

# RESSALVA

Atendendo solicitação do(a) autor(a), o texto completo desta tese/dissertação será disponibilizado somente a partir de 15/08/2024

At the author's request, the full text of this thesis/dissertation will not be available online until August 15, 2024

**LUANA PACHECO**

**EFEITO DA DISPONIBILIDADE DE NUTRIENTES NA ANATOMIA DO XILEMA  
SECUNDÁRIO E NO COMPORTAMENTO HÍDRICO DE DUAS ESPÉCIES DA  
MATA ATLÂNTICA**

**Botucatu  
2024**



**LUANA PACHECO**

**EFEITO DA DISPONIBILIDADE DE NUTRIENTES NA ANATOMIA DO XILEMA  
SECUNDÁRIO E NO COMPORTAMENTO HÍDRICO DE DUAS ESPÉCIES DA MATA  
ATLÂNTICA**

Dissertação apresentada à Faculdade de  
Ciências Agronômicas da Unesp Câmpus  
de Botucatu, para obtenção do título de  
Mestre em Ciência Florestal.

Orientadora: Profa. Dra. Carmen Regina  
Marcati

Coorientadora: Dra. Larissa Chacon Dória

**Botucatu  
2024**

P116e Pacheco, Luana  
Efeito da disponibilidade de nutrientes na anatomia do xilema secundário e no comportamento hídrico de duas espécies da Mata Atlântica / Luana Pacheco. -- Botucatu, 2024  
49 p. : il., tabs., fotos  
  
Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu  
Orientadora: Carmen Regina Marcati  
Coorientadora: Larissa Chacon Dória  
  
1. Madeira Anatomia. 2. Adubação. 3. Árvores Mudas. I.  
Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Botucatu



### CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

**TÍTULO DA DISSERTAÇÃO:** EFEITO DA DISPONIBILIDADE DE NUTRIENTES NA ANATOMIA DO XILEMA SECUNDÁRIO E NO COMPORTAMENTO HÍDRICO DE DUAS ESPÉCIES DA MATA ATLÂNTICA

**AUTORA:** LUANA PACHECO

**ORIENTADORA:** CARMEN REGINA MARCATI

**COORIENTADORA:** LARISSA CHACON DÓRIA

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em Ciência Florestal, pela Comissão Examinadora:

Prof.ª Dr.ª CARMEN REGINA MARCATI (Participação por Parecer Circunstanciado)   
Departamento de Ciências Florestais Solos e Ambiente / Faculdade de Ciências Agrônomicas de Botucatu  
UNESP

Prof. Dr. MARCELO RODRIGO PACE (Participação por Parecer Circunstanciado) p/   
Botânica / Universidad Nacional Autónoma de México

Prof.ª Dr.ª MAGALI RIBEIRO DA SILVA (Participação por Parecer Circunstanciado) p/   
Ciência Florestal Solos e Ambiente / Faculdade de Ciências Agrônomicas de Botucatu

Botucatu, 15 de fevereiro de 2024



## **AGRADECIMENTOS**

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil – CAPES – Código de financiamento 001.

À Profa. Dra. Magali Ribeiro da Silva por disponibilizar o Viveiro de Mudas Florestais para desenvolver esta pesquisa.

À Alessandra da Silva Lopes por disponibilizar as mudas de sua tese de doutorado para desenvolver esta pesquisa.

À Profa. Dra. Carmen Regina Marcati, pela orientação, ensinamentos, paciência, compreensão e apoio ao longo de todo o período do mestrado e em meio às minhas adversidades de saúde.

À Dra. Larissa Chacon Dória, pelo auxílio e ensinamentos como coorientadora.

Ao Prof. Dr. Diego Sotto Podadera, pelas ideias e ajuda no trabalho.

À doutoranda Débora Coelho da Silva pelo auxílio e apoio ao trabalho.

À todos os professores e funcionários da FCA.

À todos os membros do Conselho do Programa de Pós-graduação em Ciência Florestal.

Ao meu esposo e família pelo apoio incondicional.



## RESUMO

A conquista do ambiente terrestre pelas Angiospermas só foi possível devido às estratégias adaptativas anatômicas e fisiológicas que as permitiram ter sucesso em habitats variados. Assim, as plantas apresentam um conjunto de características anatômicas e de comportamento hídrico que as posicionam dentro de um *continuum* de crescimento rápido-lento (*fast-slow*). Um dos fatores mais estudados nesse aspecto são as adaptações desses atributos em relação à disponibilidade hídrica. Porém, a disponibilidade de nutrientes do solo também pode resultar em respostas adaptativas, influenciando nas estratégias de crescimento desses vegetais. Dessa forma, nosso objetivo foi testar se a diferença de concentração de nutrientes do solo influencia na variação da anatomia da madeira e no comportamento hídrico foliar de indivíduos de *Cariniana legalis* (Lecythidaceae) e *Myroxylon peruiferum* (Fabaceae), os quais foram submetidos às mesmas condições hídricas; e também se há diferenças entre as espécies dentro do mesmo tratamento, às quais pertencem a grupos taxonômicos distintos. Para tanto foram realizadas medidas de potencial hídrico foliar (*predawn* e *midday*) e análises de caracteres anatômicos da madeira sob microscopia de luz. Para testar a influência dos diferentes tratamentos nutricionais na variação do comportamento hídrico e dos caracteres anatômicos, fizemos teste-t de comparação de médias, análise de variância multivariada (MANOVA) e análise dos componentes principais (PCA). Não encontramos diferenças no comportamento hídrico foliar e, de modo geral, nas características anatômicas do xilema dos indivíduos pertencentes aos diferentes tratamentos nutricionais. Em *M. peruiferum*, indivíduos do tratamento de maior concentração apresentaram maior espessura da parede de fibras. E para ambas as espécies, encontramos maior quantidade de cristais nas células do parênquima no tratamento de maior concentração nutricional. A influência da filogenia nos caracteres anatômicos do xilema está presente com os indivíduos de diferentes espécies, independente do tratamento, apresentarem padrões anatômicos bem distintos. Além disso, espécies de estágios sucessionais secundários e não pioneiras, como as deste estudo, não apresentam plasticidade fenotípica marcante como resposta às diferentes concentrações nutricionais no solo.

**Palavras-chave:** anatomia do xilema; anatomia ecológica da madeira; cristais nas células parenquimáticas; potencial hídrico foliar; tratamento nutricional do solo.

## ABSTRACT

The conquered of terrestrial environments by the Angiosperms was possible due to the anatomical and physiological adaptive strategies that allowed them to succeed in different habitats. This way, plants have a set of anatomical characteristics and water behavior that, as a consequence, position them within a continuum of fast-slow growth. One of the most studied factors in this regard are the adaptations of these attributes in relation to water availability. However, the availability of soil nutrient also results in adaptive responses, influencing the growth strategies of these plants. Thus, our objective was to test whether the difference in soil nutrient concentration influences the variation in wood anatomy and leaf water behavior of individuals of *Cariniana legalis* and *Myroxylon peruiferum*, which were submitted to the same water conditions; and also, if there are differences between species within the same treatment, which belong to different taxonomic groups. For this purpose, measurements of leaf water potential (predawn and midday) and analyzes of anatomical characteristics of the wood under light microscopy were carried out. To test the influence of different nutritional treatments on the variation in water behavior and anatomical characters, we performed a t-test, a multivariate analysis of variance (MANOVA), and a principal component analysis (PCA). We did not observe differences in leaf water behaviour, and in general, in the wood anatomical characteristics amongst individuals belonging to different treatments. To *M. peruiferum*, individuals belonging to the treatment of high nutrition showed thicker fiber walls, and for both species, we found higher amount of crystals in parenchymatic cells in the treatment of high nutrition. The influence of phylogeny in wood anatomical characters is shown by individuals of different species, regardless of the nutrition treatment, showing anatomical patterns clearly distinct. Moreover, species from secondary successional stages and non-pioneering species, as the ones in this study, do not show a remarkable phenotypic plasticity as a response to different concentration of nutrients in the soil.

**Keywords:** crystals in parenchymatic cells; ecological wood anatomy; leaf water potential; soil nutrition treatment; xylem anatomy.



## SUMÁRIO

|       |                                                                                                                                                  |    |
|-------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1     | INTRODUÇÃO .....                                                                                                                                 | 13 |
| 2     | REVISÃO DE LITERATURA .....                                                                                                                      | 18 |
| 2.1   | Anatomia ecológica do lenho.....                                                                                                                 | 18 |
| 2.2   | Comportamento hídrico foliar .....                                                                                                               | 18 |
| 2.3   | Nutrição do solo: um fator importante .....                                                                                                      | 19 |
| 2.4   | As espécies.....                                                                                                                                 | 20 |
| 2.4.2 | <i>Myroxylon peruiferum</i> L.f. ....                                                                                                            | 20 |
| 3     | MATERIAL E MÉTODOS .....                                                                                                                         | 22 |
| 3.1   | Espécies selecionadas .....                                                                                                                      | 22 |
| 3.2   | Tratamentos.....                                                                                                                                 | 22 |
|       | Nutrientes.....                                                                                                                                  | 23 |
| 3.4   | Obtenção dos dados.....                                                                                                                          | 24 |
| 3.5   | Análise dos dados.....                                                                                                                           | 26 |
| 4     | RESULTADOS.....                                                                                                                                  | 27 |
| 4.1   | Descrição anatômica do xilema secundário das espécies nos dois<br>tratamentos nutricionais.....                                                  | 27 |
| 4.1.2 | <i>Myroxylon peruiferum</i> L.f. ....                                                                                                            | 29 |
| 4.2   | Variação dos caracteres anatômicos e fisiológicos em resposta ao<br>tratamento nutricional.....                                                  | 31 |
| 4.2.1 | Variação no comportamento hídrico foliar.....                                                                                                    | 31 |
| 4.2.2 | Variação na anatomia e densidade do lenho .....                                                                                                  | 32 |
| 5     | DISCUSSÃO .....                                                                                                                                  | 40 |
| 5.1   | Os indivíduos não diferem em relação à anatomia do xilema secundário e<br>aocomportamento hídrico foliar entre os tratamentos nutricionais ..... | 40 |
| 5.2   | Caracterização anatômica das espécies estudadas em comparação com<br>aliteratura .....                                                           | 42 |
| 6     | CONCLUSÃO .....                                                                                                                                  | 43 |
|       | REFERÊNCIAS.....                                                                                                                                 | 45 |



## 1 INTRODUÇÃO

Ao longo de milhares de anos de evolução, as Angiospermas têm conquistado diversos habitats como resultado da adaptação de características anatômicas e fisiológicas das espécies às diferentes condições climáticas, edáficas e bióticas (Dickson, 2000). Nesse contexto, a anatomia ecológica é a área da botânica que investiga as relações entre adaptações anatômicas em resposta às pressões bióticas e abióticas que, conseqüentemente, levam a adaptações fisiológicas, as quais impactam a performance e sobrevivência das espécies em diferentes ambientes (Hacke et al., 2015).

O xilema secundário, popularmente conhecido como madeira, é composto por tipos celulares que são especializados em diferentes funções como de transporte de água, armazenamento e sustentação mecânica do vegetal, e estes diferentes tipos de células adaptam-se fenotipicamente às diferentes condições abióticas locais (Carlquist, 1977, 1985; Hacke & Sperry, 2001). Assim, existe uma enorme variedade anatômica nas madeiras das espécies de Angiospermas, as quais quando correlacionadas com as condições ambientais, provêm indícios acerca das estratégias favoráveis à sobrevivência das espécies em determinados ambientes. Anéis de crescimento, diâmetro e densidade dos vasos, espessura da parede das fibras, altura e largura dos raios, organização do parênquima axial e tamanho das pontoações intervasculares são referenciadas como características moldadas em resposta ao processo de evolução das espécies, bem como de adaptação às diferentes condições ambientais (Carlquist, 1966, 1988; Pfautsch et al., 2015; Pratt & Jacobsen, 2017).

Geralmente variações nessas características anatômicas ocorrem como respostas adaptativas dos indivíduos à disponibilidade hídrica como forma de obter melhor segurança na condução hidráulica, ou seja, maior segurança contra a formação de embolismos, em ambientes que sofrem restrições hídricas (Baas & Carlquist, 1985; Lindorf, 1994; Alves & Angyalossy-Alfonso, 2000, 2002; Gleason et al, 2015). Diminuição no comprimento dos elementos de vaso e no diâmetro dos vasos bem como um aumento na densidade e no agrupamento de vasos, diminuição no comprimento das fibras libriformes, aumento na espessura da parede da fibra e diminuição na abertura das pontoações intervasculares são características normalmente relatadas em espécies de ambientes com baixa disponibilidade hídrica

e maior aridez do solo, sendo, portanto, características ditas mais seguras contra a formação de embolismos (Carlquist, 1966; Lima et al., 2009; Lens, 2010, 2013).

Além das variações na anatomia do xilema, a densidade da madeira também responde às variações nas condições ambientais (Fajardo, 2018). Ela reflete a alocação de carbono estrutural em seus tecidos, levando à uma relação entre a quantidade de parede celular e o lúmen das células (Preston, 2006; Choat et al., 2007; Chaves, 2009). Assim, quanto mais parede celular é produzida, maior é a energia despendida pela planta para a fixação do carbono, maior a densidade da madeira e maior seu investimento em segurança hidráulica.

O transporte axial de água no xilema secundário ocorre sob pressão negativa, a qual é gerada por transpiração na epiderme das folhas, sendo transmitida por todo o sistema axial da planta, até as raízes, fazendo com que haja um fluxo ascendente do líquido, sob tensão (Tyree & Zimmermann, 2002). Tal transpiração é controlada pela abertura e fechamento dos estômatos, os quais são células epidérmicas modificadas, responsáveis pelas trocas gasosas entre a folha e a atmosfera. Sua abertura ocorre devido à absorção osmótica de água pelas células-guarda, aumentando assim a pressão hidrostática e o turgor; por outro lado, seu fechamento ocorre com a saída de água das células-guarda causando diminuição da pressão de turgor e relaxando assim suas paredes (Kerbaudy, 2008). No contexto de abertura e fechamento estomático, duas estratégias/comportamentos fisiológicos são conhecidos dentro da fisiologia vegetal: o comportamento isohídrico e o anisohídrico. Esses comportamentos podem variar ao longo de um determinado período e as espécies apresentam um comportamento em *continuum* entre isohídrico e anisohídrico (Martínez-Vilalta et al., 2014). De forma geral, as espécies isohídricas tendem a manter seu potencial hídrico estável ao longo do dia, ou seja, elas fecham os estômatos em resposta a uma pequena queda no potencial hídrico foliar, dando à planta uma maior segurança contra a perda de água e formação de embolismos. Já as espécies anisohídricas atingem valores mais negativos de potencial hídrico ao longo do dia, devido à planta permanecer com o estômato aberto por mais tempo, o que resulta em maior transpiração, taxa fotossintética e produtividade vegetal, mas em contrapartida, em menor segurança contra a formação de embolismos (Wu et al., 2020). As células do xilema que são mortas na maturidade não passam por alteração após sua diferenciação, o comportamento estomatal é o que prontamente responde às influências ambientais (Klein, 2014). Assim, espécies com anatomia do

xilema mais vulnerável à formação de embolismo, compensam tal vulnerabilidade alterando o comportamento fisiológico do estômato, tendendo a ter um comportamento anisohídrico (Martínez-Vilalta et al., 2014).

Os atributos fisiológicos e anatômicos (estruturais) apresentados pelas diferentes espécies de plantas do grupo das Angiospermas, dentre eles as características anatômicas do xilema e o comportamento hídrico foliar, definem a história de vida, demografia e sucesso ecológico das espécies nos diferentes ambientes (Reich, 2014). O efeito desses diferentes atributos apresenta respostas tanto em escala de indivíduo quanto de ecossistema. Assim, a adaptação, interação e resposta desses atributos definem um *continuum* de comportamento ecológico denominado *fast-slow*, de crescimento vs. sobrevivência (Wright et al. 2004; Reich, 2014). Em ambientes florestais tropicais, a nutrição do solo é o maior fator responsável pela modulação de estratégias *fast-slow* de crescimento vs. sobrevivência das espécies (Oliveira et al., 2021), uma vez que a disponibilidade hídrica nesses ambientes não é um fator limitante. Dessa forma, predominam em ambientes ricos em nutrientes, como por exemplo alta disponibilidade de nitrogênio e fósforo, espécies de rápido crescimento (*fast*); e em ambientes pobres em nutrientes, com escassez de nitrogênio, carbono e água, espécies de crescimento lento (*slow*) (Oliveira et al., 2021). As espécies com rápido crescimento geralmente possuem características anatômicas e fisiológicas que favorecem a eficiência na condução hidráulica como maior condutância estomática, maior taxa fotossintética e, conseqüentemente, vasos mais largos resultando em eficiência na condução hídrica (Zhang & Cao, 2009; Zhu et al., 2017). Além disso, são espécies que sofrem maior risco de mortalidade, pois requerem a construção de tecidos “caros” em relação à demanda nutricional de forma a sustentar as altas taxas de crescimento. Já espécies de crescimento lento possuem características que favorecem a segurança na condução e, portanto, apresentam características como maior densidade do lenho e vasos de menor diâmetro, o que resulta, conseqüentemente, em menor condutividade hidráulica, porém com maior segurança contra a formação de embolismos (Gleason et al., 2015). Maior densidade da madeira é, geralmente, característica de espécies de crescimento lento e que ocorrem em solos pobres em nutrientes (Bittencourt et al., 2016). Portanto, maior densidade da madeira é um atributo positivamente associado à sobrevivência e negativamente relacionado à taxa de crescimento da planta (Muller-Landau, 2004).

A maior parte dos estudos florestais focam no efeito da temperatura e precipitação na variação dos caracteres anatômicos (Gleason et al., 2015; Pfautsch et al., 2016; Pratt & Jacobsen, 2017), sendo ainda escassos aqueles que incluem a nutrição dos solos como fator indutor de variação nos caracteres anatômicos, e consequentemente, fisiológicos. Considerá-lo como tal para as respostas anatômicas e fisiológicas das plantas pode nos trazer melhor fundamentação e compreensão dos mecanismos de adaptação de indivíduos, além de ser essencial para que possamos prever as respostas das plantas em situações de estresse.

Assim, tendo a importância da nutrição dos solos no comportamento ecológico *fast-slow* das plantas, neste trabalho testamos a variação dos caracteres anatômicos do xilema secundário, bem como o comportamento fisiológico de plantas jovens das espécies *Cariniana legalis* (Mart.) Kuntze e *Myroxylon peruiferum* L.f., que cresceram em condições de baixa e alta disponibilidade de nutrientes. Sugerimos, então, a hipótese de que os indivíduos sujeitos à menor disponibilidade de nutrientes teriam comportamento isohídrico, ou seja, com maior regulação estomatal e prezando por segurança contra a formação de embolismos e características anatômicas de plantas de crescimento lento; em contrapartida, indivíduos sujeitos à maior disponibilidade de nutrientes teriam comportamento anisohídrico, ou seja, ficando com os estômatos abertos por mais tempo, investindo assim em eficiência na aquisição de nutrientes e fixação do carbono e apresentando características de plantas de crescimento rápido.

## 6 CONCLUSÃO

Não foi observado diferenças no comportamento hídrico foliar e, de modo geral, na anatomia quantitativa do xilema secundário de *Myroxylon peruiferum* e *Cariniana legalis* submetidas à tratamentos nutricionais distintos. Isso é possivelmente devido à ausência de diferença na disponibilidade hídrica entre os tratamentos, o qual acreditamos ser o fator principal na resposta adaptativa anatomo-fisiológica das espécies nos estágios de plântula. Além disso, as espécies estudadas são de grupo ecológico com característica secundária tardia e não pioneiras, as quais têm se mostrado com pouca resposta na variabilidade anatômica e de crescimento quando submetidas a diferentes doses nutricionais de solo.

A influência filogenética nos caracteres anatômicos nas duas espécies é bem clara, com *C. legalis* investindo em raios mais altos e largos, enquanto *M. peruiferum* investe em estrutura de parede celular com maior espessura de parede de fibras resultando em maior densidade da madeira. Esse investimento em produção de parede celular de *M. peruiferum* é observado como resposta às diferenças nutricionais do tratamento, com os indivíduos do tratamento de maior concentração apresentando maior espessura da parede das fibras.

A presença de maior quantidade de cristais nas células de parênquima nos indivíduos do tratamento de maior concentração nutricional é possivelmente uma resposta à maior concentração de cálcio.



## REFERÊNCIAS

- ALVES, E.S. & ANGYALOSSY-ALFONSO, V. 2000. **Ecological trends in the wood anatomy of some brazilian species. 1. Growth rings and vessels.** IAWA Journal 21(1): p. 3-30.
- ALVES, E.S. & ANGYALOSSY-ALFONSO, V. 2002. **Ecological trends in the wood anatomy of some brazilian species. 2. Axial parenchyma, rays and fibres.** IAWA Journal 23(4): p. 391-418.
- ANDEREGG, W.R.L. et al. 2015. **Pervasive drought legacies in forest ecosystems and their implications for carbon cycle models.** Science, 349 (6247): p. 528-532.
- CHASE, M. W. et al. 2016. **An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV.** Botanical journal of the Linnean Society, 181(1): p. 1-20.
- BAAS, P. & CARLQUIST, S. 1985. **A comparison of the ecological wood anatomy of the floras of Southern California and Israel.** IAWA Journal, 6(4): p. 349-353.
- BARGHOORN, E.S Jr. 1940. **The ontogenetic development and phylogenetic specialization of rays in the xylem of dicotyledons. I. The primitive ray structure.** American Journal of Botany, 27: 918-928.
- BARGHOORN, E.S Jr. 1941. **The ontogenetic development and phylogenetic specialization of rays in the xylem of dicotyledons. II. Modification of the multiseriate and uniseriate rays.** American Journal of Botany, 28: 273-282.
- BITTENCOURT, P.R., PEREIRA L., OLIVEIRA R.S. 2016. **On sylem hydraulic efficiencies, wood space-use and the safety-efficiency tradeoff.** New Phytologist 211: p. 1152-1155.
- BRANDES, A.F. et al. 2020a. **Macroscopic wood identification key for AtlanticForest species. Chave de identificação macroscópica de madeiras da MataAtlântica.**
- BRANDES, A. et al. 2020b. **Wood anatomy of endangered Brazilian tree species.** IAWA Journal, 41(4): p. 510-576.
- BUCCI, S.J. et al. 2008. **Water relations and hydraulic architecture in Cerrado trees: adjustments to seasonal changes in water availability and evaporative demand.** BRAZILIAN JOURNAL OF PLANTPHYSIOLOGY, 20(3): p. 233-245.
- BUKATSCH, F. 1972. **Bemerkungen zur doppelfärbung astrablau-safranin.** Mikrokosmos 61: p. 33-36.
- CARLQUIST, S.; HOEKMAN, D. A. 1985. **Ecological wood anatomy of the woody southern Californian flora.** IAWA Bulletin, Utrecht. 6(4): p. 319-347.
- CARLQUIST, S. 1966. **Wood anatomy of Compositae: a summary, with comments on factors controlling wood evolution.** Aliso, 6(2): p. 25-44.
- CARLQUIST, S. 1977. **Ecological factors in wood evolution, a floristic approach.** American Journal of Botany, 6: p. 887-896.

- CARLQUIST, S. 1988. **Comparative wood anatomy**. Berlin: Springer Verlag.
- CHATTAWAY, M.M. 1955. **The anatomy of bark. VI. Peppermints, boxes, ironbarks, and other eucalypts with cracked and furrowed barks**. Australian Journal of Botany 3, 170-176.
- CHAVES, J. et al. 2009. **Towards a worldwide wood economics spectrum**. Ecology letters 12: p. 351-366.
- CHOAT, B., COBB, A.R.; JANSEN, S. 2007. **Structure and function of bordered pits: new discoveries and impacts on whole-plant hydraulic function**. New Phytologist 177: p. 608-626.
- DICKSON, W.C. 2000. **Integrative plant anatomy**. San Diego: Academic press.
- DURIGAN, G. & NOGUEIRA, J. C. B. **Recomposição de matas ciliares. São Paulo: Instituto Florestal**, 1990. 14 p. (IF. Série registros, 4).
- FAJARDO, A. 2018. **Insights into intraspecific wood density variation and its relationship to growth, height and elevation in a treeline species**. Plant biology 20: p. 456-464.
- FRANCESCHI, V.R. & HORNER, H.T. 1980. **A microscopic comparison of calcium oxalate crystal idioblasts in plant parts and callus cultures of Psychotria punctata Vatke (Rubiaceae)**. Z. Pflanzenphysiol 97: p. 449-455.
- FRANCESCHI, V.R. & NAKATA, P.A. 2005. **Calcium Oxalate in Plants: Formation and Function**. Annual Review of Plant Biology 5: p.641-671.
- GLEASON, S.M. et al. 2015. **Weak tradeoff between xylem safety and xylem-specific hydraulic efficiency across the world's woody plant species**. New Phytologist 209: p.123-136.
- HACKE U.G. & SPERRY, J.S. 2001. **Functional and ecological xylem anatomy**. Urban & Fischer Verlag 4(2): p.97-115.
- HACKE, U.G, et al. 2015. **Functional and Ecological Xylem Anatomy**. USA: Ed.Springer.
- HARRITT, M. M.; JESUS, R. M. de. Ecology of four hardwood species of the atlantic forest of Brazil. Raleigh: North Carolina State University; Linhares: Reserva Florestal da CVRD, 1987. 29 p. Mimeografado.
- HILBE, J.M. 2011. **Negative Binomial Regression**. Psychometrika, 77: p. 611-612. IAWA COMMITTEE. 1989.
- IAWA list of microscopic features for hardwood identification**. IAWA Bulletin n.s., 10(3): p. 219-332.
- JOHANSEN, D. A. 1940. **Plant Microtechnique**. New York: McGraw Hill, p. 528.
- KERBAUY, G.B. 2012. **Fisiologia vegetal**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan.

- KLEIN, T. 2014. **The variability of stomatal sensitivity to leaf water potential across tree species indicates a continuum between isohydric and anisohydric behaviours.** *Functional ecology*, 28: p. 1313-1320.
- LAMBERS, H. & POORTER, H. 1992. **Inherent Variation in Growth Rate Between Higher Plants: A Search for Physiological Causes and Ecological Consequences.** *Physiology and ecology of growth rate variation*, 34: p. 187-261.
- LENS, F. et al. 2007. **A search for phylogenetically informative wood characters within Lecythidaceae s.l.** *American Journal of Botany*, 94: p. 483–502.
- LENS, F. et al. 2010. **Testing hypotheses that link wood anatomy to cavitation resistance and hydraulic conductivity in the genus *Acer*.** *New Phytologist*, 190: p.709-723.
- LENS, F. et al. 2013. **Embolism resistance as a key mechanism to understand adaptive plant strategies.** *Elsevier*, 16: 287-292.
- LIMA, R.S.; OLIVEIRA, P.L. & RODRIGUES, L.R. 2009. **Anatomia do lenho de *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong (Leguminosae-Mimosoideae) ocorrente em dois ambientes.** *Revista Brasileira de Botânica*. 32(2): p. 361-374.
- LINDORF, H. 1994. **Eco-anatomical wood features of species from a very dry tropical forest.** *IAWA Journal*, Leuven, 15(4): p. 361-376.
- LORENZI, H. 1992. **Árvores Brasileiras - Manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil.** Nova Odessa: Plantarum Ltda.
- MARTINÉZ-VILALTA, J. et al. 2014. **A new look at water transport regulation in plants.** *New phytologist*, 204: p. 105-115.
- MCDOWELL, N. et al. 2017. **Drivers and mechanisms of tree mortality in moist tropical forests.** *New phytologist*, 219, p. 851–869.
- MULLER-LANDAU, H.C. 2004. **Interspecific and inter-site variation in wood specific gravity of tropical trees.** *Biotropica*, 36(1): p. 20-32.
- NARDI B.R. & ELDMANN A.M.L. 1992. **Legnami tropicali importati in Italia: anatomia e identificazione.** Vol. II. America Latina. Firenze: CNR.
- OLIVEIRA, R.S. et al. 2021. **Linking plant hydraulics and the fast-slow continuum to understand resilience to drought in tropical ecosystems.** *New Phytologist*, 0: p. 904-923.
- ONYENEDUM, J.G. & PACE M.R. 2021. **The role of ontogeny in wood diversity and evolution.** *American Journal of Botany*, 108: 2331-2355.
- PFAUTSCH, S.; HOLTTE, T.; MENCUCCINI, M. 2015. **Hydraulic functioning of tree stems-fusing ray anatomy, radial transfer and capacitance.** *Tree Physiology*, 35: p.106-122.
- PFAUTSCH, S. et al. 2016. **Climate determines vascular traits in the ecologically diverse genus *Eucalyptus*.** *Ecology Letters*, 19 (3): p. 240-248.
- PRATT, R.B. & JACOBSEN, A.L. 2017. **Conflicting demands on angiosperm**

**xylem: Tradeoffs among storage, transport and biomechanics.** Plant, Cell and Environment, 40: p. 897-913.

PRYCHID, C.J. & RUDALL, P.J. 1999. **Calcium Oxalate Crystals in Monocotyledons: A Review of Their Structure and Systematics.** Annals of Botany, 84: p. 725-739.

PIVOVAROFF, A.L.; COOK, V.M.W.; SANTIAGO, L.S. 2018. **Stomatal behaviour and stem xylem traits are coordinated for woody plant species under exceptional drought conditions.** Plant, Cell & Environment, p. 1-10.

PRESTON, K. A.; CORNWELL, W.K.; DENOYER, J.L. 2006. **Wood density and vessel traits as distinct correlates of ecological strategy in 51 California coastal angiosperms.** New Phytologist, 170: p. 807-818.

QUESADA, C.A. et al. 2012. **Basin-wide variations in Amazon forest structure and function are mediated by both soils and climate.** Biogeosciences, 9: p. 2203–2246.

REICH, P.B. 2014. **The world-wide “fast-slow” plant economics spectrum: a traits manifesto.** Journal of Ecology, 102: p. 275-301.

RESENDE, A.V. et al. 1999. **Crescimento inicial de espécies florestais de diferentes grupos sucessionais em resposta a doses de fósforo.** Pesquisa Agropecuária Brasileira 34(11): p. 2071-2081.

SCHOLZ, A. et al. 2013. **How to quantify conduits in wood?** Frontiers in Plant Science, 4: p. 1-11.

SILVA, I.R. et al. 1997. **Crescimento inicial de quatorze espécies florestais nativas em resposta à adubação potássica.** Pesquisa Agropecuária Brasileira 32(2): p. 205-212.

SUNELL, L.A. & HEALY, P.L. 1979. **Distribution of calcium oxalate idioblasts in roots of taro (*Colocasia esculenta*).** American Journal of Botany 66: p. 1029- 1032.

TURNER, N.C. 1981. **Techniques and experimental approaches for the measurement of plant water status.** Plant and Soil, 58: p. 339-366.

TYREE, M.T.; ZIMMERMANN, M.H. 2002. **Xylem Structure and the Ascent of Sap.** USA: Springer.

WOODRUFF, D.R., MEINZER, F.C., MCCULLOH, K.A. 2016. Forest canopy hydraulics. In: Hikosaka, K., Niinemets, U., Anten, N.P.R. (Eds.), Canopy Photosynthesis: from Basics to Applications. Springer Dordrecht, New York London, p. 187–218.

WRIGHT, I.J. et al. 2004. **The worldwide leaf economics spectrum.** Nature 428: p. 821-827.

WU, G. et al. 2020. **Interannual variability of ecosystem iso /aniso/hydry is regulated by environmental dryness.** New Phytologist, 229: p. 2561-2575.

ZHANG J.L., CAO K.F. 2009. **Stem hydraylics mediates leaf water status, carbon gain, nutrient use efficiencies and plant growth rates across dipterocart species.** Functional Ecology, 23: p. 658-667.

ZHU S.D., CHEN Y.J., FU P.L., CAO K.F. 2017. **Different hydraulic traits of woody plants from tropical forests with contrasting soil water availability.** Tree Physiology, 37: 1469-1477.