

CINÉTICA E TRANSLOCAÇÃO DE FÓSFORO EM HÍBRIDOS DE MILHO¹

VERA MARIA CARVALHO ALVES², ROBERTO FERREIRA DE NOVAIS³, MARCOS FLÁVIO GODOY DE OLIVEIRA⁴ e RENATO SANT'ANNA⁵

RESUMO - O objetivo deste trabalho foi estudar a absorção e translocação do fósforo em híbridos de milho (*Zea mays*, L.) submetidos a duas doses de P. Plantas de três híbridos de milho, crescidas em solução nutritiva com duas doses de P (0,02 mM e 0,10 mM), foram submetidas a ensaios de exaustão e translocação de P, em câmara de crescimento. Foram determinados os parâmetros cinéticos de absorção de P ($V_{m\acute{a}x}$, K_m e $C_{m\acute{i}n}$), o peso e o conteúdo de P do exsudato xilemático, e a porcentagem de P translocado da raiz para a parte aérea. A redução da dose de P na solução nutritiva aumentou a taxa de influxo líquido de P (IL). Este aumento em IL foi devido ao aumento em $V_{m\acute{a}x}$, visto que o K_m e o $C_{m\acute{i}n}$ não foram afetados pela nutrição fosfatada. O estresse de P diminuiu o peso do exsudato xilemático e o conteúdo e porcentagem de P translocado, em todos os híbridos estudados. O híbrido BR 201 apresentou maiores valores de $V_{m\acute{a}x}$, IL e conteúdo de P no exsudato xilemático, em relação aos outros híbridos.

Termos para indexação: *Zea mays*, mecanismos de eficiência nutricional, absorção de P.

KINETICS AND TRANSLOCATION OF PHOSPHORUS IN MAIZE HYBRIDS

ABSTRACT - The objective of this work was to study the P absorption and P translocation in maize (*Zea mays*, L.) hybrids, grown at two P levels. Plants of three maize hybrids grown in nutrient solution with 0.02 mM and 0.10 mM of P were submitted to a P depletion experiment and to a P translocation experiment. The kinetic parameters (I_{max} , K_m and C_{min}), the weight and the P content of xylem exudate, and the P translocation from roots to shoots were evaluated. The reduced P level in nutrient solution increased I_{max} but without changes in K_m e C_{min} . Phosphate starvation decreased the weight and the P content of xylem exudate and the P translocation from the roots to the shoots in all hybrids. The hybrid BR 201 showed higher net influx rate, I_{max} and P content in xylem exudate at low P level when compared with the other hybrids.

Index terms: *Zea mays*, nutritional efficiency mechanisms, phosphorus absorption.

¹ Aceito para publicação em 24 de outubro de 1997.

² Eng^a. Agr^a, Dr^a, Embrapa-Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo (CNPMS), Caixa postal 151, CEP 35701-970 Sete Lagoas, MG. E-mail: vera@cnpmis.embrapa.br

³ Eng. Agr., Ph.D., Prof. Titular, Dep. de Solos, Universidade Federal de Viçosa (UFV), CEP 36570-000 Viçosa, MG. Bolsista do CNPq.

⁴ Eng. Agr., Aluno do curso de Mestrado, Dep. de Fitotecnia, UFV. Bolsista do CNPq.

⁵ Eng. Agr., Ph.D., Prof. Titular, Dep. de Biofísica, UFV.

INTRODUÇÃO

A deficiência de P é apontada como um dos principais fatores que limitam a produção das culturas em solos sob vegetação de cerrado. Assim, tem-se intensificado a busca de genótipos eficientes em absorver e utilizar P, procurando-se integrar, dentro de certos limites, o solo à planta e esta ao solo. Poucos avanços têm sido obtidos na identificação dos mecanismos envolvidos na eficiência para P, os quais têm sido associados com a absorção deste elemento no meio, movimento através das raízes e sua liberação no xilema, alocação interna e utilização no metabolismo e crescimento (Gerloff & Gabelman, 1983).

No sistema solo, a absorção de P pelas raízes é o resultado de interações entre características morfológicas e fisiológicas das raízes, da rizosfera imediatamente adjacente ao sistema radicular e de características de solo que determinam o fluxo de nutrientes para a interface solo-raiz (Gerloff & Gabelman, 1983). A primeira resposta ao estresse nutricional de P parece ser a modulação da cinética de absorção, a qual ocorreria antes de mudanças na taxa de crescimento serem detectadas. A segunda seria a inibição do crescimento e aumento relativo do sistema radicular, o que, segundo Clarkson (1985), freqüentemente é acompanhado por diminuição de $V_{m\acute{a}x}$.

Trabalhando com sete espécies, Föhse et al. (1988) verificaram que a eficiência das plantas para P estava relacionada com a eficiência de absorção deste elemento, a qual foi determinada pela razão raiz/parte aérea e pela taxa de absorção de P por unidade de massa de raiz (influxo). Espécies com baixa eficiência, como cebola, tomate e feijão, apresentaram baixas taxas de influxo e baixa razão raiz/parte aérea, ao passo que espécies com eficiência de média a alta apresentam alta taxa de influxo (colza e espinafre) e alta razão raiz/parte aérea (trigo e centeio falso) (Föhse et al., 1988).

Caradus (1980), trabalhando com dez espécies de gramíneas e onze leguminosas, verificou que o grupo das gramíneas foi mais tolerante a baixos níveis de P que o das leguminosas. Segundo esse autor, a maior eficiência das gramíneas poderia ser explicada por diferenças na morfologia do sistema radicular, na absorção de P por unidade de raiz e no acúmulo de P no sistema radicular.

Em tomateiro, há evidências de que a taxa de absorção de P por unidade de peso ou comprimento de raiz é o principal fator a influenciar na capacidade de adquirir P, e de que diferenças na eficiência interna de uso também contribuem para a tolerância diferencial entre genótipos a baixos níveis de P (Coltman et al., 1985).

O objetivo deste trabalho foi estudar a absorção e a translocação de P em híbridos de milho, submetidos a duas doses de P em solução nutritiva.

MATERIAL E MÉTODOS

Cinética de absorção de P

Sementes de três híbridos de milho (H1: híbrido duplo BR 201, com boa adaptação a solos ácidos; H2: híbrido duplo comercial; e H3: híbrido simples comercial precoce) foram germinadas em rolos de papel-toalha, colocados em vasos contendo água deionizada, continuamente arejada, em casa de vegetação. Após a emergência, o endosperma das sementes foi retirado, e as plântulas, selecionadas quanto à uniformidade e transplantadas para recipientes de plástico contendo 13,5 litros de solução nutritiva de Steinberg, pH 5,5, modificada por Foy et al. (1967). O P foi adicionado na forma de NaH_2PO_4 nas doses de 0,02 mM e 0,10 mM. Cada híbrido foi colocado em recipiente individual contendo 24 plantas. A solução foi trocada a cada dois dias e a aeração mantida constante.

Decorridos quinze dias, as plantas foram transferidas, em número de duas, para vasos de 1,5 litro de solução, e levadas para câmara de crescimento. O P foi excluído da solução 48 horas antes do início da cinética, visando aumentar a capacidade das plantas de absorver este elemento (Jungk, 1975). Após esse período, as plantas foram colocadas, durante duas horas, em solução contendo 15 μM de P e 50 μM de Ca, para que o sistema atingisse as condições de estado estacionário da absorção, requeridas para a aplicação do modelo cinético (Epstein & Hagen, 1952).

As plantas foram, então, transferidas para a solução de absorção, idêntica à anterior, à qual se adicionou ^{32}P na forma de $\text{NaH}_2^{32}\text{PO}_4$, livre de carregador. A seguir, foram retiradas alíquotas de 1 mL da solução de cada vaso, em intervalos de 30 minutos, até que o P da solução atingisse concentração constante. Cada conjunto vaso-planta foi pesado no início e no final da exaustão.

A cinética de absorção teve início quatro horas após o término do período escuro de doze horas, e foi realizada em câmara de crescimento, à temperatura de $25^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$, luminosidade das folhas superiores de $3,5 \cdot 10^5 \text{ erg cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$, e umidade relativa de 50%.

As alíquotas foram levadas a um espectrofotômetro beta de cintilação líquida, para determinação da atividade do ^{32}P pelo efeito Cerenkov (Nascimento Filho & Lobão, 1977). As raízes das plantas foram secadas com papel absorvente, determinando-se o peso de matéria fresca.

Com base nos dados obtidos, os parâmetros cinéticos K_m e $V_{m\acute{a}x}$ foram calculados conforme procedimento proposto por Claassen & Barber (1974), utilizando-se o processo gráfico matemático descrito por Ruiz (1985). O $C_{m\acute{i}n}$ foi estimado pela média dos valores da concentração de P na solução de exaustão, a partir do ponto onde estes apresentaram tendência de permanecer constantes. Pela conjugação dos valores de $V_{m\acute{a}x}$ e K_m e inclusão do $C_{m\acute{i}n}$ na equação de Nielsen & Barber (1978), $IL = V_{m\acute{a}x} (C - C_{m\acute{i}n}) / K_m + (C - C_{m\acute{i}n})$, calculou-se o influxo radicular líquido (IL) para a concentração externa de P de 15 μM .

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância mediante fatorial 2x3 (duas doses de P e três híbridos), em casualização completa, com três repetições, e as médias, comparadas pelo teste de Tukey.

Translocação de P

Após procedimento semelhante ao adotado para o estudo da cinética de absorção de P, as plantas foram transferidas para solução contendo 15 μM de P ($\text{NaH}_2^{32}\text{PO}_4$) e 50 μM de Ca, por um período de duas horas. Transcorrido esse tempo, as plantas foram seccionadas 1 cm acima do coleto e o exsudato do xilema recolhido por 30 minutos, com seringas hipodérmicas. Obteve-se o peso do exsudado xilemático produzido por cada conjunto vaso-planta, pesando-se os frascos de cintilação antes e após a coleta do mesmo. A concentração de P no exsudato e o peso de matéria fresca da raiz foram

determinados conforme métodos acima descritos. O experimento teve início quatro horas após o término do período escuro, em condições semelhantes às do estudo de cinética.

Com os dados obtidos, foi calculado o conteúdo de P no exsudato xilemático. O influxo líquido total por conjunto vaso-planta (IPT) foi calculado em $\mu\text{g}\cdot 30\text{ min}^{-1}$, multiplicando-se o influxo radicular líquido (IL) obtido no experimento de cinética pelo peso fresco de raiz. Com esses dados, calculou-se a porcentagem de P efetivamente translocado das raízes para a parte aérea, em 30 minutos.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância mediante fatorial 2x3 (duas doses de P e três híbridos), em casualização completa, com três repetições, sendo as médias comparadas pelo teste de Tukey.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O estresse causado pela redução da dose de P na solução nutritiva aumentou a velocidade máxima de absorção de P ($V_{\text{máx}}$) nos híbridos H1 (33%) e H3 (45%) (Tabela 1). No H2, o aumento não foi significativo. Comportamento semelhante foi verificado para a taxa de influxo líquido de P (IL) (Tabela 1). O Km, que mede a afinidade entre o íon fosfato e o seu carregador, e o $C_{\text{mín}}$ (concentração em que o influxo é igual ao efluxo), não foram afetados pela dose de P na solução nutritiva (Tabela 1). Assim, o aumento na taxa de influxo líquido com a redução da dose de P na solução nutritiva foi devido ao aumento de $V_{\text{máx}}$ e não a mudanças no Km e $C_{\text{mín}}$. Esses resultados são semelhantes aos obtidos por outros autores em trabalhos com milho (Anghinoni & Barber, 1980), cevada (Drew et al., 1984) e soja (Martinez et al., 1993).

TABELA 1. Velocidade máxima de absorção de P ($V_{\text{máx}}$), constante de Michaelis (Km), concentração mínima estimada para a absorção de P ($C_{\text{mín}}$) e taxa de influxo líquido de P (IL), de três híbridos de milho, submetidos a duas doses de P. Médias de três repetições¹.

| P | H1 | H2 | H3 |
|--|---------|---------|---------|
| ----- $V_{\text{máx}}$ ($\mu\text{mol g}^{-1}\text{ h}^{-1}$)----- | | | |
| 0,02 | 0,539Aa | 0,457Ab | 0,413Ab |
| 0,10 | 0,406Ba | 0,407Aa | 0,285Bb |
| ----- Km (μmol) ----- | | | |
| 0,02 | 2,810Aa | 2,753Aa | 2,897Aa |
| 0,10 | 2,787Aa | 3,057Aa | 3,157Aa |
| ----- $C_{\text{mín}}$ ($\mu\text{mol L}^{-1}$)----- | | | |
| 0,02 | 0,16Aa | 0,12Aa | 0,18Aa |
| 0,10 | 0,19Aa | 0,16Aa | 0,20Aa |
| ----- IL ($\mu\text{mol g}^{-1}\text{ h}^{-1}$)----- | | | |
| 0,02 | 0,453Aa | 0,386Ab | 0,345Ab |
| 0,10 | 0,342Ba | 0,337Aa | 0,235Bb |

¹ Médias na mesma linha ou coluna, seguidas pelas mesmas letras minúsculas ou maiúsculas, respectivamente, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

A taxa de absorção de P por raízes de plantas submetidas a estresse de P aumenta em relação às plantas-controle (Lee, 1982; Läuchli, 1987; Martinez et al., 1993). Segundo Drew & Saker (1984), tal fato pode ser causado por algum tipo de efeito retroalimentador do status de P da planta na atividade da proteína carregadora ou por um aumento na quantidade desta em resposta ao estresse de P. Entretanto, a distinção da contribuição desses dois fatores não é simples, pois eles não são mutuamente exclusivos e podem estar envolvidas mudanças morfológicas nas raízes.

As plantas têm a capacidade de manter as concentrações de P nos tecidos dentro de certos limites, em face das variações no suprimento externo (Glass & Siddqi, 1984). Isso, provavelmente, seria conseguido por alterações do fluxo líquido de íons para o citoplasma e vacúolo, governado por transportadores no plasmalema e no tonoplasto (Glass & Siddqi, 1984). O sinal para esse ajuste seria dado, preferencialmente, por retroalimentação negativa da concentração do citoplasma, ou, alternativamente, pela concentração do

vacúolo (Glass & Siddqi, 1984). Além dos ajustes na atividade dos carregadores, Clarkson (1985) cita que esta homeostase também é influenciada por ajuste na taxa e modelo de crescimento. Mudanças nos valores de K_m e $V_{máx}$ representariam a primeira modulação das plantas em resposta à redução do suprimento de nutrientes e, geralmente, ocorreriam antes de a taxa de crescimento ser afetada (Lee, 1982).

Os valores de $V_{máx}$ e da taxa de influxo líquido variaram entre os híbridos dentro da mesma dose de P (Tabela 1). Na dose de 0,02 mM de P, o H1 foi o híbrido que apresentou maiores valores de $V_{máx}$ e de IL. Na dose de 0,1 mM de P, o H3 apresentou os menores valores.

Pesquisas recentes têm demonstrado que a difusão de P em solos mais intemperizados parece ser praticamente interrompida em condições de umidade ainda elevadas em termos de disponibilidade para as plantas (Novais et al., 1990). Assim, nessas áreas, o transporte de P até as raízes e sua absorção pela planta parece ser bastante descontínuo, intimamente ligado à alternância entre períodos secos e chuvosos. Uma rápida absorção de P, quando em condições favoráveis de umidade, após o término de períodos secos (veranicos), é relevante para a recuperação das plantas, pois possibilita menores perdas de produtividade. É possível que a maior $V_{máx}$ do H1 (BR 201), em baixas doses de P, seja um dos componentes da adaptação deste híbrido a solos de cerrado.

A absorção e acumulação de P pelas células corticais das raízes é seguida pela transferência do elemento para o xilema. O movimento do P através das células corticais das raízes, até o xilema, ocorre através do simplasto. O carregamento do xilema envolve algum tipo de bomba, cujas características não são as mesmas da bomba envolvida na acumulação de íons nas células corticais, visto que ela não necessita funcionar contra um gradiente de concentração (Clarkson, 1985).

Houve redução de 50% a 62% do peso do exsudato xilemático por grama de raiz, nos três híbridos de milho, com a diminuição da dose de P na solução nutritiva (Tabela 2). Na dose de 0,02 mM de P, os híbridos H1 e H3 apresentaram maior peso de exsudato por grama de raiz, e na dose de 0,1 mM de P o H1 apresentou maior valor.

TABELA 2. Peso do exsudato, conteúdo de P no exsudato, taxa de influxo líquido total e percentagem do P translocado, de três híbridos de milho submetidos a duas doses de P. Médias de três repetições¹.

| P | H1 | H2 | H3 |
|-------------------------|---|---------|---------|
| (mmol L ⁻¹) | ----- Peso do exsudato (mg g ⁻¹ raiz) ----- | | |
| 0,02 | 19,10Ba | 13,32Bb | 18,68Ba |
| 0,10 | 47,27Aa | 35,40Ab | 37,88Ab |
| | Conteúdo de P do exsudato (µg planta ⁻¹ 30 min ⁻¹) | | |
| 0,02 | 7,71Ba | 5,51Bb | 6,25Bab |
| 0,10 | 10,97Aa | 8,82Ab | 9,83Aab |
| | --- Influxo líquido total (µg planta ⁻¹ 30 min ⁻¹) --- | | |
| 0,02 | 37,05Aa | 28,23Ab | 25,54Ab |
| 0,10 | 25,93Ba | 26,07Aa | 19,98Bb |
| | ----- P translocado (%) ----- | | |
| 0,02 | 20,81Ba | 19,53Ba | 24,47Ba |
| 0,10 | 42,33Ab | 33,85Ac | 49,20Aa |

¹ Médias na mesma linha ou coluna, seguidas pelas mesmas letras minúsculas ou maiúsculas, respectivamente, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Níveis subótimos de P reduziram a condutividade hidráulica em plantas de algodão (Skinner & Radin, 1994). Segundo esses autores, diferenças na condutividade hidráulica precederam os efeitos de redução na área foliar, os quais apareceram somente após cinco dias da indução da deficiência de P. A redução na condutividade hidráulica limitou a expansão da área foliar por restringir o transporte de água, mas não foi possível esclarecer como a deficiência de P reduziu a condutividade hidráulica em algodão.

Observa-se, pelo conteúdo de P no exsudato, que a menor dose de P reduziu a quantidade translocada deste elemento, da raiz para a parte aérea, de 30% a 38%, apesar do aumento verificado em $V_{máx}$ (Tabela 2). Em ambas as doses de P, o H1 foi o híbrido que apresentou maior conteúdo de P no exsudato xilemático.

Apesar do menor conteúdo de P no exsudato, o influxo líquido total de P (ILT) foi maior na dose de 0,02 mM de P; o H1 apresentou maior valor de ILT nestas condições (Tabela 2). Entretanto, verificou-se que a porcentagem de P absorvida, que é efetivamente translocada, foi reduzida de 42% a 51% em todos os materiais, com a diminuição da dose de P na solução nutritiva.

Esses resultados concordam com os relatados na literatura, os quais mostram que em plantas deficientes em P, as raízes retêm mais P e translocam menos que as plantas controle (Schjorring & Jensén, 1987; Alves, 1994). Em virtude da retenção de P nas raízes, o crescimento do sistema radicular é mantido às expensas do crescimento da parte aérea, levando à redução da razão parte aérea/raiz, característica da deficiência de P (Clarkson, 1985).

CONCLUSÕES

1. A menor dose de P na solução nutritiva aumenta a taxa de influxo líquido de P, por causa do maior $V_{máx}$, visto que o K_m e o $C_{mín}$ não são afetados pela nutrição fosfatada.
2. O estresse de P diminui o peso e o conteúdo de P no exsudato xilemático e a porcentagem de P translocado da raiz para a parte aérea.
3. O híbrido BR 201 apresenta maiores valores de $V_{máx}$, taxa de influxo líquido de P e conteúdo de P no exsudato xilemático na dose mais baixa de P, em relação aos outros híbridos.

REFERÊNCIAS

- ALVES, V.M.C. **Frações de fósforo, de açúcares solúveis totais e de nitrogênio em quatro híbridos de milho submetidos à omissão e ao ressuprimento de fósforo**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1994. 106p. Tese de Doutorado.
- ANGHINONI, I.; BARBER, S.A. Phosphorus influx and growth characteristics of corn roots as influenced by phosphorus supply. **Agronomy Journal**, Madison, v.72, p.685-688, 1980.
- CARADUS, J.R. Distinguishing between grass and legume species for efficiency of phosphorus use. **New Zealand Journal of Agricultural Research**, v.23, p.75-81, 1980.
- CLAASSEN, N.; BARBER, S.A. A method for characterizing the relation between nutrient concentration and flux into roots of intact plants. **Plant Physiology**, Rockville, v.54, p.564-568, 1974.
- CLARKSON, D.T. Factors affecting mineral nutrient acquisition by plants. **Annual Review of Plant Physiology**, Palo Alto, v.36, p.77-115, 1985.
- COLTMAN, R.R.; GERLOFF, G.C.; GABELMAN, W.H. Differential tolerance of tomato strains to maintained at deficient levels of phosphorus. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Ames, v.110, p.140-144, 1985.
- DREW, M.C.; SAKER, L.R. Uptake and long-distance transport of phosphate, potassium and chloride in relation to internal ion concentrations in barley: evidency of nonallosteric regulation. **Planta**, Berlin, v.160, p.500-507, 1984.
- DREW, M.C.; SAKER, L.R.; BARBER, S.A.; JENKINS, W. Changes in the kinetic of phosphate and potassium absorption in nutrient-deficient barley roots measured by a solution-depletion technique. **Planta**, Berlin, v.160, p.490-499, 1984.
- EPSTEIN, E.; HAGEN, C.E. A kinetic study of the absorption of alkali cations by barley roots. **Plant Physiology**, Palo Alto, v.27, p.457-474, 1952.
- FÖHSE, D.; CLAASSEN, N.; JUNGK, A. Phosphorus efficiency of plants. I. External and internal P requirement and P uptake efficiency of different plant species. **Plant and Soil**, The Hague, v.110, p.101-109, 1988.
- FOY, C.D.; FLEMING, A.L.; BURNS, G.P.; ARMINGER, W.H. Characterization of differential aluminium tolerance among varieties of wheat and barley. **Soil Science Society of America. Proceedings**, Madison, v.31, p.513-521, 1967.
- GERLOFF, G.C.; GABELMAN, W.H. Genetic basis of inorganic plant nutrition. In: LAÜCHLI, A.; BIELESKI, R.L. (Eds.). **Inorganic plant nutrition**. New York: Springer-Verlag, 1983. p.453-480.

- GLASS, A.D.M.; SIDDIQI, M.Y. The control of uptake rates in relation to the inorganic composition of plants. In: TINKER, P.B.; LAÜCHLI, A. (Eds.). **Advances in Plant Nutrition**. New York: Praeger Pub, 1984. v.1, p.103-147.
- JUNGK, A. Phosphate uptake characteristics of intact root systems in nutrient solution as affected by plants species age and P supply. In: COLLOQUIUM IN PLANT ANALYSIS AND FERTILITY PROBLEMS, 7., **Proceedings...** Hannover, West Germany: [s.n.], 1975. p.185-196.
- LÄUCHLI, A. Soil science in the next twenty five years: does a biotechnology play a role? **Soil Science Society of America. Journal**, Madison, v.51, p.1405-1409, 1987.
- LEE, R.B. Selectivity and kinetics of ion uptake by barley plant following nutrient deficiency. **Annual Botany**, London, v.50, p.429-449, 1982.
- MARTINEZ, H.E.P.; NOVAIS, R.F.; RODRIGUES, L.A.; SACRAMENTO, L.V.S. Comportamento de variedades de soja cultivadas em diferentes doses de fósforo: I. Cinética de absorção de fósforo e ajustes morfológicos da planta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.17, p.231-238, 1993.
- NASCIMENTO FILHO, V.F.; LOBÃO, A.O. **Deteção de ³²P em amostras de origem animal e vegetal por efeito Cerenkov, cintilação líquida e detector GM**. Piracicaba: CENA, 1977. (Boletim Científico, BC-048)
- NIELSEN, N.E.; BARBER, S.A. Differences among genotypes of corn in the kinetics of P uptake. **Agronomy Journal**, Madison, v.70, p.695-698, 1978.
- NOVAIS, R.F.; FERREIRA, R.P.; NEVES, J.C.L.; BARROS, N.F. **Aspectos físico-químicos envolvidos na fixação de fósforo no solo**. In: ENCONTRO NACIONAL DA ROCHA FOSFÁTICA, 5., 1990, Piracicaba. **Anais ...** Piracicaba: Potafos, 1990. p.133-164.
- RUIZ, H.A. Estimativa dos parâmetros cinéticos, Km e Vmax por uma aproximação gráfico-matemática. **Revista Ceres**, Viçosa, v.32, p.79-84, 1985.
- SCHJORRING, J.K.; JENSÉN, P. Phosphorus export from roots to shoots of barley, buckwheat and rape seedlings with different P status. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v.70, p.58-64, 1987.
- SKINNER, R.H.; RADIN, J.W. The effect of phosphorus nutrition on water flow throughout the apoplastic by-pass in cotton roots. **Journal of Experimental Botany**, v.45, p.423-428, 1994.