

NOTA

MOBILIDADE VERTICAL DE CÁTIONS INFLUENCIADA PELO MÉTODO DE APLICAÇÃO DE CLORETO DE POTÁSSIO EM SOLOS COM CARGA VARIÁVEL⁽¹⁾

Paulo Roberto Ernani⁽²⁾, Cimélio Bayer⁽³⁾, Jaime Antônio de Almeida⁽²⁾
& Paulo César Cassol⁽²⁾

RESUMO

A magnitude da mobilidade vertical dos nutrientes no perfil afeta o contato destes com as raízes e a lixiviação e, por isso, influencia a época e o método de aplicação dos fertilizantes ao solo. O presente trabalho objetivou avaliar a mobilidade de K em solos de acordo com o método de aplicação e a dose de cloreto de potássio. O experimento foi realizado em 1998, em colunas de lixiviação com 7,5 cm de diâmetro e 35 cm de altura. Os tratamentos consistiram de doses de K (0, 150 e 300 mg kg⁻¹), aplicadas sobre a superfície ou incorporadas até 15 cm de profundidade em dois solos ácidos. A cada sete dias, durante oito semanas, foram adicionados 300 mL de água destilada sobre a superfície de cada coluna. A solução percolada foi coletada no dia seguinte, e nela foram determinados o volume e as concentrações de Ca, Mg e K. A aplicação de KCl sobre a superfície dos solos promoveu a descida de K para profundidades superiores a 10 cm. Apesar disso, a lixiviação de K foi pequena, porém aumentou com a dose e com a incorporação do fertilizante ao solo e foi mais intensa nas primeiras percolações. A adição de KCl aumentou expressivamente a percolação de Ca e Mg durante as cinco primeiras percolações, o que pode representar aumento temporário na disponibilidade desses cátions às plantas, pois coincide com o período de implantação das culturas, em que a exigência das plantas por nutrientes é alta. Mesmo nesses solos com alto tamponamento, a adição de K sobre a superfície promoveu bom aprofundamento do nutriente no perfil sem, contudo, proporcionar grande lixiviação.

Termos de indexação: lixiviação, troca de cátions, percolação.

⁽¹⁾ Recebido para publicação em novembro de 2006 e aprovado em fevereiro de 2007.

⁽²⁾ Professor do Departamento de Solos da Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC. Caixa Postal 281, CEP 88520-000 Lages (SC). Bolsista do CNPq. E-mail: prernani@cav.udesc.br

⁽³⁾ Professor do Departamento de Solos da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS. Av. Bento Gonçalves 7712, CEP 97105-400 Porto Alegre (RS). Bolsista do CNPq. E-mail: cimelio.bayer@ufrgs.br

SUMMARY: VERTICAL MOBILITY OF CATIONS AS INFLUENCED BY THE METHOD OF POTASSIUM CHLORIDE APPLICATION TO VARIABLE CHARGE SOILS

The magnitude of the vertical movement of nutrients in the soil profile determines their contact with plant roots and leaching, thus affecting the timing and method of fertilizer application. This study aimed to assess the K mobility in the soil as influenced by rate and method of potassium chloride addition. The experiment was carried out in 1998, using 7.5 cm wide and 35 cm long PVC leaching columns. Potassium was applied at rates of 0, 150 and 300 mg kg⁻¹ on the soil surface or incorporated 15 cm deep into two acid soils. Distilled water (300 mL per column) was percolated every seven days, for eight weeks. The volume of percolated water, and its Ca, Mg and K concentrations were determined. KCl addition on the soil surface caused a downward movement of K to a depth beyond 10 cm. Nevertheless, K leaching was small, and was evident in the initial percolations, was proportional to the applied rate, and was higher in the soil-incorporated treatments. KCl addition increased Ca and Mg leaching in the first five percolations, which may temporarily raise the availability of these nutrients because it coincides with the period of crop establishment when the plant nutrient demand is high. Even in these highly buffered soils, K spread on the soil surface moved downward to reasonable depths, without promoting significant leaching.

Index terms: leaching, cation exchange, percolation.

INTRODUÇÃO

Com a adoção crescente do plantio direto, aumentou a necessidade de se conhecer a mobilidade vertical de cada nutriente no solo, porque nesse sistema os fertilizantes são aplicados nos centímetros superficiais, sem incorporação posterior. A mobilidade dos nutrientes no perfil pode afetar a disponibilidade destes aos vegetais (Kepkler & Anghinoni, 1996) e também as perdas por lixiviação (Ceretta et al., 2002) e, por isso, influencia a escolha das técnicas mais adequadas de fertilização do solo, incluindo épocas, doses e métodos de aplicação dos fertilizantes, tanto sob o ponto de vista agrônomo quanto ambiental.

Os nutrientes necessitam estar na solução do solo e em contato com as raízes para serem absorvidos pelas plantas (Barber, 1962). A concentração nesse meio é determinada pelo conjunto de reações que afetam cada nutriente. Em solos com predomínio de cargas variáveis, a concentração de K na solução é influenciada sobretudo pela liberação do K de formas não-trocáveis e pela reação de adsorção eletrostática. O contato com as raízes, por sua vez, depende da distância entre elas e os nutrientes, assim como dos fatores de solo e de planta que afetam a movimentação dos íons no solo (Barber, 1962; Chen & Gabelman, 2000). O movimento radial de K em direção às raízes ocorre por fluxo de massa e principalmente por difusão (Barber, 1962; Araújo et al., 2003), porém o movimento vertical ocorre fundamentalmente por fluxo de massa. Dependendo das condições, o K pode ser carregado para profundidades além daquelas ocupadas pelas raízes, perdendo-se por lixiviação (Sanzonowicz & Mielniczuk, 1985).

Nutrientes com alta mobilidade no solo, a exemplo do N, atingem o volume de solo explorado pelas raízes rapidamente, porém se perdem facilmente por lixiviação (Aulakh et al., 2000; Ernani et al., 2002a; Sangoi et al., 2003) e, se manejados incorretamente, podem contaminar as águas subterrâneas (Bustos et al., 1996). Nutrientes com baixa mobilidade, a exemplo do P, normalmente são lixiviados em quantidades insignificantes (Soprano & Alvarez, 1989; Saarijarvi et al., 2004), porém, quando aplicados sobre a superfície, podem não atingir as camadas de solo onde se encontra a maior parte das raízes (Ernani et al., 2001), as quais, para a maioria das espécies anuais, se concentram nos 20 cm superficiais (Fante Jr. et al., 1994; Seixas et al., 2005). O K se movimenta no solo numa taxa superior à do N, mas muito inferior à do P.

A mobilidade vertical dos nutrientes no solo é afetada por fatores físicos e químicos do solo. Os principais atributos físicos incluem a distribuição relativa do tamanho de poros e seus graus de saturação com água (Dierolf et al., 1997) e a quantidade de água que percola no perfil (Bustos et al., 1996; Bassoi & Carvalho, 1992), a qual depende da quantidade e intensidade das chuvas e da capacidade de retenção de água pelo solo. Os principais aspectos químicos são: a concentração da solução do solo (Ishiguro et al., 1992), o pH (Chaves & Libardi, 1995; Ernani et al., 2002a), a capacidade de troca de cátions (Akinremi & Cho, 1991; Chaves & Libardi, 1995), as reações de dissolução/precipitação (Sanzonowicz & Mielniczuk, 1985; Ernani & Barber, 1993; Bustos et al., 1996) e as trocas iônicas entre os nutrientes que estão na solução com aqueles da fase sólida durante o processo de descida (Akinremi & Cho, 1991). Ernani et al.

(2004) observaram maior lixiviação de Ca após aplicação de gesso do que de calcário calcítico, em razão da maior concentração de Ca na solução do solo tratado com gesso em relação àquele que recebeu a mesma quantidade de Ca na forma de calcário. A percolação de K em solos catarinenses (Ernani et al., 2003) e paulistas (Chaves & Libardi, 1995) foi maior no solo onde não foi aplicado calcário do que naquele onde foi feita a calagem, devido à menor retenção eletrostática do nutriente nos menores valores de pH, decorrente da menor capacidade de troca de cátions (Chaves & Libardi, 1995; Ernani et al., 2003).

A maioria dos fertilizantes é adicionada ao solo na forma de sais. Ao ingressarem no sistema, eles alteram a composição da solução e, com isso, promovem modificações nos equilíbrios químicos entre as fases sólida e líquida. Assim, a adição de qualquer fertilizante, mesmo nas quantidades adequadas, pode afetar, temporariamente, a disponibilidade e a lixiviação de outros nutrientes. Akinremi & Cho (1993) constataram que a adição de KCl juntamente com P diminuiu a descida deste no solo devido à formação de precipitados de fosfatos de potássio. Mantovani (2005) verificou que a adição de superfosfato triplo juntamente com fertilizantes nitrogenados aumentou a lixiviação de amônio e antecipou a lixiviação de nitrato em decorrência do deslocamento do amônio das cargas negativas pelo Ca do fertilizante fosfatado, que, em solução, antecipou a nitrificação. Essas reações secundárias decorrentes da adição de adubos ao solo têm, entretanto, sido pouco avaliadas.

O presente trabalho objetivou avaliar o efeito do método de aplicação de doses de KCl, superficial ou incorporado, na mobilidade vertical de K, Ca e Mg em dois solos com características químicas distintas.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em laboratório da Faculdade de Agronomia da Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), em Lages, SC, em 1998. Utilizaram-se amostras de um Cambissolo Húmico álico e um Nitossolo Vermelho, representativos da região do Planalto Catarinense. As amostras foram coletadas da camada superficial (0 a 20 cm), em áreas com vegetação campestre nativa que nunca haviam recebido fertilizantes ou corretivos da acidez, e a seguir passadas em peneiras com malhas de 5 mm de abertura. Esses solos possuíam, respectivamente, 390 e 550 g kg⁻¹ de argila, 60 e 40 g kg⁻¹ de matéria orgânica, pH 4,4 e 4,8, K = 0,10 e 0,30 cmol_c kg⁻¹ (40 e 120 mg kg⁻¹), Al³⁺ = 4,5 e 2,4 cmol_c kg⁻¹, Ca = 1,1 e 1,2 cmol_c kg⁻¹, Mg = 0,7 e 0,4 cmol_c kg⁻¹ e necessidade de calcário de 20 e 10 t ha⁻¹ (PRNT 100 %) para elevar o pH-H₂O até 6,0.

Os tratamentos consistiram da combinação de doses e métodos de aplicação de K em cada um dos

solos. As doses corresponderam a 0, 150 e 300 mg kg⁻¹ de K, aplicadas sobre a superfície ou incorporadas aos solos até a profundidade de 15 cm. O K foi adicionado na forma sólida, a partir de reagente (KCl) pró-análise. Nos tratamentos com incorporação, o KCl foi aplicado 30 dias antes que nos tratamentos sem incorporação, nos quais o fertilizante foi adicionado após a transferência das unidades experimentais para as colunas de lixiviação. Durante os 30 dias de incubação, as repetições de todos os tratamentos foram mantidas em sacos de polietileno, na temperatura ambiente, com umidade de aproximadamente 80 % do teor de água retido na capacidade de campo.

As colunas de lixiviação foram feitas de PVC rígido e tinham 7,5 cm de diâmetro e 35 cm de altura. Elas foram construídas pela superposição de anéis cilíndricos com diferentes alturas, com o objetivo de facilitar a separação das amostras de solo em profundidades bem delimitadas, ao término do experimento. De cima para baixo, foram superpostos cinco anéis com 1,0 cm, dois com 2,5 cm e quatro com 5,0 cm, perfazendo 30 cm, que constituiu a parte da coluna posteriormente preenchida com solo. Acima dos anéis com solo, foi colocado mais um cilindro, de 5 cm de altura, para facilitar a adição de água destilada por ocasião das percolações. A superfície de contato entre os anéis foi vedada externamente com fita adesiva impermeável, para evitar o vazamento lateral de líquidos durante o processo de percolação. O fundo das colunas foi vedado com uma tampa de PVC perfurada, para facilitar a retenção do solo. No centro da tampa, foi feito um orifício com 0,5 cm de diâmetro, onde se conectou uma mangueira plástica de igual diâmetro, a fim de direcionar o fluxo da solução percolante diretamente para os frascos de coleta, colocados abaixo das colunas. Na parte superior dessa tampa, internamente, colocou-se uma tela plástica para impedir a passagem de partículas grandes de solo e, assim, evitar o entupimento do orifício de drenagem. As colunas foram acondicionadas em suportes de madeira, de maneira a permitir a colocação dos frascos de coleta embaixo delas.

As amostras de solo foram acondicionadas dentro das colunas de lixiviação numa densidade aproximada de 0,9 g cm⁻³, totalizando 1,2 kg de solo (base seca) por coluna. Uma semana após a transferência do solo para as colunas, iniciaram-se as adições de água. A cada sete dias, durante dez semanas, adicionaram-se 300 mL de água destilada sobre a superfície de cada coluna, em frações de 50 mL, a cada dez minutos. Esse volume equivale a uma precipitação pluvial de 68 mm. A solução percolada foi coletada no dia seguinte; nela, foram determinados o volume de solução lixiviada e as concentrações de Ca, Mg e K e calculou-se a quantidade lixiviada de cada nutriente. Os nutrientes foram determinados por meio de espectrofotometria de emissão induzida por plasma (ICP).

Uma semana após a última percolação, as colunas foram desmontadas. Os anéis foram separados individualmente, de cima para baixo, e o solo dentro das delimitações de cada anel constituiu uma amostra individual. As amostras foram secas em estufa com circulação forçada de ar, a 60 °C, sendo posteriormente moídas e passadas em peneiras com malha de 2 mm. Nelas, quantificou-se o K trocável, extraído do solo com uma solução mista de ácidos diluídos (HCl 0,05 mol L⁻¹ + H₂SO₄ 0,025 mol L⁻¹), na relação solo/solução de 1:10, determinado por espectrometria de emissão induzida por plasma.

Utilizou-se o delineamento experimental de blocos casualizados, com três repetições. Os valores lixiviados de cada nutriente em cada uma das percolações foram somados e analisados estatisticamente por meio da análise da variância. Os valores de K trocável nas diferentes profundidades do solo foram avaliados considerando o arranjo experimental de parcelas subdivididas, com os tratamentos distribuídos nas parcelas e as profundidades nas subparcelas. Quando houve diferenças entre as médias, elas foram comparadas pelo teste de Tukey a 5 %.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Potássio no solo

O K teve boa mobilidade vertical nos solos. No tratamento em que não foi aplicado KCl (testemunha), os valores de K extraíveis das amostras de solo com solução de Mehlich-1 coletadas após a última percolação permaneceram uniformes ao longo de toda a profundidade da coluna, numa média de 120 mg kg⁻¹ para o Nitossolo Vermelho (NV) e de 40 mg kg⁻¹ para o Cambissolo Húmico (CH) (Figura 1). A adição de 150 mg kg⁻¹ de K, sobre a superfície do solo, aprofundou o K até a camada de 10 a 15 cm nos dois solos, cujos valores médios nessa profundidade aumentaram para 151 mg kg⁻¹ no NV e 66 mg kg⁻¹ no CH. A adição de 300 mg kg⁻¹ de K, também sobre a superfície, movimentou-o até a mesma profundidade no NV e até a camada de 15 a 20 cm no CH, cujos valores médios dessas profundidades aumentaram para 245 mg kg⁻¹ no NV e 88 mg kg⁻¹ no CH (Figura 1). No Cambissolo, a profundidade atingida pelo K foi proporcional à dose de KCl aplicada, à semelhança do observado por Akinremi & Cho (1991). Sanzonowicz & Mielniczuk (1985) aplicaram 300 kg ha⁻¹ de K a um solo arenoso do Rio Grande do Sul e observaram que cinco meses depois o K trocável havia aumentado até 40 cm de profundidade. A elevação dos valores de K trocável com o aumento da profundidade do solo se deve ao aumento da concentração do nutriente na solução do solo, decorrente da adição do fertilizante potássico. À medida que a solução mais concentrada em K vai se deslocando descendentemente no solo, estabelecem-se novos equilíbrios entre os cátions, e parte do K na

solução percolante passa a ocupar algumas das cargas elétricas negativas dos constituintes sólidos do solo, deslocando delas os cátions que as estavam neutralizando (Ernani & Barber, 1993).

Apesar da boa mobilidade vertical, o K aplicado sobre a superfície concentrou-se nas camadas mais superficiais (Figura 1). Ao término das dez percolações, os valores médios de K no centímetro superficial do NV foram de 460 e 773 mg kg⁻¹, respectivamente nos tratamentos em que foram adicionados 150 e 300 mg kg⁻¹ de K; no CH, a concentração de K nesses mesmos tratamentos foi de 262 e 410 mg kg⁻¹, respectivamente. Na média ponderada da profundidade de 0 a 10 cm, a adição de 150 mg kg⁻¹ de K elevou a concentração de K extraível em 162 mg kg⁻¹ no NV e em 96 mg kg⁻¹ no CH. Inúmeros trabalhos têm mostrado a ocorrência de gradiente de concentração decrescente com o aumento

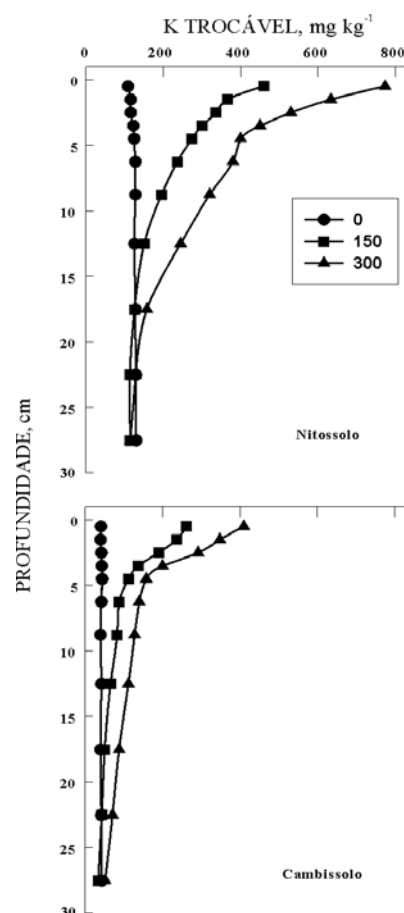


Figura 1. Teores de K trocável em diferentes profundidades considerando a adição de doses de KCl (0, 150 e 300 mg kg⁻¹ de K) sobre a superfície de dois solos catarinenses. Média de três repetições. A diferença significativa ($p = 0,05$) para comparar as profundidades nas doses crescentes de KCl foi, respectivamente, de 16, 27 e 56 mg kg⁻¹ no NV e de 8, 24 e 16 mg kg⁻¹ no CH.

da profundidade do solo após a adição de nutrientes de baixa e média mobilidade sobre a sua superfície (Ernani et al., 2002b; Ciotta et al., 2002). Mesmo assim, a adição de K sobre a superfície desses dois solos provavelmente não limitaria o rendimento vegetal, porque o nutriente estaria ao alcance de grande parte do sistema radicular, uma vez que as raízes das culturas anuais se concentram nos 20 cm superficiais (Fante Jr. et al., 1994; Seixas et al., 2005). Restrições ao incremento do rendimento vegetal em decorrência da adição de K sobre a superfície poderão ocorrer, particularmente, em condições nas quais os teores de K no solo sejam muito limitantes ao crescimento das plantas ou em locais onde a precipitação pluviométrica seja pequena.

A concentração máxima de K nas soluções percoladas não foi alta. Os valores desse elemento nas soluções percoladas das testemunhas foram constantes ao longo de todo o período experimental e variaram de 1 a 2 mg L⁻¹, tendo aumentado até um máximo de 11 mg L⁻¹ onde se aplicou KCl (Figura 2). A mobilidade vertical descendente dos nutrientes acontece principalmente por fluxo de massa, em decorrência das forças gravitacionais. Nesse processo, os fatores que mais influenciam positivamente a descida são as concentrações na solução do solo e o volume de água que percola. As atrações sucessivas a que o nutriente é submetido durante o processo de descida, seja pelas cargas negativas e, ou, pelos grupos funcionais nos compostos sólidos, tendem a dificultar essa mobilidade.

O aumento dos teores de K trocável em profundidade deve variar com o fluxo de água e com a densidade do solo. Por isso, em condições de estrutura indeformada de solo, a mobilidade do K deverá ser um pouco menor que a verificada no presente trabalho. As colunas foram preenchidas com a estrutura original dos solos deformada, o que potencializou o fluxo vertical de água, em comparação às condições de estrutura indeformada. Em adição, com a menor densidade do solo nas colunas, em comparação com sua condição original em campo, há menor número de cargas elétricas negativas por unidade de volume, resultando numa menor atração eletrostática do K (Defelipo & Braga, 1983) e, em consequência, pode ocorrer maior descida do nutriente (Chaves & Libardi, 1995; Ernani et al., 2003). Independentemente da condição, entretanto, a mobilidade no perfil estará dependente de uma boa precipitação pluvial no período.

Percolação de K

A percolação de K variou com o solo. A quantidade desse elemento nas soluções percoladas dos tratamentos que receberam o nutriente foi maior no Nitossolo do que no Cambissolo, provavelmente devido a uma combinação de dois fatores no NV que facilitam a lixiviação: maior concentração inicial nativa de K (Chaves & Libardi, 1995) e menor CTC (Chaves & Libardi, 1995; Ernani et al., 2003) relativamente ao CH (Figura 2). Como a solução que se movimenta verticalmente no solo é uma mistura entre a solução previamente existente no solo e a água adicionada que

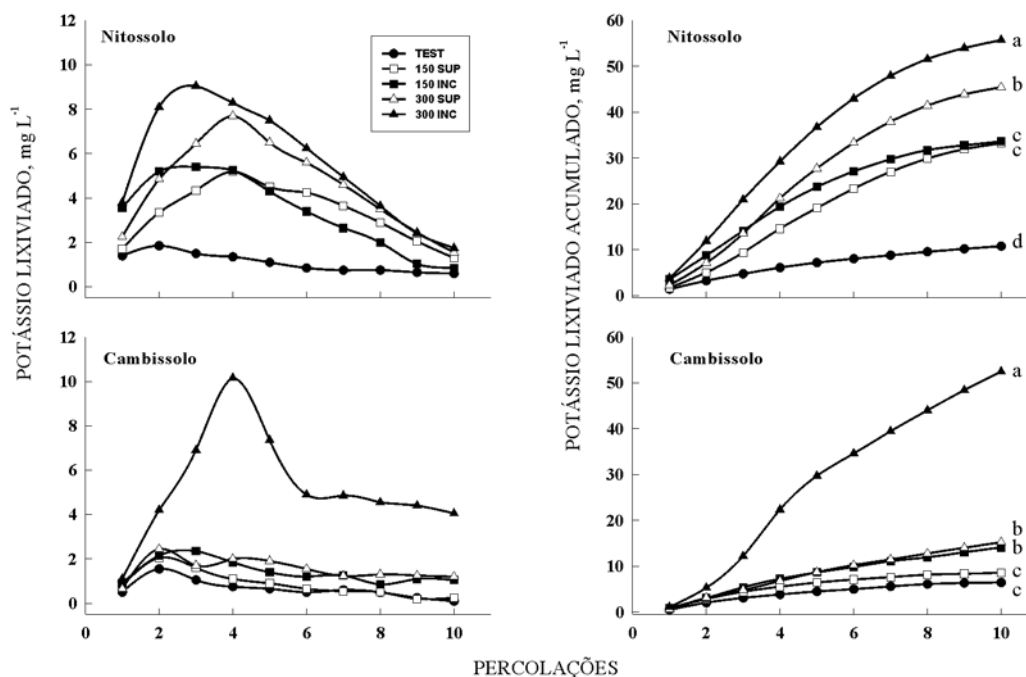


Figura 2. Concentração de K no efluente e quantidades acumuladas de K ao longo das percolações considerando formas de aplicação [na superfície (SUP) ou incorporado (INC)] e doses de KCl (0, 150 e 300 mg kg⁻¹ de K) em dois solos catarinenses. Média de três repetições. Letras diferentes dentro de cada solo para K lixiviado acumulado significa significância estatística pelo teste de Tukey a 5 %.

se mistura a ela, a quantidade de K lixiviada é proporcional à concentração inicial do nutriente na solução preexistente no solo. Esta, por sua vez, varia na razão direta da quantidade de K nas formas prontamente disponíveis (Ciotta et al., 2002) e na razão inversa do aumento da densidade de cargas elétricas negativas dos compostos sólidos (Ernani et al., 2003).

A lixiviação de K foi pequena e as maiores perdas ocorreram nas primeiras percolações. Os picos máximos de lixiviação ocorreram entre a segunda e a quarta percolação de água, dependendo da dose e do método de aplicação do KCl, nos dois solos (Figura 2). No tratamento em que houve as maiores lixiviações de K (300 mg kg⁻¹ de K incorporado), as perdas acumuladas nas dez percolações de água após a adição do fertilizante potássico ao solo foram de aproximadamente 55 mg L⁻¹, independentemente do solo, com uma média, portanto, de 5,5 mg L⁻¹ por percolação. Na média dos tratamentos em que foram aplicados 150 mg kg⁻¹ de K, a quantidade acumulada nessas percolações foi de 33 mg L⁻¹ no NV e de 11 mg L⁻¹ no CH, com médias, respectivamente, de 3,3 e 1,1 mg L⁻¹ por percolação. Na região do Planalto Catarinense, a precipitação pluvial anual média é de 1.600 mm (Bertol, 1993), com taxa média de infiltração de aproximadamente 80 %. Considerando que aproximadamente 25 % desse total migre para profundidades inexploradas pelas raízes, as quantidades lixiviadas pela adição de 150 e 300 mg kg⁻¹ de K variariam entre 3,6 e 18 kg ha⁻¹ de K, o que corresponderia a valores entre 1 e 4 % do K aplicado, respectivamente. Como a magnitude da lixiviação diminui bastante com o passar do tempo após a adição dos fertilizantes, as perdas anuais seriam ainda menores. No tratamento em que não foi aplicado KCl, as concentrações de K nas soluções percoladas foram sempre inferiores a 2,0 mg L⁻¹ ao longo de todo o período experimental (Figura 2). Na décima (última) percolação, a concentração de K no efluente variou de 0,1 a 1,8 mg L⁻¹, independentemente do solo, da dose ou do método de aplicação de K, à exceção do tratamento em que foram incorporados 300 mg kg⁻¹ de K no CH, no qual a concentração foi de 4,0 mg kg⁻¹ de K (Figura 2).

A quantidade de K lixiviada variou com a dose e com o método de aplicação do KCl (Figura 2). A lixiviação de K aumentou com a dose adicionada, a exemplo do observado por Dierolf et al. (1997), tendo havido melhor discriminação entre as doses no Nitossolo do que no Cambissolo, no qual somente o tratamento que recebeu 300 mg kg⁻¹ de K incorporado diferiu abruptamente dos demais. De maneira geral, a incorporação do KCl aos solos antecipou e aumentou a percolação do nutriente em relação à aplicação sobre a superfície do solo (Figura 2), pois, quando o nutriente é misturado com o solo, ele tem menor caminho descendente a percorrer, pelo menos na fase inicial após a aplicação. Sanzonowicz & Mielniczuk (1985) também verificaram maior mobilidade do K no perfil de um solo arenoso quando os fertilizantes potássicos

foram misturados com a camada arável, em relação à aplicação localizada no sulco de semeadura do milho.

Percolação de Ca e Mg

A adição de KCl aumentou a percolação de Ca e Mg, nos dois solos, proporcionalmente à quantidade aplicada (Figuras 3 e 4). Nos tratamentos com a maior dose de KCl (300 mg kg⁻¹ de K), as concentrações de Ca nas soluções percoladas do NV aumentaram de 1 mg L⁻¹ (na testemunha) para até 35 mg L⁻¹, e as de Mg, de 1 para até 25 mg L⁻¹; no CH, as concentrações de Ca aumentaram de 8 para 40 mg L⁻¹, e as de Mg, de 2 para 11 mg L⁻¹. O aumento na percolação desses dois nutrientes ocorreu porque eles foram deslocados das cargas elétricas negativas pelo K aplicado, em decorrência da elevação de sua atividade na solução do solo, como demonstrado por Ernani & Barber (1993).

O método de aplicação do KCl afetou o período em que as perdas de Ca e Mg ocorreram, porém não influenciou a quantidade total percolada (Figuras 3 e 4). A incorporação do KCl aos solos antecipou a lixiviação dos dois cátions, relativamente aos tratamentos em que o fertilizante potássico foi adicionado à superfície dos solos. As quantidades acumuladas de Ca que percolaram nas dez adições de água destilada mediante aplicação de KCl foram similares nos dois solos, porém as de Mg foram de três a quatro vezes maiores no Nitossolo do que no Cambissolo (Figura 4). Fazendo o mesmo cálculo de lixiviação utilizado para o K, ou seja, considerando uma precipitação anual de 1.600 mm e assumindo que 80 % dessa água infiltre no solo, mas que somente 25 % desse volume atinja profundidades inexploradas pelas raízes, as quantidades de Ca lixiviadas seriam de 23 e 46 kg ha⁻¹ no NV e de 25 e 40 kg ha⁻¹ no CH, respectivamente para as doses de 150 e 300 mg kg⁻¹ de K. Em relação ao Mg, as quantidades lixiviadas seriam de 17 e 34 kg ha⁻¹ no NV e de 7 e 10 kg ha⁻¹ no CH, respectivamente para as mesmas doses de KCl. Nos tratamentos em que não foi aplicado KCl, a lixiviação estimada de Ca seria de 1,5 kg ha⁻¹ no NV e de 7 kg ha⁻¹ no CH, e a lixiviação estimada de Mg, de 1,0 kg ha⁻¹ no NV e de 2,0 kg ha⁻¹ no CH. O incremento estimado na lixiviação em decorrência da adição de KCl seria semelhante entre os solos para Ca, porém, para o Mg, seria menor no CH do que no NV. As quantidades de Ca percoladas pelo KCl neste estudo foram maiores do que aquelas percoladas pela adição de metade da dose de calcário calcítico necessária para elevar o pH desses dois solos para 6,0, relatadas no trabalho de Ernani et al. (2001).

Os piques máximos de lixiviação de Ca e Mg e o retorno aos valores iniciais variaram com o solo. No solo mais argiloso (NV), as quantidades máximas percoladas ocorreram entre a terceira e a quarta percolação, enquanto no CH elas ocorreram já na segunda percolação. Maria et al. (1993) também verificaram que as maiores lixiviações de K, Ca e Mg

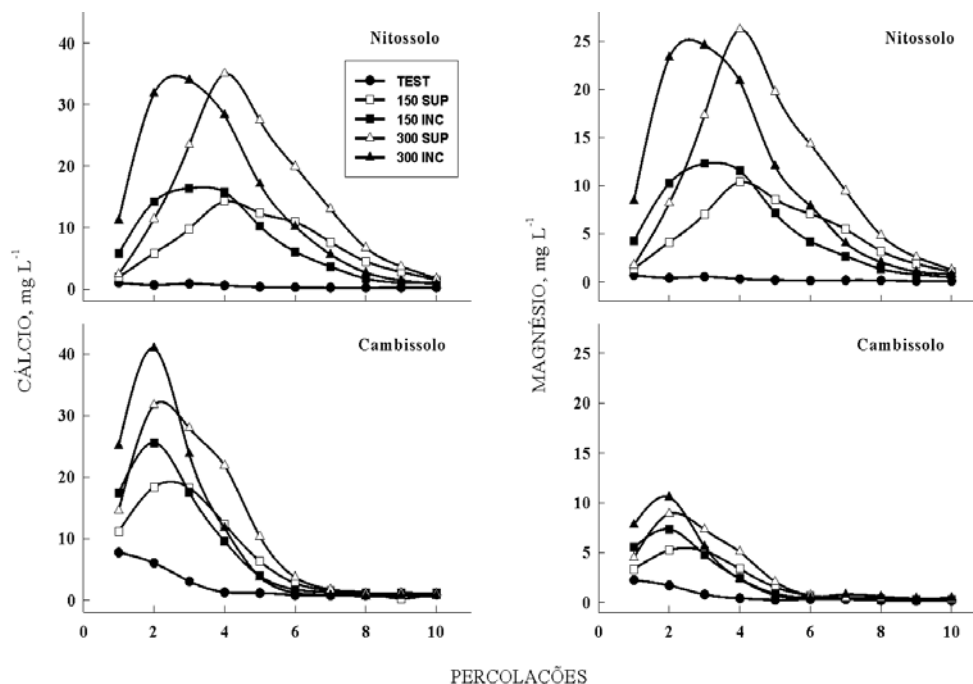


Figura 3. Teores de Ca e Mg na solução lixiviada em cada uma das dez percolações com água destilada considerando formas de aplicação [na superfície (SUP) ou incorporado (INC)] de doses de KCl (0, 150 e 300 mg kg⁻¹ de K) em dois solos catarinenses.

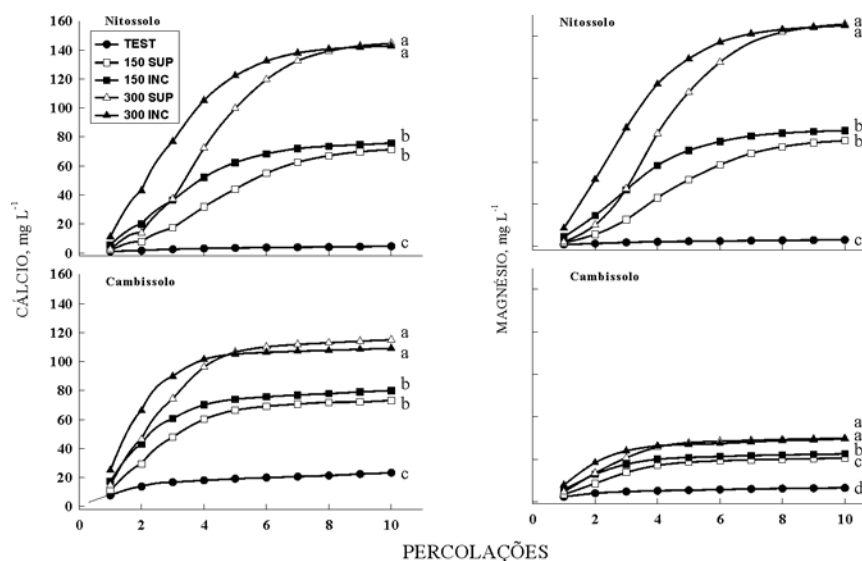


Figura 4. Teores de Ca e Mg lixiviados acumulados em dez percolações com água destilada considerando formas de aplicação [na superfície (SUP) ou incorporado (INC)] de doses de KCl (0, 150 e 300 mg kg⁻¹ de K) em dois solos catarinenses. Média de três repetições. Letras diferentes dentro de cada parâmetro de cada solo significa diferença estatística ($p = 0,05$) entre as doses de KCl.

decorrentes da adição de gesso agrícola em colunas de solo ocorreram no início das percolações, tendo sido já na primeira percolação para o solo de textura média e na segunda para o solo argiloso. As concentrações de Ca e Mg nas soluções percoladas deixam de ser alteradas pela adição do fertilizante potássico à medida que a troca de cátions provocada pela adição de K atinge um novo equilíbrio, e isso ocorreu entre a sétima

e a oitava percolação no NV e na quinta percolação no CH. O incremento na percolação de Ca e Mg, apesar de ter sido temporário, porque a troca de cátions não altera a capacidade de restabelecimento da solução do solo, pode resultar no aumento da disponibilidade desses dois cátions, pois coincide com o período inicial de crescimento das plantas, em que elas absorvem os nutrientes eficientemente.

CONCLUSÕES

1. A adição de KCl sobre a superfície dos solos promoveu boa descida de K, mas, apesar disso, as quantidades percoladas do nutriente foram pequenas.
2. A quantidade de K percolada aumentou com a dose e com a incorporação do fertilizante potássico e foi maior nas primeiras percolações de água.
3. A adição de KCl proporcionou grande aumento na concentração de Ca e Mg nas primeiras soluções percoladas, o que pode representar aumento temporário na disponibilidade desses dois cátions.

LITERATURA CITADA

- AKINREMI, O.O. & CHO, C.M. Phosphate transport in calcium-saturated systems: II. Experimental results in a model system. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 55:1282-1287, 1991.
- AKINREMI, O.O. & CHO, C.M. Phosphorus diffusion retardation in a calcareous system by coapplication of potassium chloride. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 57:845-850, 1993.
- ARAÚJO, C.A.S.; RUIZ, H.A.; SILVA, D.J.; FERREIRA, P.A.; ALVAREZ V, V.H. & BAHIA FILHO, A.F.C. Eluição de magnésio, cálcio e potássio de acordo com o tempo de difusão em colunas com agregados de um Latossolo Vermelho distrófico Típico. *R. Bras. Ci. Solo*, 27:231-238, 2003.
- AULAKH, M.S.; KHERA, T.S.; DORAN, J.W.; SINGH, K. & SINGH, B. Yields and nitrogen dynamics in a rice-wheat system using green manure and inorganic fertilizer. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 64:1867-1876, 2000.
- BARBER, S.A. A diffusion and mass flow concept of soil nutrient availability. *Soil Sci.*, 93:39-49, 1962.
- BASSOI, L.H. & CARVALHO, A.M. Lixiviação de macronutrientes em um solo cultivado com milho com e sem irrigação suplementar. *R. Bras. Ci. Solo*, 16:283-287, 1992.
- BERTOL, I. Índice de erosividade (EI_{30}) para Lages (SC) – 1ª aproximação. *Pesq. Agropec. Bras.*, 28:515-521, 1993.
- BUSTOS, A.; ROMAN, R.; CABALLERO, R.; DÍEZ, J.A.; CARTAGENA, M.C.; VALLEJO, A. & CABALLERO, A. Water and solute movement under conventional corn in central Spain. II. Salt leaching. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 60:1536-1540, 1996.
- CERETTA, C.A.; BASSO, C.J.; DIEKOW, J.; AITA, C.; PAVINATO, P.S.; VIEIRA, F.C.B. & VENDRUSCULO, E.R.O. Nitrogen fertilizer split-application for corn in no-till succession to black oats. *Sci. Agric.*, 59:549-554, 2002.
- CHAVES, L.H.G. & LIBARDI, P.L. Lixiviação de potássio e cálcio mais magnésio influenciada pelo pH. *R. Bras. Ci. Solo*, 19:145-148, 1995.
- CHEN, J. & GABELMAN, W. Morphological and physiological characteristics of tomato roots associated with potassium-acquisition efficiency. *Sci. Hortic.*, 83:213-225, 2000.
- CIOTTA, M.N.; BAYER, C.; ERNANI, P.R.; FONTOURA, S.M.V. & ALBUQUERQUE, J.A. Acidificação de um Latossolo sob plantio direto. *R. Bras. Ci. Solo*, 26:1055-1064, 2002.
- DEFELIPO, B.V. & BRAGA, J.M. Influência da calagem e fontes de potássio na adsorção de potássio em Latossolos de Minas Gerais. *R. Bras. Ci. Solo*, 7:119-122, 1983.
- DIEROLF, T.S.; ARYA, L.M. & YOST, R.S. Water and cation movement in an Indonesian Ultisol. *Agron. J.*, 89:572-579, 1997.
- ERNANI, P.R. & BARBER S.A. Composição da solução do solo e lixiviação de cátions afetadas pela aplicação de cloreto e sulfato de cálcio em um solo ácido. *R. Bras. Ci. Solo*, 10:41-46, 1993.
- ERNANI, P.R.; BAYER, C. & STECKLING, C. Características químicas de solo e rendimento de matéria seca de milho em função do método de aplicação de fosfatos, em dois níveis de acidez. *R. Bras. Ci. Solo*, 25:939-946, 2001.
- ERNANI, P.R.; SANGOI, L. & RAMPAZZO, C. Lixiviação e imobilização de nitrogênio num Nitossolo em função da forma de aplicação da uréia e da palha de aveia. *R. Bras. Ci. Solo*, 26:993-1000, 2002a.
- ERNANI, P.R.; DIAS, J. & FLORE, J.A. Annual additions of potassium to the soil increased apple yield in Brazil. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*, 33:1291-1304, 2002b.
- ERNANI, P.R.; MANTOVANI, A.; SCHEIDT, F.R. & NESI, C. Mobilidade de nutrientes em solos ácidos decorrentes da aplicação de cloreto de potássio e calcário. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29., Ribeirão Preto, 2003. Resumos expandidos. Ribeirão Preto, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. CD-ROM
- ERNANI, P.R.; BAYER, C. & RIBEIRO, M.F.S. Chemical modifications caused by liming below the limed layer in a predominantly variable charge acid soil. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*, 35:889-901, 2004.
- FANTE JR, L.; REICHARDT, K.; JORGE, L.A.C. & CRESTANA, S. Distribuição do sistema radicular do milho em Terra Roxa estruturada latossólica: I. Comparação de metodologias. *Sci. Agric.*, 3:513-518, 1994.
- ISHIGURO, M.; SONG, K.C. & YUITA, K. Ion transport in an Allophanic Andisol under the influence of variable charge. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 56:1789-1793, 1992.
- KLEPKER, D. & ANGHINONI, I. Modos de adubação, absorção de nutrientes e rendimento de milho em diferentes preparos de solo. *Pesq. Agropec. Gaúcha*, 2:79-86, 1996.
- MANTOVANI, A. Lixiviação de nitrogênio num Nitossolo Vermelho em função do pH do solo e da adição de fertilizantes nitrogenados com superfosfato triplo. Lages, Universidade do Estado de Santa Catarina, 2005. 59p. (Tese de Mestrado)

- SAARIJARVI, K.; VIRKAJARVI, P.; HINONEN-TANSKI, H. & TAIPALINEN, I. N and P leaching and microbial contamination from intensively managed pasture and cut sward on sandy soil in Finland. *Agric. Ecosys. Environ.*, 10:621-630, 2004.
- SANGOI, L.; ERNANI, P.R.; LECH, V.A. & RAMPAZZO, C. Lixiviação de nitrogênio afetada pela forma de aplicação da uréia e manejo dos restos culturais de aveia em dois solos com texturas contrastantes. *Ci. Rural*, 33:65-70, 2003.
- SANZONOWICZ, C. & MIELNICZUK, J. Distribuição do potássio no perfil de um solo, influenciado pela planta, fontes e métodos de aplicação de adubos. *R. Bras. Ci. Solo*, 9:45-50, 1985.
- SEIXAS, J.; ROLOFF, G. & RALISCH, R. Tráfego de máquinas e enraizamento do milho em plantio direto. *Ci. Rural*, 35:794-798, 2005.
- SOPRANO, E. & ALVAREZ V, V.H. Nutrientes lixiviados de colunas de solo tratadas com diferentes sais de cálcio. *R. Bras. Ci. Solo*, 13:25-29, 1989.