

RESSALVA

Atendendo solicitação do(a) autor(a), o texto completo desta dissertação será disponibilizado somente a partir de 26/02/2018.

ANATOMIA DE RAÍZES DE *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden EM DIFERENTES PROFUNDIDADES DO SOLO SOB UM CONTEXTO DE REDUÇÃO DE CHUVAS

MAËLA PERON GOMIDE

Dissertação apresentada ao Instituto de Biociências, Campus de Botucatu, UNESP, para obtenção do título de Mestre no Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas (Botânica), AC: Morfologia e Diversidade Vegetal.

BOTUCATU-SP

2016

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“Júlio de Mesquita Filho”

INSTITUTO DE BIOCENCIAS DE BOTUCATU

**ANATOMIA DE RAÍZES DE *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden
EM DIFERENTES PROFUNDIDADES DO SOLO SOB UM
CONTEXTO DE REDUÇÃO DE CHUVAS**

MAËLA PERON GOMIDE

PROF^aDR^aTATIANE MARIA RODRIGUES

ORIENTADORA

DR CHRISTOPHE JOURDAN

CO-ORIENTADOR

Dissertação apresentada ao Instituto de Biociências, Campus de Botucatu, UNESP, para obtenção do título de Mestre no Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas (Botânica), Área de concentração: Morfologia e Diversidade Vegetal.

BOTUCATU-SP

2016

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉC. AQUIS. TRATAMENTO DA INFORM.
DIVISÃO TÉCNICA DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - CÂMPUS DE BOTUCATU - UNESP
BIBLIOTECÁRIA RESPONSÁVEL: ROSEMEIRE APARECIDA VICENTE-CRB 8/5651

Gomide, Maëla Peron.

Anatomia de raízes de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden em diferentes profundidades do solo sob um contexto de redução de chuvas / Maëla Peron Gomide. - Botucatu, 2016

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Instituto de Biociências de Botucatu

Orientador: Tatiane Maria Rodrigues

Coorientador: Christophe Jourdan

Capes: 20302037

1. *Eucalyptus grandis*. 2. Desidratação (Hídrica).
3. Raízes (Botânica). 4. Solos. 5. Xilema.

Palavras-chave: Estresse hídrico; Eucalipto; Raízes profundas; Raízes superficiais; Xilema.

Dedicatória

Dedico essa vitória à minha mãe, pois sem ela, nada disso seria possível. Também a dedico a toda a minha família e amigas que sempre acreditaram em mim e me apoiaram em todos os momentos de minha vida, inclusive nos mais difíceis. Obrigada por me ensinarem a nunca desistir de lutar pelos meus sonhos.

Agradecimentos

À **CAPES**, pela bolsa concedida.

À **Profa. Dra. Tatiane Maria Rodrigues**, pela orientação, prova de paciência, pelos ensinamentos e exemplo como profissional.

Ao **Dr. Christophe Jourdan**, pela co-orientação, pelos ensinamentos e pelo entusiasmo contagiante frente à ciência.

À **Profa. Dra. Miriam Tsunemi**, de forma especial pela ajuda nas estatísticas.

Aos **funcionários da Empresa Floragro** pela grande ajuda na construção das trincheiras e na realização da coleta.

Aos **funcionários da Estação Experimental de Ciências Florestais de Itatinga (EECFI) de SP** pelo acolhimento e grande auxílio durante o período de coleta.

Aos **funcionários, alunos e professores do Departamento de Botânica**, pela convivência, ensinamentos e auxílios.

À **Céline Pradier** pela companhia, amizade e alegria durante o campo.

À **Muriel de Lacerda** pelos cortes e pela amizade.

À **Ivanilde Rodrigues**, e **Juliana Izquierdo** pela grande amizade, pela ajuda, pela companhia diária e por me fazerem rir e tornar o trabalho mais leve e agradável. Nos momentos em que tudo estava difícil foram vocês que me ajudaram a não desistir.

À **Priscila e Felipe** pela grande ajuda e amizade.

À **Talita, Ketlin, Priscila e Patrícia** pelas distrações, apoio e amizade no cotidiano.

Aos **Ricardo, Katiane, Juan, Júnior e Sérgio**, pela convivência e auxílio no laboratório.

À **Max** por ser um parceiro incrível, tornar os meus dias mais leves e por me amar. Obrigada pela sua paciência, por ser o meu ponto de apoio e por me trazer tanta alegria no final dessa jornada.

À todos que contribuíram de forma ou de outra à esse trabalho meu sincero obrigada!

Sumário

Resumo.....	1
Abstract.....	3
Introdução geral.....	5
Apresentação do Artigo.....	10
Artigo.....	11
Abstract.....	11
Introduction.....	12
Materials and Methods.....	14
Results.....	17
Discussion.....	21
Literature cited.....	27
Tables.....	33
Figures.....	37
Referências Bibliográficas.....	42

GOMIDE, M. P. ANATOMIA DE RAÍZES DE *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden EM DIFERENTES PROFUNDIDADES DO SOLO SOB UM CONTEXTO DE REDUÇÃO DE CHUVAS. 2016. 47p. DISSERTAÇÃO (MESTRADO) – INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS, UNESP – UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA, BOTUCATU.

Resumo – Em espécies perenes de ambientes sazonais, o estabelecimento de um sistema radicular profundo é uma das estratégias de adaptação dessas espécies ao estresse hídrico. Nessas plantas, é bem estabelecido que a maior parte da absorção de água e íons ocorre em raízes finas não-suberizadas e que as porções mais jovens das raízes são as mais ativas nesse processo. Uma vez que modelos de mudança climática preveem uma redução de chuvas de até 20% entre a primeira e a última década do século XXI em grande faixa do globo terrestre, incluindo o Brasil, entender o efeito da redução da precipitação sobre a anatomia das raízes faz-se cada vez mais importante. O objetivo desse trabalho foi estudar a anatomia de raízes de *Eucalyptus grandis* em diferentes profundidades do solo e investigar o efeito da limitação da precipitação nos aspectos estruturais dessas raízes. Um delineamento experimental foi estabelecido em junho de 2010 com um clone de *E. grandis* em uma plantação da Estação Experimental de Ciências Florestais de Itatinga (EECFI), SP, Brasil. Dois tratamentos (dois regimes de água) foram aplicados em blocos separados de 2010 a 2014: tratamento TO (controle) sem a interceptação de chuvas e tratamento TR com interceptação de 37% das chuvas por lâminas de plástico transparente. Em 2014, trincheiras de até 17 metros de profundidade foram abertas no solo, sendo uma para cada tratamento. Cada trincheira foi centralizada entre quatro indivíduos de *E. grandis*. Raízes finas laterais foram coletadas a 0-50cm e 12-16m de profundidade do solo e separadas em quatro categorias de acordo com seu diâmetro: $\emptyset > 2\text{mm}$; $1 < \emptyset \leq 2\text{mm}$; $0,5 < \emptyset \leq 1\text{mm}$; e $\emptyset \leq 0,5\text{mm}$. As amostras foram processadas segundo técnicas usuais em anatomia vegetal. Análises morfométricas foram realizadas em secções transversais ao microscópio de luz com auxílio do software Olympus Cell B. Os resultados foram submetidos ao teste t (de Student) e U-Mann Whitney; outros à ANOVA dois fatores e ao teste de Tukey. Raízes com diâmetro $\emptyset > 2\text{mm}$ e $1 < \emptyset \leq 2\text{mm}$ coletadas em TR, e raízes com diâmetro $0,5 < \emptyset \leq 1\text{mm}$ coletadas em TO nas maiores profundidades do solo apresentaram maior área total ocupada pelo xilema; raízes com diâmetro $\emptyset > 2\text{mm}$, $1 < \emptyset \leq 2\text{mm}$ e $0,5 < \emptyset \leq 1\text{mm}$ coletadas em TR nas maiores profundidades também apresentaram maior proporção da área total ocupada pelo xilema pela área total da porção funcional da raiz; nas raízes profundas dessas três categorias coletadas em TO e TR os elementos de vaso eram menos abundantes, porém com maior diâmetro do que as raízes mais superficiais. O aumento

do diâmetro dos elementos de vasos nas raízes profundas remete a um aumento da condutividade hidráulica, porém pode aumentar o risco de embolismo. Além disso, raízes profundas dessas mesmas três categorias coletadas em TR apresentaram numerosos grupos de fibras gelatinosas no floema e tilos nos elementos de vaso. Fibras gelatinosas apresentam potencial para armazenamento de água enquanto que tilos podem representar uma estratégia contra o embolismo em condições de estresse hídrico. Esses dados reforçam a ideia de que a redução de chuva influencia a anatomia das raízes de *E. grandis* nas camadas mais profundas do solo.

Palavras-chave: estresse hídrico, eucalipto, raízes profundas, raízes superficiais, xilema

GOMIDE, M. P. ANATOMY OF *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden ROOTS AT DIFFERENT SOIL DEPTHS IN A RAINFALL REDUCTION CONTEXT. 2016. 47p. Msc DISSERTATION – BIOSCIENCE INSTITUTE, UNESP – UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA, BOTUCATU.

Abstract – In perennial species the establishment of a deep root system is an adaptive strategy to water deficit. In these plants it is well established that most of the absorption of water and ions in perennial woody species occurs in fine non-suberized roots and that younger portions of roots are the most active in this process. Since models of climate changes predict a rainfall reduction in the next years of 20% until the first and the last decade of 21st century in global large scale, including Brazil, to understand the effect of rainfall reduction on the anatomy of these roots becomes even more important. This study aims to study the anatomy of *Eucalyptus grandis* roots at different soil depths investigating the effect of limiting the rainfall in structural aspects of these roots. An experiment was set up in June 2010 with a clone of *Eucalyptus grandis* used in commercial plantations by the Suzano Company in Estação Experimental de Ciências Florestais de Itatinga (EECFI), SP, Brazil. Two treatments (two water systems) were applied in separated blocks from 2010 to 2014: treatment TO (control) without rainfall interception and treatment TR (reduction) with 37% of rainfall interception by transparent plastic sheeting panels. In 2014, trenches of until 17 m of depth were opened in the soil, one for each treatment respectively. Each trench was centered between fours individuals of *E. grandis*. Fine lateral roots with were collected at 0-50cm and 12-16m of depth and separated in four categories according to their diameter: $\emptyset > 2\text{mm}$; $1 < \emptyset \leq 2\text{mm}$; $0.5 < \emptyset \leq 1\text{mm}$; e $\emptyset \leq 0.5\text{mm}$. Samples were processed according to conventional techniques in plant anatomy. Morphometric analysis was performed in transversal sections at the light microscope Olympus BX 41 using the software Cell B. The results were submitted to the t-student test and U Mann-Whitney test; others to a two way ANOVA and Tukey test. Roots with diameter $\emptyset > 2\text{mm}$ and $1 < \emptyset \leq 2\text{mm}$ collected in TR, and roots with diameter $0.5 < \emptyset \leq 1\text{mm}$ collected in TO in greater depths of the soil presented biggest total area occupied by the xylem; roots with diameter $\emptyset > 2\text{mm}$, $1 < \emptyset \leq 2\text{mm}$ and $0.5 < \emptyset \leq 1\text{mm}$ collected in TR in greater depths also presented biggest total area of xylem per total area of functional root portion ratio; in deep roots of these three categories collected in TO and TR the vessels were less abundant, however with larger diameter than superficial roots. The increase in diameter of vessels of deep roots refers to an increase in hydraulic conductivity, but can raise the risk of embolism. Furthermore, deep roots of those three categories collected in TR showed

numerous groups of gelatinous fibers in the phloem and tyloses in the vessels. Gelatinous fibers have potential for storing water while tyloses may represent a strategy against embolism in water stress conditions. These data reinforce the idea that the reduction of rainfall influences the anatomy of the roots of *E. grandis* in the deepest layers of the soil.

Key words: drought stress, eucalyptus, deep roots, superficial roots, xylem

Introdução geral

Os modelos de mudança climática preveem um aumento da temperatura e secas mais frequentes (SHEFFIELD; WOOD, 2008; IPCC, 2013) e uma redução de chuvas de até 20% entre a primeira e a última década do século XXI em grande faixa do globo terrestre, incluindo o Brasil (IPCC, 2013). No entanto, as previsões podem ser diferentes para cada país, região ou bioma, segundo dados do PAINEL BRASILEIRO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS (2015). Modelos preveem que a maioria do bioma Cerrado sofrerá um aumento de temperatura em torno de 4°C até o final do século (MARENGO et al., 2009). Projeções severas indicam um aumento que pode chegar a até 6°C na região de transição com a Amazônia enquanto que as projeções menos severas apontam para um aumento de 2°C na parte leste do bioma. Para a precipitação, as projeções mais severas indicam uma diminuição de 20 a 50% em relação aos valores atuais na parte central e sul do Cerrado. Porém, as projeções menos severas indicam uma redução de 30% nas partes central e sul do bioma. Marengo et al. (2010) prevê mudanças na distribuição das chuvas ao longo do ano no Cerrado. Na região norte-nordeste, ocorrerá um aumento de 20 a 30 dias na duração da estação seca. Por outro lado, para a região centro-sul do Cerrado um aumento no volume de chuva na forma de tempestade é esperado (PAINEL BRASILEIRO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS, 2015).

É um fato conhecido que episódios frequentes e severos de seca são responsáveis por mudanças importantes na estrutura e função das florestas úmidas tropicais como, por exemplo, o aumento na mortalidade de árvores adultas e da capacidade inflamável da floresta (NEPSTAD et al., 2004; VAN NIEUWSTADT; SHEIL, 2005). Quando, durante uma seca severa, um esgotamento da umidade do solo sucede, isso pode promover o fechamento dos estômatos nas plantas, diminuição da área foliar (NEPSTAD et al., 1994) e redução na produção de madeira (NEPSTAD et al., 2004). Num cenário no qual as secas episódicas serão mais frequentes e intensas (COX et al. 2004; MEIR; COX; GRACE, 2006), torna-se importante saber a resposta e a adaptabilidade das espécies perenes às condições de seca para melhor entender como os ecossistemas de florestas tropicais irão reagir frente a essa situação.

Sabe-se, que no caso de espécies perenes, o estabelecimento de um sistema radicular profundo, é uma estratégia de adaptação ao estresse hídrico (DAVID et al., 2013). De acordo com Schenk e Jackson (2005), considera-se um sistema radicular profundo, aquele que possui o sistema no qual 5% ou mais das raízes estão localizadas abaixo de 2 metros de profundidade. O sistema radicular das espécies perenes é capaz de alcançar maiores

profundidades no solo podendo, inclusive, transpor camadas rochosas (MAEGHT; REWALD; PIERRET, 2013). Sabemos que as profundidades de enraizamento estão relacionadas com as características do clima e do solo e que os sistemas radiculares profundos ocorrem provavelmente mais em ecossistemas sazonais limitados pela água de clima quente temperado a tropical (SCHENK; JACKSON, 2002a, b). Os ecossistemas sazonais são limitados pela água, pois a precipitação anual é inferior ao potencial anual de evapotranspiração e costumam enfrentar períodos extensos sem precipitação.

Durante os períodos de seca, o sistema radicular de espécies perenes é capaz de disponibilizar a água das camadas mais profundas do solo e garantir o suprimento hídrico a essas plantas (NEPSTAD et al., 1994; KLEIDON; HEIMANN, 2000; CHRISTINA et al., 2011). Trabalhos demonstram a ocorrência da redistribuição hidráulica no solo, onde a água das camadas mais úmidas é transferida pelos sistemas radiculares profundos até as camadas mais secas do solo (CALDWELL; RICHARDS, 1989) e que esse fenômeno ocorre em espécies perenes durante os períodos de seca (BURGESS et al., 2000). Essa redistribuição e disponibilização de água pelos sistemas radiculares profundos podem influenciar sistemas climáticos, contribuindo significativamente para o ciclo hidrológico em biomas tropicais (OLIVEIRA et al., 2005). Pesquisas realizadas na Amazônia comprovaram que a destruição de sistemas radiculares profundos, provocada pelo desmatamento apresenta impacto direto nas condições climáticas (KLEIDON; HEIMANN, 2000). Nesse contexto, para o estabelecimento de modelos de circulação da água nos ecossistemas é evidente a importância da caracterização morfológica e anatômica dos sistemas radiculares profundos.

Pesquisas sugerem que as camadas mais profundas de solo podem ser fontes de nutrientes significantes (MCCULLEY et al., 2004; DA SILVA et al. 2011). Trabalhos também sugerem que esses sistemas de raízes profundas têm a capacidade de expandir o volume de solo acessível para a captação dos nutrientes (MCMURTRIE et al., 2012; LACLAU et al., 2013). Outro aspecto, que se sabe há décadas, é que as raízes exercem ações de intemperismo físico-químico em seu ambiente (BORMANN et al., 1998). Com sua pressão de crescimento sobre o solo elas podem originar expansões físicas em solos rochosos e a pressão pode apressar a dissolução química dos minerais (RICHTER; MARKEWITZ, 1995; RICHTER et al., 2007). Sabe-se ainda que as raízes profundas têm um papel ativo na distribuição de dióxido de carbono e na acidez do solo, contribuindo para o ciclo de carbono (MAEGHT; REWALD; PIERRET, 2013). Além disso, deve se ressaltar que essas raízes são recursos para a fauna, comunidades de fungos e bactérias que vivem no solo (MAEGHT; REWALD; PIERRET, 2013).

Apesar de sua grande importância ecológica e fisiológica, os estudos sobre raízes profundas de espécies perenes ainda são escassos (SCHENK; JACKSON, 2002a, b, 2005). A maior parte das pesquisas com sistemas radiculares enfoca o papel de raízes superficiais na nutrição mineral das espécies arbóreas perenes, sendo a contribuição relativa das raízes profundas pouco documentada (SCHENK; JACKSON, 2002a, b). Esse fato pode ser justificado pelas dificuldades metodológicas e custos excessivos envolvidos nos processos de coleta e amostragem (MAEGHT; REWALD; PIERRET, 2013). São poucos os estudos envolvendo sistemas radiculares em profundidades de solo superiores a cinco metros, sendo a maioria dos trabalhos focada nos aspectos funcionais dessas raízes (SCHENK; JACKSON, 2002 a, b, 2005; CHRISTINA et al., 2011; LACLAU et al., 2013).

Existem alguns trabalhos com anatomia de raízes profundas com 20m de profundidade de algumas espécies (MCELDRONE et al., 2004; Johnson et al., 2014; Rhizopoulou; Kapolas, 2015). McElrone et al. (2004), estudando *Juniperus ashei* J.Buchholz, *Bumelia lanuginosa* (Michx.) Pers., *Quercus virginiana* var. *fusiformis* (Small) Sarg. e *Quercus sinuata* Walter, compararam a estrutura do xilema e a vulnerabilidade a cavitação de raízes superficiais e raízes profundas. Os autores mostraram que os elementos de vaso do xilema nas raízes profundas apresentavam maior diâmetro, sugerindo que a estrutura das raízes profundas minimiza a resistência ao fluxo hidráulico e maximiza a absorção de água. De forma semelhante, Johnson et al. (2014) compararam aspectos anatômicos de raízes de *Sideroxylon lanuginosum* Michx. e *Quercus virginiana* var. *fusiformis* (Small) Sarg. coletadas a 20 m de profundidade com raízes localizadas em camadas mais superficiais do solo (< 10 cm de profundidade) e encontraram que as células condutoras do xilema de raízes mais profundas possuem diâmetro maior, propondo sua maior condutância e vulnerabilidade ao embolismo. Além disso, Rhizopoulou e Kapolas (2015) estudaram *Capparis spinosa* L. durante a época de seca e identificaram raízes dessa espécie a uma profundidade de 20m através de sua anatomia, com elementos de vaso do xilema com diâmetro maior que nas raízes superficiais. Deduzindo que um sistema radicular profundo nessa espécie estava diretamente associado ao período de seca enfrentado por ela.

É bem estabelecido que a maior parte da absorção de água e íons nas espécies lenhosas perenes ocorre em raízes finas não suberizadas (KRAMER; BOYER, 1995; SCHENK; JACKSON, 2002a, GAMBETTA et al., 2013). Sabe-se também que as porções mais jovens das raízes (porção apical *sensu lato* incluindo zona de pêlos radiculares) são as mais ativas nesse processo (TAIZ; ZEIGER, 2006; GAMBETTA et al., 2013).

O fluxo de água nas raízes pode seguir múltiplos caminhos, através de rotas apoplásticas, simplásticas, e/ou transcelulares. Em raízes não suberizadas, o caminho apoplástico foi identificado como sendo predominante. No entanto, a condutividade hidráulica do caminho apoplástico pode ser alterada devido a mudanças químicas nas paredes celulares, tais como a deposição de suberina em células da exoderme e da endoderme (GAMBETTA et al., 2013). Nesse contexto, sabe-se que sob condições de estresse hídrico ocorre maior suberificação em camadas de células das porções apicais da raiz, alterando sua permeabilidade a água (LESHEM, 1970; VANDELEUR et al., 2009). Raízes suberizadas possuem baixa atividade fisiológica devida à grande proporção de células mortas (PREGITZER et al., 2002) e possuem um papel limitado na absorção de água e íons (WELLS; EISSENSTAT, 2003; GUO et al., 2008b; GU et al., 2014), mas são importantes para o transporte, ancoragem e estoque de nutrientes (PREGITZER, 2002).

Raízes finas mostram estruturas e/ou funções extremamente variáveis entre si (PREGITZER et al., 2002). Estudos apontam que o potencial de absorção de água e nutrientes das raízes finas depende da sua arquitetura (EISSENSTAT et al., 2000; PREGITZER et al., 2002; GUO et al., 2008a). Esse fato é particularmente observado em condições de estresse hídrico sazonal em que as plantas geralmente adotam duas estratégias: (i) uma estratégia de "tolerância" ao estresse hídrico, produzindo raízes mais finas que podem sobreviver à seca periódica do solo e/ou (ii) uma estratégia de "prevenção", causando a morte das raízes finas na superfície do solo e promovendo o crescimento rápido de outras raízes em áreas mais úmidas (mais profundas) (HUANG; DUNCAN; CARROW, 1997). Assim, com a redução de chuvas e conseqüente redução da disponibilidade de água nas camadas superficiais do solo, a proporção de raízes finas profundas pode aumentar, favorecendo o fornecimento de recursos para as árvores.

Por outro lado, muitos estudos envolvendo anatomia de raízes de plantas em condições de estresse hídrico já existem identificando diferentes estratégias anatômicas a essa condição. Algumas modificações anatômicas às secas seriam: diminuição do diâmetro dos vasos de metaxilema da raiz reduzindo a área cortical transversal (VASELATTI et al., 2001); presença de elementos de vasos mais estreitos em espécies perenes para reduzir a tendência ao embolismo (TYREE; ZIMMERMANN, 2002; CARLQUIST, 2012; VON ARX; ARCHER; HUGHES, 2012); maior quantidade de vasos de menor calibre e redução do cilindro vascular (DURANTE; MASEDA; FERNÁNDEZ, 2011); menor número de camadas de células corticais que reduz os custos metabólicos da exploração do solo, permitindo a exploração mais profunda do solo, maior aquisição de água, e melhor crescimento em condições de

estresse hídrico (CHIMUNGU; BROWN; LYNCH, 2014). Vale destacar que Kadam et al. (2015) mostrou que o diâmetro do estelo e a plasticidade de desenvolvimento do xilema respondem melhor ao estresse por déficit hídrico em trigo que no milho, devido ao fato de um possuir mais plasticidade enquanto o outro é tolerante à seca. Isso mostra que algumas plantas possuem mais plasticidade que outras, podendo responder de forma diferente às condições de seca.

A família Myrtaceae possui uma distribuição predominantemente pantropical, embora se concentre na região neotropical e na Austrália. Myrtaceae inclui 130 gêneros e cerca de 4000 espécies, sendo que 22 gêneros e 1000 espécies são brasileiros, o que a torna uma das maiores famílias da flora nativa (SOUZA; LORENZI, 2012). Dessa família podemos destacar o gênero *Eucalyptus* spp., que possui muitas espécies de rápido crescimento, sendo importante fonte de biomassa para produção de papel, madeira para construção de cercas e postes, painéis de fibras, carvão vegetal e lenha industrial (TURNBULL, 1999; SOUZA; LORENZI, 2012). As plantações de eucalipto estão em expansão nas regiões tropicais ocupando cerca de 20 milhões de hectares (BOOTH, 2013). A espécie mais produtiva do gênero *Eucalyptus* ocorrente em regiões subtropicais quentes e úmidas é *Eucalyptus grandis* (GONÇALVES et al., 2013).

Vários mecanismos foram descritos para esse gênero que permitem que as árvores suportem a seca (WHITEHEAD; BEADLE, 2004). Dentre eles está o acesso à água das camadas profundas do solo através de uma extensão de suas raízes até o lençol freático (COHEN et al., 1997). No caso do *E. grandis* ocorre um aumento do sistema radicular profundo para ampliar a captação de água em períodos onde a quantidade de água vinda das camadas superficiais do solo diminui (DYE, 1996). Estudos envolvendo espécies de *Eucalyptus* demonstram que, em condições de clima árido, suas raízes são tão profundas que alcançam até 60 m profundidade no solo (STONE; KALISZ, 1991).

Existem muitos estudos envolvendo *E. grandis*, tais como: o sequenciamento de seu genoma (MYBURG et al., 2014); trabalhos relacionados a diversos aspectos de sua fisiologia (NOUVELLON et al., 2012; CAMPOE et al., 2012); e trabalhos que abordam mais a parte aérea da planta (CLEARWATER; MEINZER, 2001). Embora existam diversos estudos envolvendo *E. grandis* ainda existem poucos trabalhos sobre as raízes dessa espécie. Dentre os trabalhos com raízes dessa espécie podemos destacar aqueles com as raízes finas em grandes profundidades, que abordam tanto a biomassa (LACLAU et al., 2013) quanto a captação de nutrientes dessas raízes (DA SILVA et al., 2011).

Os trabalhos anatômicos com *E. grandis* são mais escassos e estão relacionados a anatomia da madeira (SEARSON et al., 2004; THOMAS; MONTAGU; CONROY, 2007) e das folhas (BATTIE-LACLAU et al., 2013; BATTIE-LACLAU et al., 2014). E no que se refere aos aspectos morfoanatômicos de raízes profundas dessa espécie, não foram encontrados dados disponíveis na literatura.

Este trabalho teve como objetivo estudar a anatomia de raízes finas de *Eucalyptus grandis* ao longo da profundidade do solo e investigar o efeito da limitação da precipitação nos aspectos anatômicos dessas raízes. Além disso, essa pesquisa foi realizada em consonância com outros estudos que vem sendo desenvolvidos no Brasil pela equipe da *Unidade de Pesquisa em Ecologia Funcional, Biogeoquímica de Solos e Agro-ecossistemas*” do CIRAD – Agricultural Research for Development (Instituição francesa de pesquisa) no intuito de entender os aspectos funcionais das raízes profundas e uso da água em espécies arbóreas em regiões tropicais.

Referências bibliográficas

- BATTIE-LACLAU, P. et al. Influence of potassium and sodium nutrition on leaf area components in *Eucalyptus grandis* trees. **Plant Soil**, v.371, n.1, pp 19-35, October 2013.
- BATTIE-LACLAU, P. et al. Photosynthetic and anatomical responses of *Eucalyptus grandis* leaves to potassium and sodium supply in a field experiment. **Plant, Cell and Environment**, v.37: p.70-81, January 2014.
- BOOTH, T.H. Eucalypt plantations and climate change. **Forest Ecology and Management**, v.301, p.28-34, August 2013.
- BORMANN, B.T. et al. Rapid, plant-induced weathering in an aggrading experimental ecosystem. **Biogeochemistry**, v.43, n.2, p.129-155, November 1998.
- BURGESS, S.S.O. et al. Seasonal water acquisition and redistribution in the Australian woody phreatophyte, *Banksia pri onotes*. **Annals of Botany**, v.85, n.2, p.215-224, 2000.
- CALDWELL, M.M.; RICHARDS, J.H. Hydraulic lift water efflux from upper roots improves effectiveness of water uptake by deep roots. **Oecologia**, v.79, n.1 p.1-5, April 1989.
- CAMPOE, O.C. et al. Stand-level patterns of carbon fluxes and partitioning in a *Eucalyptus grandis* plantation across a gradient of productivity, in São Paulo State, Brazil. **Tree Physiology**, v.32, n.6, p.696-706, April 2012.
- CARLQUIST, S. How wood evolves: a new synthesis. **Botany**, v.90, n.10, p.901-940, April 2012.
- CHIMUNGU, J.G.; BROWN, K.M.; LYNCH, J.P. Reduced Root Cortical Cell File Number Improves Drought Tolerance in Maize. **Plant Physiology**, v.166, n.4, p.1943-1955, December 2014.
- CHRISTINA, M. et al. Almost symmetrical vertical growth rates above and below ground in one of the world's most productive forests. **Ecosphere**, v.2, n.3, p.1-10, March 2011.
- CLEARWATER, M.J.; MEINZER, F.C. Relationships between hydraulic architecture and leaf photosynthetic capacity in nitrogen-fertilized *Eucalyptus grandis* trees. **Tree Physiology**, v.21, n.10, p.683-690, 2001.
- COHEN, Y. et al. Underground water use by *Eucalyptus* trees in an arid climate. **Trees**, v.11, n.6, p.356-362, June 1997.
- COX, P. M. et al. Amazonian forest dieback under climate-carbon cycle projections for the 21st century. **Theoretical and Applied Climatology**, v.78, n.1, p.137-156, June 2004.

- DA SILVA, E.V. et al. Functional specialization of *Eucalyptus* fine roots: contrasting potential uptake rates for nitrogen, potassium and calcium tracers at varying soil depths. **Functional Ecology**, v.25, n.5, p.996-1006, May 2011.
- DAVID, T.S. et al. Root functioning, tree water use and hydraulic redistribution in *Quercus suber* trees : A modelling approach based on root sap flow. **Forest Ecology Management**, v.307, p.136-146, November 2013.
- DURANTE, M.; MASEDA, P.H.; FERNÁNDEZ, R.J. Xylem efficiency vs. safety: Acclimation to drought of seedling root anatomy for six Patagonian shrub species. **Journal of Arid Environments**, v.75, n.5, p.397-402, May 2011.
- DYE, P.J. Response of *Eucalyptus grandis* trees to soil water deficits. **Tree Physiology**, v.16,n.1-2, p.233-238, 1996.
- EISSENSTAT, D.M. et al. Research View: Building roots in a changing environment: implications for root longevity. **New Phytologist**, v.147, n.1, p.33-42, July 2000.
- GAMBETTA, G.A. et al. Water Uptake along the Length of Grapevine Fine Roots: Developmental Anatomy, Tissue-Specific Aquaporin Expression, and Pathways of Water Transport. **Plant Physiology**, v.163, n.3, p.1254-1265, November 2013.
- GONÇALVES, J.L.M. et al. Integrating genetic and silvicultural strategies to minimize abiotic and biotic constraints in Brazilian eucalypt plantations. **Forest Ecology and Management**, v.301, p.6-27, August 2013.
- GU, J. et al. Root diameter variations explained by anatomy and phylogeny of 50 tropical and temperate tree species. **Tree Physiology**, v.34, p.415-425, April 2014.
- GUO, D. et al. Fine root heterogeneity by branch order: exploring the discrepancy in root turnover estimates between minirhizotron and carbon isotopic methods. **New Phytologist**, v.177, n.2, p.443-456, January 2008 a.
- GUO, D.L. et al. Anatomical traits associated with absorption and mycorrhizal colonization are linked to root branch order in twenty-three Chinese temperate tree species. **New Phytologist**, v.180, n.3, p.673-683, November 2008 b.
- HUANG, B.; DUNCAN, R.R.; CARROW, R.N. Drought-resistance mechanisms of seven warm-season turfgrasses under surface soil drying: II. Root aspects. **Crop Science**, v.37, n.6, p.1863-1869, October 1997.
- IPCC, 2013. Summary for policymakers. In : *Climate change 2013 : The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (eds Stocker, T.F. ; Qin, D.; Plattner, G.K.;

- Tignor, M.M.B.; Allen, S.K; Boschung, J.; Nauels, A.; Xia, Y.; Bex, V.; Midgley, P.M.). *Cambridge University Press*, 1-30.
- JOHNSON, D.M. et al. Contrasting hydraulic architecture and function in deep and shallow roots of tree species from a semi-arid habitat. **Annals of Botany**, v.113, p.617-627, February 2014.
- KADAM, N.N. et al. Does Morphological and Anatomical during the Vegetative Stage Make Wheat More Tolerant of Water Deficit Stress Than Rice?. **Plant Physiology**, v.167, p.1389-1401, January 2015.
- KLEIDON, A.; HEIMANN, M. Assessing the role of deep rooted vegetation in the climate system with model simulations: mechanism, comparison to observations and implications for Amazonian deforestation. **Climate Dynamics**, v.16, n.2, p.183-199, February 2000.
- KRAMER, J.P.; BOYER, J.S. **Water relations of plants and soil**. Academic Press, Inc., San Diego, CA. 1995.
- LACLAU, J.-P. et al. Dynamics of soil exploration by fine roots down to a depth of 10m throughout the entire rotation in Eucalyptus grandis plantations. **Frontiers in Plant Science**, v.4, p.243, July 2013.
- LESHEM, B. Resting roots of *Pinus halepensis*: structure, function, and reaction to water stress. **Botanical Gazette**, v.131, n.2, p.99-104, June 1970.
- MAEGHT, J.-L.; REWALD, B.; PIERRET, A. How to study deep roots—and why it matters. **Frontiers in plant science**, v.4, p.299, August 2013.
- MARENGO, J.A. et al. Future change of temperature and precipitation extremes in South America as derived from the PRECIS regional climate modeling system. **International Journal of Climatology**, v.29, n.15, p.2197-2352, February 2009.
- MARENGO, J.A. et al. Future change of climate in South America in the late twenty-first century: intercomparison of scenarios from three regional climate models. **Climate Dynamics**, v.35, n.6, p.1073-1097, December 2010.
- PAINEL BRASILEIRO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS, 2015. Base científica das mudanças climáticas, Vol. 1 Primeiro relatório de avaliação nacional. Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas ao Primeiro Relatório da Avaliação Nacional sobre Mudanças Climáticas [Ambrizzi, T., Araujo, M. (eds.)]. COPPE. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 464 pp.
- MCCULLEY, R.L. et al. Nutrient uptake as a contributing explanation for deep rooting in arid and semi-arid ecosystems. **Oecologia**, v.141, n.4, p.620-628, December 2004.

- MCELTRONE, A.J. et al. Variation in xylem structure and function in stems and roots of trees to 20 m depth. **New Phytologist**, v.163, n.3, p.507-517, September 2004.
- MCMURTRIE, R.E. et al. Plant root distributions and nitrogen uptake predicted by a hypothesis of optimal root foraging. **Ecology and Evolution**, v.2, n.6, p.1235-1250, June 2012.
- MEIR, P.; COX, P.M.; GRACE, J. The influence of terrestrial ecosystems on climate. **Trends in Ecology and Evolution**, v.21,n.5, p.254-260, May 2006.
- MYBURG, A.A. et al. The genome of *Eucalyptus grandis*. **Nature**, v.510, n.7505, p.356-362, June 2014.
- NEPSTAD, D.C. et al. The role of deep roots in the hydrological and carbon cycles of Amazonian forests and pastures. **Nature**, v.372, p.666-669, December 1994.
- NEPSTAD, D. et al. Amazon drought and its implications for forest flammability and tree growth: a basin-wide analysis. **Global Change Biology**, v.10, n.5, p.704-717, May 2004.
- NOUVELLON, Y. et al. Production and carbon allocation in monocultures and mixed-species plantations of *Eucalyptus grandis* and *Acacia mangium* in Brazil. **Tree Physiology**, v.32, n.6, p.680-695, May 2012.
- OLIVEIRA, R.S. et al. Deep root function in soil water dynamics in cerrado savannas of central Brazil. **Functional Ecology**, v.19, n.4, p.574-581, August 2005.
- PREGITZER, K.S. et al. Fine root architecture of nine North American trees. **Ecological Monographs**, v.72, n.2, p.293-309, May 2002.
- PREGITZER, K.S. Fine roots of trees – a new perspective. **New Phytologist**, v.154, n. 2, p.267-270, April 2002.
- RICHTER, D.D.; MARKEWITZ, D. How deep is soil. **BioScience**, v.45, n.9, p.600-609, October 1995.
- RICHTER, A.K. et al. Does low soil base saturation affect fine root properties of European beech (*Fagus sylvatica* L.)?. **Plant soil**, v.298, n.1, p.69-79, August 2007.
- RHIZOPOULOU, S.; KAPOLAS, G. In situ study of deep roots of *Capparis spinosa* L. during the dry season: Evidence from a natural “rhizotron” in the ancient catacombs of Milos Island (Greece). **Journal of Arid Environments**, v.119, p.27-30, August 2015.
- SCHENK, H.J.; JACKSON, R.B. The global biogeography of roots. **Ecological Monographs**, v.72, n.3, p.311-328, August 2002a.
- SCHENK, H.J; JACKSON, R.B. Rooting depths, lateral root spreads and below-ground/above-ground allometries of plants in water-limited ecosystems. **Journal of Ecology**, v.90, n.3, p.480-494, June 2002b.

- SCHENK, H.J.; JACKSON, R.B. Mapping the global distribution of deep roots in relation to climate and soil characteristics. **Geoderma**, v.126, n.1-2, p.129-140, May 2005.
- SEARSON, M.J. et al. Wood density and anatomy of water-limited eucalypts. **Tree Physiology**, v.24, n.11, p.1295-1302, April 2004.
- SHEFFIELD, J.; WOOD, E.F. Projected changes in drought occurrence under future global warming from multi-model, multi-scenario, IPCC AR4 simulations. **Climate Dynamics**, v.31, n.1, p.79-105, July 2008.
- SOUZA, V.V.; LORENZI, H. **Botânica Sistemática**, Guia ilustrado para identificação das famílias de Fanerógamas nativas e exóticas no Brasil, baseado em APG III, 3ª ed., São Paulo, 2012. 428-429p.
- STONE, E.L.; KALISZ, P.J. On the maximum extent of tree roots. **Forest Ecology and Management**, v.46, n.1-2, p.59-102, December 1991.
- TAIZ L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 3 ed., Porto Alegre, Artmed, 2006.
- THOMAS, D.S.; MONTAGU, K.D.; CONROY, J.P. Temperature effects on wood anatomy, wood density, photosynthesis and biomass partitioning of *Eucalyptus grandis* seedlings. **Tree Physiology**, v.27, n.2, p.251-260, 2007.
- TURNBULL, J.W. Eucalypt plantations. **New Forest**, v.17, n.1, 37-52, January 1999.
- TYREE, M.T.; ZIMMERMANN M.H. **Xylem structure and the ascent of sap**. Berlin: Springer, 2002.
- VANDELEUR, R.K. et al. The Role of Plasma Membrane Intrinsic Protein Aquaporins in Water Transport through Roots: Diurnal land Drought Stress Responses Reveal Different Strategies between Isohydric and Anisohydric Cultivars of Grapevine. **Plant Physiology**, v.149, n.1, p.445-460, January 2009.
- VAN NIEUWSTADT, M.G.L.; SHEIL, D. Drought, fire and tree survival in a Borneo rain forest, East Kalimantan, Indonesia. **Journal of Ecology**, v.93, n.1, p.191-201, 2005.
- VASELLATI, V. et al. Effects of Flooding and Drought on the Anatomy of *Paspalum dilatatum*. **Annals of Botany**, v.88, n.3, p.355-360, April 2001.
- VON ARX, G.; ARCHER, S.R.; HUGHES, M.K. Long-term functional plasticity in plant hydraulic architecture in response to supplemental moisture. **Annals of Botany**, v.109, n.6, p.1091-1100, March 2012.
- WELLS, C.E.; EISSENSTAT, D.M. Beyond the Roots of Young Seedlings: The Influence of Age and Order on Fine Root Physiology. **Journal of Plant Growth Regulation**, v.21, n. 4, p.324-334, April 2003.

WHITEHEAD, D.; BEADLE, C.L. Physiological regulation of productivity and water use in *Eucalyptus*: a review. **Forest Ecology and Management**, v.193, n.1-2, p.113-140, May 2004.