

IPEF - ESALQ
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

SCIENTIA
FORESTALIS

ISSN 1413-9324
Nº 54, Dezembro, 1998

Características do sistema radicular em povoamentos de eucaliptos propagados por sementes e estacas

Characteristics of eucalypt root system propagated by seed and rooted cutting

Sérgio Luis de Miranda Mello
José Leonardo de Moraes Gonçalves
Luis Eugênio Gonçalves de Oliveira

RESUMO: O presente estudo teve como objetivo caracterizar a distribuição das raízes finas no perfil de solo, no verão e inverno, de materiais genéticos (*Eucalyptus grandis* e do híbrido *E. grandis* vs. *E. urophylla*) propagados por sementes e por enraizamento de estacas. O estudo foi realizado no período de 1994 a 1996 numa área de plantio comercial de eucaliptos pertencente à Champion Papel e Celulose Ltda., município de Aguai (SP). O clima da região é do tipo Cwa. O Cerrado é a vegetação natural da região. O tipo de solo ocorrente na área é caracterizado como latossolo vermelho-amarelo, textura média, distrófico, relevo suave ondulado. A despeito das maiores quantidades de nutrientes acumuladas, os clones produziram mais unidades de peso de biomassa por unidade de peso de N, P, K e Mg estocadas (maior eficiência de uso desses nutrientes) do que o povoamento propagado por sementes (pps). O clone superior foi muito mais eficiente do que o pps no uso de P, K e Mg. Por outro lado, o clone superior foi muito menos eficiente no uso de Ca relativamente ao pps. Mais de 90% das raízes finas dos genótipos pesquisados possuíam espessura ≤ 1 mm. A densidade de raízes finas (drf) na serapilheira foi muito maior que aquela encontrada nas camadas de solo. No inverno, a drf (< 1 mm) do clone superior foi de $6,5 \text{ cm cm}^{-2}$ e $0,93 \text{ cm cm}^{-2}$, na serapilheira e no solo (0-10 cm), respectivamente. Os genótipos menos produtivos tendem a ter uma maior quantidade de raízes finas nas camadas superficiais do solo e na serapilheira, principalmente no verão. Parece que a disponibilidade de água é o principal fator a afetar a drf nas camadas mais profundas do solo (> 30 cm) e a disponibilidade de nutrientes o principal fator a afetar a drf nas camadas superficiais do solo (< 30 cm) e na serapilheira.

PALAVRAS-CHAVE: Raiz fina, Eucalipto, Clone, Sistema radicular.

ABSTRACT: The goal of this study was the characterization of the fine root distribution in the soil profile, over summer and winter, of genotypes (*Eucalyptus grandis* and the hybrid *E. grandis* vs. *E. urophylla*) propagated by seed and rooted cutting. It was carried out in commercial stand of eucalypt, from 1994 to 1996 in Aguai county (State of São Paulo). The climate of the region is Cwa (Köppen classification). Cerrado is the native vegetation. Red-yellow Latosol, clayey, dystrophic, light wavy relief is the typical soil of the site. In spite of the higher amounts of accumulated nutrients, the clones produced more unites of biomass weight per unites of N, P, K and Mg uptaken (higher nutrient use efficiency) than seed propagated stands (sps). The superior clone was much less efficient in the use of Ca than sps. More than 90% of the fine roots from all studied genotypes had thickness ≤ 1 mm. The fine root density (frd) in the litter was much higher than that founded in soil layers. In the winter,

the frd (< 1 mm) of the best clone was 6.5 cm^2 and 0.93 cm^3 in the litter and superficial soil (0-10 cm depth), respectively. The less productive genotypes had higher (frd) in the litter and superficial soil layers, mainly in the summer. The data suggest that moisture availability is the main factor to affect the frd in deep soil layers (> 30 cm depth) and nutrient availability in superficial ones (< 30 cm) and in the litter.

KEYWORDS: Fine root, Eucalypt, Clone, Root system.

INTRODUÇÃO

A caracterização da distribuição do sistema radicular no perfil de solo, bem como sua variação estacional, são fundamentais para a definição e tomada de decisões a respeito de importantes práticas silviculturais, tais como: preparo de solo e recomendação de adubação (local e época de aplicação de adubos). Além disso, o conhecimento do sistema radicular das árvores constitui uma importante fonte de subsídios para explicar processos ecofisiológicos básicos, principalmente aqueles relacionados com a nutrição mineral e balanço hídrico de uma árvore ou de um povoamento florestal. A compreensão desses processos pode explicar, por exemplo, diferenças entre genótipos quanto suas adaptabilidades a diferentes condições de estresse ambiental; portanto, constituindo uma informação imprescindível para o melhoramento florestal.

Analisando as pesquisas desenvolvidas no Brasil relativas a estudos sobre o sistema radicular das árvores, constata-se que a principal ênfase tem sido dada ao sistema radicular de sustentação, envolvendo árvores individuais, as quais têm suas raízes finas descartadas. Os principais trabalhos que englobaram estudos sobre o sistema radicular de absorção foram desenvolvidos por Reis et al. (1985 e 1987) e Gonçalves (1994). Estes autores verificaram grande efeito das condições climáticas, das características físicas e químicas do solo e da produtividade de florestas de eucaliptos sobre a quantidade e distribuição de raízes de absorção no perfil de solo.

Nesse contexto, o presente estudo teve como objetivo caracterizar a distribuição das raízes fi-

nas no perfil de solo, no verão e inverno, de materiais genéticos (*Eucalyptus grandis* e do híbrido *E. grandis* vs. *E. urophylla*) propagados por sementes e enraizamento de estacas.

MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização da área experimental

O estudo foi conduzido numa área de plantio comercial de eucaliptos, pertencente à Champion Papel e Celulose Ltda., no Horto Florestal Nossa Senhora Aparecida, município de Aguiá (SP). As coordenadas geográficas da área são: $22^{\circ}20'$ de latitude sul, $46^{\circ}58'$ de longitude oeste e altitude de 630 m. O clima na região é do tipo Cwa. A temperatura média anual da área experimental é igual a 20°C , a precipitação pluviométrica acima de 1400 mm. A deficiência hídrica é menor que 10 mm. O Cerrado é a vegetação natural na região. O tipo de solo ocorrente na área é caracterizado como um latossolo vermelho-amarelo, textura argilosa, distrófico, relevo suave ondulado. As características granulométricas do solo na camada de 0-20 cm: areia = 780, silte = 30 e argila = 190 g kg^{-1} . As características químicas do solo são: matéria orgânica = 22 g kg^{-1} ; pH em CaCl_2 $0,01 \text{ mol L}^{-1}$ (1:2,5) = 3,8; P-resina = 9 mg dm^{-3} ; K = 0,6; Ca = 3; Mg = 0,4; H = 51; Al = 16 mmol dm^{-3} e V = 6%, avaliadas segundo metodologia descrita por Van Raij et al. (1987).

Nesta área, foram escolhidos povoamentos de três materiais genéticos distintos, a partir de diferentes classes de I.M.A. (Incremento médio anual de volume de madeira): um clone superior obtido a partir do híbrido *Eucalyptus grandis* vs. *E. urophylla*, um clone inferior obtido a partir do *E. grandis* (Coff's Harbour), e um povoamento de *E. grandis* (Coff's Harbour) propagado via sementes, todos com 4,5 anos. Os clones foram propagados por enraizamento de estacas. Foram instaladas 3 parcelas experimentais de 600 m², contendo 100 árvores (espaçamento 3,0 x 2,0 m). Em todas as parcelas foram realizadas avaliações dendrométricas da altura, diâmetro à altura do peito (dap), volume de madeira, área basal, índice de sítio e produção de biomassa.

Avaliações dendrométricas e de biomassa

Para se estimar a produção de biomassa e a absorção de nutrientes, foram definidas 5 classes de diâmetro e posterior abate de uma árvore de cada classe. Para as estimativas de peso seco e composição química dos diferentes componentes das árvores, as folhas, os galhos e os troncos foram separados e pesados após o corte. A estimativa do peso seco dos componentes das árvores foi feito através de amostragens. Cerca de 200 g de folhas por árvore, após homogeneização de toda copa, foram amostrados. Os galhos de cada árvore, incluindo a parte do caule com menos de três centímetros de diâmetro, foram agrupados num feixe e da parte intermediária foi obtida uma amostra (cerca de 500g) representativa do conjunto. As amostras de folhas e galhos foram pesadas e, após 72 horas de secagem a 65°C (até peso constante), tiveram seus pesos secos e composições químicas determinadas segundo as metodologias propostas por Sarruge e Haag (1974). Conhecendo-se o peso fresco total dos componentes folhas e galhos, e o peso de material fresco e seco das respectivas amostras, foi possível estimar o peso de material seco total destes componentes para cada árvore abatida.

Com a finalidade de calcular o peso de casca e lenho secos, foram tomados discos com e sem casca das árvores abatidas, em intervalos fixos de 2 metros, da base da árvore até a altura em que o diâmetro era ≤ 3 cm. De posse destas medições, calcularam-se os volumes com e sem casca e, pela diferença entre ambos, foi obtido o volume de casca de cada árvore. Para o cálculo dos volumes de madeira com e sem casca foi usada a fórmula de Smallian. Para estimar a quantidade e composição química da serapilheira acumulada sobre o solo foram coletadas 12 amostras simples por parcela; após serem homogeneizadas, estas deram origem a uma amostra composta. As amostras foram retiradas com um aro de aço circular com 2 mm de espessura, 5 cm de altura e 30 cm de diâmetro. Uma das bordas do aro tem superfície cortante, para facilitar o corte do material depositado nas margens da área amostrada. As amostras foram secas e analisadas quimicamente conforme metodologias utilizadas nas amostras dos componentes das árvores.

Estudos sobre o sistema radicular

A amostragem de raízes finas (< 3 mm de espessura) foi realizada com uma sonda cilíndrica de aço inoxidável, com 4,0 cm de diâmetro e 1,3 m de comprimento. De cada material genético, foram amostradas as raízes de 4 árvores médias quanto ao dap, selecionadas, aleatoriamente, no interior de cada uma das parcelas experimentais. Tendo como ponto de partida o tronco das árvores, foram feitas amostragens a intervalos de 50 cm sobre duas linhas ortogonais e imaginárias, uma localizada sobre a linha de plantio e a outra perpendicular a esta, tendo sido locados 3 pontos de coleta sobre cada linha, totalizando 6 amostras por árvore para cada profundidade. A distribuição de raízes finas no perfil de solo foi determinada com base nas amostragens feitas nas camadas 0-10, 10-20, 20-30, 30-50, 50-100 e 100-150 cm de profundidade; as raízes entremeadas na serapilheira foram coletadas se-

paradamente, como descrito anteriormente. Na mesma época, para fazer uma estimativa do peso seco e composição química das raízes grossas (> 3 mm de espessura), três árvores médias quanto ao dap foram removidas de três parcelas experimentais distintas. Para isso, foram escavadas trincheiras ao redor das árvores, com 5,4 m². Depois de cuidadosa remoção do solo e exposição das raízes, os sistemas radiculares dessas árvores foram removidos e tiveram seus pesos frescos determinados. Todos os três materiais genéticos selecionados nessa área foram amostrados, em julho de 1995 e janeiro de 1996.

Somente foram consideradas as raízes vivas com diâmetro ≤ 3 mm. Duas classes de raízes foram separadas: a) raízes com diâmetro > 1 mm e b) raízes com diâmetro ≤ 1 mm. O comprimento radicular foi estimado pelo sistema SIARCS (Sistema Integrado para Análise de Raízes e Cobertura do Solo), desenvolvido pela EMBRAPA/CNPQIA, conforme metodologia apresentada por Jorge et al. (1993).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Características dendrométricas e biomassa de diversos compartimentos florestais

Na tabela 1 são apresentadas as características dendrométricas dos diferentes genótipos em estudo. A produção volumétrica de madeira do clone superior (híbrido *E. grandis* x *E. urophylla*) foi muito maior do que a dos demais genótipos. Enquanto este clone produziu 115,9 m³ ha⁻¹ de volume (sem casca), o clone inferior (*E. grandis*) produziu 98,1 m³ ha⁻¹ e o povoamento propagado por semente (pps), (*E. grandis*) 91,7 m³ ha⁻¹, aos 4,5 anos de idade. A percentagem de árvores dominadas foi também bastante distinta entre os genótipos: 8, 13 e 27%, para o clone superior, clone inferior e pps, respectivamente.

A biomassa total das árvores foi de 86,9; 79,2 e 69,7 t ha⁻¹ para o clone superior, clone inferior e pps, respectivamente (Tabela 2). A biomassa radicular total do clone superior representa 16% da biomassa total, sendo expressivamente maior para os demais genótipos, cerca de 21,5%. A percentagem de raízes finas variou de 2,6 a 6,3% do

Tabela 1

Características dendrométricas dos diferentes genótipos testados ¹.

Characteristics of stand from different genotypes tested.

Genótipo	Falhas	Altura média	d.a.p.	Índice de sítio ²	Volume sólido s/c
	%	m	cm	m	m ³ ha ⁻¹
clone superior	8,0	13,9 a	10,7 b	25,1 a	115,9 a
clone inferior	13,0	13,1 b	10,7 b	23,4 b	98,1 ab
semente	27,0	13,0 b	11,3 a	23,9 b	91,7 b
média	16,0	13,6	10,9	24,1	101,9
desvio padrão	9,8	0,4	0,3	0,5	12,6

¹Médias com letras iguais, na vertical, não diferem significativamente ao nível de 5 % de probabilidade pelo teste de Tukey; ² valor estimado, segundo COUTO (1990), a partir da equação: IS = Exp (ln (MHDOM) + 2,708 (1/idade real - 1/7)), onde MHDOM é igual a média de altura das árvores dominantes.

peso total de biomassa, para o clone superior e clone inferior respectivamente.

Apesar da maior produção de folhas (4 t ha⁻¹) verificada para o clone mais produtivo, sua biomassa de galhos é praticamente igual ao clone inferior. Conclui-se desses dados que o clone superior apresenta uma maior área foliar (maior atividade fotossintética) com uma alocação relativamente menor de fotoassimilados para a constituição de galhos e raízes. Observou-se que, nos povoamentos ocupados pelo clone inferior e pps, ambos com alta percentagem de falhas, houve a formação de copas mais abertas e galhos mais espessos.

A relação folhas/raízes finas (peso/peso) fornece uma indicação aproximada da relação fonte/dreno de fotoassimilados para os diferentes genótipos (Tabela 2). A menor relação foi observada para o povoamento do clone inferior (0,56), evidenciando sua menor eficiência de uso dos fotoassimilados relativamente ao clone superior (1,11). Em outras palavras, proporcionalmente, a quantidade de fotoassimilados alocados no compartimento raízes finas é maior nos genótipos menos produtivos. Quando se comparam sítios

florestais com diferentes potenciais produtivos, essas constatações podem estar associadas às disponibilidades de água e nutrientes do solo (Reis et al., 1985 e Gonçalves, 1994). Ou seja, as árvores ampliam seu sistema radicular para aumentar a capacidade de absorção de nutrientes nos solos menos férteis. No presente estudo, as relações folhas/raízes finas e a distribuição de raízes finas no perfil de solo estão associadas com a capacidade de adaptação dos diferentes genótipos aos estresses ambientais, como discutido posteriormente.

Eficiência de uso dos nutrientes

Os clones acumularam maiores quantidades de N, P, K e Ca na biomassa viva e menores quantidades de Mg do que o pps. Apesar das maiores quantidades acumuladas, os clones produziram mais biomassa por unidade de N, P, K e Mg estocadas (maior eficiência de uso desses nutrientes) do que o pps (Tabela 3). O clone superior foi muito mais eficiente do que o pps no uso de P, K e Mg. Por outro lado, este clone foi muito menos eficiente no uso de Ca relativamente ao pps.

Tabela 2
Biomassa seca de diferentes compartimentos florestais.
Dry biomass of different compartments of trees.

Genótipo	Lenho	Casca	Folha	Galho	Parte aérea total	Raiz (> 3 mm) ¹	Raiz (< 3 mm)	Sistema radicular	Árvore (total)	Raiz / parte aérea	Folha / raiz fina
t ha ⁻¹											
cl. superior	57,4	5,9	4,0	5,6	72,9	10,4	3,6 (4,1)	14,0 (16,1)	86,9	0,19	1,11
cl. inferior	48,7	4,9	2,8	5,5	61,9	12,3	5,0 (6,3)	17,3 (21,8)	79,2	0,28	0,56
semente	42,1	5,5	2,6	4,5	54,7	13,2	1,8 (2,6)	15,0 (21,5)	69,7	0,27	1,44
média	49,4	5,4	3,1	5,2	63,2	12,0	3,5	15,4	78,6	0,25	1,03
desvio padrão	7,67	0,50	0,76	0,61	9,17	1,43	1,57	1,67	8,60	0,05	0,44

⁽¹⁾ Raiz pivotante mais as raízes laterais; ⁽²⁾ percentagem de raízes finas na árvore; e ⁽³⁾ percentagem de raízes (total) na árvore.

Esta grande demanda de Ca dos clones tem grandes implicações para os programas de fertilizações minerais. Em virtude das baixas concentrações e reservas de Ca na maioria dos solos usados para fins de reflorestamentos, as fertilizações devem prever, necessariamente, a aplicação de consideráveis quantidades de Ca, junto com as fontes de N, P e K ou por meio da calagem.

Tabela 3

Eficiência de uso dos nutrientes¹ na biomassa viva acumulada para os diferentes genótipos.

Nutrient efficiency use in life biomass accumulated to the different genotypes.

Genótipo	Eficiência de uso				
	N	P	K	Ca	Mg
clone superior	350	4280	750	120	1460
clone inferior	310	3950	760	140	1360
semente	330	3630	680	170	750

¹ Eficiência de uso dos nutrientes = (quantidade de biomassa viva acumulada, kg ha⁻¹) ÷ (quantidade de nutriente acumulada na biomassa viva, kg ha⁻¹).

Configuração do sistema radicular de árvores propagadas por sementes e estacas

De modo geral, tanto para a serapilheira como para o solo, verificou-se que mais de 90% das raízes finas pertenciam a classe de raízes < 1 mm (Tabela 4), indicando ser as raízes dessa espessura as principais responsáveis pelos processos de absorção de água e nutrientes. A partir de um estudo de distribuição e crescimento radicular de *Pinus sylvestris*, Roberts (1976) concluiu que mais de 90% do comprimento radicular consistia de raízes menores que 0,5 mm de diâmetro, confirmando a importância desta classe de raízes como superfície de contato com o solo. Baldwin e Stewart (1987) constataram que raízes de

Eucalyptus grandis com diâmetro ≤ 1 mm contribuíram com 85% do comprimento total de raízes; porém, apenas 20% do peso total de raízes se referia a esta classe. Assim, a massa seca de raízes não pode ser utilizada para o ajuste de modelos para estimativa do comprimento radicular sem que haja a separação das raízes em classes de diâmetro.

Com relação ao parâmetro comprimento de raízes (< 1 mm), constatou-se que, no verão, este variou de 5.500 a 25.200 km ha⁻¹ na serapilheira e, de 91.400 a 53.100 km ha⁻¹ no perfil de solo, para o clone superior e pps, respectivamente (Tabela 4). Ou seja, cada árvore do clone superior tem, em média, cerca de 55 km de raízes finas (< 3 mm), contra 32 km do genótipo propagado por semente. Para o clone inferior foi encontrado um valor médio de 40 km por árvore. Novamente, frisando o que foi escrito anteriormente, os clones apresentaram suas maiores extensões de raízes no solo e, menor, na serapilheira; o pps vice-versa. Tudo indica que a extensão de raízes finas é uma característica intrínseca (fator hereditário) do genótipo, a qual é estreitamente relacionada com seu comportamento nutricional, potencial produtivo e capacidade de adaptação a condições de estresse ambiental. Afirmações semelhantes foram feitas por Nambiar et al. (1982), na qual ratificam a alta herdabilidade dos parâmetros radiculares e seu potencial para o melhoramento genético.

Quanto à distribuição das raízes finas no perfil de solo, constataram-se grandes variações entre materiais genéticos e época de amostragem (Figura 1). O clone superior apresentou-se como o genótipo mais plástico às variações ambientais e, o povoamento propagado por sementes (pps), o menos plástico. Ilustrando esta afirmação, pode ser visto claramente na Figura 1 que, no inverno, a densidade de raízes finas (drf) do clone superior foi maior nas camadas de 0 a 30 cm de profundidade no solo, e vice-versa no verão. Praticamente, não houveram diferenças entre os genótipos com relação à densidade cumulativa de

Tabela 4

Comprimento total de raízes finas na serapilheira e no solo dos diferentes genótipos, no inverno e verão.
Total length of fine roots in the litter and soil to the different genotypes, over winter and summer.

Compartimento	Classe de diâmetro	Inverno			Verão		
		Clone superior	Clone inferior	Semente	Clone superior	Clone inferior	Semente
— km ha ⁻¹ —							
Serapilheira	< 1 mm	6500 (80) ¹	26900 (92)	42800 (98)	5500 (87)	30300 (96)	25200 (95)
	1 a 3 mm	1600 (20)	2400 (8)	1000 (2)	800 (13)	1100 (4)	1200 (5)
Solo (0-150 cm)	< 1 mm	63800 (88)	699007 (85)	62400 (90)	91400 (88)	66100 (88)	53100 (91)
	1 a 3 mm	8700 (12)	12200 (15)	7100 (10)	12800 (12)	9300 (12)	5300 (9)

¹ Porcentagem de raízes na referida classe de diâmetro em relação ao total (< 3 mm).

raízes finas no perfil de solo, na amostragem feita no inverno (Figura 2). Cerca de 70% das raízes foram encontradas até 30 cm de profundidade. De forma diferente, no verão, a distribuição cumulativa de raízes finas do clone superior foi bem distinta daquela observada no inverno, onde apenas 30% das raízes finas foram encontradas nos 30 cm superficiais do solo. Ou seja, no verão as raízes deste genótipo se distribuíram mais homogeneamente pelo perfil do solo. Ao contrário, não foram observadas expressivas diferenças para os demais genótipos quanto à distribuição de raízes no perfil de solo.

Essa grande oscilação estacional da drf do clone superior evidencia sua grande capacidade de adaptação às condições adversas do meio ambiente, devendo ser este um fator preponderante para sua superioridade perante aos outros genótipos. Assim, no verão, período de maior atividade metabólica das árvores, quando a demanda de água é muito alta, as árvores deste clone aumentam a drf em profundidade para absorver maior quantidade de solução do solo, conseqüentemente, também dos nutrientes dissolvidos nesta solução. Por outro lado, no inverno, com a redução do ritmo de crescimento das árvores a drf nas camadas mais profundas é reduzida. A tem-

peratura atmosférica e do solo, e o teor de água no solo devem ser os principais fatores reguladores desse processo (Roberts, 1976; Nambiar, 1983). Estes resultados demonstram a importância da plasticidade morfológica das raízes finas como estratégia adaptativa ao estresse hídrico e nutricional (Crick e Grime, 1987). Para Dickmann et al. (1996), a estratégia adaptativa para 2 clones de híbridos de *Populus* spp com o aumento do estresse hídrico foi baseada no rápido desenvolvimento de raízes finas além de 30 cm de profundidade no perfil do solo.

A densidade de raízes finas (drf) na serapilheira foi muito superior àquela observada nas camadas de solo. Por exemplo, no inverno, a drf (< 1 mm) do clone superior foi de 6,5 cm cm⁻² e 0,93 cm cm⁻³, na serapilheira e no solo (0-10 cm), respectivamente (Tabelas 5 e 6). No outro extremo, esta variação foi bem maior para o povoamento propagado por semente, de 43,8 cm cm⁻² e 0,7 cm cm⁻³, respectivamente, para os mesmos compartimentos. Este último valor é similar a 0,6 cm cm⁻³ (0-10cm), obtido por Baldwin e Stewart (1987) num povoamento de *Eucalyptus grandis* aos 4 anos de idade. Ainda com relação a drf, foi verificado que os genótipos menos produtivos tendem a ter uma maior quantidade de

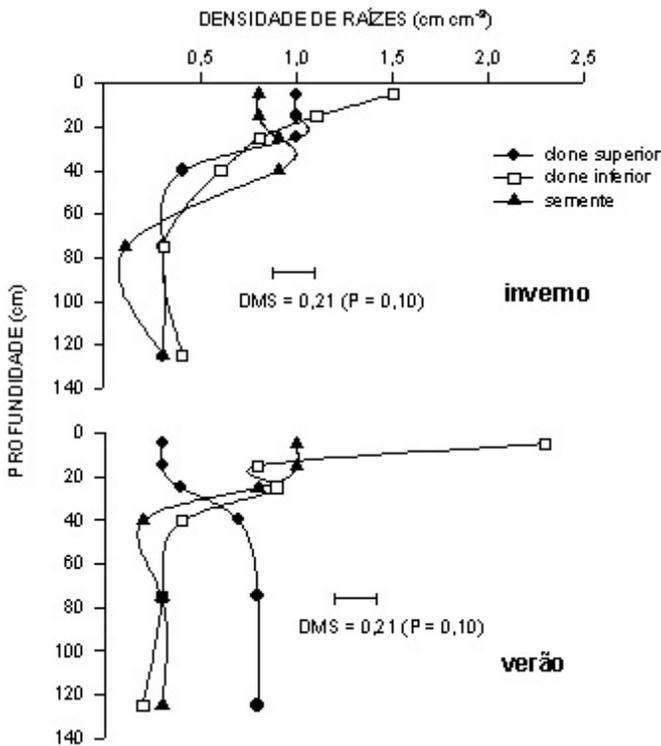


Figura 1

Densidade de raízes finas (< 3 mm) aos 4,5 anos de idade a partir de diferentes genótipos, que foram amostradas com a sonda de 4 cm de diâmetro, no inverno (07/95) e no verão (01/96).

Fine root density (< 3 mm) with 4.5 years of age from the different genotypes, sampled with a auger 4 cm thick, in the winter (07/95) and summer (01/96).

raízes finas nas camadas superficiais do solo e na serapilheira, principalmente no verão. Perante os dados obtidos, parece que a disponibilidade de água é o principal fator a afetar a drf nas camadas mais profundas do solo (> 30 cm) e a disponibilidade de nutrientes o principal fator a afetar a drf nas camadas superficiais do solo (< 30 cm) e na serapilheira. Na Figura 3, a menor disponibilidade de água nas camadas mais profundas do solo sob o clone superior ilustram a provável existência de zonas de depleção nesta região, ao mesmo tempo que apresentam maior drf. É importante ressaltar que em solos de baixa fertilidade, como os do presente estudo, uma das principais fontes

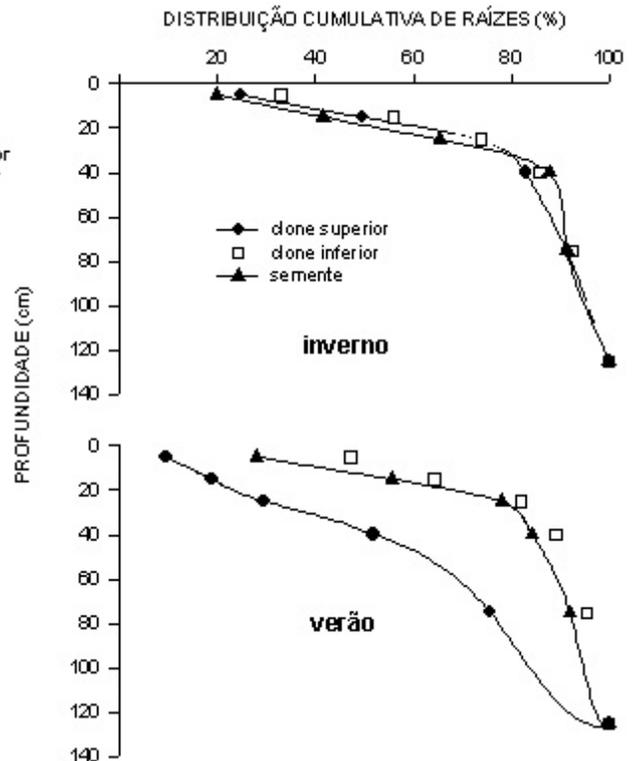


Figura 2

Distribuição cumulativa de raízes finas (< 3 mm) aos 4,5 anos de idade dos diferentes genótipos, no inverno (07/95) e no verão (01/96).

Cumulative distribution of fine roots (< 3 mm) with 4.5 years of age from different genotypes, sampled in the winter (07/95) and summer (01/96).

de nutrientes para as árvores vem dos processos de ciclagem biogeoquímica de nutrientes, disponibilizados por intermédio da mineralização da matéria orgânica presente, predominantemente, nas raízes finas em decomposição (Fabião et al., 1995) e resíduos vegetais depositados sobre o solo (Rode, 1995). Deste ponto de vista, os genótipos menos produtivos ampliam sua área radicular para aumentar as possibilidades de absorção dos nutrientes presentes nestes componentes, que, apesar de serem acumulados em maior quantidade nos povoamentos dos genótipos menos produtivos, possuem em seus tecidos menor concentração de nutrientes.

Tabela 5

Densidade de raízes finas (< 3 mm) encontrada na serapilheira de diferentes genótipos em duas épocas de amostragem ¹.

Fine root density (< 3mm) in the litter of the different genotypes, in two distinct seasons.

Classe de diâmetro	Genótipo	Época	
		Inverno	Verão
		cm cm ⁻²	
< 1 mm	clone superior	6,5 b A	5,5 b B
	clone inferior	26,9 a B	30,3 a A
	semente	42,8 a A	25,2 a B
1 a 3 mm	clone superior	1,6 a A	0,8 a A
	clone inferior	2,4 a A	1,1 a B
	semente	1,0 b A	1,2 a A
< 3 mm	clone superior	8,1 b A	6,3 b A
	clone inferior	29,3 b A	31,4 a A
	semente	43,8 a A	26,4 a B

¹ As médias com letras iguais não diferem significativamente ao nível de 10% de probabilidade pelo teste de Tukey. Diferença entre genótipos (letras minúsculas) e épocas (letras maiúsculas).

Tabela 6

Densidade de raízes finas (< 3mm) no perfil de solo (0-150 cm) dos diferentes genótipos, no inverno (I) e verão (V)¹.

Fine root density (< 3 mm) in soil profile (0-150 cm) to the different genotypes, over winter (I) and summer (V).

Classe de diâmetro	Genótipo	0-10cm		10-20cm		20-30cm		30-50cm		50-100cm		100-150cm	
		I	V	I	V	I	V	I	V	I	V	I	V
		cmcm ³											
< 1 mm	cl. superior	0,93 abA	0,27 cB	0,98 aA	0,26 bB	0,90 aA	0,31 bB	0,31 bB	0,65 aA	0,31 aB	0,67 aA	0,28 aB	0,73 aA
	cl. inferior	1,39 aB	2,07 aA	0,97 aA	0,73 aA	0,75 aA	0,75 aA	0,49 bA	0,33 bA	0,26 aA	0,28 bA	0,32 aA	0,20 bB
	semente	0,72 bA	0,88 bA	0,78 aA	0,87 aA	0,90 aA	0,71 aA	0,82 aA	0,20 bB	0,12 bB	0,24 bA	0,32 aA	0,25 bB
1 a 3 mm	cl. superior	0,10 aA	0,05 bA	0,05 aA	0,06 aA	0,10 aA	0,05 bA	0,06 aA	0,11 aA	0,05 aB	0,11 aA	0,05 aA	0,07 ^a A
	cl. inferior	0,16 aB	0,23 aA	0,14 aA	0,12 aA	0,10 aA	0,12 aA	0,11 aA	0,03 bA	0,05 aA	0,04 bA	0,07 aA	0,04 abA
	semente	0,07 aA	0,07 bA	0,09 aA	0,08 aA	0,08 aA	0,06 aA	0,06 aA	0,01 bA	0,02 aB	0,03 bA	0,05 aA	0,03 bA

¹ As médias com letras iguais não diferem significativamente ao nível de 10% de probabilidade pelo teste de Tukey. Diferença entre genótipos (letras minúsculas) e épocas (letras maiúsculas).

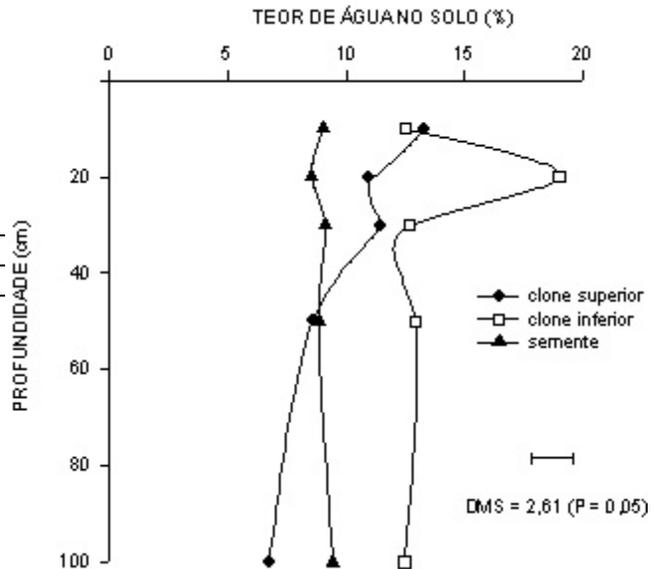


Figura 3

Teor de água no solo sob os povoamentos dos diferentes genótipos (amostragem em janeiro de 1996).

Soil moisture in the stands of the different genotypes (sampling in 01/96).

Ainda sobre a grande oscilação estacional da quantidade de raízes finas, os dados obtidos revelam que esta oscilação, operacionalizada por intermédio da síntese e “morte” de raízes, tem grande importância para a ciclagem biogeoquímica de nutrientes e enriquecimento das camadas do solo com matéria orgânica; por conseguinte, também para a ativação dos microorganismos e fauna do solo. Observou-se que entre as amostragens efetivadas no inverno e verão, houve uma variação de 1194,6, 1221,1 e 589,5 kg ha⁻¹ de biomassa de raízes finas, para o clone superior, clone inferior e pps, respectivamente. Isto corresponde a 7,4 kg ha⁻¹ de N, 0,5 kg ha⁻¹ de P, 0,3 kg ha⁻¹ de K e 5,7 kg ha⁻¹ de Ca disponibilizados via decomposição de raízes finas, no solo e serapilheira, para o clone superior (Tabela 7). McClaugherty et al. (1982) obtiveram em povoamento de *Pinus* spp com 1 ano de idade uma produção de raízes finas (< 3mm) de 3,2 t. ha⁻¹ ano⁻¹ e 44 kg ha⁻¹ de N disponibilizados neste período. No entanto, a quantidade de nutrientes disponibilizados a partir das raízes finas deve ser significativamente maior, já que parte dos nutrientes foram perdidos durante a separação e acondicionamento das raízes. Misra (1994) comprovou num experimento com *Eucalyptus nitens* que 24% do K foi perdido na lavagem das raízes e 16, 50 e 46% dos teores de

Tabela 7

Quantidade de nutrientes disponibilizados via decomposição de raízes finas, no solo e serapilheira a partir dos diferentes genótipos estudados.

Amount of nutrients released of the fine roots, in soil and litter of the different genotypes studied.

Genótipo	N	P	K	Ca	Mg
	————— Kg ha ⁻¹ —————				
clone superior	7,4	0,5	0,3	5,7	1,1
clone inferior	6,9	0,5	0,2	4,7	1,1
semente	4,7	0,4	0,1	3,3	0,4

N, P e K foram perdidos em solução aquosa na qual as raízes ficaram submersas.

CONCLUSÕES

A despeito das maiores quantidades acumuladas, os clones produziram mais unidades de peso de biomassa por unidade de peso de N, P, K e Mg estocadas (maior eficiência de uso desses nutrientes) do que o povoamento propagado por sementes (pps). O clone superior foi muito mais eficiente do que o pps no uso de P, K e Mg. Por outro lado, este clone foi muito menos eficiente no uso de Ca relativamente ao pps.

Mais de 90% das raízes finas dos genótipos pesquisados possuíam espessura ≤ 1 mm.

A distribuição e variação estacional da quantidade de raízes finas no perfil do solo apresentaram-se como características estreitamente relacionadas com a capacidade de adaptação dos genótipos aos estresses hídrico e térmico do solo, afetando diretamente seus potenciais produtivos. O clone superior (híbrido *E. grandis* x *E. urophylla*), genótipo mais produtivo, mostrou-se plástico, o clone inferior (*E. grandis*) e o povoamento de *E. grandis* propagado por sementes, genótipos menos produtivos, mostraram-se pouco plásticos a essas características.

A densidade de raízes finas (drf) na serapilheira foi muito superior àquela observada nas camadas de solo. No inverno, a drf (< 1 mm) do clone superior foi de 6,5 cm cm⁻² e 0,93 cm cm⁻³, na serapilheira e no solo (0-10 cm), respectivamente.

Os genótipos menos produtivos tendem a ter uma maior quantidade de raízes finas nas camadas superficiais do solo e na serapilheira, principalmente no verão. Parece que a disponibilidade de água é o principal fator a afetar a drf nas camadas mais profundas do solo (> 30 cm) e a disponibilidade de nutrientes o principal fator a afetar a drf nas camadas superficiais do solo (< 30 cm) e na serapilheira.

Cada árvore do clone superior possui, em média, cerca de 55 km de raízes finas (< 3 mm), contra 32 km do genótipo propagado por semente. Para o clone inferior foi encontrado um valor médio de 40 km por árvore.

Tudo indica que a extensão de raízes finas é uma característica intrínseca (fator hereditário) do genótipo, a qual é estreitamente relacionada com seu comportamento nutricional, potencial produtivo e capacidade de adaptação às condições de estresse ambiental.

AUTORES E AGRADECIMENTOS

SÉRGIO LUIS DE MIRANDA MELLO é Engenheiro Florestal, Mestre em Ciências Florestais pela ESALQ/USP, ex-bolsista do CNPq;

JOSÉ LEONARDO DE MORAES GONÇALVES é Professor Associado do Departamento de Ciências Florestais da ESALQ/USP. Caixa Postal 9 - 13418-900 - Piracicaba, SP. E-mail = jlmgonca@carpa.ciagri.usp.br

LUIS EUGÊNIO GONÇALVES DE OLIVEIRA é Acadêmico do Curso de Graduação em Engenharia Florestal da ESALQ/USP, bolsista do CNPq.

Nossos agradecimentos à Champion Papel e Celulose Ltda., nas pessoas do Engenheiro Florestal João Comério e do Técnico Agrícola Marco Aurélio Freitas Lopes, pela cessão da área experimental e apoio logístico de campo; ao CNPq pela concessão de bolsas de estudo, à FAPESP pelo auxílio financeiro e ao Programa Temático de Silvicultura e Manejo (PTSM) do IPEF pelo apoio financeiro e logístico, sem os quais não seria possível a realização desta pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BALDWIN, P.J.; STEWART, H.T.L. Distribution, length and weight of roots in young plantations of *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden irrigated with recycled water. *Plant and soil*, v.97, p.243-252, 1987.
- COUTO, H.T.Z. *Índice de sítio: relatório interno da Champion Papel e Celulose Ltda.* Moji Guaçu, 1990. 7p.
- CRICK, J.C.; GRIME, J.P. Morphological plasticity and mineral nutrient capture in two herbaceous species of contrasted ecology. *New phytologist*, v.107, n.2, p.403-414, 1987.
- DICKMANN, D.I.; NGUYEN, P.V.; PREGITZER, K.S. Effects of irrigation and coppicing on above-ground growth, physiology, and fine root dynamics of two field-grown hybrid poplar clones. *Forest ecology and management*, v.80, p.163-174, 1996.
- FABIÃO, A.; MADEIRA, M.; STEEN, E.; KÄTTERER, T.; RIBEIRO, C.; ARAÚJO, C. Development of root biomass in a *Eucalyptus globulus* plantation under different water and nutrient regimes. *Plant and soil*, v. 168/169, p.215-223, 1995.
- GONÇALVES, J.L.M. *Características do sistema radicular de absorção do Eucalyptus grandis sob diferentes condições edáficas.* Piracicaba, 1994. 84p. Tese (Livre Docência) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- JORGE, L.A.C.; RESENDE, P.C.S.; POSADAS DURAND, A.; FREITAS JUNIOR, E.; CRESTANA, S. Comparação de técnicas de análises de imagens digitais na determinação do comprimento de raízes. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 10, 1993. *Resumos*. 1993, p.314-315.
- McCLAUGHERTY, C.A.; ABER, J.D.; MELILLO, J.M. The role of fine roots in the organic matter and nitrogen budgets of two forested ecosystems. *Ecology*, v.63, n.5, p.1481-1490, 1982.
- MISRA, R.K. Assessment of errors in nutrient analyses of roots. *Australian journal of soil research*, v.32, p.1275-1286, 1994.

- NAMBIAR, E.K.S. Root development and configuration in intensively managed radiata pine plantations South Australia. *Plant and soil*, v.71, p.37-47, 1983.
- NAMBIAR, E.K.S.; COTTERILL, P.P.; BOWEN, G.D. Genetic differences in root regeneration of radiata pine. *Journal of experimental botany*, v.33, p.170-177, 1982.
- REIS, M.G.F.; BARROS, N.F.; KIMMINS, J.P. Acúmulo de nutrientes em uma seqüência de idade de *Eucalyptus grandis* W. Hill (ex - Maiden) plantado no cerrado em duas áreas com diferentes produtividades, em Minas Gerais. *Revista árvore*, v.11, n.11, p.1-15, 1987.
- REIS, M.G.F.; KIMMINS, J.P.; REZENDE, G.C.; BARROS, N.F. Acúmulo de biomassa em uma seqüência de idade de *Eucalyptus grandis* plantado no cerrado em duas áreas com diferentes produtividades. *Revista árvore*, v.9, n.2, p.149-162, 1985.
- ROBERTS, J. A study of the root distribution and growth in a *Pinus sylvestris* L. (Scots pine) plantation in East Anglian. *Plant and soil*, v.44, p.607-621, 1976.
- RODE, M.D. Aboveground nutrient cycling and forest development on poor sandy soil. *Plant and soil*, v.168/169, p.337-343, 1995.
- SARRUGE, J.R.; HAAG, H.P. *Análises químicas em plantas*. Piracicaba: ESALQ, 1974. 56p.
- VAN RAIJ, B.; QUAGGIO, J.A.; CANTARELLA, H.; FERREIRA, M.; LOPES, A.S.; BATAGLIA, O.C. *Análise química de solo para fins de fertilidade*. Campinas: Fundação Cargill, 1987. 170p.

• **TRABALHOS DE PESQUISA** • EFEITO DA CAMADA DE RESÍDUOS FLORESTAIS NA COMPACTAÇÃO DO SOLO CAUSADA PELO TRANSPORTE PRIMÁRIO DA MADEIRA. • *FERNANDO SEIXAS; EZÉR DIAS DE OLIVEIRA JÚNIOR; CÍNTIA RODRIGUES DE SOUZA* • CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA RADICULAR EM POVOAMENTOS DE EUCALIPTOS PROPAGADOS POR SEMENTES E ESTACAS. • *SÉRGIO LUÍS DE MIRANDA MELLO; JOSÉ LEONARDO DE MORAES GONÇALVES; LUIS EUGÊNIO GONÇALVES DE OLIVEIRA* • NÍVEIS CRÍTICOS DE FÓSFORO NO SOLO E NAS FOLHAS PARA A IMPLANTAÇÃO DE *EUCALYPTUS GRANDIS* HILL EX MAIDEN, EM QUATRO TIPOS DE SOLOS. • *JOÃO JOSÉ ISMAEL; SÉRGIO VALIENGO VALERI; LENINE CORRADINI; SILVIO FERNANDES ALVARENGA; CELINA FERRAZ DO VALLE; MANOEL EVARISTO FERREIRA; DAVID ARIIVALDO BANZATTO* • ADIÇÃO DE NUTRIENTES AO SOLO EM SISTEMA AGROFLORESTAL DO TIPO “CULTIVO EM ALÉIAS” E EM CERRADO NA REGIÃO DE BOTUCATU, SP. • *ÁLVARO LUIZ MAFRA; ANDREAS ATILA DE WOLINSK MIKLÓS; HUGO LUIZ VOCURCA; ALEXANDRE HUMBERTO HARKALY; EDUARDO MENDOZA* • VARIAÇÃO GENÉTICA DE INDICADORES DE TENSÃO DE CRESCIMENTO EM CLONES DE *EUCALYPTUS UROPHYLLA*. • *LOTHAR SCHACHT; JOSÉ NIVALDO GARCIA; ROLAND VENCOVSKY* • ESTABILIDADE DIMENSIONAL DO COMPENSADO UTILIZANDO RESINA DE ALTA REATIVIDADE. • *DIMAS AGOSTINHO DA SILVA; IVAN TOMASELLI; SETSUO IWAKIRI* • DURABILIDADE NATURAL DE 46 ESPÉCIES DE MADEIRA AMAZÔNICA EM CONTATO COM O SOLO EM AMBIENTE FLORESTAL. • *MARIA APARECIDA DE JESUS; JOSÉ WELLINGTON DE MORAIS; R. LIÉGE SOUZA DE ABREU; MARIA DE FÁTIMA C. CARDIAS* • ESTIMATIVAS E TESTES DA DISTRIBUIÇÃO DE FREQUÊNCIA DIAMÉTRICA PARA *EUCALYPTUS CAMALDULENSIS*, ATRAVÉS DA DISTRIBUIÇÃO S_B , POR DIFERENTES MÉTODOS DE AJUSTE. • *JOSÉ ROBERTO S. SCOLFORO; AGUINALDO THIERSCHI* • AVALIAÇÃO DE IMAGENS-ÍNDICE E IMAGENS-PROPORÇÃO NA IDENTIFICAÇÃO DE PLANTIOS FLORESTAIS DESFOLHADOS POR GEADAS E PELO ATAQUE DE INSETOS. • *FLÁVIO JORGE PONZONI* • COMPARANDO TRÊS MÉTODOS DE AMOSTRAGEM: MÉTODOS DE DISTÂNCIAS, CONTAGEM DE QUADRATS E CONGLOMERADO ADAPTATIVO. • *ILKA AFONSO REIS; RENATO MARTINS ASSUNÇÃO* • PROGRAMAS EDUCATIVOS COM FLORA E FAUNA (EXPRESSIONES DA BIODIVERSIDADE) E A EDUCAÇÃO AMBIENTAL. • *JOÃO LUIZ PEGORARO; MARCOS SORRENTINO* • **COMUNICAÇÕES** • ZONEAMENTO ECOLÓGICO DAS BACIAS DO PARANÁ E ALTO PARAGUAI (MS) PARA *EUTERPE EDULIS* MART. • *OMAR DANIEL; SILVIO NOLASCO OLIVEIRA NETO*