

**Universidade de São Paulo  
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Aspectos morfofisiológicos da copa e do sistema radicular de espécies de  
*Eucalyptus* e *Corymbia* com diferentes tolerâncias à deficiência hídrica**

**Patrícia Andressa de Ávila**

Tese apresentada para obtenção do título de Doutora em  
Ciências, Programa: Recursos Florestais. Opção em:  
Silvicultura e Manejo Florestal

**Piracicaba  
2020**

**Patrícia Andressa de Ávila**  
**Engenheira Florestal**

**Aspectos morfofisiológicos da copa e do sistema radicular de espécies de *Eucalyptus* e *Corymbia* com diferentes tolerâncias à deficiência hídrica**

Versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:  
Prof. Dr. **JOSÉ LEONARDO DE MORAES GONÇALVES**

Tese apresentada para obtenção do título de Doutora em Ciências, Programa: Recursos Florestais. Opção em: Silvicultura e Manejo Florestal

**Piracicaba**  
**2020**



**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
DIVISÃO DE BIBLIOTECA – DIBD/ESALQ/USP**

Ávila, Patrícia Andressa de

Aspectos morfofisiológicos da copa e do sistema radicular de espécies de *Eucalyptus* e *Corymbia* com diferentes tolerâncias à deficiência hídrica / Patrícia Andressa de Ávila. -- versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. -- Piracicaba, 2020.

105 p.

Tese (Doutorado) - - USP / Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”.

1. Déficit hídrico 2. Morfofisiologia 3. Raízes finas 4. Plantios florestais I. Título

## RESUMO

### **Aspectos morfofisiológicos da copa e do sistema radicular de espécies de *Eucalyptus* e *Corymbia* com diferentes tolerâncias à deficiência hídrica**

A maioria das plantações comerciais florestais no Brasil é composta por espécies e híbridos de *Eucalyptus* e *Corymbia* que têm se expandido para regiões com diferentes características de regime pluviométrico, temperatura e sazonalidade climática. O déficit hídrico (DH) é um dos principais fatores que limitam o crescimento e a produção das espécies. O objetivo desse estudo foi avaliar os aspectos morfológicos e fisiológicos da copa e do sistema radicular, bem como produção de folheto e distribuição de nutrientes na planta, de espécies de *Eucalyptus* e *Corymbia* com diferentes tolerâncias ao déficit hídrico. Este estudo foi conduzido na Estação Experimental de Ciências Florestais de Itatinga – SP, Esalq-USP. O experimento possui seis tratamentos, cada um composto por uma espécie com um nível de tolerância hídrica (*E. grandis* e *E. urophylla*, baixa tolerância; *E. cloeziana* e *C. citriodora*, tolerância intermediária; *E. camaldulensis* e *E. brassiana*, alta tolerância). Para cada espécie foi instalada uma parcela experimental, lado a lado, sob um mesmo extrato climático (Cwa) e tipo de solo (Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico típico de textura média). No primeiro capítulo foi avaliada a produtividade e alguns aspectos morfofisiológicos da copa das espécies. Quanto maior a tolerância ao déficit hídrico, menor o crescimento volumétrico e de massa da espécie. Entretanto, espécies mais tolerantes possuem menor área e índice de foliar, densidade estomática e potencial hídrico foliar. No segundo capítulo foi avaliado o sistema radicular das espécies. Independentemente da espécie, houve predominância de raízes finas na camada de 0-30 cm do solo e, ao mesmo tempo, diminuição do sistema radicular com o aumento da idade. O *E. camaldulensis* apresentou maior comprimento radicular acumulado, enquanto o *E. brassiana* obteve maior comprimento e área radicular específica no perfil do solo. Espécies com baixa e intermediária tolerância ao DH apresentaram raiz pivotante com maior e menor ramificações laterais. Espécies mais tolerantes ao DH apresentaram várias raízes grossas e média verticalizadas sem raiz pivotante definida. Finalmente, procurou-se investigar a produção sazonal de folheto e distribuição de nutrientes nas espécies (terceiro capítulo). Foi observado que no período chuvoso as espécies mais tolerantes ao déficit hídrico, *C. citriodora*, *E. camaldulensis* e *E. brassiana*, apresentaram maior teor de B no folheto. Essas espécies demonstraram maiores teores de N, Ca, Cu e Zn e menor teor de S na raiz e menor estoque de N e P na folha. O *E. camaldulensis* teve maior estoque de K nas folhas e raiz, e mais Ca na casca no primeiro ano pós-plantio.

Palavras-chave: Déficit hídrico, Morfofisiologia, Raízes finas, Plantios florestais

## ABSTRACT

### **Aerial and root morphophysiological aspects of *Eucalyptus* and *Corymbia* species with different water deficit tolerances**

The majority of commercial forest plantations in Brazil are composed of *Eucalyptus* and *Corymbia* species and its hybrids that spans for regions with different rainfall, temperature and climatic seasonality. Water deficit may limit tree growth and yield. This study aimed to evaluate aerial and root morphophysiological aspects, as well as leaf production and distribution of nutrients in the plant, for *Eucalyptus* and *Corymbia* species with different water deficit tolerances (*E. grandis* and *E. urophylla*, low tolerance; *E. cloeziana* and *C. citriodora*, intermediate tolerance; *E. camaldulensis* and *E. brassiana*, high tolerance). The experiment was located at Itatinga Forest Science Experimental Station, Itatinga-SP, Brazil. There was one experimental plot for specie, side by side, under the same climate (Cwa) and soil (typical dystrophic Red-Yellow Latosol with medium texture). In the first chapter, productivity and some morphophysiological aspects of species were evaluated. The greater the tolerance to water deficit, the lower the volumetric and mass growth for all species. However, more tolerant species had less leaf area, leaf area index, stomatal density and leaf water potential. In the second chapter, the root system of the species was assessed. Regardless of the species, fine root predominates in the 0-30 cm soil layer and, at the same time, as the trees aged, tree root systems decreases. *E. camaldulensis* had higher accumulated root length in the soil profile, while *E. brassiana* has higher length and specific root area. Species with low and intermediate tolerance to water deficit had a taproot well defined with more and less lateral root ramifications. Species more tolerant to water deficit had several thick and medium vertical roots without a defined taproot. Finally, in the third chapter, seasonal production of leaf litter and distribution of nutrients in the species was investigated. It was observed that in the rainy season, species more tolerant to water deficit, *C. citriodora*, *E. camaldulensis* and *E. brassiana*, had a higher leaf B content. These species showed higher levels of N, Ca, Cu and Zn and lower content of S in roots and lower N and P stock in leaves. *E. camaldulensis* had a higher K stock in the leaves and roots, and more Ca in the bark after first year.

Keywords: Water deficiency, Morphophysiology, Fine roots, Forest plantations

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

O setor florestal brasileiro alcançou níveis históricos de exportação de produtos florestais no ano de 2018, com crescimento de 13,1% no país em relação a 2017, sendo que dos 7,83 milhões de hectares de florestas plantadas, 5,7 milhões são compostas por eucaliptos (espécies e híbridos de *Eucalyptus* e *Corymbia*) (IBA, 2019). A maior concentração das florestas plantadas estão no Sul e Sudeste brasileiro onde as principais indústria de celulose, papel, painéis de madeira e aço estão localizadas. Entretanto, devido ao alto valor das terras nessas regiões, os plantios florestais no país estão avançando para as “novas fronteiras florestais” (ex. Mato Grosso do Sul, Maranhão, Piauí e Tocantins) (GONÇALVES et al., 2013), as quais possuem diferentes características de regime pluviométrico, temperatura e sazonalidade climática.

Em regiões tropicais, um dos principais fatores para a seleção de genótipos é a tolerância a seca (GONÇALVES et al., 2013). O déficit hídrico causa grandes impactos na floresta, comprometendo a divisão celular e reduzindo a produtividade e tamanho da planta, podendo ocorrer mortalidade durante períodos mais severos de restrição hídrica (KIM et al., 2017). Assim, entender os processos chaves que controlam o crescimento e uso da água pelas árvores é importante para alcançar os objetivos de manejo sem aumentar o consumo de água da floresta (GONÇALVES et al., 2017).

O *Eucalyptus grandis*, *E. urophylla*, *E. cloeziana*, *Corymbia citriodora*, *E. camaldulensis* e *E. brassiana* apresentam diferentes níveis de tolerâncias ao déficit hídrico (SOUZA e COLLICHIO, 2013; GONÇALVES et al., 2013). Essas espécies têm sido consideradas na composição de híbridos em programas de melhoramento para ambientes com restrição hídrica no Brasil (ASSIS et al., 2015). Para a composição de híbridos para essas regiões têm sido considerados a sobrevivência e o crescimento da planta na seleção indireta de espécies para a composição de híbridos pra essas regiões, já que os caracteres fisiológicos são mais difíceis de serem mensurados (ASSIS et al., 2015). Entretanto, atributos morfofisiológicos da parte aérea e radicular da planta são importantes para a caracterização de espécies favoráveis aos programas de melhoramento genético para regiões com déficit hídrico.

Por exemplo, a relação da biomassa de folhas e raízes fornece uma indicação da relação fonte-dreno de fotoassimilados para diferentes genótipos. Quando comparados com espécies menos tolerantes ao déficit hídrico, genótipos mais tolerantes à ambientes com restrições hídricas possuem menor índice de área foliar para investir na produção de raízes, principalmente, raízes finas (PINHEIRO et al., 2016). A redução da área foliar em períodos

secos (PITA e PARDOS, 2001; LE MAIRE et al., 2011) e a menor densidade estomática são formas de proteção da planta em condições de estresse hídrico porque diminuem a transpiração foliar da planta (HAMAMISHI et al., 2012). Essas são, por exemplo, estratégias desejáveis para programas de melhoramento de genótipos tolerantes a ambientes com déficit hídrico.

Existem atributos do sistema radicular que influenciam na habilidade da árvore de competir por recursos em regiões com pequena disponibilidade de água, nutrientes, ar e espaço para seu desenvolvimento (GONÇALVES e MELLO, 2000; FLORENCE, 2007). A estrutura do sistema radicular, distribuição de raízes finas e habilidades fisiológicas de absorção de água e nutrientes são alguns desses atributos (COMEFORD et al., 2006). Dependendo da espécie, a planta pode possuir adaptações estruturais para a manutenção da homeostasis hídrica, como por exemplo, aumentar a área radicular em profundidade no solo para maximizar a absorção de água (GONÇALVES et al., 2013; TAIZ et al. 2017).

Devido ao rápido crescimento e sucessivas rotações das florestas de eucaliptos pode ocorrer o esgotamento do estoque de nutrientes do solo (LACLAU et al., 2005), existindo importantes fatores econômicos envolvidos na manutenção de altas produtividades dessas plantações (SILVA et al., 2013). Desta forma, conhecer e quantificar as entradas e saídas de nutrientes na rotação das espécies é importante para guiar a adequada fertilização e assegurar a sustentabilidade do ecossistema, principalmente em regiões de déficit hídrico.

Assim, o objetivo geral dessa tese foi avaliar alguns aspectos morfológicos e fisiológicos da copa e do sistema radicular, bem como produção de folheto e distribuição de nutrientes na planta, de espécies de *Eucalyptus* e *Corymbia* com diferentes tolerâncias ao déficit hídrico. Essas informações poderão ser utilizadas como critério para a seleção de genótipos propensos a serem utilizados para regiões com diferentes disponibilidades hídricas.

## Referências

- ASSIS, T. F.; ABAD, J. I. M. Melhoramento genético do eucalipto. In. SCHUMACHER, M. V.; VIEIRA, M. **Silvicultura do Eucalipto no Brasil**. Santa Maria, Editora ufms, 2015. 308 p.
- COMEFORD, N. B.; CROPPER, W. P.; HUA, L.; SMETHURST, P. J.; VAN REES, K.; JOKELA, E. J.; ADÉGBIDI, H.; BARROS, N. F. Modeling soil supply and plant nutrient demand. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 86, p. 665-673, 2006.
- FLORENCE, R. G. Ecology and Silviculture of Eucalypt Forests. **CSIRO**, Australia, p. 79-106, 2007.



- IBA, 2019. Indústria Brasileira de Árvores. **Relatório IBA 2018**. 2018, 80 p.
- KIM, K.; WANG, M. C.; RANJITKAR, S.; LIU, S. H.; XU, J. C.; ZOMER, R. J. Using leaf area index (LAI) to assess vegetation response to drought in Yunnan province of China. **Journal of Mountain Science**, v. 14, n. 9, p. 1863-1872, 2017.
- GONÇALVES, J. L. M.; ALVARES, C. A.; ROCHA, J. H. T.; BRANDANI, C. B.; HAKAMADA, R. Eucalypt plantation management in regions with water stress. **Southern Forests: Journal of Forest Science**, v. 79, n. 3, p. 169-183, 2017.
- GONÇALVES, J.L.M.; ALVARES, C. A.; HIGA, A. R.; SILVA, L. D.; ALFENAS, A. C.; STAHL, J.; FERRAZ, S. F. B.; LIMA, W. P.; BRANCALION, P. H. S.; HUBNER, A.; BOUILLET, J. P. D.; LACLAU, J. P.; NOUVELLON, Y.; EPRON, D. Integrating genetic and silvicultural strategies to minimize abiotic and biotic constraints in Brazilian eucalypt plantations. **Forest Ecology and Management**, v.301, p.6-27, 2013.
- GONÇALVES, J. M. L.; MELLO, S. L. M. The root system of trees. In: Gonçalves, J. L. M.; Benedetti, V. **Forest Nutrition and Fertilization**. Piracicaba IPEF, 2000. 427p.
- HAMAMISHI, E. T.; THOMAS, B. R.; CAMPBELL, M. M. Drought induces alterations in the stomatal development program in *Populus*. **Journal of Experimental Botany**, v. 63, p. 4959-4971, 2012.
- LACLAU, J.-P.; RANGER, J.; DELEPORTE, P.; NOUVELLON, Y.; SAINT-ANDRÉ, L.; MARLET, S.; BOUILLET, J.-P. Nutrient cycling in a clonal stand of *Eucalyptus* and an adjacent savanna ecosystem in Congo. Input–output budgets and consequences for the sustainability of the plantations. **Forest Ecology and Management**, v. 210, p. 375–391, 2005.
- LE MAIRE, G.; MARSDEN, C.; HERHOEF, W.; PONZONI, F. J.; LO SEEN, D.; BÈGUÉ, A.; STAPE, J. L.; NOUVELLON, Y. Leaf area index estimation with MODIS reflectance time series and model inversion during full rotations of *Eucalyptus* plantations. **Remote Sensing of Environment**, v. 115, p. 586-599, 2011.
- PINHEIRO, R. C.; DEUS JR., J. C.; NOUVELLON, Y.; CAMPOE, O. C.; STAPE, J. L.; ALÓ, L. L.; GUERRINI, I. A.; JOURDAN, C.; LACLAU, J. P. A fast exploration of very deep soil layers by *Eucalyptus* seedling and clones in Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 366, p. 143-152, 2016.
- PITA, P.; PARDOS, J. A. Growth, leaf morphology, water use and tissue water relations of *Eucalyptus globulus* clones in response to water deficit. **Tree Physiology**, v. 21, p. 599-607, 2001.
- SILVA, P. H. M.; POGGIANI, F.; LIBARDI, P. L.; GONÇALVES, A. N. Fertilizer management of eucalypt plantations on sandy soil in Brazil: Initial growth and nutrient cycling. **Forest Ecology and Management**, v. 301, p. 67-78, 2013.

SOUZA, O. M. M.; COLLICCHIO, E. Zoneamento edafoclimático para a cultura do eucalipto (*Eucalyptus* spp) no Estado do Tocantins. In: **9º Seminário de Iniciação Científica da UFT**, v.5, 2013.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 858 p.

## 2. CAPÍTULO 1 – PRODUTIVIDADE E ASPECTOS FISIOLÓGICOS DE ESPÉCIES DE *Eucalyptus* E *Corymbia*

### RESUMO

A maioria das plantações comerciais florestais no Brasil é composta por espécies e híbridos de *Eucalyptus* e *Corymbia* que têm se expandido para regiões sujeitas ao estresse hídrico. Este é um dos principais fatores que limita a produtividade florestal. As árvores desenvolveram ao longo do tempo mecanismos para suportar períodos de restrições hídricas. Esses mecanismos podem estar relacionados a mudanças nas características foliares. Assim, o objetivo deste estudo foi avaliar a produtividade e alguns aspectos morfológicos e fisiológicos de espécies de *Eucalyptus* e *Corymbia* com diferentes tolerâncias ao déficit hídrico (*E. grandis* e *E. urophylla*, baixa tolerância; *E. cloeziana* e *C. citriodora*, tolerância intermediária; *E. camaldulensis* e *E. brassiana*, alta tolerância). O experimento está localizado na Estação Experimental de Ciências Florestais de Itatinga-SP, Brasil. Para cada espécie, foi instalado uma parcela experimental, lado a lado, sob um mesmo extrato climático (Cwa) e tipo de solo (Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico típico de textura média). Foram avaliados a produtividade de madeira, a área foliar específica, o índice de área foliar, a densidade e o tamanho de estômato e o potencial hídrico foliar das espécies. As espécies menos tolerantes ao déficit hídrico apresentaram maior crescimento volumétrico e de massa e maior índice de área foliar quando comparado às espécies mais tolerantes à seca. Estas espécies diminuíram em 20% a área foliar com a idade. O *E. grandis*, o *E. urophylla* e o *E. cloeziana* apresentaram em média densidade estomática 39% maior na face abaxial da folha que o *C. citriodora*, o *E. camaldulensis* e o *E. brassiana*. O *E. cloeziana*, espécie com maior densidade estomática, apresentou menor comprimento e diâmetro do estômato na face abaxial da folha. O potencial hídrico foliar foi menor nas árvores de *E. camaldulensis* e o *E. brassiana*.

Palavras-chave: tolerância, morfofisiologia, deficiência hídrica, plantios florestais, melhoramento genético

## PRODUCTIVITY AND PHYSIOLOGICAL ASPECTS OF *Eucalyptus* AND *Corymbia* SPECIES

### ABSTRACT

Most of the commercial forest plantations in Brazil are composed of eucalyptus species and hybrids of *Eucalyptus* and *Corymbia*, which have expanded to regions subject to water deficit. This is one of the main factors that limit tree growth and yield. These mechanisms may cause lower planting productivity. Trees have developed mechanisms to withstand periods of water restrictions along time. These mechanisms may be related to changes in leaf features. Thus, this study aimed to evaluate the productivity, morphological and physiological aspects of *Eucalyptus* and *Corymbia* species with different water deficit tolerances (*E. grandis* and *E. urophylla*, low tolerance; *E. cloeziana* and *C. citriodora*, intermediate tolerance; *E. camaldulensis* and *E. brassiana*, high tolerance). The experiment was located at Itatinga Forest Science Experimental Station, Itatinga-SP, Brazil. There was installed one plot for species, side by side, under the same climate (Cwa) and soil (typical dystrophic Red-Yellow Latosol with medium texture). Productivity, specific leaf area, leaf area index, density and size of stomata, and leaf water potential of the species were evaluated. Species less tolerant to water deficit showed higher growth in volume and biomass and higher leaf area index when compared to more-tolerant species, which showed a decrease 20% of foliar area with age. *E. grandis*, *E. urophylla* and *E. cloeziana* had 39% higher stomatal density on the abaxial leaf surface than *C. citriodora*, *E. camaldulensis* and *E. brassiana*. *E. cloeziana*, specie with the highest stomatal density, had the shortest stoma length and diameter on the abaxial leaf surface. *E. camaldulensis* and *E. brassiana* presented lower leaf water potential. Regardless of the species, fine roots predominate in the 0-30 cm soil layer and, at the same time, root systems decrease as the tree ages. *E. camaldulensis* had higher accumulated root length in soil profile, while *E. brassiana* had higher length and specific root area. Species with low and intermediate water deficit tolerance well defined taproot with more and less lateral root ramifications, respectively. Species more tolerant to water deficit have several thick and medium vertical roots with undefined taproot.

Keywords: tolerance, morphophysiology, water deficiency, forest plantations, forest breeding

## 2.1 Introdução

A maioria das plantações comerciais florestais no Brasil é composta por eucaliptos (espécies e híbridos de *Eucalyptus* e *Corymbia*), devido à alta produtividade e características desejáveis da madeira (GONÇALVES et al., 2004; GONÇALVES et al., 2013). Tais plantações têm se expandido para regiões sujeitas ao estresse hídrico, sendo esse um dos principais fatores que limitam o crescimento e a produção das espécies (OTTO et al., 2016). Segundo Gonçalves et al. (2017), um dos maiores desafios do setor florestal nas próximas décadas será a adaptação de genótipos às mudanças no clima e em condições de estresse hídricos mais longos, principalmente, em regiões brasileiras com novas plantações florestais.

Alterações morfológicas e fisiológicas como mudanças na estrutura da planta, taxa de crescimento e eficiência do uso da água, são algumas respostas adaptativas das plantas ao déficit hídrico (JONES, 1992). Por exemplo, os valores de área foliar específica (área da superfície da folha pela unidade de massa) tendem a ser menores em sítios com condições mais áridas do que quando comparado a plantações bem supridas hidrológicamente (WHITEHEAD e BEADLE, 2004).

A taxa fotossintética do povoamento é fortemente dependente da estrutura da floresta e das propriedades fisiológicas das folhas (SANDS, 1996), pois esses fatores interferem na interceptação da radiação e na eficiência da realização da fotossíntese pelas árvores. Plantações com maiores valores de área foliar normalmente resultam em maior assimilação de carbono e maior interceptação de radiação e água da chuva. Assim, em áreas com déficit hídrico, uma alternativa seria o uso de genótipos e práticas silviculturais que resultassem em menor índice de área foliar do povoamento (GONÇALVES et al., 2017). Alguns autores destacam que a redução da área foliar em períodos secos é uma estratégia intrínseca de genótipos tolerantes a esses ambientes, sendo essa característica desejável para programas de melhoramento (PITA e PARDOS, 2001; LE MAIRE et al., 2011).

As características foliares estão relacionadas à tolerância da planta ao déficit hídrico, ou seja, maior área foliar normalmente resulta em maior assimilação de carbono pela planta, conseqüentemente, maior transpiração (GONÇALVES et al., 2017). O índice de área foliar (IAF) é definido pela projeção da área foliar por unidade de área do solo e é um forte indicador da produção primária líquida do sítio, sendo utilizado em vários modelos para prever o crescimento da floresta (SMETHURST et al., 2003). A produtividade florestal é fortemente dependente da taxa de desenvolvimento do IAF, sendo os valores desse índice maiores em sítios bem manejados e supridos hidrológicamente (WHITEHEAD e BEADLE, 2004). Os valores do

IAF diminuem com o aumento do déficit hídrico e altas temperaturas (WHITEHEAD e BEADLE, 2004). Nouvellon et al. (2010), avaliando plantações de *Eucalyptus* Congo, encontraram que o IAF apresentou comportamento sazonal, tendo menores valores no final da estação seca e maiores valores no final da estação chuvosa.

A densidade estomática é outra característica importante. O menor número de estômatos por área da folha é uma forma de proteção em condições de estresse hídrico, diminuindo a transpiração foliar da planta (HAMAMISHI et al., 2012). Otto (2015), estudando oito clones de eucaliptos de diferentes regiões geográficas e climáticas no Brasil – três sensíveis ao estresse hídrico (*E. urophylla* x *E. grandis*), três tolerantes (*E. urophylla* e *E. urophylla* x *E. tereticornis*) e dois plásticos (*E. urophylla* e *E. grandis* x *E. camaldulensis*) – encontrou que todos os clones aumentaram o número de estômatos e reduziram a espessura foliar após períodos de estresse hídrico.

As árvores desenvolveram ao longo do tempo mecanismos para suportar períodos de restrições hídricas, os quais podem resultar em menor produtividade do plantio. Estes mecanismos podem estar relacionados a mudanças nas características morfofisiológicas da planta. Assim, o objetivo deste estudo foi avaliar as diferenças morfológicas e fisiológicas entre espécies de *Eucalyptus* e *Corymbia* com diferentes tolerâncias ao déficit hídrico. Essas informações poderão ser utilizadas como critério para a seleção de genótipos para regiões com diferentes disponibilidades hídricas.

## 2.2 Conclusões

As espécies menos tolerantes ao DH apresentaram maiores crescimentos volumétrico e gravimétrico comparativamente às espécies mais tolerantes do DH. Estas espécies também diminuíram suas áreas foliares com a idade.

O *E. grandis*, *E. urophylla* e *E. cloeziana* apresentaram maior densidade estomática na face abaxial da folha e, as espécies mais tolerantes ao DH, *C. citriodora*, *E. camaldulensis* e *E. brassiana*, menor número de estômatos por área foliar.

O *E. cloeziana*, espécie com maior densidade estomática, apresentou menor comprimento e diâmetro do estômato na face abaxial da folha.

O *E. camaldulensis* e o *E. brassiana* foram as espécies em que se mediu os menores valores de potencial hídrico foliar.

## 2.3 Referências

- ALVARES, C.A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P.C.; GONÇALVES, J.L.M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**. v.22, p.711-728, 2013.
- DAY, M. E.; GREENWOOD, M. S.; WHITE, A. Age-related changes in foliar morphology and physiology in red spruce and their influence on declining photosynthetic rates and productivity with tree age. **Tree Physiology**, v. 21, p.1195–1204, 2001.
- DRISCOLL, S. P.; OLMOS, A.; KUNERT, K. J.; FOYER, C. H. Specification of adaxial and abaxial stomata, epidermal structure and photosynthesis to CO<sub>2</sub> enrichment in maize leaves. **Journal of Experimental Botany**, v. 57, p. 381-390, 2006.
- EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 2006. 412p.
- FRANKS, P. J.; DRAKE, P. L.; BEERLING, D. J. Plasticity in maximum stomatal conductance constrained by negative correlation between stomatal size and density: an analysis using *Eucalyptus globulus*. **Plant, Cell and Environment**, v. 32, p. 1737–1748, 2009.
- GONÇALVES, J. L. M.; ALVARES, C. A.; ROCHA, J. H. T.; BRANDANI, C. B.; HAKAMADA, R. Eucalypt plantation management in regions with water stress. **Southern Forests: a Journal of Forest Science**, v. 79, n. 3, p. 169-183, 2017.
- GONÇALVES, J.L.M.; ALVARES, C. A.; HIGA, A. R.; SILVA, L. D.; ALFENAS, A. C.; STAHL, J.; FERRAZ, S. F. B.; LIMA, W. P.; BRANCALION, P. H. S.; HUBNER, A.; BOUILLET, J. P. D.; LACLAU, J. P.; NOUVELLON, Y.; EPRON, D. Integrating genetic and silvicultural strategies to minimize abiotic and biotic constraints in Brazilian eucalypt plantations. **Forest Ecology and Management**, v. 301, p.6-27, 2013.
- GONÇALVES, J. L. M.; STAPE, J. L.; LACLAU, J. P.; SMETHURST, P.; GAVA, J. L. Silvicultural effects on the productivity and wood quality of eucalypt plantations. **Forest Ecology and Management**, v. 193, p. 45–61, 2004.
- GROOM, P. K.; LAMONT, B. B. Which common indices of sclerophylly best reflect differences in leaf structure? **Ecoscience**, v. 6, n. 3, p. 471-474, 1999.
- JONES, H. G. **Plants and Microclimate**. Cambridge University Press, Cambridge, 1992. 425 p.
- HAMAMISHI, E. T.; THOMAS, B. R.; CAMPBELL, M. M. Drought induces alterations in the stomatal development program in *Populus*. **Journal of Experimental Botany**, v. 63, p. 4959-4971, 2012.

- HETHERINGTON, A. M.; Woodward, F. I. The role of stomata in sensing and driving environmental change. **Nature**, v. 424, p. 901–908, 2003.
- LE MAIRE, G.; MARSDEN, C.; HERHOEF, W.; PONZONI, F. J.; LO SEEN, D.; BÈGUÉ, A.; STAPE, J. L.; NOUVELLON, Y. Leaf area index estimation with MODIS reflectance time series and model inversion during full rotations of *Eucalyptus* plantations. **Remote Sensing of Environment**, v. 115, p. 586-599, 2011.
- NAUTIYAL, S.; BADOLA, H. K.; PAL, M.; NEGI, D. S. Plant response to water stress: changes in growth, dry matter production, stomatal frequency and leaf anatomy. **Biologia Plantarum**, v. 36, n. 1, p. 91-97, 1994.
- NGUGI, M. R.; HUNT, M. A.; DOLEY, D.; RYAN, P.; DART, P. Dry matter production and allocation in *Eucalyptus cloeziana* and *Eucalyptus argophloia* seedlings in response to soil water deficits. **New Forests**, v. 26, p. 187-200, 2003.
- NOUVELLON, Y., LACLAU, J. P., EPRON, D.; KINANA, A.; MABIALA, A.; ROUPSARD, O.; BONNEFOND, J. M.; MAIRE, G.; MARSDEN, C.; BONTEMPS, J. D.; SAINT-ANDRÉ, L. Within-stand seasonal variations of specific leaf area in a clonal *Eucalyptus* plantation in the Republic of Congo. **Forest Ecology and Management**, v. 259, p. 1796-1807, 2010.
- O'GRANDY, A. P.; EAMUS, D.; HUTLEY, L. B. Transpiration increases during the dry season: patterns of tree water use in eucalypt open-forests of northern Australia. **Tree Physiology**, v. 19, p. 591-597, 1998.
- OTTO, M. S. G.; VERGANI, A. R.; GONÇALVES, A. N.; SILVA, S. R.; VRECHI, A.; STAPE, J. L. Impact of water supply on stomatal conductance, light use efficiency and growth of tropical *Eucalyptus* plantation in Brazil. **Revista Ecologia e Nutrição Florestal**, v. 4, n. 3, p. 87-93, 2016.
- OTTO, M. S. G. **Physiological responses of forest species to water stress**. 2015. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, Piracicaba, Brasil.
- PARENT, B.; HACHEZ, C.; REDONDO, E.; SIMONNEAU, T.; CHAUMONT, F.; TARDIEU, F. Drought and abscisic acid effects on Aquaporin content translate into changes in hydraulic conductivity and leaf growth rate: a trans-scale approach. **Plant Physiology**, v. 149, p. 2000-2012, 2009.
- PEREIRA, J. S.; CHAVES, M. M. Plant water deficits in mediterranean ecosystems. In: Smith J.A.C. and Griffiths H. (eds), **Water Deficits: plant responses from cell to community**. BIOS Scientific Publishers, Oxford, UK, p. 237–251, 1993.
- PITA, P.; PARDOS, J. A. Growth, leaf morphology, water use and tissue water relations of *Eucalyptus globulus* clones in response to water deficit. **Tree Physiology**, v. 21, p. 599-607, 2001.



- PFAUTSCH, S.; HARBUSCH, M.; WESOLOWSKI, R. S.; SMITH, R.; MACFARLANE, C.; TJOELKER, M. G.; REICH, P. B.; ADAMS, M. A. Climate determines vascular traits in the ecologically diverse genus *Eucalyptus*. **Ecology Letter**, v. 19, n. 3, p. 240-248, 2016.
- REDDY, P. S. Breeding for Abiotic Stress Resistance in Sorghum. In: **Breeding Sorghum for Diverse end Uses**. Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition. p 325-340, 2019.
- SANDS, P. J. Modelling canopy production. III. Canopy light-utilisation efficiency and its sensitivity to physiological and environmental variables. **Functional Plant Biology**, v. 23, n. 1, p. 103-114, 1996.
- SANTOS, K. F.; SCHUMACHER, M. V. Ecofisiologia e crescimento de *Eucalyptus* em condições de déficit hídrico. **Revista Ecologia e Nutrição Florestal**, v. 4, n. 2, p. 33-44, 2016.
- SAS INSTITUTE. SAS user's guide: statistic. 2011. 528 p.
- SEFTON, C. A.; MONTAGU, K.; ATWELL, B. J.; CONROY, J. P. Anatomical variation in juvenile eucalypt leaves accounts for differences in specific leaf area and CO<sub>2</sub> assimilation rates. **Australian Journal of Botany**, v. 50, n. 3, p. 301-310, 2002.
- SEGTOWICH, A. C. **Balanço hídrico do sistema solo-planta e eficiência de uso da água por espécies de *Eucalyptus* com diferentes tolerâncias à deficiência hídrica**. 2020. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, Piracicaba, Brasil.
- SMETHURST, P.; BAILLIE, C.; CHERRY, M.; HOLZ, G. Fertilizer effects on LAI and growth of four *Eucalyptus nitens* plantations. **Forest Ecology Management**, v. 176, p. 531-542, 2003.
- SOUZA, A. F.; ROCHA JUNIOR, E. O.; LAURA, V. A. Desenvolvimento inicial e eficiência de uso da água em mudas de *Calophyllum brasiliense*, *Eucalyptus urograndis*, *Tabebuia impetiginosa* e *Toona ciliata*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 28, n. 4, p. 1465-1477, 2018.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017, 858 p.
- WHITE, D. A.; CROMBIE, D. S.; KINAL, J.; BATTAGLIA, M.; MCGRATH, J. F.; MENDHAM, D. S.; WALKER, S. N. Managing productivity and drought risk in *Eucalyptus globulus* plantations in south-western Australia. **Forest Ecology and Management**, v. 259, n. 1, p. 33-44, 2009.
- WHITEHEAD, D.; BEADLE, C. Physiological regulation of productivity and water use in *Eucalyptus*: a review. **Forest Ecology and Management**, v. 193, p. 113-140, 2004.

### 3. CAPÍTULO 2 - SISTEMA RADICULAR DE ESPÉCIES DE *Eucalyptus* E *Corymbia* COM DIFERENTES TOLERÂNCIAS AO DÉFICIT HÍDRICO

#### RESUMO

As raízes finas, possuem papel importante na absorção de água e nutrientes do solo. As características morfofisiológicas das raízes são majoritariamente reguladas pelo genótipo da planta, apesar de sofrerem forte influência do tipo de solo e clima local. A utilização de espécies ou híbridos com alta tolerância ao déficit hídrico será fundamental para a expansão e sustentabilidade de plantações florestais em áreas com acentuado e prolongado déficit hídrico. Objetivou-se nesse estudo caracterizar os sistema radicular de cinco espécies de *Eucalyptus* e uma de *Corymbia*, correlacionando-as ao seu grau de tolerância ao déficit hídrico (*E. grandis* e *E. urophylla*, baixa tolerância; *E. cloeziana* e *C. citriodora*, tolerância intermediária; *E. camaldulensis* e *E. brassiana*, alta tolerância). O experimento está localizado na Estação Experimental de Ciências Florestais de Itatinga, localizado em Itatinga-SP, Brasil. Para cada espécie, foi instalado uma parcela experimental, lado a lado, sob um mesmo extrato climático (Cwa) e tipo de solo (Latosolo Vermelho-Amarelo distrófico típico de textura média). Foram quantificados atributos radiculares por meio do método da sonda e, adicionalmente, foi quantificado o número de interceptos radiculares usando um grid (50 x 100 cm) com quadrículas de 25 cm<sup>2</sup> no perfil do solo pelo método do perfil. Independentemente da espécie, houve predominância de raízes finas na camada de 0-30 cm do solo e, ao mesmo tempo, diminuição do sistemas radicular com o aumento da idade. O *E. camaldulensis* apresentou maior comprimento radicular acumulado no perfil do solo, enquanto o *E. brassiana* obteve maior comprimento e área radicular específica. Espécies com baixa e intermediária tolerância ao déficit hídrico apresentaram raiz pivotante com maior e menor ramificações laterais. Espécies mais tolerantes ao déficit hídrico apresentaram várias raízes grossas e médias verticalizadas sem raiz pivotante bem definida.

Palavras-chave: deficiência hídrica, raízes finas, raízes grossas, melhoramento florestal

## ROOT SYSTEM OF *Eucalyptus* AND *Corymbia* SPECIES WITH DIFFERENT TOLERANCES TO WATER DEFICIT

### ABSTRACT

Fine roots play an important role in absorbing water and nutrients from the soil. The morphophysiological root features are mostly regulated by plant genotype and strongly influenced by soil type and local climate. The use of species or hybrids with a high tolerance to water deficit will be very important to the expansion and sustainability of forest plantations in areas with intense and prolonged water deficit. This study aimed to characterize the root system of five *Eucalyptus* and one *Corymbia* species, correlating them to their empirical degree of water deficit tolerance. The experiment had six treatments ((*E. grandis* and *E. urophylla*, low tolerance; *E. cloeziana* and *C. citriodora*, intermediate tolerance; *E. camaldulensis* and *E. brassiana*, high tolerance). The experiment is located at Itatinga Forest Science Experimental Station, Itatinga-SP, Brazil. There was installed one experimental plot for each specie, side by side, under the same climate (Cwa) and soil (typical dystrophic Red-Yellow Latosol with medium texture). Root attributes were quantified using the cylindrical auger and the number of root intercepts was quantified using a grid (50 x 100 cm) with 25 cm<sup>2</sup> squares in soil profile by trench-profile method. Regardless the species, there was a fine root predominance in the 0-30 cm soil layer and, at the same time, a decrease in root systems as the trees aged. *E. camaldulensis* had higher accumulated root length in soil profile, while *E. brassiana* has higher length and specific root area. Species with low and intermediate water deficit tolerance had a well-defined taproot with more and less lateral root ramifications. Species more tolerant to water deficit had several thick and medium vertical roots with undefined taproot.

Keywords: water deficiency, fine roots, thick roots, forest breeding

### 3.1 Introdução

As raízes finas, usualmente definidas com o diâmetro  $\leq 2$  mm (FRESCHET et al., 2017), possuem importante papel na captura e absorção de água e nutrientes necessários para o crescimento da planta (FORT et al., 2017), sendo um componente chave na dinâmica do carbono e nutrientes no ecossistema florestal (NOGUCHI et al., 2017). Apesar da biomassa de raiz fina diminuir exponencialmente com a profundidade, com pouco mais de 10% abaixo de 1 m (SCHENK, 2008), raízes de *Eucalyptus* podem chegar a 20 m de profundidade, sendo as raízes finas uma vantagem para as espécies florestais dado o seu baixo investimento em carbono (CHRISTINA et al., 2017). Pinheiro et al. (2016) destacam que os genótipos podem maximizar o comprimento e área de raiz fina, investindo na biomassa do sistema radicular, para melhorar a aquisição de água e nutrientes.

Segundo Pierret et al. (2005), é bem documentado que as técnicas de quantificação de raízes finas em campo possuem resultados variáveis, com altos coeficientes de variação, sendo que os resultados obtidos usando dois tipos diferentes de técnicas são, em sua maioria, difíceis de serem comparados. Um dos principais métodos utilizados é o de extração, mais conhecido como “root washing” ou “lavagem de raiz”. Esse método é baseado em coletas de volumes conhecidos de solo do qual as raízes são fisicamente separadas por uma cuidadosa lavagem do solo e, finalmente, mede-se o comprimento e área das raízes separadas usando técnicas de análise de imagem (ROSARIO et al., 2013). Outro método usualmente utilizado para avaliar a distribuição de raízes finas em solos florestais é a contagem de interceptos radiculares na parede de trincheiras (BOUILLET et al., 2002). Esta metodologia fornece um mapa da densidade radicular no perfil vertical do solo (MAURICE et al., 2010). Quando comparados às avaliações da parte aérea, estudos sobre o sistema radicular das plantas são relativamente raros por consumirem muito tempo e serem normalmente onerosos (MAEGHT et al., 2013).

As funções das raízes no ecossistema florestal são frequentemente relacionadas às suas características morfofisiológicas como o comprimento específico radicular ( $\text{m g}^{-1}$ ), área específica radicular ( $\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$ ) e densidade de raízes finas ( $\text{g dm}^{-3}$ ) (REICH, 2014; ROUMET et al., 2016). Essas características podem ser utilizadas para inferir sobre as estratégias de aquisição de recursos pela planta. Por exemplo, variações nos valores comprimento e área específica possuem importantes implicações sobre como as plantas adquirem os recursos e determinam a área de superfície total de absorção e o volume de solo explorado (FITTER et al. 1991; OSTONEN et al. 2007; BORDEN et al. 2019). Espera-se que maiores valores de comprimento e área específica resultem em maior aquisição de recursos, maiores taxas de

transpiração e menor vida útil das raízes, impactando na ciclagem de carbono no solo (MAKITA et al., 2012; MCCORMACK et al., 2015; BARDGETT et al., 2014).

O crescimento e os processos fisiológicos das raízes finas são sensíveis aos estresses ambientais (HIRANO et al., 2007). Dependendo da espécie, a planta pode possuir adaptações estruturais para a manutenção da homeostasia no uso da água, como por exemplo, limitando a perda de água pela redução da área foliar ou aumentando a área radicular em profundidade no solo para maximizar a absorção de água (GONÇALVES et al., 2013; TAIZ et al., 2017). As raízes profundas, raízes crescendo além de 1 m de profundidade, possuem um papel importante na aquisição de água para a manutenção das funcionalidades básicas das árvores (Kell, 2012; PIERRET et al., 2016).

Segundo Pinheiro et al. (2016), clones com raízes profundas podem ter acesso a uma maior quantidade de água estocada nas camadas mais profundas do solo quando comparado a genótipos com distribuição do sistema radicular mais superficial, sendo essa uma característica a ser considerada nos programas de melhoramento. As raízes crescem na superfície tanto quanto possível e em profundidade tanto quanto necessário em resposta ao suprimento de água requerido pela planta (SCHENK, 2008). Segundo Gonçalves et al. (2017), o comportamento radicular nas camadas mais profundas do solo é um assunto ainda pouco estudado para muitas espécies.

Tem sido proposto modificações nas práticas de manejo para florestas plantadas propensas a seca para diminuir o estresse hídrico durante esses períodos (CHRISTINA et al., 2018). Dentre as adaptações silviculturais mais comuns está a utilização de espécies e híbridos selecionados por programas de melhoramento com alta tolerância ao déficit hídrico (ROJAS et al., 2017). O *E. grandis*, *E. urophylla*, *E. cloeziana*, *Corymbia citriodora*, *E. camaldulensis* e *E. brassiana* apresentam diferentes níveis de tolerâncias a ambientes com restrição hídrica (GONÇALVES et al., 2013). Desta forma, objetivou-se caracterizar o sistema radicular de espécies de *Eucalyptus* e *Corymbia* com diferentes tolerâncias hídricas de forma a contribuir para a expansão e sustentabilidade de plantações florestais em áreas com acentuado e prolongado déficit hídrico.

### 3.2 Conclusões

Para todas as espécies, houve predominância de raízes finas na camada de 0-30 cm do solo. O comprimento e massa destas raízes diminuíram com a idade.

O *E. camaldulensis*, espécie mais tolerante ao DH, apresentou o maior comprimento radicular acumulado até 300 cm de profundidade. O *E. brassiana*, espécie também com alta

tolerância ao DH, foi a espécie que apresentou o maior comprimento e área radicular específica no perfil de solo. As espécies menos tolerantes ao DH apresentaram menor comprimento e área específica de raiz fina nos dois primeiros anos do povoamento.

Houve aumento da porcentagem de interceptos radiculares em profundidade com a idade. Espécies com intermediária e alta tolerância ao DH apresentaram entre 50 e 61% dos interceptos radiculares na camada de 100-300 cm de profundidade do solo.

O *E. brassiana*, espécie com alta tolerância ao DH, apresentou maior umidade na camada superior do solo (0-30 cm). O *C. citriodora*, espécie com tolerância intermediária ao DH, apresentou maior umidade na camada mais profunda do solo (40-160 cm), com exceção da área de cerrado que acumulou pelo menos 956 mm a mais de água nessa profundidade.

Espécies com baixa e intermediária tolerância ao DH apresentaram raiz pivotante com maior e menor ramificações laterais. Espécies mais tolerantes ao DH apresentaram várias raízes grossas e médias verticalizadas sem raiz pivotante definida.

### 3.3 Referências

- ACHAT, D. L.; BAKKER, M. R.; TRICHET, P. Rooting patterns and fine root biomass of *Pinus pinaster* assessed by trench wall and core methods. **Journal of Forest Research**, v. 13, n. 3, p. 165-175, 2008.
- ALMEIDA, A. C.; SOARES, J. V.; LANDSBERG, J. J.; REZENDE, G. D. Growth and water balance of *Eucalyptus grandis* hybrid plantations in Brazil during a rotation for pulp production. **Forest Ecology Management**, v. 251, p. 10–21, 2007.
- ASHBY, W. C. Soil ripping and herbicides enhance tree and shrub restoration on stripmines. **Restoration Ecology**, v. 5, p. 169–177, 1997.
- BARDGETT, R.D.; MOMMER, L.; DE VRIES, F.T. Going underground: root traits as drivers of ecosystem processes. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 29, p. 692-699, 2014.
- BATALHA, M. A.; MANTOVANI, W.; DE MESQUITA JÚNIOR, H. N. Vegetation structure in cerrado physiognomies in south-eastern Brazil. **Brazilian journal of biology**, v. 61, n. 3, p. 475-483, 2001.
- BORDEN, K. A.; THOMAS, S. C.; ISAAC, M. E. Variation in fine root traits reveals nutrient-specific acquisition strategies in agroforestry systems. **Plant and Soil**, p. 1-13, 2019.

- BORDRON, B.; ROBIN, A.; OLIVEIRA, I. R.; GUILLEMOT, J.; LACLAU, J. P.; JOURDAN, C.; NOUVELLON, Y.; ABRU-JUIOR, C. H.; TRIVELLIN, P. C. O.; GONÇALVES, J. M. L.; PLASSARD, C.; BOUILLET, J. P. Fertilization increases the functional specialization of fine roots in deep soil layers for young *Eucalyptus grandis* trees. **Forest Ecology and Management**, v. 431, p. 6-16, 2019.
- BOUILLET, J. P.; LACLAU, J. P.; ARNAUD, M.; THONGO M'BOU, A.; SAINT-ANDRÉ, L.; JOURDAN, C. Changes with age in the spatial distribution of roots of *Eucalyptus* clone in Congo. Impact on water and nutrient uptake. **Forest Ecology and Management**, v. 171, p. 43-57, 2002.
- CHRISTINA, M.; LE MAIRE, G.; NOUVELLON, Y.; VEZY, R.; BORDON, B.; BATTIE-LACLAU, P.; GONÇALVES, J. L. M.; DELGADO-ROJAS, J. S.; BOUILLET, J. P.; LACLAU, J. P. Simulating the effects of different potassium and water supply regimes on soil water content and water table depth over a rotation of a tropical *Eucalyptus grandis* plantation. **Forest Ecology and Management**, v. 418, p. 4-14, 2018.
- CHRISTINA, M.; NOUVELLON, Y.; LACLAU, J. P.; STAPE, J. L.; BOUILLET, J. P.; LAMBAIS, G. R.; LE MAIRE, G. Importance of deep-water uptake in tropical eucalypt forest. **Functional Ecology**, v. 31, p. 509-519, 2017.
- CORNISH, P. M.; VERTESSY, R. A. Forest age-induced changes in evapotranspiration and water yield in a eucalypt forest. **Journal of Hydrology**, v. 242, p. 43-63, 2001.
- DELZON, S.; LOUSTAU, D. Age-related decline in stand water use: sap flow and transpiration in a pine forest chronosequence. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 129, p. 105-119, 2005.
- DREXHAGE, M.; GRUBER, F. Architecture of the skeletal root system of 40-year-old *Picea abies* on strongly acidified soils in the Harz Mountains (Germany). **Canadian Journal of Forest Research**, v. 28, p. 13-22, 1998.
- DU TOIT, B. Effect of site management on growth, biomass partitioning and light use efficiency in a young stand of *Eucalyptus grandis* in South Africa. **Forest Ecology and Management**, v. 255, p. 2324-2336, 2008.
- FIDELIS, A. T.; GODOY, S. A. P. Estrutura de um cerrado *stricto sensu* na gleba cerrado Pé-de-Gigante, Santa Rita do Passa Quatro, SP. **Acta Botanica Brasilica**, v. 17, n. 4, p. 531-539, 2003.
- FITTER, A. H.; STICKLAND, T. R.; HARVEY, M. L.; WILSON, G. W. Architectural analysis of plant root systems: Architectural correlates of exploitation efficiency. **New Phytologist**, v. 118, p. 375-382, 1991.
- FLORENCE, R. G. Ecology and Silviculture of Eucalypt Forests. **CSIRO**, Australia, p. 79-106, 2007.

- FORRESTER, D. I.; COLLOPY, J. J.; MORRIS, J. D. Transpiration along an age series of *Eucalyptus globulus* plantations in southeastern Australia. **Forest Ecology and Management**, v. 259, p. 1754-1760, 2010.
- FORT, F.; VOLAIRE, F.; GUILIONI, L.; BARKAOUI, K.; NAVAS, M. L.; ROUMET, C. Root traits are related to plant water-use among rangeland Mediterranean species. **Functional Ecology**, v. 31, n. 9, p. 1700-1709, 2017.
- FRESCHET, G. T.; VALVERDE-BARRANTES O. J.; TUCKER, C. M.; CRAINE, J. M.; MCCORMACK, M. L.; VIOLLE, C.; FORT, F.; BLACKWOOD, C. B.; URBAN-MEAD, K. R.; IVERSEN, C. M.; BONIS, A.; COMAS, L. H.; CORNELISSEN, J. H. C.; DONG, M.; GUO, D.; HOBBIE, S. E.; HOLDAWAY, R. J.; KEMBEL, S. W.; MAKITA, N.; ONIPCHENKO, V. G.; PICON-COCHARDD, C.; REICH, P. B.; DE LA RIVA, E. G.; SMITH, S. W.; SOUDZILOVSKAIA, N. A.; TJOWLKER, M. G.; WARDLE, D. A.; ROUMET, C. Climate, soil and plant functional types as drivers of global fine-root trait variation. **Journal of Ecology**, v. 105, n. 5, p. 1182-1196, 2017.
- GERMON, A.; JOURDAN, C.; BORDRON, B.; ROBIN, A.; NOUVELLON, Y.; CHAPUIS-LARDY, L.; GONÇALVES, J. L. M.; PRADIER, C.; GUERRINI, I. A.; LACLAU, J. P. Consequences of clear-cutting and drought on fine root dynamics down to 17m in coppice-managed eucalypt plantations. **Forest Ecology and Management**, v. 445, p. 48-59, 2019.
- GONÇALVES, J. L. M.; ALVARES, C. A.; ROCHA, J. H. T.; BRANDANI, C. B.; HAKAMADA, R. Eucalypt plantation management in regions with water stress. **Southern Forests: a Journal of Forest Science**, v. 79, n. 3, p. 169-183, 2017.
- GONÇALVES, J.L.M.; ALVARES, C. A.; HIGA, A. R.; SILVA, L. D.; ALFENAS, A. C.; STAHL, J.; FERRAZ, S. F. B.; LIMA, W. P.; BRANCALION, P. H. S.; HUBNER, A.; BOUILLET, J. P. D.; LACLAU, J. P.; NOUVELLON, Y.; EPRON, D. Integrating genetic and silvicultural strategies to minimize abiotic and biotic constraints in Brazilian eucalypt plantations. **Forest Ecology and Management**, v. 301, p.6-27, 2013.
- GONÇALVES, J. M. L.; MELLO, S. L. M. The root system of trees. In: Gonçalves, J. L. M.; Benedetti, V. **Forest Nutrition and Fertilization**. Piracicaba IPEF, 2000. 427 p.
- GRANT, J. C.; NICHOLS, J. D.; YAO, R. L.; SMITH, R. G. B.; BRENNAN, P. D.; VANCLAY, J. K. Depth distribution of roots of *Eucalyptus dunnii* and *Corymbia citriodora* subsp. *Variegata* in different soil conditions. **Forest Ecology and Management**, v. 269, p. 249-258, 2012.
- GROOM, P. K. Rooting depth and plant water relations explain species distribution patterns within a sandplain landscape. **Functional Plant Biology**, v. 31, p. 423-428, 2004.
- HIRANO, Y.; MIZOGUCHI, T.; BRUNNER, I. Root parameters of forest trees as sensitive indicators of acidifying pollutants: a review of research of Japanese forest trees. **Journal of Forest Research**, v. 12, p. 134-142, 2007.



- JOURDAN, C.; SILVA, E. V.; GONÇALVES, J. L. M.; RANGER, J.; MOREIRA, R. M.; LACLAU, J. P. Annual fine root production and turnover in Brazilian *Eucalyptus* plantations under contrasting nitrogen fertilization regimes. **Forest Ecology and Management**, v. 256, p. 396–404, 2008.
- KELL, D.B. Large-scale sequestration of atmospheric carbon via plant roots in natural and agricultural ecosystems: why and how. **Philosophical Transactions of Royal Society B: Biological Sciences**, 367, p. 1589–1597, 2012.
- KOSTNER, B.; FALGE, E.; TENHUNEN, J. D. Age-related effects on leaf area/sapwood area relationships, canopy transpiration and carbon gain of Norway spruce stands (*Picea abies*) in the Fichtelgebirge, Germany. **Tree Physiology**, v. 22, p. 567–57, 2002
- LACLAU, J. P.; da silva, E. A.; Lambais, G. R.; Bernoux, M.; Le Maire, G.; Stape, J. L.; BOUILLET, J. P.; GONÇALVES, J. L. M.; JOURDAN, C.; NOUVELLON, Y. Dynamics of soil exploration by fine roots down to a depth of 10 m throughout the entire rotation in *Eucalyptus grandis* plantations. **Frontiers in Plant Science**, v. 4, p. 243, 2013.
- LACLAU, J. P.; RANGER, J.; GONÇALVES, J. L. M.; MAQUÈRE, V.; KRUSCHE, A. V.; M'BOU, A. T.; NOUVELLON, Y.; SAINT-ANDRÉ, L.; BOUILLET, J. P.; PICCOLLO, M. C.; DELEPORTE, P. Biogeochemical cycles of nutrients in tropical *Eucalyptus* plantations: main features shown by intensive monitoring in Congo and Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 259, n. 9, p. 1771-1785, 2010.
- LACLAU, J. P.; ARNAUD, M.; BOUILLET, J. P.; RANGER, J. Spatial distribution of *Eucalyptus* roots in deep sandy soil in the Congo: relationships with the ability of the stand to take up water and nutrients. **Tree Physiology**, v. 21, p. 129-136, 1999.
- LAMBAIS, G. R. **Produção e mortalidade de raízes finas em plantações de *Eucalyptus grandis* cultivados em Latossolos (Itatinga-SP)**. 2015. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.
- LAMBERS, H.; COLMER, T. D.; HASSIOTOU, F.; MITCHELL, P. M.; POOT, P.; SHANE, M. W.; VENEKLAAS, E. J. Carbon and water relations. In: Lambers H (ed) **Plant life on the sandplains in southwest Australia**, 1st edn. Western Australia: UWA Publishing, Perth, Australia, 2014. 129–146 p.
- LARK, R. M. Towards soil geostatistics. **Spatial Statistics**, v. 1, p. 92-99, 2012.
- MCCORMACK, M. L.; ADAMS, T. S.; SMITHWICK, E. A. H.; EISSENSTAT, D. M. Predicting fine root lifespan from plant functional traits in temperate trees. **New Phytologist**, v. 195, p. 823–831, 2012.
- MAEGHT, J. L.; REWALD, B.; PIERRET, A. How to study deep roots-and why it matters. **Frontiers in Plant Science**, v. 4, artigo 299, p. 1-13, 2013.

- MAKITA, N.; KOSUGI, Y.; DANNOURA, M.; TAKANASHI, S.; NIIYAMA, K.; KASSIM, A. R.; ABDUL RAHIM, N. Patterns of root respiration rates and morphological traits in 13 tree species in a tropical forest. **Tree Physiology**, v. 32, p. 303–312, 2012.
- MAURICE, J.; LACLAU, J. P.; RE, D. S.; GONÇALVES, J. L. M.; NOUVELLON, Y.; BOUILLET, J. P.; SATPE, J. L.; RANGER, J.; BEHLING, M.; CHOPART, J. L. Fine root isotropy in *Eucalyptus grandis* plantations. Towards the prediction of root length densities from root counts on trench walls. **Plant Soil**, v. 334, p. 261-275, 2010.
- MCCORMACK, M. L.; DICKIE, I. A.; EISSENSTAT, D. M.; FAHEY, T. J.; FERNANDEZ, C. W.; GUO, D. HELMISAARI, H. S.; HOBBIE, E. A.; IVERSEN, C. M.; JACKSON, R. B.; KUJANSUU, J. L.; NORBY, R. J.; PLILLIPS, R. P.; PREGITZER, K. S.; PRITCHARD, S. G.; REWALD, B.; ZADWORNÝ, M. Redefining fine roots improves understanding of below-ground contributions to terrestrial biosphere processes. **New Phytologist**, v. 207, p. 505-518, 2015.
- MCDOWELL, N.; POCKMAN, W. T.; ALLEN, C. D.; BRESHEARS, D. D.; COBB, N.; KOLB, T.; PLAUT, J.; SPERRY, J.; WEST, A.; WILLIAMS, D. G. Mechanisms of plant survival and mortality during drought: why do some plants survive while others succumb to drought?. **New Phytologist**, v. 178, p. 719–739, 2008.
- NOGUCHI, K.; TANIKAWA, T.; INAGAKI, Y.; ISHIZUKA, S. Calculation procedures to estimate fine root production rates in forests using two-dimensional fine root data obtained by the net sheet method. **Tree physiology**, v. 37, n. 6, p. 697-705, 2017.
- PARENT, B.; HACHEZ, C.; REDONDO, E.; SIMONNEAU, T.; CHAUMONT, F.; TARDIEU, F. Drought and abscisic acid effects on Aquaporin content translate into changes in hydraulic conductivity and leaf growth rate: a trans-scale approach. **Plant Physiology**, v. 149, p. 2000-2012, 2009.
- PIERRET, A.; MAEGHT, J. L.; CLÉMENT, C.; MONTOROÏ, J. P.; HARTMANN, C.; GONKHAMDEE, S. Understanding deep roots and their functions in ecosystems: an advocacy for more unconventional research. **Annals of Botany**, v. 118, p. 621–635, 2016.
- PIERRET, A.; MORAN, C. J.; DOUSSAN, C. Conventional detection methodology is limiting our ability to understand the roles and functions of fine roots. **New Phytologist**, v. 166, p. 967-980, 2005.
- PINHEIRO, R. C.; DEUS JR., J. C.; NOUVELLON, Y.; CAMPOE, O. C.; STAPE, J. L.; ALÓ, L. L.; GUERRINI, I. A.; JOURDAN, C.; LACLAU, J. P. A fast exploration of very deep soil layers by *Eucalyptus* seedling and clones in Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 366, p. 143-152, 2016.
- O'GRANDY, A. P.; WORLEDGE, D.; BATTAGLIA, M. Above- and below-ground relationship, with particular reference to fine roots in a young *Eucalyptus globulus* (Labill.) stand in southern Tasmania. **Trees**, v. 20, n. 5, p. 531-538, 2006.

- O'GRANDY, A. P.; WORLEDGE, D.; BATTAGLIA, M. Temporal and spatial changes in fine root distributions in a young *Eucalyptus globulus* stand in southern Tasmania. **Forest Ecology and Management**, v. 259, p. 373-383, 2005.
- OLIVEIRA, R. S.; BEZERRA, L.; DAVIDSON, E. A.; PINTO, F.; KLINK, C. A.; NESPSTAD, D. C.; MOREIRA, A. Deep root function in soil water dynamics in cerrado savannas of central Brazil. **Functional Ecology**, v. 19, p. 574-581, 2005.
- OSTONEN, I.; PUTTSEPP, U.; BIEL, C.; ALBERTON, O.; BAKKER, M. R.; LOHMUS, K.; MAJDI, H.; METCALFE, D.; OLSTHOORN, A. F. M.; PRONK, A.; VANGUELOVA, E.; WEIH, M.; BRUNNER, I. Specific root length as an indicator of environmental change. **Plant Biosystems**, v. 141, p. 426-442, 2007.
- R DEVELOPMENT CORE TEAM, R. R: A Language and Environment for Statistical Computing, 2019.
- REICH, P. B. The world-wide 'fast-slow' plant economics spectrum: a traits manifesto. **Journal of Ecology**, v. 102, n. 2, p. 275-301, 2014.
- ROJAS, P. V.; IPINZA, R. C.; GUTIERREZ, B.; MOLINA, M. P.; ARNOLD, R. J. Breeding *Eucalyptus globulus* for lower rainfall sites in the Bío-Bío Region of Chile. **Australian Forestry**, v. 80, n. 2, p. 105-112, 2017.
- ROSARIO, G.; OLIVEIRA, M.; VAN NOORDWIJK, M.; GAZE, S. R.; BROUWER, G.; BONA, S.; MOSCA, G.; HAIRIAH, K. Auger sampling, ingrowth cores and pinboard methods. In: SMIT, A. L.; BENGOUGH A. G.; ENGELS, C.; NOORDWIJK, M.; PELLERIN, S.; GEIJN, S. C. Ed. **Root Methods: a handbook**. Berlin: Springer-Verlag, 2013 p. 175-210.
- ROUMET, C.; BIROUSTE, M.; PICON-COCHARD, C.; GHESTEM, M.; OSMAN, N.; VRIGNON-BRENAS, S.; CAO, K. F.; STOKES, A. Root structure-function relationships in 74 species: evidence of a root economics spectrum related to carbon economy. **New Phytologist**, v. 210, p. 815–826, 2016.
- RYSER, P. The mysterious root length. **Plant Soil**, v. 286, p. 1–6, 2006.
- SAS INSTITUTE. SAS user's guide: statistic. 2011. 528 p.
- SCHENK, H. J. Soil depth, plant rooting strategies and species' niches. **New Phytologist**, v. 178, p. 223-225, 2008.
- SCHWINNING, S.; EHLERINGER, J. R. Water use trade-offs and optimal adaptations to pulse-driven arid ecosystems. **Journal Ecology**, v. 89, p. 464–480, 2001.
- SEGTOWICH, A. C. **Balanco hídrico do sistema solo-planta e eficiência de uso da água por espécies de *Eucalyptus* com diferentes tolerâncias à deficiência hídrica**. 2020. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, Piracicaba, Brasil.

- SILVA, A. F.; QUARTEZANI, W. Z.; ZIMBACK, C. R. L.; LANDIM, P. M. B. **Aplicação da geoestatística em ciências agrárias**. Botucatu, SP: FEPAF, 2011. 136 p.
- SZOTA, C.; VENEKLAAS, E. J.; KOCH, J. M.; LAMBERS, H. Root architecture of Jarrah (*Eucalyptus marginata*) trees in relation to post-mining deep ripping in Western Australia. **Restoration Ecology**, v. 15, n. 4, p. S65–S73, 2007.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017, 858 p.
- THALER, P.; PAGES, L. C. Why are laterals less affected than main axes by homogeneous unfavourable physical conditions? A model-based hypothesis. **Plant and Soil**, v. 217, n. 1-2, p. 151-157, 1999.
- TOLEDO, F. H. S.; GONÇALVES, J. L. M.; MARIÑO, Y. A.; FERRAZ, A. V. F., FERREIRA, E. V. O., MOREIRA, G. G.; HAKAMADA, R.; ARTHUR JÚNIOR, J. C. Aboveground biomass, transpiration and water use efficiency in eucalypt plantation fertilized with KCl, NaCl and phonolite rock powder. **New Forests**, v. 51, p. 469–488, 2019.

#### 4 CAPÍTULO 3 – PRODUÇÃO DE FOLHEDO E DISTRIBUIÇÃO DE NUTRIENTES EM ESPÉCIES DE *Eucalyptus* E *Corymbia* COM DIFERENTES TOLERÂNCIAS AO DEFICIT HÍDRICO

##### RESUMO

A expansão dos plantios florestais para regiões com baixa precipitação pluviométrica, associado a solos de textura arenosa a média, tem resultado na necessidade de programas de melhoramento para obtenção de genótipos tolerantes às condições edafoclimáticas adversas. Informações sobre a nutrição da planta durante o crescimento inicial de diferentes genótipos podem auxiliar nos programas de melhoramento e nas decisões silviculturais de cada povoamento. O *Eucalyptus grandis*, *E. urophylla*, *E. cloeziana*, *Corymbia citriodora*, *E. camaldulensis* e *E. brassiana* apresentam diferentes níveis de tolerâncias ao déficit hídrico. Assim, o objetivo desse estudo foi investigar: i) a deposição sazonal de folheto, incluindo os teores e estoques de macro e micronutrientes em espécies de *Eucalyptus* e *Corymbia*.; e ii) os teores e estoques de macro e micronutrientes na parte aérea e radicular em espécies de *Eucalyptus* e *Corymbia* durante o crescimento inicial. O experimento está localizado na Estação Experimental de Ciências Florestais de Itatinga, localizado em Itatinga-SP, Brasil. Para cada espécie, foi instalado uma parcela experimental, lado a lado, sob um mesmo extrato climático (Cwa) e tipo de solo (Latosolo Vermelho-Amarelo distrófico típico de textura média). Para a quantificação da produção de folheto, foram utilizados nove coletores por espécie, dispostos conforme o diagrama de Voronoi. De acordo com a amplitude diamétrica das árvores da parcela útil, foram selecionadas quatro árvores representativas de cada espécie para coleta dos compartimentos das árvores. Posteriormente, foram determinados os teores e estoques de macro e micronutrientes das amostras de folheto e dos compartimentos aéreo e radicular dos tratamentos. No período chuvoso as espécies mais tolerantes ao déficit hídrico, *C. citriodora*, *E. camaldulensis* e *E. brassiana*, apresentaram maior teor de B no folheto. Essas espécies demonstraram maiores teores de N, Ca, Cu e Zn e menor teor de S na raiz, e menor estoque de N e P na folha. O *C. citriodora* e *E. camaldulensis* tiveram maior estoque de K nas folhas e raiz, e o *E. camaldulensis* estocou mais Ca na casca no primeiro ano pós-plantio.

Palavras-chave: nutrição de planta, nutrientes, deficiência hídrica, plantios florestais, melhoramento genético

## LEAF LITTER DEPOSITION AND NUTRIENT DISTRIBUTION IN *Eucalyptus* AND *Corymbia* SPECIES WITH DIFFERENT TOLERANCE TO WATER DEFICIT

### ABSTRACT

The expansion of forest plantations to regions with low precipitation, associated with medium to sandy texture soils, has resulted in the need for breeding programs to obtain genotypes tolerant to adverse edaphoclimatic conditions. Information about plant nutrition during the initial growth of different genotypes may assist in breeding programs and silvicultural decisions for each stand. *Eucalyptus grandis*, *E. urophylla*, *E. cloeziana*, *Corymbia citriodora*, *E. camaldulensis* and *E. brassiana* have different levels of water deficit tolerances. Thus, the objective of this study was to investigate: i) seasonal leaf deposition, including macro and micronutrients contents for *Eucalyptus* and *Corymbia* species; and ii) macro and micronutrient content in aerial and root parts of *Eucalyptus* and *Corymbia* species during initial growth. The experiment was located at Itatinga Forest Science Experimental Station, Itatinga-SP, Brazil, It was installed one plot for each specie, side by side, under the same climate (Cwa) and soil (typical dystrophic Red-Yellow Latosol with medium texture). It was used nine collectors per specie to quantify leaf deposition, arranged according to Voronoi diagram. According to tree diameter size, four representative trees of each species were selected to analyze tree compartments. Subsequently, macro and micronutrient contents and stocks of leaf samples and aerial and root compartments of treatments were determined. In the rainy season, the most water deficit tolerant species (*C. citriodora*, *E. camaldulensis* and *E. brassiana*) had a higher leaf B content. These species showed higher N, Ca, Cu and Zn content in the roots and lower content of S in the root, and lower leaf N e P stock. *C. citriodora* and *E. camaldulensis* had a higher leaf and root K stock , and *E. camaldulensis* stored more Ca in the bark, in the first year after planting.

Keywords: plant nutrition, nutrients, water deficiency, forest plantations, genetic breeding

## 4.1 Introdução

Em 2018, o setor florestal brasileiro alcançou níveis históricos de exportação de produtos florestais, apresentando crescimento de 13,1% no país em relação a 2017 (IBA, 2019). Dos 7,83 milhões de hectares de florestas plantadas no Brasil, 5,7 milhões são compostas por eucaliptos (espécies e híbridos de *Eucalyptus* e *Corymbia*). Tais plantações estão estabelecidas principalmente em áreas com baixo potencial agrícola e com baixa fertilidade e reservas minerais no solo, como os Latossolos (GONÇALVES et al., 2013). Apesar das altas produtividades, a sustentabilidade tem se tornado uma questão crucial para as florestas plantadas em médio e longo prazo (ROCHA et al., 2016).

A intensa ciclagem de nutrientes de grande número de espécies de eucaliptos é uma adaptação aos solos pobres que possuem baixa capacidade de retenção de nutrientes, alta condutividade hidráulica e significativo risco de perda de nutrientes por lixiviação (FLORENCE, 2004). Segundo Vieira et al. (2015), a ciclagem de nutrientes é essencial para o manejo eficiente de florestas plantadas, pois permite um fluxo contínuo entre o que é depositado no solo com a queda de folheto e o que é absorvido novamente pelas raízes das plantas.

Segundo Ribeiro et al. (2002), a deposição e decomposição do folheto é uma parte importante da ciclagem de nutrientes nas florestas de rápido crescimento, sendo que em plantações de *Eucalyptus*, o fluxo de nutrientes do folheto para o solo depende da quantidade e da qualidade da serapilheira. Segundo Gonçalves et al. (2000), dos 2 aos 4 anos pós-plantio, as plantações de eucaliptos atingem valores máximos de deposição de serapilheira e, assim, grande parte da demanda de nutrientes da árvore é suprida pela ciclagem biogeoquímica. Para Attiwill e Leeper (1987), a quantidade de nutrientes devolvidos ao solo pela decomposição anual de serapilheira é um fator crucial para a sustentabilidade da floresta, fornecendo um índice da sua produtividade. Guo et al. (2006), avaliando a produção e ciclagem de serapilheira do *E. botryoides*, *E. globulus* e *E. ovata*, encontraram que componentes não foliares retornaram menos que 5% do total de seis nutrientes via serapilheira em três anos.

Laclau et al. (2005) citam que o esgotamento do estoque de nutrientes do solo ocorre devido ao rápido crescimento e sucessivas rotações das florestas de eucaliptos. Segundo Silva et al. (2013), há importantes fatores econômicos envolvidos na manutenção de altas produtividades dessas plantações, já que é necessário o uso de fertilizantes químicos, os quais são onerosos e comprometem a maior parte do orçamento. Desta forma, conhecer e quantificar as entradas e saídas de nutrientes na rotação das espécies é importante para guiar a adequada fertilização e, desta forma, assegurar a sustentabilidade do ecossistema.

A distribuição de nutrientes nos diferentes compartimentos da árvore é importante para a nutrição das plantações florestais, já que o manejo intensivo pode aumentar de forma significativa a produção de biomassa e, conseqüentemente, a exportação de nutrientes do sítio. Por exemplo, a casca apresenta-se como importante fonte de nutrientes, principalmente de Ca, sendo a sua manutenção no sítio durante a colheita do lenho importante para o enriquecimento da matéria orgânica do solo, contribuindo para sustentabilidade e produtividade da área (BELLOTE e SILVA, 2000). A quantificação de micro e macronutrientes na biomassa das árvores é importante para o manejo dos plantios florestais e para assegurar o uso racional de fertilizantes químicos (DICK et al., 2017).

A expansão dos plantios florestais para regiões com baixa precipitação pluviométrica, associadas à solos de textura arenosa a média, tem resultado na necessidade de programas de melhoramento por genótipos resistentes às condições edafoclimáticas adversas (ASSIS et al., 2015). O *Eucalyptus grandis*, *E. urophylla*, *E. cloeziana*, *Corymbia citriodora*, *E. camaldulensis* e *E. brassiana* apresentam diferentes níveis de tolerâncias ao déficit hídrico, sendo: *E. grandis* e *E. urophylla*, baixa tolerância; *E. cloeziana* e *C. citriodora*, tolerância intermediária; e *E. camaldulensis* e *E. brassiana*, alta tolerância (SOUZA e COLLICHIO, 2013; GONÇALVES et al., 2013). No Brasil, essas espécies têm sido consideradas na composição de híbridos em programas de melhoramento para ambientes com restrição hídrica (ASSIS et al., 2015).

Informações sobre as concentrações e estoques de nutrientes no crescimento inicial das espécies podem auxiliar nos programas de melhoramento e nas decisões silviculturais de cada povoamento individualmente. O objetivo desse estudo foi investigar: i) a deposição sazonal de folheto, incluindo os teores e estoques de macro e micronutrientes em espécies de *Eucalyptus* e *Corymbia*.; e ii) os teores e estoques de macro e micronutrientes na parte aérea e radicular de espécies de *Eucalyptus* e *Corymbia* durante o crescimento inicial.

## 4.2 Conclusões

O *E. grandis* apresentou maior deposição de folheto em ambos os períodos avaliados (chuvoso e seco), enquanto o *E. brassiana* teve menor deposição no período chuvoso. O *E. urophylla*, *E. cloeziana*, *E. camaldulensis* e *E. brassiana* aumentaram a deposição acumulada de folheto no período seco em relação ao período chuvoso. O *C. citriodora* teve a menor deposição de folheto acumulado durante toda a avaliação.



No período seco, o *E. cloeziana* apresentou menores teores de Mg, B e Fe no folheto. No período chuvoso as espécies mais tolerantes ao déficit hídrico, *C. citriodora*, *E. camaldulensis* e *E. brassiana*, apresentaram maior teor de B e menores estoques de Mg e Fe no folheto. O *E. cloeziana* teve menores valores de estoques no folheto de N, P, K, Ca e S no período chuvoso, e de N, P, K, Ca, S, Cu, Mn, e Zn no período seco.

As espécies mais tolerantes ao déficit hídrico apresentaram maiores teores de N, Ca, Cu e Zn, e menor teor de S na raiz. Essas espécies tiveram também maior teor de Zn no galho. O *C. citriodora* teve menor teor de B na folha no primeiro ano pós-plantio, enquanto o *E. brassiana* apresentou os menores valores de estoque de B e Cu em ambas as épocas avaliadas.

O *C. citriodora*, *E. camaldulensis* e *E. brassiana*, apresentaram menor estoque de N e P na folha. Essas espécies estocaram menos Fe no lenho e galho aos 12 meses de idade, e no galho e folha aos 24 meses pós-plantio. O *C. citriodora* e *E. camaldulensis* estocaram mais K nas folhas e raízes no primeiro ano pós-plantio. Na mesma idade, o *E. camaldulensis* estocou mais Ca na casca. No segundo ano, essa espécie estocou mais Mg nas raízes.

### 4.3 Referências

- ASSIS, T. F.; ABAD, J. I. M.; AGUIAR, A. M. Melhoramento genético do eucalipto. In: SCHUMACHER, M. V.; VIEIRA, M. (ed.) **Silvicultura do eucalipto no Brasil**. Santa Maria: UFMS, 2015, 308p.
- ATTIWILL, P.M., LEEPER, G.W. **Forest Soils and Nutrient Cycles**. Melbourne University Press, Melbourne, 1987.
- BELLOTE, A. F. J.; SILVA, H. D. Técnicas de amostragem e avaliações nutricionais em plantios de *Eucalyptus* spp. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. (ed.) **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2000. 472p.
- BOWEN, B. D.; NAMBIAR, E. K. S. **Nutrition of plant forests**. London, Academic Press, 1984, 516 p.
- BURKHEAD, J. L.; REYNOLDS, K. A. G.; ABDEL-GHANY, S. E.; COHU, C. M.; PILON, M. Copper homeostasis. **New Phytologist**, v. 182, n. 4, p. 799-816, 2009.
- CONTI JUNIOR, J. L. F.; SILVA, P. H. M.; COUTO, H. T. Z. Deposição de folheto e fluxo de nutrientes em eucaliptos geneticamente modificado. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 37, n. 89, p. 89-92, 2017.
- DECHEN, A. R.; NACHTIGALL, G. R. Micronutrientes. In: FERNANDES, M. S. (Ed.) **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa: SBCS, p. 327-354, 2006.

- DICK, G.; SCHUMACHER, M. V.; MOMOLLI, D. R.; GUIMARÃES, C. C.; SOUZA, H. P.; LUDVICHAK, A. A. Micronutrients and biomass in *Eucalyptus dunnii* Maiden Stand. **Revista Árvore**, v. 41, n. 1, 2017.
- DUNN, G. M.; HUTH, J. R.; LEWY, M. J. Coating nursery containers with copper carbonate improves root morphology of five native Australian tree species used in agroforestry systems. **Agroforestry Systems**, v. 37, p. 143-155, 1997.
- FÁVARO, E. A.; VITORINO, A. C. T.; DANIEL, O.; NOVELINO, J. O. Boro e magnésio na produção de óleo essencial de *Corymbia citriodora* e teor de clorofila. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 41, n. 1, p. 39-46, 2012.
- FLORENCE, R.G. Ecology and Silviculture of Eucalypt Forest. **CSIRO**, Collingwood, 2004.
- GONÇALVES, J. L. D.; ALVARES, C. A.; HIGA, A. R.; SILVA, L. D.; ALFENAS, A. C.; STAHL, J.; FERRAZ, S. F. D.; LIMA, W. D. P.; BRANCALION, P. H. S.; HUBNER, A.; BOUILLET, J. P. D.; LACLAU, J. P.; NOUVELLON, Y.; EPRON, D. Integrating genetic and silvicultural strategies to minimize abiotic and biotic constraints in Brazilian eucalypt plantations. **Forest Ecology and Management**, v. 301, p. 6-27, 2013
- GONÇALVES, J. L. M.; STAPE, J. L.; BENEDETTI, V.; FESSEL, V. A. G.; GAVA, J. L. Reflexos do cultivo mínimo e intensivo do solo em sua fertilidade e na nutrição das árvores. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. **Nutrição e Fertilização Florestal**. Piracicaba IPEF, 2000. 427p.
- GONÇALVES, J. L. M.; POGIANNI, F.; STAPE, J. L.; SERRANO, M. I. P.; MELLO, S. L. M.; MENDES, K. C. F. S.; JORGE, L. A. C. Efeito de práticas de cultivo mínimo e intensivo do solo sobre a ciclagem de nutrientes, fertilidade do solo, configuração do sistema radicular e nutrição mineral de povoamentos de *Eucalyptus grandis*. Piracicaba, 1997, 94 p. (Relatório Final de Pesquisa, FAPESP, processo número 1994/4248-4)
- GUO, L. B.; SIMS, R. E. H.; HORNE, D. J. Biomass production and nutrient cycling in *Eucalyptus* short rotation energy forests in New Zealand: II. Litter fall and nutrient return. **Biomass and Bioenergy**, v. 30, p. 393-404, 2006.
- IBA, 2019. Indústria Brasileira de Árvores. **Relatório IBA 2018**. 2018, 80 p.
- KOZLOWSKI, T.T.; PALLARDY, S.G. Acclimation and adaptive responses of woody plants to environmental stresses. **The botanical review**, v. 68, n. 2, p. 270–334, 2002.
- LACLAU, J.-P.; RANGER, J.; DELEPORTE, P.; NOUVELLON, Y.; SAINT-ANDRÉ, L.; MARLET, S.; BOUILLET, J.-P. Nutrient cycling in a clonal stand of *Eucalyptus* and an adjacent savanna ecosystem in Congo. 3. Input–output budgets and consequences for the sustainability of the plantations. **Forest Ecology and Management**, v. 210, p. 375–391, 2005.

- LEE, B. R.; ZAMAN, R. AVICE, J. C.; OURRY, A.; KIM, T. H. Sulfur use efficiency es a significant determinant of drought stress tolerance in relation to photosynthetic activity in *Brassica napus* Cultivars. **Frontier in Plant Science**, v. 7, p. 459, 2016.
- LIMA, E.; VITTI, G. C.; SANTOS, L. A.; CICARONE, F. CÁLCIO E MAGNÉSIO. IN: FERNANDES, M. S.; SOUZA, S. R.; SANTOS, L. A. **Nutrição Mineral de Plantas**. 2. ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2018, 670 p.
- LOPES, A. S. **Manual Internacional de Fertilidade do Solo**, Piracicaba: Instituto da Potassa e Fosfato, Potafós, 1998.
- LORENZI, H.; SOUZA, H. M. de; TORRES, M. A. V.; BACHER, L. B. **Árvores exóticas no Brasil: madeireiras, ornamentais e aromáticas**. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2003. 352 p.
- MAFFEIS, A. R.; SILVEIRA, R. L. V. A.; BRITO, J. O. Reflexos das deficiências de macronutrientes e boro no crescimento de plantas, produção e qualidade de óleo essencial em *Eucalyptus citriodora*. **Scientia Florestalis**, n. 57, p. 87-98, 2000.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2.ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319p.
- MEURER, E. J.; TIERCHER, T.; MATIELLO, L. Potássio. In: FERNANDES, M. S.; SOUZA, S. R.; SANTOS, L. A. **Nutrição Mineral de Plantas**. 2. ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2018, 670 p.
- MIMOLLI, D. R.; SCHUMACHER, M. V.; DICK, G.; VIEIRA, M.; SOUZA, H. P. Decomposição da serapilheira foliar e liberação de nutrientes em *Eucalyptus dunnii* no Bioma Pampa. **Scientia Florestalis**, v. 46, n. 118, p. 199-208, 2018.
- POGGIANI, F.; SCHUMACHER, M. V. Ciclagem de nutrientes em florestas nativas. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. **Nutrição e Fertilização Florestal**. Piracicaba IPEF, 2000. 427p.
- REIS, C. A. F.; SANTOS, A. M.; PALUDZYSZYN FILHO, E. **Corymba citriodora: Estado da arte de pesquisas no Brasil**. Colombo: Embrapa Florestas, 2013. 57 p. (Documento Embrapa, 255)
- RIBEIRO, C.; MADEIRA, M.; ARAÚJO, M. C. Decomposition and nutrient release from leaf litter of *Eucalyptus globulus* grown under different water and nutrient regimes. **Forest Ecology and Management**, v. 171, p. 31-41, 2002.
- ROCHA, J. H. T. **Manejo de resíduos florestais e deficiência nutricional em duas rotações de cultivo de eucalipto**. 2017. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.
- ROCHA, J. H. T.; GONÇALVES, J. L. M.; GAVA, J. L.; GODINHO, T. O.; MELO, E. A. S. C.; BAZANI, J. H.; HUBNER, A.; ARTHUR JUNIOR, J. C.; WICHERT, M. P. Forest

residue maintenance increased the wood productivity of a *Eucalyptus* plantation over two short rotations. **Forest Ecology and Management**, v. 379, p. 1-10, 2016.

SAS INSTITUTE. SAS user's guide: statistic. 2011. 528 p.

SHUMACHER, M. V.; CORRÊA, R. S.; VIEIRA, M.; ARAÚJO, E. F. Produção e decomposição de serapilheira em um povoamento de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus globulus* maidenii. **Cerne**, Lavras, V. 19, n. 3, p. 501-508, 2013.

SILVA, P. H. M.; POGGIANI, F.; LIBARDI, P. L.; GONÇALVES, A. N. Fertilizer management of eucalypt plantations on sandy soil in Brazil: Initial growth and nutrient cycling. **Forest Ecology and Management**, v. 301, p. 67-78, 2013.

SILVA, P. H. M.; POGGIANI, F.; LACLAU, J. P. Applying sewage sludge to *Eucalyptus grandis* plantations: effects on biomass production and nutrient cycling through litterfall. **Applied Environmental Soil Science**, v. 2011, 2011.

SILVEIRA, R. L. V. DE A.; SGARBI, F.; HIGASHI, E. N.; MUNIZ, M. R. A. **Seja o doutor do seu eucalipto**. Informações Agronômicas, Campinas, n. 93, 2001. 32 p.

SILVEIRA, R. L. V. DE A.; GONÇALVES, A. N.; KRUGNER, T. L. Estado nutricional de *Eucalyptus citriodora* Hook cultivado sob diferentes doses de boro e sua relação com a agressividade de *Botryosphaeria ribis*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 53, p. 57-70, 1998.

SILVEIRA, R. L. V. DE A.; KRUGNER, T. L.; SILVEIRA, R. I.; GONÇALVES, A. N. Efeito do boro na suscetibilidade de *Eucalyptus citriodora* a *Botryosphaeria ribis* e *Lasioidiploidia theobramae*. **Fitopatologia Brasileira**, v. 2, n. 4, p. 482-485, 1996.

SOUZA, O. M. M.; COLLICCHIO, E. Zoneamento edafoclimático para a cultura do eucalipto (*Eucalyptus spp*) no Estado do Tocantins. In: **9º Seminário de Iniciação Científica da UFT**, v.5, 2013.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.858 p.

TIRLONI, C.; DANIEL, O.; VITORINO, A. C. T.; NOVELINO, J. O.; CARDUCCI, C. E.; HEID, D. M. Crescimento de *Corymbia citriodora* sob aplicação de boro nas épocas secas e chuvosas no Mato Grosso do Sul, Brasil. **Silva Lusitana**, v. 19, n. 2, p. 185-194, 2011.

VIEIRA, M.; SCHUMACHER, M. V.; ARAÚJO, E. F.; CORRÊA, R. S.; CALDEIRA, V. W. Deposição de serapilheira e nutrientes em plantio de *Eucalyptus urophylla* x *E. globulus*. **Floram: Floresta e Ambiente**, v. 21, n. 3, p. 327-338, 2014.

WHITE, D.A.; TURNER, N.C.; GALBRAITH, J.H. Leaf water relations and stomatal behavior of four allopatric *Eucalyptus* species planted in Mediterranean southwestern Australia. **Tree Physiology**, v. 20, p. 1157-1165, 2000.