



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS**

**RAFAELA PATRICIA DA SILVA CERETTA**

**INFLUÊNCIA DO ESPAÇAMENTO, POSIÇÃO RADIAL E TIPO DE FUSTE NA  
ANATOMIA DO LENHO DO TACHI BRANCO (*Tachigali vulgaris*) EM  
PLANTACÕES EXPERIMENTAIS NA AMAZÔNIA**

**BELÉM/PA**

**2021**

**RAFAELA PATRICIA DA SILVA CERETTA**

**INFLUÊNCIA DO ESPAÇAMENTO, POSIÇÃO RADIAL E TIPO DE FUSTE NA  
ANATOMIA DO LENHO DO TACHI BRANCO (*Tachigali vulgaris*) EM  
PLANTAÇÕES EXPERIMENTAIS NA AMAZÔNIA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia, como partes das exigências do Curso de Mestrado em Ciências Florestais, área de concentração Ciências Florestais, para o título de Mestre.

Orientadora: Dr. Thiago de Paula Protásio

Coorientador 1: Dra. Marcela Gomes da Silva

Coorientador 2: Dr. Mario Tommasiello Filho

**BELÉM-PA**

**2021**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Bibliotecas da Universidade Federal Rural da Amazônia  
Gerada automaticamente mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

C414i Ceretta, Rafaela Patricia da  
INFLUÊNCIA DO ESPAÇAMENTO, POSIÇÃO RADIAL E TIPO DE FUSTE NA  
ANATOMIA DOLENHO DO TACHI BRANCO (Tachigali vulgaris) EM PLANTAÇÕES  
EXPERIMENTAIS NA  
AMAZÔNIA / Rafaela Patricia da Ceretta. - 2019.  
90 f. : il. color.

Dissertação (Mestrado) - Programa de PÓS-GRADUAÇÃO em Ciências Florestais (PPGCF),  
Campus Universitário de Belém, Universidade Federal Rural Da Amazônia, Belém, 2019.

Orientador: Prof. Dr. Thiago de Paula Protásio  
Coorientador: Prof. Dr. Mario Tommasiello Filho.

1. Tachi branco. 2. Fibras. 3. Vasos. 4. Variabilidade anatômica. 5. Múltiplos fustes. I.  
Protásio, Thiago de Paula, *orient.* II. Título

---

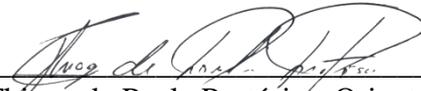
CDD 634.909811

**RAFAELA PATRICIA DA SILVA CERETTA**

**INFLUÊNCIA DO ESPAÇAMENTO, POSIÇÃO RADIAL E TIPO DE FUSTE NA ANATOMIA DO LENHO DO TACHI BRANCO (*Tachigali vulgaris*) EM PLANTAÇÕES EXPERIMENTAIS NA AMAZÔNIA**

**Data da Aprovação: 28/04/2021**

**BANCA EXAMINADORA:**



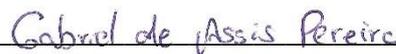
---

Dr. Thiago de Paula Protásio - Orientador  
Universidade Federal Rural da Amazônia - UFRA



---

Dra. Selma Lopes Goulart - 1º Examinador  
Universidade Federal Rural da Amazônia - UFRA



---

Dr. Gabriel de Assis Pereira - 2º Examinador  
Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"  
Universidade de São Paulo - Esalq/USP



---

Dr. Luiz Eduardo de Lima Melo - 3º Examinador  
Universidade do Estado do Pará – UEPA

*A Deus, pela vida e bênçãos infinitas*

*Agradeço*

*Ao meu pai José Fernando Alves da Silva (in memoriam)*

*Dedico*

*À minha família*

*Celso*

*Cecília e Samuel*

*Ofereço*

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por iluminar meu caminho e dar forças para seguir em frente.

Aos meus pais, Giselda Rodrigues e José Fernando e ao meu padrasto Marileno Alcântara pela educação e apoio em minhas decisões.

Ao meu esposo, Celso Ceretta, amor da minha vida, pelo cuidado, carinho e maior amparo em todos os momentos difíceis.

Aos meus filhos, Cecília e Samuel Ceretta, a minha felicidade diária, é em vocês que encontro motivação para continuar.

À minha família, Rodrigues e Ceretta, em especial minha avó Doralice Rodrigues, sogros, irmãos, cunhados e cunhadas, pelo carinho e apoio em todos os momentos.

Ao meu orientador, professor Dr. Thiago de Paula Protásio, pela paciência, por compartilhar sua experiência, e sempre estar à disposição durante o período do curso.

Ao comitê de orientação, professora Dr<sup>a</sup> Marcela Gomes pelo auxílio nas atividades em laboratório, professor Dr<sup>o</sup> Mário Tomazello por compartilhar seu conhecimento da melhor forma possível, ao Dr<sup>o</sup> Gabriel Pereira pela paciência, contribuição, por sempre estar disposto a ensinar.

À Bruna Bastos, aluna de PIBIC, peça fundamental na realização dessa pesquisa, obrigada pela parceria e comprometimento com a pesquisa.

À Universidade Federal Rural da Amazônia pela formação acadêmica recebida, em especial ao Programa de Pós Graduação em Ciências Florestais – PPGCF, pela oportunidade.

A CAPES concessão da bolsa de estudos (código de financiamento 001).

À empresa Jari Celulose S/A pelo fornecimento do material para essa pesquisa e parceria desde a coleta ao transporte do material.

Ao pesquisador da Embrapa Amazônia Oriental, Delman de Almeida Gonçalves, pela confiança durante todo o processo da pesquisa.

À UFRA-Paragominas, em especial ao diretor Dr<sup>o</sup> César Tenório, pela disponibilidade do espaço para dar continuidade as minhas análises.

Aos amigos que fiz no mestrado, minhas queridas “Fadas EAD”: Rafaely, Bruna, Marília, Caio e Ana Kelly. Com vocês tudo é mais leve, obrigada por todos os momentos de alegria e companheirismo.

Aos meus parceiros de trabalho Larissa Moraes e Michael Douglas, por me acolherem.

E a todos aqueles que de alguma forma contribuíram para esta dissertação tornar-se realidade, MUITO OBRIGADA.

“O tamanho dos seus sonhos deve sempre exceder a sua capacidade de alcançá-los. Se os seus sonhos não te assustam, eles não são grandes o suficiente.”

**Ellen Johnson-Sirleaf**

## APRESENTAÇÃO GERAL

Este trabalho faz parte de uma rede de pesquisa formada pela Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – Universidade de São Paulo (USP/Esalq), Universidade Federal de Lavras, Universidade Federal de Uberlândia, Embrapa Amazônia Oriental e a Empresa Jari Celulose.

O objetivo principal desse projeto é de contribuir com os estudos de crescimento e qualidade da madeira da espécie *Tachigali vulgaris* (tachi branco) proveniente de plantios homogêneos, para geração de bioenergia na Amazônia.

Essa rede de pesquisa é coordenada pelo programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais da UFRA e conta com a participação de alunos de mestrado, graduação e iniciação científica. O projeto encontra-se cadastrado na Pró-Reitoria de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico sob o número PIPB146-2017. Duas dissertações desenvolvidas no âmbito deste projeto foram concluídas, ambas sob orientação do Prof. Thiago de Paula Protásio:

- 1 - Discente: Marilene Olga dos Santos e Silva; Título: “Crescimento e qualidade da madeira da espécie *Tachigali vulgaris* cultivada em diferentes espaçamentos para uso bioenergético”. Defesa realizada em: Julho de 2018
- 2 - Discente: Udson de Oliveira Barros Júnior. Tema: “Características de crescimento, madeira e carvão vegetal de *Tachigali vulgaris* (tachi branco), em diferentes espaçamentos, para uso bioenergético na Amazônia”. Defesa realizada em: Julho de 2020.

Essa pesquisa trata especificamente da dissertação nº 3, cujo objetivo inicial é a avaliação das propriedades anatômicas da madeira do tachi branco e as variabilidades que ocorrem em função do espaçamento, da posição radial e dos tipos de fuste. Este estudo é inédito e não foi reportado na literatura, apesar das várias décadas de pesquisas referentes à domesticação de *T. vulgaris* para fins energéticos.

## RESUMO

A espécie de *Tachigali vulgaris* L.F. Gomes da Silva & H.C. Lima (tachi branco) é uma espécie arbórea, pioneira, nativa da região amazônica e possui características ecológicas, silviculturais e tecnológicas que permitem a sua inserção em plantações com fins energéticos. Nesse sentido, avaliar os aspectos anatômicos, bem como a influência do espaçamento de plantio, da posição radial e da bifurcação do fuste é importante para determinar os melhores atributos de qualidade da madeira de tachi branco para fins energéticos. O objetivo desse estudo foi compreender como o espaçamento inicial de plantio, a posição radial e o tipo de fuste afetam as variações anatômicas interespecíficas e intraespecíficas do lenho de *T. vulgaris*. Foram coletadas árvores com 8 anos de idade provenientes de uma plantação experimental, localizada no Distrito de Monte Dourado, estado do Pará. As espécies foram cultivadas em diferentes espaçamentos (3 x 1,5 m, 3 x 2 m, 3 x 2,5 m, 3 x 3 m, 3 x 3,5 m e 3 x 4 m). No lenho foram avaliadas a densidade básica e as análises macroscópicas e microscópicas, qualitativamente e quantitativamente. A análise macroscópica da madeira demonstrou que a espécie tem características que corroboram com outras espécies do gênero *Tachigali*. A frequência dos vasos e o comprimento da fibra apresentaram diferenças significativas nos diferentes espaçamentos de plantio. No sentido medula-casca observou-se que as frequências de vaso reduziram e o diâmetro e comprimento aumentaram com relação à idade. A densidade básica da madeira e fração parede da fibra não foram influenciadas pelo espaçamento de plantio. A bifurcação na madeira não afetou na composição dos elementos celulares. Entretanto, na análise multivariada foram formados grupos compostos apenas por árvores bifurcadas e grupos com árvores de fuste único, evidenciando o efeito da forma do fuste sobre as variáveis analisadas. Os resultados demonstram que a espécie apresenta potencial para fins bioenergéticos, especialmente processos de conversão termoquímica. A espécie *T. vulgaris* apresentou características anatômicas similares a outras espécies utilizadas comercialmente em plantios florestais energéticos.

**Palavra-chave:** tachi branco, fibras, vasos, variabilidade anatômica, múltiplos fustes.

## ABSTRACT

The species *Tachigali vulgaris* L.F. Gomes da Silva & H.C. Lima (white tachi), is a pioneer, arboreal species, native to the Amazon region and has ecological, silvicultural and technological characteristics that allow the insertion of the species in plantations for energy purposes. In this sense, assessing anatomical aspects, as well as the influence of planting spacing, radial position and trunk bifurcation, is important to determine the species' energetic potential. The aim of this study was to understand how the initial planting spacing, the radial position and the type of trunk affect the interspecific and intraspecific anatomical variations of the *T. vulgaris* wood. 8-year-old trees were collected from an experimental plantation, located in the Monte Dourado District, state of Pará. The species were cultivated in different spacing (3 x 1.5 m, 3 x 2 m, 3 x 2.5 m, 3 x 3 m, 3 x 3.5 m and 3x4 m). In the wood, the basic density and macroscopic and microscopic analyzes were evaluated, qualitatively and quantitatively. The macroscopic analysis of the wood showed that the species has characteristics that corroborate with other species of the genus *Tachigali*. The vessel elements did not show significant differences in the different planting spacing. However, in the marrow-shell sense, it was observed that the vessel frequencies decreased and the diameter and length increased with respect to age. The basic density of the wood and the fiber wall fraction had no effect on planting spacing. The bifurcation in the wood did not affect the composition of the cellular elements. However, in the multivariate analysis groups were formed consisting only of bifurcated trees and groups with single-stemmed trees, showing the effect of the trunk shape on the analyzed variables. The results show that the species has potential for bioenergetic purposes, especially thermo-chemical conversion processes. The species *T. vulgaris* showed anatomical characteristics similar to other species used commercially for energetic forest plantations.

Keywords: charcoal tree, fibers, vessel elements, anatomical variability, multiple stems.

## LISTA DE FIGURAS

**Figura 1.** Mapa de ocorrência da espécie de *Tachigali vulgaris* no Brasil. **Fonte:** Rede *speciesLink* (<http://www.splink.org.br>).

**Figura 2.** A: Plantio experimental e; B: disco de madeira de *Tachigali vulgaris*, com escala de 2 cm. **Fonte:** Autor

**Figura 3.** Árvores de tachi branco no campo. A: árvore com fuste único. B: árvore com bifurcação próxima a base. **Fonte:** Autor.

**Figura 4.** Localização do plantio experimental de *T. vulgaris* no distrito de Monte Dourado, município de Almeirim, Pará, Brasil. **Fonte:** Autor.

**Figura 5.** Média da precipitação pluviométrica e temperatura média no município de Porto de Moz, próximo a Monte Dourado, Almeirim-PA, no período de 2010 a 2019.

**Figura 6.** Organograma da área de plantio, amostragem de árvores e seccionamento dos discos em corpos de prova. **Fonte:** Autor.

**Figura 7.** Discos de madeiras de *T. vulgaris* avaliado com escala de 2cm. Os discos demarcados com (\*) são de das árvores não bifurcadas, os demais são de árvores bifurcadas. **Fonte:** Autor.

**Figura 8.** Imagens microscópicas da anatomia do xilema secundário de *T. vulgaris*. A: Imagem macroscópica radiografada da madeira de *T. vulgaris* com escala de 0,5 cm. B: Imagem macroscópica da madeira do *T. vulgaris* com escala de 0,5 cm.

**Figura 9.** Imagens microscópicas da anatomia do xilema secundário de *T. vulgaris*. A: Plano transversal em 200 $\mu$ m; B: Plano tangencial em 200 $\mu$ m; C: Plano radial em 200 $\mu$ m; D: Placa de perfuração do elemento de vaso em 50 $\mu$ m; E: Pontoações das paredes do elemento de vaso em 50 $\mu$ m; F: Plano radial evidenciando a presença de cristais nas células do raio; G: Fibras libriformes no material macerado, evidenciando a espessura da parede em 200 $\mu$ m; H: elemento de vaso no material macerado em 200 $\mu$ m; I: Células do raio no plano tangencial em 50 $\mu$ m.

**Figura 10.** Efeito do espaçamento de plantio na frequência dos vasos (n.mm<sup>-2</sup>)

**Figura 11.** Efeito do espaçamento de plantio no comprimento da fibra ( $\mu$ m).

**Figura 12.** Efeito do espaçamento de plantio na fração parede das fibras da madeira de *T. vulgaris*. **Fonte:** Autor

**Figura 13.** Efeito do espaçamento de plantio na densidade básica da madeira de *T. vulgaris*. **Fonte:** Autor

**Figura 14.** Efeito do espaçamento e da posição radial na espessura da parede da fibra da madeira de *T. vulgaris*. **Fonte:** Autor.

**Figura 15.** Efeito do espaçamento e da posição radial no diâmetro do lúmen da fibra da madeira de *T. vulgaris*

**Fonte:** Autor.

**Figura 16.** Efeito do espaçamento e da posição radial no comprimento da fibra da madeira de *T. vulgaris*. **Fonte:** Autor.

**Figura 17.** Imagens microscópicas da madeira de *T. vulgaris*, evidenciando o efeito da posição radial na anatomia da madeira com escala nos planos transversal e tangencial. 200 $\mu$ m. **Fonte:** Autor.

**Figura 18.** Efeito do espaçamento e da posição radial na frequência dos vasos da madeira de *T. vulgaris*. **Fonte:** Autor.

**Figura 19.** Efeito do espaçamento e da posição radial no diâmetro do lúmen dos vasos da madeira de *T. vulgaris*. **Fonte:** Autor.

**Figura 20.** Efeito do espaçamento e da posição radial no comprimento do elemento de vaso da madeira de *T. vulgaris*. **Fonte:** Autor.

**Figura 21.** Efeito do espaçamento e da posição radial na fração parede das fibras da madeira de *T. vulgaris*. **Fonte:** Autor.

**Figura 22.** Efeito do espaçamento e da posição radial na densidade básica da madeira de *T. vulgaris*. **Fonte:** Autor.

**Figura 23.** Efeito da bifurcação e da posição radial no comprimento da fibra da madeira de *T. vulgaris*. **Fonte:** Autor.

**Figura 24.** Efeito da bifurcação e da posição radial na espessura da parede da fibra da madeira de *T. vulgaris*. **Fonte:** Autor.

**Figura 25.** Efeito da bifurcação e da posição radial no diâmetro do lúmen da fibra da madeira de *T. vulgaris*. **Fonte:** Autor.

**Figura 26.** Efeito da bifurcação e da posição radial na frequência dos vasos (por mm<sup>2</sup>) da madeira de *T. vulgaris*. **Fonte:** Autor.

**Figura 27.** Efeito da bifurcação e da posição radial no diâmetro do lúmen dos vasos da madeira de *T. vulgaris*. **Fonte:** Autor.

**Figura 28.** Efeito da bifurcação e da posição radial no comprimento do elemento de vaso da madeira de *T. vulgaris*. **Fonte:** Autor.

**Figura 29.** Efeito da bifurcação do fuste e da posição radial na densidade básica da madeira de *T. vulgaris*. **Fonte:** Autor.

**Figura 30.** Agrupamento multivariado da espécie de *T. vulgaris* em diferentes espaçamentos de plantio, com a presença de árvores bifurcadas (BF) e não bifurcadas (NB). **Fonte:** Autor.



## LISTA DE TABELAS

- Tabela 1.** Propriedades químicas e físicas de amostras do solo do plantio de experimental de *T. vulgaris*, profundidade 0-20 cm, no distrito de Monte Dourado, município de Almeirim, Pará, Brasil.
- Tabela 2.** Informações gerais do experimento, com desvio padrão.
- Tabela 3.** Número de amostras por espaçamento e bloco.
- Tabela 4.** Tabela biométrica geral dos elementos celulares de *Tachigali vulgaris*.
- Tabela 5.** Resumo da análise de variância para as variáveis físicas e anatômicas madeira de *T. vulgaris*.
- Tabela 6.** Resumo da análise de variância para a frequência dos vasos ( $n.mm^{-2}$ ) de *T. vulgaris*.
- Tabela 7.** Resumo da análise de variância para o comprimento da fibra ( $\mu m$ ) de *T. vulgaris*.
- Tabela 8.** Resumo da análise de variância para a espessura da parede da fibra ( $\mu m$ ) de *T. vulgaris*.
- Tabela 9.** Resumo da análise de variância para o diâmetro do lúmen da fibra ( $\mu m$ ) de *T. vulgaris*.
- Tabela 10.** Autovetores das 3 primeiras componentes principais.
- Tabela 11.** Média das variáveis estudadas para cada grupo formado pela análise de componentes principais.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>16</b>
<b>2 OBJETIVOS .....</b>	<b>17</b>
2.1 Objetivo Geral.....	17
2.2 Objetivos específicos .....	18
<b>3 QUESTÕES CIENTÍFICAS .....</b>	<b>18</b>
<b>4 HIPÓTESES .....</b>	<b>18</b>
<b>5 REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>18</b>
5.1 Gênero <i>Tachigali</i> .....	19
5.2 <i>Tachigali vulgaris</i> .....	20
5.3 Influência dos caracteres anatômicos no processamento e utilização da madeira.....	25
5.4 Efeito do espaçamento de plantio na qualidade da madeira .....	29
5.5 Efeito da bifurcação na qualidade da madeira .....	31
<b>6 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>33</b>
6.1 Área de estudo .....	33
6.2 Delineamento experimental e coleta de dados.....	35
6.3 Caracterização das propriedades organolépticas e macroscópicas da madeira .....	37
6.4 Caracterização das propriedades microscópicas da madeira .....	37
6.6 Descrição microscópica qualitativa e quantitativa.....	38
6.7 Fração parede da fibra.....	39
6.8 Análise da densidade básica .....	39
6.9 Análises estatísticas .....	39
<b>7 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>41</b>
7.1 Descrição anatômica da madeira de <i>Tachigali vulgaris</i> .....	41
7.2 Efeito do espaçamento nas características anatômicas .....	47
7.3 Efeito do espaçamento e da posição radial na anatomia da madeira de <i>T. vulgaris</i> .....	52
7.4 Efeito da bifurcação na anatomia da madeira de <i>T. vulgaris</i> .....	64
7.5 Agrupamento multivariado das árvores de <i>T. vulgaris</i> .....	74
<b>8 CONCLUSÃO.....</b>	<b>77</b>
<b>9 RECOMENDAÇÕES FUTURAS.....</b>	<b>78</b>
<b>10 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>79</b>

## 1 INTRODUÇÃO

As florestas plantadas totalizaram 9 milhões de hectares, no ano de 2019 (IBÁ, 2020), nesse montante as florestas energéticas proveem 95% da oferta industrial de carvão vegetal. Com aumento da demanda por energia, o setor tem necessidade de expansão para reduzir os impactos do desmatamento na floresta amazônica e minimizar a procura por madeira extraída de forma ilegal.

Nesse contexto, a região amazônica apresenta uma elevada diversidade de espécies arbóreas e com potencialidade para atender o setor madeireiro em reflorestamentos de larga escala, algumas dessas espécies são frequentemente testadas como o paricá (*Schizolobium amazonicum*) (RONDON, 2002; MELO, et al., 2020), freijó (*Cordia alliodora*) (MARANHO et al., 2013) e o tachi branco (*Tachigalis vulgaris* L.F. Gomes da Silva & H.C. Lima) (GONÇALVES & LELIS, 2012; SILVA et al., 2021). No entanto, o conhecimento acerca do comportamento e da qualidade da madeira dessas espécies é incipiente.

Dentre as espécies com potencial madeireiro, o *T. vulgaris* pertencente à família Fabaceae-Caesalpinioideae tem se destacado. É uma espécie pioneira, que inicia a sucessão secundária em áreas antropizadas (CAMPUS-FILHO, 2009), com uma alta capacidade de recuperação de solos degradados (FARIAS et al., 2016; GUIMARÃES et al., 2018) e possui um rápido crescimento, com elevados valores de incremento médio anual, alcançando 2,5 m/ano em altura e 3,4 cm/ano em diâmetro (YARED, 1990). Apresenta elevada produção de serapilheira produzindo 241,7 Mg ha<sup>-1</sup> de biomassa acima do solo, após quatro anos de crescimento, e capacidade de associação com bactérias fixadoras de nitrogênio (SOUSA et al., 2016, FARIAS et al., 2016).

A madeira de *T. vulgaris*, apresenta densidade média de 0,493 g/cm<sup>3</sup> e características físicas, químicas e térmicas adequadas à produção de carvão e lenha (SILVA et al., 2021) e resistente ao ataque de organismos xilófagos (STALLBAUN et al., 2016), sendo indicada para plantios homogêneos destinados para fins de suprimento energético (ORELLANA et al., 2018, RODRIGUES et al., 2020).

Dessa forma, a implantação de uma floresta requer o emprego de técnicas adequadas, dentre elas, o espaçamento de plantio, preparo do solo e manejo das árvores (NASCIMENTO et al., 2012). Na silvicultura, o estudo do espaçamento ideal influencia na taxa de crescimento

das plantas, no aproveitamento dos recursos disponíveis no ambiente, no recobrimento do solo e no valor e na qualidade da madeira (LELES et al., 2014). Além disso, o espaçamento de plantio têm influência direta nas propriedades físicas da madeira, nos caracteres anatômicos (SORANSO et al., 2016) e, também, na produção de carvão vegetal (REIS et al., 2012, SILVA et al., 2021). Segundo Gonzalez et al. (2014), avaliando a variação anatômica do híbrido de *Eucalyptus urophylla x Eucalyptus grandis*, observaram que caracteres como comprimento, espessura da parede e diâmetro do lume das fibras e porcentagem de vasos possuem alta correlação com a densidade básica da madeira.

Além das variações influenciadas pelo manejo da espécie, há variações internas que ocorrem da medula para a casca que estão relacionadas com as fases de crescimento e estabelecimento das árvores. Os fatores responsáveis por essas variações são atribuídos, principalmente, às mudanças de comprimento das fibras, diâmetro e espessura da parede celular e proporções dos tipos de células (JESUS, SILVA, 2020).

Outra variável a ser contornada é a bifurcação do fuste, segundo Resende e Fantini Júnior (2001), a causa da bifurcação pode ser influenciada por fatores genéticos, ambientais e pela interação destes. Esse fenômeno é desconhecido, porém já mencionado na literatura para a espécie do *T. vulgaris* por Yared et al. (1988). Assim sendo, estudar as variações anatômicas influenciadas pelas formas do fuste e comparar com as árvores de fuste único pode trazer respostas para a compreensão desse fenômeno. Vale destacar que existem estudos que avaliam o potencial do *T. vulgaris* sobre diferentes espaçamentos de plantio, entretanto, estão mais voltados para avaliar o potencial energético da espécie (OLIVEIRA, et al., 2008, FARIAS et al., 2016, ROLIM e PIOTTO, 2018, SILVA et al., 2019), sem considerar a variabilidade anatômica e como esta exerce influência sobre os demais indicadores de qualidade.

Dessa forma, o estudo da anatomia do lenho de *T. vulgaris* é essencial para entender como as variações anatômicas influenciadas pelo espaçamento de plantio, posição radial e a ocorrência de múltiplos fustes podem influenciar os diversos usos da madeira proveniente das plantações homogêneas, especificamente para finalidade energética na Amazônia.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Compreender como o espaçamento inicial de plantio, a posição radial e o tipo de fuste afetam as variações anatômicas intraespecíficas do lenho de *T. vulgaris*.

## 2.2 Objetivos específicos

- Caracterizar a anatomia macroscópica e microscópica da madeira de *T. vulgaris*.
- Avaliar a influência do espaçamento do plantio sobre as propriedades anatômicas da madeira de *T. vulgaris*.
- Avaliar as variações anatômicas dos elementos celulares e de densidade da madeira no sentido radial em árvores de fustes únicos e múltiplos fustes provenientes de diferentes espaçamentos de plantio.

## 3 QUESTÕES CIENTÍFICAS

- Q1: As propriedades anatômicas da madeira de *Tachigali vulgaris* são afetadas pelos diferentes espaçamentos do plantio?
- Q2: Há variações na dimensão dos elementos celulares no sentido radial? E considerando os diferentes tipos de fustes?
- Q3: O espaçamento inicial de plantio afeta a densidade básica da madeira de *T. vulgaris*?

## 4 HIPÓTESES

- H1: A variabilidade dos caracteres anatômicos do lenho de *T. vulgaris* é influenciada pelo espaçamento de plantio.
- H2: As dimensões de comprimento e espessura da parede da fibra aumentam no sentido medula-casca. Os diferentes tipos de fuste influenciam nas variações das dimensões dos elementos celulares.
- H3: As variações da densidade da madeira de *T. vulgaris* ocorrem quando plantadas em diferentes espaçamentos.

## 5 REVISÃO DE LITERATURA

## 5.1 Gênero *Tachigali*

O gênero *Tachigali* (Leguminosae – Caesalpinioideae) foi estabelecido por Aubl. (1975), compreende 75 espécies descritas (THE PLANT LIST, 2020). No Brasil, *Tachigali* está representada por 60 espécies, sendo 26 espécies endêmicas do país, ocorrendo nos domínios fitogeográficos Amazônia, Caatinga, Cerrado e Mata Atlântica (LIMA, 2015).

*Tachigali* pertence às Leguminosas arbóreas neotropicais, apresenta elevada riqueza de espécies e abundância principalmente nas áreas de margens de rios e em formações de regeneração florestal (SILVA; LIMA, 2007). Segundo Reis et al., (2011), os indivíduos pertencentes a esse grupo de espécies possuem rápido crescimento, alta produção de biomassa e desrama foliar, com possibilidade de utilização em áreas de recuperação de ambientes degradados, reflorestamento e produção de florestas energéticas.

Recentemente, diversos estudos estão sendo difundidos com as espécies do gênero *Tachigali*, estes estão voltados para o uso substratos para o estabelecimento de mudas (SOUCHIE et al., 2011), parâmetros genéticos e seleção inicial de progênies (CRUZ et al., 2020), morfologia floral (CASANOVA et al., 2020), caracterização anatômica da madeira (REIS et al., 2011; REIS, et al., 2015) e propriedades físicas, mecânicas e energéticas da madeira (MOTA JÚNIOR et al., 2019; TONINI et al., 2018; SILVA et al., 2021).

Sobre a utilização da espécie, Martins et al., (2020), identificando habitats potenciais para o plantio de árvores nativas no estado de Minas Gerais, observou que dentre as 19 espécie analisadas, sete apresentaram áreas potenciais de cultivo, entre elas o *Tachigali paniculata* Aubl., com uma área de 288.769 km<sup>2</sup>. Essa interação da demanda de madeira em uma determinada região com as áreas com potencial para esse plantio permite a especificação de regiões prioritárias para o reflorestamento, além de demonstrar a versatilidade da espécie de se adaptar a diferentes estratos florestais, é uma característica promissora, pois permite que as espécies sejam cultivadas em diferentes condições de plantio. Oliveira et al., (2008), verificaram que os diferentes níveis de fertilização com NPK e calcário para a espécie de *T. vulgaris* não influenciaram a produção de biomassa por área, com uma média de 109,8 toneladas/ha, sendo assim, a madeira apresenta uma alta adaptabilidade a diferentes tipos de adubação no solo.

Os estudos relacionados às características tecnológicas do gênero *Tachigali* são importantes para definir o padrão de qualidade para a madeira das espécies pertencentes a esse grupo (OLIVEIRA et al., 2008). Dessa forma, alguns estudos anatômicos foram descritos com

relação à qualidade da madeira com espécies do gênero, dentre eles, Bass et al. (2000), Pires e Marcati (2005), Oliveira et al. (2008), Lima et al. (2009). No entanto, são necessárias pesquisas mais aprofundadas relacionadas à qualidade do lenho de *T. vulgaris*, especialmente considerando diferentes fontes de variação de caráter ambiental.

Com relação à descrição anatômica, Reis et al., (2011), caracterizando a anatomia do xilema secundário de sete espécies de *Tachigali* no estado do Pará, observou que o parênquima axial paratraqueal vasicêntrico é característico da família, além disso as espécies apresentaram raios unisseriados e homogêneos. Os autores verificaram que a composição e a organização das células dos raios, aliadas ao tipo de parênquima axial, revelam a peculiaridade de cada espécie.

Silva et al., (2021) não observaram diferenças significativas entre as árvores da espécie *T. vulgaris* plantados em diferentes espaçamentos de plantio para a densidade básica da madeira e anatomia da fibra. Entretanto, é importante destacar a elevada variação da densidade básica da madeira ( $453-557 \text{ kg m}^{-3}$ ) que, por sua vez, influencia diretamente no uso dessa matéria-prima em processos energéticos de conversão. A densidade da madeira nas áreas com espaçamentos mais adensados ( $4,5 \text{ m}^2$ ) foi de  $454 \text{ kg/m}^3$ , sendo esse valor 14% menor em relação às árvores plantadas em espaçamentos maiores ( $9$  e  $12 \text{ m}^2$ ), com média de  $516 \text{ kg/m}^3$ . Essa variação, apesar de estatisticamente não significativa, reflete o fato da espécie se adaptar as diferentes condições de plantio.

Devido à importância do gênero *Tachigali*, aliado ao grande número de espécies que são utilizadas pela indústria madeireira, conhecer as propriedades tecnológicas, dentre elas, as físicas e anatômicas, torna-se a principal ferramenta utilizada para a identificação correta do material, auxiliando gestores nas tomadas de decisão na indústria.

## **5.2 *Tachigali vulgaris***

O tachi branco, *Tachigali vulgaris* L.F. Gomes da Silva e H.C Lima, pertence à família Caesalpinioideae, que tem como sinônimo botânico a espécie *Sclerolobium paniculatum* Vogel, é uma espécie pioneira, de sucessão secundária em área aberta, conhecida popularmente como: tachi branco, carvoeiro e tachi-do-campo (CAMPOS-FILHO, 2009).

Silva e Lima (2007) destacam o gênero *Tachigali* e *Sclerolobium*, pertencentes às leguminosas arbóreas neotropicais, pela sua elevada riqueza de espécies e abundância em ambientes de margens de rios e em formações florestais em regeneração. Nas últimas revisões,

os gêneros *Tachigali* e *Sclerolobium* foram considerados distintos (DWYER, 1954), mas os caracteres de identificação mostravam-se bastante imprecisos. Após a realização de estudos mais recentes, relacionados à anatomia do lenho, morfologia dos grãos de pólen e caracteres macromoleculares, além da verificação de caracteres comum entre os dois gêneros, apoiaram a proposição de alguns autores de considerá-los sinônimos (SILVA; LIMA, 2007).

A espécie de *T. vulgaris* é nativa de terra firme da região amazônica, que ocorre no centro-oeste e nordeste brasileiro, com ampla ocorrência em países como Peru, Suriname, Guianas e Venezuela (Figura 1) (CARPANEZZI et al. 1983; LORENZI, 2002, SOUZA et al., 2004; LIMA, 2004). Segundo Martorano et al., (2018), a espécie *T. vulgaris* ocorre em todos os nove estados da Amazônia Legal, e as maiores ocorrências de tachi branco estão concentradas na faixa pluvial entre 2.000 mm e 3.000 mm, evidenciando a alta plasticidade da espécie com relação ao total médio de chuva anual na Amazônia.

Na Amazônia, o *T. vulgaris* ocorre na vegetação secundária da Floresta Ombrófila Densa e é encontrada em regiões com 15 m a 1.200 m de altitude, temperatura média anual de 20,9° C a 32,3° C e tem tolerância a estação seca por um período de até 6 meses (CARVALHO, 2005; CRUZ et al., 2020).

Com relação às ocorrências da espécie de tachi branco, cerca de 80% das árvores concentram-se na faixa térmica entre 25,3°C e 27,1°C e 70% na faixa entre 30,5°C e 32°C, em termos de temperaturas máximas. Com relação às temperaturas mínimas, a espécie ocorre predominantemente entre 18 °C e 22 °C. A predominância da espécie ocorre em áreas com umidade relativa do ar superior a 80% (MARTORANO et al., 2018). Esses percentuais confirmam a ocorrência da espécie em climas variados e a alta adaptabilidade da espécie a diferentes temperaturas. Quanto aos solos, o tachi branco tem ocorrência natural em solos arenosos a argilosos, ácidos, de baixa fertilidade química e bem drenados (CARVALHO, 2005).

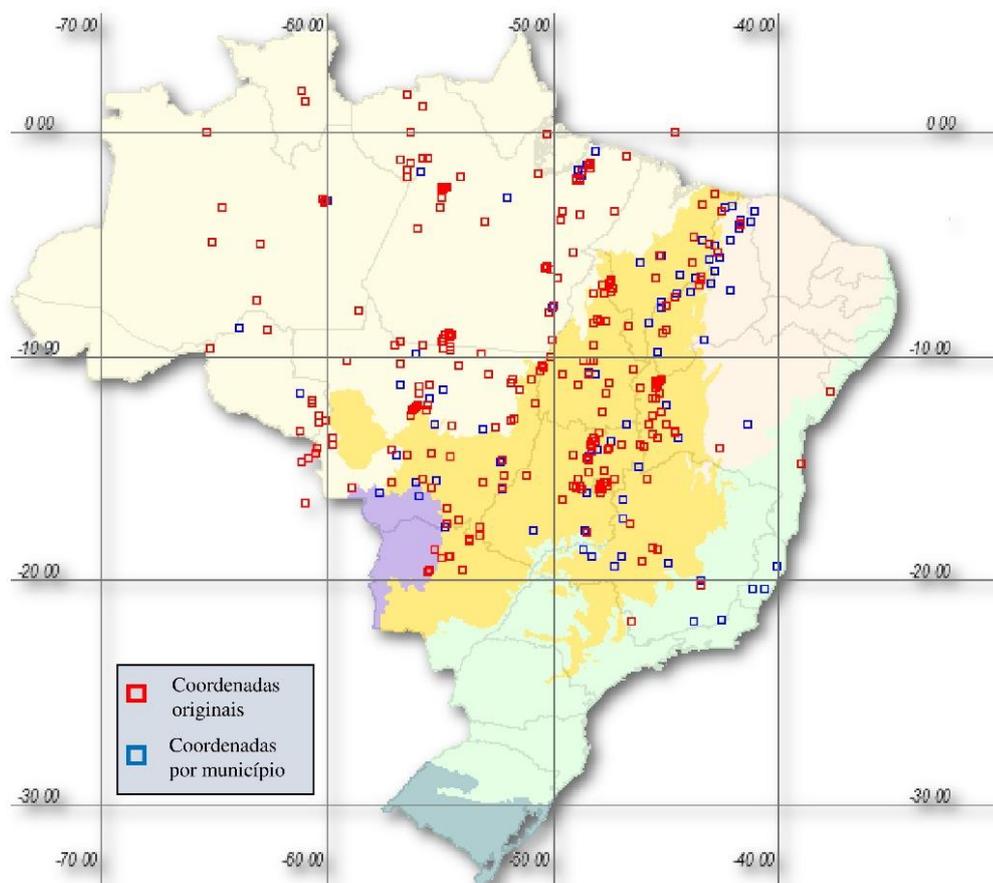
Souza et al. (2017) elaboraram um levantamento taxonômico 15 espécies no Parque Estadual da Serra Dourada (PESD) em Goiás, entre elas, *T. vulgaris* que apresenta árvores com altura média de 8-20 metros de altura. A espécie apresenta semelhança com espécie de *T. aurea*, a diferença nota-se pelo folíolo com ápice agudo e pelas flores com pétalas oblongas e elípticas.

É uma espécie essencial para plantio em áreas alteradas pela ação antrópica e, pela alta capacidade de associação com bactérias fixadoras de nitrogênio atmosférico. O *T. vulgaris* realiza a simbiose com bactérias que pertencem ao gênero *Rhizobium* que fixam o nitrogênio

por meio da conversão de nitrogênio molecular (N<sub>2</sub>) em amônia, nitrito e nitrato, aumentando, assim, a disponibilidade desse nutriente para a planta (MOCHIUTTI, et al., 2006). Além disso, possui um rápido crescimento, com acúmulo volumétrico variando entre 14,0 e 38,8 m<sup>3</sup>/ha.ano, acompanhado de desrama de galhos e maximizando a produção de serapilheira mesmo em solos inférteis. Essas características tornam o tachi branco como uma espécie promissora para a recuperação de áreas degradadas (YARED, 1990; DIAS et al., 1995; FARIAS NETO, CASTRO, BIANCHETTI, 2003; GONÇALVES et al., 2009).

O *T. vulgaris* é uma espécie perenifólia, com períodos de floração de dezembro a abril e de frutificação de abril a maio (PILON, MELO, DURIGAN, 2012), possui ciclo de vida relativamente curto (inferior a 20 anos) e é considerada uma árvore de porte médio entre 8 a 20 m de altura (SOUZA et al., 2004). A espécie possui o tronco reto e cilíndrico, entretanto, tem a ocorrência de bifurcação do fuste (YARED et al, 1988, SILVA et al., 2021).

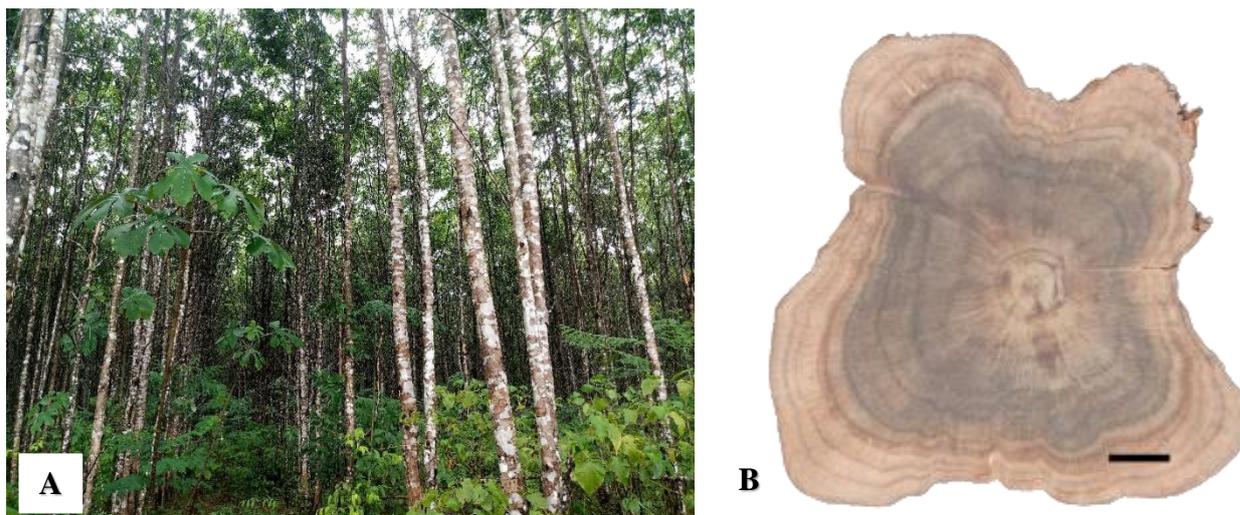
O tachi branco tem a capacidade de prover a inserção de espécies nativas ao plantio, além disso, o produto obtido e a possibilidade de consórcio com outras culturas tornam a *T. vulgaris*, uma espécie de fácil aceitação pelos produtores rurais amazônicos (MARTORANO et al., 2018). Com o aumento da demanda por florestas energéticas, o tachi branco pode ser uma espécie de destaque na produção de mudas em viveiros florestais. No entanto, as sementes apresentam dormência e, diante disso, recomenda-se a escarificação mecânica das sementes com potencial de germinação de 7 dias (PILON, MELO, DURIGAN, 2012)



**Figura 1.** Mapa de ocorrência da espécie de *Tachigali vulgaris* no Brasil. **Fonte:** Rede *speciesLink* (<http://www.splink.org.br>).

De acordo com Carvalho (2005), a madeira de *Tachigali vulgaris* apresenta uma superfície irregularmente lustrosa, textura média, grã reversa, com presença de cheiro e gosto indistintos, com cerne e alburno pouco diferenciados, entretanto, em plantação experimental, a variação nos tons de cor do cerne e alburno são evidenciados (Figura 2). É uma madeira moderadamente densa com valores de densidade variando entre 0,52 a 0,58 g cm<sup>-3</sup> em plantios experimentais (OLIVEIRA et al., 2008, ORELLANA et al., 2018), e 0,72 a 0,78 g cm<sup>-3</sup> em áreas de manejo florestal (VALE et al., 2010).

Por possuir características como, excelente vigor e dominância apical bem definidas, com ciclo médio de corte de 5 a 10 anos para uso na produção de energia, Monchiutti et al. (1999) afirmaram que a espécie *T. vulgaris*, produz uma madeira com características satisfatórias para o processo de carbonização e similares ao *Eucalyptus*. Farias et al. (2016), sugerem que a espécie seja utilizada em plantios de escala comercial como um substituto ao *Eucalyptus*, em áreas da região Amazônica e do cerrado.



**Figura 2.** A: Plantio experimental e; B: disco de madeira de *Tachigali vulgaris*, com escala de 2 cm. **Fonte:** Autor

A madeira de tachi branco poder ser utilizada para a produção de móveis, lâminas, mourões e estacas, fabricação de embalagens rústicas, além da produção de lenha e carvão vegetal para energia (CARVALHO, 2005; ROLIM e PIOTTO, 2018). O tachi branco é uma espécie promissora para inserção em plantios homogêneos visando ao uso energético, pois apresenta arquitetura similar ao eucalipto, dominância apical muito bem definida, excelente vigor e boa desrama natural sob em plantios adensados, com ciclos médios de corte de 5 a 10 anos para a produção de energia e de 15 a 20 anos para o uso em serraria (CARVALHO, 2005).

Oliveira et al. (2008), analisando a produção de biomassa e as características da madeira de *T. vulgaris* cultivado em diferentes níveis de adubação, variando de zero a diferentes concentrações de fósforo em NPK, observaram que não foram encontradas diferenças significativas ao nível de 5% de significância da fertilização na produção de biomassa, confirmando o fato da madeira possuir uma alta adaptação a diferentes tipos de condições nutricionais.

Souza et al. (2008), avaliando o crescimento de espécies florestais nativas e exóticas visando a recuperação de áreas alteradas na região amazônica, verificaram que a espécie que apresentou melhor desempenho foi *T. vulgaris*, com volume de 475,6 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> aos 11 anos de idade e concluíram que o tachi branco apresenta excelente potencial para plantios comerciais na região.

Entretanto, apesar do tachi branco apresentar comportamento similar ao eucalipto quanto ao fuste retilíneo, nos plantios experimentais, observou-se um considerável número de árvores bifurcadas (Figura 2), também observadas por Yared et al., (1988). As árvores

bifurcadas produzem madeira de menor densidade quando comparada as árvores de fuste único e isso pode ser um fator limitante no uso da madeira para produção de carvão vegetal (BARROS JÚNIOR, 2020). Vale destacar que a densidade da madeira está relacionada à produtividade de biomassa e energia térmica, portanto, influencia diretamente a qualidade dos carvões vegetais siderúrgicos ou domésticos (VIDAURRE et al., 2013). Além disso, os trabalhos referentes à forma do fuste são escassos, ainda mais quando se avaliam os aspectos anatômicos que podem influenciar esse fenômeno.

Ainda que existam relatos na literatura dos últimos 37 anos sobre o potencial silvicultural e tecnológico de *T. vulgaris*, plantios comerciais dessa espécie estão sendo difundidos apenas em escala experimental nos estados do Pará (SILVA et al., 2019; NARDUCCI et al., 2016), Amazonas (SOUZA et al., 2008), Amapá (ORELLANA et al., 2018), Roraima (TONINI et al., 2018; CRUZ et al., 2020), Distrito Federal (OLIVEIRA et al., 2008, MELO e HARIDASAN, 2010), Mato Grosso (FARIAS et al., 2016) e Espírito Santo (ROLIM e PIOTTO, 2018). Apesar da extensa literatura sobre o tachi branco, há carência de informações acerca da anatomia do xilema secundário, em estudos mais recentes, observa-se que as pesquisas estão voltadas para a identificação e caracterização da espécie. Entretanto, é importante conhecer a variabilidade dos elementos celulares e relacioná-las aos impactos nos distintos usos da madeira do tachi branco.

Dessa forma, existe ausência de informações a respeito da influência das condições de plantio na anatomia da madeira, visto que, o estudo da árvore em diferentes espaçamentos é um fator limitante para o crescimento e a qualidade da madeira. Sendo assim, além de dominar os aspectos silviculturais, é necessário o conhecimento da variabilidade anatômica do xilema secundário do *T. vulgaris*, para assim verificar seus potenciais usos.

### **5.3 Influência dos caracteres anatômicos no processamento e utilização da madeira**

O estudo da anatomia do xilema secundário visa entender o comportamento da madeira para o emprego correto, identificar espécies e distinguir estruturas aparentemente idênticas. Segundo Araújo e Mattos Filho (1980), as vantagens resultantes da verificação da identidade da madeira são de real importância para o comércio e a indústria madeireira. Assim, dentre as numerosas madeiras semelhantes pelo aspecto, somente uma ou duas tem sua aplicação de maneira correta. Santine (2013), ao descrever 90 madeiras comerciais no estado de São Paulo, reconhece que este tipo de estudo é de fundamental importância para fins de fiscalização e regulamentação do comércio.

O estudo anatômico da madeira tem sido realizado na sua grande maioria como respaldo e subsídio à taxonomia, fisiologia e ecologia (PAULA et al., 2000; AZÊVEDO et al., 2012). Além das questões relacionadas à fiscalização, a descrição anatômica é de fundamental importância para a determinação do aproveitamento tecnológico do lenho. Essa afirmação baseia-se no fato de que as dimensões e a frequência dos elementos celulares, por exemplo, tem grande influência nas propriedades físicas da madeira e, conseqüentemente, na aplicação desta em múltiplos usos.

Para que se faça um uso adequado da madeira de tachi branco, assim como qualquer outro material, é necessário conhecer suas propriedades anatômicas e entender o seu comportamento diante das variações, sendo estas influenciadas por causas ambientais ou do plantio. Apesar das características anatômicas serem controladas geneticamente, quando uma espécie é plantada em diferentes espaçamentos podem ocorrer mudanças nos padrões anatômicos. Essas variações são determinadas pelo genótipo e induzidas pelo ambiente são chamadas de plasticidade fenotípica (VALLADARES et al., 2006) e refere-se à amplitude de respostas possíveis dentro de um mesmo genótipo, podendo ser expressa pelo processo de aclimação (CHAMBEL et al., 2005). Os ajustes fenotípicos para a aclimação das plantas em diferentes condições de luminosidade ocorrem com maior intensidade na regulação da fotossíntese dentro dos limites genéticos específicos, para manter um balanço positivo de carbono (KRAUSE et al., 2001).

Plantas jovens apresentam maiores níveis de plasticidade em relação às adultas, e apresentam ajustes de ordem fisiológicos, morfológicos e anatômicos que variam de acordo com o nível de radiação, exposição solar e características de plasticidade do indivíduo (VALLADARES et al., 2005). Indivíduos mais plásticos têm a maior chance de sobreviver às diferentes condições de ambientes devido à capacidade de adaptação, incluindo, por exemplo, alterações nas dimensões e frequências dos elementos de vaso (RAIMONDO et al., 2009).

Para realizar os estudos anatômicos de identificação de madeiras são utilizadas duas abordagens, a macroscopia e a microscopia. Na macroscopia são observadas características que requer um pouco ou nenhum aumento, sendo divididas em propriedades organolépticas e anatômicas. As características organolépticas são aquelas determináveis pelos órgãos dos sentidos, englobam: cor, brilho, odor, gosto, grã, textura, dureza e desenhos da madeira, as características anatômicas, reúnem aspectos mais minuciosos relacionados à visualização dos anéis de crescimento, formas, tamanhos e distribuição dos elementos celulares (vasos e parênquimas axial e radial) que são observadas a olho nu ou com o uso de uma lupa (conta-fio)

ou lente de aumento de 10 vezes (BOTOSSO, 2011). Na microscopia são observadas características dos tecidos, que não apresentam distinção sem o uso do microscópio, tais como: tipos de pontoações, composição celular dos raios, dimensões dos elementos celulares, presença de sílicas, cristais e outros caracteres especiais (IPT, 2012).

A madeira, por ser um material biológico e heterogêneo, constituído por células organizadas em diferentes orientações, o aspecto varia de acordo com a sua face de observação (FLORSHEIM, et al., 2020), temos, então, três planos de corte de referência para estudo, sendo eles:

- Plano transversal (X): se apresenta de forma perpendicular ao eixo do caule. Corresponde à seção transversal (ou um topo) de um tronco ou peça de madeira.
- Plano longitudinal radial (R): apresenta orientação segundo os raios em seção transversal. Paralela aos raios ou perpendicular ao limite dos anéis de crescimento, em um plano de corte que passa pela medula.
- Plano longitudinal tangencial (T): apresentada tangencialmente em relação ao limite dos anéis de crescimento, ou perpendicular à direção dos raios, ou seja, paralela ao eixo do caule (tronco).

Em cada plano, é possível observar como os caracteres anatômicos se apresentam no xilema secundário, em relação à forma do elemento celular, tamanho, distribuição ou proporção dos mesmos. Em espécies do grupo das Angiospermas é bem comum encontrar: elementos de vasos, fibras, raios parenquimáticos, parênquimas axiais e caracteres especiais.

As fibras tem como função principal a sustentação mecânica da madeira, portanto, o estudo das dimensões das fibras é importante, pois se correlaciona diretamente com as propriedades físicas e mecânicas, determinando seu uso final (RIBEIRO; MORI; MENDES, 2011). Oliveira et al. (2006) consideram importante para a produção de carvão de *Eucalyptus pellita*, buscar espécies que possuam madeira constituída por fibras com paredes espessas e baixas proporções de vasos e tecidos parenquimatosos, por serem elementos com características distintas de parede celular.

No processo de polpação da madeira para a produção de papel é essencial o conhecimento a respeito das características anatômicas dos elementos fibrosos, desse modo, permite-se que sejam previstas indicações das propriedades de seus papéis. Segundo Gomide et al., (2005), as fibras mais curtas contribuem para uma boa formação da folha, enquanto as fibras mais longas favorecem a resistência ao rasgo.

Os vasos são elementos axiais, formando uma estrutura tubiforme contínua de comprimento indeterminado e são responsáveis pela condução ascendente de líquidos na árvore. As características desses elementos são de grande importância para determinar a qualidade tecnológica da madeira do tachi branco, pois, as variações no diâmetro, frequência, tipo de porosidade, arranjo, presença de obstruções e agrupamento, influenciam em diferentes formas de utilização e processos em que a madeira possa ser submetida.

Monteiro et al. (2017), estudando o efeito das características anatômicas da madeira de *Eucalyptus* e *Corymbia* no fluxo de água, verificaram que, a movimentação da água adsorvida na madeira foi favorecida com a maior frequência de poros. Segundo Lepage (1986), os vasos formam uma espécie de caminho longitudinal e possuem menos resistência para o fluxo de água, dessa forma, quando esses elementos apresentam placa de perfuração simples e maiores frequências, a circulação dos líquidos ocorre com maior intensidade.

Para a destinação de madeiras para o processo de carbonização é desejável que a frequência de poros seja a menor possível, de modo que a maior parte de área seja ocupada por massa e não por espaços vazios, o que contribui para uma maior densidade do carvão e formação de um carvão menos poroso e quebradiço (PEREIRA, et al., 2016).

O parênquima é um tecido composto por células tipicamente isodiamétricas ou paralelepípedicas, geralmente cilíndricas ou prismáticas, orientadas paralelamente ao maior eixo da árvore (BOTOSSO, 2011). Os raios parenquimáticos são feixes de células alongados, formados por células dispostas horizontalmente, orientados do centro para a periferia da árvore. A atividade metabólica dos elementos de raios e parênquimas é semelhante. Entretanto, os raios atuam, também, na condução de seiva entre a madeira e a casca (IPT, 2012).

De acordo com Paula et al. (2000), madeira com baixa densidade é rica em parênquima axial ou radial, ou em ambos, ou em fibras de paredes finas. Normalmente, as células parenquimatosas possuem parede fina e, portanto, baixos valores de densidade da madeira. Paula (2005), caracterizando a anatomia da madeira de sete espécies nativas do cerrado visando à sua utilização para a produção energética, afirmou que a fração parede das células de vasos, raio e parênquima é sempre muito baixa (< 20%), dessa forma, madeiras ricas em vasos e células parenquimatosas não devem ser utilizadas para a geração de energia em termos econômicos e rendimento energético. Em contrapartida, madeiras ricas em fibras com paredes espessas, possuem boa qualidade para uso em processos termoquímicos de conversão, por exemplo, a pirólise.

Dessa forma, identificar e caracterizar as células do xilema secundário, bem como entender o comportamento de cada célula e a sua função, permite subsidiar as lacunas que existem a respeito dos estudos com a espécie de *Tachigali vulgaris*.

#### **5.4 Efeito do espaçamento de plantio na qualidade da madeira**

A densidade de plantio é um fator importante para conhecer o comportamento da espécie em função do meio de exposição. O espaçamento influencia no ponto de vista silvicultural, econômico e tecnológico (CASTRO, et. al., 1998). A densidade de plantio afeta as taxas de crescimento da planta, as práticas de exploração e manejo florestal, a mortalidade e os custos de produção final (LEITE et al., 1997).

A escolha do espaçamento ideal garante melhor produção com o crescimento máximo que a árvore possa proporcionar, com alta qualidade e baixo custo. De acordo com Narducci et al. (2016), plantios com finalidades energéticas devem possuir espaçamentos mais densos, com o objetivo de produzir uma maior quantidade de volume de biomassa por unidade de área em menor tempo.

Silva et al. (2021), estudando as variações na produtividade e nas propriedades da madeira de *T. vulgaris* em diferentes espaçamentos de plantio para a produção bioenergética, constataram que os espaçamentos maiores (9 m<sup>2</sup> e 12 m<sup>2</sup>) possuem a maior produtividade por árvore, entretanto para a maior produtividade por área, os espaçamentos mais reduzidos (6 m<sup>2</sup> e 7,5 m<sup>2</sup>) devem ser escolhidos.

Rolim & Piotto (2018) avaliando um plantio experimental de *T. vulgaris* de 3,0 m x 2,0 m, com 25 anos de idade, reportaram que a espécie apresentou uma taxa de mortalidade maior quando as árvores foram plantadas em sombra. Nesse sentido, em função da utilização energética, plantios adensados e em pleno sol são mais indicados (YARED, 1990).

Para a melhor utilização da madeira de *Tachigali vulgaris* é necessário estudos que relacionem a anatomia e a qualidade da madeira, com as variáveis que podem afetar as condições de crescimento da árvore, dentre elas, o espaçamento de plantio e a posição radial. Como o estudo realizado por Lima et al., (2011), em que verificou a influência do espaçamento nas dimensões celulares da madeira de *Tectona grandis*, aos 31 anos de idade e concluíram que no maior espaçamento foram encontradas fibras mais longas e com paredes mais espessas, além da menor frequência de vasos, e conseqüentemente, madeira com maior densidade, ou seja, espaçamentos maiores produzem madeira com melhor qualidade.

Tienne et al. (2009) verificaram tendência de aumento dos valores do comprimento da fibra com a ampliação dos espaçamentos para madeira de um híbrido *E. urophylla* x *E. grandis*, aos dois anos. Moulin (2013) relatou resultados distintos para a madeira do mesmo híbrido aos seis meses. O autor observou que a espessura da parede tendeu ao aumento com o adensamento do espaçamento. As principais fontes de variação da densidade e das dimensões das fibras da madeira em função do espaçamento são a espécie, o material genético e as características do sítio e idade. Em algumas espécies esses fatores podem exercer efeito de forma mais intensa na formação da madeira e já em outras espécies não necessariamente (SORANSO et al., 2016).

Além das variações anatômicas influenciadas pelo espaçamento de plantio, ou seja, variações externas ocorrem, também, variações nas características anatômicas dentro de uma mesma árvore, no sentido da medula para a casca. Para Ramos et al., (2011), essas modificações são determinadas, principalmente, pela presença de madeira juvenil e a sua proporção no tronco das árvores.

Diversos modelos de variação radial das dimensões das fibras no lenho das árvores tem sido citados, indicando, entre outros, o aumento do comprimento e da espessura da parede das fibras da medula para a casca, de acordo com os resultados obtidos para as espécies de *Piptadenia gonoacantha* (LONGUI et al., 2010), *Tectona grandis* (GONÇALVES et al., 2007; GIL et al, 2018) e espécies do gênero *Eucalyptus* (SILVA et al., 2007; SETTE JR. et al., 2009; RAMOS et al., 2011). Para a espécie de *Tachigali vulgaris* não foram encontrados registros de estudos que mencionem a variação anatômica que ocorre da medula para a casca.

O aumento do comprimento das fibras em função da idade é resultado das alterações morfológicas do comprimento das células que as originam, denominadas de iniciais fusiformes e a sua estabilização, para inúmeras espécies de florestais, somente irá ocorrer quando as células do câmbio atingirem comprimento máximo, iniciando a formação do lenho adulto (TOMAZELLO FILHO, 1987).

Segundo Barrichelo e Brito (1984), as fibras produzidas pela região cambial são largas, com acentuados diâmetros de lume. As fibras largas e com maiores diâmetros de lume são mais localizadas na região interna do tronco, ou seja, na madeira juvenil. Isso ocorre devido ao acelerado ritmo de crescimento das árvores nos primeiros 10 a 12 anos de vida.

Para a espécie de *Tachigali vulgaris*, os estudos relacionados à variabilidade do material estão mais voltados para a influência do espaçamento de plantio para a produção de biomassa para energia (RODRIGUES et al., 2020; SILVA et al., 2021) e para entender o comportamento da madeira sob diferentes condições de adubação (OLIVEIRA et al., 2008). Dessa forma, não

há informações relacionadas à variabilidade anatômica influenciada pelo espaçamento de plantio e pela posição radial, e como estes fatores podem alterar a qualidade da madeira, visto que, o lenho de tachi branco, com 8 anos de idade é considerado juvenil.

### **5.5 Efeito da bifurcação na qualidade da madeira**

O plantio florestal de espécies nativas em vez de espécies exóticas tem uma série de vantagens, pois as plantas nativas foram expostas às condições da região, e são perfeitamente adaptadas a todas as variações climáticas e físicas que ocorrem no local, além disso, não proporciona risco de desequilíbrio ambiental (OLIVEIRA et al., 2015). Entretanto, outros fatores devem ser avaliados, entre eles, as relações ecológicas da espécie e o desconhecimento práticas silviculturais e da qualidade da madeira, sendo que isso pode inviabilizar os projetos que visam utilizar espécies nativas em plantios homogêneos.

Fatores morfológicos como a bifurcação do fuste podem contribuir com as modificações que ocorrem no desenvolvimento da madeira. Uma modificação importante é o surgimento do lenho ou madeira de reação. O lenho de reação das folhosas, chamado de lenho de tração, constitui-se pelo alto conteúdo de celulose e baixo conteúdo de lignina, em relação ao lenho normal (SALIBA, et al., 2001).

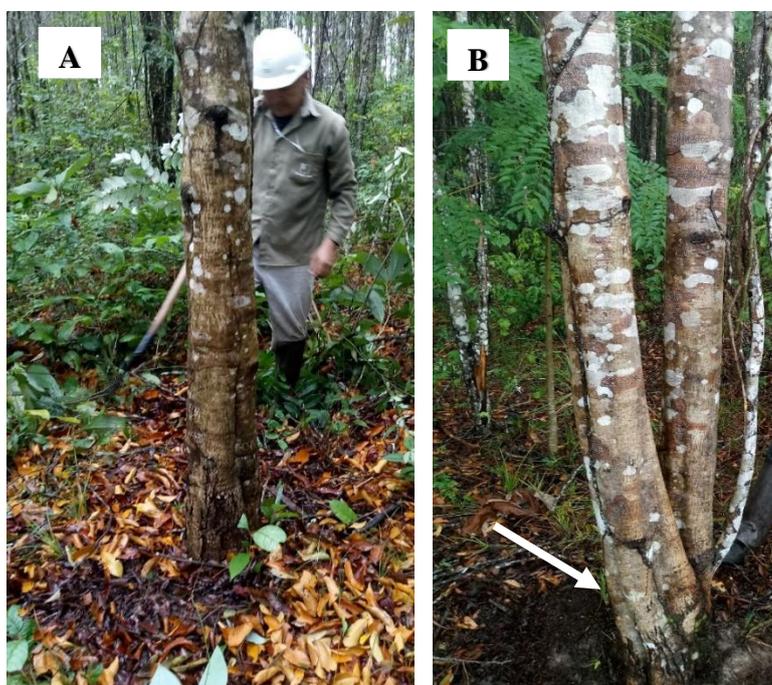
Geralmente madeiras que possuem lenho de reação, possuem densidade relativamente menor com relação às outras (VIDAURRE et al., 2013). Boschetti et al. (2015), avaliando as características anatômicas para a produção de celulose do clone de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* com fuste inclinados pela ação dos ventos, observaram que a variabilidade na dimensão das fibras e dos vasos no lenho de reação contribui para reduzir a qualidade da madeira dos fustes inclinados, para obtenção de polpa celulósica.

A alta capacidade de adaptabilidade da espécie de *T. vulgaris* e a qualidade da madeira para plantios energéticos são bem marcantes, entretanto quando inserida em plantios experimentais diversos fatores de natureza genotípica ou mecânica podem influenciar a ocorrência de defeitos nas árvores, dentre eles, a bifurcação do fuste (Figura 3). Segundo Resende e Fantini Júnior (2001), a ocorrência de múltiplos fustes pode ser influenciada por fatores genéticos, ambientais e pela interação destes. Esse fenômeno já mencionado na literatura para a espécie do *T. vulgaris* por Yared et al. (1988), que atribuiu a causa dessa formação a fatores externos não identificados, sendo este caracterizado como um defeito.

Silva et al., (2016), avaliando o desempenho do tachi branco em latossolo argiloso e arenoso, da implantação do plantio até os 24 meses de idade, observaram que a bifurcação do

fuste apresentou uma média de 37% a 58, 33% (em solo arenoso e argiloso, respectivamente). Segundo Santos et al. (2011), a presença de bifurcações promove a redução do volume aproveitável de toras e pode ser influenciada por características regionais de clima e solo.

A bifurcação, como qualquer outro tipo de estresse mecânico nas árvores, apresenta a formação de tecidos de reação. Por menor que seja sua quantidade, causa mudanças significativas nas propriedades da madeira, consequentemente na qualidade desta. A madeira de reação é definida como uma modificação da estrutura celular normal em planta lenhosas, que consiste anatomicamente, no conteúdo de uma das camadas da parede celular referida como camada gelatinosa, que consiste basicamente de celulose (VIDAURRE et al., 2013).



**Figura 3.** Árvores de tachi branco no campo. A: árvore com fuste único. B: árvore com bifurcação próxima a base.  
**Fonte:** Autor.

Além disso, outra problemática associada à bifurcação do fuste está relacionada à colheita das árvores e provável aumento da variabilidade das propriedades da madeira de *T. vulgaris*. As máquinas atualmente utilizadas para a colheita apresentam melhor desempenho com florestas que apresentam fuste único. Portanto, a ocorrência de múltiplos fustes poderá afetar a colheita, o transporte e a acomodação da madeira nos fornos de carbonização.

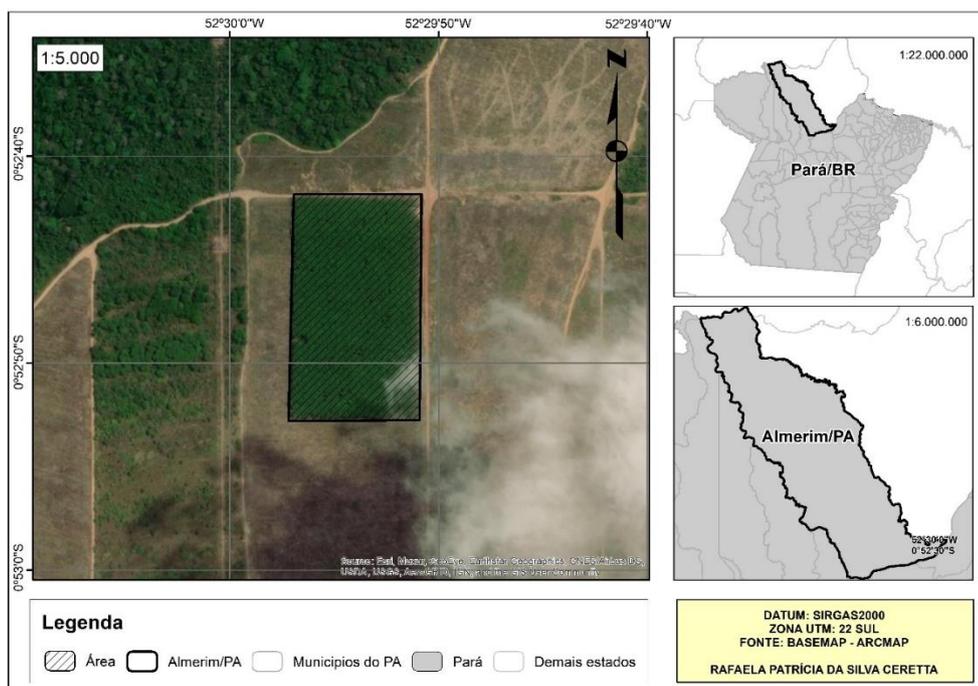
Além disso, as variabilidades encontradas em árvores de múltiplos fustes relacionadas à qualidade do material são indesejáveis para a produção de carvão vegetal, uma vez que a homogeneidade do material é um fator importante para a qualidade do carvão vegetal

produzido. Dessa forma, avaliar como a bifurcação do fuste das árvores de *T. vulgaris* afeta anatomia e densidade da madeira é essencial para impulsionar as tomadas de decisão quanto à utilização da espécie para a produção de energia.

## 6 MATERIAL E MÉTODOS

### 6.1 Área de estudo

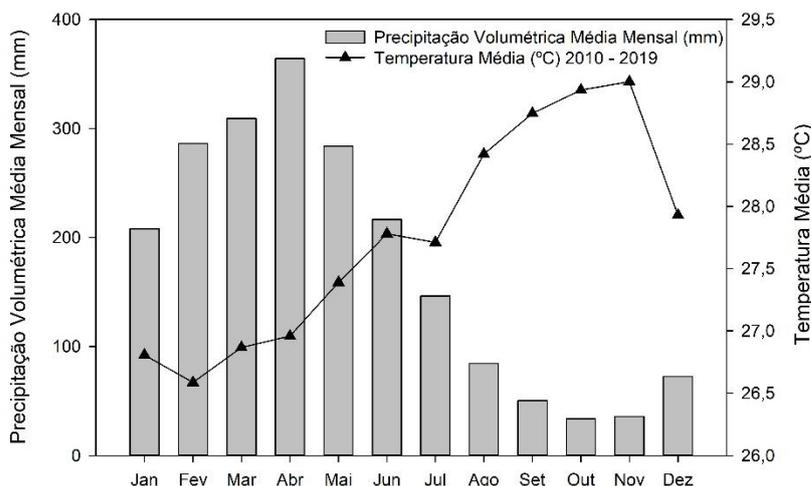
O estudo foi realizado em uma plantação experimental de tachi branco (*Tachigali vulgaris*), com 102 meses, em uma área de 5,6 hectares, localizado no distrito Monte Dourado, município de Almeirim na mesorregião do Baixo Amazonas, pertencente a empresa Jari Celulose S. A., no estado do Pará. As coordenadas geográficas foram obtidas por meio do Sistema de Posicionamento Global (GPS), com 0°52'39" S de latitude e 52°30'0" W de longitude, e foi elaborado o mapa de localização (Figura 4).



**Figura 4.** Localização do plantio experimental de *T. vulgaris* no distrito de Monte Dourado, município de Almeirim, Pará, Brasil. **Fonte:** Autor.

O clima da região de Almeirim-PA é considerado tropical chuvoso (Am), de acordo com a classificação de Koppen, de monção, com breve estação seca, com estação chuvosa de janeiro a julho e seca de agosto a dezembro (Andrade et al., 2017). A precipitação média anual é de 1970 mm. A temperatura média anual varia entre 22,4°C a 27,2°C e a umidade relativa do ar indica média anual de 54% (SILVA et al., 2016).

Para o registro das variáveis climáticas principalmente, precipitação volumétrica de Monte Dourado, onde se localiza o plantio experimental, utilizaram-se os dados da estação meteorológica de Porto de Moz. Na Figura 5, tem-se o comportamento da precipitação pluviométrica e temperatura média mensal próxima a área de estudo, durante os anos de 2010 a 2019.



**Figura 5.** Média da precipitação pluviométrica e temperatura média no município de Porto de Moz, próximo a Monte Dourado, Almerim-PA, no período de 2010 a 2019.

Os solos foram classificados como Latossolo Amarelo de textura arenosa, sendo as características químicas, granulométricas e físicas analisadas após a implantação do experimento, em setembro de 2017, um ano antes da coleta as amostras de madeira para esse estudo, nas profundidades 0-20 cm, utilizando a metodologia da EMBRAPA (1997).

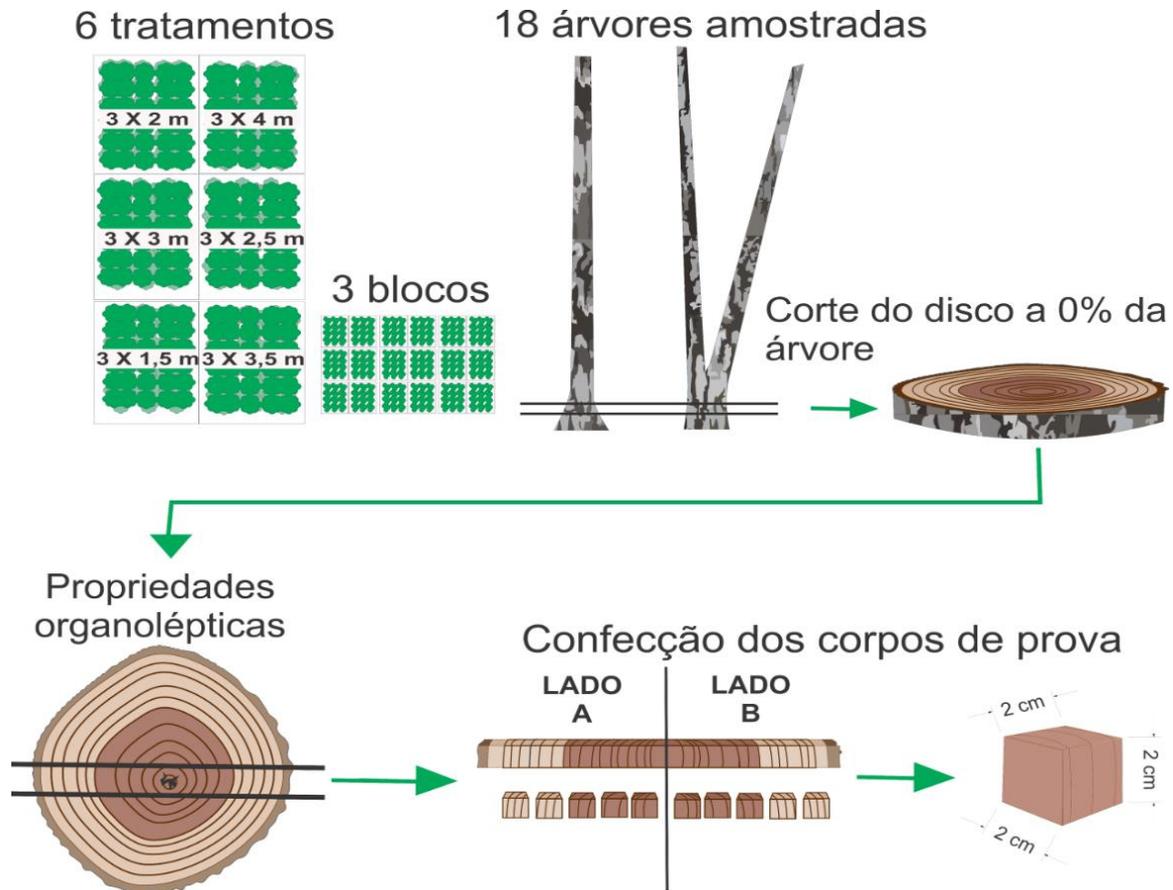
**Tabela 1.** Propriedades químicas e físicas de amostras do solo do plantio de experimental de *T. vulgaris*, profundidade 0-20 cm, no distrito de Monte Dourado, município de Almerim, Pará, Brasil.

pH	MO	N	P	K	Ca	Ca+Mg	Al	H+Al	Na	SB	T	T
	$\text{g kg}^{-1}$	%	$\text{mg dm}^{-3}$					$\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$				
5,60	12,57	0,05	7,89	8,81	2,64	2,98	0,27	3,27	0,21	3,21	6,29	6,29
Mn	Fe	Zn	Cu	V		M		Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila	
$\text{mg dm}^{-3}$					%			$\text{g kg}^{-1}$				
6,43	116,74	1,54	0,44	48,03		51,97		639	168	43	151	

pH = Potencial Hidrogeniônico; MO = Matéria Orgânica; P = Fósforo; K = Potássio; Ca = Cálcio; Mg = Magnésio; Al = Alumínio; H+Al = Hidrogênio + Alumínio. N = Nitrogênio; Mn = Manganês; Fe = Ferro; Zn = Zinco; Cu = Cobre; Na = Sódio; SB = Soma de bases; t = Capacidade de Troca de Cátions efetiva; T = Capacidade de Troca de Cátions a pH 7; V = Saturação por bases; m = Saturação por alumínio.

## 6.2 Delineamento experimental e coleta de dados

O experimento foi instalado em delineamento em blocos casualizados, possuindo 3 blocos, em que cada bloco foi dividido em 6 parcelas, constituídas de 6 espaçamentos diferentes, distribuídos de forma aleatória em cada bloco, conforme a Figura 6.



**Figura 6.** Organograma da área de plantio, amostragem de árvores e seccionamento dos discos em corpos de prova. **Fonte:** Autor.

Para a obtenção dos dados foi coletada 1 árvore por tratamento, por bloco, totalizando 18 árvores amostradas aleatoriamente. Entre as árvores coletadas, 6 não bifurcadas e 12 bifurcadas, evitando-se aquelas que, visualmente, as árvores localizadas nas bordas do plantio e, também, aquelas que apresentavam algum tipo de defeito. Todos os tratamentos possuem árvores com bifurcações. Entretanto, os tratamentos 3 e 5 foram representados apenas por árvores bifurcadas (Tabela 02).

Ainda em campo, foi mensurada a densidade real de plantas do experimento, e obtidas às porcentagens de mortalidade, árvores bifurcadas, diâmetro equivalente médio e volume de madeira (Tabela 2), com o objetivo avaliar o comportamento do experimento.

**Tabela 2.** Informações gerais do experimento, com desvio padrão.

Tratamento	Densidade inicial de plantio (arv/ha)	Densidade atual da plantação (arv/ha)	Mortalidade de árvores (%)	Árvores bifurcadas (%)	Diâmetro equivalente médio (cm)	Volume (m <sup>3</sup> /ha)
<b>1</b> 4,5 m <sup>2</sup>	2222	1240	<b>44,2</b> <sup>(5,1)</sup>	27,14 <sup>(12,3)</sup>	8,06 <sup>(0,43)</sup>	215 <sup>(31,39)</sup>
<b>2</b> 6 m <sup>2</sup>	1667	1032	38,1 <sup>(4,3)</sup>	41,66 <sup>(2,2)</sup>	9,50 <sup>(0,83)</sup>	196 <sup>(42,72)</sup>
<b>3</b> 7,5 m <sup>2</sup>	1333	844	36,7 <sup>(11,4)</sup>	54,73 <sup>(18,4)</sup>	10,27 <sup>(1,85)</sup>	174 <sup>(36,80)</sup>
<b>4</b> 9 m <sup>2</sup>	1111	824	25,9 <sup>(6,2)</sup>	54,79 <sup>(13,0)</sup>	13,06 <sup>(0,80)</sup>	201 <sup>(13,06)</sup>
<b>5</b> 10,5 m <sup>2</sup>	952	777	18,4 <sup>(6,1)</sup>	60,19 <sup>(11,6)</sup>	14,20 <sup>(1,54)</sup>	180 <sup>(34,92)</sup>
<b>6</b> 12 m <sup>2</sup>	833	703	15,6 <sup>(4,7)</sup>	<b>62,12</b> <sup>(5,0)</sup>	16,17 <sup>(0,48)</sup>	206 <sup>(13,84)</sup>

**Fonte:** Autor

Para as análises foram retiradas secções transversais (discos) de 5 cm de espessura nas posições longitudinais próximas a base (0,10m) da altura comercial do fuste. Foram obtidas as medidas em diâmetro de cada disco sem a casca. Posteriormente, todos os discos foram demarcados em secções diametraais, a cada 2 cm a partir da medula até o câmbio, considerando os dois lados do disco, obtendo-se assim, corpos de prova de 1,5 cm<sup>3</sup>, considerando o diâmetro total do disco para a avaliação e mensuração dos caracteres anatômicos e determinação da densidade básica.

**Tabela 3.** Número de amostras por espaçamento e bloco.

<b>Tratamento</b>	<b>Bloco</b>	<b>Tipo de fuste</b>	<b>Dsc (cm)</b>	<b>Nº de amostras</b>
<b>1</b> <b>(3,0 x 1,5 m)</b> <b>4,5 m<sup>2</sup></b>	1	Não bifurcado	16,89	11
	2	Não bifurcado	13,04	7
	3	Bifurcado	17,14	11
<b>2</b> <b>(3,0 x 2,0 m)</b> <b>6 m<sup>2</sup></b>	1	Bifurcado	23,36	11
	2	Bifurcado	17,17	10
	3	Não bifurcado	16,98	10
<b>3</b> <b>(3,0 x 2,5 m)</b> <b>7,5 m<sup>2</sup></b>	1	Bifurcado	22,16	12
	2	Bifurcado	19,49	9
	3	Bifurcado	20,12	9
<b>4</b> <b>(3,0 x 3,0 m)</b> <b>9 m<sup>2</sup></b>	1	Bifurcado	21,33	13
	2	Não bifurcado	15,33	11
	3	Não bifurcado	18,16	12
<b>5</b> <b>(3,0 x 3,5 m)</b> <b>10,5 m<sup>2</sup></b>	1	Bifurcado	22,74	9
	2	Bifurcado	19,27	12
	3	Bifurcado	21,99	14
<b>6</b> <b>(3,0 x 4,0 m)</b> <b>12 m<sup>2</sup></b>	1	Não bifurcado	20,58	9
	2	Bifurcado	18,45	11
	3	Bifurcado	24,10	14

Dsc: Diâmetro do disco sem casca mensurados após a coleta dos discos, em laboratório.

### **6.3 Caracterização das propriedades organolépticas e macroscópicas da madeira**

A caracterização das propriedades organolépticas da madeira das espécies estudadas foi realizada nos discos recém-cortados. Informações como cor, cheiro, brilho, odor, gosto, textura, grã e desenho. Em seguida, para avaliação macroscópica das espécies, as superfícies de observação foram aplainadas com o auxílio de um micrótomo de deslize. A caracterização macroscópica foi realizada com uma lupa conta fios de 10x de aumento, também seguindo o método proposto por Coradin et al. (2010).

### **6.4 Caracterização das propriedades microscópicas da madeira**

Para a realização das análises microscópicas são realizados dois tipos de procedimento: a preparação do material macerado e de cortes histológicos.

O material macerado foi obtido de acordo com a metodologia proposta por Franklin (1945). Foram obtidas lascas longitudinais de madeira e colocadas em frascos contendo uma

solução de ácido acético glacial e peróxido de hidrogênio na proporção 1:1 v/v. Posteriormente, essa solução foi levada à estufa, a 60° C, por 24 horas. Após macerado, o material foi lavado em água destilada para a remoção total da solução e corado com safranina hidro-etílica (1%).

Para a observação e mensuração dos elementos celulares dissociados foram confeccionadas lâminas temporárias. Os caracteres anatômicos observados e mensurados foram: diâmetro tangencial do lúmen dos vasos ( $\mu\text{m}$ ), comprimento dos elementos de vaso ( $\mu\text{m}$ ), comprimento das fibras ( $\mu\text{m}$ ), diâmetro das fibras ( $\mu\text{m}$ ) e diâmetro do lúmen das fibras ( $\mu\text{m}$ ).

Para obtenção dos cortes histológicos os corpos de prova foram saturados e submetidos à fervura em água, por aproximadamente 15 minutos, para amolecimento. Após o amolecimento, com auxílio de um micrótomo de deslize foram obtidos os cortes histológicos micrométricos, variando de 18 a 21  $\mu\text{m}$  de espessura das seções transversal e longitudinal (radial e tangencial).

De maneira geral, as preparações histológicas seguiram as técnicas apresentadas por Johansen (1940). Primeiramente os cortes foram clarificados com uma solução de hipoclorito de sódio. Após a clarificação, esses cortes foram lavados em água destilada, na sequência corados com safranina hidro-alcoolica (5 min) e, em seguida, imersos em série alcoólica progressiva: álcool 50% - 70% - 80% - 90% - 100%, permanecendo 15 minutos em cada, e acetato de butila (10 min.). Após a coloração e desidratação, os cortes foram montados em lâmina e lamínula com a resina Bálsamo do Canadá, preparando-se duas lâminas permanentes para cada amostra. Os caracteres anatômicos observados e mensurados foram: agrupamentos de vasos, frequência de vasos (por  $\text{mm}^{-2}$ ), comprimento dos elementos de vaso ( $\mu\text{m}$ ), diâmetro tangencial do lúmen dos vasos ( $\mu\text{m}$ ), altura dos raios ( $\mu\text{m}$ ) e (número de células), largura dos raios ( $\mu\text{m}$ ) e (número de células), frequência dos raios (por  $\text{mm}^{-1}$ ).

## **6.6 Descrição microscópica qualitativa e quantitativa**

A avaliação e a descrição microscópica foram realizadas de acordo com as orientações da International Association of Wood Anatomists (IAWA List, 1989). Para cada parâmetro foram realizadas 50 contagens e mensurações. O *software* utilizado nas mensurações foi o Motic Image Plus 3.0 (MOTIC, 2016) e os seguintes parâmetros quantitativos avaliados são:

- Vasos: agrupamentos de vasos, frequência de vasos (por  $\text{mm}^{-2}$ ).

- Elementos de vaso: diâmetro tangencial do lúmen dos vasos ( $\mu\text{m}$ ), comprimento dos elementos de vaso ( $\mu\text{m}$ ).
- Raios: altura dos raios ( $\mu\text{m}$ ) e (número de células), largura dos raios ( $\mu\text{m}$ ) e (número de células), frequência dos raios (por  $\text{mm}^{-1}$ )
- Fibras: comprimento das fibras ( $\mu\text{m}$ ), diâmetro das fibras ( $\mu\text{m}$ ), diâmetro do lúmen das fibras ( $\mu\text{m}$ ).

### 6.7 Fração parede da fibra

A fração parede foi obtida pela seguinte equação:  $FP = \frac{2 \times E}{L} \times 100$  (FOELKEL, BARRICHELO, 1975), em que:

- E: espessura da parede da fibra
- L: diâmetro da fibra

### 6.8 Análise da densidade básica

A determinação densidade básica foi realizada de acordo com a NBR 11941 (ABNT, 2003) nos mesmos corpos de prova destinados às análises anatômicas. Os corpos de prova foram submersos em água até saturar, em seguida, o volume saturado foi determinado a partir do método hidrostático. Após esse processo as amostras foram levadas a estufa de circulação de ar a ( $105 \pm 2^\circ\text{C}$ ), até atingir a massa constante. Posteriormente, as amostras foram novamente pesadas em balança analítica com precisão de 0,0001 g para mensuração da massa seca. A determinação da densidade básica foi obtida a partir da equação:

$$D_{bas} = \frac{ms}{V_{sat}}$$

Em que:

- $D_{bas}$  = densidade básica da madeira, em  $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$
- $ms$  = massa da amostra seca em estufa a ( $103 \pm 2^\circ\text{C}$ ), em g;
- $V_{sat}$  = volume saturado da amostra,  $\text{cm}^3$

### 6.9 Análises estatísticas

Para análise e interpretação dos dados foram utilizadas estatísticas descritivas. Os dados foram tabulados e processados em planilhas eletrônicas.

Os resultados obtidos por meio do programa foram interpretados mediante análise quantitativa e foram obtidos os respectivos valores de média e a partir desses resultados foram elaborados gráficos com o objetivo de verificar as diferenças anatômicas entre as variáveis amostradas.

Para a análise de efeito do espaçamento foram realizadas análises de variância (ANAVA) considerando o delineamento em blocos casualizados (3 blocos) e 6 espaçamentos de plantio. De forma preliminar foram testadas as hipóteses básicas de normalidade, homogeneidade de variâncias e ausência de autocorrelação dos resíduos. Para isso foram utilizados os testes de Shapiro-Wilk, Levene e Durbin-Watson, respectivamente, ambos a 5% de significância.

Para a análise de componentes principais, foram utilizadas as médias ponderadas das características anatômicas e da densidade básica. O cálculo das médias ponderadas foi realizado em relação à área do disco e para cada lado a cada 2 centímetros de acordo com a amostragem dos corpos de prova, para o Lado 1:

$$Mp_1 = [m_2 \times \pi \cdot 2^2 + m_4 \times (\pi \cdot 4^2 - \pi \cdot 2^2) + m_6 \times (\pi \cdot 6^2 - \pi \cdot 4^2) + \dots + m_n \cdot (\pi \cdot rn^2 - \pi \cdot r_{n-1}^2)] / (\pi r_n^2)$$

E para o lado 2:

$$Mp_2 = [m_2 \times \pi \cdot 2^2 + m_4 \times (\pi \cdot 4^2 - \pi \cdot 2^2) + m_6 \times (\pi \cdot 6^2 - \pi \cdot 4^2) + \dots + m_n \cdot (\pi \cdot rn^2 - \pi \cdot r_{n-1}^2)] / (\pi r_n^2)$$

- $Mp$  é a média ponderada para um lado do disco;
- $M_n$  é a média;

A partir do resultado de cada lado, foi calculada a média entre os dois valores e tem-se a média ponderada total de cada disco de madeira. A partir desse resultado foi possível fazer as análises multivariadas de componentes principais.

Para a análise de componentes principais foram utilizadas as médias das características do plantio e propriedades físicas e anatômicas da madeira. A dispersão dos escores das componentes principais permitiu o agrupamento das árvores com características similares, a fim de entender o efeito que o espaçamento de plantio e bifurcação exerce sobre as árvores. As análises estatísticas foram feitas no software R® versão 3.4.3 (R CORE TEAM, 2018)

## 7 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 7.1 Descrição anatômica da madeira de *Tachigali vulgaris*

Na Tabela 4 encontra-se a descrição biométrica geral dos elementos celulares de *Tachigali vulgaris*. As características gerais, descrição macroscópica e descrição microscópica do lenho foram detalhadas a seguir:

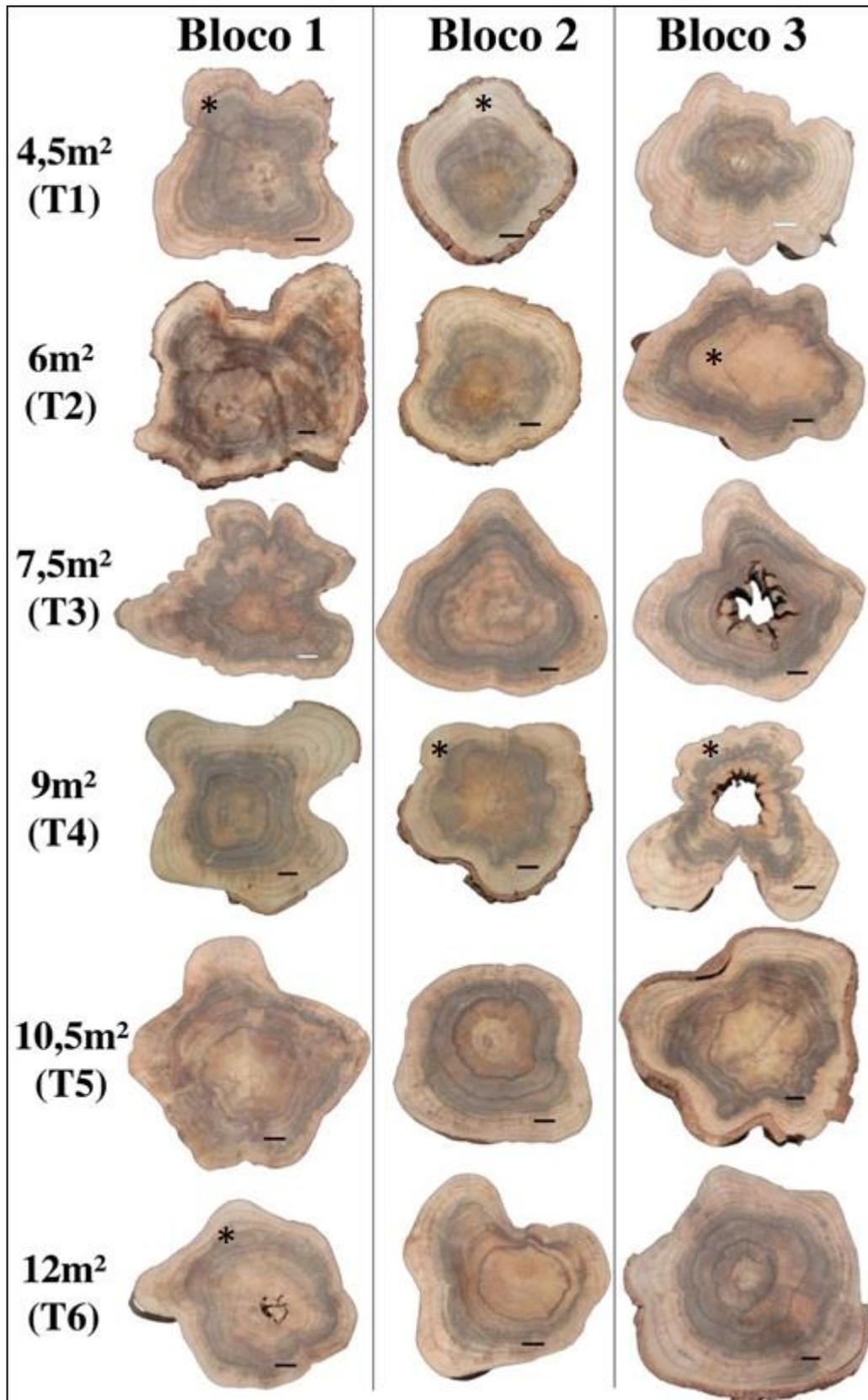
Características Gerais: moderadamente pesada; macia ao corte manual; cerne castanho escuro; cerne e alborno com coloração bem definidas; áspero; textura fina; brilho acentuado; cheiro e gosto imperceptíveis (Figura 7).

Descrição macroscópica: **Camadas de crescimento** visíveis a olho nu, demarcadas por zonas fibrosas em faixas escuras e redução do número de vasos (Figura 8). **Parênquima axial** visível sob lente de 10x, paratraqueal vasicêntrico e escasso; não contrastado. **Raios** visíveis sob lente de 10x, finos e numerosos; estratificação ausente. **Vasos** visíveis a olho nu; em seção ovalada; solitários e múltiplos; arranjo difuso e tangencial; pequenos a médios; pouco abundantes; desobstruídos.

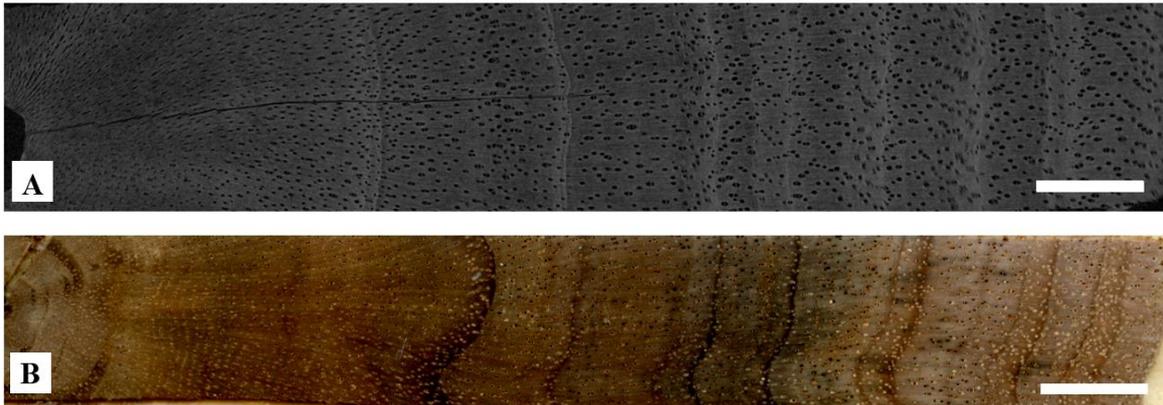
Descrição microscópica: **Camadas de crescimento** com limites distintos demarcados por zonas fibrosas. **Vasos** solitários e múltiplos de até 5; com arranjo difuso a diagonal no sentido medula casca; pouco abundantes (4,73 vasos/mm<sup>2</sup>); comprimento e diâmetro médios (387,97 µm e 232,8 µm, respectivamente); desobstruídos; pontoações intervasculares pequenas; alternas; não guarnecidas; placa de perfuração simples. **Fibras** libriformes, de parede média a espessa (4,42µm), lume delgado (13,56µm) e pontoações simples. **Parênquima axial** paratraqueal vasicêntrico escasso; com duas a cinco células por série; não estratificado. **Raios** homocelulares, constituídos por células procumbentes; variando de bisseriados a unisseriados no sentido medula-casca; frequência média (5,21 raios/mm linear); baixos (225,3µm); não estratificado. **Canais intercelulares** ausentes. **Sílicas** presentes em células do parênquima radial. **Tilos** ausentes.

**Tabela 4.** Tabela biométrica geral dos elementos celulares de *Tachigali vulgaris*.

	Elemento de vaso						Raio			Fibra		
	Diâmetro ( $\mu\text{m}$ )	Comprimento ( $\mu\text{m}$ )	Frequência ( $\text{mm}^2$ )	Agrupamento de vasos solitários (%)	Agrupamento de vasos múltiplos de 2 (%)	Agrupamento de vasos múltiplos de 3 (%)	Comprimento ( $\mu\text{m}$ )	Largura ( $\mu\text{m}$ )	Frequência ( $\text{mm linear}$ )	Comprimento ( $\mu\text{m}$ )	Espessura/parede ( $\mu\text{m}$ )	Largura/lume ( $\mu\text{m}$ )
<b>Máximo</b>	640,17	885,56	29	-	-	-	580,86	76,17	12	2356,45	14,36	49,02
<b>Mínimo</b>	49,48	86,84	1	-	-	-	64,28	4,42	1	248,06	1,03	1,55
<b>Média</b>	232,82	387,97	4,73	62,34	24,29	8,21	225,29	21,63	5,21	1140,64	4,27	13,56
<b>CV%</b>	34,41	29,16	49,42	-	-	-	28,84	33,95	26,98	26,60	33,17	35,89
<b>D. P.</b>	80,13	113,16	2,34	-	-	-	64,98	7,34	1,40	303,49	1,41	4,86



**Figura 7.** Discos de madeiras de *T. vulgaris* avaliados com escala de 2cm. Os discos demarcados com (\*) são de árvores não bifurcadas (fuste único), os demais são de árvores bifurcadas. **Fonte:** Autor.



**Figura 8.** Imagens microscópicas da anatomia do xilema secundário de *T. vulgaris*. A: Imagem macroscópica radiografada da madeira de *T. vulgaris* com escala de 0,5 cm. B: Imagem macroscópica da madeira do *T. vulgaris* com escala de 0,5 cm.

A caracterização anatômica da espécie de *Tachigali vulgaris* corrobora com o que é mencionado para a família: placas de perfuração simples, pontoações intervasculares alternas, parênquima paratraqueal em diferentes tipos e raios homocelulares (BAAS *et al.*, 2000; MARCATI *et al.*, 2001; WHEELER *et al.*, 2007; MACEDO *et al.*, 2014)

A espécie de tachi branco apresenta camadas de crescimento irregularmente demarcadas por zonas fibrosas mais escuras (Figura 8) e porosidade difusa, informações já citadas na literatura por Pires e Marcati (2005) e Reis *et al.* (2011).

Diferenças anatômicas relacionadas à variação da frequência dos poros, e frequência dos raios foram observadas. A frequência dos vasos foi comparativamente maior quando relacionados aos resultados obtidos por Pires e Marcati (2005), que avaliaram duas espécies de *Sclerolobium paniculatum* Vog. com médias de 3 e 4 vasos/mm<sup>2</sup>, enquanto que a frequência dos raios apresentou valor inferior quando comparados com os autores (10 raios/mm).

O tachi branco apresentou porosidade difusa, com grande parte dos vasos solitários (62,3%), seguidos de múltiplos de 2 e 3 (24,2% e 8,2%, respectivamente), vasos com placas de perfuração simples, parênquima paratraqueal vasicêntrico e raios homogêneos formados por células procumbentes. Essas características já foram descritas em duas variedades de *T. paniculata* por Pires e Marcati (2005) e por Reis *et al.* (2011), avaliando sete espécies do gênero *Tachigali*.

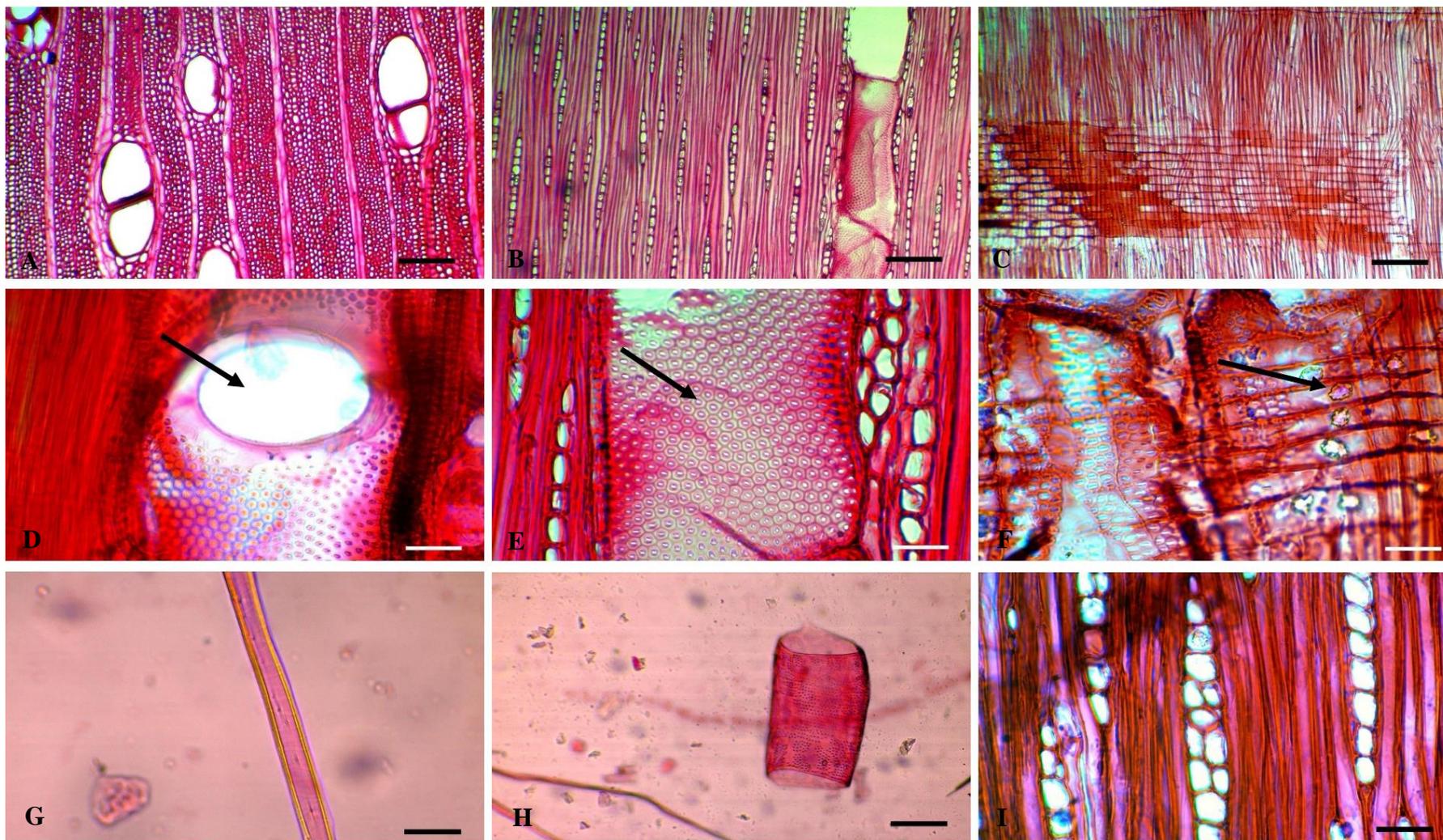
A espécie possui, também, placa de perfuração simples e pontoações alternas, essas características foram verificadas por Reis *et al.* (2011). Segundo Bass *et al.* (2000), essas características são derivadas da linha evolutiva da espécie.

A espécie apresenta o parênquima paratraqueral vasicêntrico. Outra característica marcante da família Fabaceae são as variações podem ser utilizadas para a distinção de espécie e subfamílias, o que já foi observado por Lima et al. (2009). Macedo et al., (2014) encontrou parênquima axial escasso para a espécie de *T. vulgaris*.

Segundo Gasson et al. (2003), o grupo *Tachigali* composto pelas espécies *T. duckei*, *T. denudata*, *T. pilgeriana*, *T. rugosa* e *T. vulgaris*, é caracterizado por raios unisseriados, não estratificados, com células que contém corpos de sílica. Macedo et al. (2014) encontrou corpos de sílica apenas na espécie de *T. vulgaris* e, nessa pesquisa, também foram encontrados. Os raios são homocelulares compostos por células procumbentes, os mesmos foram encontrados por Macedo et al. (2014).

Em média, as fibras de *T. vulgaris* possuem pontoações simples, não septadas e semelhantes aos resultados obtidos por Reis et al. (2011), possuem comprimento de 1140,64 µm, lúmen com 13,56 µm de diâmetro e parede celular com 4,27µm de espessura. Oliveira et al. (2008) avaliando a influência dos níveis de adubação na anatomia da madeira de *T. vulgaris*, encontraram resultados inferiores para plantios com 18 anos de idade, com média de 708 µm de comprimento, 11,58 µm de diâmetro do lúmen e 3,41 µm de espessura da parede da fibra. As fibras são os elementos celulares de maior importância do ponto de vista tecnológico, por esta razão, o conhecimento da quantidade desses elementos e da sua estrutura é essencial para determinar o padrão de qualidade da madeira para múltiplos usos (PAULA, 2003).

Em geral, a madeira de *T. vulgaris* tem características que corroboram com as já mencionadas na literatura, entretanto, observa-se que há uma diferença quantitativa desses elementos quando comparados pelos trabalhos realizados por Pires e Marcati (2005), Reis et al. (2011) e Macedo et al. (2014), que caracterizaram anatomicamente a madeira de espécies nativas e árvores com maiores idades, ou seja, já em fase adulta ou em transição. Essas diferenças referem-se aos tamanhos e proporções dos elementos celulares na madeira e pode ser motivada pela inserção da espécie em diferentes espaçamentos de plantio ou em função da bifurcação do fuste.



**Figura 9.** Imagens microscópicas da anatomia do xilema secundário de *T. vulgaris*. A: Plano transversal em 200 $\mu$ m; B: Plano tangencial em 200 $\mu$ m; C: Plano radial em 200 $\mu$ m; D: Placa de perfuração do elemento de vaso em 50 $\mu$ m; E: Pontoações das paredes do elemento de vaso em 50 $\mu$ m; F: Plano radial evidenciando a presença de cristais nas células do raio; G: Fibras libriformes no material macerado, evidenciando a espessura da parede em 200 $\mu$ m; H: elemento de vaso no material macerado em 200 $\mu$ m; I: Células do raio no plano tangencial em 50 $\mu$ m.

## 7.2 Efeito do espaçamento nas características anatômicas

O teste ( $p < 0,05$ ) revelou efeito significativo do espaçamento de plantio sobre o comprimento da fibra e a frequência do vaso (Tabela 5).

**Tabela 5.** Resumo da análise de variância para as variáveis físicas e anatômicas madeira de *T. vulgaris*.

Variável	<i>T. vulgaris</i>		
	QM	Fc	Pr(>Fc)
Densidade básica da madeira (kg/m <sup>3</sup> )	0,0018	0,667	0,6566
Fração parede da Fibra (%)	18,868	1,600	0,2459
Espessura da parede da fibra (µm)	0,158	0,698	0,6375
Diâmetro do lúmen da fibra (µm)	1,404	0,853	0,5710
<b>Comprimento da fibra (µm)</b>	<b>50,358</b>	<b>4,184</b>	<b>0,0259*</b>
<b>Frequência do vaso (n.mm<sup>-2</sup>)</b>	<b>0,831</b>	<b>4,272</b>	<b>0,0243*</b>
Diâmetro do lúmen do vaso (µm)	817,3	1,033	0,4488
Comprimento do elemento de vaso (µm)	1154,6	1,092	0,4214
Frequência do raio (n.mm <sup>-1</sup> )	0,614	1,318	0,3311
Comprimento do raio (µm)	1542,9	1,211	0,3714
Largura raio (µm)	6,629	0,179	0,9642

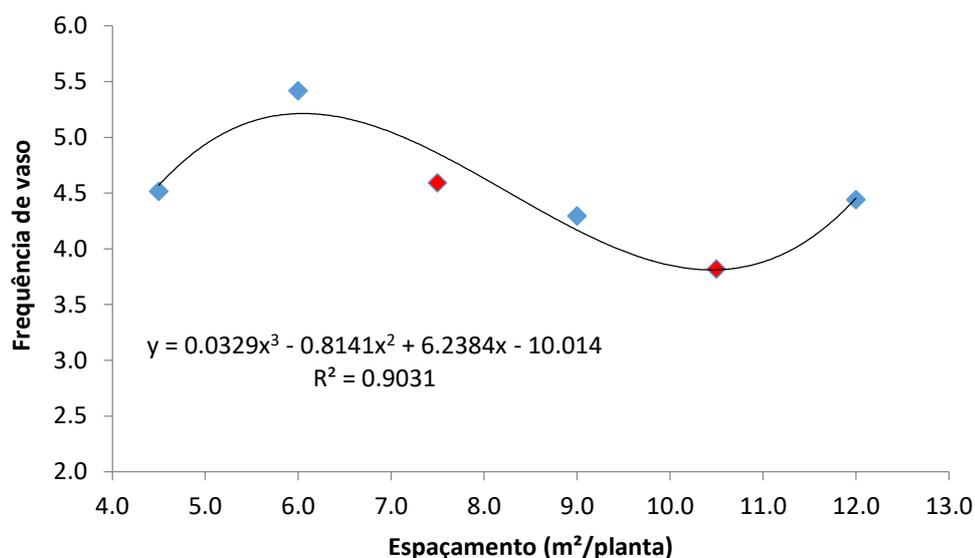
A frequência dos vasos apresentou efeito significativo do espaçamento de plantio (tabela 5), onde o tratamento de 6 m<sup>2</sup> obteve o maior número de vasos por mm<sup>2</sup> e o tratamento de 10,5 m<sup>2</sup>, com os menores valores. Os espaçamentos de 4,5 m<sup>2</sup> e 12 m<sup>2</sup> obtiveram valor de aproximadamente 4,5 vasos por mm<sup>2</sup> (Figura 11).

Moya et al. (2009) observaram que condições climáticas e de local de plantio tem pouca influência no comprimento e espessura das fibras e na altura, frequência e proporção dos raios. Entretanto o manejo do plantio, e a escolha dos espaçamentos foram um fator que influenciaram no comportamento anatômico dos indivíduos, além da presença de árvores bifurcadas.

**Tabela 6.** Resumo da análise de variância para a frequência dos vasos (n.mm<sup>-2</sup>) de *T. vulgaris*.

Fonte de Variação	GL	Frequência dos vasos (n.mm <sup>-2</sup> )		
		QM	Fc	Pr (>Fc)
Espaçamento	5	0,8312	4,272	0,024361*
Bloco	2	0,4238	2,179	0,16391
Resíduo	10	0,1945		
Total	17			
CVe			9,79 %	

GL: grau de liberdade; QM: quadrado médio; Fc: F calculado; Pr (>Fc): *p* valor; CVe: coeficiente de variação experimental; \*significância estatística ao nível de 5% de probabilidade.



**Figura 10.** Efeito do espaçamento de plantio na frequência dos vasos (n.mm<sup>-2</sup>)

Para o comprimento da fibra, os valores variaram de 1.000 a 1.400  $\mu\text{m}$  aproximadamente, com menor valor nos espaçamentos de 4,5 m<sup>2</sup> e 12,0 m<sup>2</sup> e os espaçamentos de 6,0 m<sup>2</sup>, 7,5 m<sup>2</sup>, 9 m<sup>2</sup> e 10,5 m<sup>2</sup>, obtiveram valores entre 1.234,93 a 1393,73  $\mu\text{m}$  (Figura 11). Lima et al., (2011), verificaram a influência do espaçamento nas dimensões celulares da madeira de *Tectona grandis* aos 31 anos de idade, e concluíram que no maior espaçamento foram encontradas fibras mais longas e com paredes mais espessas, além da menor frequência de vasos.

Por sua vez, o espaçamento de 4,5 m<sup>2</sup> possui o maior índice de mortalidade e o espaçamento de 12,0 m<sup>2</sup> possui o maior índice de bifurcação (Tabela 2). Esse pode ser um fator de estresse que esses tratamentos sofreram que influenciaram na formação do fuste.

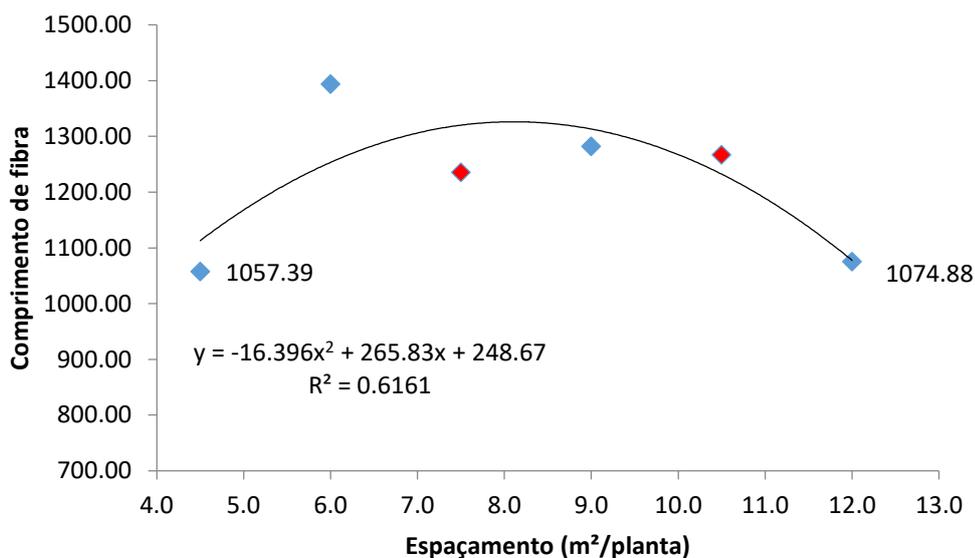
O número de árvores por unidade de área interfere significativamente nos parâmetros de qualidade da madeira, Rodrigues et al. (2020) avaliando o crescimento e a sobrevivência de tachi branco sob diferentes espaçamentos, observaram que os maiores índices de mortalidade ocorreram nos menores espaçamentos 3 x 1,5 e 3 x 2 m, enquanto que os espaçamentos maiores obtiveram resultados inversos.

Ferreira et al. (2014), verificaram que espaçamentos maiores proporcionam os maiores valores de DAP para clones de *Eucalyptus*. Stape et al. (2010), afirmaram que em espaçamentos mais adensados a proximidade dos sistemas radiculares aumenta sensivelmente a competição por água, afetando o crescimento das plantas em diâmetro.

**Tabela 7.** Resumo da análise de variância para o comprimento da fibra ( $\mu\text{m}$ ) de *T. vulgaris*.

Fonte de Variação	GL	Comprimento da fibra (µm)		
		QM	Fc	Pr (>Fc)
Espaçamento	5	50328	4,1843	0,02595*
Bloco	2	4645	0,3862	0,68937
Resíduo	10	12028		
Total	17			
CVe			9 %	

GL: grau de liberdade; QM: quadrado médio; Fc: F calculado; Pr (>Fc): *p* valor; CVe: coeficiente de variação experimental; \*significância estatística ao nível de 5% de probabilidade.



**Figura 11.** Efeito do espaçamento de plantio no comprimento da fibra (µm).

Anatomicamente, o espaçamento de plantio não exerce um efeito significativo na espessura da parede da fibra e na largura do lúmen (Tabela 7 e 8), ou seja, dos tratamentos 1 ao tratamento 6 as fibras possuem parede celular variando de 3 a 6 µm, esse fato deve ser em função da alta variabilidade do material, por ser uma espécie nativa, em que as árvores são provenientes de sementes e, portanto, cada árvore é um genótipo diferente, além da presença de árvores bifurcadas, tornam altas as variações entre os espaçamentos de plantio.

**Tabela 8.** Resumo da análise de variância para a espessura da parede da fibra (µm) de *T. vulgaris*.

Fonte de Variação	GL	Espessura da parede da fibra (µm)		
		QM	Fc	Pr (>Fc)
Espaçamento	5	0,15833	0,6975	0,6375*
Bloco	2	0,23167	10206	0,39506
Resíduo	10	0,22700		
Total	17			
CVe			10,63 %	

GL: grau de liberdade; QM: quadrado médio; Fc: F calculado; Pr (>Fc): *p* valor; CVe: coeficiente de variação experimental; \*significância estatística ao nível de 5% de probabilidade.

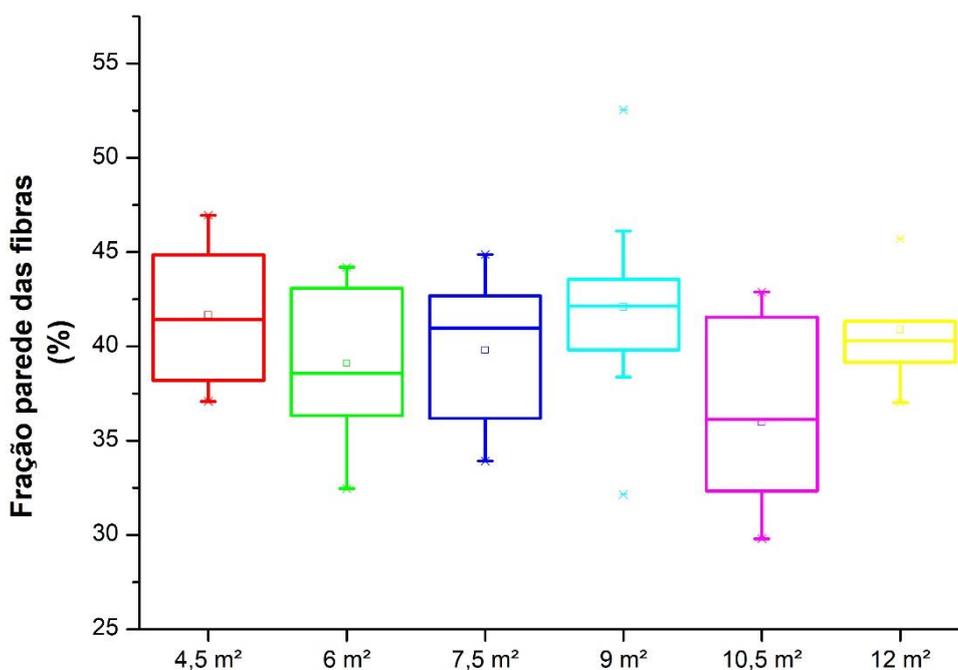
**Tabela 9.** Resumo da análise de variância para o diâmetro do lúmen da fibra (µm) de *T. vulgaris*.

Fonte de Variação	GL	Diâmetro do lúmen da fibra ( $\mu\text{m}$ )		
		QM	Fc	Pr (>Fc)
Espaçamento	5	1,4048	0,8053	0,5710
Bloco	2	0,5905	0,3385	0,7206
Resíduo	10	1,7446		
Total	17			
CVe			9 %	

GL: grau de liberdade; QM: quadrado médio; Fc: F calculado; Pr (>Fc): *p* valor; CVe: coeficiente de variação experimental; \*significância estatística ao nível de 5% de probabilidade.

Para a produção de carvão vegetal, é importante que a madeira apresente elevada densidade, com a presença de fibras com elevada fração parede e baixas proporções de tecidos parenquimáticos e vasos. A espécie de tachi branco apresenta uma madeira com densidade média de 37,92% e fração parede de 45,12% entre os espaçamentos de plantio (Figuras 12 e 13).

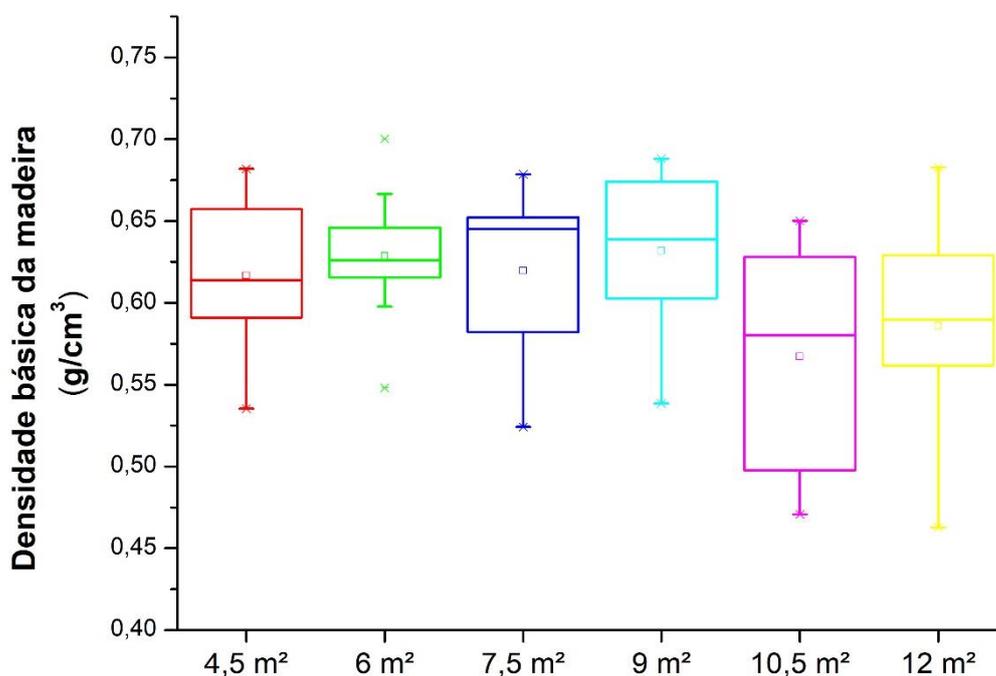
A fração parede está associada à facilidade de colapso e flexibilidade para ligação das fibras. Valores acima de 60% para esse índice são desejáveis para a produção de energia, uma vez que o contrário apresenta a formação de madeira ricas em parênquimas e vasos. Jesus et al. (2019), avaliando as dimensões das fibras de um clone de *E. grandis* x *E. urophylla*, verificaram valores de 42,8% e 37,5% para a fração parede da fibra.



**Figura 12.** Efeito do espaçamento de plantio na fração parede das fibras da madeira de *T. vulgaris*. **Fonte:** Autor

Ao avaliar a densidade básica da madeira de *T. vulgaris*, é possível verificar que independente do espaçamento de plantio, não houve diferença significativa para os espaçamentos distintos (Tabela 5). Entretanto, é importante destacar a variabilidade encontrada para os seis espaçamentos. Possivelmente, isso ocorreu devido ao fato das árvores avaliadas serem provenientes sementes, ou seja, cada indivíduo apresenta um genótipo distinto.

Além disso, as árvores do maior espaçamento (12 m<sup>2</sup>) obtiveram o maior diâmetro médio do disco (24,10 cm) (Tabela 2). Pode-se inferir que o aumento do espaçamento entre as plantas influenciou para o maior incremento dessa variável sem influenciar nas propriedades físicas dessa madeira. Muller et al. (2005), ressaltaram que com o tempo, a quantidade de biomassa estocada num determinado plantio tende a se igualar em diferentes espaçamentos, ou seja, plantios mais adensados, com a maior concentração de árvores por unidade de área impõe uma rápida estagnação do crescimento em idades mais jovens, ocorrendo o inverso em plantios menos adensados. Diante disso, essas informações ajudam a conhecer a dinâmica da produção de biomassa do tachi branco desde as fases iniciais de crescimento, de modo a definir as densidades de plantio ideais para a produção de bioenergia.



**Figura 13.** Efeito do espaçamento de plantio na densidade básica da madeira de *T. vulgaris*. **Fonte:** Autor

Dentro dos plantios florestais de rápido crescimento para bioenergia, é desejável produzir uma maior quantidade de massa por unidade de volume por unidade de área, no menor

tempo. Considerando os espaçamentos de plantio analisados. Segundo Rodrigues et al. (2020) e Silva et al. (2021), o volume da madeira de *T. vulgaris* por hectare aumentou a medida que a densidade de plantio aumentou porque haviam mais árvores por unidade de área nos espaçamentos mais adensados.

Schewerz et al. (2019), relaciona que há a maior quantidade de radiação interceptada pela copa das árvores nos espaçamentos mais densos, permitindo assim a maior taxa fotossintética e, conseqüentemente, maior eficiência na captação de radiação solar para aumentar a biomassa florestal. Esses fatores de desenvolvimento já foram mencionados na literatura para diferentes espécies e idades de árvores do gênero *Eucalyptus* (EUFRADE-JÚNIOR et al., 2017; MOULIN et al., 2017), para a espécie de *Dipteryx panamensis* (GAITÁN-ALVAREZ et al., 2020) e gênero *Gmelina* (TENÓRIO et al., 2016).

O plantio de árvores mais adensadas pode acelerar a produção de biomassa por unidade de área, levando a possibilidade da diminuição da rotação de plantio (Costa et al., 2020). Entretanto, a disputa por espaço a pleno sol e por se tratar de uma espécie heliófila, o tachi branco pode apresentar um maior índice de mortalidade caso as condições de espaço sejam restritas. Farias et al. (2016) afirmaram que o tachi branco quando em condições de pleno sol, apresenta uma rápida formação de biomassa e fustes mais retilíneos.

Os resultados demonstram que do ponto de vista da densidade da madeira e fração parede, mensurados na base das árvores, o espaçamento de plantio não é um fator que pode culminar em alterações expressivas da qualidade do lenho. Portanto, outros fatores silviculturais e de manejo deverão ser considerados para a correta escolha do espaçamento inicial de plantio de *T. vulgaris*.

### **7.3 Efeitos do espaçamento e da posição radial na anatomia da madeira de *T. vulgaris***

Para a avaliação da posição radial da madeira foram obtidos os valores médios por posição radial e bloco. Entretanto, cada árvore tem um comportamento único, e não apresentaram o mesmo número de corpos de prova, conforme a Tabela 3.

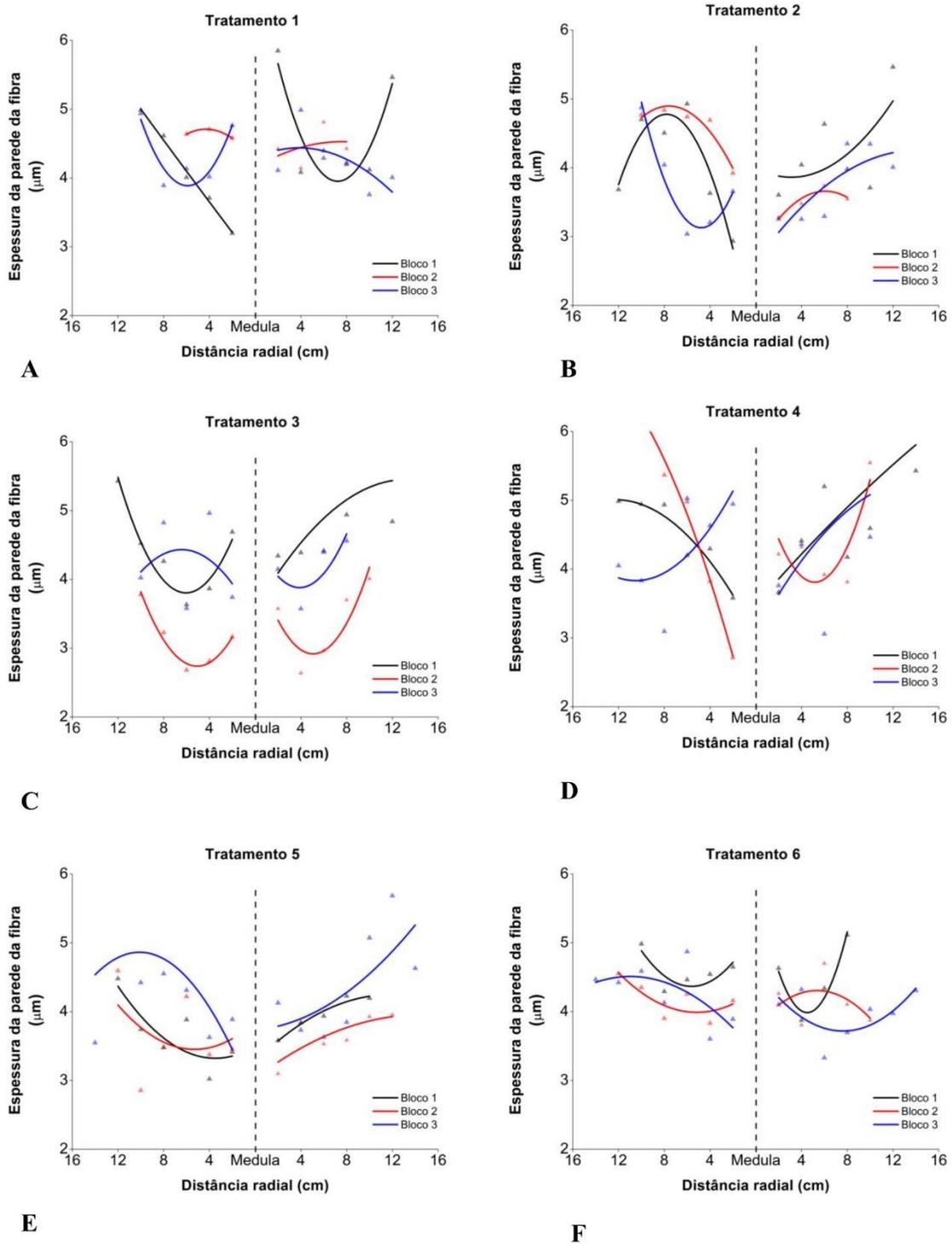
Para as dimensões das fibras no sentido medula-casca, aproximadamente 78% das árvores apresentaram aumento da espessura da parede e redução da largura do lume (Figuras 14 e 15). Entretanto, o comprimento da fibra teve uma tendência ao aumento no sentido medula-casca (Figura 16), variando entre de 248,06  $\mu\text{m}$  até 2356,45  $\mu\text{m}$  (Tabela 2). Esse aumento do comprimento da fibra em função da idade é resultado do comprimento das células que originam a madeira, denominadas iniciais fusiformes (SETTE JR. et al., 2012).

Segundo Tomazello Filho (1987), estabilização do comprimento das fibras e o aumento da formação de parede celular para o gênero *Eucalyptus*, somente irá ocorrer quando as células do câmbio atingirem comprimento máximo, iniciando a formação do lenho adulto. Assim, por a espécie de tachi branco se tratar ainda de lenho juvenil com 8 anos de idade, essa variação ainda não pode ser evidenciada, apenas quando a planta atingir a fase adulta.

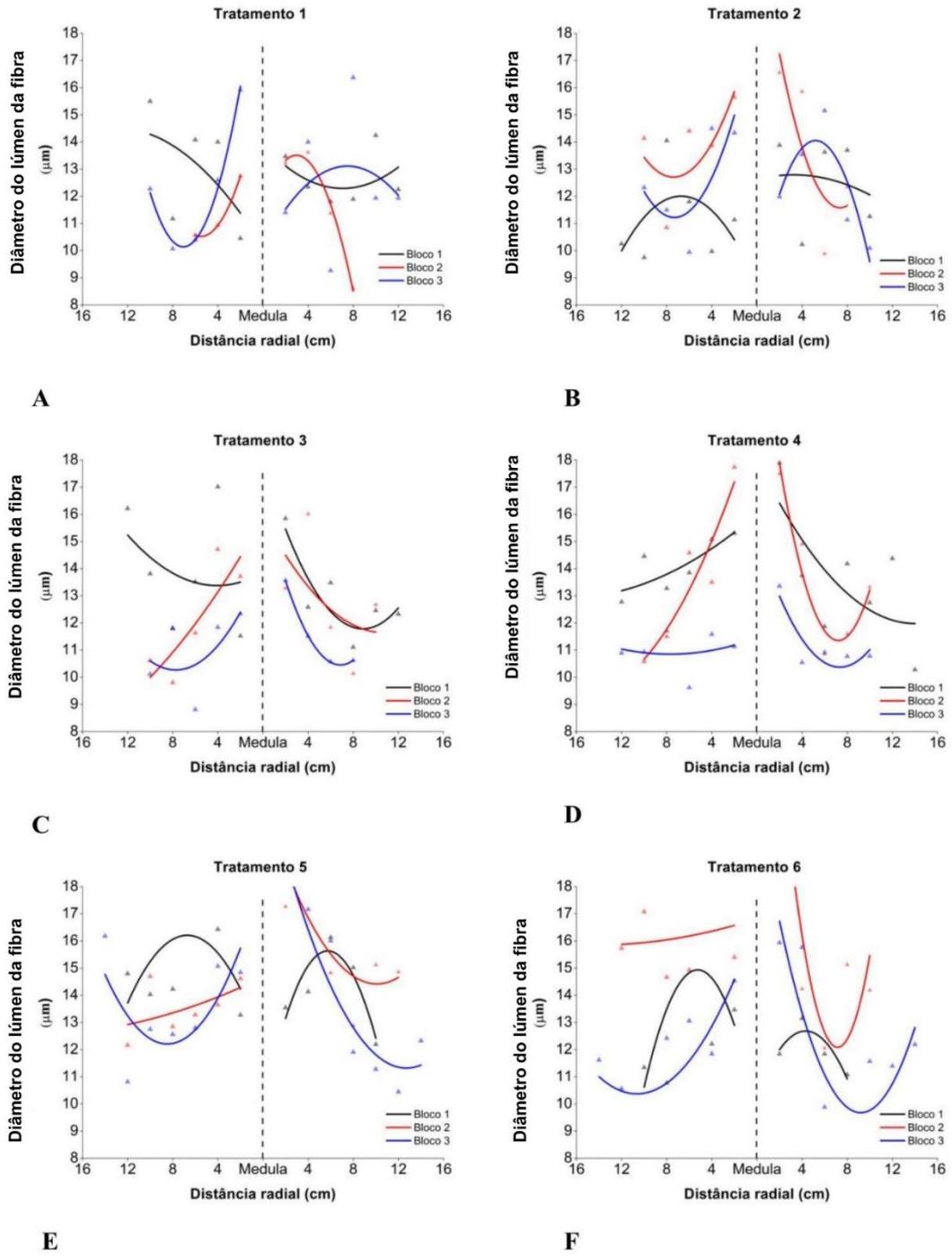
Para clones de *Eucalyptus camaldulensis* e *Eucalyptus urophylla* de 6, 8 e 10 anos, Evangelista et al. (2010) observaram que, em relação a distância medula-casca, existe uma tendência de aumento do comprimento e espessura da parede das fibras, nessa pesquisa o diâmetro do lúmen das fibras não apresentou um padrão linear de variação, o mesmo que ocorre para esse trabalho, isso deve ser em função das madeiras se tratarem de lenho juvenil.

Gatto et al. (2008) em *Luehea divaricata* e Gatto et al. (2010) em *Carya illinoensis* concluíram que o comprimento das fibras foi o melhor parâmetro para diferenciar a madeira juvenil da adulta. Nesses trabalhos os autores observaram que o comprimento das fibras aumenta de maneira significativa nos primeiros anos de vida, seguido de estabilização e decréscimo a partir de uma determinada camada de crescimento.

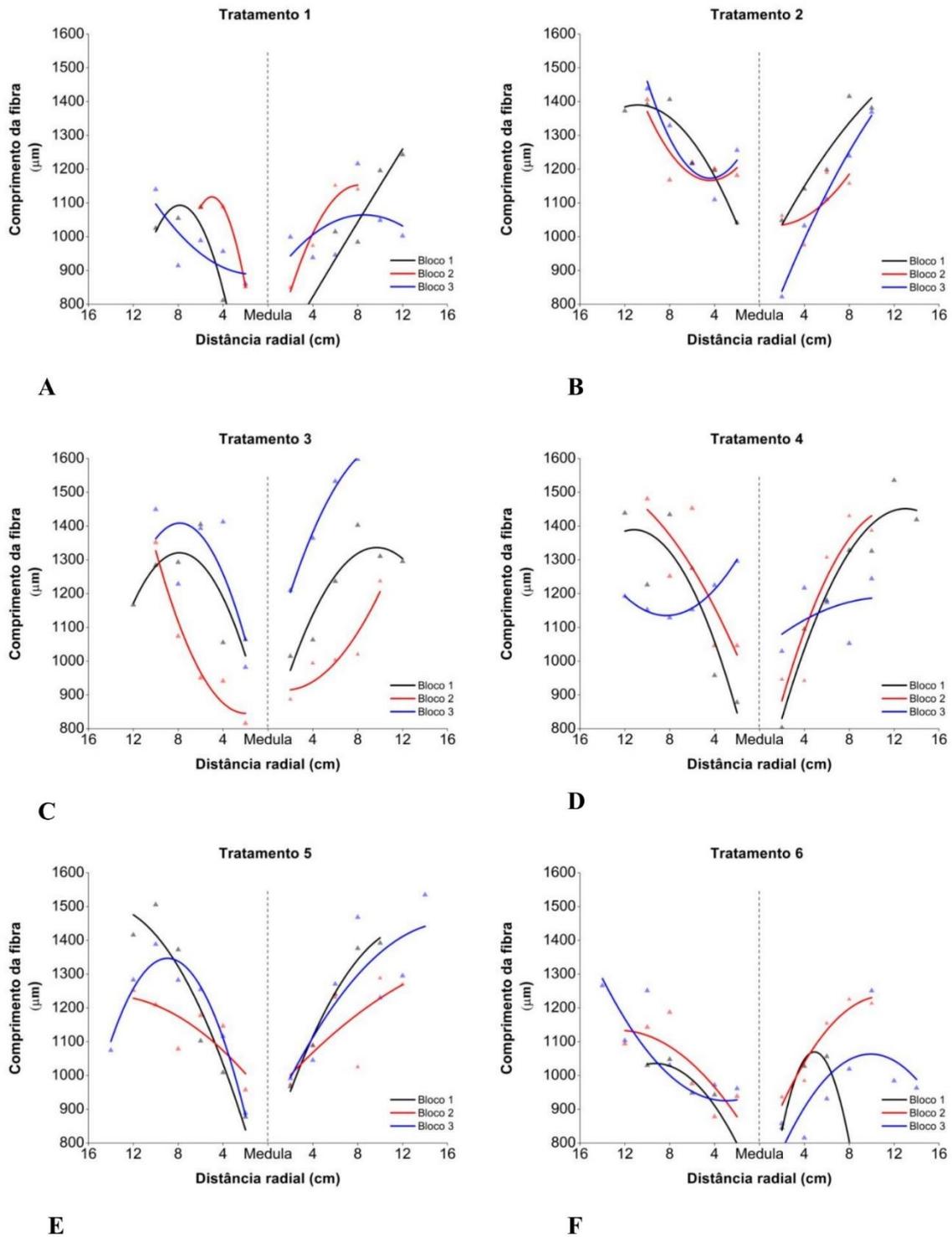
Esse padrão foi observado no tachi branco, considerando que madeira analisada seja juvenil e ainda esteja na fase de crescimento e estabilização, pois o comprimento das fibras apresentou aumento dos valores até a casca em 88,88% dos indivíduos analisados.



**Figura 14.** Efeito do espaçamento e da posição radial na espessura da parede da fibra da madeira de *T. vulgaris*.  
**Fonte:** Autor.



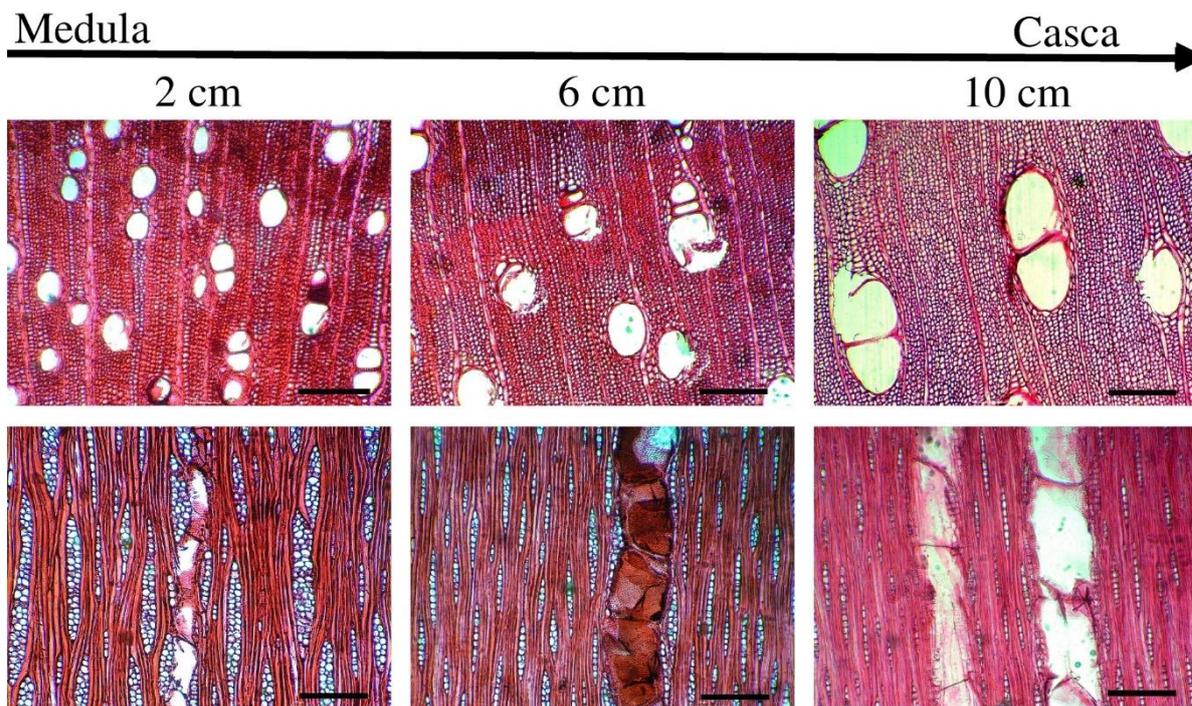
**Figura 15.** Efeito do espaçamento e da posição radial no diâmetro do lúmen da fibra da madeira de *T. vulgaris*  
**Fonte:** Autor.



**Figura 16.** Efeito do espaçamento e da posição radial no comprimento da fibra da madeira de *T. vulgaris*. **Fonte:** Autor.

Para as variáveis dos elementos de vaso, avaliadas nesse estudo, foi possível observar uma variação morfológica na posição radial (Figuras 17, 18, 19 e 20). O comprimento do elemento de vaso variou entre 86,84 μm até 885,56 μm e o diâmetro variou entre 49,48 μm até 640,17 μm (Tabela 2).

As dimensões e frequências dos vasos no sentido medula-casca indicam um aumento no diâmetro e comprimento dos elementos de vaso. Nesse mesmo sentido há uma redução na frequência dos vasos. Essas variáveis são inversamente proporcionais, visto que, de acordo com as necessidades, as plantas aumentam a sua capacidade de transporte de água e sais minerais à medida que se processam o seu crescimento e, conseqüentemente, ocorre o aumento de suas dimensões.



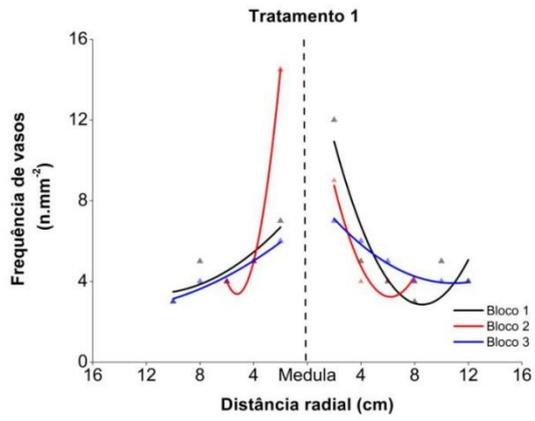
**Figura 17.** Imagens microscópicas da madeira de *T. vulgaris*, evidenciando o efeito da posição radial na anatomia da madeira com escala nos planos transversal e tangencial. 200µm. **Fonte:** Autor.

A frequência dos vasos, variou entre 1 e 29 células por mm<sup>2</sup> (tabela 2), essa alta variabilidade é observada em função do lenho ainda juvenil da espécie de *T. vulgaris*. Ribeiro et al. (2011), ressaltaram que, nos primeiros anos de vida da planta ocorre uma alta atividade cambial, as células tendem a ser mais largas, com diâmetros acentuados, e a medida que a árvore cresce e se desenvolve esses valores tendem a se estagnar. A mesma tendência foi observada por Silva et al. (2007), que concluíram que há influência da posição radial nas dimensões dos vasos da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill, pois estes autores observaram um aumento do diâmetro tangencial dos vasos em razão da variação da idade e da posição radial. Tomazello Filho (1987) observou uma variação radial em diversas espécies de *Eucalyptus*, em que o comprimento e diâmetro dos elementos de vaso aumentou e a frequência diminuiu da medula para a casca.

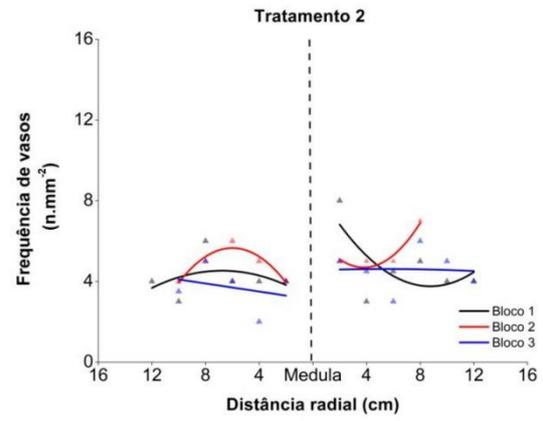
A maior frequência e menor diâmetro dos elementos de vaso próximo à medula podem ser atribuídos a maior taxa de crescimento da planta nos primeiros anos de vida, vasos com diâmetros reduzidos e em maior quantidade são estratégias para maior segurança no transporte hídrico, sem deixar a segurança de lado, pois o maior número de elementos de vasos com menores diâmetros ajuda a planta na prevenção contra embolia e cavitação (SILVA, 2018; FERREIRA et al., 2019). Essas alterações influenciam nas propriedades físico-mecânicas do lenho, na secagem e carbonização da madeira (TOMAZELLO FILHO, 1987).

O padrão de aumento do diâmetro dos vasos com a diminuição da sua frequência é observado em muitas espécies. Baas et al. (2004) explicam esse fato relacionando as adaptações das plantas em resposta ao ambiente, e mencionam que isto pode ocorrer, pois madeiras com vasos de maior diâmetro podem ser mecanicamente tão fortes e ter maior eficiência na condução de água do que madeiras com vasos de menor diâmetro. De acordo com Santos et al. (2011), usando o mesmo raciocínio para interpretar a variação radial, pode-se considerar que há aumento da demanda por água e reforço mecânico do fuste conforme a árvore cresce. Infere-se, portanto, que o padrão observado no tachi-branco supra as exigências de crescimento das árvores estudadas.

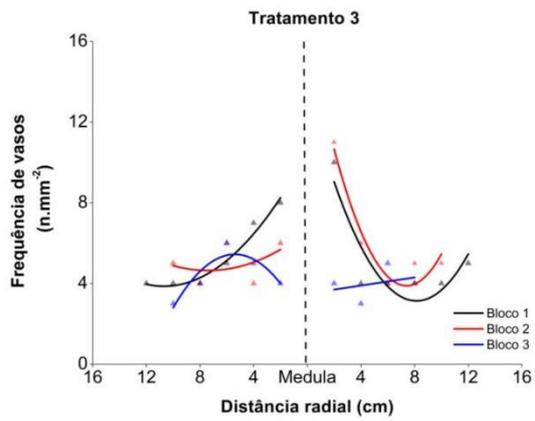
Esse modelo de variação radial para a área ocupada pelos elementos de vasos na madeira são considerados padrão por inúmeros autores trabalhando com as espécies do gênero *Eucalyptus* (SETTE JR. et al., 2012; LONGUI et al., 2010; RIBEIRO et al., 2011; OLIVEIRA et al., 2012; FERREIRA et al., 2019). Isso só reforça o potencial do tachi branco como uma espécie promissora para plantios com finalidade energética.



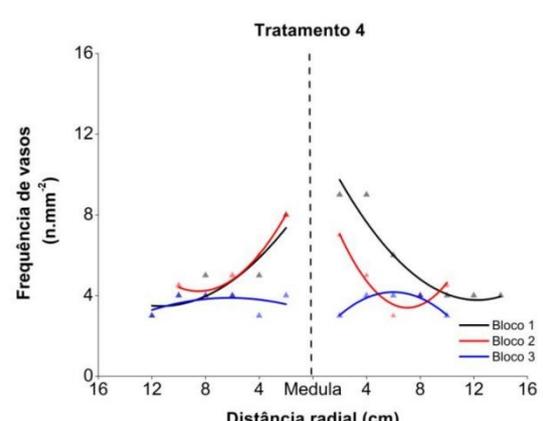
A



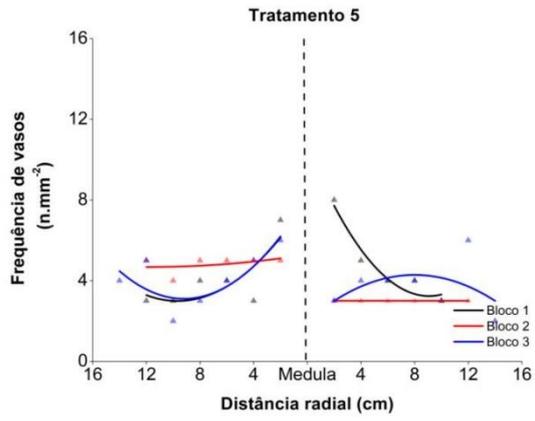
B



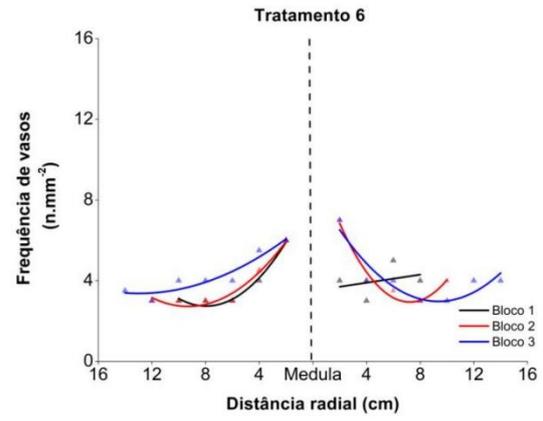
C



D

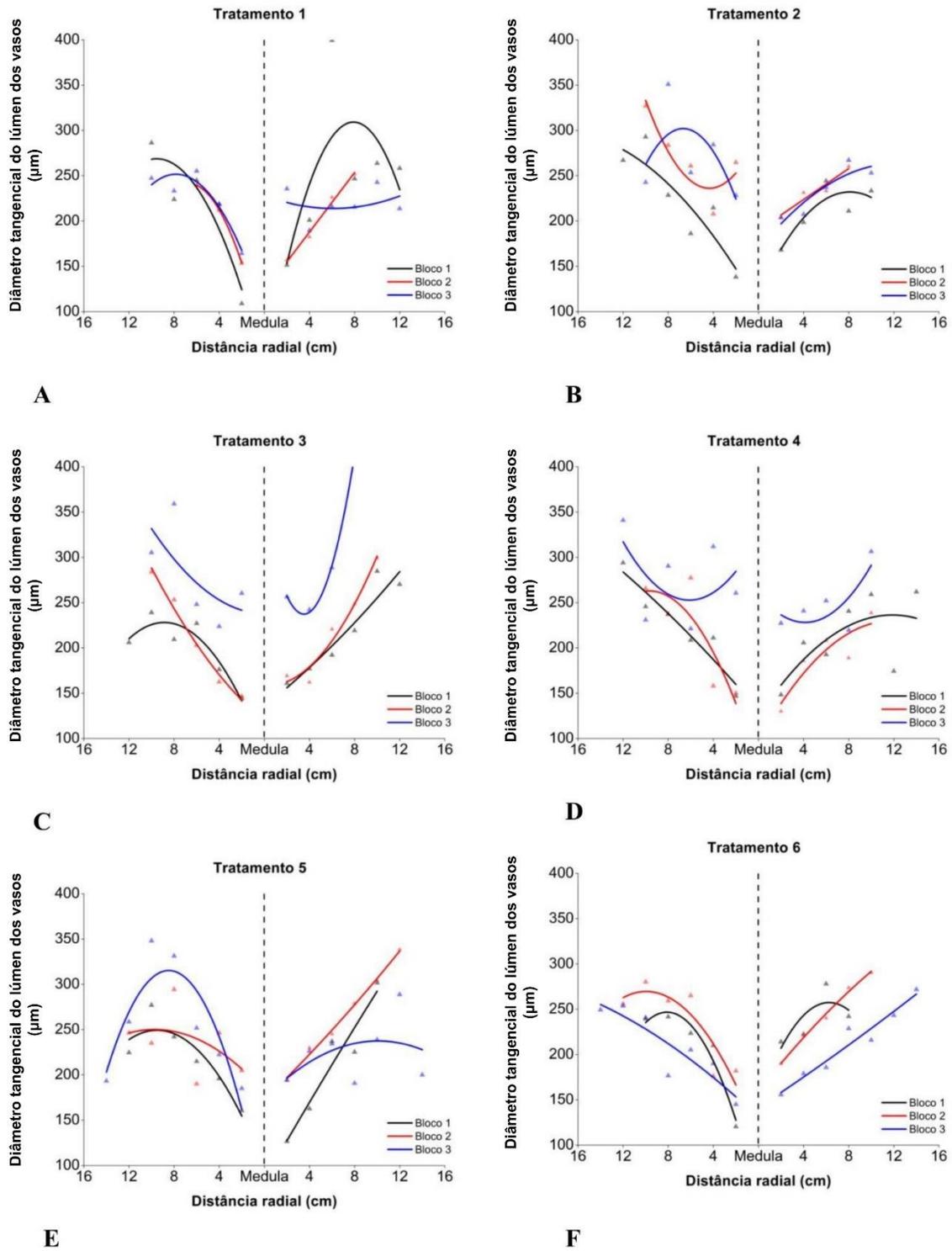


E

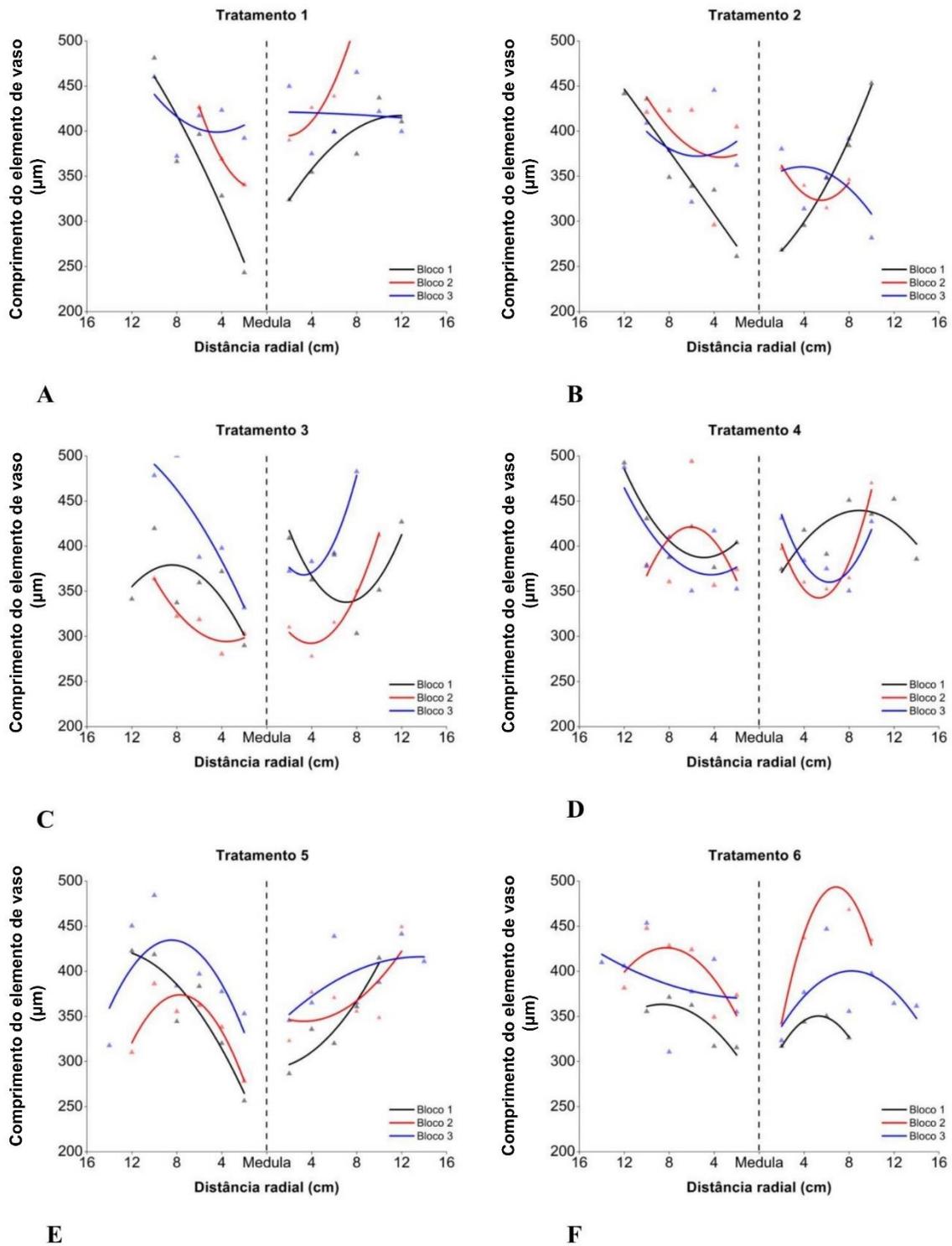


F

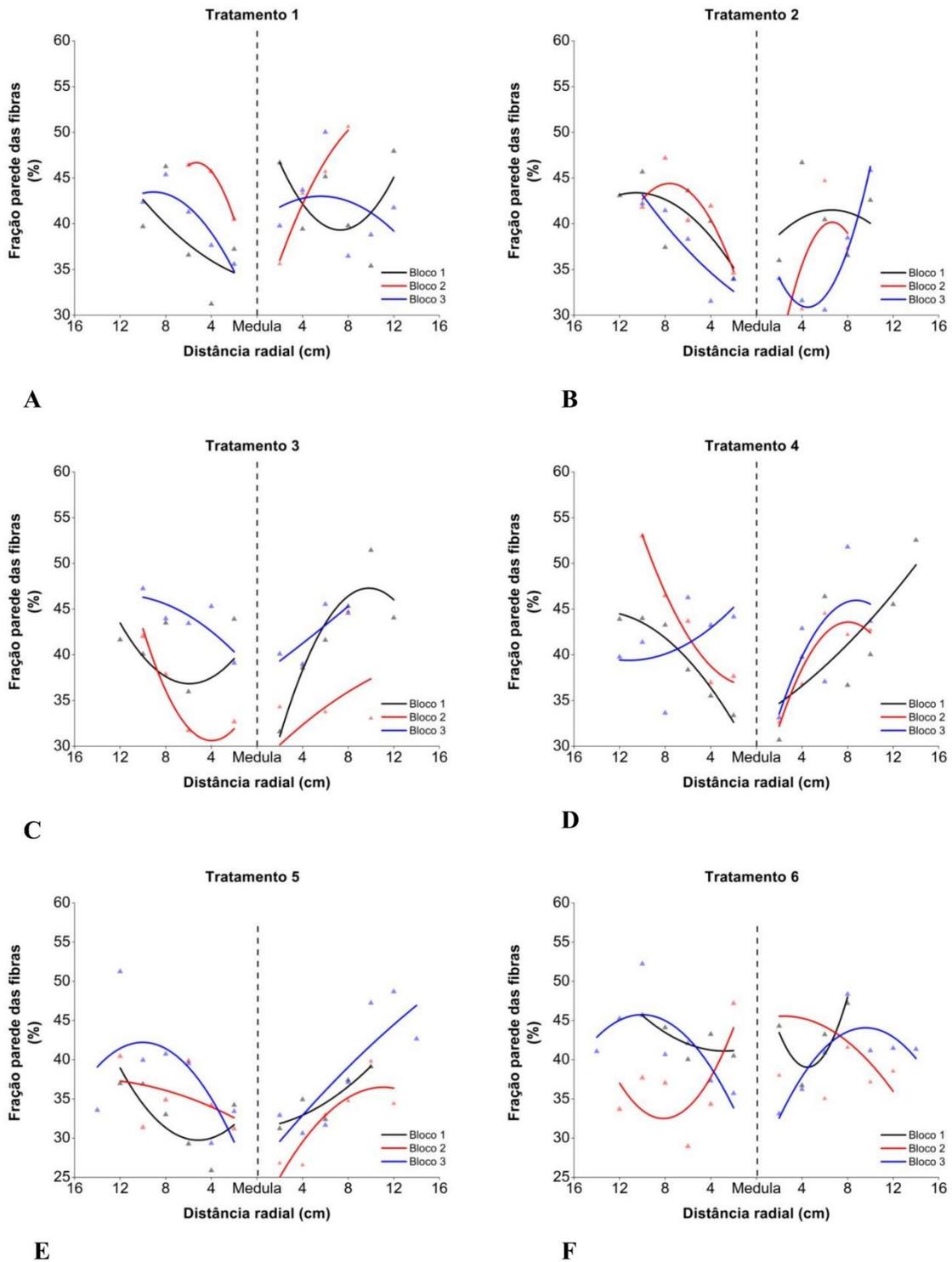
**Figura 18.** Efeito do espaçamento e da posição radial na frequência dos vasos da madeira de *T. vulgaris*. **Fonte:** Autor.



**Figura 19.** Efeito do espaçamento e da posição radial no diâmetro do lúmen dos vasos da madeira de *T. vulgaris*.  
**Fonte:** Autor.



**Figura 20.** Efeito do espaçamento e da posição radial no comprimento do elemento de vaso da madeira de *T. vulgaris*. **Fonte:** Autor.



**Figura 21.** Efeito do espaçamento e da posição radial na fração parede das fibras da madeira de *T. vulgaris*. **Fonte:** Autor.

No sentido radial, a densidade básica apresentou um comportamento esperado, tendo correlação com os valores de frequências e diâmetros dos vasos. Para a espécie *T. vulgaris* não

foi diferente, segundo a Figura 22, apresenta valores de densidade mais baixos próximos à medula, e tendem ao aumento no sentido da casca.

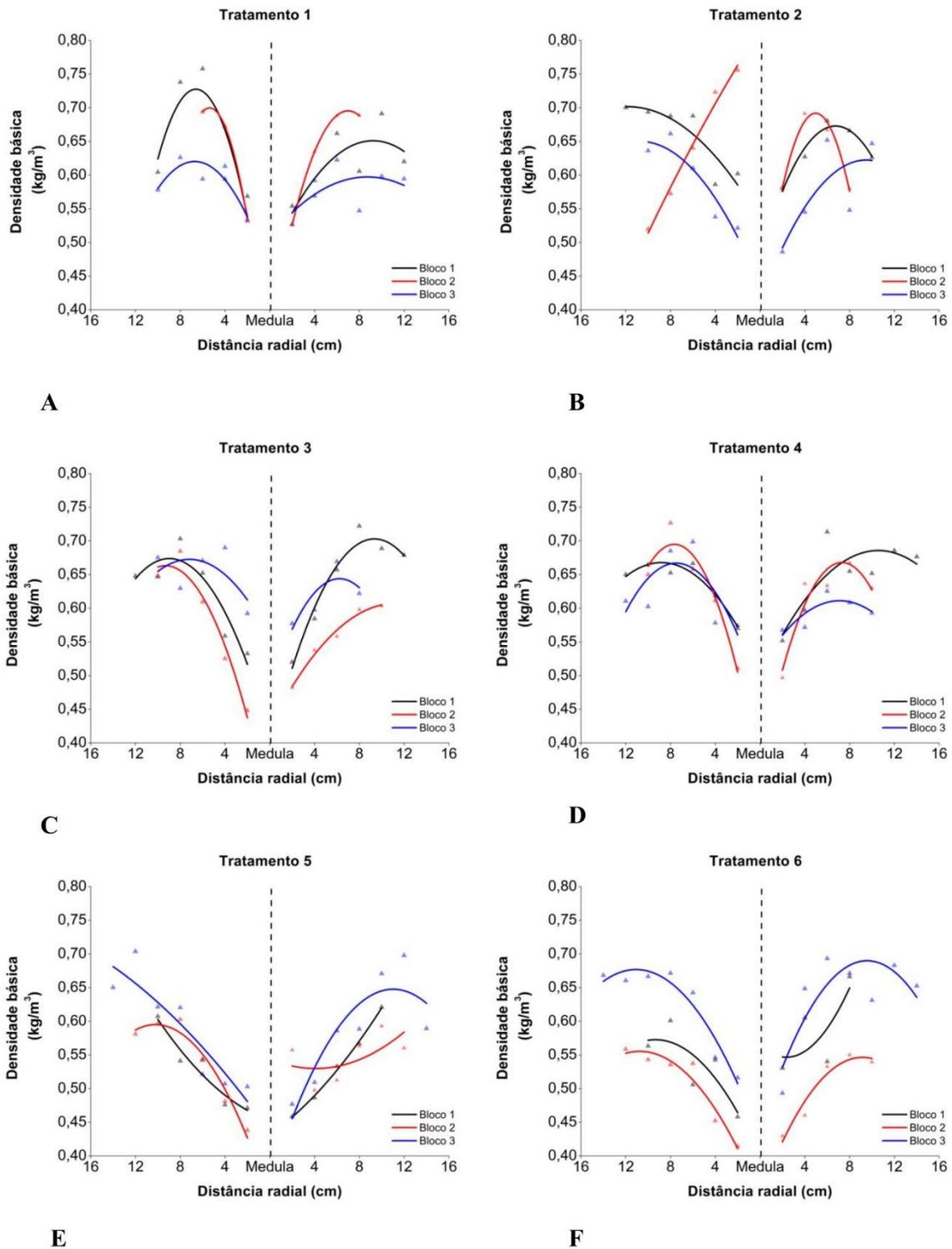


Figura 22. Efeito do espaçamento e da posição radial na densidade básica da madeira de *T. vulgaris*. Fonte: Autor.

Lemos (2012) afirmou que variações da densidade não dependem unicamente de características genéticas das espécies, como também se relacionam com as condições externas como o local de crescimento, variações climáticas e tratamentos silviculturais, bem como a bifurcação (YARED, 1989).

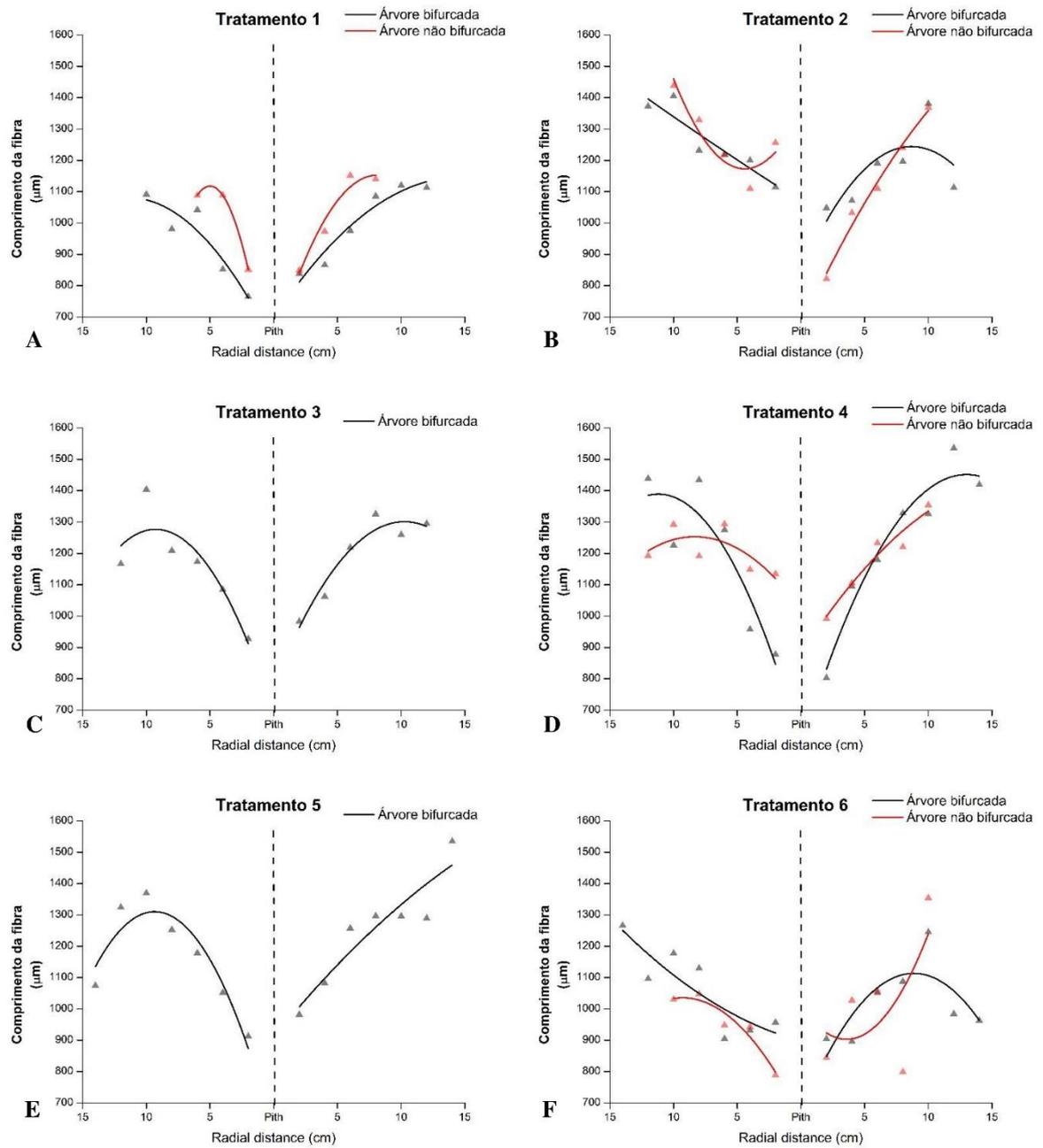
#### **7.4 Efeito da bifurcação na anatomia da madeira de *T. vulgaris*.**

A bifurcação é uma condição em que a árvore sofre uma variação morfológica causada por fatores externos ou internos ainda desconhecidos para a madeira do tachi branco, entretanto, quando isolamos esses resultados, podemos verificar as influências da bifurcação na anatomia da madeira.

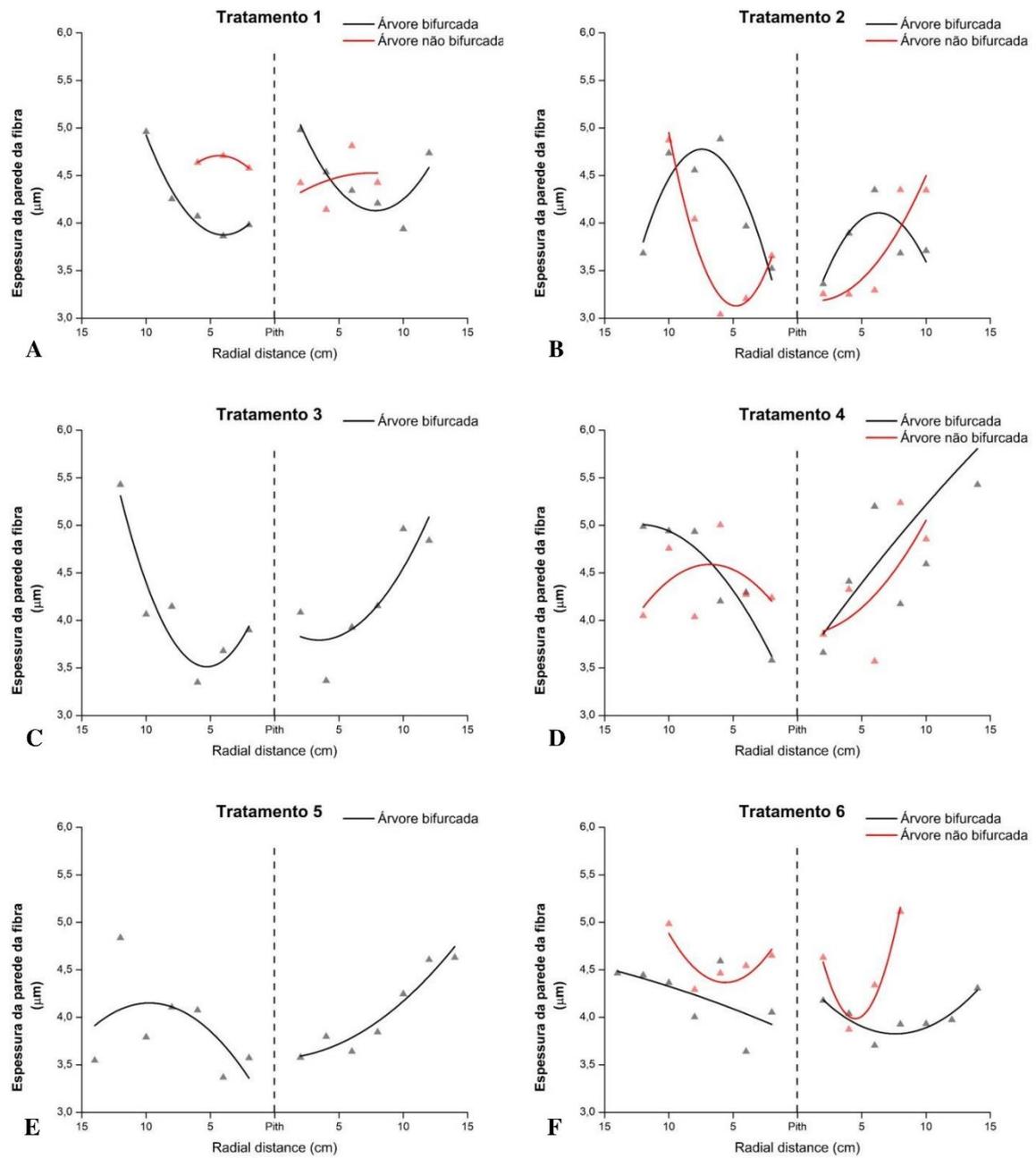
Em geral, mesmo as árvores bifurcadas, apresentam uma variação esperada para comprimento da fibra entre os espaçamentos de plantio (Figura 23), entretanto, ao longo do raio, as fibras das árvores bifurcadas passam por tendências de crescimento, ou seja, ondas de variação. Essas variações evidenciadas mostram como as células de uma maneira geral respondem às condições de plantio. Os espaçamentos mais amplos apresentaram maior ocorrência de árvores bifurcadas (tabela 4), inverso ao encontrado por Costa (2020), em que indivíduos bifurcados apresentam maior potencial competitivo quando submetidos à alta riqueza de espécies e maior potencial competitivo por altura.

A espessura da parede da fibra é a variável que mais sofre com o efeito da bifurcação, pois não apresenta uma tendência relativa (Figura 24 e 25). Essa variação pode ser explicada em função das árvores serem jovens e ainda não atingirem a zona de transição para a fase adulta.

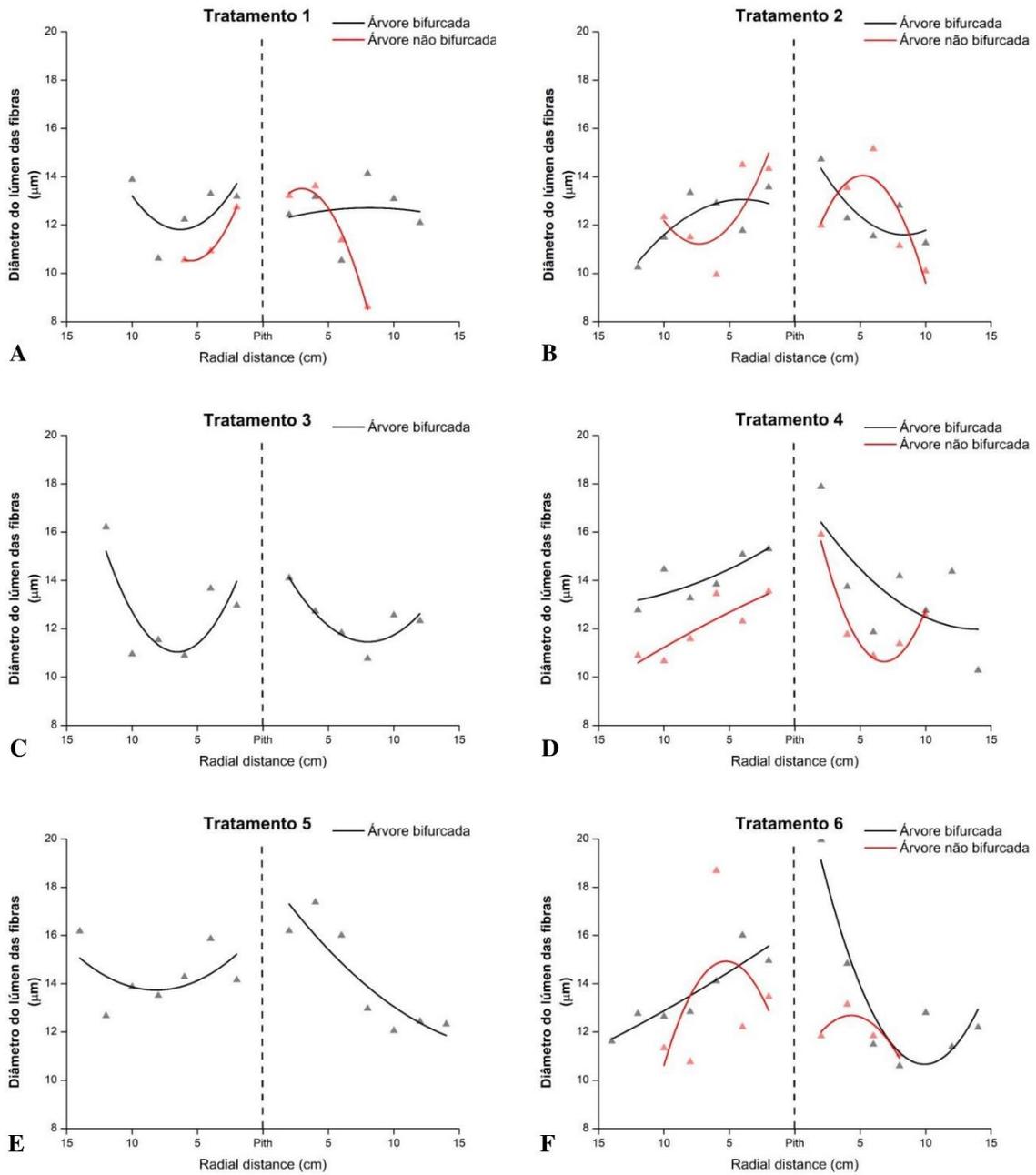
Em decorrência da diferença de crescimento e a tração realizada pela árvore para a sustentação de múltiplos fustes, as seções transversais dos troncos com madeira de reação são excêntricas (Boschetti et al., 2020). Para a madeira do tachi branco, a presença de medula excêntrica é evidenciada com as diferenças morfológicas dos discos (Figura 6).



**Figura 23.** Efeito da bifurcação e da posição radial no comprimento da fibra da madeira de *T. vulgaris*. **Fonte:** Autor.



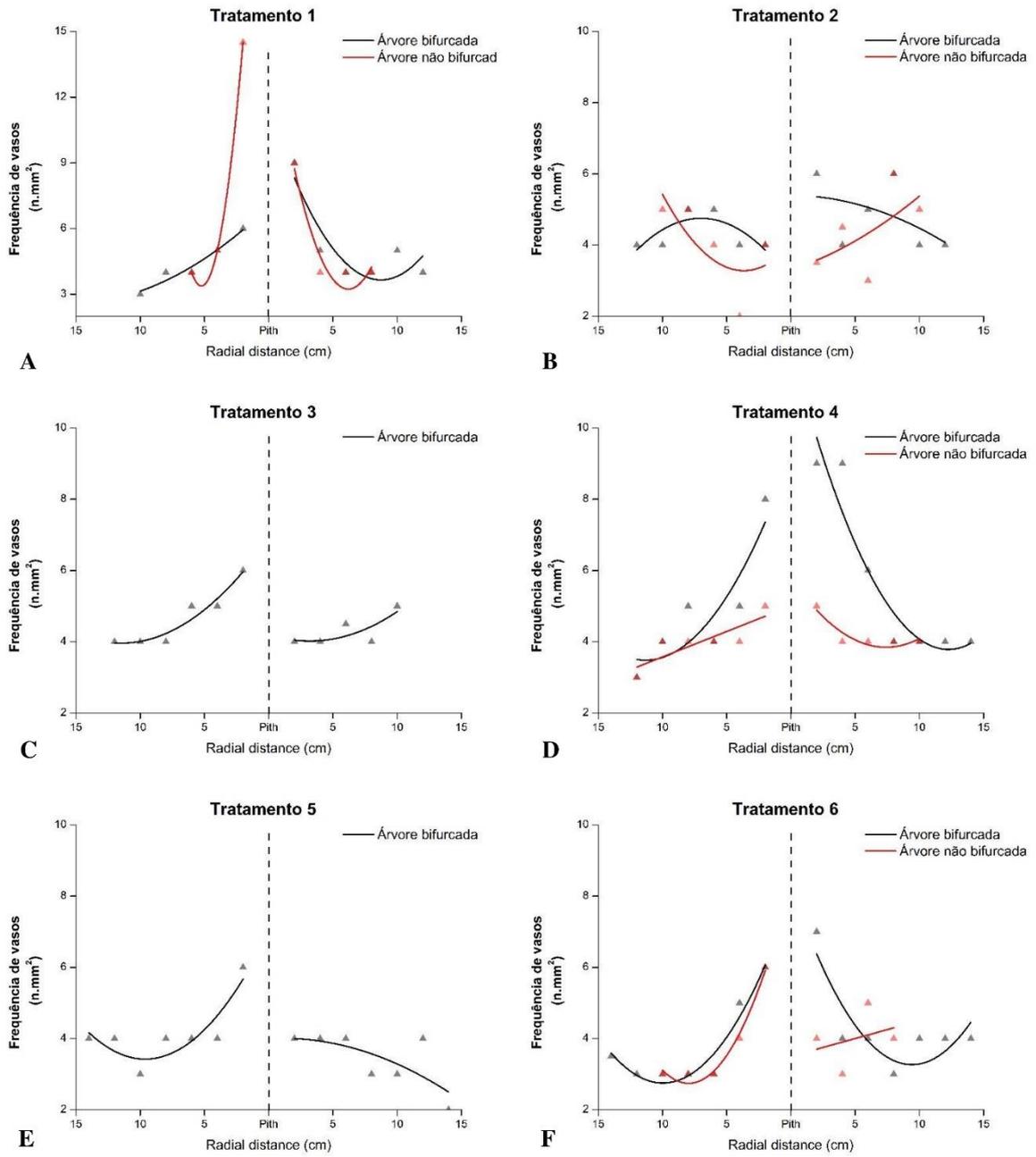
**Figura 24.** Efeito da bifurcação e da posição radial na espessura da parede da fibra da madeira de *T. vulgaris*.  
**Fonte:** Autor.



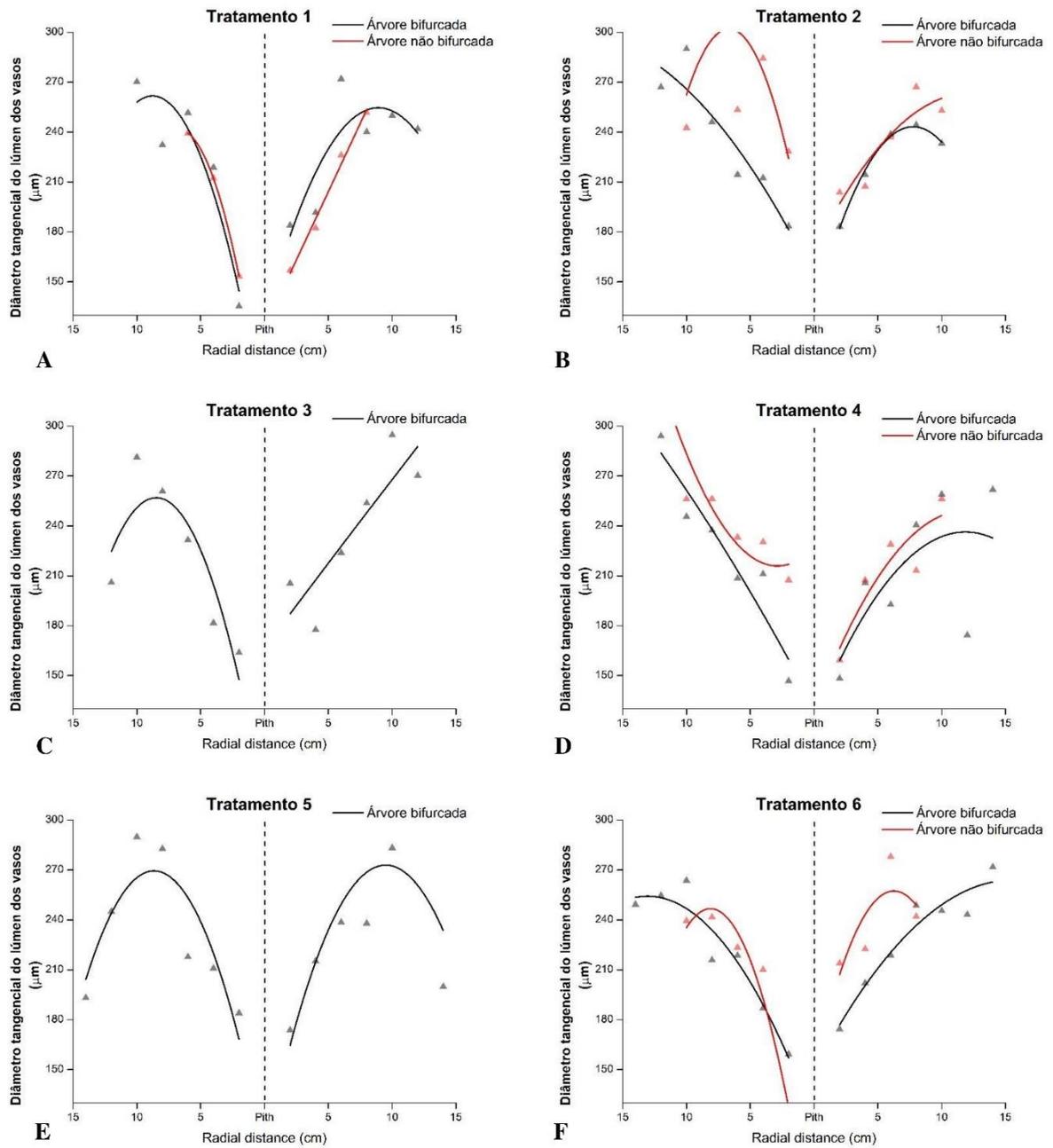
**Figura 25.** Efeito da bifurcação e da posição radial no diâmetro do lúmen da fibra da madeira de *T. vulgaris*.  
**Fonte:** Autor.

Em contrapartida, os elementos de vaso (Figuras 26, 27 e 28), apresentam comportamento similar às árvores de fuste normal, seguindo as tendências de padrão para o crescimento das árvores. Segundo Boschetti et al. (2020), a madeira de reação do eucalipto tem tendência à apresentar comportamento anatômico distinto quando comparado a madeira normal, geralmente os elementos de vaso apresentam menor diâmetro e frequência vascular alterada, e em alguns casos é maior, em outros menor. Sousa (2004) encontrou uma menor frequência para os vasos na madeira tracionada de *E. grandis*, com redução de 25,3%, comparada à oposta. Já Aguayo et al. (2010), para a madeira de *E. globulus* com 8 anos de idade não observaram diferença na frequência vascular.

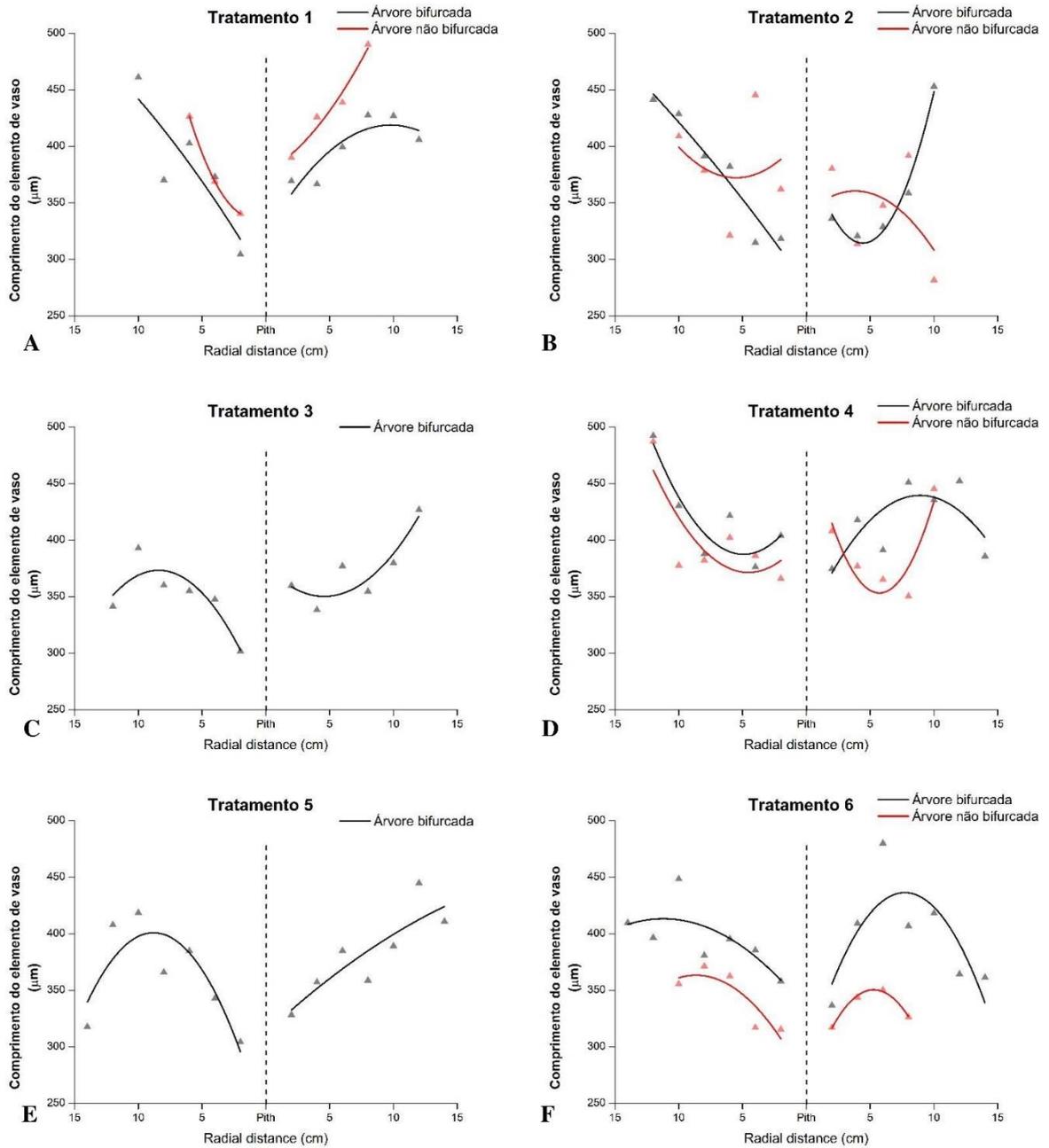
Nesse sentido, cada espécie possui características únicas e ter esse conhecimento acerca da variabilidade anatômica reforça a necessidade de inserir o melhoramento genético ao tachi branco, visto que mesmo com a bifurcação do fuste, a variação dos elementos celulares da madeira tem comportamento similar ao eucalipto.



**Figura 26.** Efeito da bifurcação e da posição radial na frequência dos vasos (por  $\text{mm}^2$ ) da madeira de *T. vulgaris*.  
**Fonte:** Autor.



**Figura 27.** Efeito da bifurcação e da posição radial no diâmetro do lúmen dos vasos da madeira de *T. vulgaris*.  
**Fonte:** Autor.



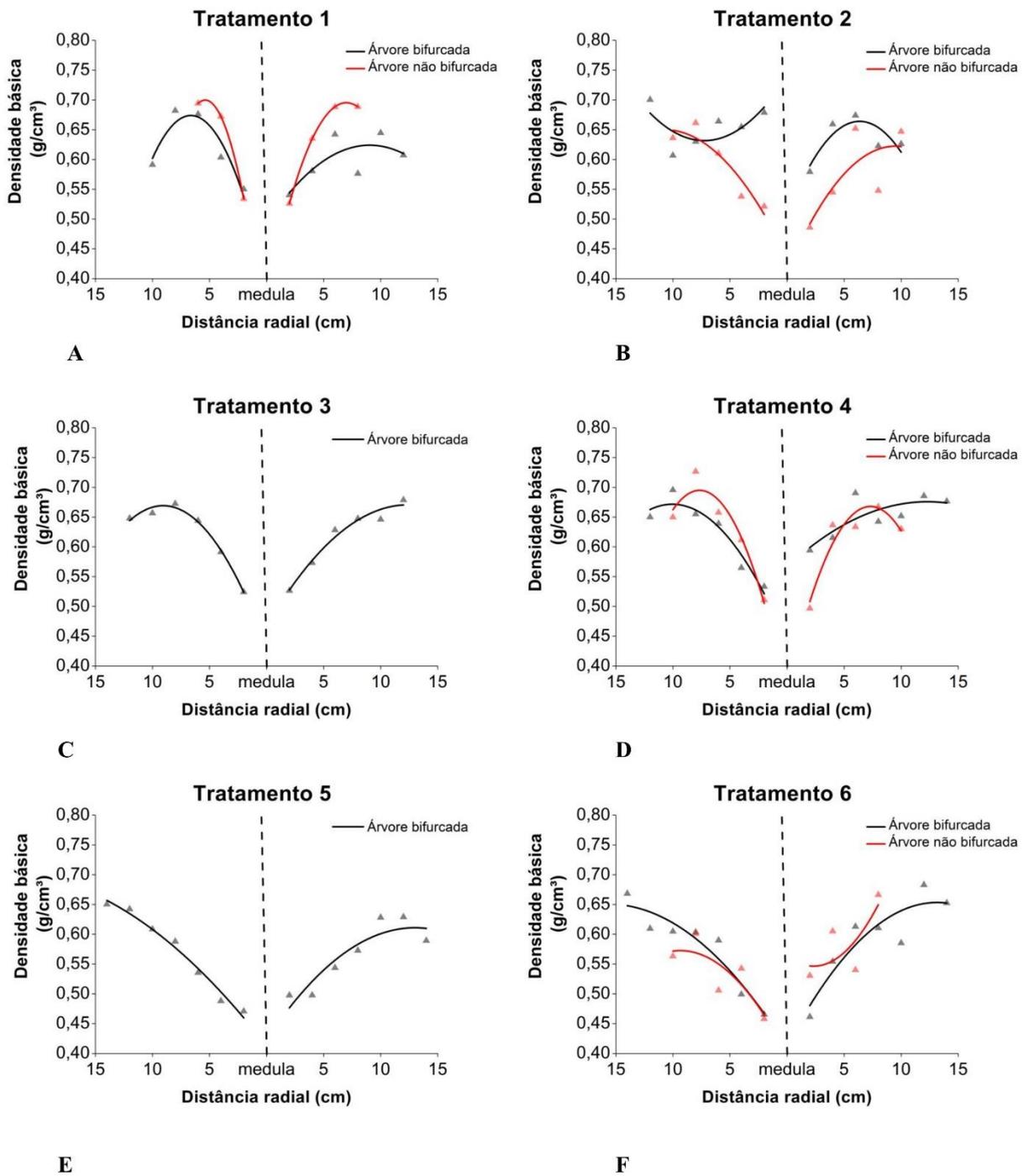
**Figura 28.** Efeito da bifurcação e da posição radial no comprimento do elemento de vaso da madeira de *T. vulgaris*.  
**Fonte:** Autor.

Para a variação do perfil radial da densidade da madeira do lenho de *T. vulgaris*, observa-se uma tendência comum entre os espaçamentos. Na região central da madeira, próximo à medula, a densidade da madeira foi menor e conforme o distanciamento da medula a madeira tendeu ao aumento de densidade. Segundo Koubaa et al., (2005), os primeiros anos de desenvolvimento da madeira, a parte central, exerce influência no decréscimo da densidade da madeira, pois as condições são mais favoráveis ao rápido crescimento e, conseqüentemente, conduzem a menores valores de densidade nessas regiões. Nesse sentido, o aumento da

densidade da madeira no sentido medula-casca está relacionado com a formação de madeira juvenil nos primeiros anos (SORANSO et al., 2016).

Nos tratamentos 3 e 5 não foram avaliadas árvores de fuste único, entretanto, é possível observar, que estes apresentam um perfil de variação de densidade básica que corrobora com os dados referentes a anatomia da madeira.

A densidade da madeira é um fator importante para evidenciar a qualidade da madeira para fins energéticos para a espécie do tachi branco (Figura 29), apesar do comprimento da fibra apresentar efeito do espaçamento, a densidade básica não foi influenciada, esse fato, pode estar relacionado com as proporções dos elementos de vaso na madeira. Segundo Longui et al. (2009) e Lima et al. (2011), o decréscimo da frequência dos elementos de vaso, e aumento as variáveis diâmetro e comprimento no sentido medula-casca, interferem nos valores de densidade básica da madeira. Desse modo, para a espécie de *T. vulgaris*, observa-se que a densidade básica tem similaridade com os valores quantitativos para os elementos de vaso.



**Figura 29.** Efeito da bifurcação do fuste e da posição radial na densidade básica da madeira de *T. vulgaris*. **Fonte:** Autor.

## 7.5 Agrupamento multivariado das árvores de *T. vulgaris*

A análise de componentes principais revelou que três componentes foram suficientes para explicar 71,17% da variabilidade dos dados. As variáveis que mais influenciaram as componentes principais foram as seguintes: 1 – altura total, altura comercial, 2 – área basal, volume sem casca, diâmetro do disco sem casca, frequência e largura dos raios e, 3 – densidade básica, fração parede, espessura da parede da fibra e diâmetro do lúmen das fibras.

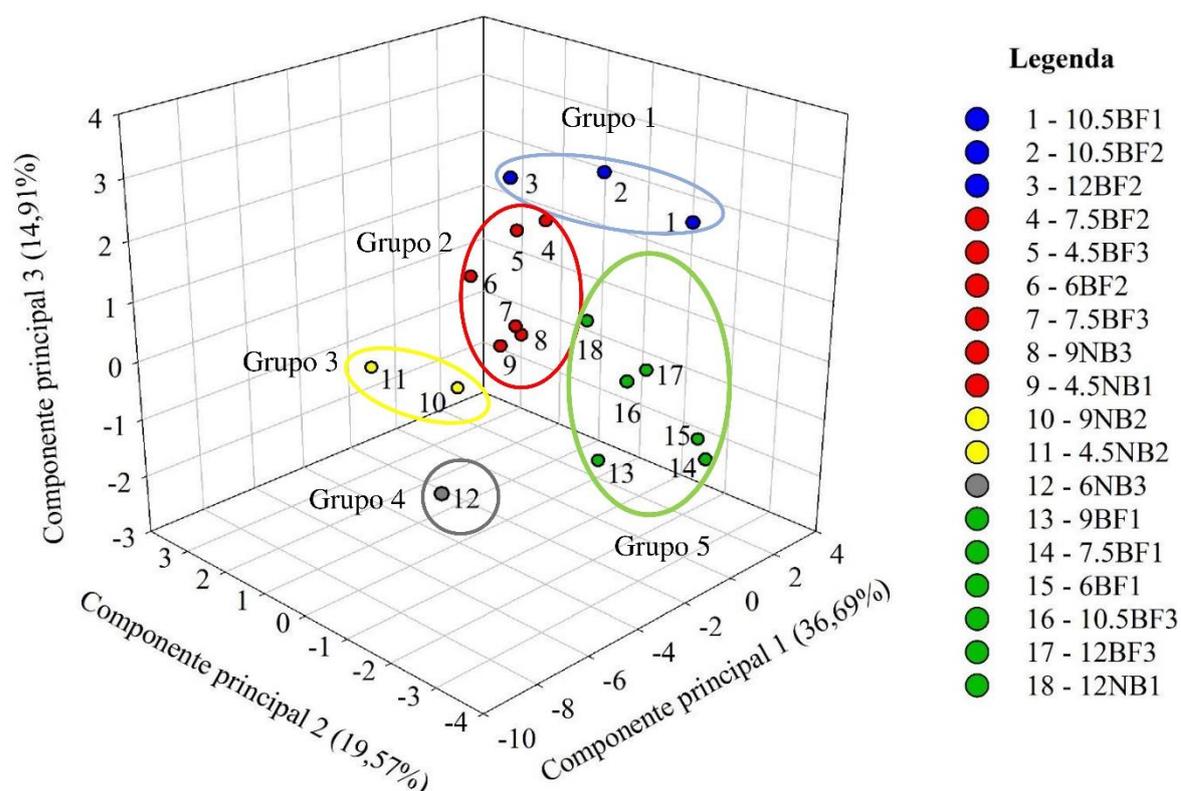
**Tabela 10.** Autovetores das 3 primeiras componentes principais.

	<b>Componente principal 1</b>	<b>Componente principal 2</b>	<b>Componente principal 3</b>
<b>Área Basal</b>	0,2319	<b>-0,4113*</b>	-0,0316
<b>Volume sem casca</b>	0,2690	<b>-0,3592*</b>	-0,0016
<b>Altura total</b>	<b>0,3233*</b>	-0,1362	-0,2071
<b>Altura comercial</b>	<b>0,3149*</b>	-0,1045	-0,2279
<b>Diâmetro do disco s/ casca</b>	0,2229	<b>-0,4346*</b>	-0,0154
<b>Densidade básica da madeira</b>	0,0208	0,0052	<b>-0,5569*</b>
<b>Fração parede da Fibra</b>	-0,2530	0,0099	<b>-0,4593*</b>
<b>Espessura da parede da fibra</b>	-0,2161	-0,1124	<b>-0,4311*</b>
<b>Diâmetro do lúmen da fibra</b>	-0,1989	-0,2808	<b>0,3325*</b>
<b>Comprimento da fibra</b>	-0,2044	-0,2540	-0,1545
<b>Frequência do vaso</b>	-0,2572	0,0999	-0,1182
<b>Diâmetro do lúmen do vaso</b>	-0,2910	-0,0774	0,1435
<b>Comprimento do elemento de vaso</b>	-0,2914	0,0077	-0,1073
<b>Frequência do raio</b>	-0,2269	<b>-0,3188*</b>	0,0688
<b>Comprimento do raio</b>	-0,2897	-0,2983	0,0985
<b>Largura raio</b>	-0,2386	<b>-0,3472*</b>	-0,0457

\*variáveis com contribuições significativas na componente principal

Na análise dos autovetores os sinais positivo (+) e negativo (-) revelam o tipo de associação entre a variável e a componente principal. Dessa forma, os resultados podem expressar a similaridade das características das árvores em função das variáveis latentes.

A dispersão das árvores estudadas em função dos escores na análise de componentes principais pode ser observada na Figura 27, em que foi possível constatar a formação de 5 grupos distintos compostos por árvores que apresentaram similaridade nas propriedades da madeira e nas características de crescimento. A utilização desse modelo de agrupamento permite compreender se existem efeitos do espaçamento e do tipo de fuste no agrupamento e qual característica mensurada no lenho foi mais relevante para a similaridade ou dissimilaridade das árvores de *T. vulgaris*.



**Figura 30.** Agrupamento multivariado da espécie de *T. vulgaris* em diferentes espaçamentos de plantio, com a presença de árvores bifurcadas (BF) e não bifurcadas (NB). **Fonte:** Autor.

**Tabela 11.** Média das variáveis estudadas para cada grupo formado pela análise de componentes principais.

Características das árvores	Grupos formados pela análise de componentes principais				
	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4	Grupo 5
Área Basal ( $m^2 ha^{-1}$ )	0,0291	0,222	0,127	0,158	0,0357
Volume sem casca ( $m^3 ha^{-1}$ )	0,247	0,197	0,118	0,123	0,287
Altura total (m)	19,8	20,4	19,4	17,93	21,2
Altura comercial (m)	16,2	16,7	16,3	14,35	17,6
Diâmetro do disco s/ casca (cm)	20,2	18,2	14,2	16,98	22,3
Densidade básica da madeira ( $kg/m^3$ )	0,552	0,607	0,659	0,612	0,641
Fração parede da Fibra (%)	36,3	41,1	45,1	52,3	43,0
Espessura da parede da fibra ( $\mu m$ )	4,1	4,2	4,8	5,3	4,7
Diâmetro do lúmen da fibra ( $\mu m$ )	14,9	12,7	12,2	15,7	12,9
Comprimento da fibra ( $\mu m$ )	1226,5	1157,7	1199,9	1620,7	1213,7
Frequência do vaso ( $n.mm^{-2}$ )	4,1	4,6	4,8	6,1	4,3
Diâmetro do lúmen do vaso ( $\mu m$ )	259,8	260,8	224,6	342,8	237,9
Comprimento do elemento de vaso ( $\mu m$ )	402,1	398,9	420	478,4	395,8
Frequência do raio ( $n.mm^{-1}$ )	5,7	4,6	5,3	6,8	5,4
Comprimento do raio ( $\mu m$ )	236,7	210,8	200,9	338,4	224,1
Largura raio ( $\mu m$ )	21,5	19,0	17,5	34,0	22,2

O grupo 1 é composto por espécies dos espaçamentos de plantios maiores 10,5m<sup>2</sup> e 12m<sup>2</sup> e possui 100% das árvores bifurcadas. Foi o grupo que apresentou os menores valores de densidade básica, fração parede e espessura da parede da fibra.

O grupo 2 é composto por árvores dos 4 primeiros espaçamentos (4,5m<sup>2</sup>, 6m<sup>2</sup>, 7,5m<sup>2</sup> e 9m<sup>2</sup>), com 67% das árvores bifurcadas.

O grupo 3, composto 100% por árvores de fuste único (não bifurcadas) e dos tratamentos mais adensados 4,5m<sup>2</sup> e 9m<sup>2</sup>, independente do espaçamento diferente em que elas se encontram, duas árvores de fuste único se agruparam. Além disso, esse foi o grupo que apresentou maiores valores de densidade básica da madeira (0,65 g.cm<sup>-3</sup>).

O grupo 4, composto por apenas 1 árvore do espaçamento 6m<sup>2</sup>, não bifurcada, foi o mais divergente dos demais. As mensurações anatômicas para fibras, vasos e raios foram relativamente maiores quando comparado aos outros grupos, entretanto, quanto a altura total e comercial, apresentaram os menores valores. No gráfico, os grupos 3 e 4 apresentaram proximidade, sendo estes compostos por árvores não bifurcadas.

O grupo 5, é composto por árvores dos espaçamentos 6m<sup>2</sup>, 7,5m<sup>2</sup>, 9m<sup>2</sup>, 10,5m<sup>2</sup> e 12m<sup>2</sup>, é o grupo com o segundo maior valor de densidade básica (0,64 g.cm<sup>-3</sup>). Além disso, esse grupo se destaca, pois foi o que teve os maiores valores de volume e diâmetro sem casca, altura total e comercial.

Em geral, o grupo 1 é composto apenas por árvores bifurcadas, enquanto os grupos 3 e 4 possuem apenas árvores de fuste único (não bifurcadas). Os grupos 2 e 5 são formados por dois grandes grupos de árvores com características promissoras, em destaque para o grupo 5, que apresentou 83% de árvores bifurcadas. As árvores bifurcadas apresentam maior quantidade de biomassa no fuste (devido apresentarem múltiplos fustes).

Esse agrupamento permite compreender que a bifurcação exerce efeito sobre as propriedades estudadas independente do espaçamento de plantio inicial, a partir dele fica claro que o tipo de fuste é um fator de impacto na formação de grupos de árvores e, conseqüentemente, na similaridade das características anatômicas e de crescimento.

Estudos mais aprofundados são necessários e fundamentais para a compreensão das relações entre os diferentes espaçamentos de plantio e a ocorrência de múltiplos fustes em árvores de *T. vulgaris*.

## 8 CONCLUSÃO

A pesquisa com o tachi branco fornece dados inéditos para a literatura, além de a espécie ter comportamento anatômico que corroboram com outras espécies inseridas em plantio comercial, o *T. vulgaris* pode ser um modelo para estudos dendrocronológicos por apresentar anéis de crescimento bem visíveis e distintos.

As variações da densidade da madeira de *T. vulgaris* ocorrem quando as árvores foram plantadas em diferentes espaçamentos.

Para comprimento da fibra e frequência dos vasos da madeira foram detectadas diferenças significativas entre os espaçamentos de plantio, que influenciam na densidade.

Na variação radial, observou-se que as frequências dos vasos reduziram e o diâmetro e comprimento aumentaram com relação a idade da árvore.

A análise estatística multivariada foi um fator importante na avaliação das diferenças entre as árvores avaliadas, verificando como a bifurcação exerceu efeito sobre as características do lenho.

Os resultados demonstram que a espécie apresenta potencial para fins bioenergéticos, especialmente processos de conversão termoquímica. A espécie *T. vulgaris* apresentou características anatômicas similares a outras espécies utilizadas comercialmente para em plantios florestais energéticos.

## 9 RECOMENDAÇÕES FUTURAS

Este estudo apresenta resultados importantes para a qualidade da madeira de *T. vulgaris* que contribui para a silvicultura da espécie e o estabelecimento em plantios homogêneos em escala comercial. No entanto, algumas recomendações devem ser consideradas para estudos e experimentos futuros:

- Realizar estudos de densitometria de raios-X visando verificar com maior precisão os parâmetros avaliados e realizar correlações entre as técnicas adotadas nesse trabalho.
- Compreender como a bifurcação do fuste de *T. vulgaris* impacta no desenvolvimento das árvores e nos potenciais usos da madeira dessa espécie.
- Avaliar simultaneamente as variações de densidade e características anatômicas nos sentidos longitudinal e radial das árvores de *T. vulgaris*.

## 10 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUAYO, M.G.; QUINTUPILL, L.; CASTILLO, R.; BAEZA, J.; FREER, J.; MENDONÇA, R.T. Determination of differences in anatomical and chemical characteristics of tension and opposite wood of 8-year old *Eucalyptus globulus*. Maderas. **Ciencia y Tecnologia**, v.12, p.241-251, 2010. DOI: 10.4067/ S0718-221X2010000300008.

ANDRADE, V. M. S de, CORDEIRO, I. M. C. C; SCHWARTZ, G.; VASCONCELOS, L. G. T. R; OLIVEIRA, F. A. CONSIDERAÇÕES SOBRE CLIMA E ASPECTOS 37 EDAFOCLIMÁTICOS DA MESORREGIÃO NORDESTE PARAENSE. Nordeste Paraense: panorama geral e uso sustentável das florestas secundárias. Belém: EDUFRA, 2017. 323p.: il. ISBN: 978-85-7295-118-0.

ARAÚJO, P. A. de M. MATTOS FILHO, A. de. **A Importância da Anatomia do Lenho para a Comercialização da Madeira**. Rio de Janeiro, 1980.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT, Madeira – Determinação da densidade básica, Norma NBR 11941, 2003.

AZEVÊDO, T. Q. B.; BRITO, H. R.; LIMA, F. S.; ALMEIDA, A. M. C.; TREVISAN, L. F. A.; PEREIRA, A. V.; OLIVEIRA, E.; MEDEIROS, J. X. Determinação da densidade básica da madeira de *Piptadenia stipulacea* (Benth) Ducke e *Amburana cearenses*. **Agropecuária Técnica**, Areia, v. 31, n.1, 2012.

BAAS, P., E. WHELLER & M. CHASE, Dicotyledonous wood anatomy and the APG system of angiosperm classification. **Botanical Journal of the Linnean Society** 131: 3-17. 2000.

BARROS JUNIOR, Udson de Oliveira. **Tachigali vulgaris em plantios homogêneos na Amazônia: parâmetros de crescimento, madeira e carvão vegetal para fins energéticos**. Orientador: Thiago de Paula Protásio. 2020. 117 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2020.

BOSCHETTI, W. T. N.; PAES, J. B.; OLIVEIRA, J. T. S.; DUDECKI, L. Características anatômicas para produção de celulose do lenho de reação de árvores inclinadas de eucalipto. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 50, n. 6, p. 459-467, 2015.

BOTOSSO, P. C. Identificação macroscópica de madeiras: guia prático e noções básicas para o seu reconhecimento. Documentos 194/ **Embrapa Florestas** – Colombo, PR, ISSN 1517-52X, 65p. 2011.

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

CARPANEZZI, A. A.; MARQUES, L. C. T.; KANASHIRO, M. Aspectos ecológicos e silviculturais de taxi-branco-da-terra-firme (*Sclerolobium paniculatum*). **Circular Técnica, EMBRAPA-URPFCS**. n. 8, 10 p. 1983.

CARVALHO, P. E. R. **Taxi-branco**. Embrapa Florestas. (Embrapa Florestas. Circular técnica, 111), 2005. 11 p.

CASA NOVA, J. M. CARDOSO, D. BARROS, C. F. LIMA, H. C. TONI, K. L. G. Floral morphology and development in *Tachigali* (Caesalpinioideae, Leguminosae), a predominantly rainforest tree genus with contrasting flower architectures. *Plant Systematics and Evolution*, v. 306 n. 17. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00606-020-01642-2>. 2020.

CASTRO, A. W. V.; FARIAS NETO, J. T.; CAVALCANTE; E. S. Efeito do espaçamento na produtividade de biomassa de taxi-branco (*Sclerolobium paniculatum* Vogel). *Acta Amazônica*, v. 28, n. 2 p. 141-146. 1998.

CHAMBEL, M. R. CLIMENT, J. VALLADARES, F. Phenotypic plasticity: a useful framework for understanding adaptation in forest species. *Ivest. Agrar: Sist Recur For*, v. 14, n. 3, p. 334-344, 2005.

CORANDIN, V.P.R., CAMARGO, J.A.A., PASTORE, T.C.M. CRISTO, A.G. Madeiras comerciais do Brasil: chave interativa de identificação baseada em caracteres gerais e macroscópicos. Serviço Florestal Brasileiro, **Laboratório de Produtos Florestais**, Brasília. 2010. Disponível em: <[www.florestal.gov.br](http://www.florestal.gov.br)> Acesso em: 25 fev. 2021

COSTA, D. R. **Plantio adensado e diverso e sua relação sobre o comportamento de espécies florestais**. Tese (Doutorado em Planejamento e Uso dos Recursos Renováveis). Universidade Federal de São Carlos. Sorocaba-SP. 2020.

CRUZ, S. L. PEDROZO, C. A. OLIVEIRA, V. X. A. SILVA, A. M. RESENDE, M. D. V. GONÇALVES, D. A. Parâmetros genéticos e seleção inicial de procedências e progênies de taxi-branco (*Tachigali vulgaris*) em Roraima. *Ciência Florestal*. Santa Maria, v. 30, n. 1, p. 258-269, jan/mar. 2020.

DIAS, L. E. BRIENZA JUNIOR, S. PEREIRA, C. A. Taxi-branco (*Sclerolobium paniculatum* Vogel): Uma leguminosa arbórea nativa da Amazônia com potencial para recuperação de áreas degradadas. 1995. **In:** KANASSHIRO, M. PARROTTA, J. A. Manejo e reabilitação de áreas degradadas e florestas secundárias na Amazônia. **UNESCO**, Paris, France. p. 148 – 153. 1995.

DWYER, J. D. 1954. The tropical American genus *Tachigalia* Aubl. (Caesalpinaceae). **Annals of the Missouri Botanical Garden** v. 41, n. 2, p. 223 - 260.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA), Manual de métodos de análises do solo. **Centro Nacional de pesquisa em solos**. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura, 2º ed. 212 p. 1997.

EUFRADE-JUNIOR, H.J.; et al. *Eucalyptus* short-rotation coppice for solid fuel production. **Industrial Crops & Products**, Amsterdam, v. 108, p. 636-640, 2017.

EVANGELISTA, W. V. SILVA, J. C. VALLE, M. L. A. XAVIER, B. A. Caracterização anatômica quantitativa da madeira de clones de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. e *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake. *Scientia Forestalis*. Piracicaba, v. 38, n. 86, p. 273-284, jun. 2010.

FARIAS NETO, J. T. de, CASTRO, A. W. V. de. BIANCHETTI, A. Aplicação da seleção precoce em famílias de meios irmãos de taxi-branco. *Acta Amazonica*, Belém, v. 33 n. 1 p. 85 – 91. 2003.

FARIAS, J.; MARIMON, B.; SILVA, L.; PETTER, F. A.; ANDRADE, F. R.; MORANDI, P.; MARIMON JUNIOR, B. H. Survival and growth of native *Tachigali vulgaris* and exotic *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* trees in degraded soils with biochar amendment in southern Amazonia. **Forest Ecology and Management**, v. 368. p. 173-182. 2016.

FERREIRA, C. A. URBINATI, C. V. RIBEIRO, A. O. DUARTE, P. J. MORI, F. A. ASSIS, M. R. Relações morfo-anatômicas dos elementos traqueais de genótipos de *Eucalyptus* L'Héritier. **Scientia Agraria Paranaensis**. Marechal Cândido Rondon, v. 18, n. 3, jul./set., p. 232-243, 2019.

FERREIRA, R. A. D. C. **Implicações do número de anos na recomendação de cultivares de feijoeiro**. 2014. 66 p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2014.

FLORSHEIN, S. M. B. RIBEIRO, A. P. LONGUI, E. L. ANDRADE, I. M. SONSIN-OLIVEIRA, J. CHIMELO, J. P. SOARES, R. K. GOUVEIA, T. C. MARQUES, V. N. WIEDENHOEFT. A. Identificação macroscópica de madeiras Comerciais do Estado de São Paulo. **Instituto Florestal**, São Paulo, 2020. 392p.

FOELKEL, C. E. B. BARRICHELO, L. E. G. MILANEZ, A. F. Estudo comparativo das madeiras de *Eucalyptus saligna*, *E. paniculata*, *E. citriodora*, *E. maculata* e *E. tereticornis* para produção de celulose sulfato. **IPEF**, n. 10, p. 17-37, 1975.

FRANKLIN, G.L. Preparation of thin sections of synthetic resin and wood resin composites, and a new macerating method for wood. **Nature**, London, v.155, n.3924, p.5, 1945.

GAITÁN-ALVAREZ, J. TENCIO, L. MOYA, R. ARIAS-AGUILAR, D. Changes in yield and chemical composition of three-year-old Short-rotation plantations of *Dipteryx panamensis* in costa rica. **Revista Árvore** v.44: e4414. 2020.

GATTO, D.A. et al. Características tecnológicas das madeiras de *Luehea divaricata*, *Carya illinoensis* e *Platanus x acerifolia* quando submetidas ao vergamento. **Ciência Florestal**, v. 18, n. 1, p. 121-131, 2008.

GATTO, D. A. et al. Estimativa da idade de segregação do lenho juvenil e adulto de *Carya illinoensis* (Wangenh) K. Koch por meio de parâmetros anatômicos da madeira. **Ciência Florestal**, v. 20, n. 4, p. 675-682, 2010.

GIL, J. L. R. A. BARBOZA, F. S. CONEGLIAN, A. SILVA, M. F. MORAES, M. D. A. SETTE JR. C. R. Características físicas e anatômicas da madeira de *Tectona grandis* L.f. aos 7 anos de idade. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 41, n.2, p. 529 - 538, 2018.

GOMIDE, J. K. COLODETTE, J. L. OLIVEIRA, R. C. SILVA, C. M. Caracterização tecnológica, para produção de celulose, da nova geração de clones de *Eucalyptus* do Brasil. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 29, n. 1, p. 129 – 137, 2005.

GONÇALVES, F. G. LELIS, R. C. C. Caracterização Tecnológica da Madeira de *Acacia mangium* Willd em Plantio Consorciado com Eucalipto. **Floresta e Ambiente**. ISSN 2179-8087. v. 19, n. 3, p. 286-295. 2012.

- GONÇALVES, M. DA P.M.; COFFLER, R.; DE CARVALHO, A.M. & GARCIA, R.A. Variação radial da densidade básica e comprimento das fibras da madeira de *Tectona grandis* L.f. **Revista Floresta e Ambiente**, v. 14, n. 1, p. 70-75. 2007.
- GONÇALVEZ, J. C. SANTOS, G. L. SILVA JUNIOR, F. G. MARTINS, I. S. COSTA, J. A. Relações entre dimensões de fibras e de densidade da madeira ao longo do tronco de *Eucalyptus urograndis*. **Scientia Forestalis**. Piracicaba, v. 42, n. 101, p. 81-89, 2014.
- GONZALEZ-GARCIA, E.; ALEXANDRINE, Y.; SILOU-ETIENNE, T.; ARCHIMÈDE, H. Degradabilidade *in situ* de fontes de amido convencionais e não convencionais para ruminantes e fatores que determinam sua fração lavável: metodológica. **J. Sci. Food Agric.**, v.89 n.11 p.1918-1926. 2009.
- GUIMARÃES, Z. T. M. SANTOS, V. A. H. F. NOGUEIRA, W. L. P. MARTINS, N. O. A. FERREIRA, M. J. Traços de folhas explicando o crescimento de espécies de árvores plantadas em uma área perturbada da Amazônia Central. **Ecologia e Manejo Florestal**. v. 430, p. 618-628, 2018.
- INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES (IBA), **Relatório Ano Base 2019**. São Paulo. 2020.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. ZENID, G. J. CECCANTINI, G. C. T. Identificação Macroscópica de Madeiras. São Paulo-SP. 2012.
- INTERNATIONAL ASSOCIATION OF WOOD ANATOMISTS. List of microscope features for hardwood identification. IAWA Bulletin New Series, Leiden, v. 10, n. 3, p. 219-332, 1989.
- JESUS, D. S. BORGES, R. N. SILVA, J. S. Densidade básica e dimensões de fibra de um clone de eucalipto cultivado em diferentes locais. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, Brasília, v. 36, n. 3, e26484, 2019 DOI: 10.35977/0104-1096.cct2019.v36.26484.
- JESUS, D. S. SILVA, J. S. Variação radial de propriedades anatômicas e físicas da madeira de eucalipto. **Cadernos de Ciência & Tecnologia, Brasília**, v. 37, n. 1, e26476, 2020. Disponível em: <DOI: 10.35977/0104-1096.cct2020.v37.26476> Acesso em: 10 de abr. 2021.
- JOHANSEN, D. A. Plant microtechnique. New York: McGraw-Hill Book, 523p. 1940.
- KOUBAA, A.; ISABEL, N.; ZHANG, S. Y.; BEAULIEU, J.; BOUSQUET, J. Transition from juvenile to mature wood in black spruce (*Picea Mariana* (MILL.) B.S.P.). **Wood and Fiber Science**, Hanover, v. 37, n. 3, p. 445- 455, 2005.
- KRAUSE, G. H. KOROLEVA, O. Y. DALLING, J. W. WINTER, K. Acclimation of tropical tree seedlings to excessive light in simulated tree-fall gaps. **Plant, Cell and Environment**. V. 24, p. 1345-1352, 2001.
- LEITE. F.P..BARROS.N.F..NOVAIS.R.F..SANS.L.M.A..FABRES, A.S Crescimento de *Eucalyptus grandis* em diferentes populacionais. **Revista Árvore**. Viçosa. v. 21, n. 3 p. 313 – 321, 1997.
- LELES, P. S. S. MACHADO, T. F. F. ALONSO, J. M. ANDRADE, A. M. SILVA, L. L. Crescimento e Biomassa de *Melia azedarach* L. em Diferentes Espaçamentos e Características

Tecnológicas da Madeira. *Floresta e Ambiente*, 2014 abr./jun.; 21(2):214-223. DOI: <http://dx.doi.org/10.4322/floram.2014.020>, 2014.

LEMOS, André Luiz Ferreira; GARCIA, Rosilei Aparecida; LOPES, Juliana de Oliveira; CARVALHO, Alexandre Monteiro de; LATORRACA, João Vicente de Figueiredo. Madeira de *Corymbia citriodora* (Hook.) K.D. Hill & L.A.S. Johnson sob Aspectos Físicos e Anatômicos como Fatores Qualitativos. **Revista: Floresta e Ambiente**. v. 19, n. 1, p. 1 – 8. jan./mar 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.4322/floram.2012.001>>. Acesso em: 05 de abr. de 2021.

LIMA, H.C. de. *Tachigali in Flora do Brasil 2020 em construção*. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. 2015. Disponível em: <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/reflora/floradobrasil/FB23195>>. Acesso em: 04 nov. 2020.

LIMA, I.L.; GARCIA, R.; LONGUI, E.L. & FLORSHEIM, S.M.B. Dimensões anatômicas da madeira de *Tectona grandis* Linn. em função do espaçamento e da posição radial do tronco. **Revista Scientia Forestalis**, vol. 39, n. 89, p. 61-69. 2011.

LIMA, R. M. B. de. Crescimento do *Sclerolobium paniculatum* Vogel na Amazônia, em função de fatores de clima e solo. 2004. 194 f. **Tese (Doutorado em Ciências Agrárias)** - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

LIMA, R. S., P. OLIVEIRA & L. R. RODRIGUES, Anatomia do lenho de *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong (Leguminosae- Mimosoideae) ocorrente em dois ambientes. **Revista Brasileira de Botânica** 32: 361-374. 2009.

LONGUI, E. L. LIMA, I. L. SILVA JÚNIOR, F. G. S. BUFOLO, A. SUCKOW, I. M. S. FLORSHEIM, S. M. B. Variação radial das características anatômicas, densidade aparente, teores de extrativos, lignina e holocelulose na madeira de *Piptadenia gonoacantha* (Mart.) Macbr. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 38, n. 87, p. 341-353, set. 2010.

LORENZI, H. Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. **Instituto Plantarum**, 2. ed. v. 2. 384 p. Nova Odessa, 2002.

MACEDO, T. BARROS, C. F. LIMA, H. C. COSTA, C. G. Wood anatomy of seven species of *Tachigali* (Caesalpinioideae-Leguminosae). **IAWA Journal**, v. 35, n. 1, p. 19-30. 2014. Disponível em: <DOI: 10.1163/22941932-00000044> Acesso em: 25 fev. 2021.

MARANHO, A. S. PAIVA, A. V. PAULA. S. R. P. Crescimento inicial de espécies nativas com potencial madeireiro na Amazônia, Brasil. **Revista Árvore**, Viçosa – MG, v. 37, n. 5, p. 913-921, 2013.

MARCATI, C. R., V. ANGYALOSSY-ALFONSO & L. BENETATI, Anatomia comparada do lenho de *Copaifera langsdorffii* Desf. (Leguminosae-Caesalpinioideae) de floresta e cerradão. **Revista Brasileira de Botânica** 24: 311-320. 2001.

MARTINS, T. G. V. REIS, G. G. REIS, M. G. F. TELLES, L. A. A. LAGE, M. R. MENDES, G. G. C. PINTO, D. L. CASTRO, N. L. M. LORENZON, A. S. SILVA, R. S. GONZÁLES, D. G. E. Potential planting areas for native tree species in minas gerais state, Brazil, based on environmental variables and wood demand. **Ecological Modelling**. v. 432, e: 109211. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2020.109211>. 2020.

MARTORANO, L. G. TOURNE, D. C. M. LISBOA, L. S. SOUSA, V. G. SANTOS, L. S. BRIENZA JÚNIOR, S. Zoneamento Topoclimático do Taxi-branco (*Tachigali vulgaris* L. F.) na Amazônia Legal: Estratégias de Planejamento com Metas de Desenvolvimento sustentável. Embrapa Amazônia Oriental. Belém – PA. Documentos 435. ISSN: 1983-0513. 2018.

MELO, J. T.; HARIDASAN, M. Resposta de mudas de carvoeiro (*Sclerolobium paniculatum* Vog. Leguminosae) a doses de N, P, K, Ca e Mg. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados (**Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, 278), 2010. 23 p.

MELO, L. E. L. VASCONCELLOS, T. J. SIVIERO, M. A. CALLADO, C. H. BARBOSA, A. C. M. C. MORI, F. A. Axial variation in the cambium anatomy of *Schizolobium parahyba* var. amazonicum. *Holzforschung*. 74. 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1515/hf-2019-0231>> Acesso em: 10 de abr. de 2021.

MOCHIUTTI, S. QUEIROZ, J. A. L. MELÉM, N. J. JR. Produção de serapilheira e retorno de nutrientes de um povoamento de Taxi-branco e de uma floresta secundária no Amapá. **Boletim de Pesquisa Florestal** n. 52 p. 3-20. 2006.

MOCHIUTTI, S.; MELÉM JUNIOR, N. J.; FARIAS NETO, J. T.; QUEIROZ, J. A. L. Taxi-branco (*Sclerolobium paniculatum*): Leguminosa arbórea para a recuperação de áreas degradadas pela agricultura migratória. **Comunicado Técnico**. Macapá: Embrapa Amapá, n.28, 1999. 5p.

MONTEIRO, T. C. LIMA, J. T. HEIN, P. R. G. SILVA, J. R. M. TRUGILHO, P. T. ANDRADE, H. B. Efeito dos elementos anatômicos da madeira na secagem das toras de *Eucalyptus* e *Corymbia*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 45, n. 115, p. 493 – 505, set. 2017. DOI: [dx.doi.org/10.18671/scifor.v45n115.07](https://doi.org/10.18671/scifor.v45n115.07)

MOTA JÚNIOR, S. M. O. FERREIRA, J. S. S. SOUZA, C. V. V. CARDOSO JÚNIOR, C. D. CARDOSO, W. C. B. ANDRADE, F. W. C. MOUTINHO, V. H. P. Physica, mechanical and energetic properties os *Tachigali chrisophylla* under differentes final carbonization temperatures. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**. v. 8, n. 3, p. 566-573, 2019.

MOTIC, Image Analysis Software. Motic Image Plus 3.0. Disponível em: <[https://www.motic.com/As\\_News/n325.html](https://www.motic.com/As_News/n325.html)> Acesso em: 05/10/2020. Hong Kong, 2016.

MOULIN, J. C. **Produção de madeira de eucalipto de curta rotação em povoamentos adensados para energia**. 2013. 61 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2013.

MOULIN, Jordão Cabral et al. Efeito do Espaçamento, Idade e Irrigação no Volume e Densidade Básica do Eucalipto. **Floresta Ambient**. [online]. 2017, vol.24, e00073914. Epub July 13, 2017. ISSN 2179-8087. <https://doi.org/10.1590/2179-8087.073914>.

MÜLLER, M. D.; COUTO, L.; LEITE, H. G.; BRITO, J. O. Avaliação de um clone de eucalipto estabelecido em diferentes densidades de plantio para produção de biomassa e energia. **Biomassa & Energia**, Viçosa, v. 2, n. 3, p. 177-186, 2005.

NARDUCCI, T. S.; YARED, J. A. G.; BRIENZA JUNIOR, S. GROWTH AND SURVIVAL OF *Sclerolobium paniculatum* Vogel AND THE RELATIONSHIP BETWEEN RAINFALL

AND THE INCREMENT IN DIAMETER AT DIFFERENT PLANTING SPACINGS. **Revista Árvore**, v. 40, n. 3, p. 447-454, 2016.

NASCIMENTO, D. F. LELES, P. OLIVEIRA NETO, S. N. O. TEIXEIRA, R. Crescimento inicial de seis espécies florestais em diferentes espaçamentos. **Cerne**, Lavras, v. 18, n. 1, p. 159-165, jan./mar. 2012

OLIVEIRA, E. et al. Estrutura Anatômica da Madeira e Qualidade do Carvão de *Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir. **Revista Árvore**. Viçosa, v. 30, n. 2, p. 311-318. 2006.

OLIVEIRA, I. R. M. VALE, A. T. MELO, J. T. COSTA, A. F. GONÇALVEZ, J. C. Biomassa e características da madeira de *Sclerolobium paniculatum* cultivado em diferentes níveis de adubação. **Cerne**, Lavras, v. 14, n. 4, p. 351 – 357, out./dez. 2008.

OLIVEIRA, J. G. L. OLIVEIRA, J. T. ABAD, J. I. M. SILVA, A. G. FIEDLER, N. C. VIDAURE, G. B. Parâmetros quantitativos da anatomia da madeira de eucalipto que cresceu em diferentes locais. **Revista Árvore**, Viçosa – MG, v. 36, n. 3, p. 559-567, 2012.

OLIVEIRA, M. C. RIBEIRO, J. F. PASSOS, B. F. AQUINO, F. G. OLIVEIRA, F. F. SOUSA, S. R. Crescimento de espécies nativas em um plantio de recuperação de Cerrado sentido restrito do Distrito Federal, Brasil. **R. bras. Bioci.**, Porto Alegre, v. 13, n. 1, p.25-32, jan/mar. 2015.

ORELLANA, B. B. M. A.; VALE, A. T.; GONÇALEZ, J.; GUEDES, M. C.; ORELLANA, J. B. P.; LIMA, C. M. Produtividade energética da madeira de *Tachigali vulgaris* por classe diamétrica em plantios experimentais na Amazônia. **Nativa**, Sinop, v. 6, n. especial, p. 773-781, 2018.

PAULA, J. E. Caracterização anatômica da madeira de espécies nativas do cerrado, visando sua utilização na produção de energia. **Cerne**, Lavras, v. 11, n. 1, p. 90-100, jan./mar. 2005

PAULA, J. E. Caracterização anatômica da madeira de sete espécies da amazônia com vistas à produção de energia e papel. *Acta Amazônica*, v.33, n.2, p.243 - 262. 2003 <https://doi.org/10.1590/1809-4392200332262>.

PAULA, J. E.; SILVA-JÚNIOR, F.G. DA.; SILVA, A. P. P. Caracterização anatômica de madeiras nativas de matas ciliares do centro-oeste brasileiro. **Scientia Forestalis**, v. 58, p. 73 - 89, 2000.

PEREIRA, B. L. C. CARVALHO, A. M. M. L. OLIVEIRA, A. C. SANTOS, L. C. CARNEIRO, A. C. O. MAGALHÃES, M. A. Efeito da carbonização da madeira na estrutura anatômica e densidade do carvão vegetal de *Eucalyptus*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 26, n. 2, p. 545-557, abr.-jun., 2016. ISSN 0103-9954.

PILON, N. A. L. MELO, A. C. G. DURIGAN, G. Comparação de métodos para quebra de dormência das sementes de carvoeiro – *Tachigali vulgaris* L. F. Gomes da Silva e H. C. Lima (FAMÍLIA: FABACEAE – CAESALPINIOIDEAE) (NOTA CIENTÍFICA). **Revista Instituto Florestal**. v. 24, n. 1, p. 133 – 138 jun. 2012.

PIRES, I. P. & C. R. MARCATI, Anatomia e uso da madeira de duas variedades de *Sclerolobium paniculatum* Vog. do sul do Maranhão, Brasil. **Acta Botanica Brasilica** 19(4): 669-678. 2005.

RAMOS, L.M.A.; LATORRACA, J.V. de F.; PASTRO, M.S.; SOUZA, M.T. de; GARCIA, R.A.; CRAVALHO, A.M. de. Variação radial dos caracteres anatômicos da madeira de *Eucalyptus grandis* W. Hill Ex Maiden e idade de transição entre lenho juvenil e adulto. **Scientia Forestalis**, v.39, p.411 - 418, 2011.

REIS, A. R. S. REIS, P. C. M. BRANDÃO, A. T. O. LISBOA, P. L. B. Anatomia do xilema secundário de sete espécies do gênero *Tachigali* Aubl. (Fabaceae), disponíveis na Xiloteca Walter A. Egler, do Museu Paraense Emílio Goeldi, Pará, Brasil. Boletim do **Museu Paraense Emílio Goeldi**. Ciências Naturais 6(3): 319-333. 2011.

REIS, A. A.; MELO, I. C. N. A.; PROTÁSIO, T. P.; TRUGILHO, P. F.; CARNEIRO, A. C. O. Efeito de local e espaçamento na qualidade do carvão vegetal de um clone de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake. **Floresta e Ambiente**, p. 497-505, 2012.

REIS, A. S. SOUSA, J. S. BASTOS, M. N. C. SOBRAL, S. F. Taxonomia de *Tachigali* Aubl. (Leguminosae, Caesalpinioideae) da Região Metropolitana de Belém, Pará, Brasil. **Biota Amazônia**. Macapá, v. 5, n. 4, p. 48-55, 2015. Disponível em: <<http://periodicos.unifap.br/index.php/biota>> Acesso em 10 nov. 2020.

RODRIGUES, R. P., GONÇALVES, D. A., SILVA, A. R., MARTINS, W. B. R., DIONISIO, L. F. S., & SCHWARTZ, G. (2020). Crescimento e mortalidade de *Tachigali vulgaris* L. G. Silva & H. C. Lima em diferentes espaçamentos de plantio para a produção de biomassa. **Scientia Forestalis**, 48(128), e3269. <https://doi.org/10.18671/scifor.v48n128.01>

RESENDE, M. D. V. FANTINI JUNIOR, Bifurcação e quebra de copa em eucalipto: efeitos genéticos, ambientais e silviculturais. Embrapa Florestas. Documentos, 63. Colombo, 2001. 20 p. 2001.

RIBEIRO, A. O. MORI, F. A. MENDES, L. M. Características das dimensões das fibras e análise do ângulo microfibrilar de *Toona ciliata* cultivada em diferentes localidades. **FLORESTA**, Curitiba, PR, v. 41, n. 1, p. 47-56, jan./mar. 2011.

RIOS, P. D. VIEIRA, H. C. PEREIRA, G. F. TURMINA, E. NOCOLETTI, Variação radial e longitudinal da densidade básica da madeira de *Pinus patula*. Pesquisa Florestal Brasileira. v. 38. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.4336/2018.pfb.38e201501016>. Acesso em: 10 abr. 2021.

RODRIGUES, R. P. **Crescimento e mortalidade de *Tachigali vulgaris* L. G. Silva & H. C. Lima em diferentes espaçamentos para fins energéticos no município de Almeirim, PA.** Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais)- Universidade Federal Rural da Amazônia. Belém 2018.

ROLIM, S. G.; PIOTTO, D. **Silicultura e Tecnologia de Espécies da Mata Atlântica**. Editora Rona. 2018. 160 p.

RONDON. E. V. Produção de biomassa e crescimento de árvores de *Schizolobium amazonicum* (Huber) Ducke sob diferentes espaçamentos na região de mata. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 26, n. 5, p. 573-576, 2002.

SALIBA, E. O. S. RODRIGUEZ, N. M. MORAIS, S. A. L. PILÓ-VELOSO, D. Ligninas – métodos de obtenção e caracterização química. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.31, n.5, p.917-928, 2001. ISSN 0103-8478.

SANTINE, J. L. **Descrição macroscópica e microscópica da madeira aplicada na identificação das principais espécies comercializadas no estado de São Paulo – programas “São Paulo Amigo da Amazônia” e “CadMadeira”**. 2013, 273 f. Dissertação (Mestrado em Ciências-Recursos Florestais) – Universidade de São Paulo Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, São Paulo, 2013.

SANTOS, R. M.; BARBOSA, A. C. M. C.; ALMEIDA H. S.; VIEIRA, F. A.; SANTOS, P. F.; CARVALHO, D. A.; OLIVEIRA-FILHO, A. T. Estrutura e florística de um remanescente de caatinga arbórea em Juvenília, norte de Minas Gerais, Brasil. **Cerne**, Lavras, v. 17, n. 2, p. 247-258, abr/jun, 2011.

SCHWERZ, F.; ELOY, E.; ELLI, E. F.; CARON, B. O. Reduced planting spacing increase radiation use efficiency and biomass for energy in black wattle plantations: Towards sustainable production systems. **Biomass and Bioenergy**, United Kingdom, v. 120, p. 229-239, 2019.

SETTE JR., C.R.; TOMAZELLO FILHO, M.; LOUSADA, J.L.; LACLAU, J.P. - Efeito da aplicação de fertilização nitrogenada e lodo de esgoto nas características da madeira juvenil em árvores de *Eucalyptus grandis*. **Revista Cerne**, v. 15, n. 3, p. 303-312, 2009.

SILVA, A, R. GONÇALVES, D. A. SALES, A. Desempenho do tachi branco em resposta à adubação combinada de fósforo e potássio em Latossolos. **Acta Iguazu**, Cascavel, v. 5, n. 2, p. 37-48, 2016.

SILVA, J. R. **Anatomia, densidade e condutividade hidráulica potencial do xilema secundário de árvores de três procedências de *Balfourodendron riedelianum* (Engl.) Engl. (Rutaceae) em plantios homogêneos**. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas). Universidade Estadual Paulista. Botucatu – SP. 2018.

SILVA, J.C.; TOMAZELLO FILHO, M.; OLIVEIRA, J.T.S. & CASTRO, V.R. Influência da idade e da posição radial nas dimensões das fibras e dos vasos da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden. **Revista Árvore**, vol. 31, n. 6, p. 1081-1090. 2007.

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

SILVA, M. G. MORI, F. A. FERREIRA, G. C. RIBEIRO, A. O. CARVALHO, A. G. BARBOSA, A. C. M. C. Estudo anatômico e físico da madeira de *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* proveniente de povoamentos nativos da Amazônia Oriental. **Scientia Forestalis**. v. 44, n. 110, p. 293-301, jun. 2016.

SILVA, MARILENE OLGA DOS SANTOS; DA SILVA, MARCELA GOMES; Bufalino, Lina; DE ASSIS, MAÍRA REIS; DE ALMEIDA GONÇALVES, DELMAN; TRUGILHO, PAULO FERNANDO; PROTÁSIO, THIAGO DE PAULA. Variations in productivity and wood properties of Amazonian tachi-branco trees planted at different spacings for bioenergy purposes. **JOURNAL OF FORESTRY RESEARCH**, v. 32, p. 211-224, 2021.

SORANSO, D. R. VIDAURRE, G. B. OLIVEIRA, J. T. S. TOMAZELLO FILHO, M. SILVA, J. G. M. ARANTES, M. D. C. Variabilidade física e anatômica da madeira de *Khaya ivorensis* A. Chev. Em diferentes espaçamentos de plantio. **Scientia Forestalis**. Piracicaba, v, 44 n. 110, p. 519-526, jun. 2016. DOI: dx.doi.org/10.18671/scifor.v44n110.24.

SOUCHE, F. F. MARIMON JÚNIO, B. H. PETTER, F. A. MADARI, B. E. MARIMON, B. S. LENZA, E. Carvão pirogênico como condicionante para substrato de mudas de *Tachigali vulgaris* L.G. Silva & H.C. Lima. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 21, n. 4, p. 811-821, out.-dez., 2011.

SOUSA, A. O. SILVA, M. J. DANTAS, M. M. Os gêneros *Apuleia*, *Dimorphandra*, *Tachigali* (Caesalpinioideae), *Bauhinia*, *Schnella* (Cercidoideae), *Copaifera*, *Hymenaea* e *Peltogyne* (Detarioideae) (Leguminosae) no Parque Estadual da Serra Dourada, Goiás, Brasil. **Rodriguésia**. v. 68 n. 4 p.1273-1286. 2017.

SOUSA, V. G. JUNIOR, S. B. BARBOSA, M. G. MOARTORANO, L. G. SILVA, V. C. Taxi-branco (*Tachigali vulgaris* L. F. Gomes da Silva & H. C. Lima): botânica, ecologia e silvicultura. **Embrapa Amazônia Oriental**. Documentos 426, ISSN 1983-0516. Belém, 2016.

SOUZA, C. R. de. LIMA R. M. B. de. AZEVEDO, C. P. de. ROSSI, L. M. B. Taxi-branco (*Sclerolobium paniculatum* Vogel). **Embrapa Amazônia Ocidental** – Documentos 34, ISSN 1517-3135. Manaus, 2004.

SOUZA, C. R. LIMA, R. M. B. AZEVEDO, C. P. ROSSI, L. M. B. Desempenho de espécies florestais para uso múltiplo na Amazônia. **Scientia Forestalis**. v. 36, n. 77, p; 7-14, mar. 2008.

SPLINK, Mapa de ocorrência da espécie *Tachigali vulgaris*. Disponível na rede speciesLink (<http://www.splink.org.br>) em 03 de Dezembro de 2020 às 23:10.

STALLBAUN, P. H.; BARAÚNA, E. E. P.; MONTEIRO, T. C.; VIEIRA, R. S.; SALES, N. D. L. P.; OLIVEIRA, L. S. Resistência natural da madeira de *Tachigali vulgaris* ao fungo xilófago *Postia placenta*. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 36, n. 88, p. 459-463, 2016.

STAPE, J. L.; BINKLEY, D.; RYAN, M. G.; FONSECA, R. A; LOOS R. A. The Brazil eucalyptus potential productivity project: influence of water, nutrients and stand uniformity on wood production. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 259, p. 1684-1694, 2010.

TENÓRIO, C. ROQUE, R. M. DAGOBERTO, A. BRICENÕ. E. Rendimento de biomassa e potencial energético de plantações de energia de curta rotação de *Gmelina arborea* um ano de idade na Costa Rica. 2016. DOI: 10.1016 / j.indcrop.2015.12.005

The Plant List (2020). Versão 1. Rodriguésia, v.58, n. 2, 400p. 2007. Disponível em: <<http://www.theplantlist.org/tpl1.1/record/tro-50317942>> Acesso em: 12 dez. 2020.

TIENNE, D. L. C.; OLIVEIRA, J. N.; PALERMO, G. P. M.; SOUSA, J. S.; LATORRACA, J. V. F. Influência do espaçamento no ângulo das microfibrilas e comprimento de fibras de clone de eucalipto. **Revista Florestal Latino americana**, Mérida, v. 24, n. 1, p. 67-83, 2009.

TOMAZELLO FILHO, M. Variação radial da densidade básica e da estrutura anatômica da madeira do *Eucalyptus globulus*, *E. pellita* e *E. acmenioides*. **Revista IPEF**, n.36, p.35-42, 1987.

TONINI, H.; SCHWENGBER, D. R.; MORALES, M. M.; OLIVEIRA, J. M. F. Crescimento e qualidade energética da madeira de *Tachigali vulgaris* sob diferentes espaçamentos. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 38, p. 1-8, 2018.

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

VALE, A.T. do; ROCHA, L.R.; DEL MENEZZI, C.H.S. Massa específica básica da madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* cultivado em cerrado. **Scientia Forestalis**, v.37, p.387-394, 2009.

VALLADARES, F. ARRIERA, S. ARANDA, L. LORENZO, D. SÁNCHEZ-GÓMEZ, D. TENA, D. SUÁREZ, F. PARDOS, J. A. Shade tolerance, photoinhibition sensitivity and phenotypic plasticity of *Ilex aquifolium* in continental Mediterranean sites. **Tree Physiology**, v. 25, p. 1041-1052, 2005.

VALLADARES, F. WRIGHT S. J. LASSO, E. KITAJIMA, K. PEARCY, R.; W. Plastic phenotypic plasticity: bridging the gap between the evolutionary concept and its ecological applications. **Journal of Ecology**, v. 94, p. 1103-1116, 2006.

VIDAURRE, G. B.; LOMBARDI, L. R.; NUTTO, L.; FRANÇA, F. J. N.; OLIVEIRA, J. T. S.; ARANTES, M. D. Propriedades da Madeira de Reação. **Floresta e Ambiente**. v. 20. n. 1, p. 26-37. 2013.

WHEELER, E. A., P. BAAS & S. RODGERS. Variations in dicot wood anatomy: a global analysis based on the insidewood database. **IAWA Journal** 28: 229-259. 2007.

YARED, J. A. G. Silvicultura de algumas espécies nativas da Amazônia. Silvicultura, In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 6.,1990. Campos do Jordão. **Anais...** Campos do Jordão,1990. p. 119- 122.

YARED, J. A. G.; M.; KANASHIRO, M.; CONCEIÇÃO, J. G. L. da. Espécies florestais nativas e exóticas: comportamento silvicultural no Planalto do Tapajós - Pará. Belém: **EMBRAPA-CPATU** (Documentos, 49), 1988. 29 p.

R Core Team. R: a language and environment for statistical computing, **R Foundation for Statistical Computing**, Viena. Áustria, 2018. <https://doi.org/10.4236/ojs.2014.49064>.