

## ESTIMATIVA DA PROFUNDIDADE EFETIVA DO SISTEMA RADICULAR NA CULTURA DE MILHO EM FUNÇÃO DE GRAUS-DIA ACUMULADOS

Durval DOURADO NETO<sup>1,7</sup>, Paulo Augusto MANFRON<sup>2</sup>, Reinaldo Antonio Garcia BONNECARRÈRE<sup>3,7</sup>, Felipe Gustavo PILAU<sup>4</sup>, Antônio Roberto PEREIRA<sup>5,7</sup>, Sandro Luis Petter MEDEIROS<sup>6</sup>

### Introdução

A quantidade de água disponível para a cultura depende da profundidade explorada pelas raízes, da capacidade de armazenamento de água pelo solo e da densidade radicular da planta. Assim, o manejo racional do solo e da cultura reveste-se de suma importância para o crescimento e distribuição do sistema radicular, favorecendo o aproveitamento eficiente da água no processo produtivo.

A profundidade efetiva de raízes raramente ultrapassa 0,3 m em regiões tropicais, podendo ir até abaixo de 1,0 m em regiões de clima temperado (SAAD, 1991).

O estudo da profundidade efetiva do sistema radicular de uma cultura requer métodos destrutivos, trabalhosos e muito demorados. Com o objetivo de simplificar tal avaliação, desenvolveu-se um método prático computacional para estimar a profundidade efetiva do sistema radicular da cultura de milho em função de graus-dia acumulados ao longo do período de cultivo.

### Material e métodos

O modelo proposto é uma modificação daquele apresentado por BORG & GRIMES (1986), e foi comparado aos modelos de Rasmussen & HANKS (1978) e SCHOUWENAARS (1988), que propõem modelos sigmoidais para a determinação de  $Z_{ei}$ . Os modelos utilizados neste trabalho (Figura 1), inclusive o proposto, restringem-se à fase de alongação do sistema radicular.

No modelo sugerido, equação 1, o coeficiente empírico  $\beta$  é também dependente dos parâmetros que afetam o desenvolvimento das raízes, sendo específico para cada ambiente ( $Se \leq GDi < \alpha GDT$ ).

$$Z_{ei} = Z_{e_{ini}} + (Z_{e_{max}} - Z_{e_{ini}}) \left[ \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \operatorname{sen} \left( \frac{\pi GDi}{\alpha GDT} + \frac{\pi}{2} \right) \right] \quad (1)$$

A profundidade efetiva do sistema radicular no  $i$ -ésimo dia após a semeadura ( $Z_{ei}$ ), varia linearmente a partir de um valor inicial ( $Z_{e_{ini}}$ ) até atingir a profundidade máxima ( $Z_{e_{max}}$ ). O  $GDi$  refere-se à soma calórica ( $^{\circ}\text{C} \cdot \text{dia}$ ) até o  $i$ -ésimo dia após a semeadura e  $GDT$  à soma calórica ( $^{\circ}\text{C} \cdot \text{dia}$ ) até ser atingido o ponto de maturidade fisiológica. A fração  $\alpha GDT$  representa a soma calórica ( $^{\circ}\text{C} \cdot \text{dia}$ ) até ser atingida a profundidade máxima do sistema radicular sendo  $\alpha$  o desenvolvimento relativo mínimo correspondente ao  $Z_{e_{max}}$ . A relação

$GDi/GDT$ , corresponde então ao desenvolvimento relativo ( $Dr_i$ ) da cultura.

Quando  $GDi \geq \alpha GDT$ , aplica-se a equação (2) para os modelos propostos por Dourado-Neto & Jongvan-Lier (1991), Subbaiah & Rao (1993) e o modelo sugerido ( $Se \alpha GDT \leq GDi \leq GDT$ ).

$$Z_{ei} = Z_{e_{max}} \quad (2)$$

O modelo proposto foi validado e comparado com outros em relação aos dados observados utilizando os resultados obtidos na cultura de milho (*Zea mays* L.) num solo da área experimental da ESALQ/USP classificado como NITOSSOLO VERMELHO Eutroférico.

A semeadura foi realizada com três híbridos (C-901, C-333-B e C-806) em 20/10/1997, sendo a colheita em 11/03/1998. Foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado, com três repetições. Cada repetição foi constituída com 3,6 m de largura (4 linhas com espaçamento de 0,9 m) com 30 m de comprimento. Cada híbrido foi contemplado com 108 m<sup>2</sup> por repetição (324 m<sup>2</sup> por híbrido), em populações de 60.000 plantas/ha, 50.000 plantas/ha e 50.000 plantas/ha, respectivamente.

A amostragem do sistema radicular das plantas de milho foi realizada a campo de uma forma aleatória, mesmo constatando à não uniformidade no crescimento e desenvolvimento das plantas da área experimental, o que poderia influenciar nos resultados obtidos. Para minimizar a variabilidade dos dados coletados para estimativa da profundidade efetiva do sistema radicular dos híbridos estudados foram amostradas 5 plantas em cada repetição e híbrido.

O ciclo da cultura foi caracterizado pela soma calórica ( $^{\circ}\text{C} \cdot \text{dia}$ ), conforme a aproximação pelo método direto proposta por GILMORE & ROGERS (1958). Os fatores de forma dos diferentes modelos foram determinados através de análise de regressão não linear, com os pares de dados ( $GDi/\alpha GDT$ ) versus  $Z_{ei}$ , utilizando o método dos mínimos quadrados e o procedimento iterativo de Newton-Raphson; minimizando a soma dos quadrados dos desvios em relação aos valores medidos e estimados da profundidade efetiva do sistema radicular.

### Resultados e discussão

O modelo exponencial de SCHOUWENAARS (1988) é o que menos se ajusta aos dados medidos no campo, com tendência a superestimar a profundidade efetiva do sistema radicular desde os primeiros estádios da cultura até aproximadamente 60 dias após a semeadura e subestimando  $Ze$  nas etapas próximas ao desenvolvimento relativo ( $\alpha$ ) correspondente à profundidade máxima atingida pela cultura. Tendência similar foi observada no modelo proposto por Subbaiah & RAO (1993). Tanto o modelo de SCHOUWENAARS

<sup>1</sup> Dr. Prof. Associado do Departamento de Produção de Vegetal. ESALQ-USP. Piracicaba, SP. dourado@esalq.usp.br

<sup>2</sup> Dr. Prof. Titular. Departamento de Fitotecnia, CCR, UFSM, Santa Maria, RS. manfron@ccr.ufsm.br

<sup>3</sup> Engenheiro Agrônomo. Doutorando em Fitotecnia na ESALQ-USP. rabonnec@esalq.usp.br

<sup>4</sup> Engenheiro Agrônomo. Doutorando em Física do Ambiente Agrícola. ESALQ-USP. fgpilau@esalq.usp.br

<sup>5</sup> Dr. Prof. Titular do Departamento de Ciências Exatas. ESALQ-USP. Piracicaba, SP. arpereir@esalq.usp.br

(1988) quanto o de BORG & GRIMES (1986) apresentaram as maiores diferenças entre os valores simulados e os observados no campo para a profundidade máxima da raiz. O modelo de Borg & Grimes (1986) subestimou a profundidade de raiz ao longo do ciclo da cultura, sendo ainda menos consistente nos primeiros 20 dias após a semeadura.

A proposta de RASMUSSEN & HANKS (1978) superestima o crescimento radicular nos primeiros 15 dias após a semeadura, tendo um decréscimo na estimativa quanto se aproxima à etapa de desenvolvimento relativo correspondente a profundidade máxima do sistema radicular. O melhor ajuste foi obtido com o modelo sugerido no presente trabalho e com a proposta DE DOURADO-NETO & JONG-VAN-LIER (1991). Ambos os modelos apresentaram um excelente ajuste aos dados medidos no campo ao longo do ciclo da cultura. O coeficiente de determinação e o valor F (teste F) foram calculados. O alto valor de F indica uma boa aderência (maior exatidão do modelo em relação aos outros quando comparado com os dados medidos no campo). Observa-se também que o modelo de DOURADO-NETO & JONG-VAN-LIER (1991) apresenta um bom ajuste aos dados medidos no campo (Figura 1a).

O modelo que pior se ajustou aos dados observados foi o de SCHOUWENAARS (1988). SUBBAIAH & RAO (1993) obtiveram resultados semelhantes num estudo comparativo entre diferentes modelos para a simulação de crescimento radicular.

Estatisticamente, o teste F definiu que todos os modelos são altamente significativos. Porém, deve-se considerar que as propostas de SCHOUWENAARS (1988), SUBBAIAH & RAO (1993) e BORG & GRIMES (1986) superestimaram ou subestimaram a profundidade efetiva do sistema radicular em certas etapas do seu desenvolvimento.

Na Figura 1, os valores observados com os simulados são comparados. A maioria dos modelos tem um bom ajuste com os dados observado, sendo que o erro padrão é maior nos modelos de SCHOUWENAARS (1988) e SUBBAIAH & RAO (1993), como pode ser visto na Figura 1 (e) e na Figura 1 (f).

O coeficiente de determinação é similar nos diferentes modelos quando comparados cada um deles com os dados medidos no campo, sendo apenas diferente o modelo de SCHOUWENAARS (1988). Porém, o quadrado médio da soma dos quadrados dos resíduos demonstra que além desse modelo, as propostas de RASMUSSEN & HANKS (1978) e de SUBBAIAH & RAO (1993) são menos exatas para a simulação do crescimento radicular. O menor quadrado médio da soma dos quadrados dos resíduos foi apresentado pelo modelo sugerido; seguido das propostas de DOURADO-NETO & JONG-VAN-LIER (1991) e BORG & GRIMES (1986).

## Conclusão

O modelo proposto de simulação de crescimento radicular foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais ao longo do ciclo de desenvolvimento da cultura de milho, levando em consideração a minimização da soma dos quadrados dos resíduos e os valores extremos de

profundidade efetiva do sistema radicular (valores inicial e final).

## Referências bibliográficas

BORG, H.; GRIMES, D.W. Depths development of roots with time: an empirical description. **Transaction of ASAE**, St. Joseph, v.29, n.1, p.194-197, 1986.

DOURADO-NETO, D.; JONG-van-LIER, Q. de. **Programa para elaboração do Balanço hídrico para culturas anuais e perenes**. Piracicaba, Departamento de Agricultura-ESALQ, p.58, 1991 (Manual do usuário).

GILMORE, E.; ROGERS, J.S. Heat units as a method of measuring maturity in corn. **Agronomy Journal**, Madison, v. 50, p.611-615, 1958.

RASMUSSEN, V.P.; HANKS, R.J. Spring wheat yield model for limited moisture conditions, **Agronomy Journal**, Madison, v.70, p.940-944, 1978.

SAAD, A.M. **Uso do tensiômetro no controle da irrigação por pivô central**. Piracicaba, ESALQ/USP, 141p., 1991 (Dissertação de Mestrado: ESALQ/USP).

SCHOUWENAARS, J.M. Rainfall irrigation and sowing strategies in southern Mozambique. **Agriculture Water Managment**, Amsterdam, v.13, n.1, p.49-64, 1988.

SUBBAIAH, R.; RAO, K.A. Root growth simulation model under specified environment. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, Aragon, v.119, n. 5, p.898-905, 1993.

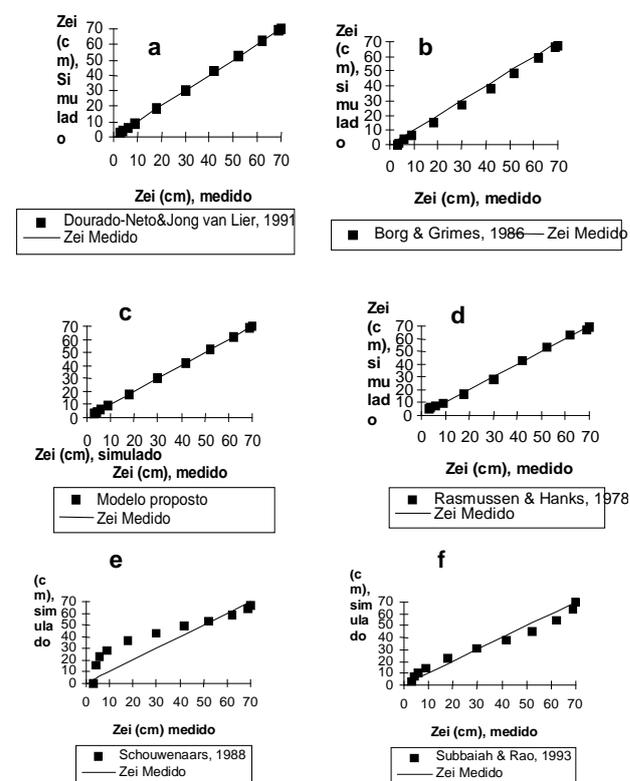


Figura 1. Comparação dos valores simulados com os valores observados (linha 1:1).