

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

ANDRESSA FERNANDES MAGALHÃES

DENSIDADE, ANATOMIA E CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA DE *Machaerium opacum*, *Qualea grandiflora* e *Xylopia aromatica* NO CERRADO MINEIRO

MONTE CARMELO

2020

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

ANDRESSA FERNANDES MAGALHÃES

DENSIDADE, ANATOMIA E CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA DE *Machaerium opacum*, *Qualea grandiflora* e *Xylopia aromatica* NO CERRADO MINEIRO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Florestal, Campus Monte Carmelo, da Universidade Federal de Uberlândia, como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Antônio José Vinha Zanuncio

MONTE CARMELO

2020

ANDRESSA FERNANDES MAGALHÃES

DENSIDADE, ANATOMIA E CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA DE *Machaerium opacum*, *Qualea grandiflora* e *Xylopia aromatica* NO CERRADO MINEIRO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Florestal, Campus Monte Carmelo, da Universidade Federal de Uberlândia, como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Florestal.

Monte Carmelo, 02 de outubro de 2020.

Banca Examinadora



Prof. Dr. Antônio José Vinha Zanuncio

Orientador



Prof. Dr. Eduardo Luiz Longui

Membro da Banca



Dra. Olívia Pereira Lopes

Membro da Banca

MONTE CARMELO

2020

Dedico à Deus e à minha família.

AGRADECIMENTOS

Dirijo meus sinceros agradecimentos primeiramente à Deus, por permitir que eu chegasse até aqui.

Ao corpo docente, direção e administração da Universidade Federal de Uberlândia – UFU pela oportunidade, acolhida e ensinamentos.

Ao Prof. Dr. Antônio José Vinha Zanuncio e Técnica Dra. Olívia Pereira Lopes, pela orientação e co-orientação, paciência, apoio e disponibilidade prestados durante a realização deste trabalho.

À Profa. Dra. Laíce Souza Rabelo e ao Dr. Jamir Afonso do Prado Júnior pelo auxílio na coleta e identificação das espécies.

Por fim, à minha família por sempre me amparar, nortear e congratular, fazendo-me ser uma pessoa melhor.

Tudo parece impossível até que seja feito.

Nelson Mandela

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1. Xilema secundário de *Machaerium opacum*. (a) Secção transversal; (b) Secção longitudinal tangencial; (c) Secção longitudinal radial..... 20
- Figura 2. Xilema secundário de *Qualea grandiflora*. (a) Secção transversal; (b) Secção longitudinal tangencial; (c) Secção longitudinal radial..... 20
- Figura 3. Xilema secundário de *Xylopia aromatica*. (a) Secção transversal; (b) Secção longitudinal tangencial; (c) Secção longitudinal radial..... 21

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1. Coordenadas geográficas dos locais de coletas de *Machaerium opacum*, *Qualea grandiflora* e *Xylopia aromatica* no cerrado mineiro..... 9
- Tabela 2. Média da densidade básica ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$) das espécies *Machaerium opacum*, *Qualea grandiflora* e *Xylopia aromatica*..... 12
- Tabela 3. Média dos constituintes anatômicos quantitativos do xilema secundário de *Machaerium opacum*, *Qualea grandiflora* e *Xylopia aromatica*..... 15
- Tabela 4. Média da K_p : condutividade hidráulica potencial ($\text{m}\times\text{MPa}^{-1}\times\text{s}^{-1}$) de *Machaerium opacum*, *Qualea grandiflora* e *Xylopia aromatica*..... 16
- Tabela 5. Valores gerais dos coeficientes de correlação de Pearson (r) envolvendo as características anatômicas, a condutividade hidráulica e a densidade básica..... 18
- Tabela 6. Valores dos coeficientes de correlação de Pearson (r) envolvendo as características anatômicas e a condutividade hidráulica..... 18

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

IAWA Comitte - Internacional Association of Wood Anatomists Committee

K_p – Condutividade hidráulica potencial ($m \times MPa^{-1} \times s^{-1}$)

ρ_w – Densidade da água a 20° C ($998,2 \text{ kg.m}^{-3}$)

η – Índice de viscosidade da água ($1,002 \times 10^{-3} \text{ MPa} \times s^{-1}$ a 20 °C)

D_h - Diâmetro hidráulico do vaso (m)

DB – Densidade básica (g.cm^{-3})

CV – Comprimento do vaso (μm)

DTV – Diâmetro tangencial do vaso (μm)

DV – Densidade de vasos (vasos.mm^{-2})

CF – Comprimento da fibra (μm)

DF – Diâmetro tangencial da fibra (μm)

DTL – Diâmetro tangencial do lúmen das fibras (μm)

EPF – Espessura da parede da fibra (μm)

CR – Comprimento do raio (μm)

LR – Largura do raio (μm)

RESUMO

Características anatômicas do xilema secundário são importantes para compreender as estratégias arquitetadas por espécies inseridas em ambientes que detêm condições limitantes à sua sobrevivência e desenvolvimento. Visando mensurar a densidade básica, os caracteres anatômicos do xilema e a condutividade hidráulica, bem como correlacioná-los, coletamos três galhos de cinco indivíduos de *Machaerium opacum* e *Xylopia aromatica* e três galhos de quatro indivíduos de *Qualea grandiflora*, presentes no cerrado mineiro. Procedeu-se a determinação da densidade básica, a mensuração dos elementos anatômicos, a partir da confecção de lâminas histológicas e de material macerado, e da condutividade hidráulica potencial para todas as espécies do estudo. *Xylopia aromatica* apresentou menor densidade básica e maior valor para o diâmetro tangencial dos vasos, sendo o último, determinante para caracterizá-la como a espécie mais eficiente na condução hidráulica. Já *M. opacum* e *Q. grandiflora* apresentaram os maiores valores de densidade básica, porém *Q. grandiflora*, devido a sua maior frequência de vasos de menor diâmetro, demonstrou ser a espécie que mais investe em segurança hidráulica. Por meio de correlações, verificamos que o diâmetro tangencial dos vasos é a característica anatômica que mais influencia na condutividade hidráulica potencial, enquanto que na densidade básica é a espessura da parede da fibra. Além disso, encontramos pouco suporte que confirme a densidade básica como indicativo da eficiência hidráulica.

Palavras-chave: Bioma brasileiro. Xilema secundário. Macroscopia. Condução hídrica.

ABSTRACT

Anatomical features of secondary xylem are important to understand strategies devised by species inserted in environments that have conditions that limit their survival and development. In order to measure basic density, xylem anatomical features and hydraulic conductivity, as well as to correlate them, we collected branches of *Machaerium opacum*, *Qualea grandiflora* and *Xylopia aromatica* present in the Cerrado of Minas Gerais. For each species five plants, three branches per plant were collected. Basic density was determined, anatomical features were measured, using histological slides and macerated material, and potential hydraulic conductivity for all species studied. *Xylopia aromatica* showed lower basic density and higher value for vessel tangential diameter, the latter being decisive to characterize *X. aromatica* as the most efficient species in water conduction. *Machaerium opacum* and *Q. grandiflora*, on the other hand, had the highest values of basic density, but *Q. grandiflora*, due to its higher frequency of narrower vessel diameter, proved that *Q. grandiflora* most invests in water security. Through correlations, we verified that the tangential diameter of the vessels is the anatomical characteristic that most influences the potential hydraulic conductivity, while in the basic density it is the thickness of the fiber wall. In addition, we found few support to confirm basic density as an indication of hydraulic efficiency.

Keywords: Brazilian biome. Secondary xylem. Macroscopy. Water conduction.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	5
2. OBJETIVO.....	8
3. METODOLOGIA	8
3.1 ESPÉCIES DO ESTUDO	8
3.1.1 <i>Machaerium opacum</i> Vogel.....	8
3.1.2 <i>Qualea grandiflora</i> Mart.....	8
3.1.3 <i>Xylopia aromatica</i> (Lam.) Mart.	8
3.2 ÁREA DE COLETA	9
3.3 PREPARO DAS AMOSTRAS.....	10
3.4 DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE BÁSICA	10
3.5 CARACTERIZAÇÃO MICROSCÓPICA	10
3.5.1 LÂMINAS HISTOLÓGICAS.....	10
3.5.2 MACERAÇÃO	10
3.6 MENSURAÇÃO DOS ELEMENTOS ANATÔMICOS	11
3.7 CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA POTENCIAL	11
3.8 ANÁLISE ESTATÍSTICA	12
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	12
5. CONCLUSÃO	19
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	22

1. INTRODUÇÃO

O domínio fitogeográfico do Cerrado é o segundo maior da América do Sul, abrange aproximadamente 24% do território brasileiro, possuindo, atualmente, 50% de área remanescente, sendo sua maior parte localizada no Planalto Central do Brasil. O bioma está presente nos estados Minas Gerais, Goiás, Tocantins, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Bahia, Maranhão, Piauí, Rondônia, Paraná, São Paulo e Distrito Federal (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE, 2010). Dispõe de alta diversidade de espécies da flora e fauna, sendo a primeira contabilizada em mais de 12.000 espécies, das quais 4.000 são consideradas endêmicas, por esse motivo o Cerrado é considerado um *hotspot* global da biodiversidade (SAWYER et al., 2017).

Apresenta desde vegetações mais densas e florestais até formações campestres, 61% da cobertura vegetal natural do bioma correspondem a cobertura savânica, 32% de cobertura florestal e 7% de cobertura campestre (SANO et al. 2008). A porcentagem média de cobertura vegetal natural no estado de Minas Gerais encontra-se em torno de 41%, já na região do Triângulo Mineiro o valor é significativamente menor, atingindo apenas 25%.

O clima predominante é o tropical, denominado Aw de acordo com Köpen (1931), caracterizado por apresentar inverno seco e verão chuvoso, com temperatura média anual entre 22-23°C. As chuvas no Cerrado apresentam-se com sazonalidade marcada, sendo os períodos de maior concentração entre outubro e março, e os de menor concentração entre abril e setembro (COUTINHO, 2002). Os solos são predominantemente arenosos, areno-argilosos ou, ocasionalmente, argilo-arenosos, com baixa capacidade de retenção de água e altos níveis de Al^{3+} , tornando-os, assim, solos ácidos (COUTINHO, 2002).

Devido à inconstância das chuvas em um determinado período, a vegetação do Cerrado possui estratégias de adaptação ao déficit hídrico, uma vez que a água é um dos fatores mais importantes nas modificações das plantas. Em virtude disso, compreender sobre a absorção, transporte e eficiência do uso da água auxilia no conhecimento do potencial de sobrevivência e produção dos vegetais quando inseridos em ambientes com condições limitantes.

A estrutura do xilema secundário é composta de diferentes células, (traqueídes, vasos, fibras, parênquima axial e radial), as quais se originam do câmbio vascular (PLOMION et al., 2001). A anatomia da madeira é o ramo da ciência botânica que procura conhecer e descrever o arranjo estrutural desses elementos que constituem o lenho, consistindo em um método bastante eficiente na identificação correta das diferentes plantas lenhosas (ZENID;

CECCANTINI, 2007). Ao longo do processo de formação da madeira, diversos fatores sejam internos ou externos, contribuem para variações no tipo, número, tamanho, forma, estrutura física e constituição dos seus elementos, levando as espécies a se adaptarem ao seu ambiente (PINHEIRO; do CARMO, 1993; SILVA, 2005).

As diversidades estruturais encontradas na anatomia do xilema secundário das plantas podem estar diretamente relacionadas com o hábito da espécie, à fertilidade dos solos, bem como com a relação entre segurança e eficiência na condução hidráulica (BAAS 1973; ALVES & ANGYALOSSY-ALFONSO 2000, 2002; LENS et al. 2004). Portanto, conhecendo essas diferentes arquiteturas, com auxílio da anatomia da madeira, é possível entender as estratégias de funcionamento das espécies, fornecendo respostas sobre o impacto das mudanças climáticas globais nas florestas (TYREE; EWERS, 1991).

Nas angiospermas eudicotiledôneas, grupo vegetal representativo no bioma Cerrado, a água, absorvida através dos pêlos radiculares presentes nas raízes e ascendida pelos elementos de vaso até as folhas pela parte mais externa do xilema secundário. A forma como os vasos e demais constituintes anatômicos estão dispostos no xilema secundário influenciam no transporte da água, resultando em diferentes impactos de acordo com a espécie considerada.

Uma das características determinantes do transporte de água é a condutividade hidráulica, que é a relação do fluxo de água por uma determinada área, sob um gradiente de pressão (TAIZ; ZEIGER, 2013). Nijsee et al. (2001) concluíram que a condutividade hidráulica do xilema depende do sistema de transporte de água, está ligada com as características anatômicas das células responsáveis pela condução, como: densidade, arranjo, diâmetro e comprimento, espessura da parede e características das pontuações.

A condutividade hidráulica potencial é mensurada pela densidade e diâmetro dos vasos, de acordo com a lei de Hagen-Poiseuille. Com base nessa lei, o diâmetro dos vasos tem um grande impacto na condutividade hidráulica, que é proporcional ao diâmetro dos vasos elevado à quarta potência, ou seja, quanto maior o diâmetro, a condutividade aumenta exponencialmente (EWERS; FISHER 1989).

Quando submetidas a estresse hídrico e altas pressões negativas, ao investir em uma anatomia mais eficiente na condutividade hidráulica, as espécies podem perder segurança no sistema de condução devido a possibilidade de entrada de bolhas de ar nos vasos, fenômeno conhecido como cavitação (POCKMAN; SPERRY, 2000; MEINZER et al., 2001). Esse fenômeno pode tornar os vasos embolizados, limitar a condutância estomática e a fotossíntese,

bloquear o fluxo de água, alterar o potencial hídrico da folha ou, inclusive, levar a planta à morte (CHOAT et al., 2003; BRODRIBB et al., 2010; ANDEREGG et al., 2012; LENS et al., 2013).

Baas et al. (2004) ressaltam que vasos de maior diâmetro são mais eficientes na condução de água, pois oferecem menor atrito e conduzem maior quantidade de líquido, porém, são mais propensos à cavitação. Outra característica importante referente à condutividade hidráulica é o comprimento dos elementos de vaso, uma vez que vasos mais compridos transportam água de forma mais eficiente, enquanto vasos curtos são mais seguros na condução (ZIMMERMANN; MILBURN, 1982). Geralmente, características que aumentam a eficiência hidráulica, como o diâmetro e a densidade dos vasos, tendem a diminuir a densidade da madeira bem como a resistência mecânica (BAAS et al., 2004).

Densidade define-se como a relação entre massa da madeira e a massa de um volume de água. No caso da madeira que é um material higroscópico e heterogêneo, a densidade está intimamente associada com o tamanho da célula, espessura da parede celular, interação entre esses dois fatores e a presença de extrativos (SANTOS, 2008).

A densidade é uma importante propriedade estudada para se conhecer o comportamento das espécies nos mais variados ambientes em que estão inseridas, sendo influenciada pela quantidade de recursos, como disponibilidade hídrica, temperatura e características do solo (CAVENDER-BARES; KEEN; MILES, 2006). Está relacionada a alguns aspectos ecológicos estratégicos, como sustentação, resistência a patógenos, proteção contra danos mecânicos e com propriedades hidráulicas (WRIGHT et al., 2004).

De acordo com Hacke e Sperry (2001), Poorter (2008) e Poorter et al. (2010) espécies de alta densidade possuem uma anatomia de alto custo, maior segurança, baixa condutividade hidráulica e crescimento lento; em contrapartida, espécies de baixa densidade apresentam anatomia de baixo custo, menor segurança, alta condutividade hidráulica e crescimento rápido.

Na literatura encontram-se três tipos de densidade: densidade aparente, densidade real e densidade básica. Na ocasião em que a densidade da madeira é determinada considerando como a massa real a madeira completamente seca e o volume verde, temos a denominada densidade básica. Quando se pretende determinar a densidade básica, o volume da madeira deve ser sempre determinado a teores de umidade acima do ponto de saturação das fibras, há também a necessidade de se determinar o peso seco da madeira.

2. OBJETIVO

Determinar a densidade básica, os constituintes anatômicos e a condutividade hidráulica potencial do xilema secundário de *Machaerium opacum*, *Qualea grandiflora* e *Xylopia aromatica* no Cerrado mineiro, analisando a influência entre as variáveis supracitadas.

3. METODOLOGIA

3.1 ESPÉCIES DO ESTUDO

3.1.1 *Machaerium opacum* Vogel

Machaerium opacum Vogel, pertence à família Fabaceae e é conhecida popularmente como jacarandá. Trata-se de uma espécie nativa, pioneira, decídua, com ocorrência nos cerrados e campos cerrados dos estados da Bahia, Tocantins, Goiás, Mato Grosso e Minas Gerais. A madeira, pelas dimensões disponíveis, é empregada apenas para pequenos serviços de marcenaria, tornearia, confecção de objetos de adorno, cabos de ferramentas, bem como para lenha e carvão. A árvore possui características atrativas que a torna apta para a arborização paisagística, sendo também indicada para a composição de reflorestamentos mistos com fins preservacionistas (LORENZI, 2009).

3.1.2 *Qualea grandiflora* Mart.

Qualea grandiflora Mart., pertence à família Vochysiaceae e é conhecida popularmente como pau-terra. É uma espécie nativa, enquadra-se no grupo sucessional como pioneira, decídua e tem ocorrência no cerrado dos estados da Amazônia, São Paulo, Minas Gerais, Goiás e Mato Grosso do Sul. A madeira é empregada para tabuado em geral, para forros, confecção de brinquedos, estruturas de móveis, miolo de compensados, caixotaria, etc. A árvore possui pequeno porte e qualidades ornamentais que a recomendam para o paisagismo, principalmente para a arborização de ruas estreitas e sob redes elétricas, também é recomendada para a composição de reflorestamentos heterogêneos destinados à recuperação e/ou enriquecimento da vegetação de áreas degradadas (LORENZI, 2009).

3.1.3 *Xylopia aromatica* (Lam.) Mart.

Xylopia aromatica (Lam.) Mart., pertence à família Annonaceae, conhecida popularmente como pimenta-de-macaco, é uma espécie nativa, pioneira, semidecídua, com ocorrência nos estados de Minas Gerais, Goiás, Mato Grosso, São Paulo e Mato Grosso do Sul, no cerrado e campo cerrado. A madeira pode ser utilizada apenas para forros e confecção de caixas leves. Apresenta características ornamentais, principalmente pela forma incomum de sua copa. Pode ser utilizada na arborização de ruas estreitas e no paisagismo em geral, sendo ótima para o plantio de áreas degradadas de preservação permanente situadas em terrenos pobres e secos (LORENZI, 2008).

3.2 ÁREA DE COLETA

As coletas foram realizadas em área com ocorrência de Cerrado *stricto sensu*, localizada na Fazenda Juliana, município de Monte Carmelo, estado de Minas Gerais. Das árvores de *M. opacum*, *Q. grandiflora* e *X. aromatica*, foram coletados três galhos de cinco indivíduos, com exceção da espécie *Q. grandiflora* para a qual foram coletados quatro indivíduos. As coordenadas GPS (Tabela 1) referente a cada indivíduo foram anotadas e todos foram marcados em seus troncos com tintas de cores diferentes. A coleta dos galhos foi feita com o auxílio de um podão e os mesmos foram devidamente identificados e acondicionados em sacos plásticos.

Tabela 1. Coordenadas geográficas dos locais de coletas de *Machaerium opacum*, *Qualea grandiflora* e *Xylopia aromatica* no cerrado mineiro

Indivíduo/espécie	Coordenadas geográficas do local de coleta
IND. 1 - <i>M. opacum</i>	18° 41,843' S 47° 33,551' W
IND. 2 - <i>M. opacum</i>	18° 41,844' S 47° 33,538' W
IND. 3 - <i>M. opacum</i>	18° 41,849' S 47° 33,538' W
IND. 4 - <i>M. opacum</i>	18° 43,748' S 47° 29,805' W
IND. 5 - <i>M. opacum</i>	18° 43,748' S 47° 29,805' W
IND. 1 - <i>Q. grandiflora</i>	18° 41,843' S 47° 33,551' W
IND. 2 - <i>Q. grandiflora</i>	18° 41,842' S 47° 33,531' W
IND. 3 - <i>Q. grandiflora</i>	18° 43,748' S 47° 29,805' W

(Continua)

IND. 4 – <i>Q. grandiflora</i>	18° 41,841' S 47° 33,543' W
IND. 1 – <i>X. aromatica</i>	18° 41,841' S 47° 33,543' W
IND. 2 – <i>X. aromatica</i>	18° 41,841' S 47° 33,543' W
IND. 3 – <i>X. aromatica</i>	18° 41,843' S 47° 33,551' W
IND. 4 – <i>X. aromatica</i>	18° 41,839' S 47° 33,546' W
IND. 5 – <i>X. aromatica</i>	18° 41,842' S 47° 33,531' W

(Conclusão)

3.3 PREPARO DAS AMOSTRAS

Foram retirados de cada galho 12 corpos de prova ao longo do comprimento, sendo que desses, dez foram destinados à determinação da densidade básica, um destinado ao preparo do material macerado e um para montagem de lâminas histológicas.

3.4 DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE BÁSICA

Dez corpos de prova foram colocados em recipientes com água até sua total saturação para mensuração do volume pelo método de imersão em líquido, em seguida, foram colocados em estufa a 60°C por 48 horas e pesados para obtenção da massa seca. Por fim, a densidade básica foi determinada pela razão entre a massa seca e o volume saturado, conforme descrito pela norma NBR 11941 (Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, 2003).

3.5 CARACTERIZAÇÃO MICROSCÓPICA

3.5.1 LÂMINAS HISTOLÓGICAS

Para preparação das lâminas histológicas, os corpos de prova foram amolecidos e seccionados em micrótomo de deslize nos três planos anatômicos – transversal, tangencial e radial. Após o seccionamento os cortes foram clarificados em água sanitária 50%, lavados com água acética 1%, corados com safranina 1% e lavados com água destilada. Em seguida, foram desidratados em série alcóolica crescente até álcool 100% e colocados em acetato de butila até sua montagem em meio sintético (Entellan®).

3.5.2 MACERAÇÃO

Foram retirados pequenos fragmentos longitudinais de cada corpo de prova e esses foram acondicionados em frascos de vidro contendo uma solução de ácido acético e peróxido de hidrogênio, na proporção 1:1. Os frascos foram devidamente lacrados e conduzidos à estufa a 60°C até os fragmentos apresentarem coloração esbranquiçada. Após o resfriamento, procedeu-se a lavagem do material com água destilada e coloração com safranina 1%. Para a montagem das lâminas semipermanentes o material foi dissociado em glicerina 50%.

3.6 MENSURAÇÃO DOS ELEMENTOS ANATÔMICOS

Após a montagem das lâminas histológicas e as de material macerado, foi realizada a mensuração e análise dos seguintes constituintes anatômicos: comprimento dos elementos de vasos (μm), diâmetro tangencial dos vasos (μm), densidade de vasos ($\text{vasos}\cdot\text{mm}^{-2}$); comprimento das fibras (μm), diâmetro das fibras (μm), diâmetro tangencial do lúmen das fibras (μm), espessura da parede das fibras (μm), altura e largura dos raios (μm). As mensurações foram feitas seguindo as normas da Internacional Association of Wood Anatomists Committee – IAWA Committee (1989).

3.7 CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA POTENCIAL

Como os vasos não são perfeitamente circulares, o diâmetro hidráulico (D_h) foi calculado com base na equação 1, a partir do diâmetro de cada vaso como a média dos diâmetros mínimo e máximo. A média do D_h foi calculada como proposto por Sterck et al. (2008) e Poorter et al. (2010).

$$D_h = \left[\left(\frac{1}{n} \right) \sum_{i=1}^n d^4 \right]^{1/4} \quad \text{Eq. 1}$$

Onde n é o número de vasos e d é o diâmetro tangencial do vaso.

Após a mensuração do diâmetro e densidade dos vasos, os valores foram empregados para o cálculo da condutividade hidráulica potencial (Equação 2) usando a equação de Hagen-Poiseuille descrita por Sterck et al. (2008) e Poorter et al. (2010).

$$K_p = \left(\frac{\pi \rho_w}{128 \eta} \right) \times DV \times D_h^4 \quad \text{Eq. 2}$$

Onde, K_p é o potencial de condutividade hidráulica (em $\text{kg} \times \text{m} \times \text{MPa}^{-1} \times \text{s}^{-1}$), ρ_w é a densidade da água a 20°C (998,2 $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$), η é o índice de viscosidade da água ($1,002 \times 10^{-3} \text{ MPa} \times \text{s}^{-1}$ a 20°C), DV é a densidade do vaso ($\text{células} \times \text{m}^{-2}$), e D_h é o diâmetro hidráulico do vaso (m).

3.8 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Para análise e comparação dos parâmetros anatômicos: comprimento dos elementos de vaso, diâmetro dos vasos, densidade de vasos, comprimento das fibras, diâmetro das fibras, diâmetro tangencial do lúmen das fibras, espessura da parede das fibras, altura e largura dos raios, empregou-se a análise de variância, aplicando o teste de Tukey a 5% de significância, a fim de verificar se há diferença estatística nos parâmetros.

Além disso, a correlação de Pearson foi empregada para verificar qual desses parâmetros influenciam na densidade básica e/ou na condutividade hidráulica potencial.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A densidade básica de *X. aromatica* (0,482 $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$) foi menor em relação as outras espécies, já *M. opacum* (0,533 $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$) e *Q. grandiflora* (0,540 $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$) não diferiram entre si (Tabela 2). Os resultados obtidos nesse trabalho foram semelhantes aos encontrados para 47 espécies do cerrado, entre 0,200 $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ e 0,780 $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ (VALE et al. 2002).

Tabela 2. Média da densidade básica ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$) de *Machaerium opacum*, *Qualea grandiflora* e *Xylopia aromatica*

Espécie	Densidade Básica	Valor Mínimo	Valor Máximo
<i>M. opacum</i>	0,533 ^{18,3} a	0,361	0,733
<i>Q. grandiflora</i>	0,540 ^{10,4} a	0,441	0,682
<i>X. aromatica</i>	0,482 ^{6,3} b	0,406	0,610

*Letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Valores em sobrescrito referem-se ao coeficiente de variação (%).

Os galhos das três espécies do estudo expressaram valores de densidade abaixo de 0,550 $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$, sendo classificados como madeira de baixa densidade (VALE et al., 2002; CORADIN et al., 2010). Plantas com madeiras de baixa densidade são mais vulneráveis a implosão ou ruptura dos vasos (HACKE; SPERRY, 2001; CHAVE et al., 2009), tornando-as mais suscetíveis à cavitação, porém são capazes de armazenar elevadas quantidades de água, o que

pode evitar variações do potencial hídrico durante a estação seca (BORCHERT, 1994; LIMA; RODAL, 2010).

Ao observarmos a estrutura do xilema secundário é importante salientar que a principal função desse tecido, principalmente dos vasos, é a condução hídrica. Vasos de maior diâmetro conduzem água de maneira mais eficiente, entretanto, dispõem de menor segurança na condução. Já vasos mais estreitos têm menor eficiência na condução, mas são mais seguros (BASS et al., 2004; CARLQUIST, 1966; BARAJAS-MORALES, 1985).

O diâmetro tangencial dos vasos (DTV) diferiu entre as três espécies, sendo o maior valor encontrado para *X. aromatica* (68,0 μm), seguido de *M. opacum* (61,3 μm) e *Q. grandiflora* (54,0 μm) (Tabela 3). Com base nesses resultados, podemos sugerir que *X. aromatica* é mais eficaz na condutividade hidráulica, porém apresenta menor segurança, já *Q. grandiflora* é menos eficiente na condução, porém possui maior segurança hídrica.

O comprimento dos vasos também pode ser um parâmetro relacionado com a segurança na condução hídrica, porém são necessários mais estudos para elucidar tal relação. Elementos de vasos de menor comprimento oferecem maior segurança na condução hídrica (CARLQUIST, 1975, 1982). Contudo, para Zimmerman (1978, 1983) e Baas (1982), o comprimento dos vasos tem pouca influência na condutividade. Em relação aos raios, alguns estudos mostram a ocorrência de raios mais altos (BAAS 1973; LUCHI 2004; LUCHI et al., 2005) e largos (LUCHI 2004; LUCHI et al., 2005; BOSIO et al., 2010) em ambientes mais xéricos.

O comprimento dos vasos (CV) foi mais curto em *M. opacum* (235,8 μm) e diferiu das outras duas espécies. *Machaerium opacum* também possui a menor condutividade hidráulica potencial (K_p) (Tabela 4), portanto, nossos resultados corroboram com Carlquist (1975, 1982). Para a altura dos raios (AR) todas as espécies diferenciaram entre si, sendo de *X. aromatica* (538, 2 μm), o maior valor, seguido de *M. opacum* (379,1 μm) e *Q. grandiflora* (185,1 μm). Já a largura dos raios (LR) não diferenciou para nenhuma das espécies (Tabela 3).

A predominância de fibras de paredes espessas oferece maior suporte mecânico aos vasos na ocorrência de altas pressões negativas, tais pressões podem afetar as paredes dos elementos de vaso por diferentes tensões (HACKE et al., 2001). Assim, plantas sujeitas a potenciais hídricos muito negativos devem apresentar células com lúmen estreitos para suportar as tensões negativas e evitar implosão (BAAS et al., 2004; HACKE et al., 2001). O

comprimento das fibras (CF) e o diâmetro das fibras (DF) diferiram entre as três espécies, entretanto *Q. grandiflora* possui as fibras mais compridas (860,9 μm) e mais largas (20,5 μm).

O diâmetro tangencial do lúmen (DTL) diferiu apenas para *X. aromatica* (9,9 μm), o maior valor. *Qualea grandiflora* apresentou fibras de parede mais espessas (EPF) (6,4 μm) (Tabela 3). Tendo em vista que *M. opacum* e *Q. grandiflora* expressaram os menores valores para o diâmetro tangencial do lúmen (DTL) (8,3 μm e 7,6 μm , nessa ordem) e para condutividade hidráulica potencial (K_p) ($3,70 \times 10^{-12} \text{ kg} \times \text{m} \times \text{MPa}^{-1} \times \text{s}^{-1}$ e $7,38 \times 10^{-12} \text{ kg} \times \text{m} \times \text{MPa}^{-1} \times \text{s}^{-1}$, respectivamente) (Tabela 4), nossos resultados corroboram com Baas et al. (2004) e Hacke et al. (2001).

Tabela 3. Média das características anatômicas quantitativas do xilema secundário de *Machaerium opacum*, *Qualea grandiflora* e *Xylopia aromatica*

Espécie	CV	DTV	DV	CF	DF	DTL	EPF	AR	LR
<i>M. opacum</i>	235,8 ^{39,1} b	61,3 ^{18,7} b	9,1 ^{79,9} c	558,5 ^{30,2} c	15,5 ^{26,5} c	8,3 ^{18,8} b	3,6 ^{31,6} b	379,1 ^{25,3} b	59,0 ^{24,8} a
<i>Q. grandiflora</i>	378,2 ^{19,4} a	54,0 ^{8,6} c	32,0 ^{11,7} a	860,1 ^{18,8} a	20,5 ^{8,9} a	7,6 ^{32,9} b	6,4 ^{14,0} a	185,1 ^{19,8} c	40,2 ^{28,5} a
<i>X. aromatica</i>	370,4 ^{8,1} a	68,0 ^{16,2} a	16,6 ^{16,0} b	628,9 ^{10,3} b	17,10 ^{10,8} b	9,1 ^{18,5} a	3,5 ^{10,0} b	538,2 ^{14,9} a	53,5 ^{14,9} a

CV: comprimento dos elementos de vasos (μm), DTV: diâmetro tangencial dos vasos (μm), DV: densidade de vasos ($\text{vasos}\cdot\text{mm}^{-2}$), CF: comprimento das fibras (μm), DF: diâmetro das fibras (μm), DTL: diâmetro tangencial do lúmen das fibras (μm), EPF: espessura da parede das fibras (μm), CR: altura dos raios e LR: largura dos raios (μm). *Letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Valores em sobrescrito referem-se ao coeficiente de variação (%).

Espécies inseridas em ambientes secos tendem a aumentar a densidade dos vasos de menor diâmetro, aliando o fator eficiência ao de segurança (BAAS et al., 1983). Caso a vulnerabilidade dos vasos ao embolismo seja contínuo, o aumento da densidade de vasos poderá aumentar a condutividade sem afetar a segurança (HACKE et al., 2006). A maior DV (30,2 μm) e K_p ($7,38 \times 10^{-12} \text{ kg} \times \text{MPa}^{-1} \times \text{s}^{-1}$) (Tabela 4) e o menor DTV (54,0 μm) encontrados para *Q. grandiflora* corroboram com os autores.

Características que aumentam a eficiência hidráulica, geralmente, tendem a diminuir a densidade da madeira bem como a resistência mecânica (BAAS et al., 2004) e de acordo com a equação de Hagen-Poiseuille, a capacidade dos vasos em conduzir água aumenta à quarta potência do seu diâmetro (ZIMMERMANN, 1983; TYREE & ZIMMERMANN, 2002). O menor resultado obtido para densidade básica (DB) ($0,482 \text{ g.cm}^{-3}$) em *X. aromatica* e os maiores valores de DTV (68,0 μm) e de K_p ($1,21 \times 10^{-11} \text{ kg} \times \text{MPa}^{-1} \times \text{s}^{-1}$) (Tabela 4), para a mesma espécie, confirmam as afirmações.

Tabela 4. K_p : condutividade hidráulica potencial ($\text{kg} \times \text{m} \times \text{MPa}^{-1} \times \text{s}^{-1}$) de *Machaerium opacum*, *Qualea grandiflora* e *Xylopia aromatica*

Espécie	K_p
<i>M. opacum</i>	$3,70 \times 10^{-12}$ ^{81,1} b
<i>Q. grandiflora</i>	$7,38 \times 10^{-12}$ ^{23,3} b
<i>X. aromatica</i>	$1,21 \times 10^{-11}$ ^{56,1} a

*Letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Valores em sobrescrito referem-se ao coeficiente de variação (%).

A K_p difere somente para *X. aromatica* ($1,21 \times 10^{-11} \text{ kg} \times \text{m} \times \text{MPa}^{-1} \times \text{s}^{-1}$), a qual, também, demonstrou o maior valor para o parâmetro, confluindo para a espécie ser a mais eficiente na condução hídrica, enquanto que os valores de *M. opacum* ($3,70 \times 10^{-12} \text{ kg} \times \text{m} \times \text{MPa}^{-1} \times \text{s}^{-1}$) e *Q. grandiflora* ($7,38 \times 10^{-12} \text{ kg} \times \text{m} \times \text{MPa}^{-1} \times \text{s}^{-1}$) não diferiram entre si. As duas espécies que mostraram valores inferiores de K_p foram as mesmas a apresentarem os valores mais altos de densidade básica (DB) e os mais baixos de DTL, resultados que apoiam aqueles encontrados por Baas et al. (2004) e Hacke et al. (2001).

Ao analisar as correlações entre as características anatômicas e a condutividade hidráulica com a densidade básica da madeira (Tabela 5), correlações positivas foram encontradas entre DTV, DV, CF, EPF e LR com a DB, sendo a relação entre EPF \times DB, a maior delas ($r = 0,601$). Do mesmo modo, encontramos correlações positivas (Tabela 6) entre as características anatômicas e a condutividade hidráulica potencial, onde o DTV apresentou a maior correlação com K_p ($r = 0,672$), corroborando com Ewers; Fisher (1989).

Correlações negativas (Tabela 5) foram demonstradas entre K_p , CV, DV, DF, DTL e AR com a DB e entre (Tabela 6) LR com a K_p . Correlações negativas entre o comprimento dos vasos e densidade básica também foi encontrada para cinco espécies do semiárido brasileiro (ANSELMO, 2015). Sendo assim, os únicos parâmetros que influenciam tanto a densidade básica da madeira como a condutividade hidráulica são o diâmetro tangencial dos vasos, a densidade de vasos, o comprimento das fibras e a espessura da parede das fibras.

De acordo com esses resultados, podemos concluir que, nesse estudo, a densidade básica da madeira não teve relação suficiente com o potencial hidráulico, contribuindo com os resultados encontrados por Russo et al. (2010) e refutando aqueles encontrados por Anselmo (2015). Como a densidade da madeira não está muito relacionada com as características dos vasos e o diâmetro do vaso é o principal determinante da condutividade hidráulica na madeira de angiospermas, a densidade da madeira pode ser parcialmente deslocada da condutividade (PRESTON; CORNWELL; DE-NOYER, 2006).

Tabela 5. Valores gerais dos coeficientes de correlação de Pearson (r) envolvendo as características anatômicas quantitativas, a condutividade hidráulica e a densidade básica

	K_p x DB	CV x DB	DTV x DB	DV x DB	CF x DB	DF x DB	DTL x DB	EPF x DB	AR x DB	LR x DB
<i>r</i>	-0,014	-0,508	0,026	0,257	0,577	-0,080	-0,397	0,601	-0,375	0,038
<i>p</i>	0,929	0,001	0,873	0,104	0,000	0,622	0,010	0,000	0,016	0,814

CV: comprimento dos elementos de vasos (μm), DTV: diâmetro tangencial dos vasos (μm), DV: densidade de vasos ($\text{vasos}\cdot\text{mm}^{-2}$), CF: comprimento das fibras (μm), DF: diâmetro das fibras (μm), DTL: diâmetro tangencial do lúmen das fibras (μm), EPF: espessura da parede das fibras (μm), AR: altura dos raios e LR: largura dos raios (μm) do xilema secundário, a K_p : condutividade hidráulica potencial ($\text{m} \times \text{MPa}^{-1} \times \text{s}^{-1}$) e a DB: densidade básica ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)

Tabela 6. Valores gerais dos coeficientes de correlação de Pearson (r) envolvendo as características anatômicas quantitativas e a condutividade hidráulica potencial

	CV x K_p	DTV x K_p	DV x K_p	CF x K_p	DF x K_p	DTL x K_p	EPF x K_p	AR x K_p	LR x K_p
<i>r</i>	0,264	0,672	0,197	0,348	0,089	0,060	0,131	0,275	-0,015
<i>p</i>	0,095	0,000	0,218	0,026	0,578	0,708	0,414	0,082	0,926

CV: comprimento dos elementos de vasos (μm), DTV: diâmetro tangencial dos vasos (μm), DV: densidade de vasos ($\text{vasos}\cdot\text{mm}^{-2}$), CF: comprimento das fibras (μm), DF: diâmetro das fibras (μm), DTL: diâmetro tangencial do lúmen das fibras (μm), EPF: espessura da parede das fibras (μm), CR: altura dos raios e LR: largura dos raios (μm) do xilema secundário e K_p : condutividade hidráulica potencial ($\text{m} \times \text{MPa}^{-1} \times \text{s}^{-1}$)

5. CONCLUSÕES

Acerca das características anatômicas do xilema secundário das espécies, as plantas de *X. aromatica* investem mais em condutividade hidráulica, produzindo vasos mais largos. Já os indivíduos de *Q. grandiflora* investem mais em segurança hídrica, devido a maior densidade de vasos de menor diâmetro.

O constituinte que mais influencia na condutividade hidráulica potencial é o diâmetro tangencial dos vasos e na densidade básica é a espessura da parede das fibras.

Nossas análises encontraram pouco suporte para a ideia de que a densidade da madeira tem forte relação com a condutividade hidráulica das espécies do estudo.

Além disso, espécies com iguais ou diferentes densidades de madeira, mesmo que coletadas em uma mesma área e submetidas a mesmas condições ambientais de déficit hídrico, possuem suas particularidades, apresentando características distintas e sendo influenciadas por variáveis diferentes.

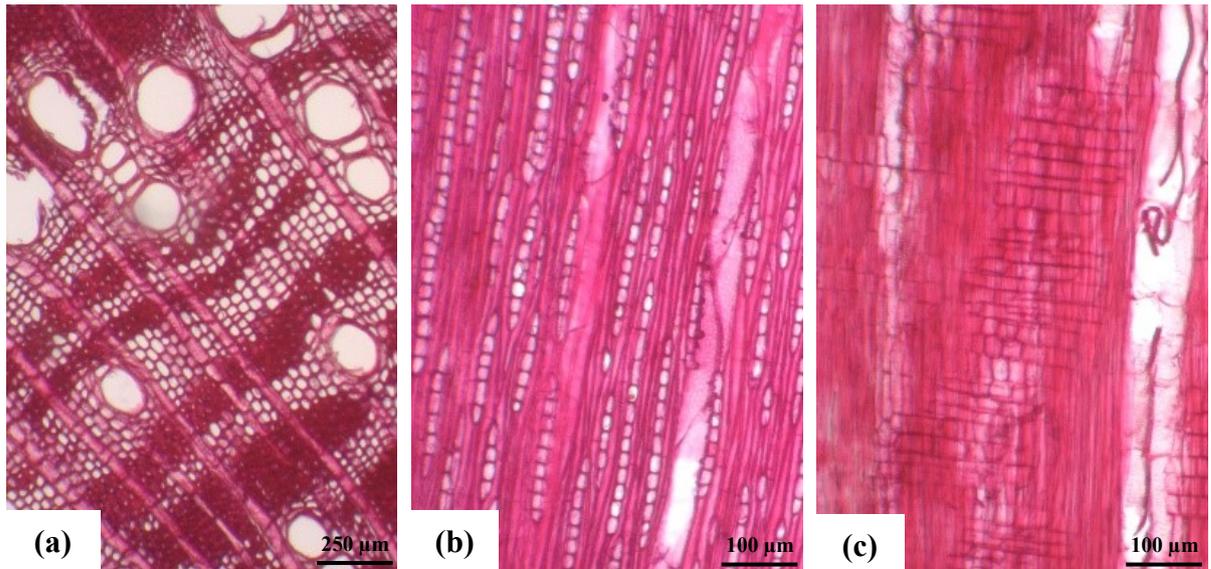


Figura 1. Xilema secundário de *Machaerium opacum*. (a) Secção transversal; (b) Secção longitudinal tangencial; (c) Secção longitudinal radial

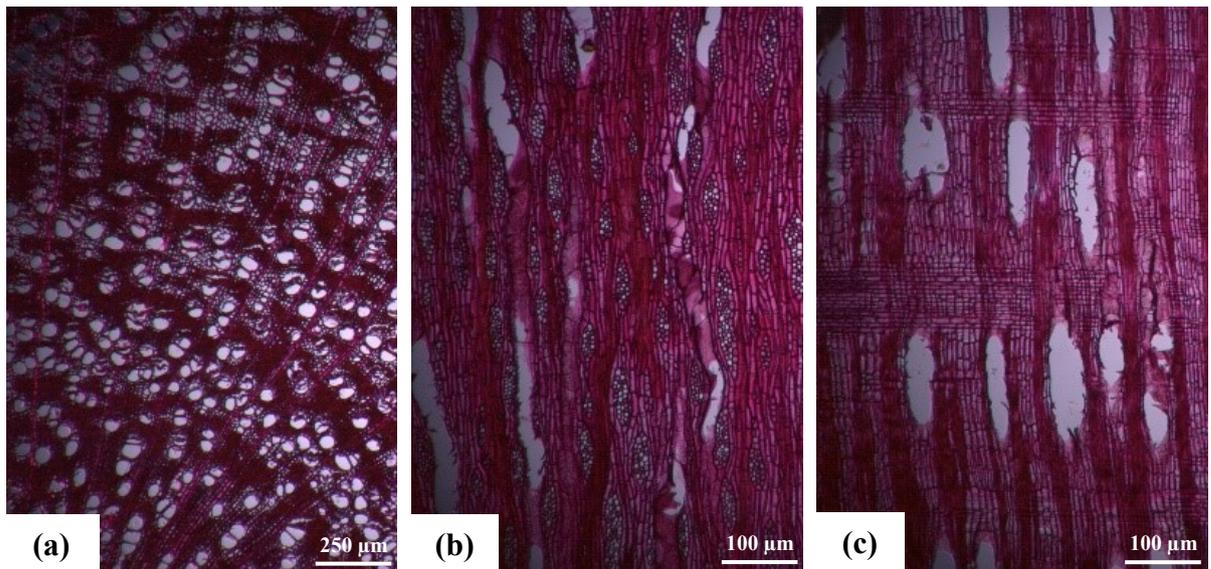


Figura 2. Xilema secundário de *Qualea grandiflora*. (a) Secção transversal; (b) Secção longitudinal tangencial; (c) Secção longitudinal radial

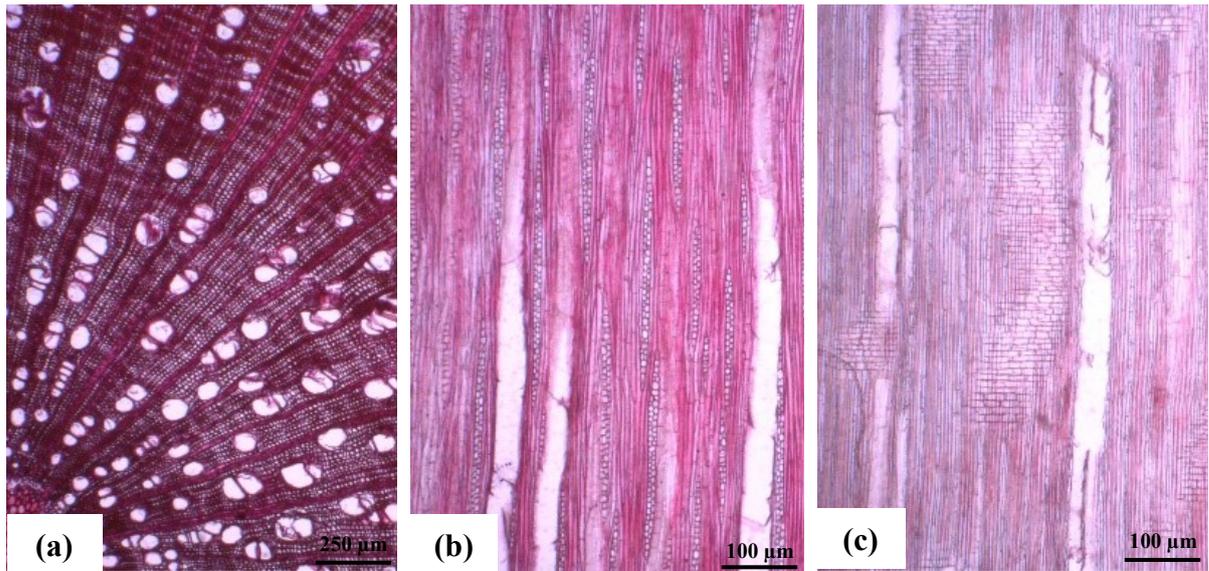


Figura 3. Xilema secundário de *Xylopiia aromatica*. (a) Secção transversal; (b) Secção longitudinal tangencial; (c) Secção longitudinal radial

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, E. S.; V. ANGYALOSSY-ALFONSO. 2000. Ecological trends in the wood anatomy of some Brazilian species. 1. Growth rings and vessels. **IAWA Journal**. 21: 3-30.
- ANDEREGG, W. R. L.; BERRY, J. A.; SMITH, D. A.; SPERRY, J. S.; ANDEREGG, L. D. L.; FIELD, C. B. The roles of hydraulic and carbon stress in a widespread climate-induced forest die-off. **Proc Natl Acad Sci USA**, v. 109, p. 233-237, 2012.
- ANSELMO, G. C.; **Relações entre caracteres anatômicos do xilema, densidade de madeira e segurança hidráulica em espécies do semiárido**. 2015. 49 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Recursos Naturais) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 11941: madeira. **Determinação da densidade básica**. Rio de Janeiro, 2003
- BAAS, P. 1973. **The anatomy of *Ilex* (Aquifoliaceae) and its ecological and phylogenetic significance**. *Blumea* 21: 193-258.
- BAAS, P. 1982. **Systematic, phylogenetic and ecological wood anatomy History and perspectives**. In: _____ (ed.), *New perspectives in wood anatomy*: 23-58. The Hague Martinus Nijhof Publishers, The Netherlands.
- BAAS, P.; EWERS, F. W.; DAVIS, S. D.; WHEELER, E. A. **Evolution of xylem physiology**. In: Hewsley, A. R.; Poole, I. (eds.) *The evolution of plant physiology*. Elsevier, London, 2004.
- BAAS, P.; WERKER, E. E; FAHN, A. 1983. Some ecological trends in vessel characters. **IAWA Bulletin** new series 4: 141-159.
- BARAJAS-MORALES, J. 1985. Wood structural differences between trees of two tropical forests in Mexico. **IAWA Bulletin** n. s. 6: 355-364.
- BORCHERT, R. Soil and stem water storage determine phenology and distribution of tropical dry forest trees. **Ecology**, v. 75, p. 1437-1449, 1994.
- BOSIO, F.; P. SOFFIATTI; M. R. T. BOEGER. 2010. Ecological wood anatomy of *Miconia sellowiana* (Melastomataceae) in three vegetation types of Paraná state, Brazil. **IAWA Journal**. 31: 179--190.
- BRODRIBB, T. J.; BOWMAN, D.; NICHOLS, S.; DELZON, S.; BURLETT, R. Xylem function and growth rate interact to determine recovery rates after exposure to extreme water deficit. **New Phytology**, v. 188, p. 533-542, 2010. CARLQUIST, S. 1966. **Wood anatomy of Compositae: a summary, with comments on factors controlling wood evolution**. *Aliso*. 6: 25-44.
- CARLQUIST, S. 1982. Wood anatomy of *Illicium* (Illiciaceae). Phylogenetical, ecological and functional interpretations. **American Journal of Botany**. 69: 1587-1598.

CARLQUIST, S. **Ecological strategies of xylem evolution**. Berkeley, 1975. University of California Press

CAVENDER-BARES, J.; KEEN, A.; MILES, B. Phylogenetic structure of Floridian plant communities depends on taxonomic and spatial. **Ecology**. 87: p. 109-122, 2006.

CHAVE, J. et al. Towards a worldwide wood economics spectrum. **Ecology Letters**. p. 351-366, 2009.

CHOAT, B. et al. Pit membrane porosity and water stress-induced cavitation in four co-existing dry rainforest tree species. **Plant physiology**. Washington, v. 131, p. 41-48, 2008.

CHOAT, B.; BALL, M.; LULY, J.; HOLTUM, J. Pit membrane porosity and water stress-induced cavitation in four co-existing dry rainforest tree species. **Plant Physiology**, v. 131, p. 41-48, 2003.

CORADIN, V. T. R.; CAMARGOS, J. A. A.; PASTORE, T. C. M.; CHRISTO, A. G. **Madeiras comerciais do Brasil: chave interativa de identificação baseada em caracteres gerais e macroscópicos**. 2010. Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br/lpf/madeira/introducao>> Acesso em: 21 ago. 2020.

COUTINHO, L. M. **O bioma cerrado**. In: KLEIN, A. L. (Org.). *Eugen Warming e o cerrado brasileiro*: Unesp. Imprensa Oficial do Estado. São Paulo, 2002, p. 77-92.

CRUIZIAT, P.; AMEGLIO, T.; COCHARD, H. **La cavitation: un mécanisme perturbant la circulation de l'eau chez les végétaux**. Mechanical industry. Quanq Ninh, v. 2, p. 289-298, 2001.

DECOUX, V.; VARCIN, E.; LEBAN, J. M. Relations between the intra-ring wood density assessed by x-ray densitometry and optical anatomical measurements in conifers. Consequences for the cell apparent density determination. *Annals of Forestry Science*, v. 61, p. 251-262, 2004.

EWERS, F. W.; FISHER, J. B. Techniques for measuring vessel lengths and diameters in stems of woody plants. **American Journal of Botany**. v. 76, p. 645-656, 1989.

HACKE U.; SPERRY, J. S. Functional and ecological xylem anatomy. **Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics**. Urban & Fischer Verlag, v.4, p. 97- 115, 2001.

HACKE, U. G.; SPERRY, J. S.; POCKMAN, W. T.; DAVIS, S. D.; MCCULLOH, K. A. Trends in wood density and structure are linked to prevention of xylem implosion by negative pressure. **Oecologia** 126: p. 457-461, 2001.

HACKE, U. G.; SPERRY, J. S.; WHEELER, J. K.; CASTRO, L. Scaling of angiosperm xylem structure with safety and efficiency. **Tree Physiology**, v. 26, p. 689-701, 2006.

IAWA COMMITTEE. Iawa list of microscopic features for hardwood identification. **IAWA Bull**. Leiden, v. 10, p. 219-332. 1989.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Áreas total, remanescentes e desmatadas, até 2010, do Cerrado, e respectivos percentuais, para as Unidades de Federação abrangidas pelo inventário.** 2010. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/3914#resultado>>. Acesso em: 2 set. 2018.

KLEIN, A. L. (Org.). **Eugen Warming e o cerrado brasileiro.** São Paulo: Unesp, 2002. Disponível em: <<http://livros01.livrosgratis.com.br/up000017.pdf>>. Acesso em: 02 set. 2018.

KÖPPEN, W. **Grundriss der klimakunde.** Berlin: W. Guyter. 1931.

LENS, F.; J. L. LUTEYN; E. SMETS; S. JANSEN. 2004. **Ecological trends in the wood anatomy of Vaccinioideae (*Ericaceae* s.l.).** *Flora* 199: 309-319.

LENS, F.; TIXIER, A.; COCHARD, H.; SPERRY, J. S.; JANSEN, S.; HERBETTE, S. Embolism resistance as a key mechanism to understand adaptive plant strategies. **Curr Opin Plant Biol**, 2013.

LIMA, A. L. A. DE; RODAL, M. J. N. Phenology and wood density of plants growing in the semi-arid region of northeastern Brazil. **Journal of Arid Environments**, v. 74, p. 1363–1373, 2010.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: Manual de Identificação e Cultivo de Plantas Arbóreas Nativas do Brasil.** 5. ed. Nova Odessa: Plantarum Ltda, 2008. 384 p.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: Manual de Identificação e Cultivo de Plantas Arbóreas Nativas do Brasil.** 5. ed. Nova Odessa: Plantarum Ltda, 2009. 384 p.

LUCHI, A. E. 2004. Anatomia do lenho de *Croton urucurana* Baill. (Euphorbiaceae) de solos com diferentes níveis de umidade. **Revista Brasileira de Botânica.** 27: 271--280.

LUCHI A. E.; L. C. P. SILVA; M. A. MORAES. 2005. Anatomia comparada do lenho de *Xylopia aromatica* (Lam.) Mart. em áreas de cerrado e de plantação de *Pinus elliottii* Engelm. **Revista Brasileira de Botânica.** 28: 809-820.

MARKESTEINJN, L; POORTER, L. Seedling root morphology and biomass allocation of 62 tropical tree species in relation to drought and shade tolerance. **Journal of Ecology** 97: p. 311-325, 2009.

MEINZER, F. C.; CLEARWATER, M. J.; GOLDSTEIN, G. Water transport in trees: current perspectives, new insights and some controversies. **Environmental and Experimental Botany**, v. 45, p. 239–262, 2001.

NIEJSEE, J. et al. Xylem hydraulic conductivity related to conduit dimensions along chrysanthemum stems. **Journal of Experimental Botany**, Columbus, v. 52, n. 355, p. 319-327, 2001.

PINHEIRO, A. L.; CARMO, A. P. T. do. Contribuição ao estudo tecnológico da Canela-azeitona, *Rapanea ferruginea* (Ruiz e Pav.) Mez, uma espécie pioneira: I – Características anatômicas da madeira. **Ciência Florestal.**v. 3, n. 1, p. 121-145, 1993.

PLOMION, C.; LEPROVOST, G.; Stokes A. 2001. Wood formation in trees. **Plant Physiology**, v. 127, p. 1513-1523.

POCKMAN, W. T.; SPERRY, J. S. Vulnerability to xylem cavitation and the distribution of Sonoran desert vegetation. **American Journal of Botany**, v. 87, p. 1287–1299,
2000
POORTER, L. The Relationships of Wood-, Gas- and Water Fractions of Tree Stems to Performance and Life History Variation in Tropical Trees. **Annals of Botany**, v. 102: 367–375, 2008.

POORTER, L.; MCDONALD, I.; ALARCO, A.; FICHTLER, E.; LICONA, J. C.; PENÑ-CLAROS, M.; STERCK, F.; VILLEGAS, Z.; SASS-KLAASEN, U. The importance of wood traits and hydraulic conductance for the performance and life history strategies of 42 rainforest tree species. **New Phytologist**, v. 185, p. 481-492, 2010.

PRATT, R. B. et al. Relationships among xylem transport, biomechanics and storage in stems and roots of nine Rhamnaceae species of the California chaparral. **New Phytologist**, v. 174, p. 787-798, 2007.

PRESTON, K. A.; CORNWELL, W. K.; DE-NOYER, J. L. Wood density and vessel traits distinct correlates of ecological strategy in 51 California coast range angiosperms. **New Phytologist**, v. 170, p. 807-818, 2006.

SANO, E. E.; ROSA, R.; BRITO, J. L. S.; FERREIRA, L. G. **Mapeamento da cobertura vegetal do Bioma Cerrado**. Planaltina: EMBRAPA, 2008.

SANTOS, I. D. **Influência de teores de lignina, holocelulose e extrativos na densidade básica e contração da madeira e nos rendimentos e densidade do carvão vegetal em cinco espécies lenhosas do cerrado**. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Brasília, 2008.

SAWYER, D.; MESQUITA, B.; COUTINHO, B.; ALMEIDA, F. V. de; FIGUEIREDO, I.; LAMAS, I.; PEREIRA, L. E.; PINTO, L. P.; PIRES, M. O.; KASECKER, T. **Perfil do Ecosistema Hotspot de Biodiversidade do Cerrado**. Critical Ecosystem Partnership Fund: 2017. Disponível em <www.cepf.net/sites/default/files/Cerrado-ecosystem-profile-pr-updated.pdf>. Acesso em 20 ago. 2020.

SILVA, J. C.; **Anatomia da madeira e suas implicações tecnológicas**. Viçosa, 2005.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Porto Alegre: ArtMed, p. 954, 2013.

TYREE, M. T.; EWERS, F.W. The hydraulic architecture of trees and other woody plants. **New Phytologist**, v. 119, p. 345-360, 1991.

TYREE, M.; ZIMMERMANN, M. 2002 **Xylem structure and the ascent of sap**. New York, NY, USA: Springer-Verlag.

VALE, A. T.; BRASIL, M. A. M.; LEÃO, A. L. Quantificação e caracterização energética da madeira e casca de espécies do cerrado. **Ciência Florestal**. Santa Maria, v. 12, n. 1, p. 71-80, 2002.

WRIGHT, I. J. et al. The worldwide leaf economics spectrum. **Nature**. 428: p. 822-828, 2004.

ZENID, G. J.; CECCANTINI, G. C. T. 2007. **Identificação botânica de madeiras**. Laboratório de Anatomia e Identificação de Madeiras do Instituto de Pesquisa Tecnológica do Estado de São Paulo (IPT).

ZIMMERMANN, M. H. 1978. Vessel ends and the disruption of water flow in plants. **Phytopathology** 68: 253-255.

ZIMMERMANN, M. H. 1983. **Xylem structure and the ascent of sap**. Springer, Berlin Heidelberg, New York.

ZIMMERMANN, M. H.; MILBURN, J. A. 1982. Transport and storage of water. In: LANGE, O. L.; NOBEL, P. S.; OSMOND, C. B.; ZIEGLER, H. **Physiological Plant Ecology: Water relations and carbon assimilation**. New York, p. 135-152.