes medidas: 8 cm de comprimento x 2,5 cm de largura, de acordo com as orientações da ASTM D 2339-98.

Em seguida, esse material retornou para a sala de climatização onde ficou acondicionado por 15 dias, sendo dividido em dois grupos para atender aos ensaios de tensão de ruptura ao cisalhamento seco e 24 horas em água (úmido). O trabalho foi realizado em uma máquina pneumática de ensaio, instalada na sala de climatização do Núcleo de Estudo em Painéis de Madeira - NEPAM. Para a avaliação da resistência úmida, as amostras permaneceram submersas em água por um período de 24 horas.

2.2.3 Determinação das falhas na madeira

A análise da porcentagem de falha na madeira foi realizada com o auxílio de uma malha reticulada impressa em folha de transparência. O trabalho foi feito seguindo as orientações da ASTM D3110 (ASTM, 1994b), que faz a recomendação de que a avaliação seja realizada por três profissionais qualificados.

2.2.4 Avaliação microscópica da linha de cola

A avaliação microscópica foi realizada nos laboratórios de Anatomia da Madeira, Biomateriais, Citogenética Vegetal e Laboratório de Microscopia Eletrônica e Análise Ultraestrutural da Universidade Federal de Lavras. A microtomografia de raio - X (microCT) foi realizada no Laboratório de Técnicas Nucleares da Embrapa Instrumentação Agropecuária/CNPDIA, São Carlos - SP.

2.2.4.1 Microscópio estereoscópico

Para a avaliação, os corpos de prova tiveram suas superfícies aplainadas com o auxílio de um micrótomo de deslize para melhor visualizar a interação adesivo - madeira. Imagens da área interna de interação foram obtidas em microscópio estereoscópico Meiji Techno RZ e com auxílio do programa de captura de imagens HonestechTVR 2.5.

2.2.4.2 Microscopia de luz

Para análise anatômica das interfaces madeira-adesivo com o uso da microscopia de luz, os corpos de prova foram submersos em água por 10 horas, para saturação e amolecimento.

Posteriormente, foram obtidos cortes histológicos com aproximadamente 25 μm de espessura nos planos transversal e longitudinal. A seguinte sequência de desidratação foi adotada: etanol 20% (5 min.), etanol 50% (5 min.), 70% (5 min.), 90% (5 min.), etanol - acetato de butila 3:1 v/v (5 min.), etanol - acetato de butila 1:1 v/v (5 min.), etanol - acetato de butila 1:3 v/v (5 min.), acetato de butila 100% (5 min.). Após a desidratação, os cortes foram

montados entre lâmina e lamínula com resina Entellan (3:1 v/v). Foram preparadas três lâminas permanentes para cada amostra.

A análise qualitativa foi realizada com um microscópio Olympus BX41 e as imagens obtidas com o *software Wincell-Pro* de concepção canadense.

2.2.4.3 Microscopia de varredura

Para esta análise, as amostras tiveram suas dimensões reduzidas para 1 cm³. Uma parte das amostras foi aplainada em micrótomo de deslize enquanto a outra foi reduzida e quebrada manualmente. Os corpos de prova permaneceram em estufa de circulação de ar, aquecida a $105^{\circ} \pm 2$ C por um período de 24 horas, para eliminação da umidade. Depois de secas, as mesmas foram codificadas e coladas em *stubs*, sendo em seguida levadas ao **evaporador SCD 050** para banho de ouro. Novamente as amostras retornaram para estufa e após 12 horas foram analisadas em microscópio eletrônico de varredura - LEO modelo Evo 40.

2.2.4.4 Microscopia de fluorescência

Para as análises anatômicas com microscopia de fluorescência foram utilizados os mesmos cortes histológicos utilizados para microscopia de luz. As amostras foram analisadas e fotografadas em microscópio fluorescência invertido Olympus DBX - 60 acoplado em câmera Axion Can HRM do Laboratório de Citogenética Vegetal.

2.2.4.5 Microscópio eletrônico de transmissão

Para avaliação sob o microscópio eletrônico de transmissão as amostras tiveram as suas dimensões reduzidas para aproximadamente 1 mm² de área transversal e 4 mm de comprimento longitudinal. Depois de codificadas, as amostras foram fixadas em solução de Karnovisk's modificada (pH 7,2), por 24 horas.

Em seguida, foram lavadas em solução tampão cacodilato 0,05% por três vezes, sendo trocadas a cada 10 minutos. Posteriormente, as amostras foram pré-fixadas em tetróxido de ósmio 1% por 1 hora em temperatura ambiente, sendo lavadas em água destilada. Em seguida, foram transferidas para solução de acetato de uranila 0,5% por 12 horas.

Após este período o material foi lavado em água destilada por três vezes, sendo desidratado em acetona na seguinte série: acetona 25%, acetona 30%, acetona 40%, acetona 50%, acetona 60%, acetona 70%, acetona 75%, acetona 80%, acetona 90%, acetona 95% e acetona 100%, por três vezes, trocados a cada 15 minutos.

Finalmente o material foi incluído em gradiente crescente de resina Epoxy (DER 736) diluído em acetona 30% (8 horas), 70% (12 horas) e 100%, duas vezes por 24 horas cada. As amostras foram colocadas em moldes contendo resina e levadas à estufa a 70 °C por 24 horas para a resina polimerizar.

Os corpos de prova polimerizados foram desbastados e levados ao ultramicrotomo Reichert-Jung Ultracut para obtenção de cortes histológicos com aproximadamente 70 nanômetros de espessura nos planos transversal e longitudinal (Figura 2).

Os cortes foram analisados em Microscópio Eletrônico de Transmissão (MET) Zeiss EM 109 e as imagens foram capturadas com o auxílio do processador de imagens *AnalySIS*.

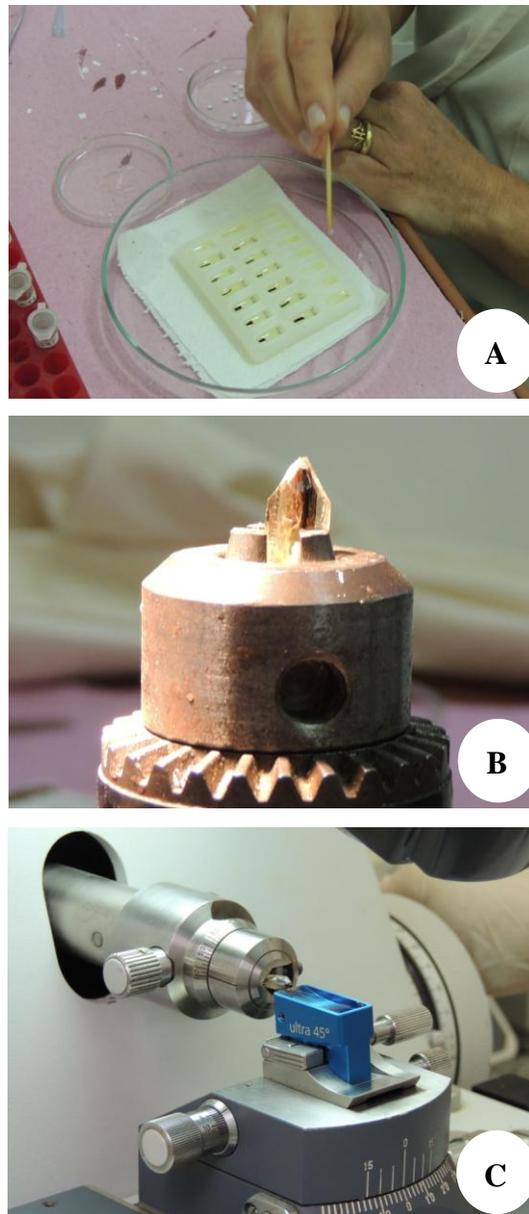


Figura 2 Aspectos do preparo das juntas coladas de paricá (*Schizolobium* var. *amazonicum*) para análise em microscópio de transmissão

Nota: A - Inclusão das amostras em resina Epoxy; B - Desbaste grosso do material; C - Obtenção de cortes histológicos com ultramicrótomo.

2.2.4.6 Raio - X

As imagens da microtomografia computadorizada foram obtidas com o auxílio de um Microtomógrafo de Raios -X, marca SkyScan, modelo 1172. O equipamento foi calibrado da seguinte forma: tubo de raios X: voltagem de 59 kV, corrente de 167 μ A; câmera digital R-X 16-bit; exposição 295 ms, sem filtro, 1425 seções, para melhor visualização das imagens.

As interfaces de juntas coladas com dimensão de 1 mm² de área transversal foram colocadas no interior da câmara de irradiação e fixadas no sistema de movimentação do equipamento. Os raios - X emitidos percorreram a amostra de madeira, no sentido longitudinal, a uma distância de 3 μ m.

As imagens tomográficas das seções transversais dos corpos de prova de madeira foram obtidas com auxílio do software *DataViewer* (Figura 3).

Nesta técnica, a ausência de marcadores como o Rubidium inviabilizou a quantificação do volume de adesivo nas amostras.

Para a mensuração do filme de cola, utilizou-se o equipamento de raio-X Faxiton x-Ray, com 18 kv e 5 segundos de exposição.

2.2.5 Análise estatística

Os dados obtidos foram tabulados em Microsoft Excel e os valores entre regiões foram submetidos à análise de variância e teste Tukey para comparação de médias, ambas com nível de significância de 5%, utilizando o software SPSS, versão 20.0 (INTERNATIONAL BUSINESS MACHINES - IBM, 2012). Para determinar a correlação entre a tensão de ruptura ao ensaio de cisalhamento das amostras secas e úmidas com as características anatômicas da madeira, utilizou-se o coeficiente de correlação de Pearson a significância de 5% de probabilidade.

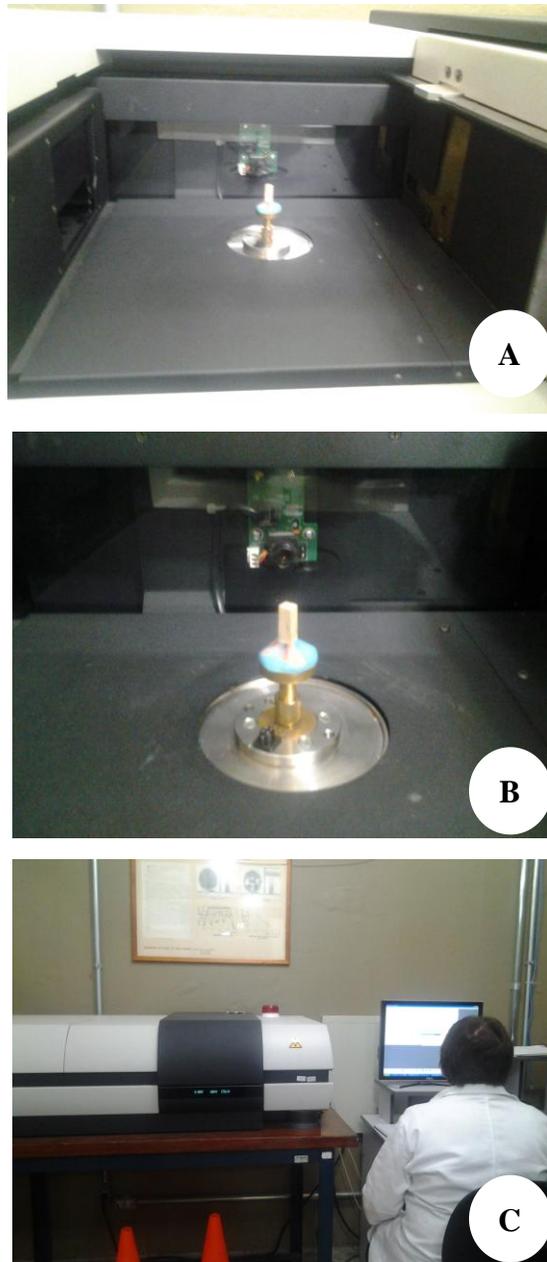


Figura 3 A, B e C - Análise das juntas coladas de paricá (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum*) com Microtomógrafo de Raios -X

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir são apresentados os resultados referentes à avaliação do adesivo, da tensão de ruptura ao ensaio de cisalhamento e caracterização anatômica da interface madeira-adesivo.

3.1 Características do adesivo

O adesivo apresentou alta viscosidade, coloração caramelo claro (Figura 4A) tendendo a escurecer e tornar-se mais viscoso com o passar do tempo. Teor de sólidos de 54%, pH de 12,35 e gel time de 221 segundos. Quando polimerizado apresentou coloração marrom escuro de aspecto vítreo (Figura 4B) e quebradiço, facilmente observado nos elementos celulares, especialmente elementos de vaso, onde ficaram concentradas grandes quantidades de adesivo (Figuras 4 C e 4D).

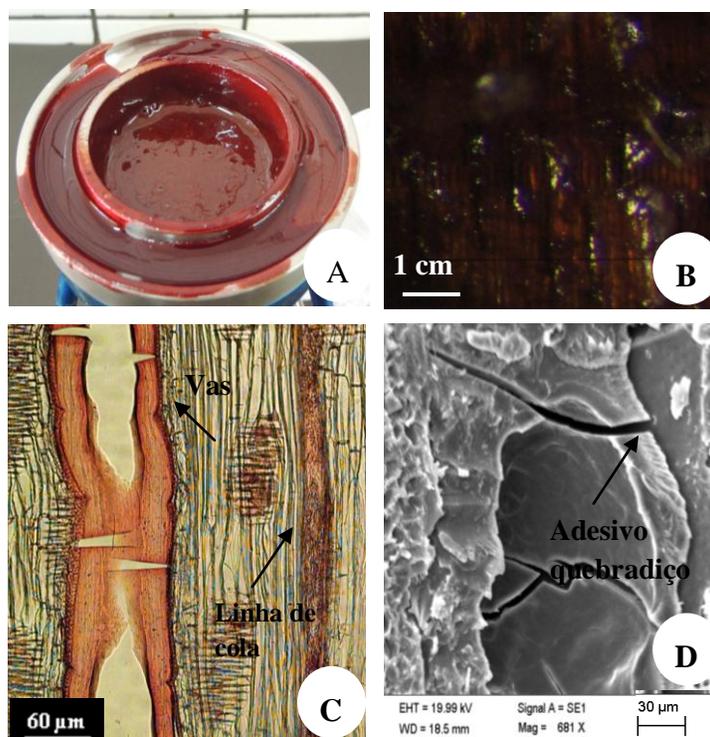


Figura 4 Aspectos do adesivo fenol-formaldeído estendido em 22,5% de farinha de trigo

Nota: A - adesivo líquido; B - Adesivo polimerizado; C e D - adesivo polimerizado e de aspecto quebradiço obstruindo os vasos.

O fenol-formaldeído é um adesivo termo-endurecedor, resistente à umidade, por isso de uso principalmente externo. Suas principais características segundo Marra (1992) são: teor de sólidos - na faixa de 48 a 51%; pH - entre 11 e 13; viscosidade - 300 a 600 cp, cura entre 130° a 150° C. Os resultados encontrados estão de acordo com os valores tidos para o adesivo. O aumento do valor do teor de sólidos (54%) e da viscosidade foi relacionado ao acréscimo de 22,5% de farinha de trigo na formulação.

A adição de farinha de trigo ao adesivo é uma rotina normalmente utilizada pela grande maioria das indústrias de compensados, como forma de

otimizar a utilização do adesivo. Em testes preliminares realizados em laboratório, verificou-se que não foi possível utilizar o adesivo termoendurecedor fenol-formaldeído sem a adição de extensor. Como a madeira de paricá - *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* é muito porosa, a farinha de trigo utilizada como extensor evitou a formação de uma linha de cola faminta.

Por outro lado, este percentual (22,5%) afetou consideravelmente a viscosidade. Segundo Marra (1992) adesivos com alta viscosidade apresentam: maior dificuldade de espalhamento devido à baixa fluidez; condições desfavoráveis à umectação; menor penetração do adesivo na estrutura da madeira, com formação de linha de cola espessa.

Iwakiri et al. (2009) colaram várias espécies de *Pinus* com fenol-formaldeído estendido em 5% farinha de trigo. Os autores avaliaram o adesivo e encontraram propriedades condizentes com os resultados encontrados no presente trabalho: teor de sólidos de 49%, pH 12,6.

3.2 Tensão de ruptura ao ensaio de cisalhamento em condição seca e úmida

Observou-se uma correlação altamente positiva (0,978) entre a tensão de ruptura a seco e a tensão de ruptura que apresentou valores inferiores quando comparados à primeira.

Quanto à tensão de ruptura a seco, mesmo que os valores encontrados próximos à medula tenham sido menores do que àqueles próximos à casca, os valores encontrados nas regiões do cerne madeira juvenil e cerne madeira intermediária foram estatisticamente iguais, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade (Gráfico 1).

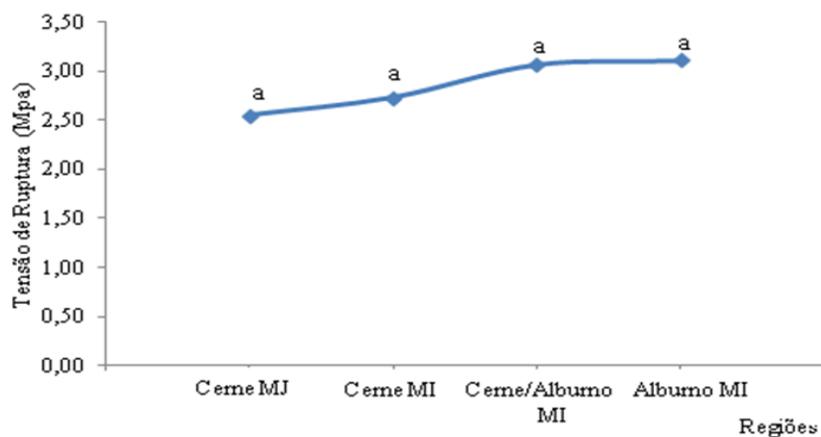


Gráfico 1 Comportamento radial da tensão de ruptura ao ensaio de cisalhamento na condição seca nas regiões radiais amostradas em *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum*

A tensão de ruptura úmida apresentou valores inferiores, porém com uma mudança significativa da região próxima à medula para a região próxima à casca. A região do cerne madeira intermediária (1,17 MPa) também diferiu da região do alburno madeira intermediária (1,68 MPa) (Gráfico 2).

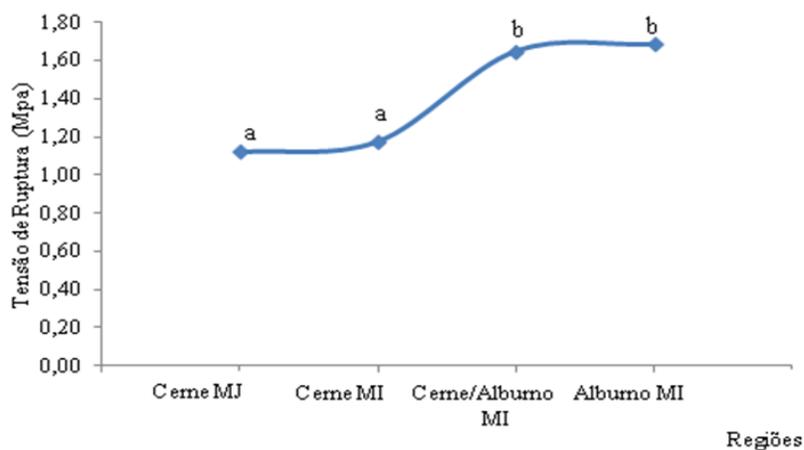


Gráfico 2 Comportamento radial da tensão de ruptura ao ensaio de cisalhamento na condição úmida nas regiões radiais amostradas em *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum*

A tensão de ruptura ao cisalhamento seco apresentou correlação positiva e significativa com as seguintes variáveis anatômicas: diâmetro do vaso, espessura da parede das fibras e altura dos raios em número de células, indicando que qualquer alteração em uma destas variáveis implica na alteração da tensão de ruptura a seco (Tabela 1).

Já correlação de Pearson realizada entre a tensão de ruptura ao ensaio de cisalhamento com as amostras úmidas e as estruturas anatômicas apresentou significância para as seguintes variáveis: espessura da parede das fibras, comprimento dos raios em número de células e ângulo de inclinação da grã. (Tabela 1).

Diferente do cisalhamento seco, a tensão de ruptura ao cisalhamento com as amostras submersas em água por 24 horas apresentou uma correlação positiva e significativa com o ângulo de inclinação da grã nas mesmas regiões, uma vez que ambas tiveram o comportamento radial muito semelhante com

valores nas regiões do cerne que diferem estatisticamente das demais e de forma acentuada.

Tabela 1 Coeficientes de correlação e significância de Pearson (0,05) entre as tensões de ruptura ao ensaio de cisalhamento e as características anatômicas de paricá *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum*, mensuradas

Variável anatômica mensurada		Ensaio seco	Ensaio úmido
Elementos de vaso	Diâmetro transversal (μm)	0,937*	0,849
	Comprimento (μm)	0,868	0,756
	Frequência (mm^2)	- 0,813	- 0,682
Fibras	Comprimento	0,841	0,728
	Largura do lume	- 0,533	- 0,676
	Espessura da parede	0,969*	0,902*
Raios	Comprimento (n° de células)	0,978*	0,964*
	Largura (n° de células)	0,789	0,651
	Comprimento (milímetro)	0,610	0,457
	Largura (milímetro)	0,776	0,636
	Frequência (mm/linear)	- 0,890	- 0,811
Densidade	0,811	0,678	
Grã	0,888	0,925*	

O fato de as amostras testadas, tanto a seco como molhadas, terem apresentado aumento da tensão de ruptura ao ensaio do cisalhamento nas regiões próximas à casca, pode estar relacionado a uma maior abertura dos elementos celulares nestas regiões, onde o adesivo penetrou melhor em células como as dos raios e vasos e, ao aumento da densidade, permitindo uma reação mais ampla do adesivo com a parede celular.

Comparando-se estes resultados com uma avaliação preliminar da tensão de ruptura ao ensaio de cisalhamento da madeira sólida de *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum*, observou-se que os valores das amostras cisalhadas a seco foram inferiores (cerne madeira juvenil = 2,55 MPa e alburno madeira intermediária = 3,11 MPa) às regiões correspondentes na madeira sólida (cerne madeira juvenil = 6,96 MPa e alburno madeira intermediária = 8,38 MPa), com redução em cerca de 60%, indicando que a resistência da linha de cola foi inferior à resistência da própria madeira.

Terezo e Szücs (2010) encontraram para juntas de madeira laminada colada de paricá (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum*), valores de tensão de ruptura ao ensaio de cisalhamento seco na ordem de 2,90 MPa, similar à média calculada para as juntas de paricá analisadas (2,80 MPa).

Santos e Menezzi (2010), avaliando a tensão de ruptura ao ensaio de cisalhamento de juntas coladas de marupá (*Simarouba amara*) para potencial uso como madeira laminada colada (MLC), encontraram valores na ordem de 5,00 MPa.

Albino, Mori e Mendes (2010) encontraram para juntas coladas de *Eucalyptus grandis*, valores de tensões de ruptura ao ensaio de cisalhamento na ordem de 4,0 MPa coladas com resorcinol-formaldeído. Estes valores foram superiores ao encontrado no estudo, devido ao adesivo resorcinol-formaldeído ser um termo-endurecedor mais forte em relação ao fenol-formaldeído e devido à densidade superior do *Eucalyptus*.

Devido à grande fabricação de compensados produzidos com paricá (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum*) no Estado do Pará e comercializados nacional e internacionalmente, Iwakiri et al. (2011) avaliaram a qualidade de painéis compensados de paricá com composições variadas de ureia-formaldeído e fenol-formaldeído. Após a realização dos testes secos com 15% de farinha de trigo (adesivo econômico), os autores recomendaram um aumento no percentual

de farinha de trigo, no intuito de minimizar o efeito da cola faminta, uma vez que o paricá é muito poroso, e como forma de aumentar a tensão de ruptura ao ensaio de cisalhamento. No presente trabalho, os maiores valores de resistência a seco de juntas coladas com fenol-formaldeído estendido em 22,5% de farinha de trigo (na ordem de 3,0 MPa), foram encontrados no alburno madeira intermediária.

3.3 Percentual de falhas na madeira

O percentual de falhas na madeira em função dos ensaios (seco e molhado) apresentou aspectos distintos. Na Figura 5A pode-se observar nas amostras cisalhadas na condição seca, um percentual de falhas na ordem de 60%. Observou-se, no sentido radial, uma flutuação não significativa dos percentuais de falha nas regiões analisadas. Já para o cisalhamento usando amostras úmidas, houve menor percentual de falha na madeira, com o rompimento exatamente na linha de cola (Figura 5B). Possivelmente isso ocorreu em função do adesivo, constituído de 22,5 % de farinha de trigo, que se desfez na presença de água, uma vez que o adesivo não reage com a farinha de trigo.

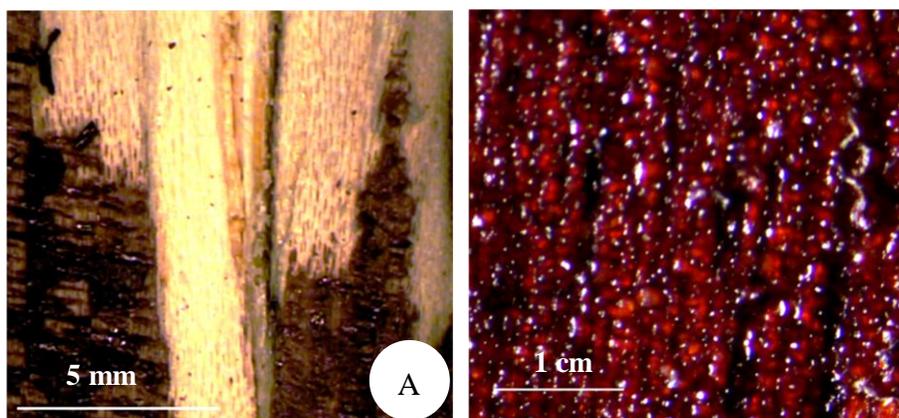


Figura 5 Área de falha na madeira em juntas coladas de *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum*

Nota: A - Cisalhamento seco; B -Cisalhamento 24 horas.

O percentual de falhas na madeira dá o indício da resistência da madeira em relação à resistência da linha de cola. O mais adequado é que a resistência da madeira seja equivalente à resistência da linha de cola. Porém, na prática isso é difícil de ocorrer, em função das variáveis envolvidas no processo.

No trabalho, as falhas na madeira foram reflexos da baixa densidade da madeira e da formulação da cola. Com a amostra seca, o percentual de falhas na madeira foi dividido entre a resistência da madeira e da linha de cola, ficando em torno de 60%. Já no ensaio úmido os maiores valores foram encontrados nas regiões próximas à casca, refletindo mais a densidade da madeira. Iwakiri et al. (2011) encontraram para painéis produzidos com madeira de paricá colados com fenol - formaldeído estendido em 5 e 15% de farinha de trigo, 42 e 57,5% de falhas na madeira, respectivamente, atendendo ao requisito mínimo da Norma Européia EN 314-2 para painéis de uso interior.

3.4 Avaliação microscópica da interface madeira - adesivo

A avaliação da interface madeira - adesivo sob o ponto de vista anatômico utilizando técnicas de microscopia; bem como o uso de técnicas microscópicas eficientes na avaliação desta interação, são pesquisas que vem recebendo importante atenção. A seguir são apresentados os resultados da análise anatômica da interface madeira - adesivo em juntas coladas de paricá, com o auxílio das microscopias de luz, estereomicroscópio, varredura, fluorescência, eletrônica de transmissão e raio-X.

3.4.1 Aspecto geral

Nas juntas coladas de *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* foi possível observar com clareza os elos propostos por Marra (1992): o filme adesivo, a interface substrato - adesivo, a sub-superfície do substrato e a região da madeira compreendida pela adesão propriamente dita. Como observado na Figura 6, as células de fibras adjacentes à linha de cola, perderam a morfologia inicial e foram obstruídas por adesivo. Elementos de vaso e raios parenquimáticos também foram afetados.

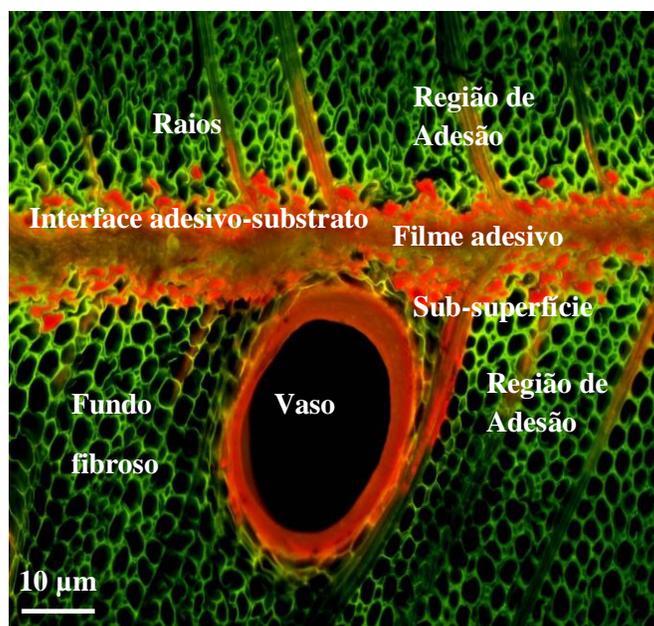


Figura 6 Detalhe da interface de adesão de junta colada com paricá na região do alburno madeira intermediária

A distribuição da cola em ambas as faces da amostra foi homogênea. Porém encontraram-se casos em que o adesivo penetrou apenas em uma das faces coladas (Figura 7). Esta irregularidade pode ser atribuída à pressão da prensa que, facilitada pela posição inferior da amostra, permitiu a maior penetração em uma das superfícies.

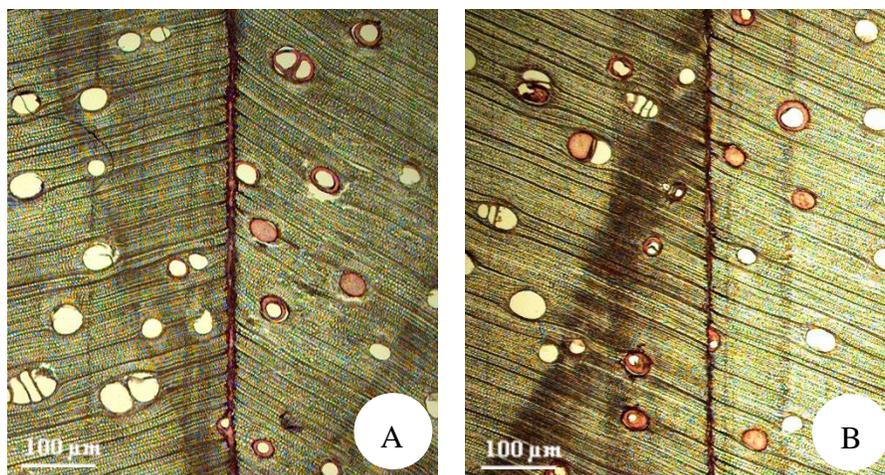


Figura 7 Aspectos gerais da distribuição do adesivo no plano transversal

Nota: A - Maior ocupação dos vasos por adesivo em uma das faces da amostra (alburno madeira intermediária). B - distribuição uniforme predominantemente observada no estudo (cerne madeira intermediária).

As linhas de cola observadas em cada região não apresentaram espessura uniforme ao longo do seu comprimento nos planos transversal e longitudinal. No plano transversal, a espessura da linha de cola foi, às vezes, maior e com maior variação do que no plano longitudinal. Raros “alargamentos dos filmes” foram encontrados; ocorrendo em função de falhas na superfície da madeira e do envolvimento imediato de certos vasos, o que não permitiu um contato mais estreito entre os substratos. Com o auxílio de um microscópio estereoscópio e microscópio de luz, foi possível observar a área de atuação transversal da cola, obstruindo vasos e colorindo raios e fibras contíguas à linha de cola, com pouca ou rara participação do parênquima axial (Figura 8).

Na Figura 9, pode-se observar no plano longitudinal o contato direto da cola com o elemento de vaso contíguo; bem como a penetração do adesivo nas células do raio. Também foi possível observar a interseção das linhas vasculares com a linha de cola, que foi facilitada pelo ângulo de inclinação das linhas

vasculares (Figura 10). Quanto maior o ângulo, maior será a probabilidade de que a linha vascular toque a linha de cola e amplie a área de atuação do adesivo, justificando, em associação com outras variáveis, a maior tensão de ruptura ao cisalhamento próximo à casca.

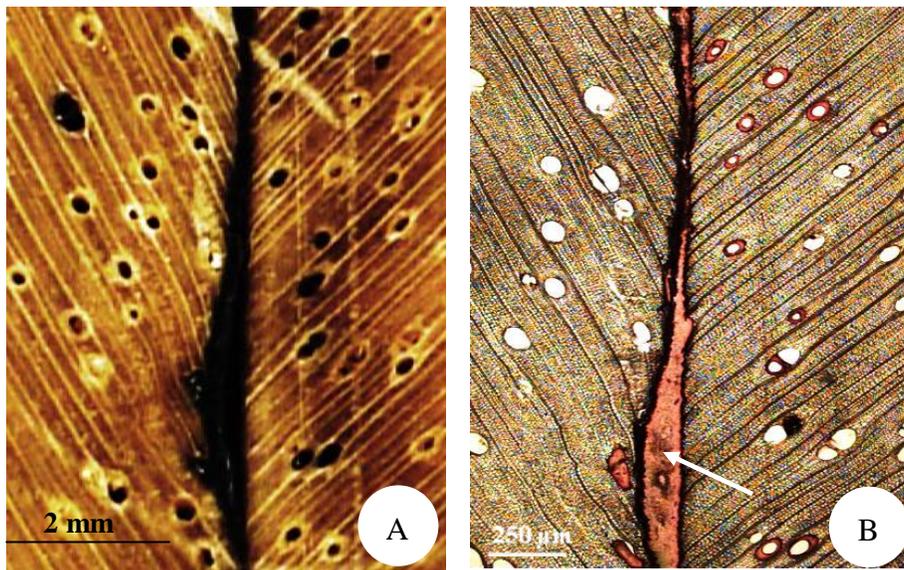


Figura 8 Aspecto da colagem no plano transversal mostrando o alargamento da linha de cola (seta)

Nota: A - Imagem de microscópio estereoscópio; B - Imagem de microscopia de luz.

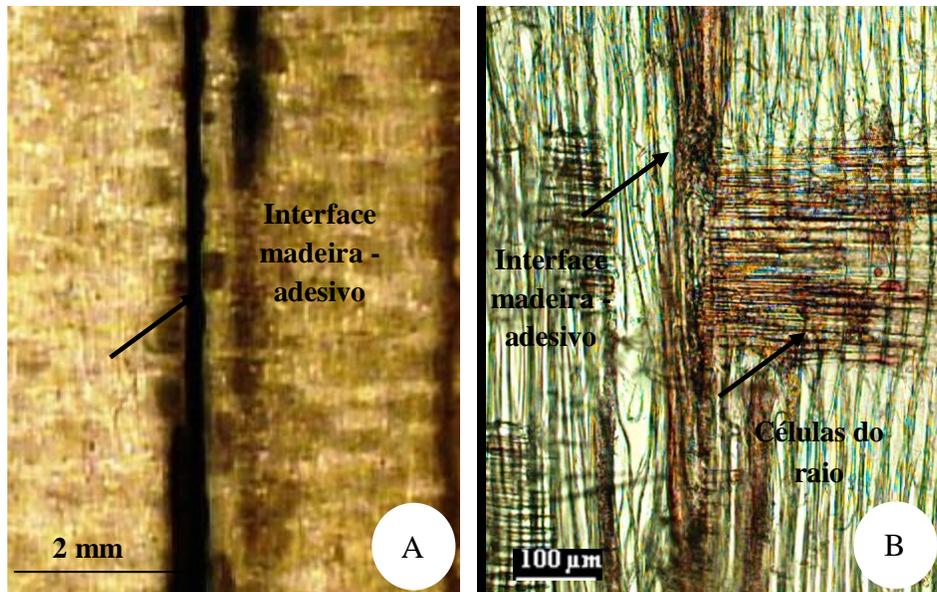


Figura 9 Participação dos raios de paricá (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum*) (Huber ex. Ducke) Barneby na adesão

Nota: A - Imagem de microscópio estereoscópio; B - Imagem de microscopia de luz.

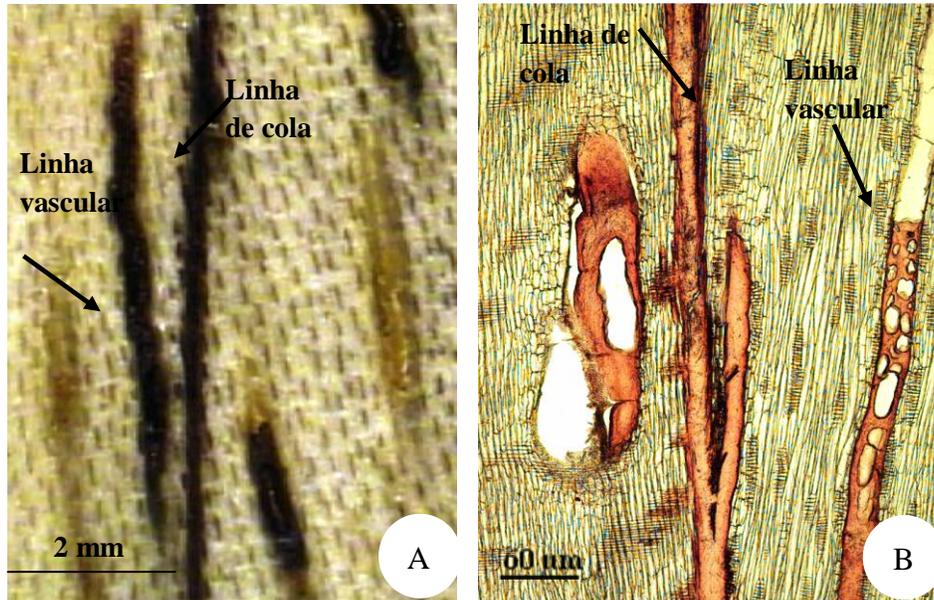


Figura 10 Interseção entre linha de cola e linha vascular

Nota: A - Imagem de microscópio estereoscópio; B - Imagem de microscopia de luz.

Pela mensuração realizada com raio-X, foi possível perceber a variação na espessura do filme. Na região do cerne madeira juvenil, a espessura foi maior em relação às demais regiões, com cerca de 900 μm . Os valores caíram significativamente para a região do alburno próximo à casca (590 μm) (Gráfico 3). Esta variação está relacionada à dimensão de elementos celulares que apresentaram valores maiores próximos à casca: diâmetro dos vasos, largura e altura dos raios e largura que lume das fibras, o que possibilitou a maior penetração do adesivo.

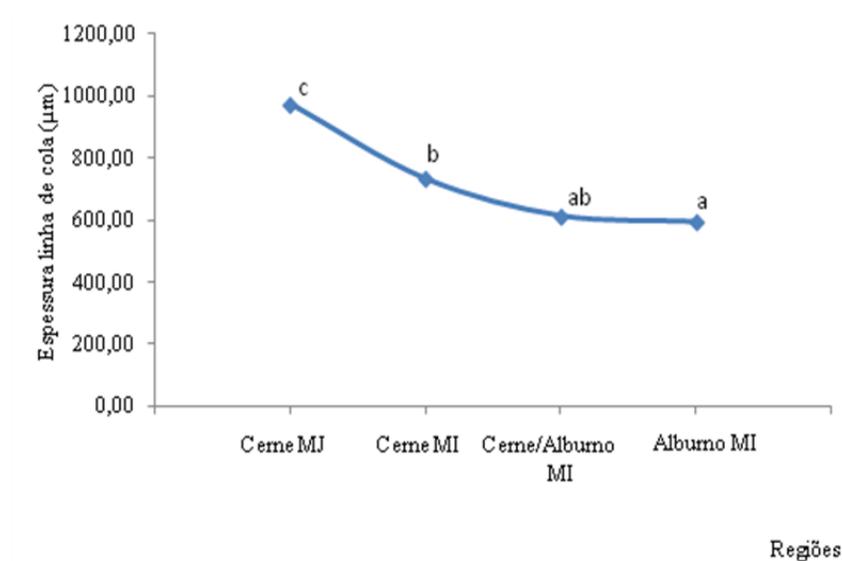


Gráfico 3 Variação na espessura do filme adesivo nas regiões estudadas em *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex. Ducke) Barneby

3.4.2 Elementos de vaso e linhas vasculares

A maioria dos vasos apresentou obstrução incompleta com orifício central vazio, de diâmetro variado, que se estendeu irregularmente ao longo da linha vascular, como pode ser observado na Figura 11. Isto ocorreu em função da polimerização incompleta do adesivo, associado à presença de bolhas de ar formadas durante o processo de prensagem. Também foi comum observar a obstrução completa dos vasos, principalmente daqueles que tocam a linha de cola, recebendo maior quantidade de adesivo.

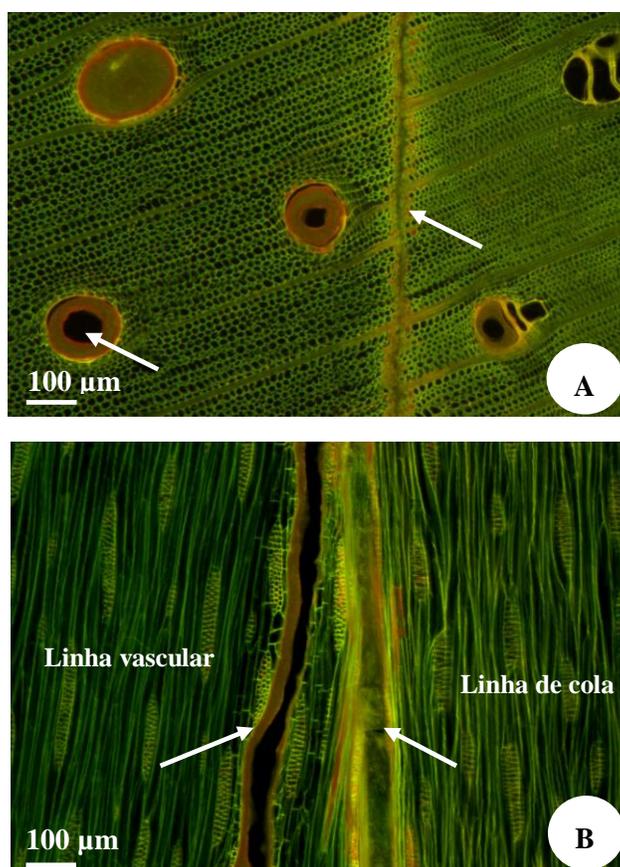


Figura 11 Cortes histológicos de juntas coladas de paricá (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum*) (Huber ex. Ducke) Barneby, submetidas à fluorescência

Nota:A - Plano transversal; B - Plano longitudinal.

As linhas vasculares apresentaram participação efetiva na penetração e na ancoragem do adesivo na madeira. O adesivo penetrou pelos pontos de interseção entre a linha vascular e a linha de cola, que por sua vez, foram influenciados pelo ângulo de inclinação das mesmas. A mudança na direção da linha vascular foi observada pela microtomografia de raio-X (micro CT) em uma distância percorrida de 3 µm. Como é possível observar na Figura 12, o vaso que

em uma extremidade apresenta interseção com a linha de cola, na outra, já se encontra distante da mesma, em função da abertura do ângulo da linha vascular (Figura 12).

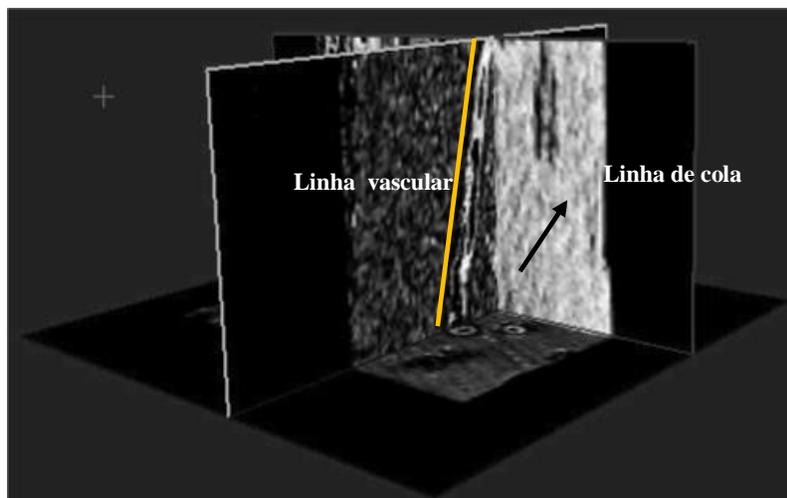


Figura 12 Microtomografia (microCT) de juntas coladas de paricá (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum*) (Huber ex. Ducke) Barneby, com fenol-formaldeído estendido em 22,5% de farinha de trigo

Nota: Linha amarela - inclinação da linha vascular ao longo de 3 μ m. Seta - Linha de cola na região do cerne/alburno madeira intermediária.

Como mencionado, o ângulo de inclinação das linhas vasculares foi um fator importante na colagem, aumentando as probabilidades de interseção entre linha de cola e linha vascular e, conseqüentemente, aumentando a área de ancoragem mecânica do adesivo. Além de o ângulo de inclinação das linhas vasculares ter apresentado um aumento significativo no sentido medula - casca, este apresentou uma correlação positiva com a tensão de ruptura ao

cisalhamento seco, e significativa no ensaio úmido, indicando que houve forte influência na resistência da linha de cola.

A área de atuação transversal observada por meio do microscópio estereoscópio mostrou uma variação irregular de 2 a 4 mm que pode estar relacionada ao diâmetro dos elementos celulares do paricá, geralmente maiores próximo à casca e ao fato de que, na região do cerne madeira juvenil há maior participação dos vasos na adesão do que dos raios bisseriados. Já na região do alburno madeira intermediária, ocorreu uma participação mais equilibrada entre raios multisseriados e vasos na adesão, sob as mesmas condições.

Como se pode observar na Figura 13A, o adesivo marcou com clareza as regiões das placas de perfuração. O adesivo fluiu com facilidade entre os elementos de vaso pelo fato de a placa ser do tipo simples. Observou-se, pela análise de vasos geminados, a pouca participação das pontuações intervasculares na adesão, em função da pequena abertura das mesmas ($3,9 \mu\text{m}$) e da presença de guarnições. Aparentemente, estas pontuações apresentaram contato com o adesivo, porém sem muito efeito de passagem pelas mesmas (Figura 13B).

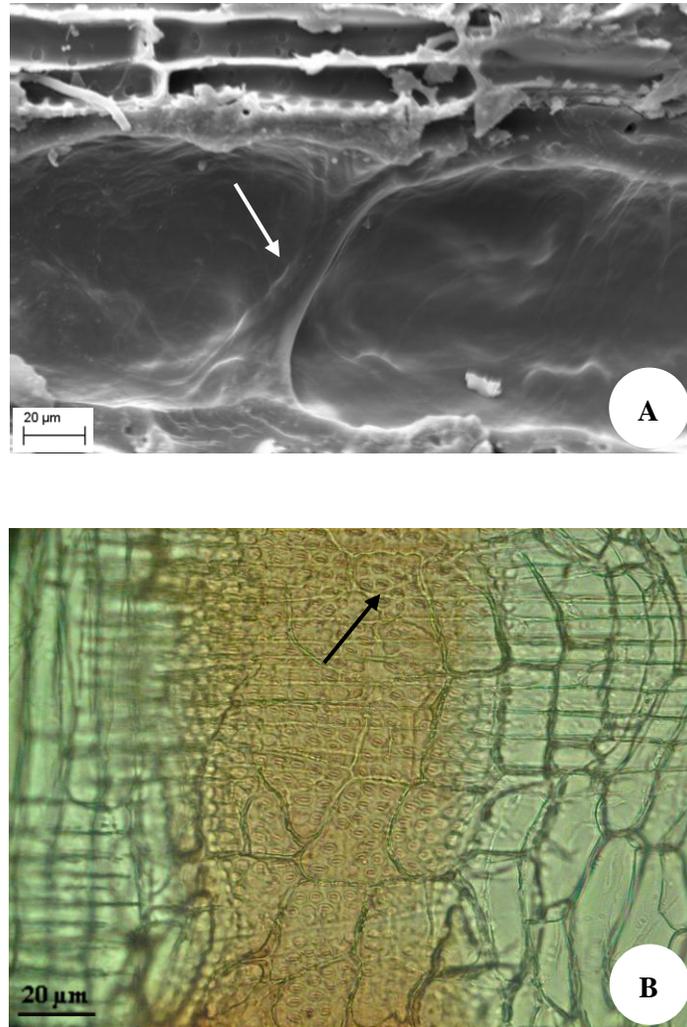


Figura 13 Aspecto do adesivo nos elementos de vaso em juntas coladas de paricá (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum*)

Nota: A - Placa de perfuração marcada pelo adesivo (seta). B - Pontoações intervasculares umedecidas pelo adesivo (seta).

3.4.3 Raios

O raio apresentou importante participação na difusão do adesivo pelas amostras de paricá nas diferentes regiões amostradas, principalmente àqueles contíguos à linha de cola (Figura 14). Na região do cerne madeira juvenil a largura e altura dos raios em número de células e em milímetros diferem estatisticamente das regiões mais próximas à casca (cerne/alburno madeira intermediária e alburno madeira intermediária). Os raios passam de bisseriados na região do cerne madeira juvenil para multisseriados com até seis células de largura na região do alburno madeira intermediária. Este aumento foi responsável pela maior penetração do adesivo nos raios observada na região do alburno madeira intermediária. A passagem do adesivo de uma célula a outra do raio foi facilitada pelas pontoações simples observadas entre as mesmas (Figuras 15 e 16).

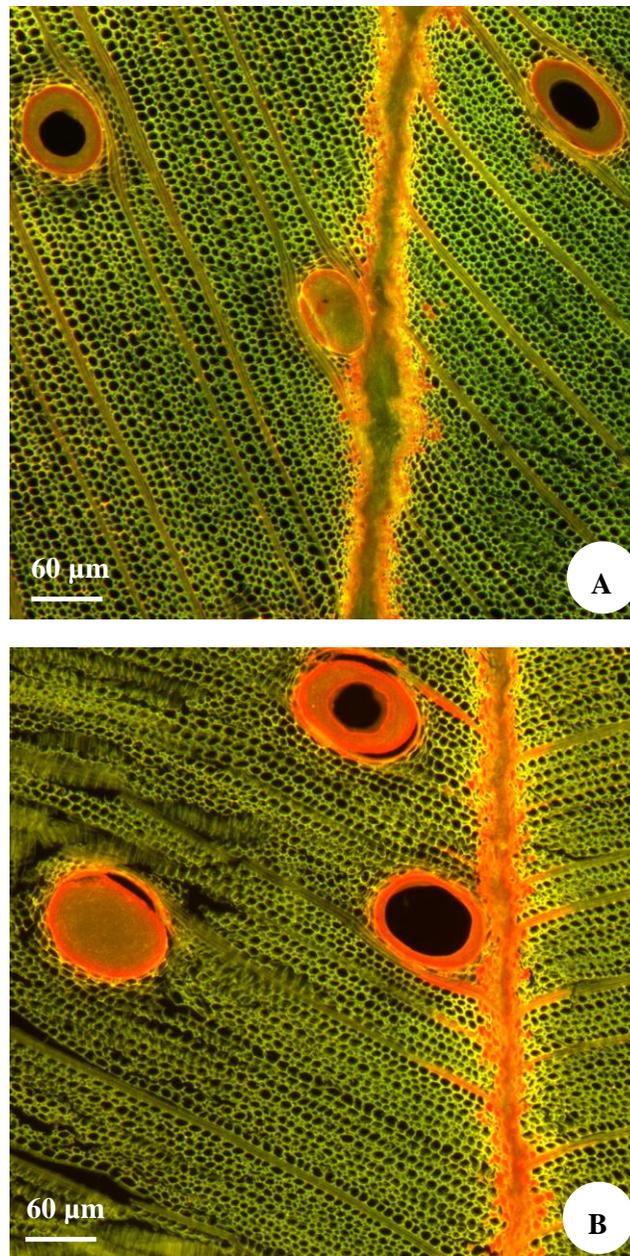


Figura 14 Participação dos raios (seta) na adesão de juntas coladas de paricá -
Schizolobium parahyba var. *amazonicum*

Nota: A - Cerne madeira juvenil; B - Alburno madeira intermediária.

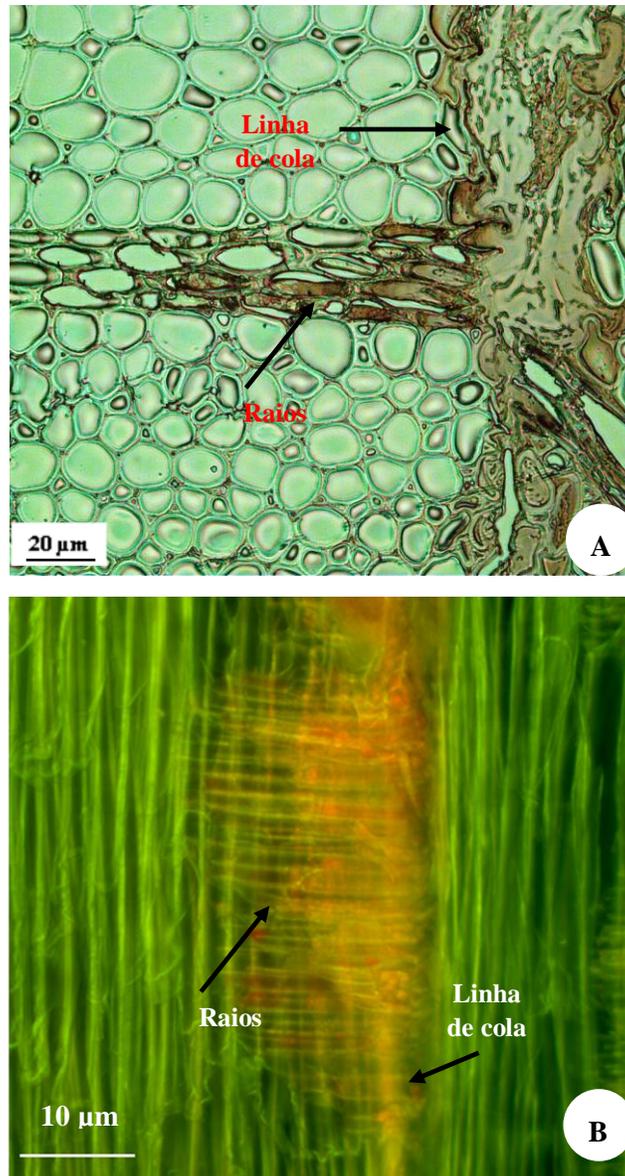


Figura 15 Participação dos raios na adesão de juntas coladas de paricá - *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum*

Nota: A e B - Detalhes da penetração do adesivo nas células do raio. A - Corte histológico transversal e natural sob microscopia de luz; B - Microscopia de fluorescência, secção longitudinal.

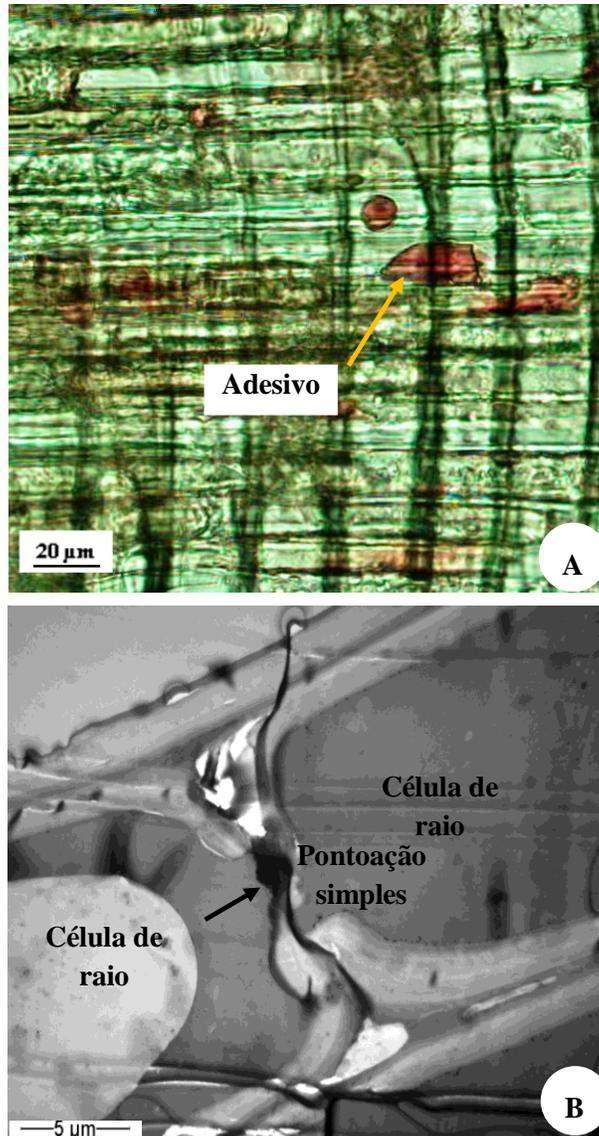


Figura 16 Participação dos raios na adesão de juntas coladas de paricá - *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* mostrando a passagem do adesivo de uma célula a outra facilitada pelas pontoações simples (seta)

Nota: A - Corte histológico natural sob microscopia de luz; B - Imagem de microscopia de transmissão.

3.4.4 Parênquima axial

A participação do parênquima axial na penetração do adesivo foi restrita a poucas células contíguas ao vaso. Sendo que a passagem do adesivo dos vasos para o parênquima axial foi realizada pelas pontoações semi-areoladas da interseção entre as pontoações simples do parênquima axial com as areoladas do elemento de vaso, sua rota mais fácil (Figura 17).

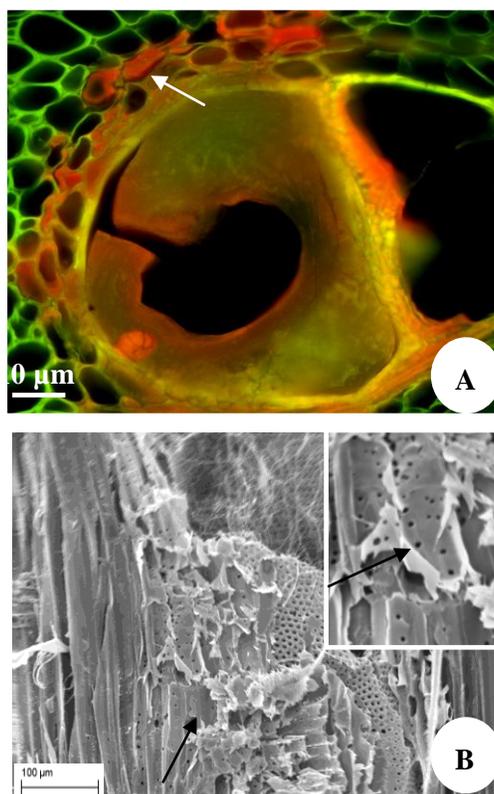


Figura 17 Participação do parênquima axial na adesão de juntas coladas de paricá - *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum*

Nota: A - Obstrução de adesivo nas células do parênquima axial (seta) contíguas ao vaso; B - Imagem de microscopia de varredura mostrando as pontoações simples do parênquima axial (seta) e areoladas da parede do elemento de vaso.

3.4.5 Fibras

Na variável fibra, foi possível observar que o adesivo penetrou no espaço vazio do lume especialmente na região de contato entre o adesivo e a madeira (Figura 18) e, nos espaços intercelulares (Figura 19A). Isto ocorreu porque partes da fibra tiveram suas laterais cortadas expondo o lume à cola e, à consequente penetração. Nas fibras foi possível observar a atração física da interação entre a parede celular e o adesivo, bem como o umedecimento da parede pelo adesivo (Figuras 19B e 20).

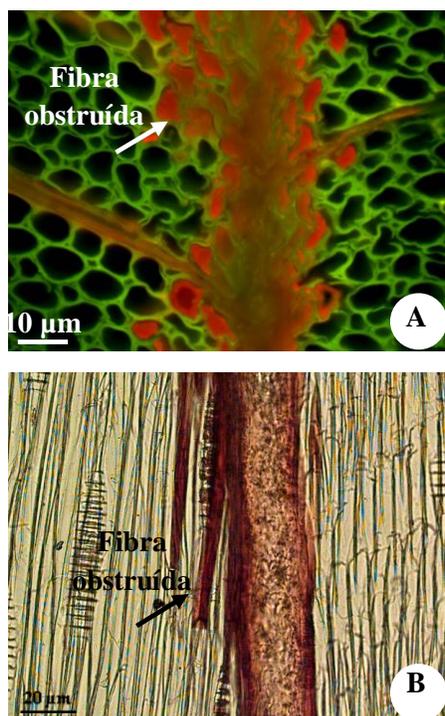


Figura 18 Participação das fibras na adesão de juntas coladas de paricá - *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum*

Nota: A - Corte transversal sob microscopia de fluorescência, obstrução de adesivo nas células de fibras contíguas à linha de cola; B - Corte longitudinal sob microscopia de luz.

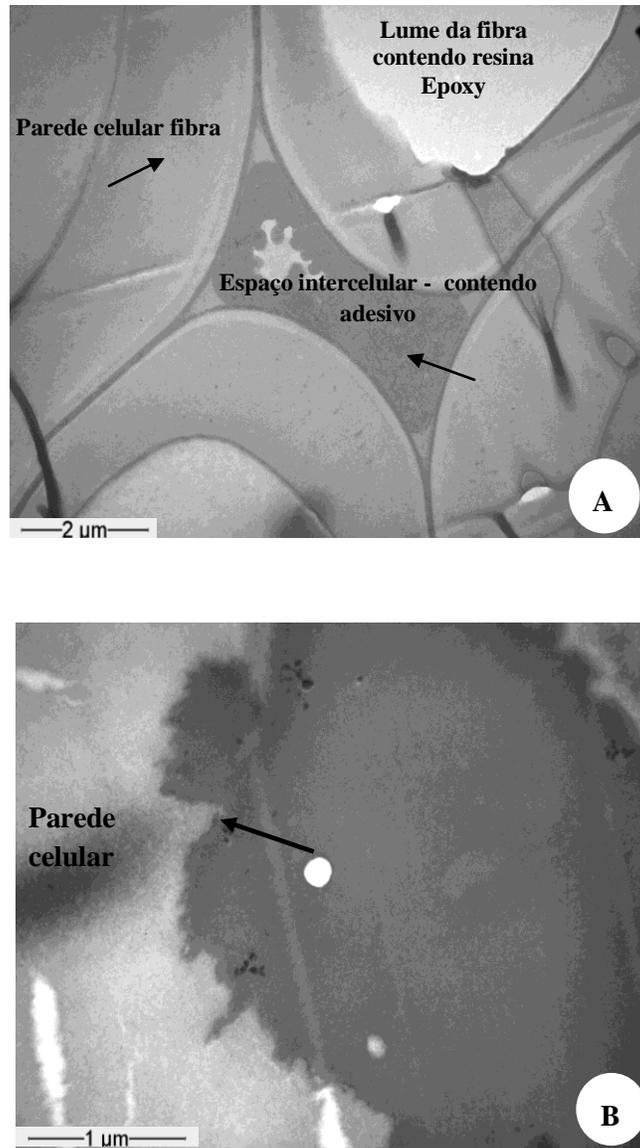


Figura 19 Participação das fibras na adesão de juntas coladas de paricá -

Schizolobium parahyba var. *amazonicum*

Nota: A e B - Corte transversal sob microscopia de transmissão. A - Obstrução de espaços intercelulares por adesivo; B - Interação física entre o adesivo e a parede interna da fibra (seta).

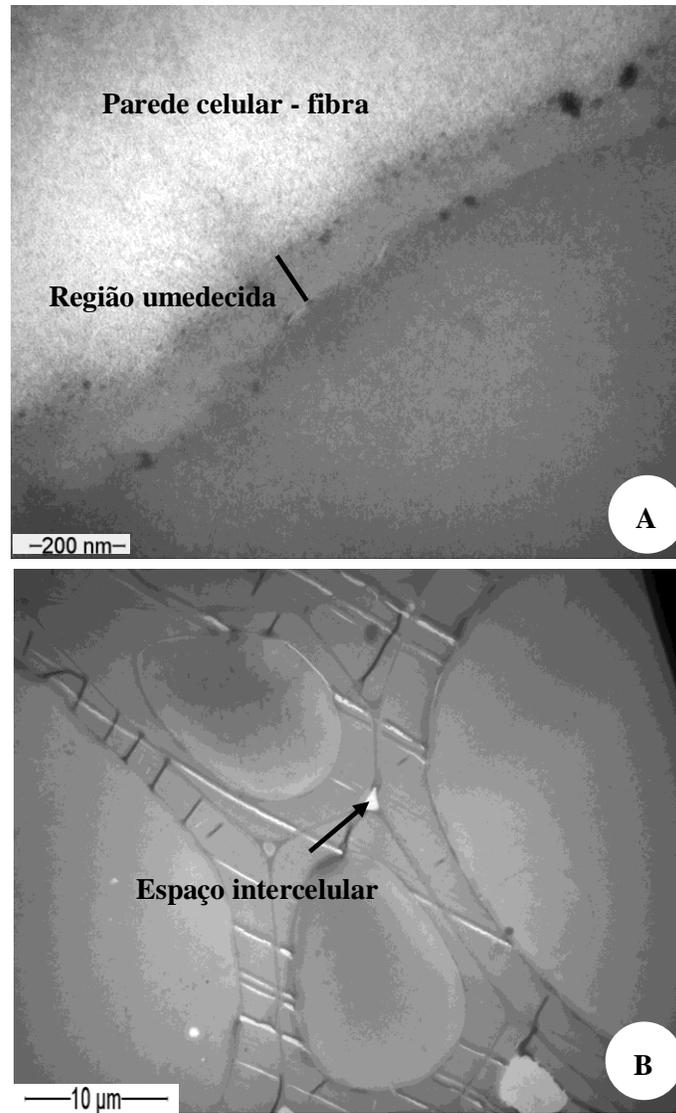


Figura 20 Participação das fibras na adesão de juntas coladas de paricá - *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum*

Nota: A e B - Corte transversal sob microscopia de transmissão. A - Detalhe da interação física entre o adesivo e a parede interna da fibra umedecida; B - Testemunha sem adesivo fenol-formaldeído estendido.

Nos últimos anos, a microscopia tem sido um recurso fundamental para avaliações em nível celular da matéria, sendo utilizada em diversas áreas na academia, bem como pela indústria. Associada à demanda crescente existe uma grande variedade de instrumentos de alta resolução capazes de fornecer informações quantitativas e qualitativas da matéria que podem ir desde a análise com estereomicroscópio às microscopias refinadas como a força atômica e o tunelamento (HOLLER; SKOOG; CROUCH, 2009).

A análise microscópica de alta resolução utilizada no intuito de avaliar a qualidade de materiais colados com madeira visa entender à interação adesivo - substrato e seu desempenho em serviço e, já é utilizada com certa frequência, especialmente em centros com disponibilidade de equipamentos ou laboratórios específicos de microscopia.

No presente trabalho, a avaliação microscópica permitiu visualizar e entender a participação dos elementos celulares (fibras, vasos, parênquimas axial e radial) na adesão de juntas de paricá (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum*) coladas com fenol-formaldeído estendido em farinha de trigo.

Como mencionado, as linhas vasculares e os elementos de vaso apresentaram forte influência na adesão, especialmente na ancoragem do adesivo na madeira. O diâmetro do vaso e o ângulo de inclinação das linhas vasculares apresentaram importante correlação com a tensão de ruptura ao ensaio de cisalhamento. Assim, quanto maior o diâmetro do vaso e o ângulo de inclinação das linhas vasculares, a probabilidade de fluxo e aumento da área de atuação do adesivo foi aumentada.

Smith, Dai e Ramani (2002) observaram em madeiras coladas de *Quercus* sp., que nos elementos de vaso, o adesivo encontrou facilidade de penetração, mesmo que obstruídos por tilos, tanto pelas placas de perfuração quanto pela pontuações intervasculares.

Mesmo estando fortemente relacionada à resistência da linha de cola ao cisalhamento, visualmente, a frequência de vasos por mm^2 não apresentou uma importância significativa, uma vez que se percebeu que os vasos são obstruídos por adesivo, independente da frequência. Lima et al. (2007) avaliando a relação da qualidade de juntas coladas com clones de *Eucalyptus* com variáveis anatômicas e químicas, e observaram em relação a anatomia que o diâmetro de vasos teve correlação positiva com a qualidade das juntas, porém os autores não fazem referência quanto à avaliação anatômica a respeito da frequência.

Modzel, Kamke e De Carlo (2011) usaram juntas coladas de madeiras de *Quercus rubra*, *Pseudotsuga menziesii* e híbridos de *Populus deltoides* x *Populus trichocarpa*, para avaliar a linha de cola sob diferentes análises microscópicas. Os autores observaram que a penetração é dominada pelos vasos, que aparecem total ou parcialmente obstruídos a uma distância aproximada de 250 a 300 μm da linha de cola. Os autores não conseguiram determinar se os espaços vazios foram resultado da formação de bolhas de ar durante o processo de prensagem ou, se seria uma fina película de adesivo recobrimo a superfície do lume do vaso.

Albino, Mori e Mendes (2012) encontraram correlação positiva entre diâmetro do vaso, espessura da parede, largura e comprimento das fibras e largura dos raios em número de células com a tensão de ruptura ao ensaio de cisalhamento na linha de cola. Os autores atribuíram à dimensão do diâmetro dos vasos a maior penetração do adesivo, tendo conseqüentemente uma ligação mais forte entre o adesivo e o substrato, refletindo na resistência ao esforço de cisalhamento.

As placas de perfuração simples contribuíram facilitando a passagem do adesivo de um elemento de vaso a outro, porém as pontuações intervaseculares areoladas apresentaram pequena participação na difusão do mesmo. Segundo Gillespie et al. (1978), citados por Marcati e Della Lúcia (2004), as pontuações

areoladas limitam a penetração do adesivo na madeira, assim como elementos de vaso com placa de perfuração escalariforme quando comparado aos elementos de vaso com placa de perfuração simples. Gindl (2001) mostrou, por meio de imagens, evidências de que o adesivo fenol-formaldeído não fluiu pelas pontoações areoladas de *Pinus* sp.

Os raios também foram importantes na penetração do adesivo pela madeira. Raios bisseriados frequentemente encontrados nas regiões mais próximas à medula, como no cerne madeira juvenil, apresentaram maior restrição à passagem do adesivo quando comparados aos raios multisseriados encontrados próximos à casca (alburno madeira intermediária)

Associado a isso, as pontoações simples entre as células dos mesmos foram importantes na passagem do adesivo de uma célula a outra, aumentando a extensão radial de atuação do adesivo por essa via. Smith, Dai e Ramani (2002) também observaram a penetração do adesivo nos raios multisseriados de *Quercus* sp., formando tentáculos que refletem com exatidão o diâmetro das células que o compõem, porém sem conseguir mensurar o comprimento de atuação do adesivo no sentido radial destas células.

Singh e Dawson (2004), avaliando a interação adesivo - madeira em painéis compensados produzidos com *Pinus radiata*, conseguiram com o auxílio da microscopia confocal de escaneamento a laser (Confocal Laser Scanning Microscopy - CLSM) não só observar a penetração nos raios e traqueídeos, bem como identificar a umectação da parede celular pelo adesivo, também observado no paricá, porém com o auxílio da microscopia de transmissão. Segundo os autores, a aderência do revestimento à madeira é influenciada por vários fatores, incluindo ancoragem mecânica do revestimento pelas células da madeira. A este respeito, a profundidade de penetração do revestimento, a distribuição nos tecidos de revestimento e a interação física entre o revestimento e a camada mais interna das células são todos importantes. Singh et al. (2008) fizeram as mesmas

observações para penetração da cola nas células dos raios e traqueídeos adjacentes à linha de cola.

Como anteriormente mencionado, o parênquima axial do paricá apresentou pouca participação no espalhamento do adesivo pela madeira. Contudo, quando se leva em consideração a porosidade da madeira de paricá e a facilidade de formação de linha de cola faminta, essa característica é importante na adesão. Follrich et al. (2010) mencionam que a resistência de juntas coladas de espécimes de densidades variadas de pau de balsa (*Ochroma lagopus* Sw), incluindo algumas com densidade muito baixa, foi afetada de forma positiva pela dificuldade de passagem do adesivo pelas células de parênquima, uma vez que inibiu a formação da linha de cola faminta.

As fibras tiveram uma participação pequena na penetração do adesivo, ficando restritas à sub superfícies adesivas, porém foram os elementos celulares de maior importância na adesão, pois foi apenas nelas que o adesivo apresentou reação física com a parede celular. Smith, Dai e Ramani (2002) observaram que o adesivo fluiu através de paredes danificadas das fibras invadindo as cavidades celulares. Tal fato também ocorreu com as fibras de paricá, porém estas não permitiram a passagem do adesivo pelas pontuações, em função do adesivo ser muito viscoso e as pontuações extremamente pequenas. Segundo os autores a penetração e adesão mecânica do adesivo na superfície da madeira são dependentes de um conjunto de fatores relacionados à adesão, tais como a porosidade da superfície da madeira, a viscosidade do adesivo, a pressão aplicada e a duração do processamento.

4 CONCLUSÕES

Nas regiões analisadas a tensão de ruptura ao ensaio de cisalhamento, apresenta um aumento significativo do cerne madeira juvenil em direção ao alburno madeira intermediária.

O filme de adesivo apresenta maior espessura na região do cerne madeira juvenil quando comparado ao alburno madeira intermediária, próximo à casca, porém com variação qualitativa.

A tensão de ruptura ao ensaio de cisalhamento apresenta valores condizentes para espécies de baixa densidade e atendem aos requisitos estabelecidos pelas normas do setor de painéis de madeira, onde o paricá (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum*) é mais utilizado.

A fluidez, transferência e penetração do adesivo são satisfatórias. Por outro lado, o umedecimento é comprometido pela viscosidade do adesivo.

Elementos de vaso, raios e parênquima axial são as células envolvidas principalmente na ancoragem mecânica do adesivo, sendo que destes as células de raio foram responsáveis pelo espalhamento radial do adesivo e os elementos de vaso pelo espalhamento axial. Já as interações físicas entre adesivo e xilema secundário são bem observadas apenas na parede interna das fibras.

REFERÊNCIAS

ALBINO, V. C. S.; MORI, F. A.; MENDES, L. M. Estudo da interface madeira-adesivo de juntas coladas com resorcinol-formaldeído e madeira de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 38, n. 87, p. 509-516, 2010.

ALBINO, V. C. S.; MORI, F. A.; MENDES, L. M. Influência das características anatômicas e do teor de extrativos totais na madeira de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden na qualidade da colagem. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 22, n. 4, p. 807-815, 2012.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Annual book of ASTM standards**: adhesives: D2339-98. Philadelphia, 2000. 600 p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Annual book of ASTM standards**: adhesives: D3110. Philadelphia, 1994a. 600 p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Annual book of ASTM standards**: adhesives: D1582-60. Philadelphia, 1994b.

BIANCHE, J. J. **Propriedades de aglomerado fabricado com partículas de eucalipto (*Eucalyptus urophylla*), paricá (*Schizolobium amazonicum*) e vassoura (*Sida spp.*)**. 2009. 77 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2009.

COLLI, A. **Caracterização da madeira de paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex. Ducke) e propriedades de chapas de partículas aglomeradas com diferentes proporções de fibras de coco (*Cocos nucifera* L.)** 2007. 50 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2007.

FOLLRICH, J. et al. Adhesive bond strength of end grain joints in balsa wood with different density. **Wood Research**, Bratislava, v. 55, n. 1, p. 21-32, 2010.

GINDL, W. SEM and UV: microscopic investigation of glue lines in parallam PSL. **Holz Roh Werkst**, Switzerland, v. 59, p. 211-214, 2001.

HOLLER, F. J.; SKOOG, D. A.; CROUCH, S. R. **Princípios de análise instrumental**. Porto Alegre: Bookman, 2009. 1056 p.

INTERNATIONAL BUSINESS MACHINES. **IBM SPSS statistics for Windows**: versão 20.0. Armonk, 2012.

IWAKIRI, S. et al. Avaliação da qualidade de painéis compensados produzidos com lâminas de madeira de *Schizolobium amazonicum*. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 41, n. 3, p. 451-458, 2011.

IWAKIRI, S. et al. Avaliação do potencial de utilização da madeira de *Schizolobium amazonicum* “Paricá” e *Cecropia hololeuca* “Embaúba” para produção de painéis aglomerados. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 40, n. 2, p. 303-308, 2010a.

IWAKIRI, S. et al. Avaliação do potencial de utilização da madeira de *Schizolobium amazonicum* “paricá” e *Cecropia hololeuca* “embaúba” para produção de painéis cimento-madeira. **Revista Cerne**, Lavras, v. 18, n. 2, p. 303-308, 2012.

IWAKIRI, S. et al. Produção de painéis compensados de pinus tropicais colados com resina fenol-formaldeído. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 39, n. 3, p. 669-673, 2009.

IWAKIRI, S. et al. Produção de painéis laminados unidirecionais - LVL com lâminas de *Schizolobium amazonicum*, *Eucalyptus saligna* e *Pinus taeda*. **Revista Cerne**, Lavras, v. 16, n. 4, p. 557-563, 2010b.

LIMA, C. K. P. et al. Características anatômicas e química da madeira de clones de *Eucalyptus* e sua influência na colagem. **Revista Cerne**, Lavras, v. 13, n. 2, p. 123-129, 2007.

LOBÃO, M. S. **Dendrocronologia, fenologia, atividade cambial e qualidade no lenho de árvores de *Cedrela odorata* L.; *Cedrela fissilis* Vell. E *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* Hub. ex Ducke, no Estado do Acre, Brasil.** 2011. 215 p. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2011.

LOBÃO, M. S. et al. Qualidade do lenho de árvores de *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum*, Acre, Brasil. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 19, n. 3, p. 374-384, 2012.

KONNERTH, J. et al. **Adhesive penetration of wood cell walls investigated by scanning thermal microscopy (SThM).** **Holzforschung**, Berlin, v. 62, p. 91-98, 2008.

MARCATI, C. R.; DELLA LUCIA, R. M. Comportamento do angico-vermelho (*Piptadenia peregrina* Benth.) à adesão com pva (acetato de polivinila) e resorcinol formaldeído. **Revista Cerne**, Lavras, v. 2, n. 1, p. 1-7, 2004.

MARRA, A. A. **Technology of wood bonding: principals and practice.** New York: Van N. Reinhold, 1992. 454 p.

MODZEL, G.; KAMKE, F. A.; DE CARLO, F. Comparative analysis of a wood: adhesive bondline. **Wood Science Technology**, Switzerland, v. 45, p. 147-158, 2011.

PIZZI, A. **Advanced wood adhesives technology**. New York: M. Dekker, 1994. 285 p.

SANTOS, C. M. T.; MENEZZI, C. H. S. D. Efeito da gramatura sobre a resistência ao cisalhamento da linha de cola de duas madeiras tropicais: seru (*Allantoma lineata*), marupá (*Simarouba amara*). **Revista Floresta**, Curitiba, v. 40, n. 2, p. 345-354, 2010.

SINGH, A. et al. Light, confocal and scanning electron microscopy of wood-adhesive interface. **Microscopy and analysis**, Surrey, v. 22, n. 3, p. 5-8, 2008.

SINGH, A. P.; DAWSON, B. S. W. Confocal microscope: a valuable tool for examining wood-coating interface. **Journal Coatings Technology Research**, Heidelberg, v. 1, n. 3, p. 235-237, 2004.

SMITH, M. J.; DAI, H.; RAMANI, K. Wood: thermoplastic adhesive interface: method of characterization and results. **International Journal of Adhesion & Adhesives**, Guildford, v. 22, p. 197-204, 2002.

STELLA, J. C. **Influências das variáveis de ciclo de prensagem e gramatura de cola nas propriedades mecânicas de compensado de paricá (*Schizolobium amazonicum*)**. 2009. 92 p. Monografia (Graduação em Engenharia Industrial Madeireira) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

TEREZO, R. F. **Avaliação tecnológica do paricá e seu uso em estruturas de madeira laminada colada**. 2010. 201 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

TEREZO, R. F.; SZÚCS, C. A. Análise de desempenho de vigas em madeira laminada colada de paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex. Ducke). **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 38, n. 87, p. 471-480, 2010.

TSOUMIS, G. **Science and technology of wood**: structure, properties, utilization. Nova York: Chapman & Hall, 1991. 494 p.