

Influência do magnésio, boro e manganês na absorção de zinco por raízes destacadas de duas cultivares de arroz¹

Magnesium, boron, and manganese in the zinc uptake by excised roots of two rice cultivars

Adônis Moreira^{2*}; Axel Garcia y Garcia³; Reges Heinrichs⁴; Eurípedes Malavolta⁵

Resumo

Os efeitos do magnésio, boro e manganês na absorção de zinco foram estudados usando-se o método de cinética de absorção com Zn⁶⁵ por raízes destacadas das cultivares de arroz IAC 165 e IAC 201. O delineamento experimental foi em blocos casualizados com quatro doses de Zn (0,5; 1,0; 2,0 e 10,0 $\mu\text{mol L}^{-1}$) combinadas com duas doses de Mg (0,1 e 0,4 $\mu\text{mol L}^{-1}\text{m}^{-1}$), duas de B (0,1 e 0,4 $\mu\text{mol L}^{-1}$) e duas de Mn (0,1 e 0,4 $\mu\text{mol L}^{-1}$) com três repetições. Os resultados indicam que as cultivares de arroz IAC 165 e IAC 201, em diferentes concentrações de Mg, B e Mn na solução, apresentam comportamentos distintos na absorção de Zn. O Mg inibiu a absorção nas duas cultivares e o aumento da concentração de B e Mn na solução induz maior absorção de Zn pelas raízes destacadas de arroz.

Palavras-chave: Cinética de absorção, Km, Vmax. *Oriza sativa*.

Abstract

The effect of Mg, Mn and B in uptake of Zn⁶⁵ was studied by using excised roots from the cultivars IAC 165 and IAC 201. The experimental design was a randomized block scheme with three replicates. Two rates of Mg (0.1 and 0.4 $\mu\text{mol L}^{-1}$) two rates of B (0.1 and 0.4 $\mu\text{mol L}^{-1}$) and two rates of Mn (0.1 and 0.4 $\mu\text{mol L}^{-1}$) were assessed in the presence of four zinc concentrations (0.5, 1.0, 2.0 and 10.0 $\mu\text{mol L}^{-1}$). The results showed that the rice cultivars IAC 165 and IAC 201 in different Mg, B and Mn concentrations in the solution have distinct behavior in Zn uptake. The increased magnesium rates inhibit the zinc uptake in two cultivars, whereas the boron and manganese rates in the solution increased Zn uptake by excised roots of rice.

Key words: Absorption kinetics, Km, Vmax, *Oriza sativa*.

Introdução

O balanço da composição mineral de qualquer organismo vivo é condição básica para o seu adequado crescimento e desenvolvimento. As interações entre elementos são tão importantes quanto à deficiência e a toxicidade na fisiologia das

plantas. Essas interações podem também se referir à habilidade de um elemento em estimular ou inibir a absorção de outros elementos. Essas reações são muito variáveis, podendo ocorrer dentro das membranas no interior das células e também na superfície das raízes das plantas (KABATA PENDIAS; PENDIAS, 1984).

¹ Parcialmente financiado pela FAPESP

² Embrapa Amazônia Ocidental, Manaus, AM. E-mail: adonis@cpaa.embrapa.br. Bolsista CNPq.

³ ESAL/USP, Piracicaba, SP. E-mail: agarcia@griffin.uga.edu.

⁴ UNESP Dracena, SP, E-mail: reges@dracena.unesp.br

⁵ Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP. E-mail: mala@cena.usp.br. Bolsista CNPq.

* Autor para correspondência.

Hoagland e Broyer (1936) desenvolveram um trabalho clássico para estudo de absorção iônica radicular, estabelecendo técnicas fundamentais para estudos com raízes destacadas. Essa metodologia apresentou vantagem sobre a utilização de plantas inteiras por não apresentarem transporte do nutriente para a parte aérea, ficando o mesmo acumulado nas raízes.

A velocidade máxima de absorção (V_{max}) pode ser definida como sendo a quantidade máxima do elemento absorvida por unidade de massa seca na unidade de tempo. A curva formada entre a variação da concentração do elemento e a velocidade de absorção obedece à equação de Michaelis e Menten (EPSTEIN; 1972; MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997). A variável K_m é definida como a concentração externa do elemento que proporciona a metade máxima de absorção do nutriente.

A cinética de Michaelis e Menten tem larga aplicação no estudo de absorção iônica pelas raízes. A determinação das variáveis cinéticas de absorção iônica requer que o influxo do íon decresça com o aumento da sua concentração na solução externa, cuja curva representa uma hipérbole eqüilátera, numa relação consistente com a hipótese de que a absorção seja medida por um carregador, com comportamento semelhante ao de uma enzima, obedecendo assim, à cinética proposta por esses autores (EPSTEIN, 1966).

O arroz é uma planta pouco exigente quanto às condições de acidez, podendo receber calagem diretamente ou valer-se do efeito residual de uma cultura anterior. Mesmo assim, uma das possíveis quantidades de corretivos da acidez; o magnésio proveniente do calcário dolomítico possui valência, grau de hidratação e raio iônico semelhantes ao zinco (KABATA PENDIAS; PENDIAS, 1984), podendo a absorção desse nutriente ser negativamente afetada (MOREIRA et al., 2003).

Outro elemento presente em grande quantidade, principalmente, em áreas de cerrado é o manganês (LOPES, 1984). Esse elemento apresenta a mesma afinidade que o zinco em se associar com a maioria

dos elementos em vários meios geoquímicos (KABATA PENDIAS, PENDIAS, 1984). Com relação ao boro, Blanco (1970) trabalhando com o cafeeiro, mostrou que esse nutriente diminui a absorção foliar do zinco quando são aplicados simultaneamente, podendo o mesmo fenômeno ocorrer em outras culturas.

Sadana e Takkar (1983) observaram que os íons comportam-se de modo distinto no processo de absorção de zinco por diferentes espécies de plantas. Os mesmos autores, estudando o efeito do magnésio na absorção e translocação de ^{65}Zn em plântulas de arroz, verificaram que o magnésio inibiu não competitivamente a absorção de zinco.

Partindo desses fatos, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito do magnésio, boro e manganês na absorção de zinco por raízes destacadas em duas cultivares de arroz (IAC 165 e IAC 201), em função da concentração externa dos nutrientes, determinando as variáveis V_{max} e K_m da equação de cinética de Michaelis e Menten, e a razão de acumulação média e porcentagem de acréscimo ou redução na absorção de zinco por raízes destacadas de arroz.

Material e Métodos

O trabalho foi conduzido no laboratório e na casa de vegetação do centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA/USP), localizado no município de Piracicaba, Estado de São Paulo.

As sementes de arroz das cultivares IAC 165 e IAC 201 foram germinadas em vermiculita umedecidas com $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} \cdot 10^{-4}$ mol L^{-1} . Uma semana depois da germinação, as plântulas foram transferidas para bandejas com 40 litros de solução de Johnson et al. (1957), diluída a 1/5, omitindo-se após duas semanas, conforme a bandeja, Zn e Mg, Zn e B e Zn e Mn, sendo essas arejadas constantemente e com pH ajustado diariamente para $5,8 \pm 0,2$. Após três semanas, as plantas foram colhidas, e suas raízes cortadas no coleto e colocadas em

frasco tipo “snap cap” com 100 mL de solução com as seguintes combinações dispostos em delineamento experimental em blocos casualizados: quatro doses de Zn [0,5 (0,0325 mg L⁻¹), 1,0 (0,065 mg L⁻¹), 2,0 (0,130 mg L⁻¹) e 10 (0,650 mg L⁻¹) μmol L⁻¹] combinadas com duas de Mg [0,1 (2,4 mg L⁻¹) e 0,4 (9,6 mg L⁻¹) μmol L⁻¹ na forma de MgCl₂·6H₂O], duas de B [0,1 (0,027 mg L⁻¹) e 0,4 (0,108 mg L⁻¹) μmol L⁻¹ na forma de H₃BO₃] e duas de Mn [0,1 (0,011 mg L⁻¹) e 0,4 (0,044 mg L⁻¹) μmol L⁻¹ na forma de MnSO₄·7H₂O], com três repetições. A solução de radiozinco foi obtida diluindo-se 0,5 mCi de ⁶⁵ZnCl₂ livre de carregador em 500 mL com água destilada e desionizada, sendo que 1,0 mL desta solução continha 1,0 μCi.

Com pipetador automático foi colocado 1,0 mL da solução de radiozinco (⁶⁵ZnCL₂) em cada recipiente, e iniciou-se a aeração que durou duas horas. Após esse período, as raízes foram lavadas com água destilada e desionizada, agitando-as nos frascos durante 1,0 minuto, procedimento repetido três vezes (NOGGLE; FRIED, 1960; MOREIRA et al., 2003). Posteriormente, foram postas para secar em estufa com circulação forçada até atingir peso constante, e em seguida pesadas. Fez-se a contagem da atividade do ⁶⁵Zn usando espectrofotômetro gama monocanal acoplado a um cristal cintilador sólido de NaI (STEFANUTTI, 1997).

Os valores das contagens por minuto (cpm) foram convertidos em micromoles por grama de matéria seca por 60 minutos de absorção. Foram determinados os valores de Km e Vmax pela equação de Lineweaver e Burk (1934) a partir da equação de Michaelis e Menten.

$$v = \frac{V_{\max} [M]}{[M] + K_m} \quad (1)$$

sendo:

v = velocidade máxima de absorção;

Vmax = velocidade máxima de absorção;

[M] = concentração iônica externa;

Km = constante de Michaelis e Menten.

Tomando-se a recíproca dos dois membros da equação (1), obtêm-se a transformação de Lineweaver e Burk (1934).

$$\frac{1}{v} = \frac{1}{V_{\max}} + \frac{K_m}{V_{\max}} * \frac{1}{[M]}$$

Fazendo-se a regressão linear, considerando-se $x = \frac{1}{[M]}$ e $y = \frac{1}{v}$, obtêm-se os valores de Vmax e Km:

$$V_{\max} = \frac{1}{a} \text{ e } K_m = \frac{b}{a}$$

Após as transformações dos dados, foram feitas as análises de variância, teste F, teste de comparação de contraste de médias, utilizando o teste de Tukey a 5% de probabilidade (GOMES, 1990).

Resultados e Discussão

Os valores de Vmax e de Km estimados para as cultivares IAC 165 e IAC 201 são mostrados na Tabela 1. Observa-se que os menores valores de Km foram obtidos nos tratamentos com as maiores concentrações de B e Mn, independentemente da cultivar. Tais resultados mostram que a maior presença do boro e do manganês na solução aumenta a eficiência na absorção de Zn.

Os valores de Km e de Vmax estimados e a concentração de zinco na matéria seca das raízes destacadas (Tabela 1 e Figura 1) indicam que cultivares de mesma origem genética, no caso IAC (Instituto Agrônomo de Campinas), podem apresentar diferenças na cinética de absorção com o aumento da concentração externa do elemento. No caso deste estudo, Mg, B, Mn e Zn. Tal inferência, entretanto, necessita de comprovação em experimentos conduzidos em condições de campo, haja vista, que a ação particular de um nutriente sobre o outro nos tecidos vegetais e no solo, geralmente ocorre em uma determinada faixa de concentração, onde diversos fatores podem estar envolvidos neste

complexo nutricional interativo, como por exemplo: espécie vegetal, luminosidade, temperatura, aeração, umidade do solo, etc. (LIMA FILHO, 1991).

Comparando as cultivares IAC 165 e IAC 201, nota-se que no tratamento testemunha (2,4 mg mL⁻¹ de Mg, 0,027 mg mL⁻¹ de B e 0,011 mg mL⁻¹ de Mn), a primeira cultivar apresentou maior valor de Km. Assim, o seu desempenho em menores concentrações

de magnésio, boro e manganês tendeu a ser relativamente maior; observa-se também, que o maior valor de Km não refletiu num menor valor de Vmax (Tabela 1). Estes resultados confirmam os de Stefanutti (1997) e Moreira (1999), mostrando que as variáveis Km e Vmax são independentes no processo de absorção; o maior valor de um não implica necessariamente em menor do outro.

Tabela 1. Velocidade máxima de absorção (Vmax) e constante de Michaelis (Km) estimados para absorção de zinco por raízes destacadas de dois cultivares de arroz na presença de altas concentrações de magnésio, boro e manganês^(1,2).

Tratamentos	IAC 165		IAC 201	
	Vmax (mmol g ⁻¹ 60min ⁻¹)	Km (mmol L ⁻¹)	Vmax (mmol g ⁻¹ 60min ⁻¹)	Km (mmol L ⁻¹)
Testemunha	0,03c	10,89a	0,42b	9,20b
Mg	0,02c	10,92a	1,14a	23,04a
B	0,54b	4,91c	0,18d	5,46d
Mn	0,89a	9,61b	0,31b	7,45c
DMS	0,09	1,12	0,11	1,32

⁽¹⁾ Testemunha (2,4 mg mL⁻¹ de Mg, 0,027 mg mL⁻¹ de B e 0,011 mg mL⁻¹ de Mn); Mg (9,6 mg mL⁻¹ de Mg, 0,027 mg mL⁻¹ de B e 0,011 mg mL⁻¹ de Mn); B (2,4 mg mL⁻¹ de Mg, 0,108 mg mL⁻¹ de B e 0,011 mg mL⁻¹ de Mn); Mn (2,4 mg mL⁻¹ de Mg, 0,027 mg mL⁻¹ de B e 0,044 mg mL⁻¹ de Mn).

⁽²⁾ Médias seguidas por letras distintas na mesma coluna diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

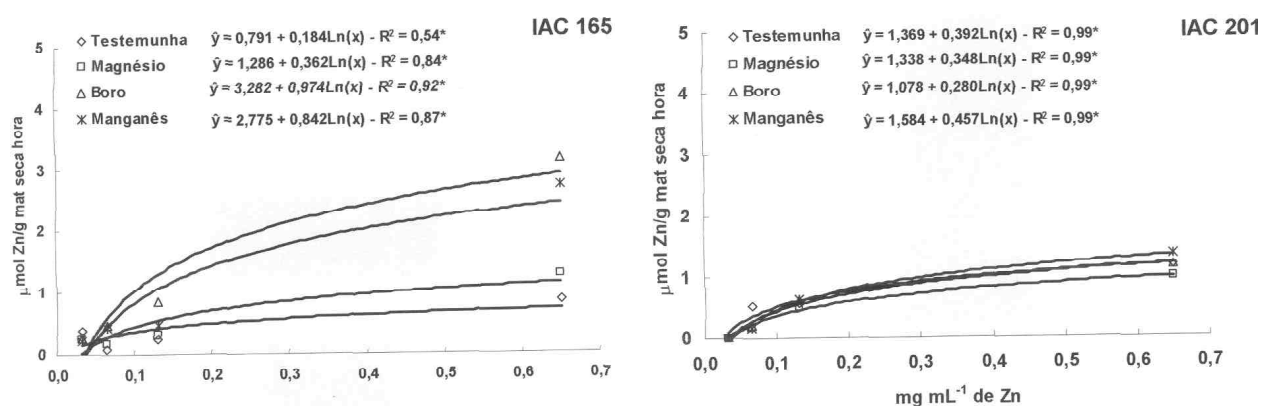


Figura 1. Absorção de zinco por raízes destacadas pelas cultivares de arroz IAC 165 e IAC 201, em função da concentração externa de Zn, Mg, Mn e B – Média de três repetições (* significativo a 1% de probabilidade pelo teste F).

A Tabela 2 mostra o efeito inibitório na absorção de zinco quando aumentou a concentração de magnésio na solução. Tal resultado corrobora os de Sadana e Takkar (1983), que ao estudarem o efeito

do magnésio na absorção e translocação de ⁶⁵Zn em mudas de arroz, observaram redução de cerca de 90% na absorção de zinco pelas raízes, com o aumento da concentração de Mg na solução.

Tabela 2. Razão de acumulação média e porcentagem de acréscimo ou redução na absorção de zinco por raízes destacadas^(1,2).

Doses de Zn ($\mu\text{mol L}^{-1}$)	Doses de Mg, B ou Mn (mmol L^{-1} / $\mu\text{mol L}^{-1}$)	IAC 165			IAC 201			IAC 165			IAC 201		
		Mg	B	Mn	Mg	B	Mn	Mg	B	Mn	Mg	B	Mn
		-- (Razão de acumulação média em $\mu\text{mol Zn mL}^{-1}$) --						----- (% de acréscimo ou redução na absorção de Zn) -----					
0,5	0,1	0,80	0,80	0,80	0,38	0,38	0,38	-	-	-	-	-	-
	0,4	0,56	0,58	0,48	0,34	0,36	0,36	-30,00	-27,50	-40,00	-10,53	-5,26	-5,26
1,0	0,1	0,11	0,11	0,11	0,27	0,27	0,27	-	-	-	-	-	-
	0,4	0,10	0,44	0,40	0,26	0,28	0,29	-9,09	+300,00	+263,64	-3,57	+3,70	+7,41
2,0	0,1	0,14	0,14	0,14	0,19	0,19	0,19	-	-	-	-	-	-
	0,4	0,14	0,39	0,24	0,16	0,32	0,22	-3,57	+178,57	+67,86	-16,22	+72,97	+16,22
10,0	0,1	0,07	0,07	0,07	0,14	0,14	0,14	-	-	-	-	-	-
	0,4	0,07	0,23	0,24	0,11	0,14	0,16	-6,94	+212,50	+234,72	-23,91	+3,62	+16,67

⁽¹⁾ Testemunha (2,4 mg mL⁻¹ de Mg, 0,027 mg mL⁻¹ de B e 0,011 mg mL⁻¹ de Mn); Mg (9,6 mg mL⁻¹ de Mg, 0,027 mg mL⁻¹ de B e 0,011 mg mL⁻¹ de Mn); B (2,4 mg mL⁻¹ de Mg, 0,108 mg mL⁻¹ de B e 0,011 mg mL⁻¹ de Mn); Mn (2,4 mg mL⁻¹ de Mg, 0,027 mg mL⁻¹ de B e 0,044 mg mL⁻¹ de Mn).

⁽²⁾ Doses de Mg em mmol L⁻¹ e doses de B e Mn em $\mu\text{mol L}^{-1}$.

Moreira (1999) e Heinrichs (2002), com a cultura da soja, também verificaram que a absorção de Zn diminuía quando se aumentava a concentração de Mg, em ambos os mecanismos, ou seja, quando a concentração de zinco era baixa ou quando era alta. Com o aumento na concentração de magnésio houve inibição na absorção de Zn, sendo esta absorção do tipo não competitiva.

O boro, apesar de ser atribuído, freqüentemente, o papel de inibidor não competitivo na absorção de zinco (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997), no presente trabalho ocorreu o inverso (Figura 1 e Tabela 2). Haag e Sarruge (1965) relataram, em tecidos radiculares de mudas de cafeeiro, a presença de efeito estimulatório do B na absorção de Zn.

Nas duas cultivares ocorreram incrementos significativos na absorção de zinco a partir de 1,0 mmol L⁻¹ de Zn com o aumento da concentração de Mn (Tabela 2), este resultado contraria uma expectativa inicial, ou seja, que a presença de um nutriente inibiria a absorção do outro (LONERAGAN; WEBB, 1993), como foi demonstrado no trabalho realizado por Brar e Sekhon (1976), em que com o aumento da concentração de manganês, houve decréscimo significativo na absorção de zinco.

As diferenças na absorção e na utilização dos íons pelas cultivares IAC 165 e IAC 201 podem ser atribuídas as variações genotípicas que ocorrem dentro de uma mesma espécie, ou dentro de uma mesma cultivar (GRAHAM; RENGEL, 1993). Segundo Foy, Fleming e Armingner (1969) e Stefanutti (1970), a absorção dos nutrientes é controlada, principalmente, por fatores genéticos e ambientais.

As razões de acumulação média de Zn em função das concentrações de Mg, B e Mn apresentadas na Tabela 2 indicam que a cultivar IAC 165 é mais eficiente na absorção de Zn em altas concentrações de B e Mn na solução do que a IAC 201, o contrário ocorre com o Mg. Tais resultados indicam que as duas cultivares, mesmo tendo a mesma base genética, apresentam números diferentes de carregadores específicos para os nutrientes Mg, B, Mn e Zn operando nas raízes, o que afeta significativamente a absorção desses nutrientes. Segundo Sacramento et al. (1999), pode-se considera mais eficiente a cultivar que tem maior capacidade em acumular zinco em seus tecidos radiculares, a partir da concentração externa dos nutrientes na solução.

Conclusões

1. As cultivares de arroz IAC 165 e IAC 201, em diferentes concentrações de Mg, B e Mn na solução, apresentam comportamentos distintos na absorção de Zn.
2. O magnésio inibe a absorção de zinco, independentemente da cultivar avaliada.
3. Nas duas cultivares estudadas, o aumento da concentração de B e Mn na solução induz maior absorção de Zn pelas raízes de arroz.

Referências

- BLANCO, H. G. *Estudos sobre a absorção de zinco pela folha de cafeeiro*. 1970. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- BRAR, M. S.; SEKHON, G. S. Effect on manganese on zinc-65 absorption by rice seedling and its translocation within the plants. *Plant and Soil*, Dordrecht, v.44, p.459-462, 1976.
- EPSTEIN, E. Dual pattern of ion absorption by plant cells by plants. *Nature*, New York, v.212, p.1324-1327, 1976.
- EPSTEIN, E. *Mineral nutrition of plants: principles and perspectives*. New York: John Wiley and Sons, 1972.
- FOY, C. D.; FLEMING, A. L.; ARMINGER, W. H. Differential tolerance of cotton varieties to excess manganese. *Agronomy Journal*, Madison, v.61, n.2, p.690-694, 1969.
- GOMES, F. P. *Curso de estatística experimental*. Piracicaba: Nobel, 1990. 468p.
- GRAHAM, R.; RENGEL, Z. Genotypic variation in zinc uptake and utilization by plants. In: ROBSON, A.D. (ed.). *Zinc and soil and plants*. Dordrecht: Kuwer Academic Publishers, 1993. p.107-118.
- HAAG, H. P.; SARRUGE, J. R. Absorção de zinco por raízes destacadas de cafeeiro (*Coffea arabica* L. var. Mundo Novo). *Estudos Agronômicos*, Piracicaba, v.6, n.4, p.133-139, 1965.
- HEINRICHS, R. *Efeito do magnésio na absorção e distribuição de manganês e zinco na soja (Glycine Max (L.) Merrill) cultivada em solos de cerrado*. 2002. Tese (Doutorado) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- HOAGLAND, D. R.; BROYEW, T. C. General nature of the process of salt accumulation by roots with description of experimental methods. *Plant Physiology*, Rockville, v.11, p.471-507, 1936.
- JOHNSON, C. M.; STOUT, P. R.; BROYER, T. C.; CARLTON, A. B. Comparative chlorine requirements of different plant species. *Plant and Soil*, Dordrecht, v.8, n.1, p.337-353, 1957.
- KABATA PENDIAS, A.; PENDIAS, H. *Trace elements in soils and plants*. Boca Raton: CRC Press, 1984. 315p.
- LIMA FILHO, O. F. *Calibração de boro e zinco para o cafeeiro (Coffea arabica L. cv. Catuai Amarelo)*. 1991. Dissertação (Mestrado) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- LINWEAVER, H.; BURK, D. The determination of enzyme dissociation constants. *Journal of the American Chemical Society*, Washington, v.56, n.1, p.658-666, 1934.
- LONERAGAN, J. K.; WEBB, M. J. Interaction between zinc and other nutrients affecting the growth of plants. In: ROBSON, A. D. (Ed.). *Zinc and soils and plants*. Dordrecht: Kuwer Academic Publishers, 1993. p.119-134.
- LOPES, A. S. *Solo sob "cerrado": características, propriedades e manejo*. Piracicaba: Potafós, 1984.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. *Avaliação do estado nutricional de plantas: princípios e aplicações*. Piracicaba: Potafós, 1997.
- MOREIRA, A. *Influência do magnésio na absorção e transporte do manganês e do zinco na soja*. 1999. Tese (Doutorado) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- MOREIRA, A.; MALAVOLTA, E.; HEINRICHS, R.; TANAKA, R. T. Influência do magnésio na absorção de manganês e zinco por raízes destacadas de soja. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Rio de Janeiro, v.38, p.95-101, 2003.
- NOGGLE, J. C.; FRIED, M. A. Kinetic analysis of phosphate absorption by excised roots of millet, barley and alfalfa. *Soil Science Society of America Proceeding*, Madison, v.24, n.1, p.33-35, 1960.
- SACRAMENTO, L. V. S.; MARTINEZ, H. E. P.; MONERAT, P. H.; OLIVEIRA, L. M. Absorção de magnésio por raízes destacadas de cultivares de tomateiro. *Scientia Agrícola*, Piracicaba, v.56, n.3, p.509-515, 1999.
- SADANA, U. S.; TAKKAR, P. N. Effect of calcium and magnesium on ⁶⁵Zinc absorption and translocation in rice seedling. *Journal of Plant Nutrition*, New York, v.6, n.8, p.705-715, 1983.
- STEFANUTTI, R. *Eficiência de absorção e utilização de fósforo e zinco por variedade arroz*. 1997. Tese (Doutorado) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1997.