



Método para Caracterização da Morfologia do Sistema Radicular em Cereais

Ivanildo Evódio Marriel¹, Gonçalo Evangelista de França¹, Carlos Alberto Vasconcellos¹, Paulo César Magalhães¹, Vera Maria Carvalho Alves¹, Antônio Carlos de Oliveira¹

O desenvolvimento de genótipos de plantas adaptados a ambientes com estresses nutricionais, visando sistema de manejo agrícola com menor *input* de insumos, constitui uma das linhas prioritárias de pesquisas na Embrapa Milho e Sorgo. Nesse caso, procura-se identificar mecanismos morfofisiológicos envolvidos na adaptação de genótipos de plantas que resultem em maior eficiência na utilização de nitrogênio e/ou em associação com microrganismos, quando cultivadas sob disponibilidade limitada desse nutriente.

O sistema radicular tem sido tradicionalmente associado com absorção de água e de nutrientes e como suporte da planta. Existe uma interdependência de desenvolvimento entre o sistema radicular e a parte aérea. Após o esgotamento das reservas das sementes, o tamanho e a atividade do sistema radicular

determinam a taxa na qual a parte aérea pode crescer e esta, por sua vez, afeta a taxa de crescimento subsequente do sistema radicular. Esta função de equilíbrio dinâmico tem sido descrita como: massa de raízes x atividade específica de raízes = massa parte aérea x atividade específica da parte aérea.

Mais recentemente, o interesse crescente em biossíntese de compostos envolvidos na regulação do crescimento da planta, interações de raízes com microrganismos e no processo de fixação biológica de nitrogênio atmosférico tem alterado a importância dos estudos sobre os diferentes aspectos do sistema radicular das plantas.

O conhecimento do tamanho e da atividade do sistema radicular, bem como das relações tamanho/atividade e raiz/parte aérea, pode

¹Pesquisador da Embrapa Milho e Sorgo. Caixa Postal 151, CEP 35701-970 Sete Lagoas, MG.
E-mail: imarriel@cnpmc.embrapa.br

contribuir para se detectar diferenças genotípicas em características de raízes. Existem evidências de que as características morfológicas das raízes sejam responsáveis por diferenças de produção em ambientes pobres em nutrientes.

A tolerância das culturas aos estresses ambientais, que varia com o genótipo e espécie de plantas, é afetada pelo padrão de distribuição das raízes no solo. Entretanto, poucos trabalhos de melhoramento têm sido direcionados para o padrão de sistema radicular visando o aumento da tolerância a estresses. Entre as razões para esse fato, inclui-se a dificuldade de sua observação e manuseio em condições de campo e a falta de estudos sobre sua variação genética.

Em contraste à complexidade das demais partes da planta, as raízes são órgãos relativamente simples e apresentam um padrão de crescimento uniforme e contínuo, com pequeno número de tipos de células diferenciadas e apresentam simetria radial. Essas características facilitam a identificação e a caracterização da expressão gênica específica em raízes. Embora as raízes exibam padrão morfológico básico e geneticamente controlado, observam-se efeitos acentuados do ambiente sobre sua plasticidade de desenvolvimento.

A anatomia e morfologia radicular de monocotiledôneas diferem das de dicotiledôneas em alguns aspectos fundamentais. A maioria dos sistemas radiculares das monocotiledôneas é composta de raízes nodais ou adventícias originárias do meristema na base do colmo. As raízes iniciadas no embrião são chamadas de raízes seminais e podem ser numerosas, além da radícula embriogênica. As raízes seminais podem entrar em senescência quando as nodais começam a se desenvolver. As raízes secundárias não ocorrem em monocotiledôneas; assim, as características hidráulicas das raízes são estabelecidas no estágio inicial da plântula.

Um aspecto crítico da maioria dos projetos em genética e nutrição de plantas é a caracterização de diferenças intra-específicas na capacidade de crescimento sob condições nutricionais específicas, particularmente sob estresse

nutricional. Diversas características morfológicas, anatômicas e fisiológicas podem ser responsáveis por essas variações em relação a estresses nutricionais e alguns procedimentos, obviamente, serão mais efetivos que outros em identificar respostas de genótipos, com base em características específicas da planta. Tem-se discutido e enumerado em diferentes pesquisas que os fatores morfofisiológicos envolvidos na aquisição de nutrientes do ambiente, entre outros, inclui a relação raiz/parte aérea, extensão do sistema radicular, densidade (em função do diâmetro de raízes laterais e frequência e comprimento de pêlos absorventes) e interações raízes-microrganismos, como componentes importantes nesse processo.

O ângulo de crescimento das raízes tem sido considerado um indicador interessante para se estimar a distribuição vertical de raízes no campo.

Para ser atrativo aos melhoristas de plantas, o procedimento de *screening* deve ser simples o suficiente para permitir trabalhar com um número adequado de plantas, e, por essa razão, os testes que permitam a avaliação durante o estágio de plântulas são altamente desejáveis. Um segundo fator é que prioridade deveria ser dada a métodos que possibilitem detectar fatores morfológicos e fisiológicos de maior significância no sucesso do crescimento da planta sob condições de campo.

A possibilidade de se utilizar a morfologia de raízes como ferramenta auxiliar para a caracterização de genótipos de milho e de sorgo, visando o desenvolvimento de cultivares superiores para eficiência no uso de N e/ou fixação biológica de N₂ foi examinada, utilizando-se o método proposto por Schwartz & Geisler (1991), com modificações. Os méritos dessa metodologia são permitir uma avaliação temporal e detalhada das características morfológicas das raízes através de avaliação visual e a comparação entre ensaios diferentes, bem como o ajuste para o uso de análises automatizadas.

A validação dessa metodologia foi testada em três ensaios conduzidos em casa-de-vegetação,

como descrito a seguir. As sementes foram desinfestadas superficialmente com uma solução de hipoclorito de sódio (5%), durante uma hora, e lavadas com água destilada esterilizada por cinco vezes. Quinze sementes de cada genótipo foram colocadas sobre uma placa de acrílico medindo 50 de largura e 40 cm de profundidade, coberta com uma folha de papel de filtro e fixadas com fitas do mesmo papel, medindo 50 x 10 cm. Cada placa foi considerada uma repetição. As placas foram colocadas inclinadas a aproximadamente 15 graus e distanciadas 1,5 cm uma da outra, em um recipiente de plástico, com capacidade para 140 litros (Figura 1). As raízes foram banhadas até a altura das sementes com uma solução nutritiva com a seguinte composição dos sais (mg/L): NH_4NO_3 28; KH_2PO_4 136; K_2SO_4 89; $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 429; $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 442; $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 1,52; $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0,22; CuSO_4 0,07; $(\text{NH}_4)\text{MO}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 0,37; H_3BO_3 0,74; FeHEDTA, 25. A solução foi armazenada em tanque separado e bombeada para o recipiente em intervalos de duas horas, durante o dia, e quatro horas durante a noite, e trocada a cada período de sete dias de crescimento das plantas.

Nos três ensaios, as características morfológicas das raízes foram avaliadas entre 15 e 18 dias após a germinação, através da contagem das interseções entre as raízes e as linhas horizontais, em diferentes profundidades, em um *grid* constituído de uma folha de plástico riscada com espaços de 2 cm. As características resultantes foram assumidas como soma de interseções parciais e totais. Esses parâmetros

combinam número e comprimento de raízes seminais e laterais. As somas de interseções foram analisadas para o perfil do sistema radicular inteiro, interseção total, e para diferentes profundidades de raízes, interseções parciais.

Comparando-se os dados médios obtidos em um ensaio com cinco cultivares de milho, onde se avaliou a densidade radicular em diferentes profundidades na presença e ausência de bactérias diazotróficas, observou-se variabilidade genética para a soma parcial de interseção, na profundidade de 0 a 12 cm, e para soma total de interseções entre as cultivares testadas (Tabela 1). A avaliação efetuada em diferentes profundidades permite avaliar o padrão de desenvolvimento radicular de cada genótipo, o que indica o potencial genético de cada cultivar em explorar diferentes camadas de solo. Essa característica seria de relevância em ambientes sob estresse hídrico temporário ou nutrientes. Alguns trabalhos têm demonstrado que o maior desenvolvimento radicular ocorre nas primeiras semanas após a germinação, bem como o influxo de N por unidade de comprimento de raízes é mais elevado em plantas jovens, aos 15 dias, e que o teor de N na planta correlaciona-se positivamente com área superficial e comprimento de raízes, em plantas de milho. Pode-se esperar que o *ranking* encontrado entre as cultivares pode ser alterado em função da idade da planta. Nesse caso, as comparações não mostraram diferenças entre os genótipos no padrão de crescimento, nas diferentes zonas de

Tabela 1. Soma parciais (três profundidades) e total de interseções de raízes de plantas de milho, aos 18 dias após a germinação, em solução nutritiva. Médias de 45 plantas. Embrapa Milho e Sorgo, MG, 1998.

	Genótipo				
Profundidades	CMS 13	CMS 36	BR 451	CMS 59	CMS 51
0 -12 cm	40,59 ab	34,24 bc	30,27 c	42,99 a	35,71 abc
13 - 25 cm	20,37 a	15,84 a	15,18 a	16,05 a	17,32 a
> 25 cm	5,27 a	3,52 a	2,55 a	3,20 a	2,73 a
Soma de interseções	66,41 a	53,62 ab	49,02 b	62,24 a	55,76 ab

Nas linhas, as médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si ($P < 0,05$), pelo teste de Duncan.

Tabela 2. Taxa de alongação potencial de raízes seminais (cm planta⁻¹ dia⁻¹) de plantas de milho inoculadas e não inoculadas com uma mistura de estirpes homólogas de *A. lipoferum* e *A. brasilense* e cultivadas em solução nutritiva, aos 18 dias após a germinação. Médias de 45 plantas. Embrapa Milho e Sorgo. Sete Lagoas, MG, 1998.

Inoculação	Genótipos					Médias
	CMS 13	CMS 36	BR.451	CMS 59	CMS 51	
Com	3.66	3.47	3,42	2,76	3,39	3.34 B
Sem	3,82	3,67	3,57	2,92	3,72	3.54 A
Médias	3.73 a	3.57 a	3,50 a	2.84 b	3.55 a	

Nas linhas, as médias seguidas pela mesma letra minúscula, e nas colunas, pela mesma letra maiúscula, não diferem entre si ($P < 0,05$), pelo teste de Duncan.

crescimento, sendo que as cultivares com maior crescimento na região mais superficial também o fizeram na maior profundidade, bem como na soma total de interseções. De acordo com os dados apresentados na Tabela 2, do mesmo ensaio, observaram-se diferenças significativas para taxa de alongação potencial da raiz seminal entre os genótipos, embora menos acentuadas, discriminando somente um dos genótipos. Por outro lado, observou-se efeito negativo da presença de bactérias diazotróficas inoculadas na solução nutritiva sobre esse parâmetro. Sabe-se que esse efeitos dependem da espécie e da concentração da bactéria no inóculo e dos genótipos tratados.

Resultados similares foram obtidos para diferentes cultivares de sorgo cultivadas na presença de 10 e 100 ppm de N. As cultivares apresentaram comportamento diferencial em relação aos parâmetros morfológicos avaliados no perfil inteiro do sistema radicular (Tabela 3), como também nas diferentes profundidades avaliadas (dados não mostrados). O nível mais elevado de nitrogênio reduziu a taxa de alongação potencial da maior raiz seminal das plantas de sorgo, enquanto aumentou o número de raízes nodais e a densidade de raízes medida pelo número total de interseções.

Na Tabela 4, estão apresentados os dados de um ensaio envolvendo outros genótipos de milho, em que se avaliou também a densidade de raízes laterais, além dos demais parâmetros. À semelhança dos ensaios anteriores, a soma de interseções no perfil inteiro variou de modo significativo entre os genótipos, enquanto as diferenças para número de raízes laterais da maior raiz seminal não diferiram significativamente. Embora parte dessas diferenças possa ter sido mascarada pelo coeficiente de variação elevado, (CV = 40%), notou-se que a cultivar CMS 59 apresentou uma densidade de raízes superior à cultivar BR 201 M, em torno de 42 %. Observou-se, ainda, que não houve correspondência entre esses dois parâmetros. A cultivar que continha mais raízes laterais continha também menor número de raízes nodais.

Desses dados analisados, conclui-se que a distância de 2 a 3 cm entre as linhas horizontais do *grid* permitiu detectar variação genética entre as cultivares de milho e de sorgo. O método mostrou-se eficiente e aplicável para a caracterização morfológica de raízes dessas plantas, em relação a todos os parâmetros considerados, bem como do impacto de inoculação com bactérias diazotróficas sobre a morfologia radicular.

Tabela 3. Morfologia do sistema radicular de diferentes cultivares de sorgo, cultivadas em solução nutritiva, aos 18 dias após a germinação. Médias de 48 plantas. Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, 1998.

Nível de N	Genótipo										Médias
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
	Comprimento de maior raiz seminal										
10ppm	29,4	28,1	23,9	33,0	29,3	39,5	37,9	38,3	30,7	19,4	31,0 B
100ppm	22,0	31,7	20,3	31,5	26,1	25,9	27,2	31,2	26,6	21,3	26,4 A
Médias	25,7cd	29,9bc	22,1de	32,3ab	27,7c	32,7ab	32,6ab	34,7 ^a	28,6bc	20,3 e	
	Número de raízes nodais										
10ppm	3,7	2,9	3,1	4,1	3,7	2,9	3,1	2,9	2,6	3,7	3,3 A
100ppm	3,2	4,7	3,5	5,2	3,6	3,3	3,5	4,0	4,0	4,2	3,9 B
Médias	3,5 b	3,8 ab	3,3 b	4,6 a	3,6 b	3,1 b	3,3 b	3,4 b	3,3 b	3,9 ab	
	Número total de interseções										
10ppm	100,7	71,9	69,7	106,0	77,1	82,1	167,5	117,3	81,7	75,2	94,9 A
100ppm	81,5	132,6	115,5	158,2	94,1	65,0	132,2	152,6	94,0	66,4	109,2 B
Médias	91,1 bc	102,2abc	92,6 bc	132,1ab	85,6 c	73,6 c	149,8a	134,9ab	87,9bc	70,8 c	

Nas linhas, as médias seguidas pela mesma letra minúscula, e nas colunas, pela mesma letra maiúscula, não diferem entre si ($P < 0,05$), pelo teste de Duncan.

Tabela 4. Características morfológicas do sistema radicular de plantas de milho cultivadas em solução nutritiva, aos 16 dias após a germinação. Médias de 48 plantas. Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, 1998.

Parâmetros	Genótipos			
	BR 201M	CMS 59	CMS 36	CMS 22
Raízes laterais ($N^{\circ} \text{pl}^{-1} \text{cm}^{-1}$)	12,90 a ²	17,85 a	16,42 a	12,55 a
Raízes nodais ($N^{\circ} \text{pl}^{-1}$)	9,21 c	8,85 c	10,22 b	11,96 a
Comprimento de raízes seminais ¹ (cm)	18,63 a	19,44 b	22,39 a	19,66 b
Soma de interseções	79,97 ab	72,93 ab	69,26 b	83,97 a

¹ Avaliação aos seis dias após a germinação

² Nas linhas, as médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si ($P < 0,05$), pelo teste de Duncan.

Comunicado
Técnico, 34

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA,
PECUÁRIA E ABASTECIMENTO

**GOVERNO
FEDERAL**
Trabalhando em todo o Brasil

Exemplares desta edição podem ser adquiridos na:
Embrapa Milho e Sorgo
Caixa Postal 151 CEP 35701-970 Sete Lagoas, MG
Fone: 0xx31 3779 1000
Fax: 0xx31 3779 1088
E-mail: sac@cnpmis.embrapa.br

1ª edição
1ª impressão (2001) Tiragem: 500

Comitê de
Publicações

Presidente: Ivan Cruz
Secretário-Executivo: Frederico Ozanan Machado Durães.
Membros: Antônio Carlos de Oliveira, Arnaldo Ferreira da
Silva, Carlos Roberto Casela, Fernando Tavares Fernandes e
Paulo Afonso Viana

Expediente

Supervisor editorial: José Heitor Vasconcelos
Revisão de texto: Dilermando Lúcio de Oliveira
Editoração eletrônica: Dilermando Lúcio de Oliveira