

## Extração de K<sup>+</sup> e Na<sup>+</sup> por cápsulas de cerâmica porosa

Antonio Carlos Saraiva da Costa\*, Alice Aiko Suzuki, Paulo Leonel Libardi, José Carlos Pintro, Cássio Antonio Tormena, Ivan Granemann de Souza Junior e Erico Sengik

Departamento de Agronomia, Universidade Estadual de Maringá, Av. Colombo, 5790, 87020-900, Maringá-Paraná, Brazil.

\*Author for correspondence. e-mail: acscosta@uem.br

**RESUMO.** Para avaliar a eficiência de extração de soluções contendo quantidades conhecidas de potássio e sódio, utilizaram-se extratores com cápsulas de cerâmica porosa. Foram testadas soluções crescentes, decrescentes e aleatórias desses cátions e analisadas as suas concentrações dentro e fora do extrator. Testes com três tipos de cápsula de cerâmica porosa mostraram que estas reagiram diferentemente em relação às soluções de K<sup>+</sup> e Na<sup>+</sup>. Um deles apresentou alta capacidade de adsorção de cátions, não devendo, portanto, ser recomendado para estudos de dinâmica desses íons. Não houve diferenças de comportamento entre os íons K<sup>+</sup> e Na<sup>+</sup>. A extração da solução do solo, utilizando extratores de cápsulas de cerâmica porosa, necessita de prévia avaliação desses equipamentos, em condições controladas, para que seja possível determinar a exatidão e a precisão dos resultados obtidos.

**Palavras-chave:** potássio, sódio, extratores, cápsulas porosas, adsorção.

**ABSTRACT. Extraction of K<sup>+</sup> and Na<sup>+</sup> by porous ceramic cups.** To evaluate the efficiency of extraction of solutions containing known amounts of potassium and sodium, porous ceramic cups were used as samplers. Solutions with increasing, decreasing and random amounts of K<sup>+</sup> and Na<sup>+</sup> were tested and the concentration of both cations inside and outside the samplers were analyzed. Three types of porous ceramic cups were tested and the results indicated that they reacted differently in relation to the K<sup>+</sup> and Na<sup>+</sup> solutions. One of them presented high adsorption capacity for the cations, therefore, not being recommended for dynamic studies of these ions. There were no differences in the behavior of the K<sup>+</sup> and Na<sup>+</sup> cations. The extraction of the soil solution, using porous ceramic cup samplers, needs previous evaluation under controlled conditions to determine the exactness and precision of the results.

**Key words:** potassium, sodium, extractor, ceramic cups, adsorption.

A dinâmica dos íons em sistemas aquático e terrestre é de fundamental importância a) na avaliação do potencial poluidor de efluentes agroindustriais (Beckwith *et al.*, 1999), dejetos domiciliares e adubos minerais (Lord e Mitchell, 1998), agrotóxicos (Perriganier *et al.*, 1993); b) na avaliação de processos pedogenéticos no perfil do solo (Berggren, 1999; Djurhuus e Jacobsen, 1995), e c) na avaliação do estado nutricional das plantas (Marques *et al.*, 1996).

A utilização de amostras de solo é a maneira mais tradicional para avaliar a natureza e a quantidade dos elementos químicos presentes na solução presente no solo (Poss *et al.*, 1995). Uma amostra de solo, coletada na camada desejada, é seca e peneirada. A extração dos elementos para

análise é feita através da utilização destes por soluções químicas ou através de um extrato de pasta saturada, em que a solução é extraída a vácuo. Esse tipo de análise de solo é, portanto, um método destrutivo. Nesse método, os nutrientes são medidos indiretamente através da extração com extratores químicos ou é necessária uma grande quantidade de amostra para se conseguir uma quantidade suficiente de solução para análise.

Métodos diretos de avaliação da solução no solo necessitam que a solução seja extraída sem alteração na sua composição química. Neste sentido, têm-se utilizados a compactação da amostra do solo (Appelo, 1977), o papel de filtro (Hincley e Patterson, 1973) e a extração com a câmara de pressão de Richards (Fried e Broeshart,

1967). Os métodos de extração da solução do solo *in situ* incluem a utilização de cápsulas de cerâmica porosa (Berggren, 1999; Marques *et al.*, 1996; Williams e Lord, 1997), de teflon (Tischner *et al.*, 1998; Beier e Hansen, 1992; Beier *et al.*, 1992; Maitre *et al.*, 1991), de poliacrílico (Wenzel *et al.*, 1997), de fibras polisulfônicas (Jones e Edwards, 1993) e de aço inox (Stone e Hobl, 1996).

A maioria dos trabalhos publicados, utilizando sistemas de extração por cápsulas porosas, extraem a solução sob vácuo, mas, em solos saturados, a extração pode ser feita sob tensão zero (Marques *et al.*, 1996; Beier e Hansen, 1992). A solução extraída é clara, limpa e pode ser analisada imediatamente (Reichardt *et al.*, 1977; Meirelles *et al.*, 1980). A utilização dessa metodologia apresenta grande número de vantagens, como baixo custo, facilidade de uso (Chendoraim e Ghodriti, 1999), facilidade de instalação, medida rápida (Vigouroux, 1997), técnica não destrutiva, possibilidade de grande número de extrações no mesmo local (Maitre *et al.*, 1991) e de determinação da solução por longos períodos de tempo (Berggren, 1999; Marques *et al.*, 1996).

O extrato obtido tem sido utilizado para determinação de inúmeros íons, inorgânicos e orgânicos. Cátions, como  $\text{Al}^{3+}$  (Jones e Edwards, 1993),  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{H}^+$  (Marques *et al.*, 1996; Beier *et al.*, 1992; Beier e Hansen, 1992), ânions, como  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{Br}^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{F}^-$  (Chendorain e Ghodrati, 1999; Beckwith *et al.*, 1998; Riga e Charpentier, 1998; Tischner *et al.*, 1998; Lord e Mitchel, 1998; William e Lord, 1997; Beier *et al.*, 1992; Sheppard *et al.*, 1992) metais pesados, como Pb, Cr, Cu, As, Cd, Co, Ni, Zn (Wenzel *et al.*, 1997; McGuire *et al.*, 1992), herbicidas, inseticidas, fungicidas (Perranganier *et al.*, 1993; Lewis *et al.*, 1992) e  $\text{O}_2$  (Vigouroux, 1997) têm sido estudados.

Apesar do uso generalizado do sistema de cápsulas de cerâmica porosa para a extração da solução existente no solo, poucos estudos têm considerado a precisão e exatidão da metodologia e dos resultados obtidos. Várias pesquisas apresentam desvantagens no uso dessa metodologia, como alterações que ocorrem na composição química da solução extraída por adsorção/desorção ou contaminação (Hansen e Harris, 1975; Wenzel *et al.*, 1997; Poss *et al.*, 1995; Perranganier *et al.*, 1993; Wu *et al.*, 1995; McGuire *et al.*, 1992; Beier *et al.*, 1992; Beier e Hansen, 1992; Grossmann e Udluft, 1991); exclusão de ânions (Essert e Hopman, 1998); dificuldade de extração em solos com material rochoso (Williams e Lord, 1997);

possibilidade de dano com o tráfego de máquinas (Stone e Robl, 1996); tempo de equilíbrio variável entre a solução interna e externa nos sistemas sob tensão zero (Riga e Charpentier, 1998); volume da solução amostrada pode variar com as características do solo (Berggren, 1999); variação nas concentrações de íons, dependendo da natureza do material utilizado (Poss *et al.*, 1995); dificuldade de extração de compostos voláteis (Angle *et al.*, 1991); possibilidade de dissolução dos materiais constituintes das cápsulas (Maitre *et al.*, 1991) e influência da atividade biológica nos compostos extraídos (Lewis *et al.*, 1992). No entanto, sob condições controladas, após a avaliação dos materiais utilizados e dos elementos extraídos, há vários autores que, atentando para essas limitações, recomendam a utilização do sistema de extração da solução do solo utilizando cápsulas porosas (Chendorain e Ghodriti, 1999; Vigouroux, 1997; Lord e Mitchell, 1998; Maitre *et al.*, 1991; William e Lord, 1997; Marques *et al.*, 1996; Poss *et al.*, 1995; Wu *et al.*, 1995; Beier e Hansen, 1992).

Há uma série de variáveis que afetam a extração da solução no solo e que são importantes para a sua precisão e exatidão dos resultados. Dentre as variáveis, são importantes aquelas relacionadas com os processos de adsorção, difusão e de seletividade das paredes da cápsula porosa, que podem ser utilizadas como parâmetros para a sua seleção e uso. No entanto, a maioria dos trabalhos apresentados não fazem testes preliminares de avaliação de suas cápsulas, limitando-se, em alguns casos, a sua lavagem com soluções ácidas (McGuire *et al.*, 1992) ou à adição de biocidas ou bacteriostáticos (Lewis *et al.*, 1992).

O objetivo deste trabalho foi avaliar a capacidade de extração de potássio e de sódio por três tipos comerciais de cápsula de cerâmica porosa. Essas cápsulas vêm sendo utilizadas no campo em tensiômetros e em extratores de solução no solo. As cápsulas foram testadas utilizando diferentes concentrações de potássio e de sódio, em condições de concentração crescente, decrescente e aleatória desses elementos, simulando o que ocorre nos solos.

## Material e métodos

Foram testados três tipos de cápsula de cerâmica porosa. A cápsula de cerâmica tipo A é fornecida pela Soil Moisture Equipments - Califórnia (EUA); a tipo B é fornecida pela Cerâmica Vera Cruz - São Paulo, e a tipo C é fornecida pela Apager - Equipamentos Científicos de São Paulo. Os três tipos de cápsula têm sido utilizados em

experimentos de tensiometria e extração da solução no solo (Reichardt *et al.*, 1977, Caballero *et al.*, 1986; Meirelles *et al.*, 1980). Para os testes de extração de potássio e de sódio, foram montados cinco extratores de cada cápsula de cerâmica porosa, em tubos de PVC que funcionaram como câmaras de vácuo. As cápsulas de cerâmica porosa apresentam um gargalo, no qual foi adicionada cola araldite de secagem rápida, para fixação no tubo de PVC. A mesma cola foi utilizada na colagem de dois tubos de *nylon*: um conectando à câmara de vácuo com um recipiente de vidro, para receber a amostra de solução, indo até a base da cápsula, e outro conectando a câmara e a bomba de vácuo com uma pequena extensão de tubo de latex próximo à bomba, para manutenção do vácuo na câmara após desligamento da bomba (Figura 1).

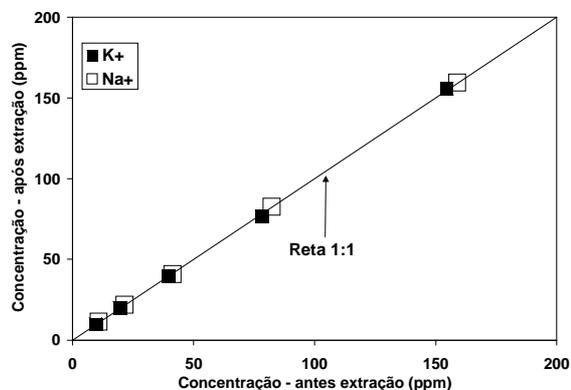
**Figura 1.** Esquema do extrator de solução por cápsula de cerâmica porosa e seus componentes

No processo de extração, as cápsulas foram inicialmente colocadas para saturar nas soluções de sódio ou potássio pré-determinadas, em béquers de 200 ml, por um período de aproximadamente seis horas. Após esse tempo, foi aplicado vácuo de 0,05 MPa na câmara, utilizando uma bomba de vácuo com um manômetro acoplado, por meio da qual se controlava a intensidade do vácuo, por 30 segundos. Após esse tempo, a cápsula porosa era retirada do béquer, a bomba de vácuo era desligada, e a solução extraída pela cápsula era coletada. Foi determinada a concentração de potássio ou sódio na solução extraída pela cápsula e na que restou no béquer. Após cada extração, as cápsulas eram retiradas dos béquers, colocadas para secar ao ar e à sombra, por um período mínimo de 12 horas, para se poder realizar nova extração. As concentrações de potássio ou sódio das soluções, extraídas ou remanescentes, foram analisadas no fotômetro de chama. As concentrações das soluções de KCl e NaCl foram de 10, 20, 40, 80 e 160  $mg \cdot dm^{-3}$  de sódio e de potássio.

Foram testadas três formas de extração dos cátions: em ordem crescente da concentração dos cátions, em ordem decrescente e aleatorizando as concentrações. Os resultados foram submetidos a uma análise descritiva, calculando-se os valores médios dos diferentes tratamentos, os desvios das médias e os coeficientes de variação.

## Resultados e discussão

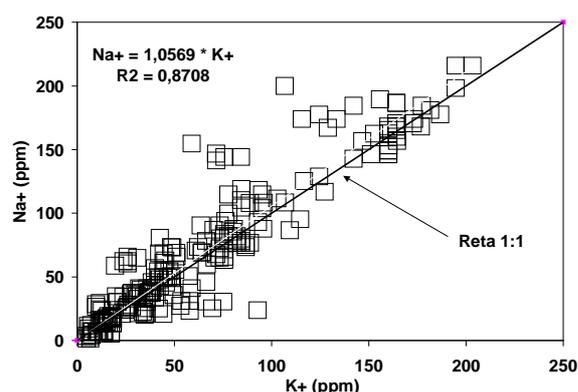
**Extração de  $Na^+$  e de  $K^+$ .** A concentração de  $Na^+$  e de  $K^+$  na solução externa, antes e depois do processo de extração (Figura 2) apresentou uma distribuição de valores muito próximas da relação 1:1. O volume de solução utilizado (200 ml) foi suficientemente grande em relação a área superficial das cápsulas, de aproximadamente 40  $cm^2$  (dados não publicados), para que processos de liberação de cátions ou exclusão destes pela superfície das cápsulas, entre as determinações, pudessem afetar a concentração dos íons na solução externa (Hansen e Harris, 1975; Essert e Hopmann, 1998; Poss *et al.*, 1995; McGuire *et al.*, 1992; Maitre *et al.*, 1991). Os valores dos coeficientes de variação das médias das concentrações em cada dose estudada foram menores que 4%, indicando a alta precisão do procedimento utilizado.



**Figura 2.** Concentrações dos íons na solução externa antes e depois da extração pelas cápsulas de cerâmica porosa

Independente do tipo de cápsula, do modo de extração e das doses de cátions utilizadas, as concentrações absolutas de  $Na^+$  e  $K^+$ , nas mesmas doses, extraídas pelos equipamentos, possuíram uma alta correlação ( $R^2 > 0,85$ ) (Figura 3), mas a tendência foi de se recuperar menos  $K^+$  do que  $Na^+$ , principalmente nas maiores concentrações. De maneira geral, há uma superestimativa de cerca de 6% das concentrações de  $Na^+$  em comparação as de  $K^+$ . Embora ambos os íons sejam monovalentes, o sódio apresenta grau de hidratação superior ao

potássio (Sposito, 1989), formando, preferencialmente, complexos de esfera externa com minerais de argila. Já o  $K^+$  pode formar complexos de esfera interna com minerais de argila 2:1, como vermiculita e esmectita (McBride, 1994), sendo, preferencialmente, mais adsorvido que o  $Na^+$ , e pode fazer parte da composição mineralógica das cápsulas.

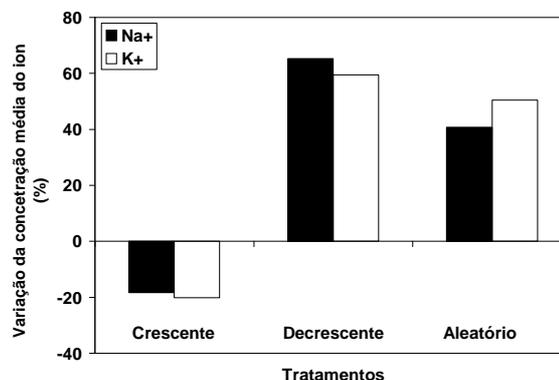


**Figura 3.** Concentração de  $Na^+$  e de  $K^+$  extraídos nas mesmas doses aplicadas e independente do modo de extração

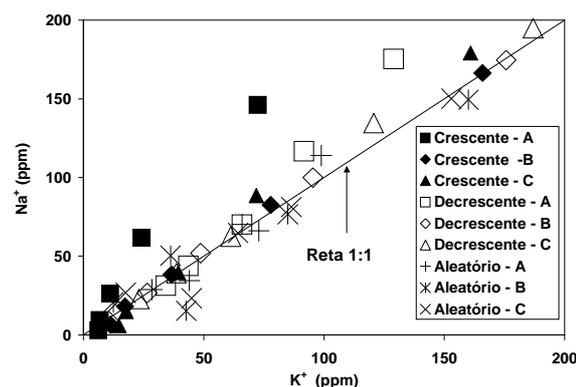
**Efeito dos modos de extração.** A solução no solo é extremamente dinâmica. Os processos de secamento/molhamento, aplicação de adubos, calcários, decomposição de materiais orgânicos e a chuva intermitente provocam alterações nas concentrações e na qualidade dos íons em solução (Brady, 1989; Wolt, 1994). Os resultados da simulação dessas condições, independente do tipo de cápsula utilizada e da concentração do íon, demonstraram que o histórico da solução no processo de extração afetou a concentração da solução extraída. De maneira geral, o comportamento das cápsulas foi semelhante, isto é, no modo crescente, a concentração de íons na solução extraída foi menor do que a concentração na solução aplicada, o oposto ocorrendo nos modos decrescente e aleatório (Figura 4).

Os resultados obtidos demonstram que houve interação entre o modo de extração e o íon estudado, tendo em vista que o valor médio extraído de  $Na^+$  foi menor do que o de  $K^+$ , nos modos de extração decrescente e aleatório, e maior, no modo crescente (Figura 4), uma vez que a concentração aplicada, de ambos os íons, era a mesma. As variações, em relação à solução original, tenderam a ser sempre maiores nos modos decrescente e aleatório para as cápsulas A e C. No modo decrescente, a cápsula A superestimou a variação da concentração de 84% e 92% para  $K^+$  e  $Na^+$  respectivamente. Para a cápsula

C, as variações foram de 71% e 76%, enquanto que, para a cápsula B, as variações foram de 26% e 30%, respectivamente. Os resultados demonstram que as três cápsulas possuem graus diferentes na capacidade de adsorção e/ou seletividade, tanto para o  $K^+$  como para o  $Na^+$ .



**Figura 4.** Variação percentual da concentração média dos íons extraídos em relação à concentração média dos íons aplicados



**Figura 5.** Influência do modo de extração na concentração de  $Na^+$  e  $K^+$

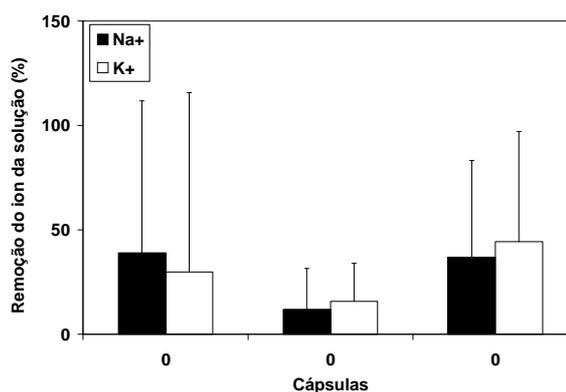
A cápsula A, no modo de extração crescente, na dose de  $10 \text{ mg.dm}^{-3}$ , extraiu em média  $6 \text{ mg.dm}^{-3}$  de  $K^+$ , comparado a  $2 \text{ mg.dm}^{-3}$  de  $Na^+$ , demonstrando seletividade para este íon. Já a cápsula B foi a que apresentou a melhor precisão e exatidão dos valores de  $K^+$  e  $Na^+$  extraídos, independente do modo e da dose de extração (Figura 5), aproximando mais os seus valores de concentração dos íons extraídos da reta 1:1. Nos modos decrescente e aleatório, os valores de concentração de  $Na^+$  e de  $K^+$  tenderam a ser diferentes das doses aplicadas, demonstrando que as cápsulas retiveram os cátions entre uma extração e outra, o que pode criar problemas nas condições de campo em estudos de dinâmica de nutrientes. No modo decrescente, na dose de 160

mg.dm<sup>-3</sup>, a cápsula A extraiu, na média, 175 mg.dm<sup>-3</sup> de Na<sup>+</sup> e 128 mg.dm<sup>-3</sup> de K<sup>+</sup>, e a cápsula C 194 mg.dm<sup>-3</sup> de Na<sup>+</sup> e 186 mg.dm<sup>-3</sup> de K<sup>+</sup>. Observações como estas podem auxiliar a explicar concentrações anormais em experimentos que utilizam solos com diferentes características morfológicas, físicas e químicas, as quais determinam uma interação específica do íon ou dos compostos avaliados com a fase inorgânica do solo ou da cápsula (Berggren, 1999; Djurhuus e Jacobsen, 1995; Wu *et al.*, 1995; Grossmann e Udluft, 1991).

**Efeito das doses de Na<sup>+</sup> e de K<sup>+</sup>.** Considerando-se as médias das doses dos íons aplicados (independentes das cápsulas e dos modos de extração), os valores médios de Na<sup>+</sup> e de K<sup>+</sup> extraídos em cada dose foram muito próximos (Figuras 3 e 5). Desse modo, ficou evidenciado que o sistema extrator avalia alterações da concentração dos íons no meio onde está inserido. No entanto, os processos de enriquecimento ou de diluição das concentrações poderão não ser precisamente identificados. Isso pode ser devido, provavelmente, às características intrínsecas das cápsulas porosas (Wenzel *et al.*, 1997; Marques *et al.*, 1996; Poss *et al.*, 1995; Perringanier *et al.*, 1993; McGuire *et al.*, 1992; Maitre *et al.*, 1991), já que o tempo de sucção, a tensão aplicada e a condutividade hidráulica da cerâmica utilizadas parecem não interferir na concentração e no volume dos íons extraídos e da solução coletada, respectivamente (Poss *et al.*, 1995; Wu *et al.*, 1995; Beier *et al.*, 1992).

Como observado anteriormente, houve uma maior afinidade das cápsulas pelo K<sup>+</sup> em relação ao Na<sup>+</sup>, visto que a maioria dos pontos está acima da reta 1:1 (Figura 5). No entanto, as cápsulas A e C apresentam as maiores dispersões da reta 1:1, comparadas à cápsula B. As doses de 10 e 20 mg.dm<sup>-3</sup> apresentaram médias de concentração de Na<sup>+</sup> de 17 e 25 mg.dm<sup>-3</sup> e de K<sup>+</sup> de 18 e 34 mg.dm<sup>-3</sup>, respectivamente. Os resultados superaram em mais de 50% a dose da solução externa. Nas doses de 40, 80 e 160 mg.dm<sup>-3</sup> (K<sup>+</sup> e Na<sup>+</sup>), os valores das concentrações dos íons extraídos foram de 43, 80 e 145 mg.dm<sup>-3</sup>, para o K<sup>+</sup>, e de 52, 90 e 161 mg.dm<sup>-3</sup>, para o Na<sup>+</sup>, respectivamente. Esses valores, por sua vez, foram próximos das doses aplicadas, demonstrando que, em altas concentrações, os sistemas de cápsulas de cerâmica porosa apresentam melhor precisão e exatidão nos resultados, com coeficientes de variação de aproximadamente 50%, para a dose de 10 mg.dm<sup>-3</sup>, e de 20%, para a dose de 160 mg.dm<sup>-3</sup>.

**Efeito das cápsulas porosas.** Considerando a variação na percentagem da concentração dos íons entre a solução coletada e a externa, pode-se observar que a cápsula B (Figura 6) foi a que apresentou os menores valores, tanto na média como no desvio padrão, e que a cápsula A mostrou ser menos apropriada para extração dos íons estudados, visto que, nas extrações em ordem crescente, decrescente e aleatória, apresentou as maiores diferenças entre a solução aplicada e a extraída.



**Figura 6.** Percentagem média da extração do íon da solução aplicada, independente do modo e das doses utilizadas. Barras verticais indicam o desvio padrão da média

Ainda, observou-se que a cápsula tipo C apresentou comportamento semelhante à A, quando foram utilizadas soluções de concentração decrescente e variável. As cápsulas A e C tenderam a superestimar a concentração da solução externa em 30 a 40%, mas com grandes desvios do erro padrão da média. No caso da cápsula A, os desvios foram maiores para o K<sup>+</sup> do que para o Na<sup>+</sup>, ocorrendo o inverso na cápsula C.

A cápsula de cerâmica tipo B apresentou valores de concentração de potássio e sódio extraídos mais próximos das concentrações da solução aplicada. Para os cátions estudados, a cápsula B foi a que apresentou menores quantidades desses elementos adsorvidos, podendo ser recomendada para estudos de extração de potássio e/ou sódio.

## Referências bibliográficas

- Angle, J.S.; Mcintosh, M.S.; Hill, R.L. Tension lysimeters for collecting soil percolate. *Am. Chem. Symp. Series*, 465:290-299, 1991.
- Appelo, C.A. Chemistry of water expelled from compacting clay layers: a model based on Donnan equilibrium. *Chem. Geol.*, 19:91-98, 1977.
- Beckwith, C.P.; Cooper, J.; Smith, K.A.; Shepherd, M.A. Nitrate leaching loss following application of organic manure to sandy soils in arable cropping. I.

- Effects of application time, manure type, over winter crop cover and nitrification inhibition. *Soil Use Manag.*, 14(3):123-130, 1998.
- Beier, C.; Hansen, K. Evaluation of porous cup soil-water samplers under controlled field conditions-comparison of ceramic and PTFE cups. *J. Soil Sci.*, 43(2):261-271, 1992.
- Beier, C.; Hansen, K.; Gundersen, P.; Andersen, B.R. Long-term field comparison of ceramic and poly(tetrafluoroethene) porous cup soil-water samplers. *Envir. Sci. Tech.*, 26(10):2005-2011, 1992.
- Berggren, D. The solubility of aluminum in two Swedish acidified forest soils: an evaluation of lysimeter measurements using batch titration data. *Water Air Soil Poll.*, 114(1-2):137-153, 1999.
- Brady, N.C. *Natureza e propriedades dos solos*. 7.ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1989.
- Caballero, S.U.; Libardi, P.L.; Reichardt, K., Moraes, S.O.; Victoria, R. Lixiviação do nitrogênio proveniente do solo e do fertilizante ( $^{15}\text{NH}_4$ ) $_2\text{SO}_4$  durante o ciclo de uma cultura de milho. *Pesq. Agron. Bras.*, 21(1):25-31, 1986.
- Chendorain, M.; Ghodrati, M. Real time continuous sampling and analysis of solutes in soil columns. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 63(3):464-471, 1999.
- Debyle, N.V.; Hennes, R.W.; Hart, G.E. Evaluation of ceramic cups for determining soil solution chemistry. *Soil Sci.*, 146(1):30-36, 1988.
- Djurhuus, J.; Jacobsen, O.H. Comparison of ceramic suction cups and KCl extraction for the determination of nitrate in soil. *Eur. J. Soil Sci.*, 46(3):387-395, 1995.
- Essert, S.; Hopmans, J.W. Combined tensiometer-solution sampling probe. *Soil Till. Res.*, 45(3-4): 299-309, 1998.
- Fried, M.; Broeshart, B. *The soil plant system*. New York: Academic Press, 1967.
- Grossmann, J.; Udluft, P. The extraction of soil-water by the suction-cup method-a review. *J. Soil Sci.*, 42(1):83-93, 1991.
- Hansen, E.A.; Harris, A.R. Validity of soil-water samples collected with porous ceramic cups. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 39(3):528-536, 1975.
- Hinckley, T.; Patterson, C. Concentration of metals in soil moisture film. *Nat. Phy. Sci.*, 246:123-124, 1973.
- Jones, D.L.; Edwards, A.C. Evaluation of polysulfone hollow fibers and ceramic suction samplers as devices for the *in situ* extraction of soil solution. *Plant and Soil*, 150(2):157-165, 1993.
- Lewis, D.I.; Simons, A.P.; Moore, W.B.; Gattie, D.K. Treating soil solution samplers to prevent microbial removal of analytes. *App. Envir. Microb.*, 58(1):1-5, 1992.
- Lord E.I.; Mitchell, R.D.J. Effect of nitrogen inputs to cereals on nitrate leaching from sandy soils. *Soil Use Manag.*, 14(2):78-83, 1998.
- Maitre, V.; Bourrie, G.; Curmi, P. Contamination of collected soil-water samples by the dissolution of the mineral constituents of porous PTFE cups. *Soil Sci.*, 152(4):289-293, 1991.
- Marques, R.; Ranger, J.; Gelhaye, D.; Pollier, B.; Ponette, Q.; Goedert, O. Comparison of chemical composition of soil solutions collected by zero-tension plate lysimeters with those from ceramic-cup lysimeters in a forest soil. *Eur. J. Soil Sci.*, 47(3): 407-417, 1996.
- McBride, M.B. *Environmental chemistry of soils*. New York: Oxford University Press, 1994.
- Mcguire, P.E.; Lowery, B.; Helmke, P.A. Potential sampling error-trace-metal adsorption on vacuum porous cup samplers. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 56(1):74-82, 1992.
- Meirelles, N.M.F.; Libardi, P.L.; Reichardt, K. Absorção e lixiviação de nitrogênio em cultura de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, 4:83-88, 1980.
- Perringanier, C.; Schiavon, M.; Portal., J.M.; Breuzin, C.; Babut, M. Porous cups for pesticides monitoring in soil solution - laboratoty tests. *Chemosphere*, 26(12):2231-2239, 1993.
- Poss, R.; Noble, A.D.; Dunin, F.X.; Reyenga, W. Evaluation of ceramic cup samplers to measure nitrate leaching in the field. *Eur. J. Soil Sci.*, 46(4):667-674, 1995.
- Reichardt, K.; Libardi, P.L.; Meirelles, N.M.F.; Ferreyra, F.F.; Zagatto, E.A.G.; Matsui, E. Extração e análise de nitratos em solução do solo. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, 1:130-132, 1977.
- Riga, P.; Charpentier, S. Ionic-equilibrium time inside ceramic cups in unsaturated porous media. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 62(3):574-579, 1998.
- Sheppard, M.I.; Thibault, D.H.; Smith, P.A. Effect of extraction techniques on soil pore-water chemistry. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*, 23(13-14):1643-1662 1992.
- Stone, D.M.; Robl, J.L. Construction and performance of rugged ceramic cup soil water samplers. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 60(2):417-420, 1996.
- Sposito, G. *The chemistry of soils*. New York: Oxford University Press, 1989.
- Tischner, T.; Nutzman, G.; Pothig, R. Determination of soil water phosphorus with a new nylon suction cup. *Envir. Contam. Tox.*, 61(3):325-332, 1998.
- Vigouroux, A. A first approach to assessing soil oxygenation in the field using the tensiometric ceramic tensiometer. *Agronomie*, 17(8):389-394, 1997.
- Wenzel, W.W.; Sletten, R.S.; Brandstetter, A.; Wieshammer, G.; Stinger, G. Adsorption of trace metals by tension lysimeters: nylon membrane vs. porous ceramic cup. *J. Envir. Qual.*, 26(5): 1430-1434, 1997.
- Williams, J.R.; Lord, E.I. The use of porous ceramic cup water samplers to measure solute leaching on chalk soils. *Soil Use Manag.*, 13(3):156-162, 1997.

Wolt, J. Soil solution chemistry. New York: Wiley, 1988.

*Received on May 11, 2000.*

Wu, L.; Baker, J.M.; Allmaras, R.R. Numerical and field-evaluation of soil-water sampled by suction lysimeters. *J. Envir. Qual.*, 24(1):147-152, 1995.

*Accepted on September 13, 2000.*