



**LUIZ EDUARDO DE LIMA MELO**

**CARACTERIZAÇÃO DO CÂMBIO E DO  
LENHO DE ÁRVORES DE *Schizolobium parahyba*  
var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby DE  
PLANTAÇÃO EM CLAREIRA DA AMAZÔNIA**

**LAVRAS - MG**

**2017**

**LUIZ EDUARDO DE LIMA MELO**

**CARACTERIZAÇÃO DO CÂMBIO E DO LENHO DE ÁRVORES DE  
*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby DE  
PLANTAÇÃO EM CLAREIRA DA AMAZÔNIA**

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 A madeira como matéria-prima, para a obtenção do título de Doutor.

Prof. Dr. Fábio Akira Mori

Orientador

Profa. Dra. Ana Carolina Maioli Campos Barbosa

Coorientadora

**LAVRAS - MG**

**2017**

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca  
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Melo, Luiz Eduardo de Lima.

Caracterização do câmbio e do lenho de árvores de *Schizolobium  
parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby de plantação  
em clareira da amazônia / Luiz Eduardo de Lima Melo. – 2016.  
111 p. : il.

Orientador: Fábio Akira Mori.

Coorientadora: Ana Carolina Maioli Campos Barbosa

Tese(doutorado)–Universidade Federal de Lavras, 2016.  
Bibliografia.

1. Paricá. 2. Meristema lateral. 3. Xilema secundário. 4.  
Anatomia. I. Mori, Fábio Akira. II. Barbosa, Ana Carolina Maioli  
Campos. III. Título.

**LUIZ EDUARDO DE LIMA MELO**

**CARACTERIZAÇÃO DO CÂMBIO E DO LENHO DE ÁRVORES DE  
*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby DE  
PLANTAÇÃO EM CLAREIRA DA AMAZÔNIA**

***CAMBIUM AND WOOD CHARACTERIZATION OF Schizolobium  
parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby *TREES FROM THE  
AMAZON***

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 A madeira como matéria-prima, para a obtenção do título de Doutor.

APROVADA em 03 de fevereiro de 2017.

Prof. Dr. Mario Tomazello Filho	ESALQ/USP
Prof. Dr. Evaristo Mauro de Castro	UFLA
Prof. Dr. Paulo Ricardo Gherardi Hein	UFLA
Dra. Alessandra Oliveira Ribeiro	UFLA

Prof. Dr. Fábio Akira Mori  
Orientador

**LAVRAS - MG**

**2017**

## AGRADECIMENTOS

Sim, acredito que há algo maior, acredito que há uma força que parece estar acima de nós. Sim tenho fé, muita fé, e por isso agradeço a Deus, que para mim é desligado de qualquer religião de qualquer crença e que me levou até esse dia.

A meus pais, Sr. Luiz Elias e Sra. Letícia Pereira, que pais! Feirantes autônomos, trabalhadores incansáveis, pessoas humildes, mas de caráter. Acho que nem sempre tinham certeza se o lucro do dia na feira daria para pagar as contas, mas tinham certeza que para nossos estudos jamais poderia faltar! Tinham uma dedicação pela educação dos filhos sem igual, rigor e amor incondicional sempre eram claros na forma que tinham de nos criar. Fizeram tudo e mais um pouco para colocar sempre minha educação e do meu irmão em primeiro lugar. Diziam que minha única obrigação era estudar e que depois do caráter, educação e instrução são primordiais. Ainda lembro-me de minha mãe dizendo: “meu filho destine todos os seus esforços para aprender cada vez mais, pois é com o estudo que você conseguirá mudar sua realidade”. Depois de quase seis anos de pós-graduação e distante 2.784 km de minha terra natal só para estudar, hoje posso dizer a ela “que mudei minha realidade mãe, e muito obrigado por ser minha mãe e por abdicar de tantas coisas para me educar”. A vocês dois dedico esse trabalho, dedico essa conquista.

A minha esposa, Cilene Souza Melo, meu Deus, o que seria de mim sem sua ajuda! O dia que lhe conheci foi sem dúvida o de maior certeza de minha vida, olhei e tive a certeza de que era você a pessoa que iria construir comigo uma vida maravilhosa! Esteve ao meu lado durante quase todo meu tempo de pós-graduação, e é mais um dos grandes presentes que esta cidade me deu. Nestes quatro anos de doutorado me acompanhou nas coletas em campo, no laboratório, me levando e me trazendo dos locais mais inóspitos, me ouvindo

falar de câmbio, câmbio, câmbio... Nossa, creio que já sabe o que foi feito aqui muito bem. Deu-me tanto apoio, principalmente porque só a você deixo claro as minhas fraquezas, só você me conhece às vezes melhor do que eu mesmo, a você minha “preta” dedico este esforço, pois essa conquista material é minha, mas a vitória na vida é nossa.

A todos os meus outros familiares, principalmente meus irmãos que sempre estiveram ao meu lado, dando todo o apoio ao caçula da família. Em especial queria agradecer a meu irmão Luiz Gustavo, também doutor, diga-se de passagem, agradeço meu irmão porque por vezes sempre trabalhou na feira com nossos pais em meu lugar, para que eu tivesse como única obrigação estudar, e me cobrava isso, com sua rispidez característica! A você, meu irmão, dedico também essa vitória e deixo escrito aqui para a posteridade, que amo você, cara!

Ao meu sogro Sr. Luiz Carlos e minha sogra Sra. Marlene Souza, agradeço a vocês dois por me acolherem como membro da família, agradeço por se preocuparem tanto comigo, agradeço por vezes fazerem o papel de meus pais aqui em Lavras, vocês são duas pessoas realmente especiais. Ah, Dona Marlene, obrigado pelas conversas na cozinha durante uma receita e outra que me ensinava, a Sra. não sabe como tudo isso me dava forças às vezes.

Ao meu orientador Professor Dr. Fábio Akira, agora meu amigo e companheiro de pesquisa, obrigado por me deixar livre para pensar, obrigado por me deixar aprender a me virar na pesquisa. Aprendi muito com o Sr. nessa jornada, seu apoio e compreensão, mas principalmente sua credibilidade em meu trabalho, foram indispensáveis para eu chegar até aqui. Que nossa parceria tenha frutos e seja duradoura. Agradeço também a minha coorientadora Professora Dra. Ana Carolina, as conversas com você me ajudaram muito, sempre; sua disponibilidade em me ajudar com um equipamento ou outro, mas principalmente as conversas com você sempre me passavam a confiança de que

eu iria conseguir terminar, de que ia dar certo, e de que eu era capaz, por tudo isso lhe agradeço também.

Aos amigos, tantos, que passaram pela minha vida, aos novos, como meu “migo louco” Cesar Murilo, valeu pelas conversas científicas sempre tão enriquecedoras, valeu por toda ajuda que me deu desde quando o conheci. Cara, muito obrigado mesmo, és um amigo e companheiro de trabalho que considero e que levarei para toda vida. Aos amigos Adones Sales, Fernando Andrade, Javan Motta, Igor Dias, Caio Castro, Suzy Estevam, Leticia Catherine e Joaquinésio Resende, grandes amigos, mesmo que não envolvidos diretamente com minha realidade na pós-graduação, acreditem, a amizade de vocês me ajudou muito nessa jornada! Por falar em “saga”, não tenho como não agradecer à Dra. Thais Vasconcellos, minha amiga e quase coorientadora. Menina, você talvez nem desconfie, mas me ajudou tanto e foi tão prestativa que por vezes saber que podia contar com sua ajuda era para mim a luz no fim do túnel! Poxa, muito obrigado mesmo, sem sombra de dúvidas, sem sua ajuda talvez não tivesse concluído este trabalho.

À UERJ, na pessoa da Professora Dra. Cátia Callado e de todos os amigos que fiz no Laboratório de Anatomia Vegetal da mesma instituição, muito, muito obrigado pelo apoio e aprendizado no tempo que estive ai, vocês são parte deste trabalho também.

Por fim e de forma geral, gostaria de agradecer à instituição que trabalho, Universidade do Estado do Pará, por ter flexibilizado tantas e tantas vezes minhas vindas à UFLA e à UERJ para que conseguisse concluir minha tese, também agradeço a todos os meus orientados de iniciação científica que sempre estiveram ao meu lado, sempre me deram forças, desejavam para que tudo desse certo e foram compreensivos com a necessidade que tinha de, por vezes, estar distante.

**Muito Obrigado!**

Treine, enquanto eles dormem. Estude, enquanto eles se divertem.  
Persista, enquanto eles descansam, e então, viva o que eles sonham.

*Provérbio Japonês*

*Constante de Murphy:*

A matéria será danificada na proporção direta do seu valor.

*Interpretação que faço para minha vida:*

Seu sucesso ou vitória será diretamente proporcional ao seu esforço.

## RESUMO GERAL

O objetivo deste estudo foi descrever detalhadamente a anatomia do câmbio e do lenho de árvores de *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum*, incluindo a variação celular entre árvores plantadas e a variação longitudinal dentro da árvore em diferentes alturas, determinou-se também o efeito da estrutura das células do câmbio nas características anatômicas do lenho. Extraímos amostras contendo câmbio, xilema e floema recentemente diferenciados, por método não destrutivo de nove árvores a 1,30 m do solo para avaliar a variação entre árvores plantadas e de três árvores e em três níveis de altura para avaliar a variação axial das células do câmbio e do lenho, as amostragens foram realizadas em um único período de crescimento. A partir de seções histológicas do câmbio e do lenho, foram analisadas variações dentro da árvore das dimensões destas células e estabelecidas relações funcionais entre as dimensões das células do câmbio e do lenho. O câmbio apresentou iniciais fusiformes e raios cambiais não estratificados e, no período do estudo, evidenciou-se características de atividade. As médias do comprimento, da espessura da parede das fibras e do diâmetro dos vasos foram superiores aos resultados de outros estudos para madeira da espécie proveniente de plantios homogêneos. Observou-se diferenças estatisticamente significativas para a dimensão das células do câmbio e do lenho entre as árvores plantadas. Foi observado também redução da base para o topo das árvores no câmbio, para o número de camadas celulares e largura da zona cambial, comprimento e diâmetro radial das células fusiformes e comprimento dos raios cambiais, e no lenho, para o comprimento dos elementos de vaso e das fibras, bem como para a altura e largura dos raios; entretanto para a largura dos raios cambiais, observou-se aumento dos valores médios da base para o topo das árvores. A altura dos raios do lenho (nº de células) foi positivamente correlacionada com o comprimento dos raios cambiais em  $\mu\text{m}$  ( $r = 0,71$ ), e em número de células ( $r = 0,79$ ). O comprimento das iniciais fusiformes correlacionou-se positivamente com o comprimento dos elementos de vaso ( $r = 0,78$ ), com o comprimento das fibras ( $r = 0,74$ ), com a altura dos raios da madeira em  $\mu\text{m}$  ( $r = 0,79$ ) e em número de células ( $r = 0,92$ ). Os resultados indicam que as dimensões das células do lenho da espécie são fortemente dependentes das modificações estruturas das iniciais cambiais decorrentes do crescimento da árvore e da diferença de idade entre o câmbio da base e do topo das árvores.

**Palavras-chave:** Espécie nativa da Amazônia. Dimensões das células do câmbio e do lenho. Efeito do câmbio nas células do lenho.

## ABSTRACT

This study aimed at describing the anatomy of the vascular cambium and wood of *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum*, including the cellular variation between planted trees and the longitudinal variation within the tree at different heights. Furthermore, it also aimed at determining the effect of the cambium cells structure on the anatomical characteristics of the wood. We extracted samples containing cambium, xylem and recently differentiated phloem by using a non-destructive method. A total of nine trees up to 1.30 m from the ground were studied in order to evaluate the variation between planted trees. Also, three trees at three different levels of height were studied in order to evaluate the axial variation of the cambium and the wood. The sampling was carried out in a single growing period. Variations of the dimensions of the cells were analyzed from the histological sections of the cambium and the wood and functional relations were established between the dimensions of the cambium and the wood. The vascular cambium presented fusiform initials and non-stratified cambial radius; activities were also evidenced during the study period. The average length, fiber wall thickness and vessel diameter were higher than the results of other studies of wood of species from homogenous plantations. Statistically significant differences were observed for the size of the cambium and wood cells between the planted trees. A reduction from the base to the top of the trees was also observed in the cambium as well as in the number of cell layers and width of the cambium zone, length and radial diameter of the spindle cells; a reduction also occurred in the length of the cambium radius and in the wood, as well as for the height and width of the radius. However, an increase of the average values from the base to the top of the trees was observed for the width of the cambium radius. The height of the radius of the wood (number of cells) was positively correlated with length of the cambium radius in  $\mu\text{m}$  ( $r = 0.71$ ), and in number of cells ( $r = 0.79$ ). The length of the fusiform initials correlated positively with the length of the vessel elements ( $r = 0.78$ ), the length of the fibers ( $r = 0.74$ ), the height of the wood radius in  $\mu\text{m}$  ( $r = 0.79$ ) and in the number of cells ( $r = 0.92$ ). The results indicate that the size of the wood cells of the species are strongly dependent on the structural changes of the cambial initials due to tree growth the age difference between the base of the cambium and the top of the trees.

**Keywords:** Amazon native species. Dimensions of the vascular cambium and wood cells. Cambium effect on wood cells.

## SUMÁRIO

PRIMEIRA PARTE .....	11
1 INTRODUÇÃO .....	11
1.1 Objetivo geral .....	12
1.2 Objetivos específicos .....	13
1.3 Conteúdo da Tese.....	13
2 REFERENCIAL TEÓRICO .....	15
2.1 <i>Schizolobium parahyba</i> var. <i>amazonicum</i> (Huber ex Ducke) Barneby	15
2.2 Tecnologia e utilização da madeira de árvores de <i>Schizolobium</i> <i>parahyba</i> var. <i>amazonicum</i> (Huber ex Ducke) Barneby .....	17
2.3 Plantio de enriquecimento de clareiras na Amazônia.....	19
2.4 O câmbio e sua interação com a madeira formada.....	23
3 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	29
REFERÊNCIAS .....	31
SEGUNDA PARTE – ARTIGOS.....	39
ARTIGO 1 - DESCRIÇÃO ANATÔMICA DO CÂMBIO E DO LENHO DE ÁRVORES DE <i>Schizolobium parahyba</i> VAR. <i>amazonicum</i> (HUBER EX DUCKE) BARNEBY E VARIAÇÃO ENTRE AS ÁRVORES PLANTADAS EM CLAREIRAS NA AMAZÔNIA .....	39
ARTIGO 2 - VARIAÇÃO AXIAL DA ANATOMIA DO CÂMBIO E DO LENHO DE ÁRVORES DE <i>Schizolobium</i> <i>parahyba</i> VAR. <i>amazonicum</i> (HUBER EX DUCKE) BARNEBY .....	75

## PRIMEIRA PARTE

### 1 INTRODUÇÃO

Na Amazônia, são muitos os métodos silviculturais utilizados na recuperação de áreas florestais que já sofreram colheita de madeira, onde a exploração seletiva empobreceu a floresta e a capacidade de regeneração das espécies de valor comercial. Dentre os principais tratamentos realizados em florestas tropicais, destaca-se o enriquecimento de clareiras, que consiste no plantio de espécies comerciais em clareiras ocasionadas pela exploração florestal, visando principalmente elevar o potencial produtivo da floresta, e ao mesmo tempo, garantir a sustentabilidade do ecossistema. Este método vem sendo aplicado no plantio da espécie *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby, conhecida como Paricá, em alguns municípios do estado do Pará, Brasil. Segundo Barneby (1996) e Lewis (2015), o gênero *Schizolobium* apresenta uma única espécie, a *Schizolobium parahyba* (Vell.) Blake, e duas variedades, *S. parahyba* (Vell.) Blake var. *parahyba* e *S. parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby, esta última ocorre no domínio fitogeográfico amazônico.

Apesar dos poucos trabalhos relacionados à silvicultura e melhoramento genético, as árvores de *S. parahyba* var. *amazonicum* têm demonstrado bom desempenho silvicultural no Brasil, pois apresentam rápido crescimento em altura e incremento em diâmetro das toras. Segundo a Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas (ABRAF, 2012), a taxa de crescimento médio das árvores da espécie em plantio homogêneo é de 30 a 35 m<sup>3</sup>/ha.ano, crescimento superior ao *Pinus* spp. (20 a 30 m<sup>3</sup>/ha.ano) e *Tectona grandis* (15 a 20 m<sup>3</sup>/ha.ano) e inferior ao *Eucalyptus* spp. (até 50 m<sup>3</sup>/ha.ano). Considerando que na Amazônia o modelo de exploração florestal tem levado ao empobrecimento da biodiversidade e ao desaparecimento de determinadas

espécies florestais que sofrem alta pressão madeireira, a possibilidade de estabelecimento de plantios de uma espécie nativa e com potencial silvicultural, representa uma alternativa de conciliar conservação da biodiversidade com o crescimento econômico e assim alcançar o desenvolvimento sustentável para a região.

Pouco se sabe sobre as características de formação da madeira da espécie, e não foram encontradas informações disponíveis sobre as características do câmbio de *S. parahyba* var. *amazonicum*, e tão pouco sobre a qualidade da madeira proveniente de plantios não homogêneos na Amazônia, como é o caso do método de enriquecimento de clareiras. Segundo Bailey (1920) e Wloch et al. (2013), a variabilidade anatômica observada nas células da madeira estão em paralelo com as flutuações fundamentais semelhantes nas dimensões das iniciais fusiformes e radiais do câmbio e com a taxa de modificação que ocorre durante a diferenciação celular. Assim a compreensão dessas variações e de seu efeito sobre as propriedades da madeira pode facilitar o controle da qualidade da madeira produzida em plantios industriais (WHETTEN & SEDEROFF, 1991).

Pelo exposto, fica claro que o entendimento da interação entre a estrutura anatômica do câmbio e da madeira pode ser útil para aumentar a qualidade da madeira produzida nos diferentes modelos de plantação da espécie *S. parahyba* var. *amazonicum* que estão sendo estabelecidos na Amazônia.

### **1.1 Objetivo geral**

O objetivo geral deste trabalho foi caracterizar a anatomia do câmbio e do lenho de *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby plantado em clareiras abertas após a exploração madeireira de baixo impacto na Amazônia.

## 1.2 Objetivos específicos

- a) conhecer as características anatômicas quantitativas e qualitativas do câmbio e do lenho da espécie estudada;
- b) determinar a variabilidade axial da dimensão das células do câmbio e do lenho das árvores e
- c) correlacionar a dimensão das células do câmbio com a dimensão das células do lenho das árvores.

## 1.3 Conteúdo da Tese

A tese está subdividida em duas partes. A primeira parte é composta de três seções, contemplando (1) introdução, (2) revisão de literatura, contendo os principais tópicos abordados neste trabalho, que dará suporte ao leitor para o melhor entendimento dos artigos apresentados na segunda parte do corpo da tese e (3) conclusão e considerações finais, na qual serão expostos os principais resultados apresentados nos dois artigos presentes na segunda parte da tese.

A segunda parte contempla os dois artigos. O artigo 1 trata da descrição anatômica do câmbio e do xilema de árvores de *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby proveniente de enriquecimento de clareiras. As características observadas do câmbio das árvores indicam atividade cambial no mês de coleta, apesar das afirmações a esse respeito dependerem de acompanhamento do câmbio em mais períodos de crescimento. O câmbio foi não estratificado e apresentou iniciais fusiformes longas com raios cambiais multisseriados. As dimensões das células do câmbio e do xilema variaram significativamente entre as árvores plantadas e observou-se que o comprimento das iniciais fusiformes se relacionam positivamente com o comprimento dos elementos de vaso das fibras, assim como o comprimento dos raios cambiais relaciona-se positivamente com a altura dos raios do xilema.

No artigo 2, avaliou-se as características do câmbio e as dimensões das células do câmbio e do xilema, obtidos em um único período de crescimento, em três diferentes alturas da base em direção ao topo. Buscou-se também respostas para as variações observadas e avaliou-se o efeito da dimensão das células do câmbio sobre a variação das células do xilema. Observaram-se características que indicam atividade do câmbio em todas as alturas avaliadas no mês da coleta. Houve variação estatisticamente significativa na dimensão das células do câmbio e do lenho entre as alturas e parte da variação observada nas células do xilema pode ser explicada pela variação das células do câmbio.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

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

Apesar de alguns trabalhos tratarem o gênero *Schizolobium* como sendo constituído por duas espécies, *Schizolobium parahyba* (Vell.) S.F. Blak e *Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke, na realidade trata-se de uma única espécie, *Schizolobium parahyba*, que apresenta duas variações, *S. parahyba* (Vell.) Blake var. *parahyba* e *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby (BARNEBY, 1996; LEWIS, 2015). Segundo Barneby (1996), as características morfológicas que distinguem as duas variedades são: *S. parahyba* var. *parahyba* apresenta pedicelos não unidos e anteras com 2,3-3,2 mm enquanto na var. *amazonicum*, os pedicelos são unidos a 2,0-6,5 mm acima da base e as anteras apresentam entre 1,3-2,3 mm. Zolet (2009), em estudo filogenético e molecular do gênero *Schizolobium*, apresentou resultados que corroboraram com as diferenças morfológicas descritas por Barneby (1996), e afirma que há diferentes padrões genéticos entre as variedades e que de fato trata-se de uma única espécie com separação para populações da variedade *parahyba* que tem sua área de ocorrência na Mata Atlântica e populações da variedade *amazonicum* que ocorre na Floresta Amazônica e América Central.

Nas regiões Sul e Sudeste do país, a indústria de base florestal tem sua fonte de matéria-prima estabelecida principalmente no reflorestamento de espécies dos gêneros *Eucalyptus* e *Pinus*, destinados principalmente à produção de carvão vegetal e celulose papel. Entretanto, na região Norte onde algumas dessas atividades ainda estão em desenvolvimento, predomina as indústrias de painéis compensados, nas quais a madeira de *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby conhecida popularmente como “Paricá” merece destaque como espécie que vem sendo utilizada há bastante tempo, tanto em plantios homogêneos ou mistos em pleno sol, como em enriquecimento de

capoeiras, por ser uma espécie que apresenta boa adaptação em locais de alta luminosidade e apresentar rápido crescimento (GOMES; FERREIRA; SANTOS, 2010; SABOGAL et al., 2006). O Paricá é uma espécie tropical que apresenta rápido crescimento podendo ser implantada em plantios homogêneos ou consorciada com espécies como mogno, breu surucuba, teca, jatobá, sumaúma e pau de balsa. Apresenta vantagem de ter produtividade média anual na faixa de 30 a 35 m<sup>3</sup>/ha/ano, estando na mesma faixa de crescimento das espécies de *Pinus* spp. que é de 25 a 30 m<sup>3</sup>/ha/ano, sendo superior a *Tectona grandis* com 15 a 20 m<sup>3</sup>/ha/ano (ABRAF, 2012). Para Carvalho e Viégas (2004), a importância econômica do Paricá reside, por exemplo, no fato de ser uma espécie que produz madeira de fácil trabalhabilidade, apresentando no processo de laminação um aproveitamento que chega a 80%, contra 55% de outras espécies, sendo por isso a principal matéria-prima para indústria de compensado e laminado na região Norte do Brasil (CARVALHO, 2007; CARVALHO; VIÉGAS, 2004).

A área plantada com Paricá no Brasil foi de 85.470 ha em 2010 para 88.081 ha em 2014 (INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES - IBA, 2015). Yared (2007) relata que em menos de uma década foram estabelecidos cerca de 50 mil hectares de florestas plantadas com Paricá principalmente no Nordeste do Pará, e segundo este autor, essa façanha se deve a três fatores fundamentais: os resultados das pesquisas em silvicultura, a inovação no uso de equipamentos para o desdobro das toras e o pioneirismo empreendedor das empresas; este último acarretou no grande uso do Paricá, sendo hoje uma das espécies base na produção de muitas empresas. Para Amata (2009), o motivo pelo qual as grandes e microempresas no Norte do Brasil decidiram investir no cultivo da espécie se deu pela dependência da liberação de planos de manejo de florestas nativas, e pela garantia do fornecimento da matéria-prima para a laminação que estava escassa, devido ao aumento da burocracia e de leis que regulam a extração de madeira em mata nativa na Amazônia.

## 2.2 Tecnologia e utilização da madeira de árvores de *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby

Aliado às características silviculturais favoráveis e também ao fato de ser uma espécie nativa da região, a espécie *S. parahyba* var. *amazonicum* produz madeira de qualidade, principalmente para finalidade que tem sido dada, que é na indústria de painéis de madeira. O Paricá possui uma madeira leve a moderadamente densa 0,25 g.cm<sup>-3</sup> a 0,51 g.cm<sup>-3</sup> (LOBÃO et al., 2012; MELO et al., 2014; VIDAURRE, 2010). Segundo Souza, Carvalho e Ramos (2005), a madeira é macia, leve, com textura grossa, grão direito irregular, com cerne de cor creme-avermelhado e albúneo creme-claro, tem fácil processamento e recebe bom acabamento, mas possui baixa durabilidade natural.

A intensa aplicação na indústria de painéis compensado e as características da madeira que também favorecem sua utilização pelo setor, têm levado ao aumento das pesquisas que buscam entender melhor as características da madeira proveniente de plantio para ampliar as possibilidades de uso da madeira.

Naumann et al. (2008), avaliando as propriedades de painéis de madeira aglomerada, fabricados com partículas de *Eucalyptus urophylla* e *Schizolobium amazonicum*, verificaram que de modo geral, o aumento na porcentagem de Paricá elevou a resistência à flexão, ao arrancamento de parafuso e à tração perpendicular, além disso observaram que a utilização de um percentual maior de partículas de Paricá, aliada ao aumento da taxa de compactação, melhorou a estabilidade dimensional dos painéis e resultou em maior resistência mecânica. Como recomendação final, os autores informam que um possível uso comercial para a madeira da espécie seria sua aplicação para a produção de painéis aglomerados e desse forma o plantio da espécie para este fim contribuiria para a redução de problemas de abastecimento de madeira na região Norte.

Iwakiri et al. (2010) avaliaram o potencial de utilização da madeira de *Schizolobium amazonicum* (Paricá) e *Cecropia hololeuca* (Embaúba) para a produção de painéis aglomerados, e observaram que as madeiras de Paricá e Embaúba são tecnicamente viáveis para a produção de painéis aglomerados, principalmente devido aos painéis produzidos apresentarem, menor absorção de água e resultados estatisticamente iguais de ligação interna, módulo de elasticidade e módulo de ruptura, em relação aos painéis testemunhas de *Pinus* sp.

Terezo e Szücs (2010), analisando o desempenho de vigas estruturais em madeira laminada colada (MLC) produzida a partir da madeira de Paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex. Ducke), empregando-se os adesivos à base de Resorcinol-Formaldeído e de Emulsão Polimerizada com Isocianato, verificaram que todas as vigas possuíam desempenho equivalente e que os valores de ruptura de cisalhamento das vigas foram menores que os das linhas de colagem. Assim os autores recomendam o uso dessa espécie para a fabricação de vigas em MLC com critérios de cálculo da classe C-20 de resistência tendo desempenho compatível com as vigas serradas.

Iwakiri et al. (2012) estudaram o potencial de utilização da madeira de *Schizolobium amazonicum* “Paricá” e *Cecropia hololeuca* “Embaúba” para a produção de painéis cimento-madeira, os resultados encontrados para as propriedades de absorção de água, inchamento em espessura, ligação interna, módulo de elasticidade e módulo de ruptura demonstraram que as madeiras de “Paricá” e “Embaúba”, são tecnicamente viáveis para a produção de painéis cimento-madeira.

Zeller, Barbu e Iwakiri (2013) avaliaram a qualidade de painéis aglomerados produzidos a partir das madeiras de *Schizolobium amazonicum* (Paricá) e *Cecropia* sp. (Embaúba) e informaram que ambas as espécie são altamente adequadas para a produção de painéis aglomerados, pois apresentam

características desejadas para a produção, pois geram painéis aglomerados de baixa densidade, de cor clara e compressibilidade excelente, além disso, não foram observadas reações adversas com a aplicação de resina ureia-formaldeído. Os autores ressaltam que particularmente a madeira de Paricá, que apresenta também potencial de reflorestamento, deveria ser amplamente introduzida em plantios na região, pois poderia assim dar novos impulsos econômicos para o Norte do Brasil, onde a espécie tem sido plantada.

Silva et al. (2015) avaliaram o rendimento em laminação de madeira de Paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex. Ducke) em plantios comerciais na região de Paragominas, Pará, e informaram um rendimento em laminação médio de 50,31%, o que é compatível com espécies dos gêneros *Pinus* e *Eucalyptus*. Verificaram ainda que as árvores com maior idade e diâmetro apresentaram os maiores rendimentos e, conseqüentemente, as menores perdas devido a defeitos e ao rolo-resto.

Ferro et al. (2015) investigaram a viabilidade da produção de painéis OSB com partículas de madeira de Paricá (*Schizolobium amazonicum*) aderidas com resina poliuretana à base de óleo de mamona, e verificaram que a fabricação de painéis OSB utilizando espécie de madeira de Paricá e resina PU-mamona é viável, pois os resultados obtidos foram compatíveis aos exigidos por normas nacionais e internacionais e literaturas sobre a temática, e que os painéis produzidos apresentaram plenas condições de aplicação em ambientes secos de diversos segmentos da construção civil.

### **2.3 Plantio de enriquecimento de clareiras na Amazônia**

Não há informação exata sobre a área total de florestas exploradas seletivamente na Amazônia, estima-se, entretanto que a atividade afete anualmente entre 10 mil km<sup>2</sup> e 20 mil km<sup>2</sup> (ASNER et al., 2005; COCHRANE; LAURANCE, 2002). Em alguns casos, após a remoção da floresta, a área é

utilizada para cultivos agrícolas ou pastagem. Nas áreas que permanecem como florestas exploradas, ocorrem o empobrecimento da floresta e da capacidade de regeneração das espécies de valor comercial, causadas pela exploração seletiva anteriormente realizada, no entanto, com a aplicação de tratamentos silviculturais adequados estas áreas tornam-se potencialmente úteis para o manejo florestal madeireiro (ARAUJO et al., 2013; NEPSTAD et al., 1999).

Normalmente a extração de madeira na Amazônia promove grandes danos ecológicos à estrutura da floresta, estima-se que para cada árvore derrubada cerca de 30 outras, com DAP maior que 10 cm, são danificadas (JOHNS; BARRETO; UHL, 1997; VIDAL et al., 1997). Além disso, o dossel da floresta pode ser reduzido à metade, criando grandes aberturas que deixam a floresta remanescente susceptível ao vento e ao fogo (JOHNS; BARRETO; UHL, 1997; VERÍSSIMO et al., 1992). Segundo Vidal, Viana e Batista (2002), a perturbação das áreas florestais causada pela colheita de madeira sem manejo adequado provoca danos e alterações biofísicas e como resultado diminui o crescimento das árvores, dessa forma, para Gomes, Ferreira e Santos (2010), em florestas exploradas, é necessário praticar técnicas silviculturais para estimular a regeneração, o crescimento de mudas e árvores remanescentes que irão compor as colheitas futuras. Dentre as técnicas aplicadas estão os tratamentos silviculturais, que são, segundo Louman, David e Margarita (2001), intervenções aplicadas à floresta com vistas a manter ou melhorar seu valor silvicultural. Em florestas tropicais, os principais tratamentos são: corte de cipós, liberação de copas para maior captação de luz, condução da regeneração natural e o enriquecimento em clareiras (GOMES; FERREIRA; SANTOS, 2010). Esses tratamentos silviculturais, segundo Silva (2001), aumentam o desenvolvimento de árvores em florestas tropicais e o crescimento das árvores pode ser duplicado em relação às florestas não tratadas.

Clareiras naturais ocorrem devido à ação de distúrbios florestais e são fundamentais para o entendimento da estrutura dinâmica dos sistemas florestais (HUBBELL; FOSTER, 1986). A regeneração natural que ocorre no interior das clareiras influencia importantes parâmetros das comunidades florestais, como composição (PEARSON et al., 2003), distribuição e riqueza de espécies (DENSLOW, 1995), além dos processos de sucessão secundária (WHITMORE, 1990) e também a germinação e o desenvolvimento de espécies florestais de diferentes maneiras (PAZ; MARTÍNEZ-RAMOS, 2003). Entretanto clareiras podem ser geradas pela exploração madeireira, nesse caso pode não haver regeneração natural de espécies, principalmente daquelas de valor comercial que sofrem grande pressão de exploração. Há também grande competição dos indivíduos remanescentes com espécies sem valor comercial, sendo estas algumas causas que põem em risco a sustentabilidade do manejo de florestas tropicais (OLIVEIRA et al., 2006).

Para Gomes, Ferreira e Santos (2010), enriquecer clareiras formadas após a exploração madeireira com espécies comerciais, aumenta o valor econômico da floresta, a diversidade de espécies e ainda acelera o processo sucessional. Segundo Lamprecht (1990), o enriquecimento de clareiras é um dos tratamentos silviculturais aplicados em florestas tropicais, que consiste no plantio de espécies comerciais em clareiras ocasionadas pela exploração florestal que visa aumentar a qualidade produtiva da floresta e pode ser realizado no momento em que o número de indivíduos com valor econômico é insuficiente ou inexistente.

Para manter o equilíbrio do ecossistema florestal, o planejamento do tratamento silvicultural aplicado na floresta, principalmente em área que já foram perturbadas, deve-se considerar alguns aspectos como: composição florística, diversidade vegetal, padrão espacial das espécies, estrutura da floresta, crescimento dos indivíduos, recrutamento, mortalidade e todo o processo

dinâmico de recuperação e reestruturação da floresta tratada (CARVALHO et al., 2001).

Segundo Brokaw (1982), as grandes clareiras são responsáveis pela permanência das espécies tipicamente pioneiras, heliófitas no interior das florestas, ampliando sua diversidade florística. A espécie *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* tem demonstrado bom desempenho silvicultural em plantios de enriquecimento de clareiras na Amazônia, principalmente no estado do Pará, pois se adapta em locais de alta luminosidade e tem rápido crescimento (GOMES; FERREIRA; SANTOS, 2010).

Em projetos de reposição florestal estudados por Galeão et al. (2006), observou-se uma taxa de sobrevivência de 98% para *S. parahyba* var. *amazonicum* em Portel, PA, com dois anos de idade e em Dom Eliseu, PA, com três anos de idade.

Gasparin et al. (2008), em estudos com plantio de enriquecimento de clareira, puro e em plena luz, para mesma espécie em Pargominas, PA, observaram taxa de sobrevivência de 100% em 19 meses.

Gomes, Ferreira e Santos (2010) também em experimento de enriquecimento de clareiras, misto e em pleno sol, no mesmo município observaram, no período de 12 meses, taxa de sobrevivência de 92% para as árvores de Paricá.

Todos os estudos apresentados indicam fortemente, que a espécie *S. parahyba* var. *amazonicum* pode ser indicada para o enriquecimento de clareiras formadas pela exploração madeireira de impacto reduzido na Amazônia, contudo, faz-se necessário estudos complementares e continuados de avaliação da qualidade da madeira produzida, principalmente, relacionados às características celulares de formação da madeira, fatores que influenciam o processo e conhecimento de suas variações dentro e entre as árvores plantadas,

para determinar a qualidade da madeira que vem sendo produzida nesse tipo de plantio.

#### **2.4 O câmbio e sua interação com a madeira formada**

O câmbio é um tecido meristemático percurso das células que compõem o xilema e o floema secundários, é chamado comumente de meristema lateral, para diferenciá-lo do meristema apical, justamente porque ocupa posição lateral no caule e na raiz. O termo câmbio designa o conjunto tanto de células iniciais como também de derivadas que ainda não iniciaram a diferenciação. O câmbio pode ser entendido como uma zona multisseriada de células que não iniciaram sua diferenciação e que se dividem periclinalmente e anticlinalmente, situadas entre o xilema e o floema secundários diferenciados (BUTTERFIELD, 1975). Esse conceito se baseia nos seguintes aspectos: a) a dificuldade que há em distinguir as células iniciais de suas recém-derivadas; b) as células iniciais podem não estar perfeitamente alinhadas entre si formando uma camada contínua, podendo haver derivadas infiltradas entre elas. Mas de forma geral, sob um aspecto tridimensional o termo câmbio compreende uma bainha de células contínuas que envolve o xilema do caule, da raiz e de suas ramificações, aparece também em forma de fita no interior de algumas folhas que apresentam crescimento secundário, assim, o termo “zona cambial” compreende a fileira radial de células iniciais fusiformes e radiais, mais suas derivadas que ainda não iniciaram seu processo de diferenciação, por isso, mesmo não se apresentam expandidas (ANGYALOSSY; MARCATI, 2006; ESAU, 1977; EVERT, 2013).

O câmbio é composto por dois tipos celulares, iniciais fusiformes e iniciais radiais, é o único meristema que forma dois sistemas, axial e radial, e suas células não se enquadram no conceito usual de células meristemáticas, pois não apresentam citoplasma denso, núcleos grandes e formato isodiamétrico, mas sim, são amplamente vacuolizadas e ocorrem em dois formatos. As células

fusiformes são mais longas do que largas, possuem forma prismática na parte central e em forma de cunha nas extremidades, e são prioritariamente responsáveis pela produção de células que irão compor o sistema axial, já as iniciais radiais variam de alongadas a aproximadamente isodiamétricas e geram as células do sistema radial, do xilema e floema secundários (ANGYALOSSY; MARCATI, 2006; EVERT, 2013; IQBAL; GHOUSE, 1990; LARSON, 2011).

No câmbio, há dois tipos distintos de arranjos das iniciais fusiformes: 1) não estratificado com células lateralmente vizinhas de diferentes comprimentos, deslocadas uma em relação à outra verticalmente de forma aleatória e 2) estratificados com células vizinhas de comprimento semelhante alinhadas horizontalmente. Em um câmbio estratificado as iniciais fusiformes são mais curtas e se sobrepõem menos extensamente do que no câmbio não estratificado (BAILEY, 1923; BUTTERFIELD, 1972; MYSKOW; ZAGÓRSKA-MAREK, 2004). Na descrição da morfologia cambial, distingue-se também a distribuição dos raios cambiais (conjunto de iniciais radiais) em não estratificados, em que os raios cambiais são alongados verticalmente, não se organizam horizontalmente, já em câmbios estratificados, os raios distribuem-se de forma irregular ou que é mais comum, podem formar estratos horizontais de células (CARLQUIST, 1988; PHILIPSON; WARD; BUTTERFIELD, 1971).

Há dois tipos principais de divisões sofridas pelas iniciais cambiais. As iniciais se dividem periclinalmente para produzir novas células que irão se diferenciar em células especializadas do xilema e floema secundários, mesmo que o direcionamento para um dos tecidos não ocorra necessariamente em período alternado. Segundo Angyalossy e Marcati (2006), em períodos de intensa divisão celular, há acumulação de uma larga zona de células ainda não diferenciadas que se acumulam em uma larga zona (zona cambial), isso ocorre, pois a adição de novas células, decorrentes das divisões anticlinais das iniciais cambiais é tão rápida que as mais velhas são ainda meristemáticas quando as

novas lhas são adicionadas. Dentro desta zona, uma única célula, em uma determinada fileira radial é considerada inicial cambial, pois dividi-se periclinalmente produzindo novas derivadas, mas sem que ela própria venha a se tornar diferenciada em célula de floema ou xilema secundários.

Bailey (1923) observou que ocorrem divisões anticlinais em iniciais cambiais fusiformes, e que estas divisões são de dois tipos: curtas e longas. Em iniciais fusiformes curtas, as divisões são anticlinais radiais produzindo duas células que aparecem lado a lado onde antes havia somente uma, e ambas aumentam em sentido tangencial. Já as iniciais fusiformes longas dividem-se por paredes anticlinais com vários graus de inclinação, mais comumente em divisão anticlinal pseudotransversal, em que cada nova célula gerada alonga-se por crescimento apical intrusivo, como resultado desse crescimento, as novas células irmãs dispõem-se lado a lado num plano tangencial.

As iniciais radiais também se dividem radialmente e anticlinalmente, há também a possibilidade de formação de iniciais radiais a partir de iniciais fusiformes ou de seus segmentos. Segundo Ghouse e Hashmi (1981), as iniciais fusiformes curtas, que geralmente se formam a partir da divisão anticlinal desigual da célula geradora, dão origem a iniciais de raio a partir de divisões transversais repetidas, mas também podem sofrer fissuras apicais ou lateralmente, também dando origem a novas iniciais radiais. Ridoutt e Sands (1993), estudando a variação axial da dimensão das células do câmbio de *Eucalyptus globulus*, observaram que a altura dos raios cambiais diminuiu de 19,3  $\mu\text{m}$  a 2,5% (base) da altura da árvore para 15,6  $\mu\text{m}$  a 70% (topo) da altura da árvore, além disso foi verificado que em 2,5% da altura da árvore, 57% dos raios cambiais eram unisseriados, 39% eram bisseriados e 4% trisseriados, contrastando com a do raio cambial a 70% da altura da árvore, em que 91% dos raios cambiais eram unisseriados e apenas 9% eram bisseriados, os autores informaram que a fusão de raios cambiais contíguos para formar grandes raios

cambiais de forma irregular também foi evidente nos níveis de altura mais baixos.

O câmbio é o tecido meristemático responsável pela formação da madeira, e a variabilidade observada nas células do xilema está em consonância com as variações semelhantes nas dimensões das iniciais cambiais, que ocorrem entre espécies, entre diferentes partes de uma árvore e entre indivíduos de diferentes condições ambientais (BAILEY, 1920; BUTTERFIELD, 1973).

O tamanho das células no xilema secundário é determinado por (1) o tamanho das iniciais cambiais e por (2) mudanças que ocorrem em suas células derivadas durante a diferenciação celular. Assim a variabilidade observada nas células do xilema é um reflexo de variações semelhantes nas dimensões das iniciais cambiais, que ocorrem entre espécies, entre diferentes partes de uma árvore e entre indivíduos de diferentes condições ambientais (BAILEY, 1920; BUTTERFIELD, 1973). Contudo, é também concebível que as células do meristema lateral sejam de tamanho relativamente uniforme, sendo assim, as diferenças no tamanho das células diferenciadas seriam inteiramente decorrentes de mudanças durante a diferenciação celular (BAILEY, 1920). Para Bailey (1920, 1923), esses tipos fundamentais de variações de tamanho de células e flutuações concomitantes de forma e estrutura são importantes na investigação de uma série de problemas citológicos, morfológicos e fisiológicos, bem como no estudo da identificação e propriedades tecnológicas da madeira.

Segundo Butterfield (1973), a maioria das informações sobre as mudanças de tamanho e desenvolvimento ocorre no câmbio de plantas e é obtida a partir da investigação da variação nas células do xilema secundário, e não de exame direto do próprio câmbio. Atualmente Włoch et al. (2013) exibiram novamente esta problemática, e afirmaram que apesar da madeira ser um dos recursos naturais mais fascinantes que forma a espinha dorsal de várias indústrias em todo o mundo e que, embora muitas pesquisas tenham se

concentrado na madeira, o câmbio, que é responsável pela produção de cada célula na madeira, mal recebeu atenção suficiente. Ainda segundo os autores, o rearranjo das iniciais cambiais influencia as propriedades da madeira (por exemplo, a grã da madeira) e, portanto, a compreensão do mecanismo deste rearranjo das células cambiais torna-se imensamente importante.

As informações sobre a variação de tamanho das iniciais cambiais e o efeito sobre as células diferenciadas do xilema são bastante escassas, daí o pequeno número de literaturas atuais sobre o tema. Destacam-se algumas contribuições pioneiras neste campo, Bailey (1920, 1923) que forneceu grande volume de informação sobre o tamanho das iniciais fusiformes de coníferas e folhosas, e estabeleceu relação com o comprimento de fibras e elementos de vaso do xilema. Também Anand Shashi, Sajwan e Paliwal (1978), Butterfield (1973) e Chattaway (1936), que estudaram iniciais cambiais e suas derivadas em *Ginkgo*, várias coníferas e dicotiledóneas. Ridoutt e Sands (1993, 1994) descreveram detalhadamente a anatomia do câmbio de *Eucalyptus globulus*, incluindo a variação intra-árvore e determinaram em que medida a variação longitudinal no comprimento da fibra pode ser explicada por diferenças no comprimento das iniciais fusiformes e ou diferenças na fase de alongamento celular. Kitin et al. (1999) avaliaram a variação do comprimento das iniciais fusiformes e seu efeito sobre o comprimento dos elementos de vaso, e observaram que em *Kalopanax pictus* o comprimento dos elementos de vasos correlacionou-se positivamente com o comprimento das iniciais fusiformes do câmbio dormente, mas não houve correlação significativa com a dimensão com comprimento das fusiformes do câmbio ativo. Patel, Pramod e Rao (2014), além de estudarem a sazonalidade do câmbio de *Moringa oleifera*, observaram forte correlação positiva do comprimento das iniciais fusiformes com o comprimento dos elementos de vaso e dos raios da madeira.

Segundo Whetten e Sederoff (1991), a capacidade de controlar a qualidade da madeira e a taxa de crescimento do diâmetro em florestas industriais é limitada pela insuficiente compreensão dos processos de produção e diferenciação das células do xilema e, para Ridoutt e Sands (1993), existem oportunidades significativas para melhorar a qualidade da madeira cultivada nestas florestas através da compreensão fundamental dos processos de produção e diferenciação de células de xilema.

### 3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Amostras contendo câmbio, xilema e floema recentemente diferenciados, foram extraídas por método não destrutivo de três árvores e em três níveis de altura no Artigo 1 e de nove árvores a 1,30 m do solo no Artigo 2, ambos os estudos foram realizados em um único período de crescimento. A partir de seções histológicas do câmbio e do lenho, foi feita a caracterização anatômica do câmbio e do xilema secundário de árvores da espécie *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) provenientes de plantações em clareiras abertas após a exploração madeireira na Amazônia. Analisou-se também a variabilidade da dimensão das células do câmbio e do lenho entre as árvores plantadas e, dentro das árvores, no sentido axial da base em direção ao topo. Com esses resultados pode-se quantificar o efeito da dimensão das células do câmbio na variação observada na dimensão das células do lenho.

No Artigo 1, observou-se diferenças estatisticamente significativas para a dimensão das células do câmbio e do lenho entre as árvores plantadas, a análise de agrupamento e de componentes principais permitiu a formação de três grupos distintos nos quais o comprimento das células fusiformes relacionou-se positivamente com o comprimento dos elementos de vaso e das fibras, e o comprimento dos raios cambiais relacionou-se positivamente com a altura dos raios do lenho.

No Artigo 2, observou-se redução da base para o topo das árvores no câmbio, para o número de camadas celulares e largura da zona cambial, comprimento e diâmetro radial das células fusiformes e comprimento dos raios cambiais, e no lenho, para o comprimento dos elementos de vaso e das fibras, bem como para a altura e largura dos raios; entretanto, para a largura dos raios cambiais, observou-se aumento dos valores médios da base para o topo das árvores. Observou-se tendência linear crescente ( $R^2 = 0,72$ ) entre as médias do

número de camadas celulares na zona cambial e o diâmetro do caule nas diferentes alturas avaliadas. A altura dos raios do lenho (nº de células) foi positivamente correlacionada com o comprimento dos raios cambiais em  $\mu\text{m}$  ( $r = 0,71$ ) e em número de células ( $r = 0,79$ ). O comprimento das iniciais fusiformes correlacionou-se positivamente com o comprimento dos elementos de vaso ( $r = 0,78$ ), com o comprimento das fibras ( $r = 0,74$ ), com a altura dos raios do lenho em  $\mu\text{m}$  ( $r = 0,79$ ) e em número de células ( $r = 0,92$ ). Os resultados observados demonstraram que as dimensões das células do xilema secundário da espécie são fortemente dependentes das modificações estruturas das iniciais cambiais decorrentes do crescimento da árvore, assim como são também influenciadas pelas modificações que ocorrem durante a etapa de diferenciação celular.

## REFERÊNCIAS

- AMATA. **Revisão sobre paricá: *Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke.** São Paulo, 2009. 106 p.
- ANAND SHASHI, K.; SAJWAN, V. S.; PALIWAL, G. S. Size correlations among the cambium and its derivatives in *Dalbergia sissoo*. **Journal of Indian Botanical Society**, New Delhi, v. 57, p. 16-24, 1978.
- ANGYALOSSY, V.; MARCATI, C. R. Câmbio. In: APPEZZATO-DA-GLORIA, B.; CARMELLO-GUERREIRO, S. M. (Ed.). **Anatomia vegetal**. 2. ed. Viçosa, MG: UFV, 2006. p. 205-2012.
- ARAUJO, H. J. B. et al. **Plantios de enriquecimento em florestas de produção no Acre.** Rio Branco: EMBRAPA Florestas, 2013. 18 p. (EMBRAPA Rio Branco. Circular Técnica, 66).
- ASNER, G. P. et al. Selective Logging in the Brazilian Amazon. **Science**, New York, v. 310, n. 5747, p. 480-482, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS. **Anuário estatística da ABRAF 2012 ano base 2011.** Brasília, DF, 2012. 145 p.
- BAILEY, I. W. The cambium and its derivative tissues: II., size variations of cambial initials in gymnosperms and angiosperms. **American Journal of Botany**, Saint Louis, v. 7, p. 355-367, 1920.
- BAILEY, I. W. The cambium and its derivative tissues: IV., the increase in girth of the cambium. **American Journal of Botany**, Saint Louis, v. 10, p. 499-509, 1923.
- BARNEBY, R. C. Neotropical Fabales at NY: asides and oversights. **Brittonia**, New York, v. 48, n. 2, p. 174-187, 1996.
- BROKAW, N. V. L. Treefalls: frequency time, and consequences. In: LEIGHT, E. G.; BROKAW, N. V. L. (Ed.). Gap-phase regeneration in a tropical forest. **Ecology**, Durham, v. 66, p. 682-687, 1982.
- BUTTERFIELD, B. G. Developmental changes in the vascular cambium of *Aeschynomene hispida* Willd. **New Zeland Journal of Botany**, Abingdon, v. 10, p. 373-386, 1972.

BUTTERFIELD, B. G. Terminology used for describing the cambium. **IAWA Bulletin**, Leiden, v. 1, p. 13-14, 1975.

BUTTERFIELD, B. G. Variation in the size of fusiform cambial initials and vessel members in *Hoheria angustifolia* Raoul. **New Zeland Journal of Botany**, Abingdon, v. 11, n. 3, p. 391-410, 1973.

CARQUIST, S. **Comparative wood anatomy**: sytematic, ecological, and evolutionary aspects of dicotyledon wood. Berlin: Springer-Verlag, 1988. 259 p.

CARVALHO, J. G. de; VIÉGAS, I. de J. M. **Caracterização de sintomas de deficiências de nutrientes em Paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex. Ducke)**. Belém: EMBRAPA Amazônia Oriental, 2004. 6 p. (Circular Técnica, 37).

CARVALHO, J. O. P. et al. **Informações básicas sobre ecologia e silvicultura de cinco espécies arbóreas da Amazônia brasileira**. Belém: EMBRAPA Amazônia Oriental, 2001. 49 p. (Documentos, 101).

CARVALHO, P. E. R. **Paricá: *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum***. Colombo: EMBRAPA Paraná, 2007. 8 p. (EMBRAPA Paraná. Comunicado Técnico, 142).

CHATTAWAY, M. M. The relation between fibre and cambial initial length in dicotyledonous woods. **Tropical Woods**, Cambridge, v. 46, p. 16-20, 1936.

COCHRANE, M. A.; LAURANCE, W. F. Fire as a large-scale edge effect in Amazonian Forests. **Journal of Tropical Ecology**, New York, v. 18, n. 3, p. 311-325, 2002.

DENSLOW, J. S. Disturbance and diversity in tropical rain forests: the density effect. **Ecological Application**, Hoboken, v. 5, p. 962-968, 1995.

ESAU, K. **Anatomy of seed plants**. 2<sup>nd</sup> ed. New York: J. Wiley, 1977. 550 p.

EVERT, R. F. **Anatomia das plantas de Esau: meristemas, célula e tecidos do corpo da planta sua estrutura e função e desenvolvimento**. São Paulo: Blucher, 2013. 601 p.

FERRO, F. S. et al. Produção de painéis de partículas orientadas (OSB) com *Schizolobium amazonicum* e resina poliuretana à base de óleo de mamona. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 43, n. 106, p. 313-320, 2015.

GALEÃO, R. R. et al. Diagnóstico dos projetos de reposição florestal no estado do Pará. **Revista de Ciências Agrárias**, Belém, v. 45, p. 101-120, 2006.

GASPARIN, E. et al. Avaliação do desempenho de paricá (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby) em plantio irrigado no oeste do Pará. In: SIMPÓSIO LATINO AMERICANO SOBRE MANEJO FLORESTAL, 4., 2008, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria, 2008. p. 100-106.

GHOUSE, A. K. M.; HASHMI, S. Developmental-changes in the vascular cambium of *Delonix regia* Rafin. **Proceedings of the Indian Academy of Sciences-Plant Sciences**, New Delhi, v. 90, n. 2, p. 143-151, 1981.

GOMES, J. M.; FERREIRA, J. E. R.; SANTOS, R. N. J. Sobrevivência de espécies arbóreas plantadas em clareiras causadas pela colheita de madeira em uma floresta de terra firme no município de Paragominas na Amazônia brasileira. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 40, n. 1, p. 171-178, 2010.

HUBBELL, S. P.; FOSTER, R. B. Canopy gaps and the dynamics of a neotropical forest. In: CRAWLEY, M. J. (Ed.). **Plant ecology**. Oxford: Blackwell Scientific, 1986. p. 77-96.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Anuário estatística do Iba 2015 ano base 2014**. São Paulo, 2015. 80 p.

IQBAL, M.; GHOUSE, A. K. M. Cambial concept and organisation. In: IQBAL, M. (Ed.). **The vascular cambium**. New York: J. Wiley, 1990. p. 1-36.

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 Amazonica**, Manaus, v. 40, n. 2, p. 303-308, 2010.

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. **Cerne**, Lavras, v. 18, n. 2, p. 303-308, 2012.

JOHNS, J.; BARRETO, P.; UHL, C. Logging damage in planned and unplanned

logging operations and its implications for sustainable timber production in the Eastern Amazon. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 89, p. 59-77, 1997.

KITIN, P. et al. Variations in the lengths of fusiform cambial cells and vessel elements in *Kalopanax pictus*. **Annals of Botany**, London, v. 84, n. 5, p. 621-632, 1999.

LAMPRECHT, H. **Silvicultura nos trópicos: ecossistemas florestais e respectivas espécies arbóreas: possibilidades e métodos de aproveitamento sustentado**. Eschborn: Instituto de Silvicultura - Universidade Gottingen, 1990. 343 p.

LARSON, P. R. **The vascular cambium development and structure**. Heidelberg: Springer Verlag, 2011. 725 p.

LEWIS, G. P. *Schizolobium*. In: LISTA de espécies da flora do Brasil. Rio de Janeiro: Jardim Botânico do Rio de Janeiro, 2015. Disponível em: <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/jabot/floradobrasil/FB23144>>. Acesso em: 14 jan. 2016.

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

LOUMAN, B.; DAVID, Q.; MARGARITA, N. **Silvicultura de bosques latifoliados húmidos com ênfases em América Central**. Turrialba: CATIE, 2001. 265 p.

MELO, L. E. et al. Influence of spacing on some physical properties of *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke). **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 42, n. 104, p. 483-490, 2014.

MYSKOW, E.; ZAGÓRSKA-MAREK, B. Ontogenetic development of storied Ray pattern in cambium of *Hippophae rhamnoides* L. **Acta Societatis Botanicorum Poloniae**, Warsaw, v. 73, n. 2, p. 93-101, 2004.

NAUMANN, R. B. et al. Propriedades de chapas fabricadas com partículas de madeira de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake e de *Schizolobium amazonicum* Herb. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 32, n. 6, p. 1143-1150, 2008.

NEPSTAD, D. et al. Large-scale impoverishment of Amazonian Forest by

logging and fire. **Nature**, London, v. 398, p. 505-508, 1999.

OLIVEIRA, L. C. de et al. Exploração florestal e eficiência dos tratamentos silviculturais realizados em uma área de 136 ha na Floresta Nacional do Tapajós, Belterra, Pará. **Revista de Ciências Agrárias**, Belém, v. 46, p. 195-213, 2006.

PATEL, V. R.; PRAMOD, S.; RAO, K. S. Cambial activity, annual rhythm of xylem production in relation to phenology and climatic factors and lignification pattern during xylogenesis in drum-stick tree (*Moringa oleifera*). **Flora**, Jena, v. 209, n. 10, p. 556-566, 2014.

PAZ, H.; MARTÍNEZ-RAMOS, M. Seed mass and seedling performance within eight species of *Psychotria* (Rubiaceae). **Ecology**, Durham, v. 84, p. 439-450, 2003.

PEARSON, T. R. H. et al. Interactions of gap size and herbivory on establishment, growth and survival of three species of neotropical pioneer trees. **Journal of Ecology**, Hoboken, v. 91, p. 785-796, 2003.

PHILIPSON, W. R.; WARD, J. M.; BUTTERFIELD, B. G. **The vascular cambium: its development and activity**. London: Chapman & Hall, 1971. 280 p.

RIDOUTT, B. G.; SANDS, R. Quantification of the processes of secondary xylem fiber development in *Eucalyptus globulus* at 2 height levels. **IAWA Journal**, Leiden, v. 15, n. 4, p. 417-424, 1994.

RIDOUTT, B. G.; SANDS, R. Within-tree variation in cambial anatomy and xylem cell differentiation in *Eucalyptus globulus*. **Trees-Structure and Function**, Heidelberg, v. 8, n. 1, p. 18-22, 1993.

SABOGAL, C. et al. **Silvicultura na Amazônia Brasileira: avaliação de experiências e recomendações para implementação e melhoria dos sistemas**. Belém: CIFOR, 2006. 190 p.

SILVA, G. F. et al. Rendimento em laminação de madeira de Paricá na região de Paragominas, Pará. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 25, n. 2, p. 447-455, 2015.

SILVA, J. N. M. **Manejo florestal**. 3. ed. Belém: EMBRAPA Amazônia Oriental; Brasília, DF: EMBRAPA Informação Tecnológica, 2001. 49 p.

SOUZA, D. B. de; CARVALHO, G. S.; RAMOS, E. J. A. **Paricá, *Schizolobium amazonicum* Huber ex. Ducke**. Manaus: Rede de Sementes da Amazônia, 2005. 2 p. (Informativo Técnico, 2013).

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

VERÍSSIMO, A. et al. Logging impacts and prospects for sustainable forest management in an old Amazon Frontier: the case of Paragominas. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 55, p. 169-199, 1992.

VIDAL, E. et al. Vine management for reduced-impacts logging in Eastern Amazon. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 98, p. 105-114, 1997.

VIDAL, E.; VIANA, V. M.; BATISTA, J. L. F. Crescimento de floresta tropical três anos após colheita de madeira com e sem manejo florestal na Amazônia Oriental. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 61, p. 133-143, 2002.

VIDAURRE, G. B. **Caracterização anatômica, química e físico-mecânica da madeira de paricá (*Schizolobium amazonicum*) para a produção de energia e polpa celulósica**. 2010. 74 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal)- Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2010.

WHETTEN, R.; SEDEROFF, R. Genetic-engineering of wood. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 43, n. 3/4, p. 301-316, 1991.

WHITMORE, T. C. **An introduction to tropical rain forests**. New York: Oxford University Press, 1990. 226 p.

WLOCH, W. et al. Modelling for rearrangement of fusiform initials during radial growth of the vascular cambium in *Pinus sylvestris* L. **Trees-Structure and Function**, Heidelberg, v. 27, n. 4, p. 879-893, 2013.

YARED, J. A. G. Uso de espécies nativas: a experiência com o Paricá. **Revista Opiniões**, Ribeirão Preto, v. 7, p. 47, mar./maio 2007. Disponível em: <<http://www.revistaopinioes.com.br/cp/materia.php?id=319>>. Acesso em: 14 jan. 2016.

ZELLER, F.; BARBU, M. C.; IWAKIRI, S. Paricá (*Schizolobium amazonicum*) and embaúba (*Cecropia* sp.) as new raw materials for particleboards. **European Journal of Wood and Wood Products**, Quebec, v. 71, n. 6, p. 823-825, 2013.

ZOLET, A. C. T. **Filogeografia e sistemática molecular de *Schizolobium parahyba* (Vell.) Blake (Guapuruvu) através do seqüenciamento de regiões cloroplásticas e nucleares**. 2009. 138 p. Tese (Doutorado em Genética e Biologia Molecular)-Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.



**SEGUNDA PARTE – ARTIGOS**

**ARTIGO 1 - DESCRIÇÃO ANATÔMICA DO CÂMBIO E DO LENHO  
DE ÁRVORES DE *Schizolobium parahyba* VAR. *amazonicum* (HUBER EX  
DUCKE) BARNEBY E VARIAÇÃO ENTRE AS ÁRVORES  
PLANTADAS EM CLAREIRAS NA AMAZÔNIA**

**(VERSÃO PRELIMINAR)**

**Artigo formatado de acordo com as normas para submissão do  
periódico *Maderas Ciencia y tecnologia***

## RESUMO

O objetivo deste estudo foi conhecer a anatomia do câmbio e do lenho de *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) plantado em clareiras abertas pela exploração madeireira na Amazônia e entender as possíveis variações entre as árvores plantadas. Amostras contendo câmbio, xilema e floema recentemente diferenciados, foram coletadas em um único período de crescimento, por método não destrutivo a 1,30 m do solo com sonda Pressler. Foram selecionadas nove árvores que apresentavam no momento da coleta 22 anos de idade. O plantio encontra-se estabelecido no município de Dom Eliseu, no estado do Pará, Brasil. O câmbio apresentou iniciais fusiformes e raios cambiais não estratificados e, no período do estudo, evidenciou características de atividade. As médias do comprimento, da espessura da parede das fibras e do diâmetro dos vasos foram superiores aos resultados de outros estudos para madeira da espécie proveniente de plantios homogêneos. Observou-se diferenças estatisticamente significativas para a dimensão das células do câmbio e do lenho entre as árvores plantadas, a análise agrupamento e de componentes principais permitiu a formação de três grupos distintos nos quais o comprimento das iniciais fusiformes relacionou-se positivamente com o comprimento dos elementos de vaso e das fibras, e o comprimento dos raios cambiais relacionou-se positivamente com a altura dos raios do lenho.

**Palavras-chave:** Iniciais cambiais, xilema secundário diferenciado, tratamento silvicultural, desenvolvimento sustentável da Amazônia.

## Introdução

Na Amazônia, o modelo de exploração da floresta nativa tem levado ao empobrecimento da biodiversidade e ao desaparecimento de determinadas espécies florestais que sofrem alta pressão madeireira. A possibilidade de estabelecimento de plantios de uma espécie nativa e com potencial silvicultural representa uma alternativa de conciliar a conservação da biodiversidade com o crescimento econômico, e assim alcançar o desenvolvimento sustentável para a região. A espécie *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby conhecida popularmente como “paricá”, tem se destacado em plantios florestais na região Norte do Brasil, devido apresentar rápido crescimento, elevada taxa de incremento em diâmetro e produzir madeira de qualidade, principalmente para as indústrias de painéis (Zeller *et al.* 2013). Em 2012, o plantio de paricá atingiu 87.901 ha com destaque para os estados do Pará, Maranhão e Tocantins (ABRAF 2013).

Uma das formas de recuperar áreas degradadas que já sofreram colheita madeireira é a adoção do método silvicultural de enriquecimento de clareiras, que consiste no plantio de espécies comerciais em clareiras ocasionadas pela exploração florestal, visando principalmente elevar o potencial produtivo da floresta, e ao mesmo tempo, garantir a sustentabilidade do ecossistema (Lamprecht 1990). Na Amazônia, além de plantios homogêneos, como já mencionado, a espécie *S. parahyba* var. *amazonicum* tem apresentado bom desempenho quanto à taxa de sobrevivência e produtividade em plantios de enriquecimento de clareiras (Gomes *et al.* 2010), sendo uma espécie nativa da região o tratamento

silvicultural possibilita tanto a manutenção do equilíbrio do ecossistema florestal, como também, permite a exploração industrial de madeira plantada em áreas abandonadas que já foram desmatadas para a extração de madeira ou pecuária.

Com o aumento da área plantada de paricá na Amazônia, é importante que se conheça a influência do manejo silvicultural nas propriedades da madeira produzida. Sabendo que muitas propriedades da madeira relacionam-se com sua estrutura anatômica e que esta, em parte é determinada pela dimensão das células do câmbio, o entendimento de ambos os tecidos nos parece fundamental para caracterizar a qualidade da madeira que vem sendo plantada na região. Assim, objetivou-se com este estudo conhecer a anatomia do câmbio e da madeira de *S. parahyba* var. *amazonicum* plantado em clareiras abertas pela exploração madeireira na Amazônia e entender as possíveis variações entre as árvores plantadas.

## **Material e métodos**

### **Área experimental**

O estudo foi realizado em um plantio de enriquecimento de clareiras abertas pela exploração madeireira de baixo impacto realizado no ano de 1994 em uma área correspondente a 158 ha na Fazenda Shet, de propriedade do Grupo Arboris. O processo de enriquecimento das clareiras foi realizado em três etapas, sendo: 1) quebra da dormência das sementes por escarificação mecânica, 2) limpeza da clareia com facão e plantio das sementes em sulcos feitos no solo com aproximadamente 4 cm de profundidade e distância aproximado de 2 x 2 m entre sementes e 3) no primeiro ano depois do plantio faz-se uma segunda limpeza, agora

na proximidade das plantas já germinadas, dar-se um intervalo de um ano e por fim no terceiro ano é realizada mais uma limpeza na proximidade de cada planta sobrevivente. A limpeza tem a finalidade de evitar a matocompetição e não é realizado nenhum tipo de adubação do solo, após o terceiro ano de vida, as árvores se desenvolvem na floresta sem haver intervenção silvicultural. O experimento está localizado no município de Dom Eliseu, Mesorregião do Sudeste do Estado do Pará, Brasil, que se encontra entre as latitudes 03°46,2'S e 04°37,11'S e longitudes 48° 23,4'W e 47°17,4'W (Pismel *et al.*, 2016). Neste município as temperaturas médias situam-se entre 25,0 a 25,8 °C e a precipitação pluvial anual em torno de 2.000 mm (Martorano *et al.*, 2011) com meses de maior precipitação, 64% da média anual, de janeiro a abril (Pismel *et al.*, 2016).

### **Material botânico**

A espécie estudada foi *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby (paricá). Para este estudo, considerou-se a classificação taxonômica descrita por Barneby (1996) que considera o gênero *Schizolobium* como tendo uma única espécie, *Schizolobium parahyba* (Vell.) Blake, e duas variedades, *S. parahyba* (Vell.) Blake var. *parahyba* e *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby, esta última ocorre no domínio fitogeográfico Amazônico. No momento da coleta das amostras para estudo, 14 de março de 2016, as árvores apresentavam 22 anos de idade. A coleta foi realizada em um único período de crescimento, selecionou-se o mês de março por ser um período de condições favoráveis para a atividade cambial, visto que, segundo Monteiro (2013), esse mês corresponde ao período de maior

precipitação no município. Foram selecionadas nove árvores sem bifurcações ou deformidades aparentes, com diâmetro médio a 1,30 m do solo (DAP), de 44,15 cm ( $\pm 6,28$ ) e foram obtidas no DAP de cada árvore amostras contendo câmbio, xilema e floema recentemente diferenciados. As coletas foram não destrutivas usando sonda Pressler (ponta tipo 3 x roscas, 300 mm de comprimento e 4,13 mm de diâmetro interno) e a profundidade de penetração da sonda no caule foi de aproximadamente cinco centímetros.

### **Análises anatômicas do câmbio e do xilema**

As amostras foram imediatamente fixadas em uma solução de 2,5% de glutaraldeído, 4,0% de formaldeído e 0,05 M de tampão de cacodilato de sódio a pH 7,2 (Da Cunha *et al.*, 2000), desidratadas numa série de álcool ascendente (Johansen 1940). Secções espessas (100  $\mu\text{m}$ ) do xilema recentemente diferenciado foram obtidas e maceradas durante 1 hora em uma mistura de quantidades iguais de ácido acético glacial e peróxido de hidrogênio (Ridoutt e Sands 1993). Os corpos de provas devidamente aparados foram então incorporados em Histo-resina® (Feder e O'Brien 1968). Os blocos formados foram seccionados com micrótomo rotativo com uma espessura de 3-5  $\mu\text{m}$  ao longo do plano longitudinal tangencial e transversal da zona cambial, também foram obtidos cortes histológicos com espessura de 10  $\mu\text{m}$  no plano longitudinal tangencial do xilema já diferenciado. As microscopias de campo claro e de fluorescência foram utilizadas para identificar se no mês da coleta o câmbio apresentava características típicas de atividade ou dormência. As análises de campo claro do câmbio secções histológicas foram coradas com azul de toluidina 0,05% (O'Brien *et al.*, 1964) e do lenho foram coradas com safranina

hidroalcoólica, ambas foram analisadas por meio de microscópio de luz Olympus BX 41. A detecção de lignina foi realizada com 40 min de aplicação do fluorocromo de Auramin-O  $1\text{mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ . As imagens foram adquiridas com microscópio confocal de varredura a laser LSM 780, com um sistema T-PMT e *software* Zen 2010 (Carl Zeiss, Alemanha) usando objetiva EC Plan-Neofluar 10x/0.3 M27, detector ChS1, divisor de feixe MBS 488 nm com 0,2% de laser, com filtro de excitação azul (470-490 nm) e filtro de emissão amarelo (515-565 nm) (Barros e Miguens 1998).

Todas as medições foram realizadas usando o *software* Image-Pro Express 6.0. Na secção transversal, foram medidas 25 camadas aleatórias de células na zona cambial onde medimos a largura da zona cambial em  $\mu\text{m}$  e em número de células, diâmetro radial de uma única célula inicial fusiforme e largura da camada de xilema em diferenciação. Na secção longitudinal tangencial, medimos o comprimento e o diâmetro tangencial de 25 células iniciais fusiformes ( $\mu\text{m}$ ) e o comprimento e a largura, em  $\mu\text{m}$  e em número de células, de 25 raios cambiais (agrupamentos de iniciais radiais), os parâmetros anatômicos do câmbio foram selecionados de acordo com De Vasconcellos *et al.* (2016). Para o xilema diferenciado, seguimos as recomendações da IAWA Committee (1989). Em secção transversal do xilema, foram medidos a frequência por  $\text{mm}^2$  e o diâmetro tangencial dos vasos, a partir de 25 observações, na secção tangencial foram medidas a altura e a largura ( $\mu\text{m}$  e número de células) de 25 raios, e, a partir do material macerado, foram medidos o comprimento de 25 elementos de vaso e fibras.

### **Análise estatística**

Realizou-se as análises univariadas utilizando-se o delineamento inteiramente casualizado (DIC) para algumas variáveis anatômicas quantificadas do câmbio (comprimento e diâmetro tangencial da inicial fusiforme, comprimento e largura dos raios cambiais) e do xilema (diâmetro dos vasos, comprimento dos elementos de vaso, altura e largura dos raios, comprimento, diâmetro do lúmen e espessura da parede das fibras) tendo como fonte de variação as árvores. Foi testada a homogeneidade das variâncias pelo teste de Bartlett a 5% de significância e verificou-se a normalidade dos resíduos pelo teste de Shapiro-Wilk a 5% de significância. Para a comparação múltipla das médias, utilizou-se o teste Scott-Knott a 5% de significância. Para verificar a formação de grupos distintos entre árvores, foram realizadas análises multivariadas de agrupamento (“cluster”) e para ordenar as árvores e os parâmetros anatômicos quantificados do câmbio e do xilema, realizou-se análise dos componentes principais (PCA). Todas as análises estatísticas foram realizadas utilizando-se o *software* R versão 2.14.1 (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2013).

## **Resultados e Discussão**

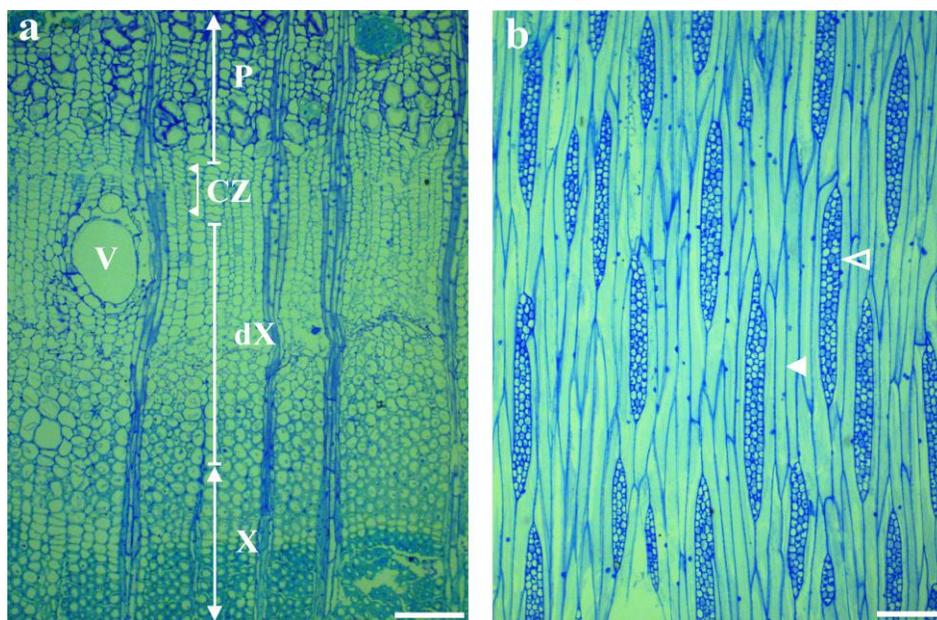
### **Caracterização anatômica do câmbio e do xilema de *S. parahyba* var. *amazonicum***

*S. parahyba* var. *amazonicum* apresentou zona cambial com aproximadamente 14 camadas de células iniciais fusiformes e largura média de 116 µm, observou-se também larga região de células de xilema imaturo em diferenciação adjacente à zona cambial que apresentou 435

$\mu\text{m}$  de largura (Tabela 1, Figura 1a, 2a). As iniciais fusiformes do câmbio foram não estratificadas, alongadas, com comprimento médio de 539  $\mu\text{m}$ , diâmetro tangencial de 25  $\mu\text{m}$  (Tabela 1, Figura 1b) e diâmetro radial de 8  $\mu\text{m}$  (Tabela 1, Figura 2a). Os raios cambiais foram não estratificados, mediram 352  $\mu\text{m}$  de comprimento com média de 21 células iniciais radiais em comprimento, apresentaram largura média de 55  $\mu\text{m}$  e foram seriados 3-5 células, com três iniciais radiais de largura (29,33%), com quatro (64%) e com cinco (6,66%) (Tabela 1, Figura 1b).

**Tabela 1.** Parâmetros anatômicos quantitativos (média e desvio padrão) da anatomia do câmbio *S. parahyba* var. *amazonicum*.

Parâmetros medidos	Média e Desvio Padrão
Número de camadas celulares na zona cambial	13,76 $\pm$ 3,12
Largura da zona cambial ( $\mu\text{m}$ )	115,98 $\pm$ 23,75
Diâmetro radial das células fusiformes ( $\mu\text{m}$ )	8,02 $\pm$ 1,29
Largura de camadas celulares de xilema em diferenciação ( $\mu\text{m}$ )	435,36 $\pm$ 92,99
Comprimento das iniciais fusiformes ( $\mu\text{m}$ )	539,12 $\pm$ 71,43
Diâmetro tangencial das iniciais fusiformes ( $\mu\text{m}$ )	25,04 $\pm$ 1,08
Comprimento dos raios cambiais ( $\mu\text{m}$ )	351,65 $\pm$ 63,54
Comprimento dos raios cambiais em número de células	20,73 $\pm$ 3,21
Largura dos raios cambiais ( $\mu\text{m}$ )	54,84 $\pm$ 14,11
Largura dos raios cambiais em número de células	3,68 $\pm$ 0,48

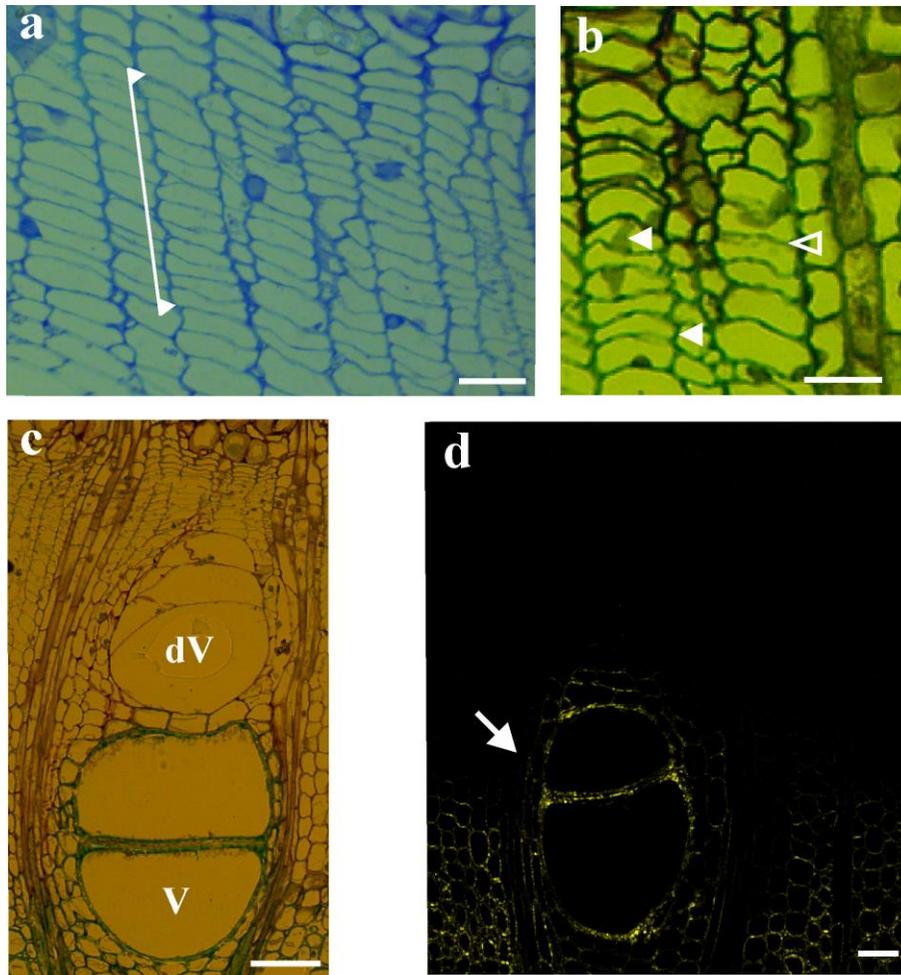


**Figura 1.** Secção transversal do caule e longitudinal tangencial do câmbio de *S. parahyba* var. *amazonicum*. (a) Secção transversal do caule contendo câmbio, xilema e floema recentemente diferenciados evidenciando zona cambial (CZ) e camadas de xilema em diferenciação (dX). (b) Secção longitudinal tangencial do câmbio evidenciando iniciais fusiformes (seta cheia) e raios cambiais (seta vazia). Vaso recém-formado em desenvolvimento (V), Floema (P) e xilema secundário diferenciado (X). Barra de escala: a – b. 150  $\mu$ m.

Bailey (1923) informou a presença de células cambiais estratificadas para muitos gêneros da família Fabaceae, porém muitos membros pertencentes às Caesalpinaceae têm apresentado câmbio não estratificado (Ghouse e Shamima, 1981; Rajput e Rao, 2001; Aref *et al.*, 2014). Marcati *et al.* (2008) descreveram o câmbio da espécie *Schizolobium parahyba* (Vell.) Blake como sendo não estratificada e com raios cambiais multisseriados. Bailey (1920) informou para várias espécies de Dicotiledôneas, de diferentes idades, que o comprimento das

células fusiformes do câmbio do caule variam entre 170  $\mu\text{m}$  (*Robinia pseudoacacia* L.) até 1.310  $\mu\text{m}$  (*Myristica philippensis* Lam). Assim, alguns dos resultados observados para a anatomia do câmbio de *S. parahyba* var. *amazonicum* corroboram com os estudos anteriores.

Observou-se que a histologia cambial das árvores avaliadas apresentou características de atividade, evidenciadas principalmente pelo número de camadas celulares da zona cambial (Figura 2a), pela presença de muitas divisões anticlinais e periclinais das iniciais fusiformes (Figura 2b), e também pela presença de camadas de xilema em diferenciação (Figura 1a, 2c). A microscopia de epi-fluorescência confirmou os resultados da microscopia de campo claro, pois o fluorocromo de Auramina O permitiu evidenciar um gradiente de lignificação das paredes das células do xilema secundário em diferenciação adjacentes à zona cambial (Figura 2d).



**Figura 2.** Características de atividade cambial em *S. parahyba* var. *amazonicum* no mês da coleta do estudo. Zona cambial mostrando em (a) número de camadas de células na zona cambial e em (b) iniciais fusiformes em divisões anticlinais (seta cheia) e em divisões periclinais (seta vazia). (c) Xilema secundário próximo à zona cambial evidenciando formação de um agrupamento de vasos em desenvolvimento (Dv) na diferenciação do xilema e vasos geminados já diferenciados adjacentes (V). (d) Secção transversal do xilema secundário próximo à zona cambial, corada com Auramina O, a seta branca indica células em processo de lignificação das paredes celulares. Barra de escala: a – b. 30  $\mu$ m, c. 100  $\mu$ m e d. 50  $\mu$ m.

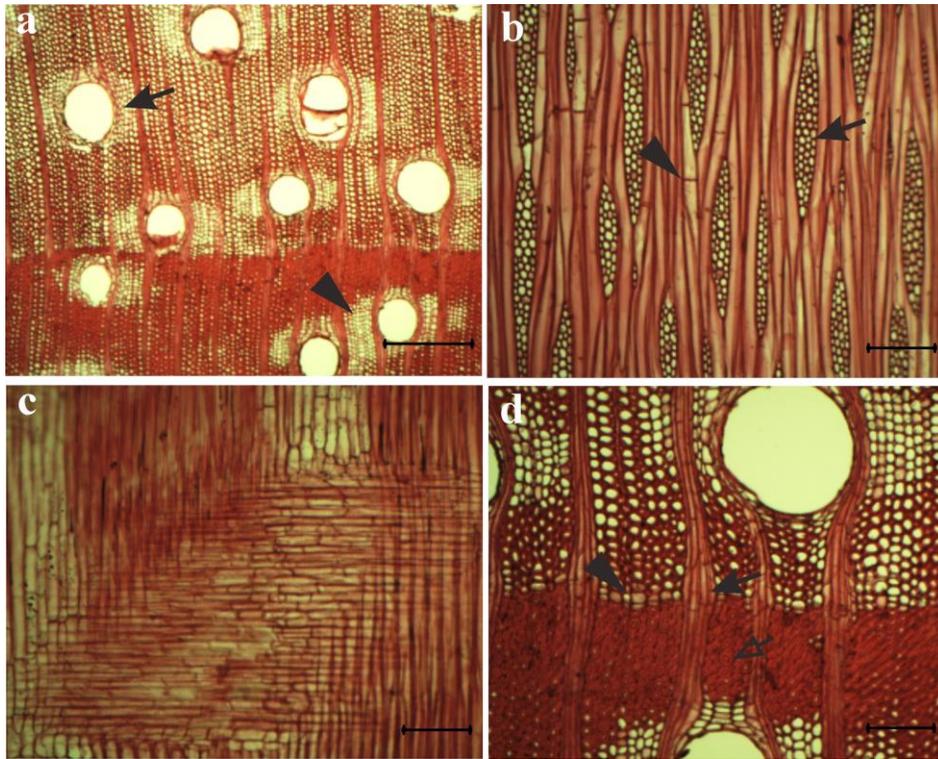
Estudos recentes, realizados em florestas tropicais, têm demonstrado que a atividade cambial é principalmente afetada pela estação chuvosa (Dié *et al.*, 2012, Pumijumnong e Buajan 2013, Patel *et al.*, 2014). Callado *et al.* (2013), revisando estudos que avaliaram a atividade cambial em espécies lenhosas na América do Sul, informaram que apesar de haver efeito de fatores endógenos sobre o câmbio, a sazonalidade das chuvas é apontada como fator principal que influencia a atividade cambial nos trópicos e subtropicais. O número de camadas de células fusiformes na zona cambial, 14 células em média, observado para a espécie deste estudo, foi semelhante aos valores de 12-20 descrito por Marcati *et al.* (2008) para o câmbio ativo de *S. parahyba* em uma floresta sazonal semidecídua no estado de São Paulo, Brasil. Segundo os autores, o período de maior atividade do câmbio ocorreu nos meses de janeiro e março, que correspondiam aos meses do ano com maiores índices de precipitação e de água no solo para região. Neste estudo, a amostragem do câmbio foi feita em um único período de crescimento, que correspondeu ao mês de março de 2016, que segundo Pismel *et al.* (2016) corresponde ao trimestre de maior oferta pluvial (750 mm a 1.200 mm) para região de Dom Eliseu que vai de fevereiro a março, assim, nossos resultados sugerem que a atividade do câmbio de *S. parahyba* var. *amazonicum* é influenciada positivamente pela precipitação na região do estudo, apesar de um maior período de acompanhamento ser necessário para afirmações mais contundentes. De fato, a disponibilidade de água no solo desempenha papel fundamental no controle da atividade cambial (Rajput e Rao, 2001) e o estresse hídrico inibe a divisão celular, pois reduz a pressão de *turgor* das células cambiais, dessa forma indiretamente

ocorre à inibição da atividade do câmbio por meio da redução do crescimento das folhas e dos meristemas apicais, todo esse processo afeta o fornecimento de hormônios e de assimilados necessário ao processo (Little 1975).

Para a estrutura anatômica do xilema observou-se camadas de crescimento demarcadas pelo maior espessamento da parede das fibras no lenho tardio, por faixas estreitas de parênquima marginal, e ainda, associado a essas características, observou-se também o alargamento dos raios no limites das camadas de crescimento (Figura 3a, d). Os vasos foram difusos, com frequência média de 1 vaso por  $\text{mm}^2$  e diâmetro tangencial médio de  $264 \mu\text{m}$  (Figura 3a), o comprimento médio dos elementos de vaso foi de  $380 \mu\text{m}$  (Tabela 2). Foram observadas fibras com pontuações simples ou areoladas diminutas e também a presença de fibras septadas, com comprimento médio de  $1.364 \mu\text{m}$ , diâmetro médio do lúmen de  $20 \mu\text{m}$ , diâmetro médio da fibra de  $29 \mu\text{m}$  e espessura média da parede de  $3 \mu\text{m}$  (Tabela 2). O parênquima axial foi paratraqueal aliforme simples de extensão losangular, por vezes confluentes em trechos curtos, podendo ocorrer parênquima paratraqueal vasicêntrico e também apotraqueal em estreitas linhas irregulares e concêntricas (Figura 3a). Os raios foram homogêneos, compostos de células procumbentes (Figura 3c), apresentaram altura média de  $339 \mu\text{m}$  e 23 em número de células, a largura média foi de  $35 \mu\text{m}$  e exatamente como os raios cambiais, foram seriados 3-5 células (Figura 3d), com três células parenquimáticas de largura (29,33%), com quatro (64%) e com cinco (6,66%) (Tabela 2).

**Tabela 1.** Parâmetros anatômicos quantitativos (média e desvio padrão) da anatomia do xilema de *S. parahyba* var. *amazonicum*.

Parâmetros medidos	Média e Desvio Padrão
Frequência de vasos (por mm <sup>2</sup> )	1,33 ± 0,36
Diâmetro tangencial dos vasos (µm)	263,79 ± 51,77
Comprimento dos elementos de vaso (µm)	380,41 ± 47,38
Comprimento das fibras (µm)	1364,21 ± 138,99
Diâmetro do lúmen das fibras (µm)	20,34 ± 2,38
Diâmetro das fibras (µm)	29,45 ± 3,16
Espessura da parede das fibras (µm)	4,55 ± 0,69
Altura dos raios (µm)	339,51 ± 41,88
Altura dos raios (nº de células)	22,88 ± 3,38
Largura dos raios (µm)	35,30 ± 3,15
Largura dos raios (nº de células)	3,77 ± 0,31



**Figura 3.** Características anatômicas do xilema diferenciado de *S. parahyba* var. *amazonicum*. (a) Secção transversal mostrando parênquima axial aliforme simples de extensão losangular (seta) e confluyente em trechos curtos (cabeça da seta). (b) Secção longitudinal tangencial evidenciando maior percentual de raios trisseriados e tetrasseriados (seta) e fibras septadas (cabeça da seta). (c) Secção longitudinal radial mostrando raios homogêneos compostos por células procumbentes. d – secção transversal mostrando camadas de crescimento, parênquima marginal (cabeça da seta), espessamento da parede das fibras no lenho tardio (seta vazia) e alargamento dos raios no limite das camadas de crescimentos (seta cheia). Barra de escala: a – b. 30  $\mu\text{m}$ , c. 100  $\mu\text{m}$  e d. 50  $\mu\text{m}$ .

O tipo de parênquima axial observado para a espécie foi também relatada por outros autores para o gênero *Schizolobium* (Mainieri e Chimelo 1989, Silva *et al.*, 2016). A presença de camadas de crescimento

distintas delimitadas por fibras de parede mais espessas no lenho tardio e mais finas no lenho inicial e também pela presença de parênquima marginal, foi relatado para a espécie *S. parahyba* por Mainieri e Chimelo (1989), Tomazello Filho *et al.* (2004) e Marcati *et al.* (2008). Para *S. parahyba* var. *amazonicum*, Pernía e Melandri (2006), descreveram os anéis de crescimento como indistintos para indivíduos coletados na Venezuela, já Silva *et al.* (2016) recentemente observaram em árvores da mesma espécie de ocorrência natural na Amazônia Oriental, camadas de crescimento com características semelhantes a deste estudo. Esta divergência entre os autores pode estar relacionada a diferentes efeitos ambientais, decorrentes de locais diferentes de coleta, já que camadas de crescimentos podem ser influenciadas principalmente por características climáticas e por outros fatores ambientais. Marcati *et al.* (2008), avaliando a atividade sazonal do câmbio da espécie, observaram que, na verdade, o parênquima marginal que delimita as camadas de crescimentos trata-se de faixas estreitas de células parenquimáticas formadas no início da estação chuvosa, que coincidem com o início da atividade cambial, sendo, portanto, um parênquima marginal do tipo inicial. Quanto à presença de alargamento dos raios no limite dos anéis de crescimento, informação semelhante foi relatada somente por Urbinati (2013) que estudou o lenho de árvores de 14 anos idade de *S. parahyba* var. *amazonicum* da Amazônia.

Quantitativamente os parâmetros referentes a vasos e fibras obtidos nesse estudo para o lenho de 22 anos de idade de *S. parahyba* var. *amazonicum* proveniente de plantio de enriquecimento de clareiras, foram próximos aos valores observados para a mesma espécie e de ocorrência

natural, no estado do Acre, no Brasil, para a madeira adulta, 22-33 anos (Lobão *et al.*, 2012) e para a madeira proveniente de diferentes municípios no estado do Pará, também no Brasil (Silva *et al.*, 2016). Para os raios, Pernía e Melandri (2006) informam valores semelhantes de altura e largura para indivíduos da espécie de ocorrência natural na Venezuela. Quanto às características anatômicas da madeira plantada de *S. parahyba* var. *amazonicum*, importantes valores da dimensão das fibras e dos vasos foram fornecidos por Silva (2014) para plantios na Amazônia com idades de 4, 5 e 6 anos. Esses valores são úteis para comparação com os resultados deste estudo, pois os valores referentes ao comprimento (1.053 a 1.105  $\mu\text{m}$ ) e espessura da parede (3,21 a 3,83  $\mu\text{m}$ ) das fibras e diâmetro dos vasos (180 a 207  $\mu\text{m}$ ) foram todos inferiores aos observados neste estudo, já a frequência dos vasos (3 a 4 por  $\text{mm}^2$ ) foi superior e o comprimento dos elementos de vaso (339 a 383  $\mu\text{m}$ ) foi semelhante. Essas diferenças entre os resultados observados para a dimensão das células estão principalmente relacionadas ao fato dos indivíduos avaliados por Silva (2014) apresentarem idades bem inferiores ao deste estudo e são decorrentes do processo de amadurecimento do câmbio que resulta numa mudança nas dimensões das iniciais cambiais, a qual por sua vez afeta as dimensões das células do xilema secundário (Plomion *et al.*, 2001).

Os resultados apresentados por Albino *et al.* (2012) relacionados ao efeito das características anatômicas sobre a qualidade da colagem da madeira em painéis de *Eucalyptus grandis*, indicaram que quanto maiores forem os valores do diâmetro dos vasos, espessura da parede das fibras, largura e o comprimento das fibras e largura dos raios, maior será a resistência da junta colada ao cisalhamento. Por outro lado, quanto maior

for a quantidade de vasos presentes na madeira, maior será a percentagem de falhas da madeira. Urbinati (2013) informou que a presença de vasos de maior diâmetro é um dos parâmetros anatômicos de maior importância para a penetração do adesivo na madeira no processo de colagem em painéis compensado produzidos com *S. parahyba* var. *amazonicum*. Assim, estando os valores observados para as características anatômicas quantitativas do xilema da espécie estudada de acordo com as literaturas citadas, se faz necessário estudos relacionados às propriedades tecnológicas da madeira da espécie proveniente desse modelo de plantio para determinação de sua qualidade para emprego na indústria de painéis.

#### **Variabilidade entre árvores da dimensão das células do câmbio e do lenho de *S. parahyba* var. *amazonicum***

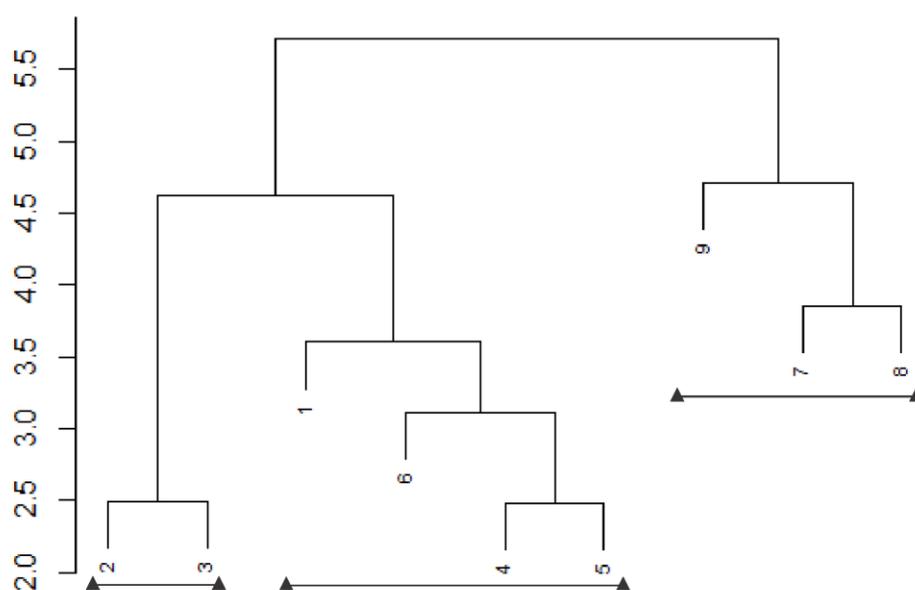
O Teste F detectou diferenças significativas ( $p$ -valor  $< 0,05$ ) entre as árvores para as características anatômicas quantitativas do câmbio que foram selecionadas para o teste (comprimento da inicial fusiforme, comprimento e largura dos raios cambiais em  $\mu\text{m}$  e número de células) com exceção do diâmetro tangencial da inicial fusiforme. Foram detectadas, também, diferenças estatisticamente significativas para as características anatômicas selecionadas do xilema das árvores (diâmetro dos vasos, comprimento dos elementos de vaso, comprimento, diâmetro do lúmen e espessura da parede das fibras). Na Tabela 3, é apresentada a comparação múltipla das médias entre as árvores para cada parâmetro anatômico do câmbio e do lenho.

**Tabela 2.** Dimensão das células iniciais do câmbio e do lenho das árvores de *S. parahyba* var. *amazonicum*.

Arvore	Câmbio							Lenho							
	CIF	DIF	CRC	CRCc	LRC	LRCc	VC	VD	RA	RAc	RL	RLc	CF	DF	PF
1	526,0 <sup>C</sup>	27,0 <sup>A</sup>	317,7 <sup>C</sup>	19,2 <sup>B</sup>	67,9 <sup>B</sup>	4,0 <sup>B</sup>	363,2 <sup>B</sup>	266,0 <sup>B</sup>	334,2 <sup>B</sup>	23,2 <sup>B</sup>	39,9 <sup>A</sup>	4,0 <sup>A</sup>	1300,1 <sup>C</sup>	20,9 <sup>B</sup>	4,8 <sup>B</sup>
	(26,82)	(0,80)	(18,39)	(1,18)	(2,35)	(0,09)	(16,73)	(4,42)	(16,22)	(1,01)	(0,96)	(0,06)	(39,89)	(0,77)	(0,17)
2	574,7 <sup>B</sup>	24,8 <sup>A</sup>	442,9 <sup>A</sup>	25,2 <sup>A</sup>	58,0 <sup>D</sup>	3,9 <sup>C</sup>	403,4 <sup>A</sup>	257,8 <sup>B</sup>	363,2 <sup>A</sup>	23,9 <sup>B</sup>	39,0 <sup>A</sup>	3,9 <sup>A</sup>	1362,6 <sup>C</sup>	19,4 <sup>C</sup>	4,7 <sup>B</sup>
	(20,65)	(0,87)	(31,15)	(1,72)	(1,71)	(0,11)	(19,31)	(7,07)	(20,96)	(1,31)	(1,68)	(0,11)	(51,38)	(0,88)	(0,21)
3	512,6 <sup>C</sup>	24,8 <sup>A</sup>	440,5 <sup>A</sup>	23,6 <sup>A</sup>	62,4 <sup>C</sup>	3,9 <sup>C</sup>	374,5 <sup>B</sup>	277,1 <sup>B</sup>	410,5 <sup>A</sup>	28,1 <sup>A</sup>	34,6 <sup>B</sup>	3,8 <sup>A</sup>	1280,6 <sup>C</sup>	24,0 <sup>A</sup>	5,0 <sup>B</sup>
	(14,90)	(0,89)	(38,27)	(1,83)	(1,76)	(0,12)	(20,35)	(9,92)	(25,02)	(1,56)	(1,27)	(0,12)	(45,45)	(0,85)	(0,18)
4	473,1 <sup>D</sup>	23,2 <sup>A</sup>	280,4 <sup>C</sup>	17,7 <sup>D</sup>	73,4 <sup>A</sup>	4,4 <sup>A</sup>	375,5 <sup>B</sup>	235,7 <sup>C</sup>	295,8 <sup>B</sup>	18,7 <sup>C</sup>	31,6 <sup>C</sup>	3,9 <sup>A</sup>	1319,8 <sup>C</sup>	23,9 <sup>A</sup>	4,7 <sup>B</sup>
	(18,50)	(1,02)	(12,31)	(0,81)	(2,55)	(0,11)	(14,18)	(7,53)	(12,60)	(0,56)	(1,81)	(0,13)	(46,61)	(0,83)	(0,22)
5	440,8 <sup>D</sup>	24,6 <sup>A</sup>	304,6 <sup>C</sup>	19,7 <sup>B</sup>	53,8 <sup>D</sup>	3,6 <sup>D</sup>	357,5 <sup>B</sup>	273,4 <sup>B</sup>	351,4 <sup>B</sup>	22,8 <sup>B</sup>	34,8 <sup>B</sup>	3,6 <sup>A</sup>	1287,1 <sup>C</sup>	19,1 <sup>C</sup>	5,8 <sup>A</sup>
	(14,36)	(0,99)	(16,22)	(0,91)	(1,52)	(0,12)	(24,72)	(9,81)	(17,71)	(0,90)	(1,56)	(0,12)	(51,84)	(0,66)	(0,15)
6	478,0 <sup>D</sup>	25,6 <sup>A</sup>	271,5 <sup>C</sup>	15,2 <sup>D</sup>	65,3 <sup>B</sup>	4,0 <sup>B</sup>	288,3 <sup>C</sup>	245,2 <sup>C</sup>	279,0 <sup>B</sup>	16,6 <sup>C</sup>	35,3 <sup>B</sup>	4,0 <sup>A</sup>	1172,8 <sup>D</sup>	20,8 <sup>B</sup>	4,7 <sup>B</sup>
	(16,72)	(0,82)	(7,57)	(0,60)	(1,77)	(0,11)	(16,43)	(9,01)	(9,01)	(0,66)	(0,98)	(0,01)	(41,28)	(0,74)	(0,17)
7	641,4 <sup>A</sup>	25,8 <sup>A</sup>	361,3 <sup>B</sup>	20,4 <sup>B</sup>	37,2 <sup>E</sup>	3,1 <sup>E</sup>	454,2 <sup>A</sup>	237,9 <sup>C</sup>	382,6 <sup>A</sup>	23,8 <sup>B</sup>	30,7 <sup>C</sup>	3,0 <sup>B</sup>	1411,9 <sup>C</sup>	19,0 <sup>C</sup>	4,0 <sup>C</sup>
	(16,38)	(0,78)	(18,80)	(1,25)	(1,06)	(0,08)	(15,30)	(10,77)	(19,17)	(1,10)	(0,90)	(0,01)	(54,42)	(0,40)	(0,12)
8	568,4 <sup>B</sup>	25,5 <sup>A</sup>	363,0 <sup>B</sup>	22,0 <sup>A</sup>	37,3 <sup>E</sup>	3,1 <sup>E</sup>	431,6 <sup>A</sup>	196,0 <sup>D</sup>	314,8 <sup>B</sup>	23,9 <sup>B</sup>	38,1 <sup>A</sup>	3,9 <sup>A</sup>	1498,5 <sup>B</sup>	19,0 <sup>C</sup>	3,4 <sup>D</sup>
	(24,02)	(0,68)	(13,92)	(0,92)	(1,27)	(0,06)	(13,46)	(9,85)	(9,35)	(0,78)	(1,46)	(0,10)	(32,71)	(0,66)	(0,12)
9	637,1 <sup>A</sup>	24,1 <sup>A</sup>	382,8 <sup>B</sup>	23,8 <sup>A</sup>	38,1 <sup>E</sup>	3,2 <sup>E</sup>	375,3 <sup>B</sup>	385,1 <sup>A</sup>	324,1 <sup>B</sup>	25,0 <sup>B</sup>	33,9 <sup>B</sup>	3,8 <sup>A</sup>	1644,5 <sup>A</sup>	16,9 <sup>D</sup>	3,9 <sup>C</sup>
	(19,49)	(0,80)	(14,68)	(1,07)	(0,94)	(0,07)	(13,52)	(13,43)	(14,14)	(1,04)	(1,37)	(0,12)	(41,91)	(0,44)	(0,16)

CIF = Comprimento das iniciais fusiformes ( $\mu\text{m}$ ); DIF = Diâmetro tangencial das iniciais fusiformes ( $\mu\text{m}$ ); CRC = Comprimento dos raios cambiais ( $\mu\text{m}$ ); CRCc = Comprimento dos raios cambiais em número de células; LRC = Largura dos raios cambiais ( $\mu\text{m}$ ); LRCc = Largura dos raios cambiais em número de células; VC = Comprimento dos elementos de vaso ( $\mu\text{m}$ ); VD = Diâmetro tangencial dos vasos ( $\mu\text{m}$ ); RA = Altura dos raios ( $\mu\text{m}$ ); RAc = Altura dos raios (nº de células); LR = Largura dos raios ( $\mu\text{m}$ ); RLc = Largura dos raios (nº de células); CF = Comprimento das fibras ( $\mu\text{m}$ ); DF = Diâmetro do lúmen das fibras; PF = Espessura da parede das fibras ( $\mu\text{m}$ ). Médias seguidas pela mesma letra na vertical não diferem pelo teste de Scott-Knott, a 5%. Valores entre parêntesis representam o erro padrão.

A análise de agrupamento (Figura 4) demonstrou que embora as árvores avaliadas sejam da mesma espécie, tenham a mesma idade e de ocorrência no mesmo sítio, houve uma grande variabilidade anatômica na dimensão das células do câmbio e do lenho entre as árvores plantadas, e os indivíduos puderam ser segregados em três grupos distintos.



**Figura 4.** Dendrograma resultante da Análise Cluster da dimensão das células do câmbio e do lenho para as nove árvores estudada de *S. parahyba* var. *amazonicum*.

A análise de componente principal (PCA) evidenciou que a dimensão das células do câmbio e do lenho varia dentro de fatores que, juntos, explicam 62% da variância total, na Tabela 3, encontram-se os autovetores e a variância explicada por essas variáveis latentes. A componente principal 1 explica 43,85% da variância total, os maiores

autovetores positivos são relativos à largura dos raios cambiais ( $\mu\text{m}$  e número de células), já os autovetores negativos mais significativos referem-se ao comprimento das iniciais fusiformes, dos elementos de vaso e das fibras (Tabela 3). A componente principal 2, responde por 17,95% da variação total e os autovetores negativos foram mais expressivos nessa componente, destacando-se principalmente o comprimento dos raios cambiais ( $\mu\text{m}$ ) e altura dos raios do lenho ( $\mu\text{m}$  e número de células), sendo a altura ( $\mu\text{m}$ ) de maior contribuição negativa neste componente (Tabela 3).

**Tabela 3.** Autovetores das variáveis originais nas duas primeiras componentes principais.

Variável original	Componente principal Autovetores	
	CP 1	CP 2
CIF = Comprimento das iniciais fusiformes ( $\mu\text{m}$ )	-0.340	0.123
DIF = Diâmetro tangencial das iniciais fusiformes ( $\mu\text{m}$ )	-0.019	0.034
CRC = Comprimento dos raios cambiais ( $\mu\text{m}$ )	-0.271	-0.389
CRCc = Comprimento dos raios cambiais em número de células	-0.301	-0.319
LRC = Largura dos raios cambiais ( $\mu\text{m}$ )	0.344	-0.237
LRCc = Largura dos raios cambiais em número de células	0.336	-0.229
VC = Comprimento dos elementos de vaso ( $\mu\text{m}$ )	-0.322	-0.044
VD = Diâmetro tangencial dos vasos ( $\mu\text{m}$ )	-0.114	-0.062
RA = Altura dos raios ( $\mu\text{m}$ )	-0.200	-0.461
RAc = Altura dos raios ( $n^\circ$ de células)	-0.286	-0.375
RL = Largura dos raios ( $\mu\text{m}$ )	0.020	-0.150
RLc = Largura dos raios ( $n^\circ$ de células)	0.194	-0.053
CF = Comprimento das fibras ( $\mu\text{m}$ )	-0.319	0.187
DF = Diâmetro do lúmen das fibras	0.244	-0.301
PF = Espessura da parede das fibras ( $\mu\text{m}$ )	0.225	-0.333
Autovalores	6,55	2,61
Variância acumulada	43,8	61,80

A dispersão das árvores estudadas de *S. parahyba* var. *amazonicum* em função dos escores e o diagrama de ordenação dos autovetores das duas primeiras componentes principais para a dimensão das células do câmbio e do lenho podem ser visualizados na Figura 5.

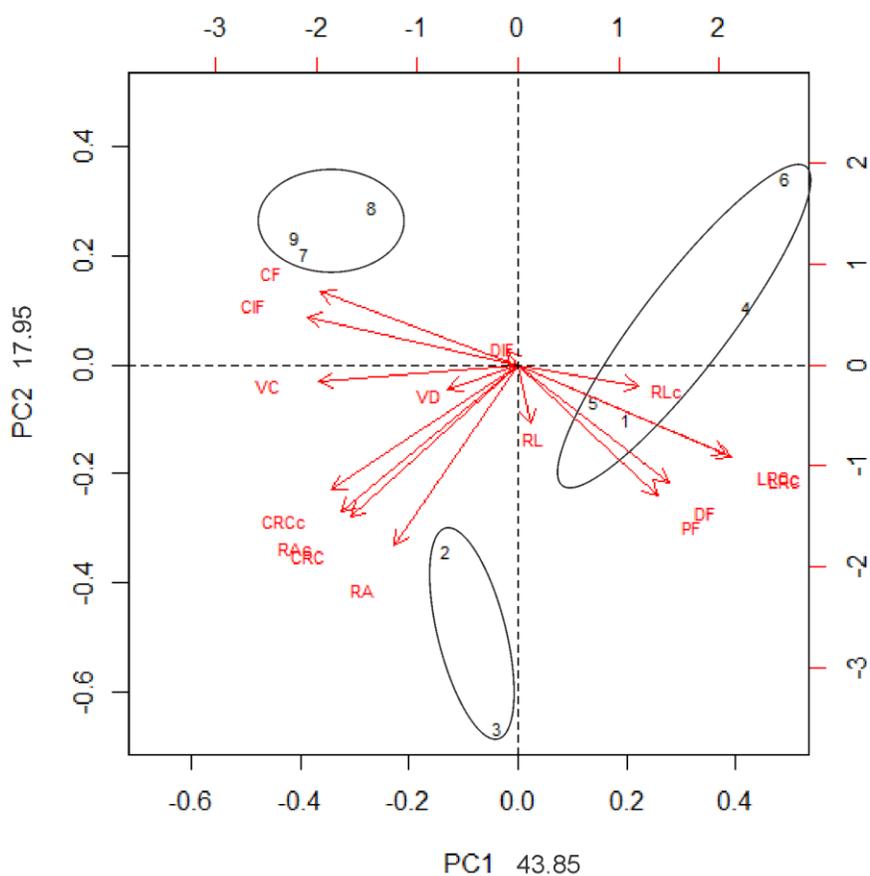


Figura 5. Dispersão das árvores de *S. parahyba* var. *amazonicum* em função dos escores e diagrama de ordenação dos autovetores das duas primeiras componentes principais.

Assim como na Análise de Agrupamento, a PCA evidenciou a formação de três grupos. Observou-se similaridade entre as árvores 7, 8 e

9, que formaram um grupo, sendo que o comprimento das iniciais fusiformes, dos elementos de vaso e das fibras foram as características mais relevantes no agrupamento dessas árvores e, na Tabela 2, há a confirmação que estas foram as árvores com maiores valores médios para estes parâmetros anatômicos, demonstrando assim, que árvores que apresentam iniciais fusiformes de maior comprimento tendem a produzir fibras e elementos de vaso de maior comprimento. Entre as árvores avaliadas de *S. parahyba* var. *amazonicum*, observou-se de forma geral, que o comprimento dos elementos de vaso tende a ser inferior e o das fibras tende a ser superior ao comprimento das iniciais fusiformes, e que apesar de inferior, os valores médios observados para os elementos de vaso foram mais próximos das iniciais fusiformes do que os valores observados para o comprimento das fibras. O menor comprimento dos elementos de vaso em relação às fusiformes pode ter relação com uma mudança na posição da parede na extremidade da célula durante a diferenciação, ou ocorrer devido ao encurtamento das iniciais cambiais por divisões anticlinais desiguais que geram células de comprimentos diferentes (Kitin *et al.*, 1999). Segundo Butterfield (1973), o comprimento das células axiais no xilema secundário depende de dois fatores, a saber: o comprimento das iniciais fusiformes a partir das quais são originadas e a quantidade de crescimento intrusivo que sofrem durante a sua diferenciação, assim como neste estudo, o autor informou relação positiva entre o comprimento das iniciais fusiformes e o comprimento dos elementos de vaso e das fibras para a madeira de *Hoheria angustifolia*, resultados observados nesta pesquisa corroboram também com a hipótese levantada pelo autor, de que os elementos de vaso

apresentam menor crescimento intrusivo e sofrem menos alterações no comprimento durante a diferenciação celular do que as fibras, sendo, portanto, mais propensos a representar a sequência de mudanças de tamanho que ocorreram dentro do câmbio.

As árvores 2 e 3 foram agrupadas principalmente pela relação positiva com o comprimento dos raios cambiais ( $\mu\text{m}$  e nº de células) e altura dos raios do lenho ( $\mu\text{m}$  e nº de células). Essas árvores apresentaram raios cambiais e raios do lenho com maiores medidas e mais células em altura quando comparadas às demais árvores estudadas (Tabela 2), o que indica relação positiva entre altura dos raios cambiais e dos raios do lenho. Pramod *et al.* (2013) estudando o efeito da aplicação de etileno sobre a estrutura do câmbio e da madeira recém-diferenciada de *Leucaena leucocephala*, observaram que as alterações dimensionais observadas nos raios cambiais se refletiram também no xilema diferenciado. Para este estudo com *S. parahyba* var. *amazonicum*, os resultados evidenciam que há estreita relação entre o tamanho dos raios do câmbio e o tamanho dos raios do lenho.

As árvores 1, 4, 5 e 6 podem ser consideradas como um único grupo em decorrência principalmente da similaridade na largura dos raios cambiais ( $\mu\text{m}$  e nº de células) e também no diâmetro do lúmen e espessura da parede das fibras, que para essas árvores foram maiores se comparadas às demais (Tabela 2).

A madeira é um material biológico que naturalmente apresenta acentuada variabilidade, que quase sempre é mais evidente entre espécie e dentro do mesmo indivíduo decorrente do padrão de desenvolvimento do câmbio e dos fatores exógenos e endógenos que lhe influenciam. Não

foram encontradas pesquisas que tenham avaliado especificamente a variabilidade da estrutura anatômica do câmbio entre árvores da mesma espécie, idade e que ocorrem no mesmo sítio. Ghouse e Shamima (1981) relataram variação significativa no comprimento das iniciais fusiformes entre árvores de *Delonix regia* de diferentes idades em diferentes circunferências na altura e observaram aumento do comprimento das iniciais fusiformes com o aumento da circunferência do caule das árvores. Recentemente Die *et al.* (2012) relataram diferenças na largura da zona cambial entre árvores individuais avaliadas de *Tectona grandis* e alertaram sobre a importância de considerar a variação entre árvores nos estudos com câmbio. Para a estrutura anatômica da madeira, apesar de maior enfoque ter sido dado às variações dentro das árvores ou entre diferentes ambientes, alguns trabalhos verificaram também diferenças significativas nas propriedades da madeira entre árvores da mesma espécie, idade e no mesmo sítio. Quilhó e Pereira (2001) observaram diferenças significativas da densidade da madeira entre árvores de *Eucalyptus glubulus*. Knapic *et al.* (2007) relataram variações significativas da densidade básica entre árvores de *Quercus suber*.

Segundo Cordeiro (1999), a espécie *S. parahyba* var. *amazonicum* responde bem à maioria das práticas silviculturais, mas apresenta grande variação no incremento, tanto em altura como em diâmetro dependendo das condições de preparo da área e de condições de plantio, do espaçamento utilizado, manejo e condições ambientais, como também pode variar em relação a locais e procedências das sementes. Os plantios de *S. parahyba* var. *amazonicum* na Amazônia utilizam mudas provenientes de sementes de diferentes localidades da região, o que leva à

variabilidade genética entre as árvores plantadas como observado por Ohashi *et al.* (2010). Acredita-se, entretanto que no modelo de plantio estudado, enriquecimento de clareiras, a acentuada variabilidade da estrutura anatômica do câmbio entre os indivíduos plantados e que foi demonstrada para influenciar variações significativas também na dimensão das células do lenho, seja devida às características do modelo de plantio adotado, já que as árvores são plantadas e se desenvolvem naturalmente na floresta não havendo intervenções ou tratamentos silviculturais após o terceiro ano de vida das plantas. Dessa forma as características de crescimento dos indivíduos plantados são semelhantes aos de ocorrência natural e, na mata, os diferentes graus de competição entre as árvores por luz, água e nutrientes do solo podem levar a diferenças nas características de crescimento e formação da madeira.

## **Conclusão**

*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* apresenta câmbio não estratificado, iniciais fusiformes longos e raios cambiais multisseriados.

A característica do modelo de plantio estudado levou a uma grande variabilidade entre árvores plantadas da dimensão das células do câmbio e do xilema. As dimensões das células do xilema foram mais próximas aos valores relatados para a madeira de origem natural do que para a madeira de plantio homogêneo.

O agrupamento das árvores avaliadas evidenciou que a dimensão das células do câmbio tem efeito sobre a dimensão de alguns parâmetros anatômicos do xilema.

Recomenda-se o estudo das propriedades tecnológicas da madeira da espécie proveniente de plantações em clareiras para verificar sua qualidade para produção de painéis.

## Referências

**Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas. ABRAF. 2013.** Anuário estatístico da ABRAF 2013: ano base 2012. Brasília, DF, Brazil. 142p.

**Aref, I.M.; Khan, P.R.; Al-Mefarrej, H.; Al-Shahrani, T.; Ismail, A.; Iqbal, M. 2014.** Cambial periodicity and wood production in *Acacia ehrenbergiana* Hayne growing on dry sites of Saudi Arabia. *Journal of Environmental Biology* 35:301-310.

**Albino, V.C.S.; Mori, F.A.; Mendes, L.M. 2012.** Influência das características anatômicas e do teor de extrativos totais da madeira de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden na qualidade da colagem. *Ciência Florestal* 22:803-811.

**Bailey, I.W. 1920.** The cambium and its derivative tissues II. Size variations of cambial initials in gymnosperms and angiosperms. *American Journal of Botany* 7: 355–367.

**Bailey, I.W. 1923.** The cambium and its derivative tissues. IV. The increase in girth of the cambium. *American Journal of Botany* 10:499-509

**Barneby, R.C. 1996.** Neotropical Fabales at NY: Asides and Oversights. *Brittonia* 48: 174-187.

**Barros, C.F.; Miguens, F.C. 1998.** Ultrastructure of the epidermal cells of *Beilschmiedia rigida* (Mez) Kosterm. (Lauraceae). *Acta Microscopica* 6:451–461.

**Butterfield, B.G. 1973.** Variation in the size of fusiform cambial initials and vessel members in *Hoheria angustifolia* Raoul. *New Zeland Journal of Botany* 11:391-410.

**Callado, C.H.; Roig, F.A.; Tomazello-Filho, M.; Barros, C.F. 2013.** Cambial growth periodicity studies of South American woody species—a review. *IAWA Journal* 34:213–230.

**CORDEIRO, I.M.C.C. 1999.** Performance diferencial de crescimento da espécie *Schizolobium amazonicum* (Huber) Ducke em sítios degradados sob diferentes regimes de preparação de área na microregião do Guamá, Aurora do Pará, Pará. Monografia (Especialização), Universidade Federal do Pará, Belém, Brasil.

**Silva, M.G. 2014.** *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby (PARICÁ) na Amazônia Oriental: caracterização anatômica e modelagem de crescimento. Tese, Universidade Federal de Lavras, Lavras, Brazil.

**Da Cunha, M.; Gomes, V.M.; Xavier-Filho, J.; Attias, M.; Souza, W.; Miguens, F.C.; 2000.** Laticifer system of *Chamaesyce thymifolia*: a closed host environment for Trypanosomatids. *Biocell* 24(2):123–132.

**De Vasconcellos, T.J.; Da Cunha, M.; Callado, C.H. 2016.** A comparative study of cambium histology of *Ceiba speciosa* (A. St.-Hil.)

Ravenna (Malvaceae) under urban pollution. *Environmental Science and Pollution Research* 23:1-14.

**Die, A.; Kitin, P.; Kouame, F.N.; Van den Bulcke, J.; Van Acker, J.; Beeckman, H. 2012.** Fluctuations of cambial activity in relation to precipitation result in annual rings and intra-annual growth zones of xylem and phloem in teak (*Tectona grandis*) in Ivory Coast. *Annals of Botany* 110:861-873.

**Feder, N.; O'Brien, T.P. 1968.** Plant microtechnique: some principles and new methods. *American Journal of Botany* 55:123–142.

**Gomes, J.M.; Carvalho, J.O P.; Silva, M.G.; Nobre, D.N.V.; Taffarel, M.; Ferreira, J.E.R.; Santos, R.N.J. 2010.** Sobrevivência de espécies arbóreas plantadas em clareiras causadas pela colheita de madeira em uma floresta de terra firme no município de Paragominas na Amazônia brasileira. *Acta Amazonica* 40:171-178.

**Ghouse, A.K.M.; Hashmi, S. 1981.** Developmental-changes in the vascular cambium of *Delonix regia* Rafin. *Indian Academy of Sciences-Plant Sciences* 90:143-&

**Iawa List of Microscopic Features for HardWood Identification -** With an Appendix on Non-anatomical Information 1989. *Iawa Bulletin* 10:219-&

**Iwakiri, S.; Matos, J.L.M.; Pinto, J.A.; Viana, L.C.; Souza, M.M.; Trianoski, R.; Almeida, V.C. 2010a.** Produção de painéis laminados unidirecionais – LVL com lâminas de *Schizolobium amazonicum*, *Eucalyptus saligna* e *Pinus taeda*. *Cerne* 16:557-563.

**Iwakiri, S.; Zeller, F.; Pinto, J.A.; Ramirez, M.G.L.; Souza, M.M.; Seixas, R. 2010b.** Avaliação do potencial de utilização da madeira de *Schizolobium amazonicum* “Paricá” e *Cecropia hololeuca* “Embaúba” para produção de painéis aglomerados. *Acta Amazonica*. 40:303 – 308.

**Johansen, D.A. 1940.** *Plant microtechnique*. McGraw-Hill, New York. 523 p.

**Kitin, P.; Funada, R.; Sano, Y.; Beeckman, H.; Ohtani, J. 1999.** Variations in the lengths of fusiform cambial cells and vessel elements in *Kalopanax pictus*. *Annals of Botany* 84:621-632.

**Knopic, S.; Louzada, J.L.; Leal, S.; Pereira, H. 2007.** Within-tree and between-tree variation of wood density components in cork oak trees in two sites in Portugal. *Forestry* 81:465-473.

**Lamprecht, H. 1990.** *Silvicultura nos trópicos: Ecosystemas florestais e respectivas espécies arbóreas - possibilidades e métodos de aproveitamento sustentado*. Instituto de Silvicultura da Universidade Gottingen. Eschborn. Rep. Federal da Alemanha. 343p.

**Little, C.H.A 1975.** Inhibition of cambial activity in *Abies balsamea* by internal water stress: role of abscisic acid. *Canadian Journal of Botany* 53: 3041-3050.

**Lobão, M.S.; Costa, D.P.; Almonacid, M.A.A.; Tomazello Filho, M. 2012.** Qualidade do lenho de árvores de *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* Acre, Brasil. *Floresta e ambiente* 19: 374-384

**Mainieri, C.; Chimelo, J.P. 1989.** Fichas de características das madeiras brasileiras. Instituto de Pesquisas Tecnológicas, IPT, São Paulo.

**Marcati, C.R.; Milanez, C.R.D.; Machado, S.R. 2008.** Seasonal development of secondary xylem and phloem in *Schizolobium parahyba* (Vell.) Blake (Leguminosae: Caesalpinioideae). *Trees - Structure and Function* 22:3-12.

**Martorano, L.G.; Monteiro, D.C.A.; Brienza Junior, S.; Lisboa, L.S.; Espírito Santo, J.M.; Almeida, R.F. 2011.** Top-bioclimate conditions associated to natural occurrence of two Amazonian native tree species for sustainable reforestation in the State of Pará, Brazil. In: Villacampa, Y.; Brebbia, C. A. Ecosystems and Sustainable Development VIII. Ashurst Lodge: Wittpress. p 111-122.

**Monteiro, D.C.A. 2013.** Condições topoclimáticas preferenciais para o plantio de paricá (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby) e evidências de desempenho para otimizar a silvicultura em áreas desflorestadas na Amazônia. Dissertação, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Piracicaba, Brazil.

**O’Brien, T.P.; Feder, M.; McCully, M.E. 1964.** Polyehromatic staining of plant cell walls by toluidine blue O. *Protoplasma* 59:367–373

**Ohashi, S.T.; Yared, J.A.G.; Neto, J.T.F. 2010.** Variabilidade entre procedências de paricá *Schizolobium parahyba* var *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby plantadas no município de Colares - Pará. *Acta Amazônica* 40: 81-88.

**Patel, V.R.; Pramod, S.; Rao, K.S. 2014.** Cambial activity, annual rhythm of xylem production in relation to phenology and climatic factors

and lignification pattern during xylogenesis in drum-stick tree (*Moringa oleifera*). *Flora* 209:556-566.

**Pernía, N.E.; Melandri, J.L. 2006.** Wood anatomy of the tribe Caesalpinieae (Leguminosae, Caesalpinioideae) in Venezuela. *IAWA Journal* 27: 99-114.

**Pismel, V.A.M.; Martorano, L.G.; Monteiro, D.C.A.; Lisboa, L.S. 2016.** Produto modis associado à condição hídrica no solo para diferenciar padrões na vegetação no município de Dom Eliseu, Pará. *Revista Brasileira de Climatologia* 19:178-190.

**Plomion, C.; Leprovost, G.; Stokes, A. 2001.** Wood formation in trees. *Plant Physiology* 127:1513-1523.

**Pramod S.; Patel, P.B.; Rao, K.S. 2013.** Influence of exogenous ethylene on cambial activity, xylogenesis and ray initiation in young shoots of *Leucaena leucocephala* (lam.) de Wit. *Flora* 208:549-555.

**Pumijumnong, N.; Buajan, S. 2013.** Seasonal cambial activity of five tropical tree species in central Thailand. *Trees - Structure and Function* 27:409–417.

**Quilhó, T.; Pereira, H. 2001.** Within and between-tree variation of bark content and wood density of *Eucalyptus globulus* in commercial plantations. *IAWA Journal* 22:255-265.

**R Development Core Team. R. 2013.** A language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing. [online] <<http://www.R-project.org/>>. [Consulted: 18 December 2016].

**Rajput, R.S.; Rao, K.S. 2001.** Cambial activity and development of xylem in *Tamarindus indica* L. growing in different forests of gujarat state. *Acta Botanica Hungarica* 43:379-390.

**Silva, M.G. 2014.** *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby (PARICÁ) na Amazônia Oriental: caracterização anatômica e modelagem de crescimento. Tese, Universidade Federal de Lavras, Lavras, Brazil.

**Silva, M.G.; Mori, A.K.; Ferreira, G.C.; Ribeiro, A.O.; Carvalho, A.G.; Barbosa, A.C.M. 2016.** Estudo anatômico e físico da madeira de *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* proveniente de povoaamentos nativos da Amazônia Oriental. *Scientia Forestalis* 44: 293-301.

**Terezo, R.F.; Szucs, C.A. 2010.** Análise de desempenho de vigas em madeira laminada colada de parica (*Schizolobium Amazonicum* Huber ex. Ducke). *Scientia Forestalis* 38:471-480.

**Tomazello Filho, M.; Lisi, C.S.; Hansen, N.; Cury, G. 2004.** Anatomical features of increment zones in different tree species in the State of São Paulo, Brazil. *Scientia Forestalis* 46: 45-65.

**Urbinati, C.V. 2013.** Influência das características anatômicas em juntas coladas de *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby (PARICÁ). Tese. Universidade Federal de Lavras, Lavras, Brasil.

**Zeller, F.; Barbu, M.C.; Iwakiri, S. 2013.** Paricá (*Schizolobium amazonicum*) and embaúba (*Cecropia* sp.) as new raw materials for

particleboards. *European Journal of Wood and Wood Products* 71: 823–825.



**ARTIGO 2 - VARIAÇÃO AXIAL DA ANATOMIA DO CÂMBIO E DO  
LENHO DE ÁRVORES DE *Schizolobium parahyba* VAR. *amazonicum*  
(HUBER EX DUCKE) BARNEBY**

**(VERSÃO PRELIMINAR)**

**Artigo formatado de acordo com as normas para submissão do  
periódico Annals of Forest Science**

### Resumo

O câmbio é o tecido meristemático responsável pela formação da madeira, a variabilidade observada nas células do xilema está em consonância com variações semelhantes nas dimensões das iniciais cambiais, que ocorrem entre espécies, entre diferentes partes de uma árvore e entre indivíduos de diferentes condições ambientais. O objetivo deste estudo foi descrever detalhadamente a anatomia do câmbio de *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum*, incluindo a variação longitudinal dentro da árvore e determinar também o efeito da dimensão das células do câmbio nas características anatômicas do lenho. Foram extraídas amostras contendo câmbio, xilema e floema recentemente diferenciados, por método não destrutivo de três árvores e em três níveis de altura e um único período de crescimento. A partir de secções histológicas do câmbio e do lenho, foram analisadas as variações dentro da árvore das dimensões destas células e estabelecidas relações funcionais entre a estrutura anatômica do câmbio e do xilema. Observou-se redução da base para o topo das árvores no câmbio, para o número de camadas celulares e largura da zona cambial, comprimento e diâmetro radial das células fusiformes e comprimento dos raios cambiais, e no lenho, para o comprimento dos elementos de vaso e das fibras, bem como para a altura e largura dos raios; entretanto, para a largura dos raios cambiais, observou-se aumento dos valores médios da base para o topo das árvores. Observou-se tendência linear crescente ( $R^2 = 0,72$ ) entre as médias do número de camadas celulares na zona cambial e o diâmetro do caule nas diferentes alturas avaliadas. A altura dos raios do lenho (nº de células) foi positivamente correlacionada com o comprimento dos raios cambiais em  $\mu\text{m}$  ( $r = 0,71$ ) e em número de células ( $r = 0,79$ ). O comprimento das iniciais fusiformes correlacionou-se positivamente com o comprimento dos elementos de vaso ( $r = 0,78$ ), com o comprimento das fibras ( $r = 0,74$ ), com a altura dos raios do lenho em  $\mu\text{m}$  ( $r = 0,79$ ) e em número de células ( $r = 0,92$ ). Nossos resultados demonstraram que as dimensões das células do xilema secundário da espécie são fortemente dependentes das modificações estruturais das iniciais cambiais decorrentes do crescimento da árvore.

**Palavras-chave:** Variação longitudinal, dimensões das células cambiais e do lenho, paricá.

## Introdução

O *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby, conhecido popularmente em toda a Amazônia como paricá, é uma variação da espécie *Schizolobium parahyba* (Vell.) Blake, pertencente à família Fabaceae (Barneby 1996; Lewis 2015) e ocorre naturalmente nas partes brasileiras, peruana, boliviana e venezuelana da Região Amazônica (Carvalho e Viegás 2004). É uma espécie que demonstra bom desempenho silvicultural no Brasil e tem sido utilizada há bastante tempo, principalmente nos estados da Região Norte do país, tanto em plantios homogêneos ou mistos em pleno sol, como em plantios de enriquecimento de clareiras. Apresenta boa adaptação em locais de alta luminosidade (Sabogal et al., 2006) e rápido crescimento, de 30 a 35 m<sup>3</sup>/ha.ano em plantios homogêneos (ABRAF 2012). Apesar de todas estas características, ainda são poucos os estudos relacionadas à silvicultura, melhoramento genético e principalmente propriedades da madeira da espécie.

A madeira é uma matéria-prima que apresenta grande variabilidade em suas propriedades tecnológicas que se devem principalmente às variações correspondentes em sua composição celular, as quais são influenciadas em parte por alterações nas dimensões e quantidade celular das iniciais fusiformes e radiais do câmbio (Bailey 1920; Patel et al., 2014), e em parte pelas mudanças de desenvolvimento que ocorrem durante a diferenciação quanto à taxa e duração desta fase (Ridoutt e Sands 1993, 1994; Anfodillo et al., 2012). O câmbio é o tecido meristemático responsável pela formação do xilema e do floema secundários, e suas células apresentam variações quantitativas em função

de fatores genéticos e ambientais, também entre árvores e em diferentes partes destas, como alterações das dimensões das iniciais fusiformes e radiais em função do diâmetro do caule (Iqbal e Ghouse 1990) e de diferentes alturas dentro da árvore (Ridoutt e Sands 1993; Myskow e Zagórska-Marek 2004), são relatadas também variações devido à atividade sazonal do câmbio (Kitin et al., 1999; Aref et al. 2014).

Foram relatadas relações positivas significativas entre o comprimento das iniciais fusiformes com o comprimento das fibras (Ridoutt e Sands 1993; Khan e Siddiqui 2007; Patel et al., 2014) e com comprimento dos elementos de vaso (Kitin et al., 1999), mas ainda é insuficiente as informações disponíveis que dão suporte quantitativo ao entendimento do quanto as alterações das células do câmbio tem efeito sobre a variabilidade observada nas dimensões das células do lenho. Segundo Włoch et al. (2013), comparativamente aos estudos sobre a variabilidade das propriedades da madeira, as pesquisas voltadas para o detalhamento da estrutura anatômica do câmbio têm recebido pouca atenção.

Esta pesquisa concorda com a ideia de Whetten e Sederoff (1991) e Ridoutt e Sands (1994) que afirmam que para controlar a qualidade da madeira em florestas industriais se faz necessário compreender os processos de produção e diferenciação de células do lenho, e assim, como proposto por Ridoutt e Sands (1993, 1994), este estudo compara as dimensões e quantidades das células do câmbio em três níveis de altura dentro das árvores e um único período de crescimento escolhido para corresponder às condições favoráveis de produção de novas células. Assim, o objetivo deste estudo foi descrever detalhadamente a anatomia

do câmbio de *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum*, incluindo a variação longitudinal dentro da árvore e determinar também o efeito da variação das dimensões das células do câmbio sobre as características quantitativas da anatomia do lenho das árvores.

### **Material e métodos**

Foram estudadas árvores da espécie *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby (paricá) de 22 anos de idade, oriundas de plantio de enriquecimento de clareiras, abertas pela exploração madeireira de baixo impacto da Fazenda Shet de propriedade do Grupo Arboris, localizada no município de Dom Eliseu, Mesorregião do Sudeste do Estado do Pará, Brasil, que se encontra entre as latitudes 03°46,2'S e 04°37,11'S e longitudes 48° 23,4'W e 47°17,4'W (Pismel et al., 2016). As temperaturas médias situam-se entre 25,0 a 25,8 °C e a precipitação pluvial anual em torno de 2.000 mm (Martorano et al., 2011), sendo os meses de maior precipitação o período de janeiro a abril, quando se concentram as maiores variações pluviais que equivalem a 64% do valor total médio anual (Pismel et al., 2016). A área experimental sofreu exploração de impacto reduzido no ano de 1994, em uma área correspondente a 158 ha, formando as clareiras que no mesmo ano foram enriquecidas com sementes de paricá.

A coleta foi realizada em 14 de março de 2016, por ser o período de maior precipitação e disponibilidade de água no solo para a região Monteiro (2013) e, por isso, apresentar condições favoráveis para o crescimento das árvores. Foram obtidas amostras de caule de três árvores da espécie, sem bifurcações ou deformidades aparentes, contendo câmbio,

xilema e floema recentemente diferenciados, as coletas foram não destrutivas por meio de sonda Pressler. As três árvores selecionadas apresentaram altura comercial média de 26,65 m ( $\pm$  10,60) e diâmetro médio a 1,30 m do solo de 39,7 cm ( $\pm$  10,8). A amostragem axial da base para o topo foi ao lado Norte (Ridoutt e Sands 1993) a 0, 50 e 100% da altura comercial (Tabela 1), considerou-se a altura comercial a medida da base da árvore até a primeira inserção significativa de galhos (Santos et al., 2001).

Tabela 1. Medidas do diâmetro em cada altura avaliada das árvores.

Altura a partir da base (%)	Diâmetro (cm)		
	Árvore 1	Árvore 2	Árvore 3
100 - Topo	21,34	19,75	38,85
50 - Meio	29,30	31,53	47,77
0 - Base	34,44	35,67	54,78

As amostras coletadas foram imediatamente fixadas em uma solução de 2,5% de glutaraldeído, 4,0% de formaldeído e 0,05 M de tampão de cacodilato de sódio a pH 7,2 (Da Cunha et al., 2000) e desidratadas numa série de álcool ascendente (Johansen 1940). Secções espessas (100  $\mu$ m) do lenho já diferenciado próximo à zona cambial foram obtidas e maceradas durante 1 hora em uma mistura de quantidades iguais de ácido acético glacial e peróxido de hidrogênio (Ridoutt e Sands 1993). Os corpos de provas devidamente aparados foram então incorporados em Histo-resina® (Feder e O'Brien 1968). Os blocos formados foram seccionados com micrótomo rotativo com uma espessura

de 3-5  $\mu\text{m}$  ao longo do plano longitudinal tangencial e transversal da zona cambial, e também foram obtidos cortes histológicos com espessura de 10  $\mu\text{m}$  no plano longitudinal tangencial do lenho das árvores. As microscopias de campo claro e de fluorescência foram utilizadas para identificar, se no mês da coleta, o câmbio apresentava características típicas de atividade ou dormência. Para as análises de campo claro do câmbio, secções histológicas foram coradas com azul de toluidina O 0,05% (O'Brien et al., 1964) e do lenho foram coradas com safranina hidroalcoólica, ambas foram analisadas por meio de microscópio de luz Olympus BX 41. A detecção de lignina foi realizada com 40 min de aplicação do fluorocromo de Auramin-O  $1\text{mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ . As imagens foram adquiridas com microscópio confocal de varredura a laser LSM 780 com um sistema T-PMT e *software* Zen 2010 (Carl Zeiss, Alemanha) usando objetiva EC Plan-Neofluar 10x/0.3 M27, detector ChS1, divisor de feixe MBS 488 nm com 0,2% de laser, com filtro de excitação azul (470-490 nm) e filtro de emissão amarelo (515-565 nm) (Barros e Miguens, 1998).

As medições foram realizadas usando o *software* Image-Pro Express 6.0. Os parâmetros anatômicos medidos do câmbio foram de acordo com De Vasconcellos et al. (2016).

Foram feitas 25 contagens e mensurações para os parâmetros anatômicos avaliados do câmbio e do lenho. Para câmbio, foi feito segundo recomendado por De Vasconcellos et al. (2016): número de camadas celulares na zona cambial, largura da zona cambial ( $\mu\text{m}$ ), diâmetro radial das células fusiformes ( $\mu\text{m}$ ), largura das camadas células do xilema em diferenciação ( $\mu\text{m}$ ), comprimento das iniciais fusiformes ( $\mu\text{m}$ ), diâmetro tangencial das iniciais fusiformes ( $\mu\text{m}$ ), comprimento dos

raios cambiais ( $\mu\text{m}$  e n° de células), largura dos raios cambiais ( $\mu\text{m}$  e n° de células). Para o lenho, foram feitas segundo recomendação da IAWA Committee (1989): comprimento dos elementos de vaso ( $\mu\text{m}$ ), comprimento das fibras ( $\mu\text{m}$ ), altura dos raios ( $\mu\text{m}$  e n° de células) e largura dos raios ( $\mu\text{m}$  e n° de células).

Na avaliação das características da madeira, foram realizadas análises de variância (ANAVA) considerando-se o delineamento inteiramente casualizado (DIC) disposto em um esquema fatorial duplo 3 x 3, três árvores e três posições axiais na altura. De forma preliminar à análise de variância, foi realizado o teste de homogeneidade de variância (teste Bartlett a 5% de significância) e analisada também a normalidade dos resíduos pelo teste de Shapiro-Wilk a 5% de significância, para todos os parâmetros anatômicos avaliados do câmbio e do xilema diferenciado. Quando verificado efeito significativo pelo Teste F (5% de significância) da análise de variância entre as alturas da árvore, aplicou-se o teste de Scott-Knott a 5% de significância para a comparação múltipla das médias. A partir dos valores médios obtidos para os parâmetros medidos em cada altura amostrada nas árvores, foram realizadas análise de correlação de Pearson e análise de regressão linear para avaliar as relações funcionais entre os parâmetros anatômicos medidos do câmbio e a dimensão das células do xilema diferenciado. Todas as análises estatísticas foram realizadas usando o *software* R, versão 3.0.1 (R Development Core Team, 2013), através dos pacotes ExpDes (Ferreira et al., 2013) e Stats (R Development Core Team, 2013).

## **Resultados**

### **Variação axial da estrutura anatômica do câmbio e do xilema diferenciado**

O câmbio de *S. parahyba* var. *amazonicum* apresentou iniciais fusiformes e radiais não estratificadas. Observou-se que as iniciais fusiformes do câmbio passavam por muitas divisões anticlinais e periclinais em todas as alturas avaliadas no fuste das árvores, foi marcante a presença de diversas camadas de células de xilema em diferenciação (Fig. 1a, b) e também se evidenciou por meio do fluorocromo de Auramina O, um gradiente de lignificação das paredes das células no xilema secundário adjacente à zona cambial em todas as alturas avaliadas (Fig. 2a, b). Essas características indicam que, no mês em que se realizou a coleta, o câmbio das árvores avaliadas encontrava-se ativo em todas as alturas do caule das árvores.

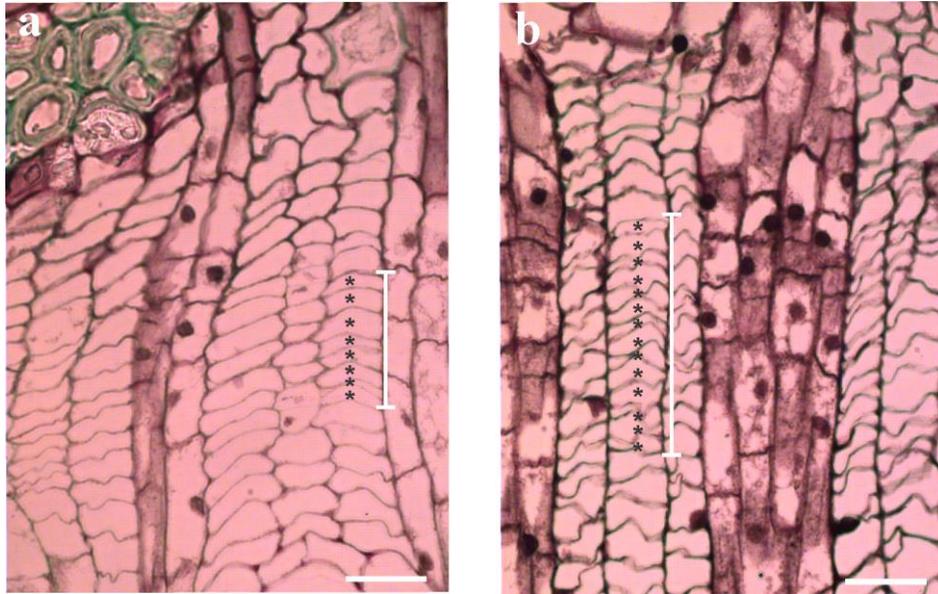


Fig. 1 Secção transversal da zona cambial mostrando variação axial do número de camadas celulares na zona cambial e da largura da zona cambial ( $\mu\text{m}$ ). (a) 100% da altura, observar menor largura zona cambial (nº de células e  $\mu\text{m}$ ) e (b) 0% da altura, maior largura. Asteriscos diferenciam células fusiformes na zona cambial das demais células de xilema e floema secundário em diferenciação já em processo de expansão. Barra de escala: 30  $\mu\text{m}$ .

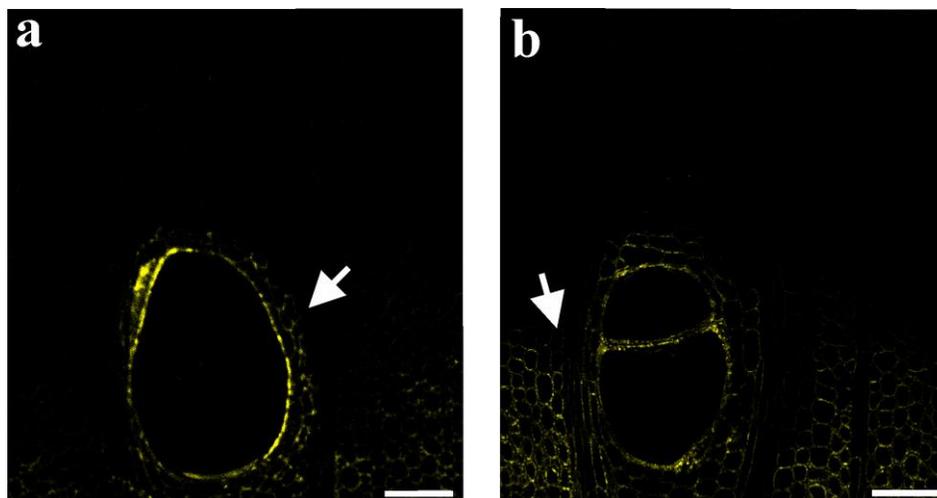


Fig. 2 Gradiente de lignificação das paredes celulares do xilema em diferenciação adjacente a zona cambial corada com Auramina O (seta), indicando atividade cambial em diferentes alturas avaliadas no caule de *S. parahyba* var. *amazonicum*. (a) 100% da altura e em (b) 0% da altura das árvores. Barra de escala: 100  $\mu$ m.

Quantitativamente observou-se que a variação axial (base-topo) foi estatisticamente significativa, a 5% de significância pelo Teste F, para todos os parâmetros anatômicos avaliados do câmbio e ainda, com exceção da largura dos raios cambiais ( $\mu$ m e número de células), todos os demais parâmetros também apresentaram efeito significativo da interação entre árvores e posição axial. Assim, para estes parâmetros anatômicos optou-se em avaliar o efeito da posição axial para cada árvore individualmente e verificar seus diferentes padrões de variação.

Para o número de camadas celulares na zona cambial e para a largura da zona cambial ( $\mu$ m), o efeito da variação axial foi significativo somente para as árvores 2 e 3 nas quais se verificou redução destas características da base para o topo (Fig. 1a, 1b, 3A, 3B).

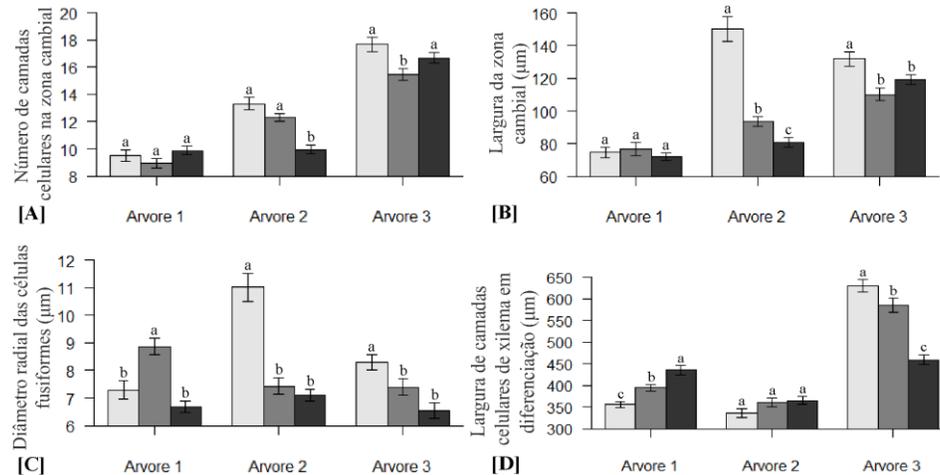


Figura. 3 Comparação múltipla das médias entre as alturas das árvores de *S. parahyba* var. *amazonicum*. A – Número de camadas celulares na zona cambial. B - Largura da zona cambial ( $\mu\text{m}$ ). C – Diâmetro radial das células fusiformes ( $\mu\text{m}$ ). D – largura de camadas celulares de xilema em diferenciação ( $\mu\text{m}$ ). Barras verticais indicam erro padrão. Médias seguidas de letras diferentes diferem estatisticamente pelo teste de Scott Knott a 5% de significância ( $p < 0.05$ ). Designação das cores: □ 0% ■ 50% ■ 100%

Para o diâmetro radial das células fusiformes ( $\mu\text{m}$ ) o efeito da variação axial foi significativo para todas as árvores avaliadas (Fig. 3C). Para a árvore 1, entre as diferentes posições axiais, houve flutuação do diâmetro radial médio das fusiformes e não houve tendência consistente observada da base em direção ao topo desta árvore, mas para as árvores 2 e 3, o perfil de variação axial para esta característica foi nitidamente decrescente da base para o topo das árvores (Fig. 3C).

A largura de camadas celulares de xilema em diferenciação variou significativamente com a altura somente nas árvores 1 e 3, enquanto na

árvore 1 a variação axial foi crescente da base para o topo, na árvore 3 o comportamento axial foi o oposto (Fig. 3D).

O comprimento das iniciais fusiformes demonstrou comportamento semelhante para todas as árvores, de forma geral, foi decrescente da base para o topo das árvores (Fig. 4a, 4b). Entretanto interação significativa foi observada, pois enquanto as árvores 1 e 2 evidenciaram valores estatisticamente iguais entre 0% e 50% da altura, a árvore 3, por outro lado, demonstrou um perfil de variação marcadamente decrescente entre as alturas avaliadas, em que todas as posições axiais foram estatisticamente diferentes (Fig. 5A).

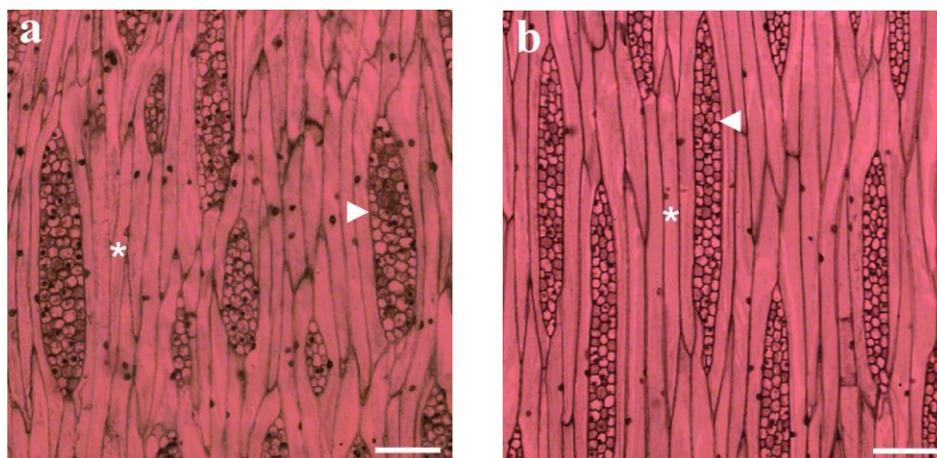


Fig. 4 Secção tangencial da zona cambial mostrando variação axial das iniciais fusiformes e dos raios cambiais. Observar menor comprimento das iniciais fusiformes, menor comprimento e maior largura dos raios cambiais em (a) 100% da altura e maior comprimento das iniciais fusiformes, maior comprimento e menor largura dos raios cambiais em (b) 0% da altura da árvore. Barra de escala: 100  $\mu$ m.

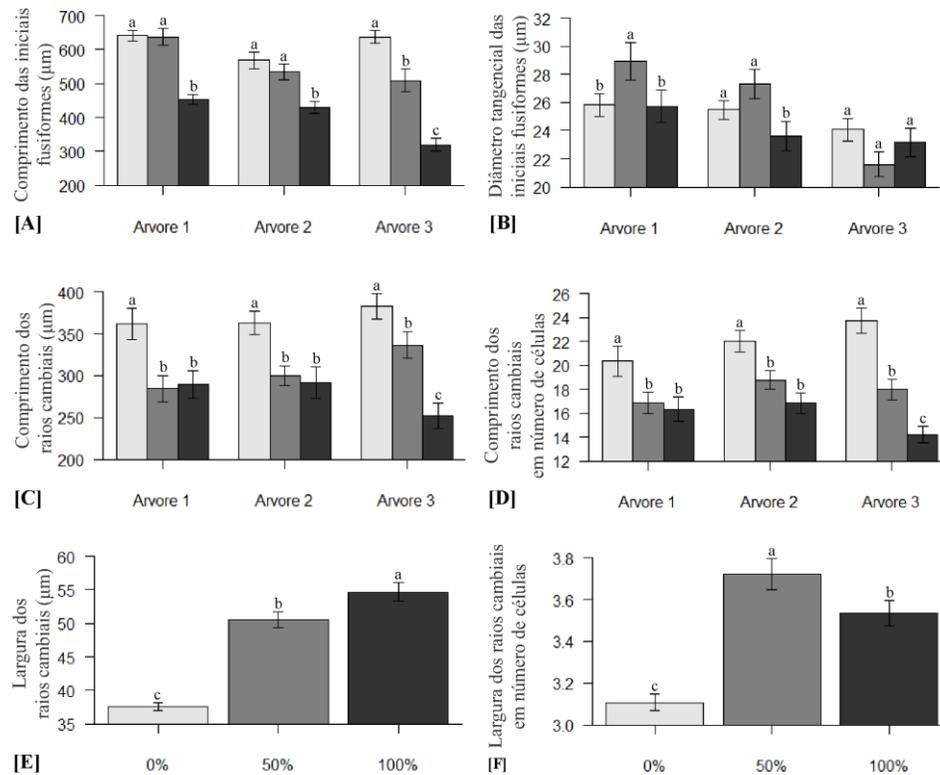


Fig. 5 Comparação múltipla das médias entre as alturas das árvores de *S. parahyba* var. *amazonicum*. A – Comprimento das iniciais fusiformes ( $\mu\text{m}$ ). B – Diâmetro tangencial das iniciais fusiformes ( $\mu\text{m}$ ). C – Comprimento dos raios cambiais ( $\mu\text{m}$ ). D – Comprimento dos raios cambiais (nº de células). E – Largura dos raios cambiais ( $\mu\text{m}$ ). F – Largura dos raios cambiais (nº de células). Barras verticais indicam erro padrão. Médias seguidas de letras diferentes diferem estatisticamente pelo teste de Scott Knott a 5% de significância ( $p < 0.05$ ). Designação das cores: □ 0% ■ 50% ■ 100%

Para o diâmetro tangencial das iniciais fusiformes, foi observada variação axial significativa somente para as arvores 1 e 2, entretanto, devido à flutuação dos valores médios entre as alturas avaliadas, não se pode definir um perfil consistente de variação axial, ficando claro, no

entanto, para as duas árvores, que a 50% da altura o valor do diâmetro tangencial das iniciais fusiformes é maior em relação as demais alturas avaliadas (Fig. 5B).

Para o comprimento dos raios cambiais ( $\mu\text{m}$  e nº de células), observou-se perfil de variação axial decrescente da base para o topo tanto em  $\mu\text{m}$  como em número de células para todas as árvores (Fig. 4a, b), mas a interação para ambos os parâmetros foi significativa, pois enquanto as árvores 1 e 2 estabilizaram os valores médios do comprimento ( $\mu\text{m}$  e número de células) entre 50% e 100% da altura das árvores, a árvore 3 apresentou perfil decrescente em todas as posições axiais avaliadas (Fig. 5C, D).

Para a largura dos raios cambiais em  $\mu\text{m}$  e também em número de células, o perfil de variação axial foi o mesmo entre as árvores, não havendo interação significativa entre árvores e posição axial, enquanto a largura em  $\mu\text{m}$  evidenciou perfil de variação crescente da base para o topo (Fig. 4a, b), a largura em número de células média aumentou até 50% da altura e teve pequena redução a 100% da altura, mas ainda assim, o valor médio observado na base foi inferior ao valor médio observado no topo (Fig. 5F). Para a largura dos raios cambiais (nº de células), observou-se que a 0% da altura das árvores 88% dos raios apresentavam três células de largura e somente 12% apresentavam quatro células de largura, a 50% da altura das árvores 39% dois raios tinham três células de largura, 51% tinham quatro células e 11% tinham cinco células de largura, já a 100% da altura das árvores 48% dois raios apresentavam três células de largura e 52% apresentavam quatro células de largura (Fig. 5F).

Para os parâmetros anatômicos avaliados do lenho das árvores, verificou-se que a variação axial da base para o topo foi estatisticamente significativa, a 5% de significância pelo Teste F, para todos os parâmetros anatômicos. Para o comprimento dos elementos de vaso e o comprimento das fibras, observou-se redução dos valores médios da base para o topo das árvores e interação significativa entre árvores e posição axial foi também detectada (Fig.8A, B).

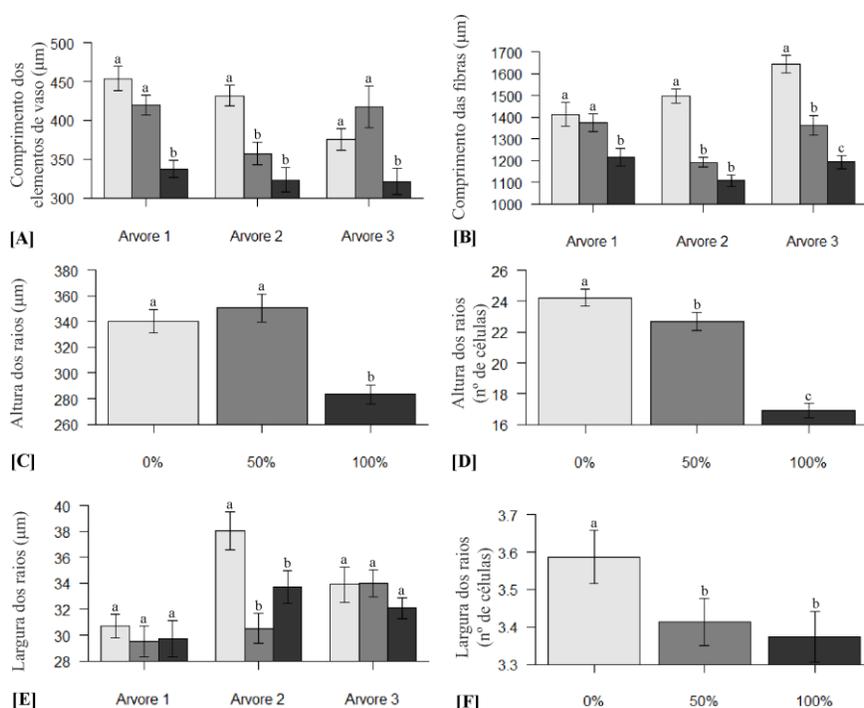


Fig. 6 Comparação múltipla das médias entre as alturas das árvores de *S. parahyba* var. *amazonicum*. A – Comprimento dos elementos de vaso ( $\mu\text{m}$ ). B – Comprimento das fibras ( $\mu\text{m}$ ). C – Altura dos raios ( $\mu\text{m}$ ). D – Altura dos raios ( $\text{n}^\circ$  de células). E – Largura dos raios ( $\mu\text{m}$ ). F – Largura dos raios ( $\text{n}^\circ$  de células). Barras verticais indicam erro padrão. Médias seguidas de letras diferentes diferem estatisticamente pelo teste de Scott Knott a 5% de significância ( $p < 0.05$ ). Designação das cores: □ 0% ■ 50% ■ 100%

A altura dos raios ( $\mu\text{m}$  e número de células) diminui da base para o topo das árvores e, para estes parâmetros e somente, o efeito da variação axial foi estatisticamente significativo (Fig. 6C, D). Quanto à largura dos raios ( $\mu\text{m}$ ), observou-se diferença estatisticamente significativa da base para o topo somente para a árvore 2, sendo que o maior valor médio foi a 0% da altura (38  $\mu\text{m}$ ), e o menor valor foi a 50% da altura (31  $\mu\text{m}$ ), para as demais árvores o efeito da posição axial foi não significativo (Fig. 6E). Já para a largura dos raios em número de células, a interação entre árvores e posição axial foi não significativa e o perfil de variação axial foi decrescente para todas as árvores, o maior valor médio foi observado a 0% da altura das árvores (4 células) e o menor foi observado a 50 e 100% da altura das árvores (3 células) (Fig. 6F).

### **Efeito das alterações do câmbio sobre estrutura anatômica da madeira e o diâmetro das árvores**

As árvores selecionadas apresentaram variação de diâmetro nas diferentes alturas avaliadas (Tabela 1), dentre os parâmetros anatômicos do câmbio, as médias do número de camadas celulares na zona cambial,  $r = 0,85$ ,  $p = 0,003$ , e da largura da zona cambial ( $\mu\text{m}$ ),  $r = 0,68$ ,  $p = 0,044$ , apresentaram forte correlação positiva com os diferentes diâmetros observados. O número de camadas celulares na zona cambial foi o parâmetro que melhor explicou a variação do diâmetro das árvores ( $R^2 = 0,72$ ), a Figura 7 mostra que há forte tendência de aumento do diâmetro do fuste a partir do aumento do número de camadas de células iniciais fusiformes na zona cambial.

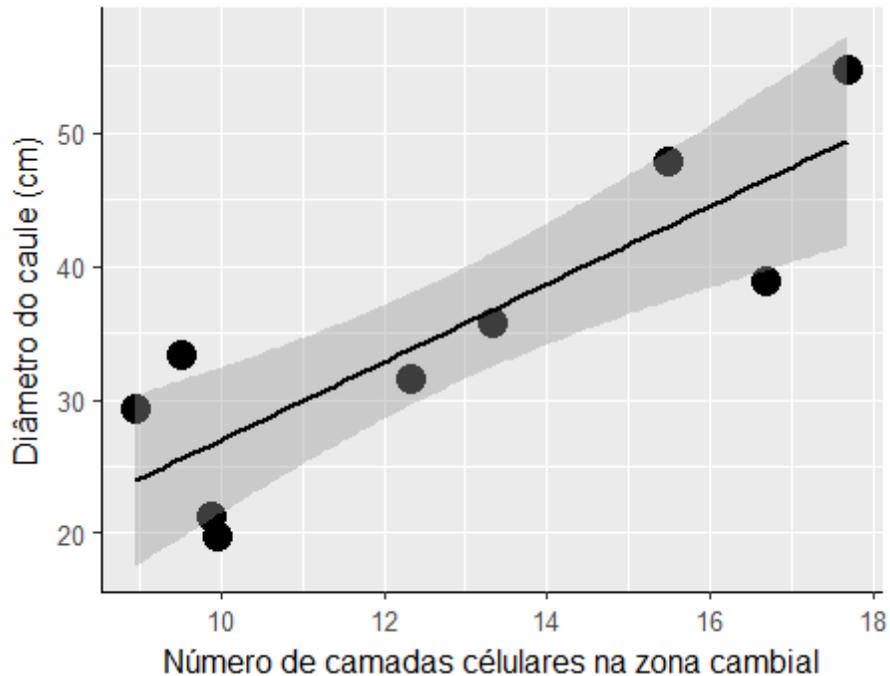


Fig. 7 Relação funcional entre o diâmetro e a média do número de camadas células na zona cambial em diferentes alturas do caule de árvores de *S. parahyba* var. *amazonicum*.  $DA = 2.912 \times ZC - 2.110$ ,  $R^2 = 0.724$ ,  $F_c = 18.50$  (p-valor 0.0039).

Observou-se que alguns parâmetros anatômicos do câmbio apresentaram efeito significativo sobre as características das células do lenho. O comprimento dos raios cambiais ( $\mu\text{m}$ ),  $r = 0.71$ ,  $p = 0.0310$ , e em número de células,  $r = 0.79$ ,  $p = 0.0113$ , apresentaram correlação positiva significativa somente com a altura dos raios do lenho em número de células. Observou-se que raios cambiais com maior comprimento ( $\mu\text{m}$  e em número de células) tendem a produzir raios com maior quantidade de células em altura no lenho. Comprimento dos raios cambiais em

número de células foi mais eficiente para prever a altura dos raios do xilema e explicou 62% da variação dos dados observados (Fig. 8).

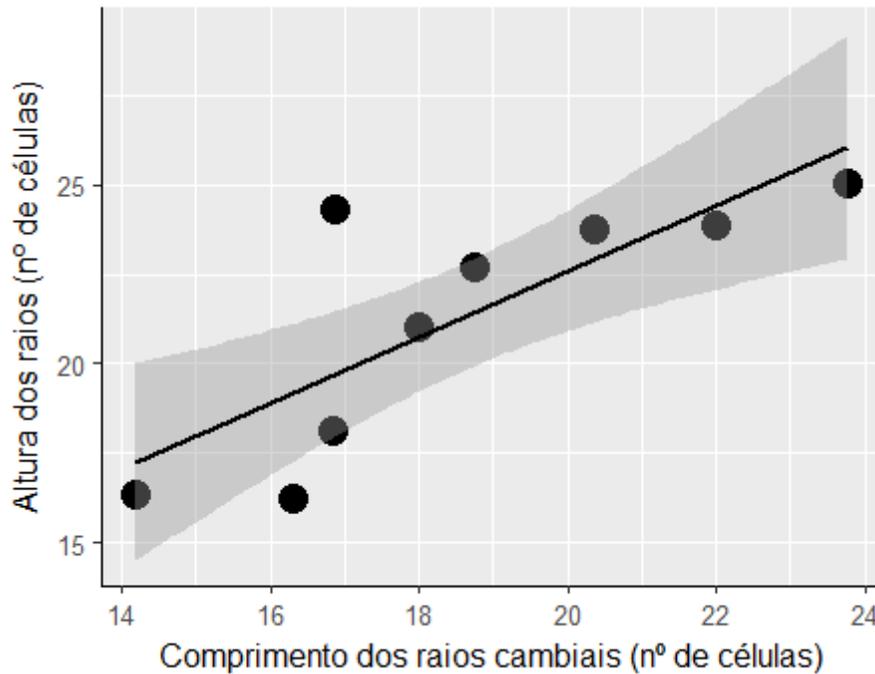


Fig. 8 Relação funcional entre a altura dos raios do lenho (nº de células) e o comprimento dos raios cambiais (nº de células) em diferentes alturas do caule de árvores de *S. parahyba* var. *amazonicum*.  $AR = 0.919 \times CRC + 4.192$ ,  $R^2 = 0.623$ ,  $F_c = 11.59$  (p-valor 0.0113).

Dentre os parâmetros anatômicos avaliados do câmbio, o comprimento das iniciais fusiformes apresentou correlações positivas significativas com maior número de variáveis anatômicas avaliadas do lenho (Fig. 9).

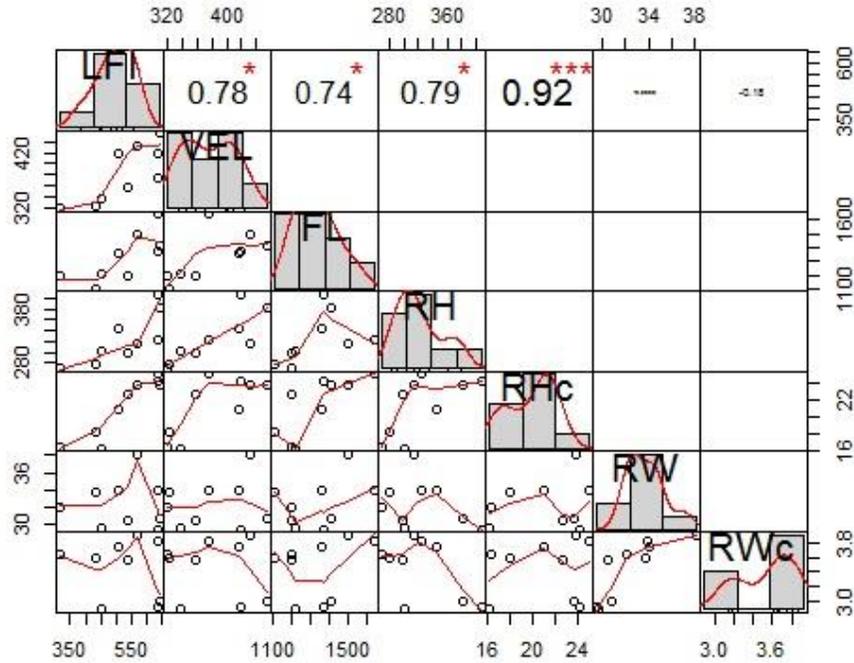


Fig. 9 Matriz de correlação do comprimento das iniciais fusiformes (LFI) com o comprimento dos elementos de vaso (VEL), comprimento das fibras (FL), altura dos raios em micrômetros (RH), altura dos raios em número de células (RHc), largura dos raios em micrômetros (RW) e largura dos raios em número de células (RWc) para árvores de *S. parahyba* var. *amazonicum*. Asteriscos indicam correlação significativa ( $p < 0,05$ ).

O comprimento das iniciais fusiformes explicou cerca de 60% da variação dos valores médios do comprimento dos elementos de vaso, observou-se tendência de as iniciais fusiformes de maior comprimento produzirem elementos de vaso também de maior comprimento (Fig. 10A). Uma comparação da média global do comprimento das iniciais fusiformes (400  $\mu\text{m}$ ) e dos elementos de vaso (327  $\mu\text{m}$ ) a 100%

da altura com média do comprimento das iniciais fusiformes (616  $\mu\text{m}$ ) e dos elementos de vaso (420  $\mu\text{m}$ ) a 0% da altura da árvore permitiu observar que os elementos de vaso apresentam comprimento sempre inferior ao das iniciais fusiformes do câmbio, entretanto, observou-se que a 0% da altura (próximo a base) a diferença entre os comprimentos tende a ser maior.

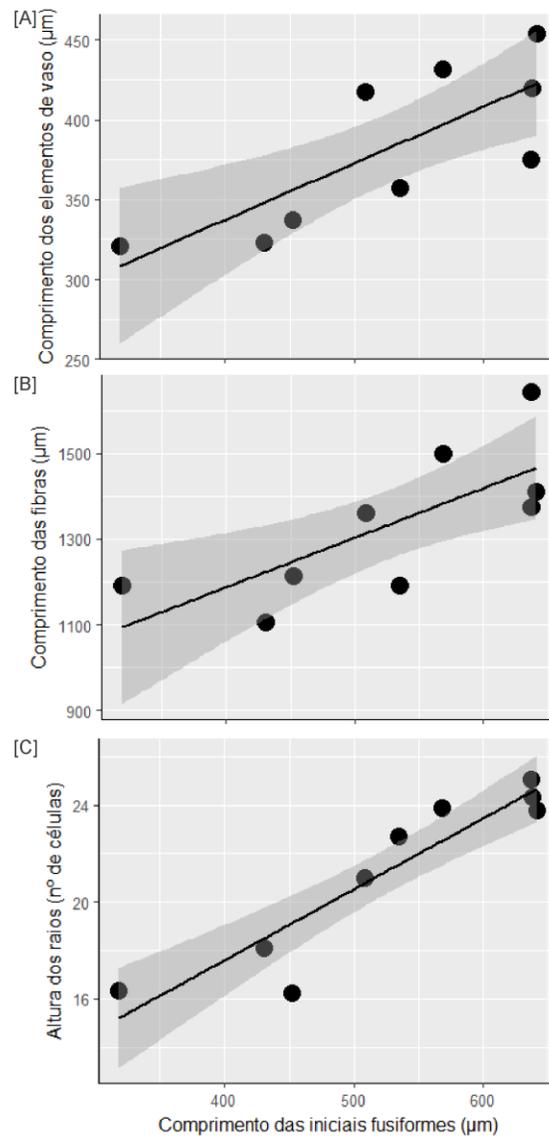


Fig. 10 Relação funcional do comprimento das iniciais fusiformes (μm) com [A] o comprimento dos elementos de vaso (μm)  $CV = 0.353 \times CIF + 195.9$ ,  $R^2 = 0.607$ ,  $F_c = 10.77$  (p-valor 0.0133); [B] o comprimento das fibras (μm)  $CF = 1.155 \times CIF + 725.7$ ,  $R^2 = 0.549$ ,  $F_c = 8.49$  (p-valor 0.0219); [C] a altura dos raios (nº de células)  $AR = 0.029 \times CIF + 5.898$ ,  $R^2 = 0.855$ ,  $F_c = 41.07$  (p-valor 0.0007), em diferentes alturas do caule de árvores de *S. parahyba* var. *amazonicum*.

A análise de regressão demonstrou que o comprimento das iniciais fusiformes apresenta relação linear e positiva com o comprimento das fibras, o que explica os 55% da variação desta célula no lenho (Fig. 10B), assim pode-se supor que os 45% de variação restante do comprimento das fibras tenham relação com a variação na extensão do alongamento celular durante a diferenciação desta célula. Observou-se aqui, que o comprimento médio das fibras apresenta sempre valor superior ao das iniciais fusiformes, mas quando se compara a média global do comprimento das fibras (1171  $\mu\text{m}$ ) e das iniciais fusiformes (400  $\mu\text{m}$ ) a 100% da altura com o comprimento das fibras (1518  $\mu\text{m}$ ) e das iniciais fusiformes (616  $\mu\text{m}$ ) a 0% da altura, observa-se pequena redução dessa relação, pois a 100% da altura da árvore o comprimento médio das fibras foi 2,9 vezes maior que os das iniciais fusiformes e já a 0% da altura essa relação reduz para 2,5 vezes.

O comprimento das iniciais fusiformes correlacionou-se positivamente também com a altura dos raios ( $\mu\text{m}$  e nº de células) do lenho (Fig. 9). Observou-se forte tendência de linear crescente de raios mais altos, principalmente em número de células, estarem presentes no lenho associados a iniciais fusiformes de maior comprimento (Fig. 10C).

## **Discussão**

A presença de células cambiais estratificadas tem sido relatada para muitos gêneros da família Fabaceae (Bailey 1923), porém muitos membros pertencentes às Caesalpinaceae têm apresentado câmbio não estratificado (Rajput e Rao 2001). O câmbio de *S. parahyba* var. *amazonicum* apresentou algumas características de atividade em todas as

alturas avaliadas, como número de camadas celulares na zona cambial, divisões anticlinais e periclinais nas iniciais fusiformes, presença de uma larga região de xilema em diferenciação, além de um gradiente de lignificação das paredes das células do xilema secundário adjacentes à zona cambial. O número de camadas de células fusiformes na zona cambial foi semelhante aos valores de 12-20 camadas de células observados para o câmbio ativo de *S. parahyba*, por Marcati et al. (2008) e mesmo para a árvore 1, em que o número de células na zona cambial foi mais baixo entre as alturas avaliadas, os valores encontravam-se entre 9-10 células, talvez porque o câmbio para esta árvore encontrava-se no início de sua atividade.

De forma geral, mesmo o perfil de variação axial sendo semelhante, observou-se que a magnitude da variação axial para alguns parâmetros anatômicos avaliados, do câmbio principalmente, foi diferente entre as árvores, fato que indica que mesmo para árvores da mesma espécie, idade e sítio, variações quantitativas e significativas podem ocorrer na estrutura anatômica do câmbio, e que estas variações influenciam as características celulares da madeira, como relatado por Ghouse e Shamima (1981) e Die et al. (2012).

Observou-se que na base das árvores a quantidade de células fusiformes na zona cambial e a largura da zona cambial ( $\mu\text{m}$ ) apresentaram valores médios superiores aos maiores níveis de altura, assim também, o diâmetro radial das iniciais fusiformes foi maior entre 0% e 50% da altura das árvores, corroborando com os resultados de Ridoutt e Sands (1994). Desses parâmetros, o número de camadas celulares na zona cambial teve um forte efeito positivo sobre diâmetro das

árvores nas diferentes alturas avaliadas, observou-se que zonas cambiais com maior número de camadas celulares resultam em maior diâmetro no caule. Acreditamos que para a espécie estudada há certa tendência de investimento em maior quantidade de células na zona cambial da base do caule, que apresenta maior diâmetro, talvez pela necessidade de manutenção de maior quantidade de células diferenciadas para compor o xilema secundário nessa região do caule, ou ainda, como efeito da diferença entre a idade do câmbio, que é mais jovem no topo e mais velho na base. Die et al. (2012) estudando a sazonalidade cambial em *Tectona grandis* na Costa do Marfim, explicaram que as diferenças entre os valores reportados para número de células da zona cambial da espécie, nas diferentes pesquisas com a espécie, é devido às diferenças entre as idades das árvores investigadas, reportaram ainda que em seu estudo, as variações consideráveis na largura da zona cambial foram observadas entre as árvores individuais avaliadas. Drew e Pammenter (2007) observaram que com a maior disponibilidade de água, há aumento da atividade cambial e, em paralelo, há aumento também do diâmetro do tronco em clones de *Eucalyptus* sp. na Austrália. Deslauriers et al. (2009) observaram em *Populus* spp. que nos períodos com altas taxas de crescimento radial do caule há também aumento significativo do número de células na zona cambial.

Segundo Plomion et al. (2001), a maturação dos diferentes tipos de células que irão compor o xilema secundário nas árvores envolve quatro etapas principais: expansão celular, seguida pela deposição ordenada de espessa parede secundária multicamada, lignificação e morte celular. Para a espécie deste estudo, foram observadas camadas celulares de xilema em

diferenciação em toda a extensão da altura das árvores. Marcati et al. (2008) informaram, como característica do câmbio ativo de *S. parahyba*, a presença de muitas camadas de células de xilema imaturas em diferenciação (15-33 camadas de células). O perfil de variação axial da base para o topo da largura do xilema em diferenciação diferiu entre os indivíduos avaliados, e um comportamento padrão não foi observado. O perfil decrescente observado da base para o topo na árvore 3, foi mais próximo ao descrito em literatura. Ridoutt e Sands (1994) informaram para *Eucalyptus globulus* de seis anos de idade que a largura do xilema em diferenciação, bem como o tempo de duração em dias para diferenciação das fibras foi maior na base do que no topo das árvores. Deslauriers et al. (2009) observaram no câmbio ativo de *Populus* spp. que o xilema em diferenciação foi mais largo na base (300 $\mu$ m) do que no topo (220 $\mu$ m). A maior concentração de auxina presente no topo das árvores, devido aos altos níveis de produção nas folhas jovens, induz a rápida diferenciação do xilema, principalmente dos vasos, e de forma inversa, a baixa concentração de auxina na base da árvore resulta em uma diferenciação lenta (Aloni e Zimmermann 1983; Aloni 2013) Esse comportamento pode ter relação com a maior largura de camadas celulares em diferenciação observada na base da árvore 3. Anfodillo et al. (2012) demonstraram que a duração da fase de expansão celular foi correlacionada com a posição no tronco, pois no topo da árvore a expansão celular foi significativamente menor do que na base, em que a primeira célula completou sua expansão 10 dias mais tarde que as células no topo.

Verificou-se que o comprimento dos raios cambiais ( $\mu\text{m}$  e número de células) tende a aumentar, e a largura ( $\mu\text{m}$  e número de células) tende a reduzir com a diminuição da altura das árvores, do topo para a base. No xilema diferenciado foram observados raios mais altos e largos ( $\mu\text{m}$  e número de células) nas duas posições próximas à base, mas o perfil decrescente da base para o topo foi mais acentuado para a altura dos raios (número de células) do xilema diferenciado, parâmetro este que foi afetado de forma positiva e significativa pela altura dos raios cambiais ( $\mu\text{m}$  e número de células). Tem-se relatado o aumento tanto no comprimento como na largura dos raios cambiais com o aumento do diâmetro do caule e também com a distância da copa da árvore (Ghouse e Shamima; 1981; Iqbal e Ghouse 1987; Ajmal e Iqbal 1992; Ridoutt e Sands 1993; Myskow e Zagórska-Marek 2004). Os resultados apresentados aqui para *S. parahyba* var. *amazonicum* estão de acordo com o aumento do comprimento dos raios cambiais, entretanto raios cambiais com maior largura foram encontrados no câmbio do topo e não na base, como relatado em outros trabalhos. O aumento de tamanho dos raios está relacionado principalmente às divisões celulares anticlinais e transversais das iniciais radiais e também pela união, tanto vertical como lateralmente, de raios cambiais contíguos (Lev-Yadun e Aloni 1991; Lev-Yadun e Aloni 1995). Para a espécie deste estudo, o maior número de divisões anticlinais observadas nas iniciais radiais do câmbio no topo das árvores pode ter contribuído para a maior largura dos raios cambiais em relação à base do caule. O fato de não haver correlação significativa da largura dos raios cambiais com a largura dos raios do xilema diferenciado evidencia que as modificações estruturais durante a etapa de diferenciação do

xilema são mais acentuadas no sentido da largura que no comprimento dos raios.

Também podem ocorrer transformações de iniciais fusiformes em iniciais radiais, seja por divisão das extremidades ou lados de iniciais fusiformes (Braun 1955; Wilczek et al., 2011), ou por segmentação ou septação de uma total fusiforme inicial ou parte dela (Srivastava 1963; Rao 1988; Wilczek et al., 2011), esses processos justificam as fortes correlações positivas observadas do comprimento das iniciais fusiformes com o comprimento dos raios cambiais e com a altura dos raios do xilema diferenciado, indicando que a presença de iniciais fusiformes de maior comprimento contribuem para aumentar o comprimento dos raios cambiais, o que afeta positivamente a altura dos raios do xilema. Ridoutt e Sands (1993) observaram para *E. globulus* que a iniciação de novos raios cambiais ocorria devido à segmentação apical e lateral de iniciais fusiformes. Assim como neste estudo, Patel et al. (2014) observaram para *Moringa oleifera*, que o comprimento das iniciais fusiformes teve forte correlação positiva ( $r = 0,70$ ) com a altura dos raios cambiais. De Vasconcellos et al. (2016), avaliando a estrutura do câmbio de *Ceiba speciosa* em sítio poluído e preservado, também observaram diferenciação das iniciais fusiformes em radiais em ambos os locais de estudo durante a atividade cambial, mas somente no local poluído durante a dormência. Lev-Yadun e Aloni (1992) sugeriram que a iniciação de raios é afetada pela presença de etileno, pois os raios drenam o etileno do xilema para a periferia do caule e assim as iniciais fusiformes que não estão associadas aos raios são expostas a níveis mais altos de etileno tornando-se mais susceptíveis a sofrer maturação ou conversão em

iniciais de raio. Recentemente Pramod et al. (2013) comprovaram que a presença de maior concentração de etileno levou as iniciais fusiformes a sofrerem extensa transformação em iniciais de raios através de divisões e segmentação.

Há uma variedade de relações observadas e descritas na literatura até o momento para o perfil de alteração do comprimento das iniciais fusiformes ao longo da altura do caule e de ramos na árvore. Ghose e Hashmi (1980) observaram aumento consistente no comprimento das células fusiformes cambiais ao longo do eixo da planta. Esse resultado está, de forma geral, em acordo com o que foi observado neste estudo para *S. parahyba* var. *amazonicum*. Outros comportamentos também foram relatados, o comprimento das iniciais fusiformes aumenta com a idade do meristema, mas tendo atingido certo máximo se tornar relativamente estável (Bailey 1923; Ghose e Yunus 1973), e o aumento do comprimento para baixo no tronco, atingindo um máximo e estabilizando nas partes mais velhas do tronco, diminui ligeiramente perto da base (Iqbal e Ghose 1987; Ridoutt e Sands 1993, 1994). Para Philipson et al. (1971) e Ridoutt e Sands (1993), em parte, a variação longitudinal observada no comprimento das iniciais fusiformes explica-se pelas mudanças dimensionais que ocorrem nas células fusiformes com o aumento do diâmetro do caule, essa variação da dimensão das células cambiais tem relação também com a frequência de divisões anticlinais pseudotransversais, com a extensão do alongamento de novas iniciais cambiais e a perda preferencial de iniciais fusiformes mais curtas, que sofrem maturação ou são convertidas em iniciais de raios.

O comportamento crescente do comprimento das iniciais fusiformes com a redução da altura das árvores foi também observado para os elementos de vaso e para as fibras do xilema diferenciado, observou-se correlação positiva entre o comprimento das iniciais fusiformes e o comprimento dos elementos de vaso. Foi observado, além disso, em todas as alturas que os elementos de vaso apresentaram comprimento médio inferior ao das iniciais fusiformes e este comprimento, apesar de inferior, era mais próximo ao comprimento das iniciais fusiformes, do que o comprimento das fibras. Bailey (1920) reportou essas mesmas relações para numerosas dicotiledôneas, que também são referidas por muitos outros estudos (Butterfield 1973; Rao et al., 1996; Kitin et al., 1999; Venugopal e Liangkuwang 2007; Khan e Badruzzaman Siddiqui 2007; Patel et al., 2014). Segundo Kitin et al. (1999), a partir da observação de diversos trabalhos, o encurtamento dos elementos de vaso podem estar relacionado a um rearranjo das extremidades da parede durante a diferenciação já que as iniciais fusiformes apresentam pontas hexagonais e os vasos têm extremidades oblíquas e ligeiramente transversal, ou há ainda, a possibilidade dos elementos de vasos serem mais curtos devido ao encurtamento das iniciais cambiais através de divisões anticliniais. Observou-se para a espécie deste estudo, entretanto um fato novo, pois os elementos de vaso do xilema a 100% da altura da árvore apresentaram comprimento semelhante ao das iniciais fusiformes, indicando que nessa altura os elementos de vaso curtos e longos podem ser derivados diretamente de células cambiais curtas e longas, mas a 0% da altura os elementos de vaso tendem a ser ainda mais curtos que as iniciais fusiformes possivelmente porque na base da árvore, antes de

diferenciarem-se em elementos de vaso, as iniciais fusiformes passam por divisões anticlinais que originam células filhas de tamanho desiguais, sendo as mais curtas preferencialmente direcionadas para maturação.

Observou-se que o comprimento das fibras foi sempre superior ao comprimento das iniciais fusiformes e que há forte tendência de aumento do comprimento das fibras quando é aumentado o comprimento das iniciais fusiformes, esse resultado suporta quantitativamente a teoria de que a variação do comprimento das iniciais fusiformes tem efeito direto no comprimento das fibras de dicotiledôneas (Bailey 1920; Rao e Dave 1981; Ridoutt e Sands 1993, 1994; Khan e Siddiqui 2007; Patel et al., 2014), mas observamos também que a taxa de crescimento intrusivo que sofrem durante a diferenciação também influencia o comprimento final da fibra após a diferenciação, assim como reportado por Butterfield (1973). Ridoutt e Sands (1993) relataram para *E. globulus* que no topo das árvores o comprimento das fibras foi 1,84 vezes maior que o das iniciais fusiformes, já na base, as fibras eram 2,11 vezes maiores que as iniciais fusiformes, esse aumento foi devido à redução acentuada observada no comprimento das iniciais fusiformes próximas à base da árvore, comportamento que diferiu do observado neste estudo para *S. parahyba* var. *amazonicum*, em que o perfil de variação longitudinal das iniciais fusiformes foi marcadamente crescente do topo para a base das árvores, e assim a razão entre o comprimento médio das fibras e comprimento médio das iniciais fusiformes tendeu a reduzir linearmente para baixo do caule.

## **Conclusão**

As dimensões e quantidade celular das iniciais fusiformes e radiais do câmbio de *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* apresentam variação axial sentido base-topo estatisticamente significativa, estas variações ocorrem em função da diferença de idade do câmbio entre as alturas avaliadas dentro das árvores, sendo mais novo e recentemente formado próximo à copa e mais velho na base.

A variabilidade nas dimensões das células do câmbio foi demonstrada para influenciar variações significativas também nas dimensões das células do lenho. O comprimento das iniciais fusiformes foi o parâmetro anatômico do câmbio que influenciou mais parâmetros anatômicos do lenho, sendo importante predito do comprimento dos elementos de vaso, das fibras e dos raios do lenho.

Finalmente, este estudo é o primeiro realizado em um único período de crescimento, que descreve o câmbio, suas variações dentro da árvore e que fornece suporte quantitativo para o entendimento da interação entre as células do câmbio e as células do lenho em uma espécie nativa e plantada na Amazônia brasileira. Os resultados aqui apresentados demonstram o potencial de melhorar as propriedades da madeira em floresta plantada a partir do conhecimento das características anatômicas do câmbio.

## **Referências**

- ABRAF - Associação Brasileira de Produtos Florestais (2012) Anuário ABRAF 2012 ano base 2011. Brasília.
- Ajmal S, Iqbal M (1992) Structure of the vascular cambium of varying

age and its derivative tissues in the stem of *Ficus rumphii* Blume. Bot J Linn Soc 109:211-222. doi: 10.1111/j.1095-8339.1992.tb00267.x

Aloni R, Zimmermann MH (1983) The control of vessel size and density along the plant axis: a new hypothesis. Differentiation 24:203–208

Aloni R (2013) Role of hormones in controlling vascular differentiation and the mechanism of lateral root initiation. Planta 238:819-830. doi: 10.1007/s00425-013-1927-8

Anfodillo T, Deslauriers A, Menardi R, Tedoldi L, Petit G, Rossi S (2012) Widening of xylem conduits in a conifer tree depends on the longer time of cell expansion downwards along the stem. J exp Bot 63:837–845. doi: 10.1093/jxb/err309

Aref IM, Khan PR, Al-Mefarrej H, Al-Shahrani T, Ismail A, Iqbal M (2014) Cambial periodicity and wood production in *Acacia ehrenbergiana* Hayne growing on dry sites of Saudi Arabia. J Environ Biol 35:301-310

Bailey IW (1920) The cambium and its derivative tissues II. Size variations of cambial initials in gymnosperms and angiosperms. Amer. J. Bot. 7: 355–367.

Bailey IW (1923) The cambium and its derivative tissues. IV. The increase in girth of the cambium. Am J Bot 10:499-509

Barneby RC (1996) Neotropical Fabales at NY: Asides and Oversights. Brittonia 48: 174-187. doi: 10.2307/2807811

Barros CF, Miguens FC (1998) Ultrastructure of the epidermal cells of *Beilschmiedia rigida* (Mez) Kosterm. (Lauraceae). Acta Microsc 6:451–461.

Braun HJ (1955) Beiträge zur Entwicklungsgeschichte der Markstrahlen Bot. Stud. (Jena) 4:73–131.

Butterfield BG (1973) Variation in the size of fusiform cambial initials and vessel members in *Hoheria angustifolia* Raoul, New Zeal J Bot 11:391-410. doi: 10.1080/0028825X.1973.10430290

Carvalho JG; Viegas IJM (2004) Características de sintomas de deficiência de nutrientes em paricá (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby. EMBRAPA-CPATU, Circular Técnico 7, Belém.

- Feder N, O'Brien TP (1968) Plant microtechnique: some principles and new methods. *Am J Bot* 55:123–142. doi: 10.2307/2440500
- Da Cunha M, Gomes VM, Xavier-Filho J, Attias M, Souza W, Miguens FC (2000) Laticifer system of *Chamaesyce thymifolia*: a closed host environment for Trypanosomatids. *Biocell* 24(2):123–132.
- Denne MP, Dodd RS (1981) The environmental control of xylem differentiation. In: Barnett JR (ed) Xylem cell development. Castle House, Kent, p 236-255.
- Deslauriers A, Giovannelli A, Rossi S, Castro G, Fragnelli G, Traversi L (2009) Intra-annual cambial activity and carbon availability in stem of poplar. *Tree Physiol* 29:1223-1235. doi: 10.1093/treephys/tpp061
- De Vasconcellos, TJ, Da Cunha M, Callado CH (2016). A comparative study of cambium histology of *Ceiba speciosa* (A. St.-Hil.) Ravenna (Malvaceae) under urban pollution. *Environ Sci Pollut Res* 23:1-14. doi: 10.1007/s11356-015-6012-3
- Die A, Kitin P, Kouame FN, Van den Bulcke J, Van Acker J, Beeckman H (2012) Fluctuations of cambial activity in relation to precipitation result in annual rings and intra-annual growth zones of xylem and phloem in teak (*Tectona grandis*) in Ivory Coast. *Ann Bot* 110:861-873. doi: 10.1093/aob/mcs145
- Drew DM, Pammenter NW (2007) Developmental rates and morphological properties of fibres in two eucalypt clones at sites differing in water availability. *Southern Hemisphere Forestry Journal* 69:71-79. doi: 10.2989/shfj.2007.69.2.1.287
- Ferreira EB, Cavalcanti PP, Nogueira DA (2013) ExpDes:experimental designs package. Version 1.1.22013. <http://cran.r-project.org/web/packages/ExpDes/index.html>. Acesso 01 Dezembro 2016
- Gamelin FX, Baquet G, Berthoin S, Thevenet D, Nourry C, Nottin S, Bosquet L (2009) Effect of high intensity intermittent training on heart rate variability in prepubescent children. *Eur J Appl Physiol* 105:731-738. doi: 10.1007/s00421-008-0955-8
- Ghouse AKM, Yunus M (1973) Some aspects of cambial development in the shoots of *Dalbergia sissoo* Roxb. *Flora* 162:549-558
- Ghouse AKM, Hashmi S (1981) Developmental-changes in the vascular

cambium of *Delonix regia* Rafin. P Indian As-Plant Sc 90:143-&

Iqbal M, Ghouse AKM (1987) Anatomy of the vascular cambium of *Acacia nilotica* (L.) Del. var. *telia* Troup (Mimosaceae) in relation to age and season in relation to age and season. Bot J Linn Soc 94:385-397. doi: 10.1111/j.1095-8339.1986.tb01055.x

Iqbal M, Ghouse AKM (1990) Cambial concept and organisation. In: Iqbal M (ed) The vascular cambium. Research Studies Press, Somers, pp 1-36

Johansen DA (1940) Plant microtechnique. McGraw-Hill, New York

Iawa List of Microscopic Features for HardWood Identification - With an Appendix on Non-anatomical Information (1989) Iawa Bulletin 10:219-&

Khan MA, Badruzzaman Siddiqui M (2007) Size variation in the vascular cambium and its derivatives in two *Alstonia* species. Acta bot bras. 21: 531-538

Kitin P, Funada R, Sano Y, Beeckman H, Ohtani J (1999) Variations in the lengths of fusiform cambial cells and vessel elements in *Kalopanax pictus*. Ann Bot 84:621-632. doi: 10.1006/anbo.1999.0957

Levyadun S, Aloni R (1991) Polycentric vascular rays in *Suaeda monoica* and the control of ray initiation and spacing. Trees-Struct Funct 5:22-29

Lev-Yadun S, Aloni R (1992) The role of wounding in the differentiation of vascular rays Int J Plant Sci 153:348-357

Levyadun S, Aloni R (1995) Differentiation of the ray system in woody-plants. Bot Rev 61:45-84. doi: 10.1007/bf02897151

Lewis GP (2015) *Schizolobium* in Lista de Espécies da Flora do Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/jabot/floradobrasil/FB23144>. Acesso 01 Dezembro 2016.

Marcati CR, Milanez CRD, Machado SR (2008) Seasonal development of secondary xylem and phloem in *Schizolobium parahyba* (Vell.) Blake (Leguminosae : Caesalpinioideae). Trees-Struct Funct 22:3-12. doi: 10.1007/s00468-007-0173-8

Martorano LG, Monteiro DCA, Brienza Junior S, Lisboa LS, Espírito Santo JM, Almeida RF (2011) Top-bioclimate conditions associated to

natural occurrence of two Amazonian native tree species for sustainable reforestation in the State of Pará, Brazil. In: Villacampa, Y.; Brebbia, C. A. Ecosystems and Sustainable Development VIII. Ashurst Lodge: Wittpress, pp 111-122.

Monteiro DCA (2013) Condições topoclimáticas preferenciais para o plantio de paricá (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby) e evidências de desempenho para otimizar a silvicultura em áreas desflorestadas na Amazônia. Dissertação, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Centro de Energia Nuclear na Agricultura

Myskow E, Zagórska-Marek B (2004) Ontogenetic development of storied Ray pattern in cambium of *Hippophae rhamnoides* L. Acta Soci Bot Polo 73:93-101.

O’Brien TP, Feder M, McCully ME (1964) Polyehromatic staining of plant cell walls by toluidine blue O. Protoplasma 59:367–373

Patel VR, Pramod S, Rao KS (2014) Cambial activity, annual rhythm of xylem production in relation to phenology and climatic factors and lignification pattern during xylogenesis in drum-stick tree (*Moringa oleifera*). Flora 209:556-566. doi: 10.1016/j.flora.2014.08.002

Philipson WR, Ward JM, Butterfield BG (1971) The vascular cambium: its development and activity. Chapman & Hall, London.

Pismel VAM, Martorano LG, Monteiro DCA, Lisboa LS (2016) Produto modis associado à condição hídrica no solo para diferenciar padrões na vegetação no município de Dom Eliseu, Pará. Revista Brasileira de Climatologia 19:178-190.

Plomion C, Leprovost G, Stokes A (2001) Wood formation in trees. Plant Physiol 127:1513-1523. doi: 10.1104/pp.127.4.1513

Pramod S, Patel PB, Rao KS (2013) Influence of exogenous ethylene on cambial activity, xylogenesis and ray initiation in young shoots of *Leucaena leucocephala* (lam.) de Wit. Flora 208:549-555. doi: 10.1016/j.flora.2013.09.001

R Development Core Team. R (2013). A language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing. <http://www.R-project.org/> Acesso 01 Dezembro 2016

Rajput RS, Rao KS (2001) Cambial activity and development of xylem in *Tamarindus indica* L. growing in different forests of Gujarat state. *Acta Bot Hung* 43:379-390.

Rao KS (1988) Cambial activity and developmental changes in ray initials of some tropical trees. *Flora* 181:425-434.

Ridoutt BG, Sands R (1993) Within-tree variation in cambial anatomy and xylem cell-differentiation in *Eucalyptus globulus*. *Trees-Struct Funct* 8:18-22

Ridoutt BG, Sands R (1994) Quantification of the processes of secondary xylem fiber development in *Eucalyptus globulus* at 2 height levels. *Iawa J* 15:417-424

Sabogal C, Almeida E, Marmillod D, Carvalho JOP (2006) *Silvicultura na Amazônia Brasileira: avaliação de experiências e recomendações para implementação e melhoria dos sistemas*. CIFOR, Belém.

Srivastava LM (1963) Cambium and vascular derivatives of *Ginkgo biloba*. *J. Arnold Arbor* 44:165-192.

Venugopal N, Liangkuwang MG (2007) Cambial activity and annual rhythm of xylem production of elephant apple tree (*Dillenia indica* Linn.) in relation to phenology and climatic factor growing in sub-tropical wet forest of northeast India. *Trees-Struct Funct* 21:101-110. doi: 10.1007/s00468-006-0101-3

Whetten R, Sederoff R (1991) Genetic-engineering of wood. *Forest Ecol Manag* 43:301-316. doi: 10.1016/0378-1127(91)90133-g

Wilczek A, Jura-Morawiec J, Kojs P, Iqbal M, Wloch W (2011) Correlation of intrusive growth of cambial initials to rearrangement of rays in the vascular cambium. *Iawa J* 32:313-331

Wloch W, Wilczek A, Jura-Morawiec J, Kojs P, Iqbal M (2013) Modelling for rearrangement of fusiform initials during radial growth of the vascular cambium in *Pinus sylvestris* L. *Trees-Struct Funct* 27:879-893. doi: 10.1007/s00468-013-0842-8