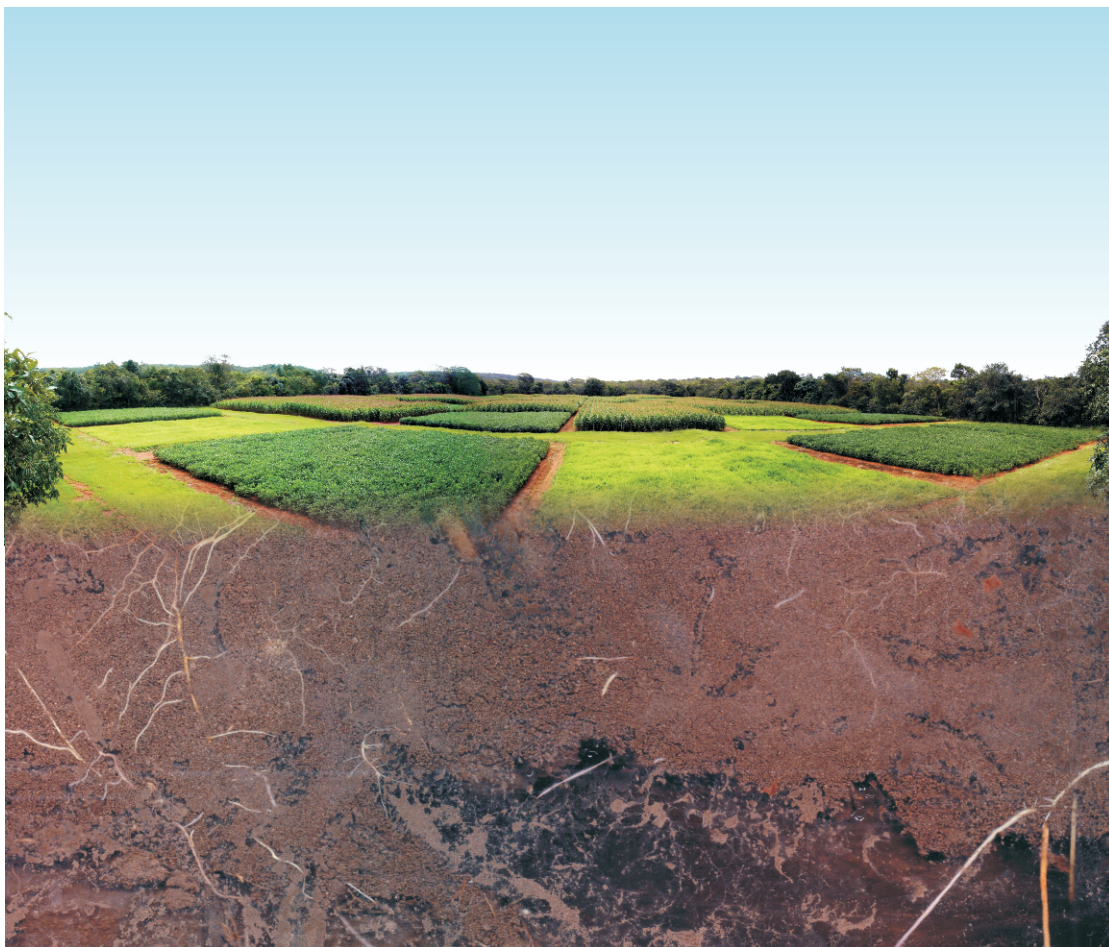


O Sistema Minirhizotron no Estudo da Dinâmica de Raízes



*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Cerrados
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

Documentos 203

O Sistema Minirhizotron no Estudo da Dinâmica de Raízes

*João de Deus Gomes dos Santos Junior
Marcos Aurélio Carolino de Sá
Eloisa Aparecida Belleza Ferreira
Dimas Vital Siqueira Resck
José Lavres Júnior*

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Cerrados

BR 020, Km 18, Rod. Brasília/Fortaleza

Caixa Postal 08223

CEP 73310-970 Planaltina, DF

Fone: (61) 3388-9898

Fax: (61) 3388-9879

<http://www.cpac.embrapa.br>

sac@cpac.embrapa.br

Comitê de Publicações da Unidade

Presidente: *José de Ribamar N. dos Anjos*

Secretário-Executivo: *Maria Edilva Nogueira*

Supervisão editorial: *Fernanda Vidigal Cabral de Miranda*

Revisão de texto: *Francisca Elijani do Nascimento*

Normalização bibliográfica: *Rosângela Lacerda de Castro*

Editoração eletrônica: *Wellington Cavalcanti*

Capa: *Wellington Cavalcanti*

Fotos da capa: *João de Deus Gomes dos Santos Junior*

Impressão e acabamento: *Jaime Arbués Carneiro /
Divino Batista de Sousa*

Impresso no Serviço Gráfico da Embrapa Cerrados

1ª edição

1ª impressão (2007): tiragem 100 exemplares

Todos os direitos reservados

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei no 9.610).

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Embrapa Cerrados**

S623 O sistema minirhizotron no estudo da dinâmica de raízes / João de Deus Gomes dos Santos Junior... [et al.]. – Planaltina, DF : Embrapa Cerrados, 2007.

24 p. — (Documentos / Embrapa Cerrados, ISSN 1517-5111 ; 203)

1. Sistema radicular. 2. Matéria orgânica. 3. Solo - fertilidade.
I. Santos Junior, João de Deus Gomes dos. II. Série.

581.498 - CDD 21

Autores

João de Deus Gomes dos Santos Junior

Eng. Agrôn., D.Sc.

Pesquisador da Embrapa Cerrados

jdsantos@cpac.embrapa.br

Marcos Aurélio Carolino de Sá

Eng. Agrôn., D.Sc.

Pesquisador da Embrapa Cerrados

carolino@cpac.embrapa.br

Eloisa Aparecida Belleza Ferreira

Eng. Agrôn., M.Sc.

Pesquisadora da Embrapa Cerrados

eloisa@cpac.embrapa.br

Dimas Vital Siqueira Resck

Eng. Agrôn., Ph.D

Pesquisador da Embrapa Cerrados

dvsresck@cpac.embrapa.br

José Lavres Júnior

Eng. Agrôn., D.Sc.

Centro de Energia Nuclear na Agricultura, USP

Av. Centenário, 303, 13400-970, Piracicaba, SP

jlavres@cena.usp.br

Apresentação

Apesar da importância do sistema radicular como um dos componentes dos ciclos biogeoquímicos e para o crescimento vegetal, poucos estudos a respeito de sua dinâmica são realizados, comparativamente à parte aérea das plantas. Esse fato é decorrente da dificuldade associada à amostragem de raízes, realizada por meio de amostragens destrutivas, as quais são, via de regra, laboriosas.

Mundialmente, o sistema minirhizotron tem sido utilizado com sucesso na quantificação de processos demográficos radiculares e sua relação com os mais diversos atributos de solo. Todavia, embora minirhizotrons sejam ferramentas promissoras, ainda são pouco utilizadas no Brasil.

O presente trabalho discute, baseado em literatura internacional, o potencial, aplicações, limitações e possibilidades de utilização do sistema minirhizotron em sistemas agrícolas e naturais no Bioma Cerrado.

Roberto Teixeira Alves

Chefe-Geral da Embrapa Cerrados

Sumário

Introdução	9
O Sistema minirhizotron	11
Procedimentos para utilização do sistema minirhizotron	13
Instalação dos tubos de acesso	13
Unidades básicas, volumétricas e conversão para biomassa	14
Considerações, implicações práticas e perspectivas	16
Referências	20
Abstract	24

O Sistema Minirhizotron no Estudo da Dinâmica de Raízes

João de Deus Gomes dos Santos Junior

Marcos Aurélio Carolino de Sá

Eloísa Aparecida Belleza Ferreira

Dimas Vital Siqueira Resck

José Lavres Júnior

Introdução

Existem, aproximadamente, 100 milhões de hectares disponíveis para cultivo no domínio do Cerrado, dos quais estima-se que 22 milhões estejam ocupados com culturas anuais, 60 milhões com pastagens cultivadas e 3 milhões com culturas perenes. Potencialmente cultiváveis restam, aproximadamente, 22 milhões de hectares. Ainda que mantendo essa mesma área cultivada, os resultados de pesquisa obtidos no Brasil indicam que o desempenho produtivo no Cerrado pode ser substancialmente elevado, sem aumento do uso de insumos, com a adoção de sistemas de manejo que melhorem as propriedades do solo relacionadas ao estoque de carbono e ao armazenamento de água ([ZINN et al., 2005](#); [OLIVEIRA et al., 2004](#); [RESCK, 1998](#)). Nesses agroecossistemas, o sistema radicular tem papel importante no armazenamento e ciclagem de matéria orgânica e nutrientes, bem como no fluxo de energia e matéria na biosfera. Em outros biomas, existem indícios de que o total de carbono e nitrogênio ciclados via decomposição de raízes pode ser bem maior do que o retornado ao solo via decomposição de liteira ([MAJDI, 1996](#)). Também, sistemas radiculares de plantas podem imobilizar mais da metade do carbono fixado anualmente ([HENDRICK; PREGITZER, 1993](#)). Estimativas da ordem de 100 a 500 Mt de carbono retido anualmente pelo sistema radicular de pastagens na América do Sul indicam contribuição para a mitigação das emissões antrópicas de CO₂ ([FISHER et al., 1994](#)).

Apesar da importância do sistema radicular como componente dos ciclos biogeoquímicos e para o crescimento vegetal (i.e. fixação da planta, absorção de água e nutrientes, síntese de reguladores de crescimento e armazenagem de carboidratos), muito pouco ainda é conhecido a respeito de sua dinâmica, comparativamente à parte aérea. Esse fato é decorrente da dificuldade intrínseca relacionada à amostragem e observação de raízes, as quais são realizadas, frequentemente, por meio de métodos destrutivos, como o do monólito ([BOHM, 1979](#)).

As dificuldades metodológicas relacionadas aos métodos destrutivos, dentre outras, estão relacionadas à separação das raízes de interesse do solo, bem como na identificação das metabolicamente ativas ([GREGORY, 2006](#)). Entretanto, dificuldades associadas à amostragem do sistema radicular são inerentes a qualquer método de investigação, e muita atenção é freqüentemente dada na discussão de prós e contras de métodos particulares, e pouca para entender se determinada ferramenta é apropriada para responder às questões técnico-científicas levantadas. Todavia, o uso de métodos convencionais tem limitado o entendimento da dinâmica e função das raízes nos sistemas agrícolas e naturais ([PIERRET et al., 2005](#)). Nesse aspecto, a quantificação de atributos radiculares por meio de minirhizotrons apresenta-se como uma alternativa promissora aos métodos tradicionais destrutivos (BOHM, 1979) e a outros não-destrutivos, como o da capacitância elétrica ([DALTON, 1995](#)), o qual somente quantifica massa de raízes, e os do raio-x (PIERRET et al. 2005) e da tomografia computadorizada ([CRESTANA, 1992](#)), os quais ainda requerem mais estudos.

Para superar o grande desafio agronômico atual, que é otimizar o desempenho produtivo, com o uso sustentável dos solos em áreas já utilizadas, conservando os recursos naturais remanescentes, novas abordagens metodológicas relacionadas ao estudo de raízes em sistemas agrossilvipastoris, de caráter dinâmico, devem ser consideradas para a compreensão das relações de causa e efeito entre sistemas de manejo do solo e seus atributos físicos, químicos e biológicos. Também, é importante promover o conhecimento sobre a dinâmica de raízes em sistemas agrícolas

e naturais para suportar melhores previsões dos ciclos biogeoquímicos e da produtividade. Para atingir esses objetivos, é necessário quantificar e identificar funções das raízes em condições variadas de crescimento. Nesse aspecto, embora minirhizotrons sejam ferramentas promissoras, ainda são pouco utilizadas no Brasil.

O Sistema minirhizotron

O sistema minirhizotron consiste de um tubo transparente previamente instalado no perfil do solo, através do qual são obtidas imagens das raízes em estudo (Fig. 1). A técnica permite, de maneira não-destrutiva, observações in situ do sistema radicular, possibilitando mensurações simultâneas das taxas de produção e desaparecimento de raízes, o que não é possível com a utilização de métodos destrutivos ([MAJDI, 1996](#)). Em virtude do fato de que raízes individuais podem ser medidas de maneira não-destrutiva e repetida no tempo, o minirhizotron é a ferramenta ideal para responder questões relacionadas aos efeitos da disponibilidade de recursos na longevidade de raízes, minimizando o componente espacial do erro experimental ([JOHNSON et al., 2001](#)). Processos como produção, alongamento, mortalidade e/ou desaparecimento podem ser mensurados separadamente, ao invés de estimados indiretamente por meio de procedimentos de balanço de massa.

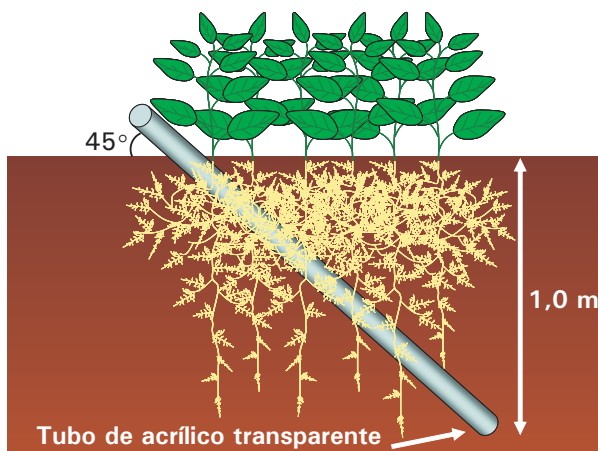


Fig. 1. Figura esquemática do posicionamento do tubo de acesso no solo em um sistema minirhizotron.

Arte: Marcos A. C. de Sá

Mundialmente, o sistema minirrhizotron tem sido utilizado com sucesso na quantificação de processos demográficos radiculares e na sua relação com a dinâmica da água ([KATAYAMA et al., 2000](#)), resposta à desfolhação em gramíneas ([RICHARDS, 1984](#)), crescimento preferencial de raízes em canais formados pela decomposição da raiz de plantas de cobertura ([WILLIAMS; WEIL, 2004](#)), resposta à adição de nutrientes ([MAJDI; NYLUND, 1996](#)), seqüestro de carbono ([GUO et al., 2005](#); [KING et al., 2002](#)), concentração de CO₂ na atmosfera ([FITTER et al., 1997](#)), à temperatura (VAN REES, 1998), absorção de nitrato ([KRISTENSEN; THORUP-KRISTENSEN, 2004](#)), compactação do solo ([MUNKHOLM et al., 2005](#)), pragas de solo ([WELLS et al., 2002](#)) e, mais recentemente, na identificação de mecanismos de controle do crescimento de raízes ([HENDRICKS et al., 2006](#)) e no papel de fungos micorrízicos no armazenamento de carbono no solo ([TRESEDER et al., 2007](#)). Atualmente, pode ser considerado um dos métodos mais utilizado em estudos de raízes em campo e em condições controladas ([WITHINGTON et al., 2003](#)), pela sua eficiência, rapidez e caráter não-destrutivo (KATAYAMA et al., 2000).

Ampla variedade de dispositivos foi descrita para a visualização de raízes em minirrhizotrons, incluindo: conjuntos de espelhos iluminados, endoscópios, periscópios, câmeras de vídeo em miniaturas e fibras ópticas. Atualmente, um conjunto minirrhizotron típico consiste de um tubo de acesso transparente, um sistema digital para aquisição da imagem com controle automático do foco e da intensidade luminosa (câmera de vídeo ou escâner) e sistema para armazenamento das imagens. Após a obtenção da imagem, ela é analisada em laboratório com o uso de aplicativos computacionais para a determinação dos atributos radiculares de interesse. Técnicas para o seu uso têm sido aperfeiçoadas desde que foi descrito pela primeira vez por [Bates \(1937\)](#). Avanços significativos no estudo de raízes com minirrhizotrons foram devidos não a mudanças no conceito básico da técnica, mas ao progresso tecnológico. Particularmente, na maneira como as raízes ao longo da superfície do minirrhizotron são observadas, gravadas e analisadas. Nos primórdios de seu uso, os estudos eram, comparativamente aos atuais, primitivos, com nível de resolução baixo e pequena quantidade de imagens coletadas.

Entretanto, atualmente são possíveis medições radiculares em escala de 10 Mn ou menos ([JOHNSON et al., 2001](#)).

Apesar de os benefícios e facilidades metodológicas proporcionadas pelo sistema minirhizotron serem amplamente conhecidos e descritos ([MAJDI et al., 2005](#)), a técnica apresenta limitações, como anomalias na distribuição de raízes no perfil do solo, devido a alterações no ambiente radicular por ocasião da instalação do tubo de acesso. O tempo para que ocorra a estabilização do ambiente radicular em volta do tubo de acesso é crítico para culturas perenes, uma vez que freqüentemente ocorrem danos nas raízes durante o processo de instalação do tubo. [Hendrick e Pregitzer \(1996\)](#) relataram as principais limitações do método, e a laboriosidade na análise das imagens foi identificada como impedimento à popularização da técnica. Processos para estimativa indireta do comprimento radicular foram descritos por [Crocker et al. \(2003\)](#) e, assim como aplicativos computacionais para análise automática de imagens, têm potencial para reduzir o tempo gasto na determinação de atributos radiculares de interesse. Entretanto, a principal restrição de uso do método no Brasil ainda é devida ao custo elevado do equipamento para obtenção das imagens e seu processamento.

Procedimentos para utilização do sistema minirhizotron

Instalação dos tubos de acesso

Dois objetivos primários devem guiar a instalação do tubo de acesso: i) minimizar o distúrbio do solo, evitando, por exemplo, a compactação ao seu redor; ii) o procedimento deverá otimizar o contato do solo com a superfície do tubo. Para atingir esses objetivos, Johnson et al. (2001) sugerem a utilização de uma broca circular ou sonda para a retirada do solo, em estado friável. O tubo de acesso é inserido no orifício com o auxílio de um martelo de borracha. Após a inserção dos tubos de acesso, a extremidade fora do solo deverá ser protegida para evitar a entrada de terra, restos vegetais, luz e minimizar variações térmicas, as quais podem alterar o padrão de crescimento de raízes. Para evitar movimentação do tubo de

acesso, certificando-se que as coletas de imagens sejam realizadas sempre na mesma posição espacial, uma base de material plástico rígido, ou outro material, deve ser instalada na superfície do solo ao redor da extremidade exposta do tubo de acesso ([PRICE; HENDRICK, 1998](#)).

Unidades básicas, volumétricas e conversão para biomassa

Por meio de um sistema minirhizotron podem ser determinadas as seguintes unidades básicas: número, comprimento (m) e área da superfície (m²) de raízes por unidade de área da imagem coletada. Essas determinações descrevem a extensão de exploração do sistema radicular na escala de abrangência de uma imagem (*frame*), permitindo comparações qualitativas entre os sistemas estudados.

[Johnson et al. \(2001\)](#) descrevem dois procedimentos alternativos que podem ser utilizados para converter os dados de comprimento de raízes por unidade de área (m/m²) da imagem em densidade de comprimento de raízes (m/m³):

a) [Merrill e Upchurch \(1994\)](#):

$$DCR = EfN/A \quad (1)$$

Em que: DCR, densidade de comprimento radicular (m/m³); N, número de raízes; A, área de imagem (m²); Ef = fator de conversão teórico, o qual deve ser determinado experimentalmente (m/m) para uma dada condição de solo e cultura, calibrada a partir de medições da densidade de raízes, por amostragem destrutiva convencional do solo ([BOHM, 1979](#)).

b) [Taylor et al. \(1970\)](#): assume que a imagem em volta do tubo tem certa profundidade do campo, integrando a espessura de solo de aproximadamente 2 mm a partir da superfície externa do tubo de acesso (JOHNSON et al., 2001).

$$DCRv = L/AxPC \quad (2)$$

Em que: DCR_v , densidade de comprimento radicular volumétrica (m/m^3); L , comprimento radicular total na imagem (m); A , área semi-circular da imagem (m^2); PC , profundidade do campo (m).

Ambas as densidades de comprimento radicular (equações 1 e 2) podem ser expressas em termos de superfície de área do solo pela multiplicação com a profundidade do solo amostrado (z).

$$DCR_z \text{ (m/m}^2 \text{ para profundidade Z)} = DCR \text{ ou } DCR_v \text{ (m/m}^3 \text{)} \times Z \text{ (m)} \quad (3)$$

A conversão para biomassa pode ser realizada por meio da equação 4, com utilização do comprimento específico radicular (comprimento radicular por unidade de massa seca de raiz) que é determinado via amostragem destrutiva.

$$DMR_v = \sum_i (DCR_i / CER_i) \quad (4)$$

Em que: DMR_v é a densidade de biomassa radicular volumétrica (g/m^3); DCR_i , densidade de comprimento radicular (m/m^3) para a classe de diâmetro i ; CER_i , comprimento específico radicular (m/g) para a classe de diâmetro i .

DCR_v e DMR_v podem ser calculados, ao longo do tempo, para cada amostragem como estimativa da produção instantânea. A equação 1 é utilizada para estimar a produção de novas densidades de comprimento radicular, usando o número de novas raízes que apareceram desde a última amostragem, ignorando-se a produção devido ao alongamento.

Alternativamente, utilizando a equação 2, a produção de novas densidades de comprimento radicular também pode ser estimada, considerando a produção devida ao alongamento. Similarmente, o desaparecimento de densidade de comprimento radicular é estimada tanto com a equação 1 quanto com a 2. Produção, alongamento e desaparecimento podem ser expressos em termos de densidade de biomassa por meio da equação 4.

Considerações, implicações práticas e perspectivas

O objetivo final do estudo de raízes com o sistema minirhizotron é o entendimento de sua dinâmica nos ambientes agrícolas ou naturais. Todavia, mesmo que os resultados provenientes desse método sejam de alta qualidade, i.e. representem o fenômeno como ele realmente acontece, cuidados devem ser tomados para evitar seu uso inapropriado. Procedimentos para a quantificação da precisão de estimativas de atributos radiculares são relatados por [Johnson et al. \(2001\)](#), [Majdi et al. \(2005\)](#) e [Allison \(1995\)](#) relatam a análise estatística apropriada para dados provenientes de minirhizotrons. Para minimizar inconsistências nos resultados, o desenvolvimento de um protocolo padrão de análise é recomendado. Caso contrário, nenhuma conclusão poderá ser obtida, além da que a variabilidade dos dados é tão grande que a diferença entre tratamentos não pode ser detectada (JOHNSON et al., 2001).

Também, é importante:

- a) Definição do diâmetro da raiz avaliada: freqüentemente, o sistema radicular é dividido em raízes grossas e finas. Todavia, o limite máximo entre cada classe é arbitrário, variável entre os estudos e dependente da espécie alvo e do sistema de uso e manejo do solo avaliado. O sistema minirhizotron é ferramenta apropriada para quantificar a dinâmica de raízes finas, empiricamente classificadas como aquelas com diâmetro menor do que 1 mm-2 mm. Raízes finas são potencialmente mais ativas na aquisição de água e nutrientes, e por isso tem papel chave na nutrição das plantas e na dinâmica de carbono do solo ([SATOMURA et al., 2007](#)). Outros métodos são mais apropriados na quantificação da dinâmica de raízes grossas, como o do ^{14}C (MAJDI et al., 2005).
- b) Quantificação: unidades idiossincráticas de quantificação do sistema radicular devem ser evitadas (i.e comprimento ou massa de raízes por imagem ou tubo), facilitando a comparação entre experimentos. A instalação do tubo de acesso é crítica, e procedimentos devem ser

adotados para permitir o contato da parede do tubo com o solo, evitando-se compactação ao seu redor. Em culturas perenes, é recomendado um período de 6 a 12 meses de espera para estabilização dos tubos de acesso ([JOHNSON et al., 2001](#)).

- c) Coleta de imagens: a frequência de coleta de imagens também deve ser considerada, uma vez que os atributos radiculares avaliados podem ser subestimados em razão da probabilidade de raízes aparecerem e desaparecerem entre dois períodos de amostragem. Praticamente, não existem informações a esse respeito na literatura nacional.
- d) Tubos de acesso: o tipo de material utilizado na confecção do tubo de acesso (vidro, acrílico, polycarbonatos ou celulose acetato butirato) pode alterar o padrão de crescimento das raízes ([WITHINGTON et al., 2003](#)). Tubos de acesso de acrílico transparente possuem durabilidade e são relativamente inertes no solo, razão pela qual são mais apropriados.
- e) Instalação do sistema: tubos de acesso podem ser instalados nos mais diversos ângulos, inclusive no sentido horizontal. Todavia, deve ser evitada a instalação vertical do tubo, uma vez que [Bragg et al. \(1983\)](#) relataram crescimento preferencial de raízes nesse sentido de instalação. Não foram encontrados outros relatos do efeito da orientação do tubo de acesso no crescimento de raízes.

A grande vantagem da utilização do sistema minirhizotron sobre outros métodos é a quantificação do ciclo de produção-morte-decomposição (ciclo PMD) de raízes finas, também conhecido como *turnover* de raízes. De acordo com [Majdi et al. \(2005\)](#), *turnover* de raízes é o tempo necessário para que 50 % das raízes desapareçam. Entretanto, em recente revisão, [Satomura et al. \(2007\)](#) relataram 14 equações, com resultados distintos, para o cálculo do *turnover* de raízes e concluíram que ao se analisar o ciclo PMD são importantes: a definição de raízes finas e de *turnover*, bem como dos métodos de mensuração e de cálculo utilizados.

O entendimento do ciclo PMD fica mais claro ao se utilizar os modelos compartimentais de transferência de massa radicular descritos por

[Satomura et al. \(2007\)](#): 1) modelo de raízes vivas; 2) modelo de raízes visíveis (Fig. 2). Os dois modelos inter-relacionam o compartimento matéria seca radicular com os processos de transferência dessa matéria seca. Conceitualmente, o modelo 2 é utilizado quando não é possível a identificação das raízes vivas.

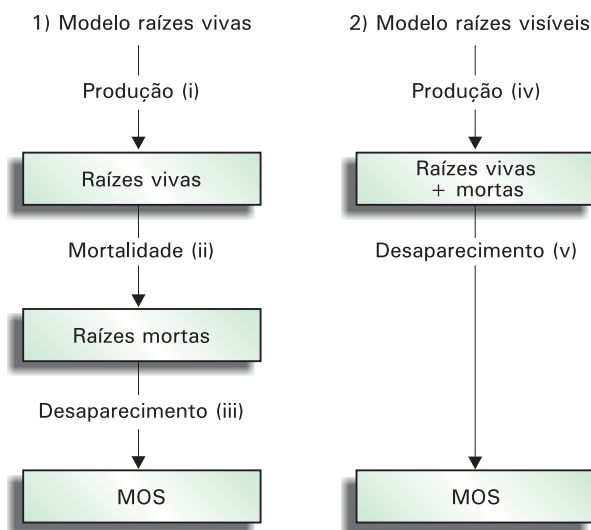


Fig. 2. Modelos compartimentais de transferência de massa radicular. Cada seta representa um processo de transferência: i e iv, produção; ii, mortalidade; iii e v, desaparecimento. MOS = matéria orgânica do solo. Adaptado de Satomura et al. (2007).

Os modelos apresentados na Fig. 2 incorporam três tipos de processos de transferência de matéria radicular. O primeiro é baseado na produção de novas raízes (processo i e v na Fig. 2). O segundo é baseado na morte de raízes (processo ii). O terceiro é baseado na decomposição de raízes (processos iii e v). Satomura et al. (2007) sugerem que o termo “desaparecimento” seja utilizado para denotar fenômenos do terceiro tipo, os quais são mais facilmente obtidos no sistema minirhizotron. Na literatura, freqüentemente utiliza-se o termo mortalidade para descrever os processos ii e v, mas é importante a distinção entre ambos para a consistência dos resultados analisados.

Na Embrapa Cerrados, foi iniciado em outubro de 2007 o projeto de pesquisa intitulado Dinâmica de Raízes em Sistemas de Manejo do Solo no Cerrado, financiado pelo Macroprograma 3 Agrofuturo, no qual objetiva-se quantificar por meio de minirhizotrons processos demográficos radiculares de soja, milho, capim-marandu e carvoeiro em alguns sistemas de manejo do solo no Cerrado, bem como sua relação com a dinâmica da matéria orgânica, qualidade física do solo, armazenagem de água e densidade populacional do coró-da-soja. Concomitantemente, procurar-se-á aperfeiçoar métodos para estimativas de atributos radiculares via minirhizotron. O projeto será executado em dois experimentos de longa duração e um em condições controladas. O primeiro experimento em campo, implantado em 1995/1996, consiste de uma combinação de sistemas de preparo do solo e rotação de culturas, incluindo pastagem, com alternância no tempo e no espaço (Fig. 3). O segundo, instalado em 1985, objetiva estudar a resposta do carvoeiro (*Sclerolobium paniculatum*) à adubação, bem como sua viabilidade para reflorestamento em áreas do Cerrado. O terceiro experimento, em casa de vegetação, estudará o comportamento alimentar do coró-da-soja (*Phyllophaga capillata*). Como resultado, espera-se contribuição aos avanços técnicos e científicos sobre o conhecimento da dinâmica de raízes, com base em uma abordagem inovadora, em alguns sistemas de manejo do solo no Cerrado. Esse conhecimento auxiliará na escolha de sistemas de manejo produtivos, que aumentem e/ou melhorem a qualidade da matéria orgânica do solo, fator determinante das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo que estão relacionadas ao armazenamento de água, a mitigação de gases de efeito estufa, a susceptibilidade do solo à erosão e a eficiência na utilização de recursos, como água e nutrientes.

Fotos: João de Deus G. S. Junior



Fig. 3. Vista panorâmica do experimento dinâmico de sistemas de preparo do solo e rotação de culturas. Montagem: Marina de Fátima Vilela.

Referências

- ALLISON, P. D. **Survival analysis using SAS: a practical guide**. Cary, NC: SAS Institute, 1995. 304 p.
- BATES, G. H. A device for the observation of root growth in the soil. **Nature**, v. 139, p. 966-967, 1937.
- BOHM, W. **Methods of studying root system**. Berlin: Spring Verlag, 1979. 187 p.
- BRAGG, P. L.; GOVI, G.; CANNEL, R. Q. A comparison of methods, including angled and vertical minirhizotrons, for studying root growth and distribution in a spring oat crop. **Plant and Soil**, v. 73, p. 435-440, 1983.
- CRESTANA, S. **Caracterização de raízes e compactação do solo através do minirhizotron e da tomografia computadorizada**. São Carlos: Embrapa-CNPDIA, 1992. Relatório parcial.
- CROCKER, T. L.; HENDRICK, R. L.; RUESS, R. W.; PREGITZER, K. S.; BURTON, A. J.; ALLEN, M. F.; SHAN, J.; MORRIS, L. A. Substituting root numbers for length: improving the use of minirhizotrons to study fine root dynamics. **Applied Soil Ecology**, v. 23, p. 127-135, 2003.
- DALTON, F. N. In-situ root extent measure by electrical capacitance methods. **Plant and Soil**, v. 173, p. 157-165, 1995.
- FISHER, M. J.; RAO, I. M.; AYARZA, M. A.; LASCANO, C. E.; SANZ, J. I.; THOMAS, R. J.; VERA, R. R. Carbon storage by introduced deep-rooted grasses in the South American savannas. **Nature**, v. 371, p. 236-238, 1994.
- FITTER, A. H.; GRAVES, J. D.; WOLFENDEN, J.; SELF, G. K.; BROWN, T. K.; BOGIE, D.; MANSFIELD, T. A. Root production and turnover and carbon budgets of two contrasting grasslands under ambient and elevated atmospheric carbon dioxide concentrations. **New Phytologist**, v. 137, p. 247-255, 1997.
- GREGORY, P. **Plant roots**. Oxford: Blackwell, 2006. 328 p.
- GUO, L. B.; HALLIDAY, M. J.; SIAKIMOTU, S. J. M.; GIFFORD, R. Fine root production and litter input: its effects on soil carbon. **Plant and Soil**, v. 272, p.1-10, 2005.

HENDRICK, R. L.; PREGITZER, K. S. Applications of minirrhizotrons to understand root functions in forests and other natural ecosystems. **Plant and Soil**, v. 185, p. 293-304, 1996.

HENDRICK, R. L.; PREGITZER, K. S. Patterns of fine root mortality in two sugar maple forests. **Nature**, v. 361, p. 59-61, 1993.

HENDRICKS, J. J.; HENDRICK, R. L.; WILSON, C. A.; MITCHELL, R. J.; PECOT, S. D.; GUO, D. Assessing the patterns and controls of fine root dynamics: an empirical test and methodological review. **Journal of Ecology**, v. 94, p. 40-57, 2006.

JOHNSON, M. G.; TINGEY, D. T.; PHILLIPS, D. L.; STORM, M. J. Advancing fine root research with minirrhizotrons. **Environmental and Experimental Botany**, v. 45, p. 263-285, 2001.

KATAYAMA, K.; ITO, O.; ADU-GYAMFI, J. J.; RAO, T. P. Analysis of relationship between root length density and water uptake by roots of five crops using minirrhizotron in the semi-arid tropics. **Jarq**, v. 34, n. 2, p. 81-86, 2000.

KING, J. S.; ALBAUGH, T. J.; ALLEN, H. L.; BUFORD, M.; STRAIN, B. R.; DOUGHERTY, P. Below-ground carbon input to soil is controlled by nutrient availability and fine root dynamics in loblolly pine. **New Phytologist**, v. 154, p. 389-398, 2002.

KRISTENSEN, H. L.; THORUP-KRISTENSEN, K. Uptake of ¹⁵Nlabeled nitrate by root systems of sweet corn, carrot and white cabbage from 0.2-2.5 meters depth. **Plant and Soil**, v. 265, p. 93-100, 2004.

MAJDI, H. Root sampling methods: applications and limitations of the minirrhizotron technique. **Plant and Soil**, v. 185, p. 255-258, 1996.

MAJDI, H.; NYLUND, J. E. Does liquid fertilization affect fine root dynamics and lifespan of mycorrhizal short roots? **Plant and Soil**, v. 185, p. 305-309, 1996.

MAJDI, H.; PREGITZER, K.; MORÉN, A.; NYLUND, J. E.; AGREN, G. I. Measuring fine root turnover in forest ecosystems. **Plant and Soil**, v. 276, p. 1-8, 2005.

MERRILL, S. D.; UPCHURCH, D. R. Converting root numbers observed at minirrhizotrons to equivalent root length density. **Soil Science Society of America Journal**, v. 58, p. 1061-1067, 1994.

MUNKHOLM, L. J.; SCHJONNING, P.; JORGENSEN, M. H.; THORUP-KRISTENSEN, K. Mitigation of subsoil recompaction by light traffic and on-land ploughing II. Root and yield response. **Soil and Tillage Research**, v. 80, p. 159-170, 2005.

OLIVEIRA, G. C.; DIAS JÚNIOR, M. S.; RESCK, D. V. S.; CURTI, N. Caracterização química e físico hídrica de um Latossolo Vermelho após vinte anos de manejo e cultivo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 327-336, 2004.

PIERRET, A.; MORAN, C. J.; DOUSSAN, C. Conventional detection methodology is limiting our ability to understand the roles and functions of fine roots. **New Phytologist**, v. 166, p. 967-980, 2005.

PRICE, J. S.; HENDRICK, R. L. Fine root length production, mortality and standing root crop dynamics in an intensively managed sweetgum (*Liquidambar styraciflua* L.) coppice. **Plant and Soil**, v. 205, p. 193-201, 1998.

RESCK, D. V. S. Agricultural intensification systems and their impact on soil and water quality in the Cerrados of Brazil. In: LAL, R. (Ed.). **Soil quality and agricultural sustainability**. Chelsea: Ann Arbor Press, 1998. p. 288-300.

RICHARDS, J. H. Root growth response to defoliation in two Agropyron bunchgrasses: field observations with an improved root periscope. **Oecologia**, v. 64, p. 21-25, 1984.

SATOMURA, T.; FUKUZAWA, K.; HORIKOSHI, T. Considerations in the study of tree fine-root turnover with minirhizotrons. **Plant Root**, v. 1, p. 34-35, 2007.

TAYLOR, H. M.; HUCK, M. G.; KLEPPER, B.; LUND, Z. F. Measurement of soil-grown roots in a rhizotron. **Agronomy Journal**, v. 62, p. 807-809, 1970.

TRESEDER, K. K.; TURNER, K. M.; MACK, M. Mycorrhizal responses to nitrogen fertilization in boreal ecosystems: potential consequences for soil carbon storage. **Global Change Biology**, v. 13, p. 78-88, 2007.

VAN REES, K. C. J. Soil temperature effects from minirhizotron light systems. **Plant and Soil**, v. 200, p. 113-118, 1998.

WELLS, C. E.; GLENN, D. M.; EISSENSTAT, D. M. Soil insect alter fine root demography in peach (*Prunus persica*). **Plant, Cell and Environment**, v. 25, p. 431-439, 2002.

WILLIAMS, S. M.; WEIL, R. R. Crop cover root channels may alleviate soil compaction effects on soybean crop. **Soil Science Society of America Journal**, v. 68, p. 1403-1409, 2004.

WITHINGTON, J. M.; ELKIN, A. D.; BULAJ, B.; OLESIŃSKI, J.; TRACY, K. N.; BOUMA, T. J.; OLEKSYN, J.; ANDERSON, L. J.; MODRZYŃSKI, J.; REICH, P. B.; EISSENSTAT, D. M. The impact of material used for minirhizotron tubes for root research. **New Phytologist**, v. 160, p. 533-544, 2003.

ZINN, Y. L.; LAL, R.; RESCK, D. V. S. Changes in organic carbon stocks under agriculture in Brazil. **Soil Tillage Research**, v. 84, p. 28-40, 2005.

The Minirhizotron System in the Study of Root Dynamics

Abstract

Root dynamic is an important component of agricultural and natural ecosystems. The minirhizotrons system is a multicomponent assembly used to study root dynamics in a non-destructive manner. Basically, transparent tubes are installed in the soil and the root intersections along the tube are recorded and measured with appropriate software. In this review, the minirhizotron method was discussed based on international literature. The potential applications, limitations, and future uses of this tool in the Cerrado region was also discussed.

Index terms: root dynamics, root morphology, soil physical quality, soil fertility, soil organic matter.