

Atendendo solicitação do(a) autor(a), o texto completo desta tese/dissertação será disponibilizado somente a partir de 29/04/2022.

At the author's request, the full text of this thesis / dissertation will not be available online until April 29, 2022.

**JOSIANA JUSSARA NAZARÉ BASÍLIO**

**RAÍZES FINAS EM PLANTAÇÕES DE EUCALIPTO: EFEITOS GENÉTICOS E  
EDAFOCLIMÁTICOS**

**Botucatu**

**2021**



**JOSIANA JUSSARA NAZARÉ BASÍLIO**

**RAÍZES FINAS EM PLANTAÇÕES DE EUCALIPTO: EFEITOS GENÉTICOS E  
EDAFOCLIMÁTICOS**

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

Orientador: Otávio Camargo Campoe

Coorientador: Robert Marsh Hubbard

**Botucatu**

**2021**

B312r

Basílio, Josiana Jussara Nazaré

Raízes finas em plantações de eucalipto: efeitos genéticos e edafoclimáticos / Josiana Jussara Nazaré Basílio. -- Botucatu, 2021  
76 p. : il., tabs., fotos, mapas

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp),  
Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu

Orientador: Otávio Camargo Campoe

Coorientador: Robert Marsh Hubbard

1. Déficit hídrico. 2. Idade de cultivo. 3. Profundidade de enraizamento. 4. Raízes finas. 5. Textura do solo. I. Título.

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

Essa ficha não pode ser modificada.

**CERTIFICADO DE APROVAÇÃO**

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: RAÍZES FINAS EM PLANTAÇÕES DE EUCALIPTO: EFEITOS GENÉTICOS E EDAFOCLIMÁTICOS

**AUTORA: JOSIANA JUSSARA NAZARÉ BASÍLIO**

**ORIENTADOR: OTÁVIO CAMARGO CAMPOE**

**COORIENTADOR: ROBERTO MARSH HUBBARD**

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

Prof. Dr. OTÁVIO CAMARGO CAMPOE (Participação Virtual)  
Ciências Florestais / Universidade Federal de Lavras



Pesquisador Dr. JOANNÈS GUILLEMOT (Participação Virtual)  
Ciências Florestais / Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz



Pesquisador Dr. TÚLIO BARROSO QUEIROZ (Participação Virtual)  
. / Bracell



Botucatu, 29 de abril de 2021



Aos meus amados pais, Manoel José Basílio e Maria Helena Nazaré Basílio, e as minhas queridas irmãs, Maria Jaciara e Juliana por todo amor, carinho e por sempre me apoiarem e acreditarem nos meus sonhos.

Dedico

A minha prima Antônia de Deus Batista (in memoriam) pela grande lição de vida e incentivo nos estudos.

Ofereço





## **AGRADECIMENTOS**

À Deus e a constante proteção de Maria em todos os momentos.

À minha família, principalmente meus pais, Manoel José e Maria Helena pelo amor e dedicação, por não terem medido esforços e suor na conquista deste sonho e pelas constantes orações nos períodos mais difíceis.

Ao meu orientador Otávio Camargo Campoe, que desde o início das atividades junto ao Programa TECHS/IPEF tem me contemplado com seu apoio, confiança e direcionamento nesta caminhada. Por ter confiado a mim um banco de dados tão especial, que no início foi um desafio, mais hoje conseguimos entregar grandes resultados para a silvicultura brasileira.

Ao meu Coorientador Robert Hubbard pelas considerações e sugestões ao longo da construção deste trabalho.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Ao IPEF pelo apoio financeiro através da concessão de bolsa durante parte da realização do mestrado.

À Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, em especial a Faculdade de Ciências Agrárias pela estrutura e qualidade de ensino oferecida.

Ao Programa TECHS pela disponibilidade do banco de dados de raízes finas para a construção deste trabalho, e a todas as empresas associadas pelo empenho na coleta das amostras, em especial a Vallourec, International Paper, Klabin e Suzano.

Ao Eng. Florestal e grande amigo Tulio Barroso Queiroz, por sua amizade, ensinamentos pessoais e profissionais, seus conselhos foram fundamentais para chegar até aqui.

Ao Osvaldir Feliciano dos Santos pelo apoio e dedicação em todos os momentos, pelo companheirismo, amizade e principalmente paciência nos momentos de dificuldades.

Aos meus colegas e amigos de pós-graduação, Gerardo Rojas, Marina Sbardella, Rhuan e Aline.

Enfim, a todos que, de uma forma ou de outra, colaboraram para a conclusão desta importante etapa na minha vida e que, embora não citados aqui, não deixam de merecer o meu agradecimento mais sincero.

## RESUMO

Compreender como as variações climáticas irão impactar a produtividade dos ecossistemas florestais se tornou um grande desafio para os fisiologistas de plantas, os quais tem destinado grandes esforços para entender sua capacidade de adaptação e sobrevivência. Neste contexto, o comportamento das raízes finas ao longo do perfil de solo até a profundidade máxima de enraizamento se torna necessário para melhorar a compreensão das interações solo-planta-atmosfera, assim como as estratégias usadas para sobrevivência aos longos períodos de seca. Este estudo teve como objetivo principal avaliar a distribuição de raízes finas em profundidade para genótipos de *Eucalyptus* cultivados em condições edafoclimáticas contrastantes, com manipulação da disponibilidade hídrica em cada sítio (100% e 70% da disponibilidade hídrica local). Os objetivos específicos foram distribuídos em três capítulos: (i) comparar a distribuição de raízes finas para quatro genótipos de *Eucalyptus* cultivados em clima tropical e subtropical aos três anos após o plantio; (ii) investigar a distribuição de raízes em profundidade para o clone *Eucalyptus* mais plantado no Brasil em quatro condições edafoclimáticas distintas três anos após o plantio e (iii) caracterizar as mudanças ocorridas na distribuição de raízes finas dos três para os seis anos de idade em dois genótipos de *Eucalyptus*. Raízes finas, ou seja, raízes com diâmetro inferior a 2 mm, foram amostradas até a profundidade máxima com auxílio de um trado semi-mecanizado que coletou amostras em três pontos por parcela. Já aos três anos, as raízes finas exploraram grande volume de solo, com massa de raízes finas situando-se entre 3,2 a 9,7 Mg.ha<sup>-1</sup>. Para esta idade, profundidades de enraizamento situaram-se entre 3 e 11 metros, com cerca de 50% das raízes finas no primeiro 1 metro do solo. Maiores profundidades de enraizamento foram identificadas no sítio subtropical quando comparado ao tropical e os genótipos A1 (*E. urophylla*) e C3 (*E. grandis* x *E. camaldulensis*) apresentaram maiores biomassas de raízes finas quando cultivados em ambientes com presença elevada de déficit hídrico (~580 mm). Aos seis anos o genótipo *E. urophylla* apresentou amplitude de massa de raízes finas de 1,69 a 10,27 Mg.ha<sup>-1</sup>, no qual metade da massa de raízes finas prevaleceu no primeiro metro de solo e menos de 10% abaixo de cinco metros de profundidade. Raízes finas atingiram profundidade de enraizamento entre 6,9 a 17,7 metros aos seis anos, sendo que a máxima profundidade foi encontrada no sítio com elevados teores de areia no solo. Verificou-se aumento em cerca de 38% na profundidade máxima de enraizamento

para os genótipos A1 e C3 dos três para os seis anos. Já em relação a massa de raízes finas, em ambiente tropical a massa de raízes finas aumentou em 55 % dos três para os seis anos para ambos os genótipos. Comportamento distinto foi observado para o sítio úmido. De maneira geral, os genótipos de *Eucalyptus* apresentaram elevada plasticidade na distribuição de raízes finas em função da disponibilidade hídrica ao longo do gradiente edafoclimáticos dos sítios, através de uma mudança relativa na alocação de carbono abaixo do solo em função da redução da disponibilidade hídrica.

**Palavras-chave:** Déficit hídrico; Idade de cultivo; Profundidade de enraizamento; Raízes finas; Textura do solo.

## ABSTRACT

Understanding how climatic variations will impact the productivity of forest ecosystems has become a major challenge for plant physiologists, who have made great efforts to understand their adaptability and survival. In this context, the behavior of fine roots along the soil profile up to the maximum rooting depth is necessary to improve the understanding of soil-plant-atmosphere interactions, as well as the strategies used to survive long periods of drought. This study aimed to evaluate the distribution of fine roots in depth for *Eucalyptus* genotypes grown under contrasting edaphoclimatic conditions, with manipulation of water availability at each site (100% and 70% of local water availability). The specific objectives were distributed in three chapters: (i) to compare the distribution of fine roots for four genotypes of *Eucalyptus* cultivated in tropical and subtropical climate at three years after planting; (ii) investigate the root distribution in depth for the most planted *Eucalyptus* clone in Brazil in four distinct edaphoclimatic conditions three years after planting and (iii) characterize the changes that occurred in the distribution of fine roots from three to six years of age in two *Eucalyptus* genotypes. Fine roots, that is, roots with a diameter of less than 2 mm, were sampled to maximum depth with the aid of a semi-mechanized auger that collected samples at three points per plot. At the age of three, thin roots explored a large volume of soil, with a mass of fine roots ranging from 3.2 to 9.7 Mg.ha<sup>-1</sup>. For this age, rooting depths were between 3 and 11 meters, with about 50% of the fine roots in the first 1 meter of the soil. Greater rooting depths were identified in the subtropical site when compared to the tropical one, and genotypes A1 (*E. urophylla*) and C3 (*E. grandis* x *E. camaldulensis*) showed higher biomass of thin roots when grown in environments with high water deficit (~ 580 mm). At six years old, the *E. urophylla* genotype showed a range of fine root masses from 1.69 to 10.27 Mg.ha<sup>-1</sup>, in which half of the mass of fine roots prevailed in the first meter of soil and less than 10% below five meters deep. Thin roots reached rooting depths between 6.9 to 17.7 meters at the age of six, and the maximum depth was found in the site with high levels of sand in the soil. There was an increase of about 38% in the maximum rooting depth for genotypes A1 and C3 from three to six years. Regarding the weight of fine roots, in a tropical environment the weight of fine roots increased by 55% from three to six years for both genotypes. Different behavior was observed for the wet site. In general, *Eucalyptus* genotypes showed high plasticity in the distribution of fine roots due to water availability

along the edaphoclimatic gradient of the sites, through a relative change in the allocation of carbon below the ground due to the reduction in water availability.

**Keywords:** Water deficit; Cultivation age; Rooting depth; Fine Roots; Soil texture.

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO GERAL</b> .....	15
<b>CAPÍTULO 1 - DISTRIBUIÇÃO DE RAÍZES FINAS EM <i>EUCALYPTUS</i> SPP. EM CONDIÇÕES CLIMÁTICAS TROPICAIS E SUBTROPICAIS</b> .....	17
1.1 INTRODUÇÃO.....	19
1.2 MATERIAL E MÉTODOS .....	20
1.3 RESULTADOS .....	23
1.4 DISCUSSÃO.....	28
1.5 CONCLUSÃO .....	31
REFERÊNCIAS .....	32
<b>CAPÍTULO 2 – DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE RAÍZES FINAS EM <i>EUCALYPTUS UROPHYLLA</i> AO LONGO DE UM GRADIENTE EDAFOCLIMÁTICO.</b> .....	17
2.1 INTRODUÇÃO.....	37
2.2 METODOLOGIA .....	38
2.3 RESULTADOS .....	43
2.4 DISCUSSÃO.....	49
2.5 CONCLUSÃO .....	51
REFERÊNCIAS .....	52
<b>CAPITULO 3 – OS PADRÕES DE ENRAIZAMENTO PROFUNDO DE <i>EUCALYPTUS SPP</i> SÃO ALTERADOS COM A IDADE</b> .....	56
3.1 INTRODUÇÃO.....	58
3.2 METODOLOGIA .....	59
3.3 RESULTADOS .....	62
3.4 DISCUSSÃO.....	66
3.5 CONCLUSÃO .....	69
REFERÊNCIAS .....	70
<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	74
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	75





## INTRODUÇÃO GERAL

Com a expansão da silvicultura para regiões de fronteiras, áreas caracterizadas pela inconstância climática associado a falta de estudos da adaptação destes clones a estas condições, podem culminar na queda de produtividade dos maciços florestais (BINKLEY et al., 2017). O que é observado para o gênero *Eucalyptus* spp. que, apesar de constituir uma vasta gama de espécies, com boa adaptação a distintas condições climáticas (STAPE et al., 2004), tem demonstrado estagnação e até mesmo declínio de seu incremento volumétrico em algumas localidades (BINKLEY et al., 2017).

Dentre os fatores que podem repercutir negativamente sobre os processos fisiológicos da planta nestas regiões, destaca-se a variação da disponibilidade hídrica. Tornando essencial o estudo da distribuição da água ao longo do perfil do solo, o que posteriormente permitirá determinar regiões onde o sistema radicular atua de forma mais efetiva (LEITE et al., 1999). Outro ponto alavancado por Hendrick & Pregitzer (1996) é o de que a biomassa radicular apresenta grande relevância para a compreensão das relações fonte/dreno na árvore.

As raízes são detentoras de grande importância na absorção de água pela planta, além de sua participação no ciclo hidrológico, cuja abrangência varia desde micro (rizosfera) a macro escalas (bacias hidrográficas) com reflexo direto sobre o ecossistema terrestre (KLEIDON & HEIMAN, 2000). Raízes grossas (diâmetro > 2 mm) possuem funções com maior caráter de especialização, como, fixação da planta ao solo, transporte e armazenamento de nutrientes e água (ADDO-DANSO et al., 2016). Apesar da constituição total do volume radicular ser representada por raízes grossas (VOGT et al., 1998), são as raízes finas que apresentam maior importância nos ciclos biogeoquímicos e produtividade dos ecossistemas (ADDO-DANSO et al., 2016), contribuindo com mais de 50% da produtividade primária líquida total das florestas (NAVROSKI et al., 2010).

Tal fato é condizente com sua capacidade em influenciar a produção e emissão de gases, pois fornecem o C e N lábeis necessários para a produção microbiana durante a respiração (SILVER et al., 2000). Tornando-a especificamente importante no ciclo do carbono, em decorrência do aumento da atividade microbiana com consequente aumento da decomposição de matéria orgânica, nestes casos chegando a representar de 20 a 70% da produção primária líquida de diversas espécies florestais (LAMBAIS, 2015).

O que torna imprescindível a compreensão da distribuição, quantidade e funcionamento do sistema radicular para o entendimento da fisiologia da planta, pois, além de mecanismos primários, estas, tendem a apresentar mecanismos de proteção, quando submetidas a condições adversas (NAVROSKI et al., 2010). Dentre as estratégias adotadas pelas plantas destaca-se a “tolerância” ao estresse hídrico, onde, na ocasião ocorre maior produção de raízes finas e a “prevenção”, cujo resultado é a morte das raízes finas em camadas superficiais, com posterior incremento de outras raízes em maiores profundidades (HUANG; DUNCAN; CARROW, 1997). Fato já retratado em plantios florestais, onde cerca de 60% das raízes finas estão concentradas em camadas do solo abaixo de um metro de profundidade (LACLAU et al., 2013), no entanto pouco se sabe a respeito da real importância das raízes profundas no funcionamento e crescimento das plantas (RADVILLE et al., 2016).

Logo, a elucidação do comportamento que o sistema radicular tende a apresentar, em decorrência de sua submissão a locais com condições climáticas contrastantes permitiria explicar processos ecofisiológicos básicos, tanto no quesito adaptação, balanço hídrico e nutrição mineral. Pois, se é de conhecimento que o crescimento das plantas tanto da parte aérea quanto radicular é resiliente as estratégias por parte do indivíduo em explorar o ambiente, dependendo primariamente do desenvolvimento de raízes finas (GONÇALVES et al., 2013). O que nos permitirá inferir sobre as possíveis causas da redução da produtividade, ou seja menor alocação de carbono para o fuste, que vem ocorrendo nos últimos anos.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo contribui para o melhor entendimento das características adaptativas de genótipos de eucalipto as alterações climáticas globais, assim como a expansão dos plantios para regiões ainda desconhecida pela silvicultura, evidenciando as principais estratégias para maximizar a absorção de recursos, garantindo maiores produtividades.

As distintas adequações do sistema radicular das plantas de eucalipto a disponibilidade de água e textura do solo poderão auxiliar as empresas florestais na seleção de genótipos mais adaptados as inúmeras áreas de cultivo. O que sugere que o enraizamento em camadas profundas do solo dever ser considerado em modelos que visam prever a produtividade de plantios de eucalipto.

A originalidade deste estudo consiste na realização de coletas de raízes finas em profundidade para genótipos de eucaliptos cultivados em ambientes com diferenças significativas nas condições edafoclimáticas.

## REFERÊNCIAS

- ADDO-DANSO, S. D.; PRESCOTT, C. E.; SMITH, A. R. Methods for estimating root biomass and production in forest and woodland ecosystem carbon studies: A review. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v.359, p.332-351. 2016.
- BINKLEY, D.; CAMPOE, O.C.; ALVAREZ, C.; CARNEIRO, R.L.; CAGATTA, I.; STAPE, J.L. The interactions of climate, spacing and genetics on clonal Eucalyptus plantations across Brazil and Uruguay. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v.405, p.271-283, 2017.
- GONÇALVES, J.L.; ALVARES, C.A.; HIGA, A.R.; SILVA, L.D.; ALFENAS, A.C.; ATAH, J. FERRAZ, S.F.B.; LIMA, W.P.; BRANCALION, P.H.S.; HUBNER, A.; BOUILLET, J-P.; LACLAU, J-P, NOUVELLON, Y.; EPRON, D. Integrating genetic and silvicultural strategies to minimize abiotic na biotic constraints in Brazilian eucalypt plantations. **Forest Ecology and Management**. Amsterdam, v.301, p6-27, 2013.
- HENDRICK, R.L.; PREGITZER, K.S. Temporal and depth related patterns of the fine root dynamics in northern hardwood forests. **Journal of Ecology**, Oxford, v.84, p.167-176, 1996.
- 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**, Madison, v.37, n.6, p.1863-1869, 1997.
- 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**, Berlin, v. 16, p. 183-199, 2000.
- LACLAU, J.-P. et al. 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**, [s. l.], v. 4, n. 243, jul. 2013.
- LAMBAIS, G. R. **Produção e mortalidade de raízes finas em plantações de Eucalyptus grandis cultivados em Latossolos (Itatinga-SP)**. Centro de Energia Nuclear na Agricultura da Universidade de São Paulo, Piracicaba – SP, Tese (Doutor em Ciências), 2015.
- LEITE, F. P., BARROS, N. F., NOVAIS, R. F., SANS, L. M. A., FABRES, A. S. relações hídricas em povoamento de eucalipto com diferentes densidades populacionais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, p. 9-16,1999.
- NAVROSKI, M. C.; BIALI, L. J.; BIANCHIN, J. E.; CAMARGO, L.; SCHUMACHER, M. V. Quantificação de biomassa e comprimento de raízes finas em povoamento de Eucalyptus cloeziana F. Muell. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 5, n. 4, p. 535-540, 2010.

RADVILLE, L.; McCORMACK, M.L.; POST, E.; EISSENSTAT, D. Root phenology in a changing climate. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v.67, p.3617-3628, 2016.

SILVER, W. L.; NEFF, J.; VELDKAMP, E. The effects of soil texture on blowground carbon and nutrient storage in a lowland Amazonian forest ecosystem. **Ecosystems**, New York, v. 3, p. 193-209, 2000.

STAPE, J. L.; BINKLEY, D.; RYAN, M. G.; NASCIMENTO G. A. Water use, water limitation and water use efficiency in a Eucalyptus plantation. **Bosque**, Valdivia, v.25, n.1, p.35-41, 2004.

VOGT, K. A.; VOGT, D. J. Analysis of some direct and indirect methods for estimating root biomass and production of forests at na ecosystem level. **Plant and Soil**, The Hague, 200, 71 – 89, 1998.