



Alan Mario Zuffo

Organizador



**Avanços
nas Ciências
Florestais
Volume III**



Pantanal Editora

2022

Alan Mario Zuffo
Organizador

Avanços nas Ciências Florestais
Volume III



Pantanal Editora

2022

Copyright© Pantanal Editora

Editor Chefe: Prof. Dr. Alan Mario Zuffo

Editores Executivos: Prof. Dr. Jorge González Aguilera e Prof. Dr. Bruno Rodrigues de Oliveira

Diagramação: A editora. **Diagramação e Arte:** A editora. **Imagens de capa e contracapa:** Canva.com. **Revisão:** O(s) autor(es), organizador(es) e a editora.

Conselho Editorial

Grau acadêmico e Nome

Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos
Prof. MSc. Adriana Flávia Neu
Prof. Dra. Allys Ferrer Dubois
Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior
Prof. MSc. Aris Verdecia Peña
Prof. Arisleidis Chapman Verdecia
Prof. Dr. Arinaldo Pereira da Silva
Prof. Dr. Bruno Gomes de Araújo
Prof. Dr. Caio Cesar Enside de Abreu
Prof. Dr. Carlos Nick
Prof. Dr. Claudio Silveira Maia
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos
Prof. Dr. Cristiano Pereira da Silva
Prof. Ma. Dayse Rodrigues dos Santos
Prof. MSc. David Chacon Alvarez
Prof. Dr. Denis Silva Nogueira
Prof. Dra. Denise Silva Nogueira
Prof. Dra. Dennyura Oliveira Galvão
Prof. Dr. Elias Rocha Gonçalves
Prof. Me. Ernane Rosa Martins
Prof. Dr. Fábio Steiner
Prof. Dr. Fabiano dos Santos Souza
Prof. Dr. Gabriel Andres Tafur Gomez
Prof. Dr. Hebert Hernán Soto Gonzáles
Prof. Dr. Hudson do Vale de Oliveira
Prof. MSc. Javier Revilla Armesto
Prof. MSc. João Camilo Sevilla
Prof. Dr. José Luis Soto Gonzales
Prof. Dr. Julio Cezar Uzinski
Prof. MSc. Lucas R. Oliveira
Prof. Dra. Keyla Christina Almeida Portela
Prof. Dr. Leandro Argente-Martínez
Prof. MSc. Lidiene Jaqueline de Souza Costa Marchesan
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann
Prof. MSc. Marcos Pisarski Júnior
Prof. Dr. Marcos Pereira dos Santos
Prof. Dr. Mario Rodrigo Esparza Mantilla
Prof. MSc. Mary Jose Almeida Pereira
Prof. MSc. Núbia Flávia Oliveira Mendes
Prof. MSc. Nila Luciana Vilhena Madureira
Prof. Dra. Patrícia Maurer
Prof. Dra. Queila Pahim da Silva
Prof. Dr. Rafael Chapman Auty
Prof. Dr. Rafael Felipe Ratke
Prof. Dr. Raphael Reis da Silva
Prof. Dr. Renato Jaqueto Goes
Prof. Dr. Ricardo Alves de Araújo (*In Memoriam*)
Prof. Dra. Sylvana Karla da Silva de Lemos Santos
MSc. Tayronne de Almeida Rodrigues
Prof. Dr. Wéverson Lima Fonseca
Prof. MSc. Wesclen Vilar Nogueira
Prof. Dra. Yilan Fung Boix
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme

Instituição

OAB/PB
Mun. Faxinal Soturno e Tupanciretã
UO (Cuba)
IF SUDESTE MG
Facultad de Medicina (Cuba)
ISCM (Cuba)
UFESSPA
UEA
UNEMAT
UFV
AJES
UFGD
UEMS
IFPA
UNICENTRO
IFMT
UFMG
URCA
ISEPAM-FAETEC
IFG
UEMS
UFF
(Colômbia)
UNAM (Peru)
IFRR
UCG (México)
Mun. Rio de Janeiro
UNMSM (Peru)
UFMT
Mun. de Chap. do Sul
IFPR
Tec-NM (México)
Consultório em Santa Maria
UFJF
UEG
FAQ
UNAM (Peru)
SEDUC/PA
IFB
IFPA
UNIPAMPA
IFB
UO (Cuba)
UFMS
UFPI
UFG
UEMA
IFB
UFPI
FURG
UO (Cuba)
UFT

Apresentação

O avanço tecnológico é comum em todas as áreas de conhecimento, na área de Ciência Florestal não é diferente. As tecnologias florestais são fundamentais para o uso sustentável dos recursos naturais e na comercialização dos produtos florestais. A obra, vem a consolidar o anseio da Editora Pantanal na divulgação de resultados, que contribuem de modo direto no desenvolvimento humano e na sustentabilidade dos recursos naturais.

O primeiro volume do e-book “Avanços nas Ciências Florestais III” é a continuação de uma série de volumes de e-books com trabalhos que visam otimizar a produção e conservação dos recursos florestais. Nos capítulos são abordados os seguintes temas: importância do sistema radicular de árvores em plantios florestais; fisiologia do estresse hídrico em plantas; modelagem volumétrica de um plantio e candeia a partir de imagens RapidEye; escarificação química e mecânica de sementes de *Parkinsonia aculeata* L. e seu efeito na absorção de água e germinação. Portanto, esses conhecimentos irão agregar muito aos seus leitores que procuram promover melhorias quantitativas e qualitativas na Ciência Florestal. Sempre em busca da sustentabilidade do planeta.

Aos autores dos capítulos, pela dedicação e esforços sem limites, que viabilizaram esta obra que retrata os recentes avanços científicos e tecnológicos na área de Avanços nas Ciências Florestais III os agradecimentos do organizador e da Pantanal Editora. Por fim, esperamos que este ebook possa colaborar e instigar mais estudantes e pesquisadores na constante busca de novas tecnologias e avanços para a áreas de Ciência Florestal. Assim, garantir uma difusão de conhecimento fácil, rápido para a sociedade.

O organizador


Sumário

Apresentação	4
Capítulo 1	6
Importância do sistema radicular de árvores em plantios florestais	6
Capítulo 2	17
Fisiologia do Estresse Hídrico em Plantas	17
Capítulo 3	24
Modelagem volumétrica de um plantio de candeia a partir de imagens RapidEye	24
Capítulo 4	40
Escarificación química y mecánica de semillas Parkinsonia aculeata L. SP.Pl. y su efecto en la absorción de agua y germinación	40
Índice Remissivo	50
Sobre o organizador	51

Importância do sistema radicular de árvores em plantios florestais

Recebido em: 17/09/2022


Aceito em: 20/09/2022


 10.46420/9786581460655cap1

Maria José de Holanda Leite^{1*} 

Álvaro Martins de Carvalho Filho² 


Gabriela Gomes Ramos³ 

Denise Maria Santos⁴ 

Carmen Hellen da Silva Rocha⁵ 

Andréa de Vasconcelos Freitas Pinto¹ 

Alcîenia Silva Albuquerque³ 

Bianca Maria Silva do Nascimento⁶ 

INTRODUÇÃO

A comunidade vegetal modifica em menor ou maior grau o ambiente onde se encontra, dado que em um ecossistema existem interações entre subsistemas do meio ambiente físico, do meio biótico e entre os meios físicos e bióticos (Raven et al., 2014). Para se adaptar as condições impostas pelo ambiente, as plantas desenvolvem mecanismos adaptativos para se instalarem e sobreviverem conforme as condições e oferta de atributos ambientais do ecossistema.

O sistema radicular das plantas, além de promover a ancoragem da árvore, tem estreita interação com o solo, absorve água e nutrientes essenciais ao crescimento vegetal, auxilia na retenção do solo contra a ação da erosão, aumenta a capacidade de infiltração de água no solo, fornece exsudado para os microrganismos e participa ativamente dos processos pedogenéticos (Biddle, 1992).

As áreas degradadas são ecossistemas que sofreram forte intervenção de natureza exógena (perturbação), perdendo sua capacidade de resiliência, supressão da vegetação e retirada abrupta do substrato sendo necessário a utilização de técnicas de reabilitação como medidas biológicas. O sistema radicular é uma variável importante na avaliação da construção de ecossistemas reabilitados e do seu subsolo. Diante da carência de estudos e pesquisas sobre suas as possíveis inter-relações entre as espécies vegetais, seus sistemas radiculares, os seus respectivos papéis funcionais em ecossistemas reabilitados

¹ Universidade Federal de Alagoas (UFAL), BR 104, Km 85, CEP: 57100-000, S/N - Mata do Rolo - Rio Largo, Alagoas, Brasil.

² Centro Universitário Ateneu, Brasil.

³ Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), 52171-900, Rua Dom Manuel de Medeiros, s/n - Dois Irmãos, Recife, Pernambuco, Brasil.

⁴ Instituto Dom José de Educação e Cultura, Brasil.

⁵ Instituto Federal do Maranhão-IFMA, Brasil.

⁶ Universidade Federal de Campina Grande –UFCG, Brasil.

* Autora correspondente: maryholanda@gmail.com

envolvendo espécies pioneiras rústicas nativas e exóticas, esse estudo torna-se relevante, além de que os estudos realizados são voltados à silvicultura (Simões, 1989).

O conhecimento do comportamento do sistema radicular nas diferentes medidas biológicas com diferentes composições de espécies vegetais é faz-se importante, com o intuito de enriquecer as estratégias de reabilitação de áreas degradadas. Onde a seleção de espécies com sistema radicular capaz de suportar condições adversas do meio, cumprindo seus papéis funcionais, ajuda na reconstrução dos ecossistemas, mesmo que de forma gradual, mas ganhando-se no final pelo acerto das medidas empregadas serem autossustentáveis (Cutler et al., 1990).

O SISTEMA RADICULAR DAS ÁRVORES

As raízes das árvores absorvem água e nutrientes do solo, servem como estoque de carboidratos e formam um sistema estrutural que suporta o tronco e a copa. A natureza deste sistema é mal compreendida, provavelmente porque ocorre debaixo da terra (Appezato-Da-Glória; Carmello-Guerreiro, 2003).

Os mesmos autores relatam ser um equívoco comum é que o sistema radicular é um 'reflexo' do tronco e dos galhos. Na verdade, o sistema de raízes das árvores é raso, dominado por longas, relativamente pequenas e laterais raízes, espalhadas e rentes à superfície do solo, em vez de uma raiz principal profundamente penetrante. É incomum que as árvores tenham raízes mais profundas do que 2m, embora excepcionalmente algumas raízes, com poucos milímetros de diâmetro, possam se estender até 5m ou mais, solo adentro (Appezato-Da-Glória; Carmello-Guerreiro, 2003).

A maioria das raízes fica perto da superfície, 90% ou mais delas estão localizadas nos 60cm superiores. Embora a profundidade típica das raízes das árvores tenha sido exagerada, a disseminação das raízes muitas vezes foi subestimada - elas geralmente se estendem para fora muito além da expansão da copa (linha de gotejamento).

DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA RADICULAR

Inicialmente, uma semente em germinação tem uma única raiz, a radícula, ou raiz principal, que cresce verticalmente para baixo, desde que as condições do solo sejam adequadas. O alongamento é mais rápido durante 2 ou 3 anos, mas diminui a partir do terceiro ano e para maiores profundidades de solo.

As raízes laterais (radiais) crescem horizontalmente e formam um estágio inicial de apoio e logo se tornam responsáveis pelo suporte estrutural. O desenvolvimento da raiz principal declina, resultando em uma pequena proporção de árvores com uma boa raiz mestra na maturidade. Na verdade, é difícil distinguir uma raiz principal em muitas árvores naturais, pois ocorre frequentemente lesão na ponta da raiz mestra, por exemplo, pela passagem da fauna do solo, podridão radicular, falha na penetração em camadas de solo compactas e duras ou nos viveiros, pelo corte/transplante (Appezato-Da-Glória; Carmello-Guerreiro, 2003).

Espécies consideradas pivotantes, como o carvalho (*Quercus* spp.), o pinheiro (*Pinus* spp.), o cedro (*Abies* spp.), tem uma tendência inerente mais forte de reter uma raiz principal distinta, do que o álamo (*Populus* spp.), salgueiro (*Salix* spp.) e abeto (*Picea* spp.), mas a raiz principal não persiste mesmo naquelas espécies. As raízes principais intactas são geralmente maiores logo abaixo do tronco e afinam até atingirem uma profundidade de 0,5 a 1 m, onde muitas vezes elas se dividem em várias raízes menores, mas ainda assim descendentes.

As raízes laterais perto da superfície do solo engrossam em anos sucessivos, tornam-se grandes raízes lenhosas e formam o apoio estrutural da árvore adulta - geralmente existem entre quatro e onze raízes que podem engrossar 30cm ou mais, próximas do caule. Elas afinam rapidamente até a distância de 2-3m, quando ficam com 2-5cm de diâmetro, um ponto em que perderam muito de sua rigidez e força física.

É aqui que elas tendem a se romper quando ocorre falha na placa radicular, como em tempestades. Para além dessa "zona de afinamento rápido", as raízes laterais estendem-se amplamente por muitos metros, sem uma redução adicional significativa na bitola - tipicamente mantendo um diâmetro de 1-2cm.

Elas são esparsamente ramificadas, perenes, de aparência lenhosa e semelhante a cordas. Em algumas espécies, como o freixo (*Fraxinus* spp.), cerejeira (*Prunus* spp.), espinheira branca ou biancospino (*Crataegus* spp.) e alguns pinheiros, estas raízes tendem a crescer para formar um sistema superficial de raízes, geralmente restrito aos 15cm superiores do solo. Embora a maioria das raízes parecidas com cordas tenham apenas 5-15m de comprimento, algumas podem ter mais de 25m.

No lado superior das raízes laterais, crescem para cima raízes ramificadas, que se dividem profusamente na superfície do solo, que geralmente é bem arejado, e formam leques ou esteiras de milhares de fibras finas (<2 mm de diâmetro) não-lenhosas, as raízes "absorventes" ou "alimentadoras". Na floresta, elas crescem horizontalmente entre as folhas caídas de 2 a 3 anos.

Estas raízes em leque penetram e mantêm a cobertura sobre uma área considerável; cada uma pode ocupar uma fina camada horizontal de 300 cm² ou mais. Associadas a estas raízes estão as micorrizas, muito mais finas e parecidas com fios. As micorrizas são fungos simbióticos que crescem sobre ou nas raízes, numa associação que é mutuamente benéfica tanto para a árvore como para o fungo. São extremamente eficientes na absorção de nutrientes, especialmente fósforo, e muitas árvores não conseguem sobreviver sem elas.

Raízes finas e suas micorrizas são conjuntamente responsáveis pela absorção de umidade e nutrientes, enquanto as raízes lenhosas perenes atuam principalmente como vasos condutores de/para o tronco. As raízes finas têm um tempo de vida variando de alguns dias a vários anos - em média sobrevivendo por 1-2 anos.

Raízes ramificadas a partir do lado inferior das laterais são conhecidas como 'raízes descendentes' e geralmente ocorrem a alguns metros do caule. Elas têm 1-2cm de diâmetro, crescem para baixo, e em

contraste com a raiz principal ou as laterais oblíquas, dividem suas extremidades em raízes finas e não lenhosas.

a) Distribuição das raízes

A variabilidade das condições do solo e a presença de obstáculos e barreiras ao crescimento das raízes resultam em uma variável e imprevisível distribuição, dentro da visão geral já apresentada. Isso ocorre porque o crescimento das raízes é oportunista, ocorrendo somente onde o ambiente do solo pode sustentá-lo (Apezzato-Da-Glória; Carmello-Guerreiro, 2003).

As raízes proliferam onde quer que encontrem condições favoráveis, razão pela qual a maior concentração de raízes é encontrada perto da superfície, onde o solo é mais solto e água, oxigênio e nutrientes estão mais prontamente disponíveis. Quanto maior a profundidade do solo, maior é a densidade e menor a aeração, conseqüentemente, o número e o tamanho das raízes diminuem drasticamente com a profundidade. Portanto, abaixo de 1m é raro encontrar muitas raízes, maiores que alguns mm de diâmetro.

b) Profundidade da raiz

As raízes mais profundas são geralmente encontradas diretamente abaixo ou próximas do tronco, como a principal e as raízes oblíquas laterais ou as raízes descendentes. A profundidade máxima das raízes varia muito, de apenas 10 a 20 cm em solos encharcados para, excepcionalmente, dezenas de metros em solos bem arejados ou rochas fissuradas. No entanto, não existe uma espécie de árvore intrinsecamente "profundamente enraizada" ou "pouco enraizada".

Todas as árvores podem desenvolver um sistema radicular profundo (2-3m de profundidade) se as condições do solo permitirem. As diferenças aparentes na capacidade de enraizamento dependem da capacidade geneticamente determinada das raízes para tolerar condições difíceis do solo, como a má aeração e compactação (Apezzato-Da-Glória; Carmello-Guerreiro, 2003).

É essa propensão que faz com que os sistemas radiculares de algumas árvores sejam mais profundos do que outros sob as mesmas condições.

Enquanto as características genéticas de uma árvore desempenham algum papel no padrão de enraizamento, as condições do solo são de importância primordial. Assim, a penetração descendente das raízes das árvores pode ser interrompida pela excessiva pedregosidade, estratos de óxido de ferro (iron pans), camadas compactas do solo (especialmente argilas compactas), leito rochoso, aeração deficiente e lençóis freáticos altos ou encravados. Mesmo as raízes principais são incapazes de continuar crescendo quando atingem tais condições - elas seguem horizontalmente ou morrem.

Onde as raízes profundas morrem, várias raízes substitutas podem se desenvolver logo atrás do tecido morto e estas, por sua vez, também se tornam horizontais ou morrem. Obstruções no solo em profundidades rasas são comuns no Reino Unido e, portanto, não é de surpreender que um levantamento

das placas de raízes de árvores derrubadas pelo vento no sul da Inglaterra após as tempestades de 1987 e 1990 revelou que 44% das placas de raízes eram mais rasas do que 1m, 95% foram mais rasas que 2m e a placa de raiz mais profunda foi de apenas 3m.

Este padrão está de acordo com a grande quantidade de dados disponíveis a partir de escavações de sistemas de raízes que indicam que a profundidade média das raízes está tipicamente na faixa de 1 a 2m.

c) Propagação da raiz

A propagação da raiz não está confinada à área delimitada por uma projeção descendente das pontas dos galhos, como muitas vezes foi suposto. A escavação revelou que as raízes podem crescer a uma distância considerável além da área da copa; tipicamente estendendo-se para fora por uma distância equivalente a pelo menos a altura da árvore, e alguns casos (particularmente em solos inférteis ou compactos) até 3 vezes a altura das árvores.

Raízes distantes do tronco são geralmente muito próximas à superfície do solo. Obstáculos no solo, como pedras, calçadas ou as fundações prediais fornecem uma barreira física à extensão da raiz (ver Marshall et al., em preparação). As raízes que se deparam com tais obstáculos tipicamente desviam deles e, uma vez livres da obstrução, retomam sua direção original de crescimento.

FATORES QUE AFETAM A DISTRIBUIÇÃO DAS RAÍZES

a) Densidade do solo

O crescimento da raiz diminui acentuadamente com o aumento da densidade do solo; o crescimento ótimo é alcançado em aproximadamente $1,2 \text{ g cm}^{-3}$ de densidade ou menos. Em solos argilosos pesados, o crescimento efetivamente cessa a uma densidade $1,6 \text{ g cm}^{-3}$ e em solos arenosos mais claros a cerca de $1,7 \text{ g cm}^{-3}$.

A compactação pode ser uma ocorrência natural em alguns locais, por exemplo, causada por glaciação ou pode ser induzida, como na passagem repetida de veículos sobre a superfície do solo.

Nos solos compactados, muitas vezes é difícil estabelecer árvores porque as raízes não penetram de forma eficaz. As árvores que crescem nesses solos desenvolvem um sistema radicular muito raso, com um grande número de raízes laterais na parte relativamente menos densa do solo.

Raízes que atingem um subsolo compacto tendem a se deformar ou se ramificar profundamente e continuar lateralmente, acima do plano de compactação. Se estas raízes encontrarem um caminho através da camada compacta, como uma fissura ou um canal radicular deteriorado, elas podem retomar o crescimento para baixo.

Se o solo abaixo da obstrução for favorável, então as raízes podem proliferar novamente, produzindo um sistema radicular de dois níveis. Árvores estabelecidas, que experimentam repentina compactação do solo (por exemplo, pelo movimento de máquinas em canteiros de obras) frequentemente

sofrem a morte da raiz, e a copa morre devido à incapacidade da árvore para se adaptar rapidamente a esta mudança das condições do solo.

b) Aeração do solo

Para que as raízes sobrevivam, o oxigênio deve estar disponível no solo, no entorno delas. O fornecimento de oxigênio às raízes é determinado pela estrutura e textura do solo; em solos com textura grossa ou solta, as folgas de ar entre as partículas de terra são relativamente grandes e assim o oxigênio atmosférico se difunde rapidamente no solo, e o produto residual da respiração, o dióxido de carbono, pode se dissipar.

Este processo é inibido em solos de textura fina (argilosa), encharcado e compactado porque os poros são pequenos e também podem ser preenchidos com água - a difusão gasosa é 10.000 vezes mais rápida no ar do que na água.

A aeração deficiente do solo, especialmente a produzida pelo encharcamento prolongado, inibe o crescimento de novas raízes e pode resultar na morte e deterioração de uma grande porção do sistema radicular existente. As árvores que estão em tais condições tendem a ser caracterizadas por sistemas radiculares muito rasos, semelhantes a placas, onde as raízes estão confinadas ao solo superior, mais aeróbico. As raízes das árvores dormentes toleram períodos de aeração deficiente melhor do que as de árvores que crescem ativamente, porque sua taxa de respiração é reduzida e elas precisam de menos oxigênio.

c) Fertilidade

O solo fértil estimula o crescimento dos brotos relativos às raízes e aumenta a ramificação delas. Raízes de árvores estabelecidas proliferam em áreas de solo úmido que são ricas em nutrientes, especialmente nitrogênio e fósforo. Em geral, os solos com baixa fertilidade produzem sistemas radiculares longos, finos, mal ramificados e superficiais, enquanto locais com maior fertilidade produzem raízes bem ramificadas e profundas (desde que o solo esteja suficientemente solto e o oxigênio disponível).

d) As raízes das árvores e o lençol freático

É um equívoco comum que as árvores são fortemente dependentes do lençol freático para ter umidade durante os secos meses de verão. Na maior parte do Reino Unido, o lençol freático está situado no fundo do solo, muito além do alcance das raízes das árvores, e nada contribui para atender a demanda de água das árvores.

Árvores e outras vegetações em geral são totalmente dependentes de chuvas recentes e da água armazenada no solo demonstra que a demanda de água de árvores na maior parte do Reino Unido e para a maioria dos tipos de solo, mesmo durante o verão seco, estão disponíveis em uma profundidade de

solo de cerca de 1,5 m. Nos raros casos em que as raízes estão ao alcance do lençol freático, elas muitas vezes proliferam logo acima, na "franja capilar" mas elas são incapazes de crescer nos poros saturados do lençol freático devido à má aeração.

CRESCIMENTO DAS RAÍZES E INFLUÊNCIA NA ABSORÇÃO

A capacidade das plantas para obter água e nutrientes minerais do solo está relacionada com sua capacidade para desenvolver um extensivo sistema radicular. O desenvolvimento do sistema radicular de mono e de dicotiledôneas depende, em grande parte, da atividade do meristema apical das raízes.

A absorção de íons é mais pronunciada em raízes jovens. Além disto, a taxa de absorção de íons das raízes diminui na região mais distante do ápice radicular. No entanto, esta tendência varia bastante, dependendo de fatores, como tipo de íon (nutriente), estado nutricional e espécie vegetal.

No solo, os nutrientes podem se mover para as superfícies radiculares dissolvidos no fluxo em massa de água ou por difusão. No fluxo em massa, os nutrientes são carreados pela água que está se movendo do solo para a raiz. O fluxo em massa ocorre por diferença de pressão, a qual é determinada, primariamente, pela taxa de transpiração (Rylter, 1997).

Assim, a quantidade de nutriente suprida por fluxo em massa depende da transpiração e da concentração do nutriente na solução do solo. Quando ambas são altas, o fluxo em massa passa a ter importante papel na aquisição de nutrientes. Em geral, nutrientes como Cálcio e o Nitrato são transportados para a superfície das raízes por fluxo em massa.

Na difusão, nutrientes minerais movem-se de uma região de maior para outra de menor concentração. A absorção de nutrientes pela raiz diminui a concentração dos íons nesta região e favorece a difusão em direção à superfície radicular.

Quando a difusão é lenta, cria-se uma zona de esgotamento do nutriente próximo à superfície da raiz. Normalmente, a difusão é importante para nutrientes encontrados em baixas concentrações na solução do solo, como é o caso do fósforo.

SISTEMA RADICULAR DE ESPÉCIES FLORESTAIS

O solo é o espaço físico onde ocorre o crescimento radicular. Nesse espaço, entre raiz e solo, duas forças se opõem: a pressão radicular, gerada por mecanismos biofísicos da planta, e a resistência à penetração do solo causada pelas forças que existem entre sólidos e solução do solo. Quando a pressão radicular vence, a raiz cresce. Por outro lado, quando a planta não consegue produzir suficiente pressão radicular, a raiz não se desenvolve.

Assim, pode-se concluir que é necessário priorizar a produção de mudas com boa qualidade morfológica, visto que raízes bem estruturadas estão mais aptas a vencer a resistência do solo, desenvolvendo-se em busca de água e nutrientes, desta maneira, favorecendo o crescimento da planta.

O desenvolvimento do sistema radicular de uma árvore é um processo complexo que envolve muitos fatores internos e do ambiente, e suas interações. O fator que coordena a distribuição das raízes no solo é o genótipo da espécie; porém, ele pode ser influenciado por outros fatores inerentes ao ambiente, principalmente do solo, tais como: fertilidade, densidade, disponibilidade de oxigênio, textura e temperatura.

As circunstâncias em que a planta se desenvolve, como por exemplo, competição e espaçamento entre as árvores, também contribuem para o desenvolvimento das raízes. Por isso é de grande importância do conhecimento do funcionamento do sistema radicular, pois este é fundamental no manejo das florestas plantadas.

De maneira geral, dois padrões de distribuição são encontrados: o da estrutura típica de árvore invertida, de um sistema de raízes primárias, e o da estrutura tipo guarda-chuva, de um sistema de raízes secundárias. O conhecimento da área onde ocorre a maior atividade do sistema radicular é importante para o planejamento do fornecimento de nutrientes via solo, uma vez que a absorção de água e de nutrientes ocorre simultaneamente.

A inibição do crescimento da parte aérea de mudas sob restrição radicular é, provavelmente, um processo regulado por sinais hormonais enviados pelas raízes, nos quais os fatores nutricionais ou relações hídricas das plantas podem ou não desempenhar papel secundário.

Uma compreensão da dinâmica de raízes, que determina sua distribuição no solo ao longo do tempo, envolve o desenvolvimento das relações quantitativas entre características do solo e alocação de carbono fixo nos compartimentos do solo, mortalidade e rotação das raízes e morfologia do sistema de raízes desenvolvido. No entanto, na ausência de tais informações, uma observação empírica representa uma abordagem válida para compreender aspectos da dinâmica das raízes.

As raízes de árvores podem ser separadas, de acordo com seu tamanho e morfologia, em três categorias: raízes grossas, que apresentam baixa taxa de regeneração; raízes de diâmetro médio, que também apresentam baixa taxa de regeneração; e raízes finas, com alta taxa de regeneração. Cada uma tem sua importância no crescimento da planta.

IMPORTÂNCIA DO SISTEMA RADICULAR NO CRESCIMENTO E PRODUTIVIDADE DA PLANTA

O conhecimento da arquitetura radicular de espécies florestais pode permitir a recomendação de espécies mais adaptadas às características climáticas e de solo de uma determinada área ou região, conduzindo a uma melhor utilização do recurso solo.

O sucesso no estabelecimento de mudas é dependente da capacidade da muda gerar novas raízes. A produção de novas raízes pode atenuar o efeito do choque do transplante ou plantio (termo usado para descrever a redução de crescimento das mudas, causada pela aclimatação no novo ambiente) logo após o plantio, o qual resulta de proliferação de raízes pobres e insuficiente contato solo-raiz.

Este problema pode ser pronunciado no caso de mudas de raízes nuas, onde o contato solo-raiz é perturbado através da perda de raízes finas. O crescimento de novas raízes ajuda a aliviar este problema. Em mudas de coníferas, o crescimento de novas raízes é dependente da fotossíntese e de alto potencial de água imediatamente após o plantio.

Sabe-se que, a distribuição das raízes no solo resulta de uma série de processos complexos e dinâmicos, que incluem as interações entre o ambiente, o solo e as plantas em pleno crescimento. A restrição do sistema radicular limita o crescimento e o desenvolvimento de várias espécies, em virtude da redução de área foliar, altura e produção de biomassa.

A senescência de árvores de idade avançada está associada às severas restrições e limitações fisiológicas ao sistema radicular. Essas restrições não ocorrem somente com mudas, mas com árvores que se desenvolvem em condições naturais.

A forma, a profundidade e a distribuição das raízes dependem do ambiente e do potencial genético de cada espécie. Impedimentos físicos ou químicos do solo podem dificultar o pleno desenvolvimento das raízes.

As funções das raízes são ancoragem, absorção e movimento longitudinal de água e nutrientes minerais. Absorção e movimentação da água são realizadas pelas raízes finas, e a ancoragem da árvore pelas raízes grossas.

a) Raízes finas

As raízes finas, geralmente definidas como sendo menores que 2 mm de diâmetro, desempenham um papel significativo no crescimento das árvores. Raízes finas têm curto período de vida (menos que um ano) e são as principais responsáveis pela absorção de água e nutrientes pelas plantas, onde comprimento e número destas raízes são indicadores da capacidade de absorção. Portanto, é desejável que as plantas apresentem um amplo sistema radicular. A maior produção de biomassa de raízes se dá na fase de maior crescimento das árvores, isto é, na fase vegetativa, ocorrendo, durante o período de florescimento e de frutificação, um decréscimo na produção de biomassa de raízes.

As raízes finas são mais abundantes no horizonte orgânico, onde se concentram de 40 a 70% do total de biomassa dessas raízes, das quais 50-80% são biomassa morta, resultado da rápida decomposição e regeneração de raízes finas.

A interação de fatores, dentre eles, a espécie, clone, idade, estação em que é produzida, diâmetro das raízes, além de fatores ambientais do solo, influenciaram na longevidade das raízes finas de

Frequentemente, as raízes de diferentes espécies ou da mesma espécie florestal, sobrepõem-se ocupando os mesmos horizontes orgânicos ou minerais no perfil do solo. Contudo, também é frequente a ocorrência de vários patamares da posição vertical e horizontal das raízes, o que pode permitir uma separação da exploração de recursos e, deste modo, reduzir a competição e aumentar produtividade.

A aquisição de nutrientes pelas plantas no solo ocorre através do crescimento das raízes e por suas ramificações, e a quantidade absorvida é determinada pela área superficial total de raízes e pela taxa de absorção por unidade de superfície de raiz. Raízes mais longas e mais finas, para a mesma massa (mesmo consumo metabólico), resultam em maior área superficial e, conseqüentemente, mais aptas em absorver nutrientes, especialmente os pouco móveis no solo, como o fósforo.

A proliferação de raízes finas na camada da superfície orgânica do solo no ecossistema florestal, é vista como uma estratégia para adquirir nutrientes em solos inférteis, nos quais há limitação de nutrientes. Isso é muito importante em floresta tropical, onde a maioria dos solos é altamente intemperizada, e a camada de raízes, desenvolve-se dentro da camada orgânica para captura, ao longo do ano, de nutrientes produzidos pela decomposição da matéria orgânica (Raven et al., 2001).

A restrição do sistema radicular de mudas de diversas espécies reduziu o peso da matéria seca das raízes, o número de extremidade de raízes, o comprimento de raízes, a área foliar e a assimilação de água.

Em florestas tropicais, o estudo de biomassa de raízes finas é restrito por causa das dificuldades na distinção de raízes vivas. Metodologias visuais não são adequadas neste tipo de floresta, onde a alta diversidade está expressa através da morfologia de muitas raízes. Por outro lado, a definição de raízes mortas é ambígua.

b) Raízes grossas

As raízes grossas têm papel fundamental para a planta. Dentre suas funções, pode-se destacar a sustentação ou ancoragem.

A maioria dos estudos referentes a ancoragem tem sido concentrada em espécies de interesse econômico, particularmente coníferas. A ancoragem é muito importante porque mantém a planta fixa no solo, geralmente na vertical, enquanto as raízes finas se encarregam de absorver água e nutrientes, indispensáveis para o desenvolvimento da planta. Algumas destas substâncias assimiladas pelas raízes finas da árvore, são deslocadas e armazenadas pelas raízes grossas da planta, caracterizando uma função nova para este tipo de raízes (West et al., 2004).

Diferentes fatores afetam a direção de crescimento das raízes, como a direção da qual a raiz emerge e também da sua curvatura em função disso, deve ser priorizada a produção de mudas sem restrição às raízes e técnicas de plantio adequadas, com mínimo de dano ao enraizamento. Estes procedimentos auxiliam a formação de um bom sistema radicular e dão condições para seu desenvolvimento, tanto na fase de viveiro, quanto na fase de crescimento da planta no campo (Raven et al., 2001).

Um sistema radicular bem formado assimila melhor água e nutrientes, o que, de certa maneira, influencia diretamente o crescimento da planta. Além do crescimento da planta, outros fatores são dependentes do desenvolvimento das raízes e da sua arquitetura; dentre eles, o tombamento da árvore.

Fatores limitantes de crescimento das raízes em profundidade incluem rocha na superfície, horizonte B do solo, superfície compactada, solos com horizontes rasos e compactados, toxicidade. O desenvolvimento vertical da raiz é importante na redução da susceptibilidade de queda pelo vento (Raven et al., 2001).

O desenvolvimento das raízes primárias é influenciado por muitos fatores externos. Fatores ambientais que podem afetar a estabilidade e ancoragem da árvore não incluem somente água e relações de nutrientes, mas também aspectos físicos do solo, os quais podem causar impedância, inibindo o crescimento da raiz.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O sistema radicular é muito importante para a estabilidade e crescimento da planta; portanto, além de mudas de boa qualidade, deve-se priorizar o preparo do solo e o plantio das mudas, já que o aspecto físico do solo e a maneira como a muda é colocada na cova, tem grande influência sobre o crescimento das plantas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Appezzato-Da-Glória, B., & Carmello-Guerreiro, S. M. (2003). Anatomia vegetal. Viçosa: Ed. UFV.
- Biddle, P. G. (1992). Tree roots and foundations. Arboriculture Research Note 108/92/EXT. Arboricultural Advisory and Information Service, Farnham. BS 5837. (1991). Guide for trees in relation to construction. British Standards Institution, London.
- Cutler, D. F., Gasson, P. E., & Farmer, M. C. (1990). The wind blown tree survey: analysis of results. Arboricultural Journal 14, 265-286.
- Raven, P. H., Evert, R. F., & Eichhorn, S.E. 2014. Biologia Vegetal, 8ª ed.
- Raven, P. H., Evert, R. F., & Eichhorn, S. E. (2001). Biologia vegetal. 6.ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan.
- Rylter, R. M. (1997). Fine root production and carbon and nitrogen allocation in basket willows. Thesis (Doctoral) - Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala.
- Simões, J. W. (1989). Plantio e tratos culturais: métodos, possibilidades e economicidade. Piracicaba: ESALQ, Departamento de Ciências Florestais, 20 p.
- West, J. B.; Espeleta, J. F.; & Donovan, L. A. (2004). Fine root production and turnover across a complex edaphic gradient of a *Pinus palustris-Aristida stricta* savanna ecosystem. Forest Ecology Management. 189: 397-406.

Índice Remissivo

E

Eremanthus erythoropappus, 24

M

manejo, 13, 19, 23, 24

modelagem, 4, 27, 28, 33

P

produção de mudas, 12, 15

produtividade, 14, 18, 20, 21, 23

S

sensoriamento remoto, 25, 37

silvicultura, 7

sistema radicular, 4, 6, 7, 9, 10, 11, 12, 13, 14,
15, 16, 17, 21

Sobre o organizador



  **Alan Mario Zuffo**

Engenheiro Agrônomo, graduado em Agronomia (2010) na Universidade do Estado de Mato Grosso (UNEMAT). Mestre (2013) em Agronomia - Fitotecnia (Produção Vegetal) na Universidade Federal do Piauí (UFPI). Doutor (2016) em Agronomia - Fitotecnia (Produção Vegetal) na Universidade Federal de Lavras (UFLA). Pós - Doutorado (2018) em Agronomia na Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UEMS). Atualmente, possui 165 artigos publicados/aceitos em revistas nacionais e internacionais, 127 resumos simples/expandidos, 66 organizações de e-books, 45 capítulos de e-books. É editor chefe da Pantanal editora e revisor de 18 revistas nacionais e internacionais. Professor adjunto na UEMA em Balsas. Contato: alan_zuffo@hotmail.com.



Pantanal Editora

Rua Abaete, 83, Sala B, Centro. CEP: 78690-000
Nova Xavantina – Mato Grosso – Brasil
Telefone (66) 99682-4165 (Whatsapp)
<https://www.editorapantanal.com.br>
contato@editorapantanal.com.br

