

MATÉRIA SECA E MORFOLOGIA RADICULAR DE CULTIVARES DE ARROZ DE TERRAS ALTAS EM FUNÇÃO DA ADUBAÇÃO COM ZINCO

DRY MATTER AND ROOT MORPHOLOGY OF UPLAND RICE PLANTS AS A FUNCTION OF ZINC FERTILIZATION

Munir Mauad¹, José Carlos Feltran², Carlos Alexandre Costa Crusciol³
e Angéla Cristina Camarin Alvarez⁴

RESUMO

O objetivo do trabalho foi avaliar a influência da adubação com zinco na matéria seca e morfologia do sistema radicular de cultivares de arroz de terras altas. O experimento foi conduzido em vasos contendo 8 dm³ de Latossolo Vermelho distroférrico, em casa de vegetação, até 64 dias após a emergência das plantas. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, disposto em arranjo fatorial 4 x 3, quatro níveis de adubação de zinco (0, 4, 8 e 16 mg dm⁻³) e três cultivares de arroz ('Caiapó', 'Maravilha' e 'Primavera'), com quatro repetições. O diâmetro radicular aumentou com o aumento da adubação com Zn. Comprimento, superfície e volume radicular não foram influenciados pelas doses de Zinco. As cultivares do grupo tradicional 'Caiapó'

e intermediário 'Primavera' apresentaram maior comprimento radicular do que a cultivar do grupo moderno 'Maravilha'. Cultivares com maior comprimento radicular ('Caiapó' e 'Primavera') exibiram maiores teores de Zn na parte aérea.

Palavras-chave: Arquitetura da raiz, micronutriente, *Oryza sativa*.

ABSTRACT

The study aimed was to evaluate the upland rice cultivars behavior submitted to different levels of zinc, aiming to identify development alterations of the root system and the shoot. The experiment was carried in 8 dm³ pots in greenhouse, up 64 days after the emergency of the plants. The experiment was design 4 x 3 completely randomized, consisted by four zinc levels (0, 4, 8 and 16 mg dm⁻³) and three upland rice cultivars ('Caiapó', 'Maravilha' and 'Primavera') with four replications. The root diameter increased by the Zn high level fertilization. Length, surface and root volume did not influenced by the zinc levels. The cultivars of 'Caiapó' traditional group and 'Primavera' intermediate showed increased root length then the 'Maravilha' modern group. Cultivars with greater root length ('Caiapó' e 'Primavera') demonstrated higher lever of Zn levels in the shoot.

Keywords: Architecture root, micronutrient, *Oryza sativa*.

¹Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD) Rodovia Dourados – Itahum, Km 12, Caixa Postal 533, CEP 79804-970, Dourados – MS munirmaud@ufgd.edu.br

²Instituto Agronômico (IAC) - Centro de Horticultura, Caixa Postal 28, 13001-970, Campinas - SP feltran@iac.sp.gov.br

³Universidade Estadual Paulista (UNESP), Departamento de Produção Vegetal, Bolsista de Produtividade Cnpq, Caixa Postal 273, CEP 18603-970, Botucatu – SP, crusciol@fca.unesp.br

⁴Universidade Estadual Paulista (UNESP), Departamento de Ciências Ambientais, Caixa Postal 273, CEP 18603-970, Botucatu – SP,

Recepção/Reception: 2011.09.09
Aceitação/Acception: 2012.03.27

INTRODUÇÃO

A área cultivada com arroz no Brasil safra (2010/2011) é de aproximadamente 2,86 milhões de hectares, correspondendo a 5,8% da área total cultivada com cereais no País (Conab, 2011). O arroz no Brasil é cultivado em dois ecossistemas de produção denominados terras altas e várzeas, sob diferentes sistemas de cultivo. A maior parte deste cultivo, cerca de 49% é realizado em ecossistemas de terras altas (EMBRAPA 2009) em solos de cerrado (Schöffel e Dal' Col Lúcio, 2000) e contribui com apenas 21% da produção nacional de arroz.

Os solos de cerrado, na sua maioria são caracterizados pela baixa fertilidade natural, baixa CTC, elevada acidez e baixos teores de macro e micronutrientes em função do seu elevado grau de intemperismo. Estima-se que mais de 170 milhões de hectares de solos do cerrado brasileiro, sejam deficientes em Zn (Schöffel e Dal' Col Lúcio, 2000). Dentre os micronutrientes, a deficiência de zinco (Zn) é relatada em várias culturas, em solo sob cerrado (Galvão 1989; Barbosa Filho *et al.*, 1990, Galvão, 1994, Fageria 2000, 2002 a b).

Embora o crescimento das raízes e dos colmos das gramíneas como a aveia-branca, cevada, trigo e arroz seja reduzido pela deficiência de Zn (Graham *et al.*, 1992, Dong *et al.*, 1995, Sundhalakshmi *et al.*, 2007) e a redução da massa de matéria seca do colmo ocorra em maior proporção do que a do sistema radicular (Rengel e Romheld 2000, Rengel *et al.*, 1998) pouco se conhece a respeito do efeitos do Zn na arquitetura e morfologia do sistema radicular (Palazzo *et al.*, 2003).

Sundhalakshmi *et al.* (2007) relataram que as plantas de arroz cultivadas sob condições de deficiência de Zn, diminuíram o crescimento do colmo e aumentaram o crescimento radicular como mecanismo compensatório para aquisição do nutriente em ambientes limitantes.

Caracterizações do sistema radicular, em função de teores Zn no solo, têm sido feitas no sentido de descrever genótipos mais

eficientes na absorção deste micronutriente. Assim, plantas com sistema radicular mais comprido (Grewal *et al.*, 1997) e com diâmetro de raízes mais fino (<0,2mm) (Rengel e Wheal 1997) têm sido mais eficientes na absorção de Zn.

Características morfológicas do sistema radicular como comprimento, diâmetro, densidade e volume de raízes podem influenciar na absorção de nutrientes do solo, principalmente daqueles cujo contato íon-raiz se faz predominantemente por difusão. Entretanto, essas características apresentam grande variação entre as espécies e entre os genótipos da mesma espécie (Taylor e Arkin, 1981, Dong *et al.*, 1995), assim como podem ser modificados por propriedades químicas, como excesso ou deficiência de nutrientes e físicas do solo como camadas compactadas (Taylor e Arkin, 1981).

No Brasil, estudos sobre a adubação com Zn e crescimento radicular em cultivares de arroz de terras altas avaliaram apenas o crescimento radicular por meio do acúmulo da massa de matéria seca da raiz (Fageria 2002 a,b, Oliveira *et al.*, 2003). Respostas de plantas de arroz de terras altas à adubação com Zn tem sido verificadas por aumentos da matéria seca da parte aérea e da raiz (Fageria 2002 a,b, Oliveira *et al.*, 2003, Fageria e Baligar 2005) e na produção de grãos (Oliveira *et al.*, 2003, Fageria e Baligar, 2005). Porém, são escassos os trabalhos relacionando a adubação com zinco e morfologia de raiz.

O objetivo do trabalho foi avaliar a influência da adubação com zinco na massa seca e morfologia do sistema radicular de cultivares de arroz de terras altas.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação no período de 11/04/2002 a 22/06/02, no Departamento de Produção Vegetal da Faculdade de Ciências Agrônomicas (FCA) - UNESP, Campus de Botucatu, São Paulo. O solo utilizado foi proveniente coletado na unidade "Patrulha" da FCA, na

camada superficial (0-0,2 m) de um Latosolo Vermelho distroférico (Embrapa, 1999) de textura média com 680, 150 e 170 g kg⁻¹ de areia, silte e argila, respectivamente. Uma amostra composta desse solo foi analisada segundo Raij *et al.* (2001) cujo resultado foi o seguinte: pH (CaCl₂) = 4,1; M.O = 5 g dm⁻³; P (resina) = 13 mg dm⁻³; K, Ca, Mg, H + Al, SB e CTC = 0,02; 0,5; 0,3; 2,1; 0, 82 e 2,92 cmol_c dm⁻³, respectivamente e V = 28%; B, Cu, Fe, Mn e Zn = 0,06; 1,5; 302; 3,1 e 0,3 mg dm⁻³, respectivamente.

As amostras de solo foram passadas em peneira de malha de 4 mm e acondicionadas em sacos plásticos de 8 dm³. Posteriormente, foi feita calagem, que constou da mistura de 51,5 gramas de calcário dolomítico (Poder Relativo de Neutralização Total = 95%) com o solo, visando elevar a saturação por bases a 70 %. Aplicaram-se 50 mg dm⁻³ de N, 150 mg dm⁻³ de P, 150 mg dm⁻³ de K e 1 mg dm⁻³ de B, na forma de uréia, superfosfato simples, cloreto de potássio e boráx, respectivamente e as doses de Zn na forma de sulfato de Zn. O calcário e os fertilizantes foram misturados ao solo contido nos sacos plásticos, os quais receberam 1000 mL de água e passaram por período de incubação de 25 dias.

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, em esquema fatorial 4 x 3, com quatro repetições. Os tratamentos constituíram de quatro doses de Zn (0, 4, 8 e 16 mg dm⁻³) na forma de sulfato de Zn e três cultivares: ‘Caiapó’, ‘Primavera’ e ‘Maravilha’. Cada unidade experimental constituiu num vaso plástico de 10 dm³, contendo 8 dm³ de solo e três plantas.

As características dos três cultivares utilizados para produção de arroz em sistema de terras altas estão descritas a seguir:

‘Caiapó’.: material pertencente ao grupo tradicional, com plantas de porte alto, folhas longas e decumbentes, baixa capacidade de perfilhamento, acamamento em solos férteis ou quando adubados com doses elevadas de nitrogênio.

‘Maravilha’: pertencente ao grupo moderno, com plantas de porte baixo, folhas curtas, eretas, colmos fortes, alto perfilhamento e

respondem, sem acamar, à melhoria da fertilidade do solo e a adubação nitrogenada.

‘Primavera’: com plantas apresentando características intermediárias entre as do grupo tradicional e moderno

A semeadura foi realizada em 11/04/2002 utilizando-se 12 sementes por vaso. Aos 15 dias após a semeadura (DAS) realizou-se o desbaste, deixando-se três plântulas por vaso.

Além da adubação de semeadura, foi feita a adubação de cobertura, sendo que cada vaso recebeu 100 mg dm⁻³ de N (50 mg dm⁻³ no início do estágio de perfilhamento – 42 DAS e 50 mg dm⁻³ na diferenciação do primórdio da panícula- 56 DAS), na forma de uréia. A umidade do solo nos vasos foi mantida com a reposição periódica de água de modo a não causar estresse hídrico nas plantas.

Aos 64 dias após a emergência, as plantas foram colhidas e separadas em parte aérea e raízes. No momento da colheita fez-se a contagem do número de perfilhos por planta. A parte aérea foi lavada, seca em estufa com ventilação forçada a 65 °C até massa constante e, em seguida, foi determinada a massa de matéria seca da parte aérea e o teor de Zn na parte aérea conforme método descrito por Malavolta *et al.* (1997). Amostras de solo foram coletadas após o cultivo e o teor de Zn foi determinado segundo Raij *et al.* (2001).

As raízes foram separadas do solo por lavagem em água corrente em peneira com malha de 0,5 mm. Após este procedimento, foi tomada uma subamostra das raízes (aproximadamente 1/8 do total), seccionada no sentido do comprimento, as quais foram colocadas em frascos com álcool 70 % e armazenadas sob refrigeração. O restante das raízes foi seco em estufa com ventilação forçada a 65 °C até massa constante, determinando-se, no final, a massa de matéria seca das raízes.

As amostras do sistema radicular foram acondicionadas em álcool e usadas para a determinação do comprimento total, área superficial, volume total e diâmetro médio das raízes por meio da digitalização de imagem utilizando *Scanner*, desenvolvido para esse fim, acoplado a um computador contendo o *Software* WinRhizo, que utiliza

como princípio o método proposto por Ten-nant (1975).

Os dados foram submetidos à análise de variância. As cultivares foram comparadas pelo teste Tukey a 5 %, e os efeitos dos níveis da adubação com Zn e da interação doses e cultivares foram avaliados por meio da análise de regressão polinomial.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve efeito de cultivar para todas as variáveis do sistema radicular, enquanto que para os níveis de Zn se observou resposta apenas para o diâmetro (Quadro 1).

Em relação ao comprimento radicular, não houve diferença significativa entre as cultivares Caiapó e Primavera, porém, ambas diferiram da ‘Maravilha’. O menor comprimento radicular verificado na cultivar Maravilha pode estar relacionado com o fato desta cultivar (grupo moderno) ter sido desenvolvida para o cultivo sob pivô, e ou, em áreas com boa distribuição pluviométrica durante o período de cultivo. Provavelmente, por isso, necessita de menor comprimento radicular para aquisição de recursos do meio para o crescimento. Por outro lado, cultivares do ecossistema de terras altas, cultivadas no sistema de sequeiro, apresentam sistema radicular mais

profundo, ou seja, necessita de maior comprimento radicular para aquisição de água em maior profundidade, o que provavelmente explique o maior crescimento radicular da cultivar do grupo tradicional (‘Caiapó’) e intermediário (‘Primavera’) (Quadro 1).

O comprimento radicular é uma característica controlada geneticamente, podendo apresentar grande variação entre as espécies e entre os genótipos da mesma espécie (Taylor e Arkini, 1981; Dong *et al.*, 1995). Crusciol *et al.* (2005) trabalhando em casa de vegetação com as cultivares de arroz de terras altas, observaram que o comprimento radicular da cultivar Carajás (grupo intermediário) foi significativamente maior do que o da cultivar Maravilha (grupo moderno)

A superfície radicular é uma característica dependente do comprimento e do diâmetro radicular (Rosolem, 1995). O maior valor de superfície e volume radicular foi observado na cultivar Caiapó do grupo tradicional, diferindo dos materiais do grupo intermediário (‘Primavera’) e moderno (‘Maravilha’) (Quadro 1). Como tanto o comprimento quanto o diâmetro radicular foram maiores na ‘Caiapó’, isso refletiu em maior superfície para esta cultivar.

Para o diâmetro radicular nota-se uma resposta linear relativamente às doses de zinco (Figura 1). As características morfológicas

Quadro 1 - Produção de massa seca e características morfológicas do sistema radicular das cultivares de arroz de terras altas ‘Caiapó’, ‘Maravilha’ e ‘Primavera’, em função de doses de Zn, em casa de vegetação.

Cultivar	Sistema radicular				
	Comprimento (m planta ⁻¹)	Superfície (m ² planta ⁻¹)	Volume (m ³ planta ⁻¹)	Diâmetro (mm)	Massa seca (g planta ⁻¹)
‘Caiapó’	353,6a	1,083a	274,84a	0,1009a	3,87a
‘Maravilha’	215,5b	0,597b	133,28b	0,0886b	2,36b
‘Primavera’	287,8a	0,708b	142,50b	0,0774c	2,85b
DMS	66,67	0,192	50,11	0,008	0,55
	Valor de F				
Cultivar (C)	8,825**	14,409**	20,688**	19,410**	16,531**
Doses de zinco (Zn)	0,469 ^{ns}	1,138 ^{ns}	2,211 ^{ns}	3,256 *	1,246 ^{ns}
C x Zn	1,295 ^{ns}	1,260 ^{ns}	1,589 ^{ns}	2,172 ^{ns}	1,549 ^{ns}

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ns, **, * - não significativo, significativo a 5 % e 1 % de probabilidade respectivamente

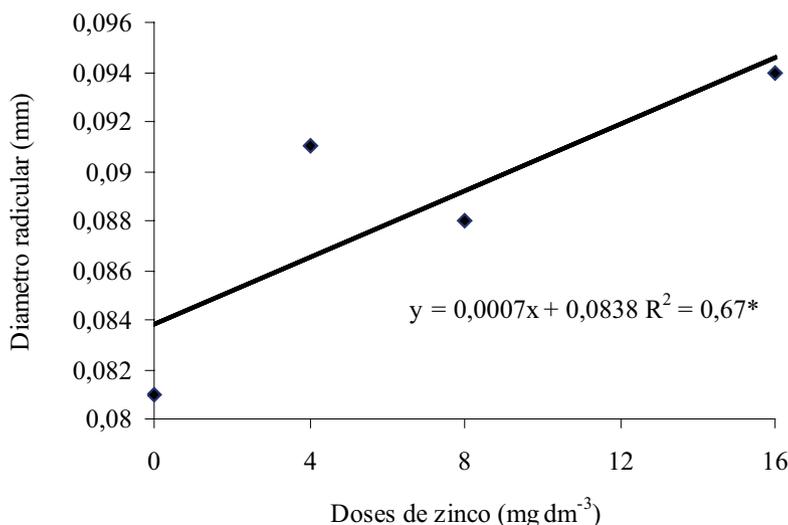


Figura 1 - Efeito da adubação com Zn sobre o diâmetro radicular.

do sistema radicular podem ser modificadas por propriedades químicas do solo como o excesso ou deficiência de nutrientes (Taylor e Arkin, 1981).

Embora tenha ocorrido aumento do diâmetro radicular com a dose de zinco (Figura 1), esse aumento foi sempre menor que 0,2 mm,

o que segundo Rengel e Wheal (1997) é o limite no qual o diâmetro radicular começa a influenciar na absorção de Zn pelas raízes, uma vez que quanto menor a espessura, menor o caminho que o elemento têm para percorrer desde a plasmalema até aos vasos do xilema e floema (Correa *et al.*, 2006).

Quadro 2 - Teor de zinco na parte aérea, número de perfilho e massa seca da parte aérea das cultivares de arroz de terras altas ‘Caiapó’, ‘Maravilha’ e ‘Primavera’, em função de doses de Zn, em casa de vegetação.

Cultivar	Parte aérea		
	Teor de Zn (mg kg ⁻¹)	Perfilho (n ^o planta ⁻¹)	Massa seca (g planta ⁻¹)
‘Caiapó’	245,6 a	9,6 b	10,49 a
‘Maravilha’	197,9 b	12,2 a	8,45 b
‘Primavera’	258,8 a	9,2 b	8,81 b
Dms	28,68	1,4	1,07
	Valor de F		
Cultivar (C)	10,27 **	11,213**	8,540**
Doses de zinco (Zn)	203,02**	4,086*	3,384*
C x Zn	8,15 **	0,823 ^{ns}	1,073 ^{ns}

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ns, *, ** - não significativo, significativo a 5% e 1% de probabilidade respectivamente.

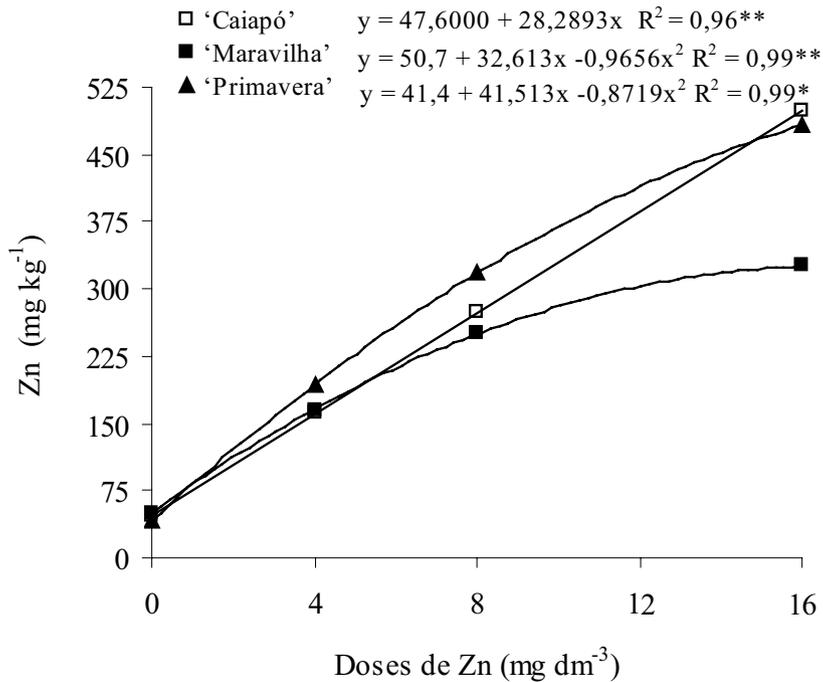


Figura 2. Teor de Zn da parte aérea de cultivares de arroz, em função da adubação com zinco 'Caiapó' (□), 'Maravilha' (■) e 'Primavera' (▲), em casa de vegetação.

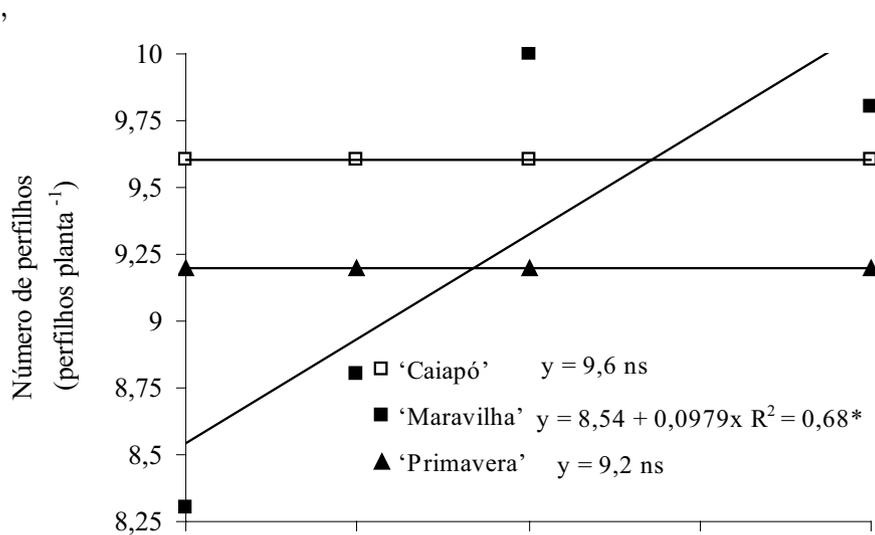


Figura 3. Número de perfilhos em cultivares de arroz, em função da adubação com zinco 'Caiapó' (□), 'Maravilha' (■) e 'Primavera' (▲), em casa de vegetação.

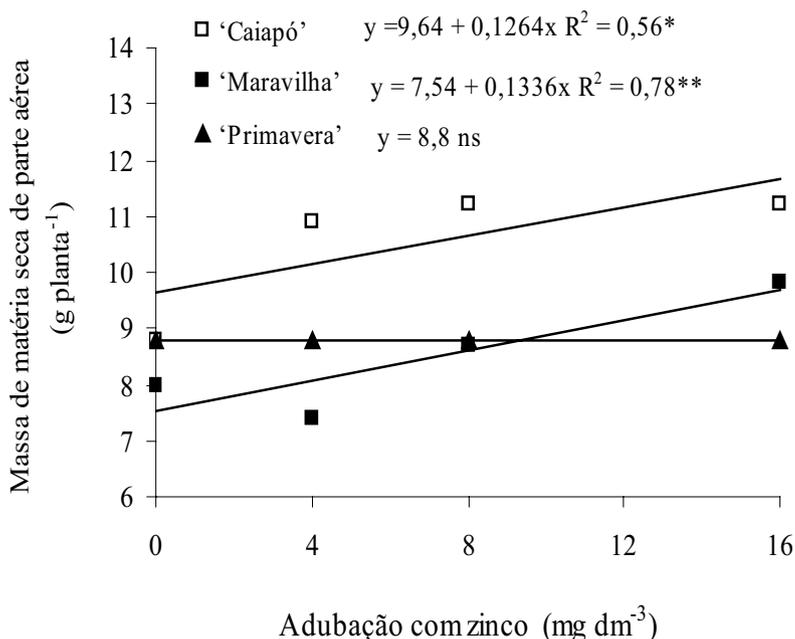


Figura 4. Massa de matéria seca de parte aérea em cultivares de arroz, em função da adubação com zinco 'Caiapó' (□), 'Maravilha' (■) e 'Primavera' (▲), em casa de vegetação.

As características morfológicas do sistema radicular das cultivares refletiram na produção de massa seca da raiz (Quadro 1). A maior produção de matéria seca de raiz encontrada na cultivar Caiapó pode ser explicada pelos maiores valores de comprimento, volume e diâmetro (Quadro 1), corroborando com os resultados encontrados por Crusciol *et al.* (2005), que observaram em experimento em casa de vegetação uma maior produção de matéria seca de raiz na cultivar Carajás em função do maior comprimento, superfície e volume radicular apresentado por essa cultivar, em relação as cultivares Maravilha, IAC-201 e IAC-202.

Quanto ao desenvolvimento da parte aérea, verificou-se efeito de interação para teor de zinco, e efeito isolados de cultivares e doses de zinco para número de perfilho e matéria seca (Quadro 2).

O contato íon raiz para Zn na sua maior parte, cerca de 60%, ocorre por difusão (Malavolta *et al.*, 1997). Assim cultivares com

maior comprimento radicular possuem maior capacidade para absorção dos nutrientes do solo, o que pode explicar os maiores valores para o teor de Zn na parte área encontrados nas cultivares Caiapó e Primavera (Quadro 2). Vários autores relatam que além dos parâmetros fisiológicos da absorção (I_{max} , K_m , V_{max}), a capacidade de absorção de nutrientes está relacionada com o comprimento radicular (Teo *et al.*, 1995; Rosolem *et al.*, 1999).

O aumento no número de perfilhos com o incremento da adubação com Zn observado na cultivar Maravilha (Figura 3) pode ser explicado pelo fato das cultivares do grupo moderno produzirem maior número de perfilhos comparado com as cultivares do grupo intermediário e tradicional (Bresseghele *et al.*, 1999), além de serem mais responsivas à melhoria das condições de fertilidade do solo, em relação às cultivares do grupo intermediário e tradicional (Fageria *et al.*, 1995 a b). Oliveira *et al.* (2003) observaram

também aumento no número de perfis em cultivares de arroz em função da adubação com Zn.

A maior produção de massa de matéria seca da parte aérea para a cultivar Caiapó (Figura 4) pode ser devido ao maior comprimento do sistema radicular, que pode ter promovido melhores condições para a absorção de nutrientes, como o Zn (Quadro 1 e Figura 2) resultando em maior desenvolvimento da parte aérea, uma vez que autores como Rosolem (1995) e Mello e Mielniczuk (1999) atribuem ao aumento do comprimento radicular maior eficiência para a absorção de nutrientes em virtude da dimensão horizontal das células da raiz. O aumento da matéria seca da parte aérea em função da adubação com Zn em plantas arroz, tem sido amplamente relatados na literatura por Fageria (2002) e Oliveira *et al.* (2003).

CONCLUSÕES

1. O diâmetro radicular aumentou com o aumento dos níveis de adubação com Zn.
2. Comprimento, superfície e volume radicular não foram influenciados pelas doses de zinco.
3. A cultivares do grupo tradicional 'Caiapó' e intermediário 'Primavera' apresentaram maior comprimento radicular a cultivar do grupo moderno 'Maravilha'.
4. Cultivares com maior comprimento radicular ('Caiapó' e 'Primavera') apresentaram maior teores de Zn na parte aérea.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Barbosa Filho, M.P.; Dynia, J.F. e Zimmermann, F.J.P. (1990) - Resposta de arroz de sequeiro ao zinco e cobre, com efeito residual para o milho. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, 14, 3: 333-338.

Breseghele, F.; Castro, E.M. e Morais, O.P. (1998) - Cultivares de arroz. In: Breseghele, F. e Stone, L.F. (Eds.) - *Tecnologia para arroz de terras altas*. Santo

Antônio de Goiás, Embrapa Arroz e Feijão, p 41-53

Conab – Companhia Nacional de Abastecimento (2011) - *Nono levantamento de avaliação da safra 2010/2011* (em linha). (Acesso em 20 junho 2011). Disponível em: < <http://www.conab.gov.br/conabweb/index.php> >.

Corrêa, J.C.; Costa, A.de M.; Crusciol, A.C.C. e Mauad, M. (2006) - Doses de boro e crescimento radicular e da parte aérea de cultivares de arroz de terras altas. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, 30, 6: 1077-1082.

Crusciol, A.C.C.; Mauad, M.; Alvarez, R.C.F.; Lima, E.V. e Tiritan, C.S (2005) - Doses de fósforo e crescimento radicular de cultivares de arroz de terras altas. *Brasileira*, 64, 4: 643-49.

Dong, B.; Rengel, Z. e Graham, R.D. (1995) - Root morphology of wheat genotypes differing in zinc efficiency. *Journal of Plant Nutrition*, 1, 2: 2761-2773.

Embrapa - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (2009) - *Socioeconômica 2009* (em linha). (Acesso em: 28 fevereiro 2011). Disponível em < <http://www.cnpfaf.embrapa.br/apps/socioeconomia/docs/arroz/percentualarroz.htm> >.

Embrapa - Centro Nacional de Pesquisa de Solos (1999) - *Sistema brasileiro de classificação de solos*. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 412 p.

Fageria, N.K. e Baligar, V.C. (2005) - Growth components zinc recovery efficiency of upland rice genotypes. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 40, 12: 1211-1215

Fageria, N.K. (2002a) - Influence of micronutrients on dry matter yield and interaction with other nutrients in annual crops. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 37, 12: 1765-1772.

Fageria, N.K. (2002b) - Micronutrients influence on root growth of upland rice, common bean, corn, wheat, and soybean. *Journal of Plant Nutrition*, 25, 3: 613-622,

Fageria, N.K. (2000) - Níveis adequado e tóxicos de zinco na produção de arroz, feijão, milho, soja e trigo em solo de cerrado.

- Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 4, 3: 390-395.
- Fageria, N.K.; Sant'Ana, E.P.; Castro, E.M. e Moraes, O.P. (1995a) - Resposta diferencial de genótipos de arroz de sequeiro à fertilidade do solo. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, 19, 2: 261-267.
- Fageria, N. K.; Sant'ana, E. P. e Moraes, O. P. (1995b) - Resposta de genótipos de arroz de sequeiro favorecido à fertilidade do solo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 30, 9: 1155-1161.
- Galvão, E.Z. (1989) - Efeito de micronutrientes e do cobalto na produção da soja em solo de cerrado. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, 13, 1: 41-44.
- Galvão, E.Z. (1994) - Métodos de correção da deficiência de zinco para o cultivo do milho num Latossolo Vermelho-Escuro argilo sob cerrado. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, 18, 3: 229-233.
- Grahan, R.D.; Ascher, J.S. e Hynes, S.C. (1992) - Selecting zinc efficient cereal genotypes for soil of low zinc status. *Plant Soil*, 146, 1-2: 241-250.
- Grewal, H.S. Stangoulis, J.C.R.; Potter, T.D. e Graham, R.D. (1997) - Zinc efficiency of oilseed rape (*Brassica napus* and *B. juncea*) genotypes. *Plant Soil*, 191, 1: 123-132.
- Ibge - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Produção agrícola municipal: culturas temporárias e permanentes*, 1991 a 2004. (em linha). (Acesso em 28 fevereiro 2011). Disponível em: < <http://www.sidra.ibge.gov.br> >.
- Malavolta, E.; Vitti. G.S. e Oliveira. S.A (1997) - *Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações*. Piracicaba, Potafos, 319 p.
- Mello, W.M.P.I. e Mielniczuk, J. (1999) - Influência da estruturação do solo na distribuição e na morfologia do sistema radicular do milho sob três métodos de preparo. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, 23, 1: 135-143.
- Oliveira, S.C.de; Costa, M.C.G.; Chagas, R.de.C.S.; Fenilli, T.A.B.; Heinrichs, R.; Cabral, C.P. e Malavolta, E. (2003) - Resposta de duas cultivares de arroz a doses de zinco aplicado como oxissulfato. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 38, 3: 387-396.
- Palazzo, A.; Cary, T.J.; Hardy, S.E. e Richard Lee, C. (2003) - Root growth and metal uptake in four grasses grown on zinc-contaminated soils. *Journal Environment Quality*, 32, 5: 834-840.
- Raij, B.van; Andrade, J.C.; Cantarella, H. e Quaggio, J.A. (2001) - *Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais*. Campinas, Instituto Agronômico, 284 p.
- Rengel, Z. e Romheld, V. (2000) - Root exudation and Fe uptake and transport in wheat genotypes differing in tolerance to Zn deficiency. *Plant Soil*, 222, 1: 25-34.
- Rengel, Z.; Romheld, V. e Marschner, H. (1998) - Uptake of zinc and iron by wheat genotypes differing in tolerance to zinc deficiency. *Journal of Plant Physiologic*, 152, 4: 433-438.
- Rengel, Z. e Wheal, M.S. (1997) - Basic parameters of Zn uptake by wheat are affected by herbicides chlorsulfuran. *Journal Experimental Botanic*, 48, 9: 935-941.
- Rosolem, C.A. (1995) - *Relações solo-planta na cultura do milho*. Jaboticabal, Funep, 53 p.
- Rosolem, C.A.; Witacker, J.P.T.; Vanzolini, S. e Ramos, V.J. (1999) - Significance of root growth on cotton nutrition in an acidic low-P soil. *Plant and Soil*, 212, 2: 185-190.
- Sudhalakshmi, C.; Kristnasamy, R.E. e Rajarajan, A. (2007) - Influence of zinc deficiency on shoot/root dry weight ratio of rice genotypes. *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences*, 3, 4: 295-298.
- Schöffel, E.R. e Dal' Col Lúcio, A. (2000) - Comportamento de variedades de arroz sob diferentes doses de zinco aplicadas no solo. *Revista Faculdade de Zootecnia, Veterinária e Agronomia*, 7, 1: 27-31.
- Taylor, D. e Arkin, G.F. (1981) - Root zone modification fundamentals and alternatives. In: Taylor, H.M. e Arkin, G.F (Eds.)

- *Modifying the root environment to reduce crop stress*. St. Joseph, ASAE, p. 3-16.
- Tennat, D. (1975) - A test of a modified line intersect method of estimating root length. *Journal of Ecology*, 63, 5: 995-1001.
- Teo, Y.H.; Beyrouy, C.A.; Norma, R.J. e Gbur, E.E. (1995) - Nutrition uptake relationship to root characteristics of rice. *Plant and Soil*, 171, 2: 297-302.