

# LIXIVIAÇÃO DE NITRATO E AMÔNIO EM COLUNAS INDEFORMADAS DE SOLOS DE UMA PEDOSSEQUÊNCIA DO ESTADO DO PARANÁ

Cristhiane Anete Neiverth – crisneiverth@yahoo.com.br (Escola de Engenharias/UNIBRASIL)

Paulo Leonel Libardi - pllibard@esalq.usp.br – (ESALQ – USP)

Marina de Lurdes Machado – marinamachado@unibrasil.com.br (Escolas de Engenharias/UNIBRASIL)

Fábio Alencar Schneider - fabioschneider@unibrasil.com.br (Escola de Engenharias/UNIBRASIL)

**RESUMO:** O uso intensivo do solo na agricultura associado ao consumo de fertilizantes nitrogenados tem causado a degradação acelerada dos mananciais. O estudo objetivou avaliar a lixiviação dos íons nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) e amônio ( $\text{NH}_4^+$ ) em colunas indeformadas de solos de uma pedossequência, no município de Ponta Grossa, Paraná e relacionar características químicas e físicas destes solos com a quantidade de  $\text{NH}_4^+$  e  $\text{NO}_3^-$  na água de percolação. Foram coletadas colunas de solos indeformadas de 0,5 m de comprimento, nas profundidades de 0 a 0,50 m e de 0,50 a 1,00 m. As amostras deformadas para caracterização física e química dos solos foram coletadas nas camadas de 0-0,1 m, 0,1-0,2 m, 0,2-0,3 m, 0,3-0,5 m e 0,5-1,0 m de profundidade. Foram descritos e amostrados os seguintes solos: Latossolo (não-hidromórfico), Cambissolo (semi-hidromórfico) e Gleissolo (hidromórfico). Nas colunas foram adicionadas quantidades de ureia e NPK equivalente à adubação recomendada para um ano e o volume de água adicionado foi equivalente a um ano de precipitação pluvial. Foram determinadas as concentrações de  $\text{NO}_3^-$  pelo método colorimétrico do salicilato e de  $\text{NH}_4^+$  pelo sistema FIA (Análise de Injeção de Fluxo) nas amostras de água eluídas nos solos. Os resultados das análises foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade, utilizando o programa SAS. A partir dos resultados obtidos concluiu-se que a lixiviação de nitrogênio nos três solos foi muito maior na forma N- $\text{NH}_4^+$  em relação à forma N- $\text{NO}_3^-$ .

**PALAVRAS-CHAVE:** colunas de solo indeformado, eluição, contaminação da água.

**INTRODUÇÃO:** O solo exerce a função de "filtro" depurando as impurezas nele depositadas, mas torna-se limitado quando há excesso de deposição, ocasionando inúmeros problemas aos recursos hídricos. Quando elementos químicos são depositados no solo representam um grande risco para saúde humana, pois podem reduzir a

qualidade da água, expondo pessoas e animais ao consumo de água poluída. A filtragem dos agroquímicos nos solos está diretamente relacionada com a lixiviação, definida como a translocação de sais solúveis que ocorre através do fluxo descendente de água no perfil do solo (Kiehl, 1987), sendo afetada por fatores físicos e químicos.

Nutrientes com alta mobilidade como o nitrogênio (N) atingem o volume de solo explorado pelas raízes rapidamente, porém, se perdem facilmente por lixiviação (Aulakh et al, 2000). O nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) no solo é resultante da aplicação ou da mineralização da matéria orgânica (MO), mas quando na solução do solo não é imobilizado pela microbiota e pode ser facilmente lixiviado, já que apresenta carga negativa, não sendo adsorvido pelos colóides do solo (Primavesi et al, 2006). Ao contrário, o N na forma de amônio ( $\text{NH}_4^+$ ) tem a lixiviação reduzida pela adsorção deste cátion no complexo de cargas negativas do solo (Sparks, 1995). A lixiviação é prejudicial tanto por razões econômicas como ambientais, podendo diminuir a produtividade e contribuir para a contaminação dos mananciais, pois a parte não utilizada pelas plantas pode permanecer no solo, ser incorporada como MO ou ser drenada pela zona radicular (Libardi et al, 1982).

A capacidade de retenção de N é influenciada pela textura do solo. Os solos argilosos possuem maior capacidade de retenção em relação aos arenosos, especialmente da forma amoniacal. A maior capacidade de armazenamento de água dos solos argilosos reduz a percolação da água pelo perfil e, conseqüentemente, o arraste de N para camadas inferiores do solo (Bortolini, 2000). Além da textura, o teor de MO pode interferir na lixiviação de N, em função da maior disponibilidade decorrente da decomposição da MO, especialmente quando a área não está sendo cultivada.

Concentrações de  $\text{NO}_3^-$  na água acima de 10 mg/L são prejudiciais, pois, no corpo humano reduzem a capacidade de transportar oxigênio (Owens, 1994). Para o  $\text{NH}_4^+$ , a concentração máxima sugerida pela Portaria do Ministério da Saúde nº. 518 de março de 2004 é de 3,7 mg/L de  $\text{NH}_4^+$  como limite para qualidade da água para consumo humano dentro do padrão de potabilidade (Brasil, 2004).

A presente pesquisa teve como objetivo avaliar a lixiviação dos íons  $\text{NO}_3^-$  e  $\text{NH}_4^+$  em colunas indeformadas de solos de uma pedossequência, no município de Ponta Grossa, Paraná, e relacionar características químicas e físicas destes solos com a quantidade de  $\text{NH}_4^+$  e  $\text{NO}_3^-$  na água de percolação.

**MATERIAL E MÉTODOS:** A área escolhida localiza-se na propriedade da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Transferência de Tecnologia, no município de

Ponta Grossa, Paraná, latitude sul de 25° 09' e longitude oeste de 50° 16'. A pedossequência escolhida é representativa dos Campos Gerais, onde predomina o sistema de plantio direto, sendo a região pioneira nesta atividade. A pedossequência apresenta forma radial longitudinal escultural e está inserida nos folhelhos de formação Ponta Grossa. A classificação climática da região, segundo Köppen, é subtropical úmido, mesotérmico. A temperatura média anual fica entre 17° e 18° C (Maack, 1981) e a precipitação média é de 1.712 mm anuais para o período de 2000-2010.

Os solos foram divididos em três classes de regimes hídricos e classificados de acordo com Embrapa (2006), como: Latossolo Bruno Distrófico rúbico (não-hidromórfico), Cambissolo Húmico Distrófico gleissólico (semi-hidromórfico) e Gleissolo Melânico Tb Distrófico típico (hidromórfico). O Gleissolo encontra-se no início da depressão da planície, o Cambissolo está distante 210 m do Gleissolo e o Latossolo está distante 640 m. O Latossolo e o Cambissolo representam 94,26 ha, com predomínio do cultivo do milho, soja e aveia, enquanto o Gleissolo representa apenas 40 ha. O Latossolo encontra-se no terço superior da paisagem, relevo suave ondulado com 7 % de declive, altitude de 872 m e acentuadamente drenado. O Cambissolo encontra-se no terço médio, relevo suave ondulado e declive de 4 %, altitude de 870 metros e moderadamente drenado. Os solos não apresentam erosão aparente e a vegetação primária é estepe montana dos Campos Gerais. O Gleissolo encontra-se no terço inferior, relevo plano e declive de 1 %, altitude de 860 m e muito mal drenado. O material originário é sedimento alúvio - coluvionar e a vegetação primária é estepe hidrófila montana dos Campos Gerais do Paraná.

Para cada solo, foram coletadas colunas de solos, com cinco repetições na superfície (0,0-0,5 m) e três repetições na subsuperfície (0,5-1,0 m). Na subsuperfície o número de repetições foi menor devido à maior homogeneidade dos solos, o que não ocorre na superfície. As colunas utilizadas são de material PVC, com 0,50 m de altura, 0,075 m de diâmetro interno e 0,009 m de espessura de parede. As coletas foram realizadas utilizando-se um amostrador, conectado à tomada de força de um trator New Holland TL 75E.

Após as coletas, as colunas foram embaladas em sacos plásticos e acondicionadas na posição vertical em caixas forradas com placas de isopor, para que durante o transporte não ocorressem alterações na estrutura do solo. As colunas foram fixadas no suporte de alumínio confeccionado para o experimento. Embaixo de cada coluna foram colocados frascos plásticos para a coleta do lixiviado. As extremidades

superiores das colunas foram cobertas com plástico para que o solo da superfície não ressecasse, sendo este retirado apenas no momento da aplicação de água. Na parte inferior foi colocado um tecido fino preso com elástico, encaixado no funil, para evitar perdas de material da amostra. Diariamente água destilada e deionizada era adicionada no período da manhã e, no período da tarde, recolhidos os frascos da água eluída, cujo volume era quantificado. As amostras foram armazenadas em refrigerador até o momento das análises. Os frascos eram recolhidos no período de seis horas para que não ocorresse transformações do N.

As colunas coletadas no campo foram levadas ao laboratório e antes de simular a precipitação pluvial, foi aplicado um volume total de 0,5 L de água destilada e deionizada para obtenção das amostras em branco. Este volume de água foi dividido em cinco aplicações diárias de 0,1 L de água em cada coluna. A aplicação foi feita com uma proveta, adicionando a água na parte superior de cada coluna. Depois desta etapa foram aplicados 0,1 L de água diariamente até completar um volume total de 3,464 L, equivalente à precipitação pluvial que ocorre na área. A quantidade de água aplicada corresponde à média da precipitação pluvial dos últimos 10 anos que ocorreu na região.

A primeira dose de adubo aplicada foi 554 mg de ureia (29,6 mg de N) em cada coluna, correspondente à aplicação de 1331 kg ha<sup>-1</sup> utilizado na área. No décimo terceiro dia do experimento foram aplicados 370 mg de NPK (8-25-15), 249,3 mg de N, sendo que o N aplicado estava na forma de sulfato de amônio, correspondendo a 2420 kg ha<sup>-1</sup>. Após o término do experimento de lixiviação, as colunas foram retiradas do suporte de alumínio e congeladas, após foram fracionadas, por meio de uma serra, em cinco partes de 0,10 m para quantificação imediata do NO<sub>3</sub><sup>-</sup> e NH<sub>4</sub><sup>+</sup> retidos nos solos.

Para as amostras de solo coletadas no campo, antes da adição da ureia e NPK, foi realizada a caracterização química dos três solos, em triplicata, nas camadas de 0-0,1 m, 0,1-0,2 m, 0,2-0,3 m, 0,3-0,5 m e 0,5-1,0 m de profundidade. As amostras foram analisadas quanto a: carbono orgânico (método colorimétrico), alumínio (extraído com KCl), cálcio, magnésio e potássio (método da resina) e fósforo (método colorimétrico), conforme metodologia descrita em Raij (1991). Os resultados das análises químicas encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1 - Análises químicas do Latossolo, Cambissolo e Gleissolo, nas camadas de 0-0,1 m, 0,1-0,2 m, 0,2-0,3 m, 0,3-0,5 m e 0,5-1,0 m de profundidade, média das triplicatas.

| <b>Solo</b> | <b>Prof.</b> | <b>H+Al</b> | <b>Al</b> | <b>Ca</b> | <b>Mg</b> | <b>K</b> | <b>P</b> | <b>MO</b> | <b>SB</b> | <b>CTC</b> | <b>CTA</b> | <b>V%</b> |
|-------------|--------------|-------------|-----------|-----------|-----------|----------|----------|-----------|-----------|------------|------------|-----------|
|-------------|--------------|-------------|-----------|-----------|-----------|----------|----------|-----------|-----------|------------|------------|-----------|

|             |           | cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> |      |     |     | g dm <sup>-3</sup> |     |       | cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> |      |      |      |
|-------------|-----------|------------------------------------|------|-----|-----|--------------------|-----|-------|------------------------------------|------|------|------|
| <b>Lat</b>  |           | 15,6                               | 0,2  | 0,9 | 0,6 | 0,6                | 0,6 | 42,5  | 2,1                                | 17,7 | 0,02 | 11,9 |
| <b>Camb</b> | 0-0,1 m   | 12,8                               | 0,1  | 0,7 | 1,3 | 0,3                | 0,2 | 40,8  | 2,3                                | 15,1 | 0,03 | 15,5 |
| <b>Glei</b> |           | 30,2                               | 0,8  | 1,1 | 0,9 | 0,7                | 0,0 | 101,2 | 2,7                                | 32,9 | 0,20 | 8,1  |
| <b>Lat</b>  |           | 14,4                               | 0,1  | 0,2 | 0,7 | 0,6                | 0,5 | 35,0  | 1,5                                | 15,9 | 0,02 | 9,4  |
| <b>Camb</b> | 0,1-0,2 m | 18,8                               | 0,4  | 1,4 | 0,4 | 0,2                | 0,1 | 37,9  | 1,9                                | 20,8 | 0,02 | 9,4  |
| <b>Glei</b> |           | 31,3                               | 1,4  | 1,6 | 0,2 | 0,2                | 0,0 | 60,5  | 2,0                                | 33,4 | 0,09 | 6,2  |
| <b>Lat</b>  |           | 11,7                               | 0,1  | 0,1 | 0,8 | 0,5                | 0,1 | 33,2  | 1,4                                | 13,1 | 0,02 | 10,6 |
| <b>Camb</b> | 0,2-0,3 m | 22,0                               | 0,5  | 1,3 | 0,5 | 0,2                | 0,0 | 32,4  | 1,9                                | 23,9 | 0,02 | 8,0  |
| <b>Glei</b> |           | 31,8                               | 1,3  | 1,7 | 0,1 | 0,1                | 0,0 | 51,3  | 1,9                                | 33,7 | 0,03 | 5,5  |
| <b>Lat</b>  |           | 13,2                               | 0,1  | 0,9 | 0,6 | 0,3                | 0,0 | 22,1  | 1,9                                | 15,1 | 0,02 | 12,5 |
| <b>Camb</b> | 0,3-0,5 m | 22,8                               | 0,5  | 1,4 | 0,3 | 0,1                | 0,0 | 30,3  | 1,8                                | 24,7 | 0,02 | 7,5  |
| <b>Glei</b> |           | 31,8                               | 1,3  | 1,7 | 0,1 | 0,1                | 0,0 | 33,5  | 1,8                                | 33,7 | 0,04 | 5,5  |
| <b>Lat</b>  |           | 13,9                               | 0,12 | 1,6 | 0,5 | 0,1                | 0,0 | 13,6  | 2,2                                | 16,2 | 0,03 | 13,5 |
| <b>Camb</b> | 0,5-1,0 m | 20,5                               | 0,1  | 1,8 | 0,5 | 0,0                | 0,0 | 12,3  | 2,4                                | 22,9 | 0,13 | 10,3 |

SB = Ca<sup>2+</sup>+Mg<sup>2+</sup>+K<sup>+</sup>; CTC = Ca<sup>2+</sup>+Mg<sup>2+</sup>+K<sup>+</sup>+H<sup>+</sup>+Al<sup>3+</sup>; V% = 100\*SB

Para as análises granulométricas foram coletadas amostras deformadas, em triplicata, nas mesmas camadas dos parâmetros químicos. Para determinação das porosidades (macro, micro e total) dos solos foram feitas coletas de amostras em anéis volumétricos de 58 mm de diâmetro e 30 mm de altura para as mesmas profundidades citadas. Os procedimentos foram realizados conforme metodologia da Embrapa (1997).

As distribuições granulométricas não apresentaram grandes variações em profundidade para o Latossolo e Cambissolo. O Latossolo apresenta textura argilosa na camada de 0-0,2 m e textura argilo-arenosa nas demais. O Cambissolo foi classificado como argilo-arenoso em todas as profundidades, sendo os dois solos predominantemente argilosos. O Gleissolo apresentou maiores variações ao longo do perfil. Na camada de 0-0,1 m foi classificado como franco-arenoso; 0,1-0,2 m e 0,3-0,5 m como areia- franca; 0,2-0,3 m como franco-argilo-arenoso, sendo, portanto, predominantemente arenoso. Os resultados das análises encontram-se na Tabela 2.

| Solo        | Profundidade       | AG                    | AF  | S   | Arg | PT                               | Macro | Micro |
|-------------|--------------------|-----------------------|-----|-----|-----|----------------------------------|-------|-------|
|             |                    | (g kg <sup>-1</sup> ) |     |     |     | cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> |       |       |
| <b>Lat</b>  |                    | 256                   | 253 | 117 | 375 | 0,6                              | 0,2   | 0,4   |
| <b>Camb</b> | <b>0,0 - 0,1 m</b> | 301                   | 199 | 124 | 376 | 0,6                              | 0,1   | 0,4   |
| <b>Glei</b> |                    | 469                   | 168 | 266 | 97  | 0,9                              | 0,8   | 0,1   |

|             |                    |     |     |     |     |     |     |     |
|-------------|--------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| <b>Lat</b>  |                    | 213 | 228 | 133 | 413 | 0,5 | 0,1 | 0,4 |
| <b>Camb</b> | <b>0,1 - 0,2 m</b> | 288 | 199 | 140 | 372 | 0,5 | 0,1 | 0,4 |
| <b>Glei</b> |                    | 440 | 386 | 69  | 106 | 0,9 | 0,9 | 0,1 |
| <b>Lat</b>  |                    | 251 | 234 | 120 | 395 | 0,5 | 0,1 | 0,4 |
| <b>Camb</b> | <b>0,2 - 0,3 m</b> | 282 | 194 | 123 | 400 | 0,6 | 0,1 | 0,5 |
| <b>Glei</b> |                    | 390 | 348 | 41  | 217 | 0,9 | 0,8 | 0,1 |
| <b>Lat</b>  |                    | 227 | 255 | 130 | 388 | 0,6 | 0,1 | 0,4 |
| <b>Camb</b> | <b>0,3 - 0,5 m</b> | 294 | 207 | 122 | 376 | 0,6 | 0,1 | 0,4 |
| <b>Glei</b> |                    | 534 | 257 | 116 | 93  | 0,8 | 0,8 | 0,1 |
| <b>Lat</b>  |                    | 240 | 226 | 99  | 435 | 1,0 | 0,2 | 0,2 |
| <b>Camb</b> | <b>0,5 - 1,0 m</b> | 289 | 192 | 110 | 410 | 0,5 | 0,1 | 0,4 |

AG: Areia grossa; AF: areia fina; S: silte, Arg: argila; PT: porosidade total; macro: macroporosidade; micro: microporosidade.

Para as concentrações de  $\text{NO}_3^-$  nas amostras de água eluídas e solos foram feitas extrações utilizando  $\text{KCl } 1 \text{ mol L}^{-1}$ , na relação solo:extrator de 1:10. Após agitação em agitador horizontal, por 60 min, o extrato foi obtido por filtração. O  $\text{NO}_3^-$ , presente no extrato, foi determinado utilizando-se o método colorimétrico do salicilato, proposta por Yang et al. (1998). Para as leituras de  $\text{NH}_4^+$  na água eluída e solos foi utilizado o sistema FIA (Análise de Injeção em Fluxo) (Kamogawa & Teixeira, 2009).

Os resultados do volume de água eluída foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade, utilizando o programa SAS. Foram feitas correlações entre as quantidades dos íons  $\text{NH}_4^+$  e  $\text{NO}_3^-$  lixiviados e os parâmetros químicos e físicos do solo determinados.

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** Os valores médios diários do volume (L) de água eluído das colunas de solos de superfície (0-0,5 m) e subsuperfície (0,5-1,0) em três períodos do experimento, branco (sem adição de ureia e NPK), ureia e NPK foram de 0,071 L, 0,052 L, 0,076 L, 0,054 L e 0,069 L para o Latossolo (superfície), Cambissolo (superfície) e Gleissolo (superfície) e Latossolo (subsuperfície) e Cambissolo (subsuperfície), respectivamente.

Os Latossolos, geralmente são bem drenados, bem estruturados, porosos e profundos, com pequena diferenciação entre os horizontes (Embrapa, 2006). O Latossolo apresentou um volume de eluição muito maior em relação ao Cambissolo, embora na camada de 21 cm até 31 cm apresente compactação devido à atividade agrícola na área. O Cambissolo encontra-se compactado entre 20 e 30 cm e adensado em 40 cm de profundidade, tornando-se mal drenado, com impedimento ao

enraizamento e inadequado para grande parte das culturas (Sá, 2007). O Gleissolo, com maior volume de eluição para os três períodos, apresenta permeabilidade muito alta dos horizontes superficiais devido às suas características fíbricas, as quais possuem as menores Ds, maior macroporosidade e aeração e, provavelmente, boa conectividade dos poros.

O Latossolo e o Cambissolo de subsuperfície não apresentaram diferenças estatísticas para o período branco, mas nos demais períodos os dois solos diferenciaram-se entre si. Ao contrário dos solos das colunas de superfície, o Cambissolo de subsuperfície apresentou maior volume de água eluída. O Latossolo apresentou na subsuperfície muitos poros nos horizontes Bw<sub>1</sub> e Bw<sub>2</sub>, representando os solos de maior potencial agrícola e estabilidade ambiental na área dos Campos Gerais por serem profundos, bem estruturados e de elevada permeabilidade (Sá, 2007). O Cambissolo apresentou no horizonte B<sub>ig</sub> poros grandes, justificando o alto volume de água eluída.

A figura 1 apresenta a concentração média (mg/L) de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> e NO<sub>3</sub><sup>-</sup> lixiviado do Latossolo, Cambissolo e Gleissolo de superfície (sup) (0-0,5 m) e subsuperfície (sub) (0,5-1,0 m) em três períodos do experimento: branco (sem adição de ureia e NPK), ureia e NPK.

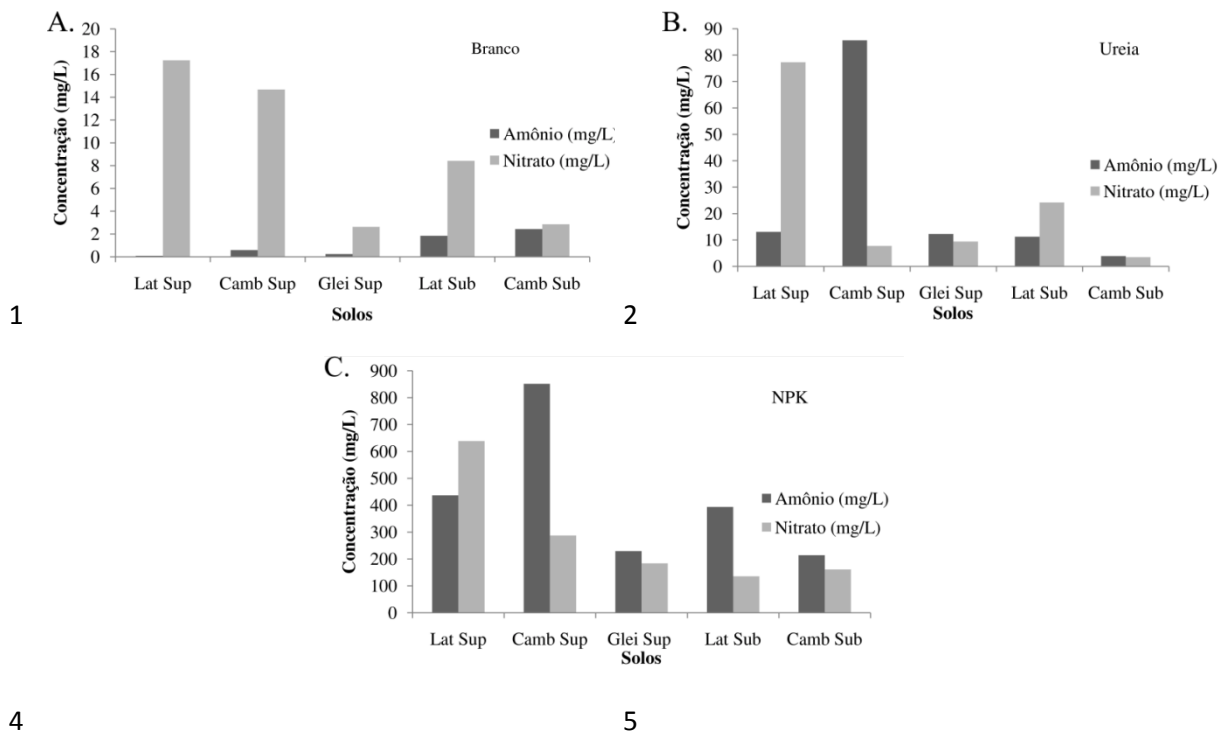


Figura 1. Concentração (mg/L) de amônio e nitrato lixiviado do Latossolo, Cambissolo e Gleissolo de superfície (sup) (0-0,5 m) e subsuperfície (sub) (0,5-1,0 m) em

três períodos do experimento: branco (sem adição de ureia e NPK), ureia e NPK. Média de cinco repetições.

A figura 1A apresenta o primeiro período do experimento, denominado branco, antes da adição da ureia e do NPK. Observa-se que a concentração (mg/L) de  $\text{NO}_3^-$  lixiviado foi maior em relação ao  $\text{NH}_4^+$  para todos os solos analisados, destacando-se o Latossolo (superfície) que apresentou a maior concentração em relação aos demais. O Gleissolo apresentou a menor concentração (mg/L), tanto para o  $\text{NO}_3^-$  quanto para o  $\text{NH}_4^+$ .

O segundo período do experimento (Figura 1B) apresenta as concentrações de  $\text{NO}_3^-$  e  $\text{NH}_4^+$  lixiviado dos solos analisados após a aplicação da ureia. O Latossolo (superfície e subsuperfície) apresentou a mesma tendência do período anterior, em que a concentração (mg/L) de  $\text{NO}_3^-$  foi superior a de  $\text{NH}_4^+$ . Porém, os demais solos (Cambissolo de superfície e subsuperfície) apresentaram maior concentração de  $\text{NH}_4^+$  em relação ao  $\text{NO}_3^-$ .

A figura 1C apresenta a concentração de  $\text{NO}_3^-$  e  $\text{NH}_4^+$  para o terceiro período do experimento, após a aplicação do NPK. Ao contrário dos períodos anteriores a concentração de  $\text{NH}_4^+$  lixiviada foi superior em relação ao  $\text{NO}_3^-$ , com exceção do Latossolo de superfície, em que o  $\text{NO}_3^-$  foi superior. Considerando que este período foi mais longo em relação aos demais, pode-se afirmar que a lixiviação de  $\text{NH}_4^+$  foi superior em relação ao  $\text{NO}_3^-$ .

A concentração (mg/L) de  $\text{NH}_4^+$  lixiviada esteve acima dos índices máximos sugeridos pelo Ministério da Saúde Portaria nº. 518 de 2004 (Brasil, 2004), que estabelece o valor de 3,7 mg/L de  $\text{NH}_4^+$ . Estes índices estiveram acima para todos os lixiviados dos solos nos períodos após a aplicação da ureia e do NPK. O período branco não apresentou índices acima do permitido pela legislação. A concentração de  $\text{NO}_3^-$  esteve acima do limite máximo permitido pelo Conama (Brasil, 2005) de 10 mg/L para o Latossolo e o Cambissolo de superfície no período branco, Latossolo de superfície e subsuperfície para o período após a aplicação da ureia e todos os lixiviados dos solos após a aplicação do NPK.

O Quadro 3 apresenta as duas formas quantificadas de N: N- $\text{NH}_4^+$  e N- $\text{NO}_3^-$  lixiviada e retida nos solos das colunas para o Latossolo de superfície (Lat S), Latossolo de Subsuperfície (Lat Sub), Cambissolo de Superfície (Camb S), Cambissolo de Subsuperfície (Camb Sub) e Gleissolo de Superfície (Glei S).



Quadro 3. As duas formas quantificadas de N: N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> e N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> na água de eluição e retido nos solos das colunas.

| <b>Nitrogênio (mg) lixiviado e retido</b>     |              |                |               |                 |               |
|---|--------------|----------------|---------------|-----------------|---------------|
|   | <b>Lat S</b> | <b>Lat Sub</b> | <b>Camb S</b> | <b>Camb Sub</b> | <b>Glei S</b> |
| <b>N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> lixiviado</b> | 27,20        | 19,60          | 25,10         | 17,80           | 10,00         |
| <b>N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> lixiviado</b> | 15,40        | 2,50           | 2,20          | 3,20            | 3,50          |
| <b>Total lixiviado</b>                        | <b>42,60</b> | <b>22,10</b>   | <b>27,30</b>  | <b>21,00</b>    | <b>13,50</b>  |
| <b>N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> retido</b>    | 0,49         | 9,52           | 4,71          | 5,84            | 1,58          |
| <b>N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> retido</b>    | 0,00         | 0,00           | 0,00          | 0,01            | 0,77          |
| <b>Total retido</b>                           | <b>0,49</b>  | <b>9,52</b>    | <b>4,71</b>   | <b>5,85</b>     | <b>2,35</b>   |

Onde: Latossolo superfície (Lat S), Latossolo Subsuperfície (Lat Sub), Cambissolo Superfície (Camb S), Cambissolo Subsuperfície (Camb Sub) e Gleissolo Superfície (Glei S).

Em todas as colunas de solos analisadas (superfície e subsuperfície), foram adicionados 278,90 mg de N. O solo com maior quantidade de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> na água de eluição foi o Latossolo (superfície), 27,20 mg, seguido do Cambissolo (superfície), 25,10 mg (Quadro 3). Os solos de subsuperfície apresentaram o mesmo comportamento, o Latossolo com 19,60 mg e o Cambissolo com 17,80 mg. O Gleissolo foi o que apresentou a menor lixiviação de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, 10,00 mg. Em relação à quantidade de N, a lixiviação de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> foi muito menor em relação à quantidade aplicada. Os resultados concordam com Prasertsak et al. (2001) que afirmam que menos de 5% do N aplicado é lixiviado para camadas de solo superiores a 30 cm de profundidade. O N pode ser absorvido nas raízes sob a forma de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> ou NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, pode ser incorporado em aminoácidos na própria raiz ou na parte aérea da planta. Jadoski et al. (2010) descreve que para o N na forma de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, a lixiviação é reduzida pela adsorção deste cátion no complexo de cargas negativas do solo, embora a capacidade de adsorção do N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, de acordo com a serie liotrópica, seja menor em relação à de outros cátions, como Ca e Mg.

A quantidade de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> na água de eluição foi menor em relação ao N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> para todos os solos analisados. O Latossolo (superfície) apresentou 15,40 mg e o Gleissolo, 3,50 mg. Para o Latossolo (subsuperfície), a quantidade foi inferior na superfície, 2,50 mg. O Cambissolo apresentou quantidades menores, 2,20 mg e 3,20 mg, para a superfície e subsuperfície, respectivamente. Nas duas profundidades estudadas, os teores de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> foram baixos no solo, podendo atribuir a adubação com ureia. Esta, quando aplicada ao solo, transforma-se em amônia (NH<sub>3</sub>) gasosa e NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (Jadoski et al.

2010). O N integrante da ureia necessita de duas reações (hidrólise e nitrificação) até atingir a forma nítrica. Isso pode retardar a lixiviação de  $\text{NO}_3^-$  em relação aos fertilizantes nítricos, uma vez que essas reações não são imediatas e o  $\text{NH}_4^+$  pode ficar temporariamente retido nas cargas negativas. Além disso, a dissolução da ureia eleva o pH do solo nas primeiras semanas nas adjacências dos grânulos do fertilizante (Kiehl, 1989), com reflexos no aumento das cargas negativas e, conseqüentemente, no aumento da adsorção de  $\text{NH}_4^+$ . Para o total de N quantificado na água de eluição ( $\text{N-NH}_4^+$  e  $\text{N-NO}_3^-$ ), o Latossolo (superfície) e o Cambissolo (superfície) apresentaram as maiores lixiviações, 42,60 mg e 27,30 mg, respectivamente. O Gleissolo apresentou a menor quantidade (mg) de  $\text{N-NH}_4^+$  e  $\text{N-NO}_3^-$  de todos os solos avaliados, com 13,50 mg. Os solos de subsuperfície apresentaram valores próximos, 22,10 mg e 21,00 mg para o Latossolo e o Cambissolo, respectivamente. Alguns autores destacam a baixa lixiviação dos adubos nitrogenados, em relação à quantidade aplicada. Sousa & Lobato (2004) descrevem que as perdas totais de N no solo são 43 % provenientes da desnitrificação e no máximo 29 % são perdidos na forma de lixiviação de  $\text{NO}_3^-$ , processo que é mais acentuado em condições de alta umidade do solo.

O Latossolo (subsuperfície) apresentou a maior quantidade de  $\text{N-NH}_4^+$  retido, 9,52 mg, seguido do Cambissolo (superfície e subsuperfície) com 4,71 mg e 5,84 mg de  $\text{N-NH}_4^+$ , respectivamente. O Gleissolo apresentou menor quantidade de  $\text{N-NH}_4^+$  retido, 1,58 mg e o Latossolo (superfície) apresentou a menor quantidade em relação aos demais solos, com apenas 0,49 mg de  $\text{N-NH}_4^+$ . Costa et al. (2008) afirmam que a disponibilidade de N no solo depende do balanço entre os processos de mineralização e os de imobilização. O processo de mineralização do N, que converte as formas orgânicas de N à formas inorgânicas, ocorre à medida que os microrganismos do solo decompõem a MO. Esse processo se inicia com a aminização (transformação do N orgânico em  $\text{N-NH}_2$ ) seguida da amonificação (transformação da  $\text{N-NH}_2$  em  $\text{N-NH}_3$ ). A amônia formada ( $\text{N-NH}_3$ ), após combinar-se com a água fornece o íon  $\text{N-NH}_4^+$  que é uma forma passível de ser absorvida pelas plantas. Em condições favoráveis ao crescimento das plantas a maior parte do íon  $\text{N-NH}_4^+$  é rapidamente convertido a  $\text{N-NO}_3^-$  por ação de bactérias nitrificantes. Esse é o processo de desnitrificação que devido à liberação de íons  $\text{H}^+$  promove a acidificação do solo (Melgar et al, 1999).

O Cambissolo (superfície e subsuperfície) e o Latossolo (superfície) não apresentaram nenhuma quantidade (mg) de  $\text{N-NO}_3^-$  retido. O Latossolo (subsuperfície) apresentou baixa retenção, apenas 0,01 mg. O Gleissolo apresentou a maior retenção

dos solos analisados, com 0,77 mg de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>. Vários autores quantificando a recuperação de N encontraram valores maiores para o N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> em relação ao N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>. Entre eles, Moreira & Siqueira (2006), que com a aplicação de N por ambas as fontes reduziu o pH do solo, fato que explica o maior teor de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> em relação ao N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, na profundidade de 0-20 cm devido ao processo de nitrificação mediado pelas bactérias dos gêneros Nitrosomonas e Nitrobacter, sendo essas muito sensíveis a valores de pH menores que 6,0 e nulas em pH menor que 4,5. Costa et al. (2008) observaram que nos tratamentos em que se aplicou N, os teores de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> no solo foram sempre maiores que o de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>. Campos (2004), trabalhando com sulfato de amônio na cultura do milho em solo sob pastagem de capim-braquiária, constatou maior predominância da forma amoniacal sobre a nítrica.

Para o N total quantificado (N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> e N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), o Latossolo apresentou menor retenção na superfície, 0,49 mg, e maior retenção na subsuperfície, 5,85 mg. O Cambissolo apresentou maior retenção na superfície, 9,52 mg, e menor na subsuperfície, 2,35 mg. Já o Gleissolo apresentou maior retenção de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> e menor de NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, com total de 4,71 mg. O N apresentou uma eficiência baixa. Estes resultados demonstram que a recomendação da dose de N na semeadura do milho, deve partir de uma avaliação caso a caso (Fernandes et al, 2007). Raun & Johnson (1999) destacam que a eficiência média do uso do N em cereais é de apenas 33 %, considerando os 67 % de N que não são aproveitados e que a quantificação desses processos pode variar com o tempo e, com a natureza do resíduo orgânico em decomposição, além de depender da atividade microbiana do solo (Aita & Giacomini, 2007).

A Figura 4 apresenta os coeficientes de determinação (r<sup>2</sup>) entre parâmetros químicos e físicos e a quantidade (mg) dos íons NH<sub>4</sub><sup>+</sup> e NO<sub>3</sub><sup>-</sup> na água eluída. Foram consideradas separadamente a quantidade de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> e NO<sub>3</sub><sup>-</sup> na água eluída do Latossolo, Cambissolo e Gleissolo com cada parâmetro físico e químico para testar o coeficiente de correlação (r). Aos resultados que foram significativos a 5 % de probabilidade, fez-se o teste do coeficiente linear de determinação (r<sup>2</sup>). Os parâmetros que apresentaram uma qualidade de ajuste superior a r<sup>2</sup>=0,60 foram considerados no Quadro abaixo.

Figura 4 - Coeficientes de determinação (r<sup>2</sup>) entre os parâmetros químicos e físicos e a quantidade (mg) dos íons amônio e nitrato na água eluída:

| Solos      | M.O. | Amônio lixiviado |        |      |       | Nitrato lixiviado |      |
|------------|------|------------------|--------|------|-------|-------------------|------|
|            |      | CTA              | argila | PT   | micro | Ca                | K    |
| Latossolo  | —    | —                | 0,65   | 0,98 | 0,98  | 0,60              | 0,73 |
| Cambissolo | 0,85 | 0,99             | —      | —    | —     | —                 | —    |

M.O.: matéria orgânica, CTA: capacidade de troca de ânions, PT: porosidade total, micro: microporosidade; Ca: Cálcio.

A quantidade (mg) de  $\text{NH}_4^+$  lixiviada e os teores de M.O. do Cambissolo apresentaram  $r^2=0,85$ . A equação obtida foi  $y=2,56x-46,70$ , sendo y a quantidade em mg de  $\text{NH}_4^+$  e o teor de M.O. em  $\text{g/dm}^3$ , a qual mostra a relação direta de aumento de lixiviação do íon  $\text{NH}_4^+$  com o aumento de MO no solo. Embora o solo com maior teor de MO tenha sido o Gleissolo (Quadro 2), a maior quantidade (mg) de  $\text{NH}_4^+$  lixiviada foi para o Cambissolo. Malavolta (2006) afirma que a MO é a principal fonte de N do solo e, portanto, grande parte do N total do solo está na forma orgânica. Sá et al. (2011) afirmam que a maior quantidade (mg) de  $\text{NH}_4^+$  em um Latossolo Vermelho ocorreu na camada de 0-2,5 cm, depois da aplicação de N em cobertura na cultura do trigo, onde se encontra o maior teor de MO, indicando que tais atributos variam juntos no sistema. Costa et al. (2008) afirmam que os teores de MO foram influenciados pelas doses e fontes de N na camada de 0-20 cm, apresentando ajuste linear com aumento das doses de N, para ambas as fontes.

O coeficiente de determinação entre a CTA x  $\text{NH}_4^+$  no lixiviado do Cambissolo foi alta,  $r^2=0,99$  e a equação obtida foi de  $y=-0,011x+0,38$ , em que  $y=\text{CTA (cmol}_c)$  e  $x=\text{mg de } \text{NH}_4^+$ , mostrando como deveria se esperar que quanto maior a CTA menor é a quantidade de  $\text{NH}_4^+$  lixiviado. Embora a CTA tenha sido maior para o Gleissolo, a quantidade (mg) de  $\text{NH}_4^+$  foi maior para o Cambissolo (superfície e subsuperfície) (Quadro 2). Primavesi et al (2005) afirmam que a absorção de ânions pelo capim “coastcross” aumentou em função das doses de N aplicadas na forma de ureia. Deer et al. (1992) afirmam que em solos com caulinita, como o Cambissolo, a CTA é relevante e pode ser atribuída à presença de cargas positivas nas faces laterais (arestas), onde ânions podem ser adsorvidos.

A quantidade (mg) de  $\text{NH}_4^+$  lixiviado do Latossolo relacionou-se de maneira inversa com o teor de argila –  $\text{g kg}^{-1}$  ( $y=-4,22x+540,63$ ) apresentando um coeficiente de determinação de  $r^2=0,65$ . Segundo Riccomini et al. (2000), os acréscimos dos teores de argila no Latossolo e Cambissolo concordam com o fato de se ter maior distanciamento do leito e menor altimetria de planícies, o Latossolo apresentou a maior quantidade de  $\text{NH}_4^+$  depois da aplicação do NPK.

A quantidade (mg) de  $\text{NH}_4^+$  lixiviada apresentou coeficiente de determinação alto para a sua relação com a PT ( $r^2=0,98$ ), e a micro ( $r=0,97$ ) para o Latossolo a primeira relação de forma inversa e a segunda de forma direta, com as equações  $\text{NH}_4^+=-$

$0,055PT+2,45$  e  $NH_4^+=0,019micro-0,26$ , respectivamente. A PT no Gleissolo foi elevada, com forte contribuição da macro em relação a microporosidade. Já os teores de micro no Latossolo e no Cambissolo foram superiores ao Gleissolo (Quadro 2), concordando com Hillel (1980) que verificou acréscimo na fração argila com o aumento da microporosidade e, conseqüentemente, na diminuição da AD. Curcio (2006) afirma que a maior relação areia grossa/fina justifica abaixa PT, bem como à equidade entre macro e microporosidade. No Latossolo, em superfície, pode ser observado o efeito da MO na geometria dos poros, aumentando a microporosidade.

Os resultados concordam com Reichardt & Timm (2004) que afirmam que em solos de textura mais arenosa predominam os macroporos e nos solos de textura mais argilosa, prevalecem os microporos. Os mesmos autores afirmam que em subsuperfície verifica-se um decréscimo da PT determinada pela diminuição dos microporos, fato intimamente atrelado ao decréscimo dos teores de argila e MO. Este comportamento não foi encontrado nos solos estudados, em que os valores praticamente permaneceram constantes nas últimas profundidades avaliadas dos três solos (Quadro 2).

O Ca apresentou coeficiente de determinação de  $r^2=0,60$  com a quantidade (mg) de  $NO_3^-$  lixiviado do Cambissolo, embora os maiores teores de Ca tenham ocorrido para o Gleissolo e os menores para o Latossolo (Quadro 2). Primavesi et al. (2005) afirmam que com acréscimo das doses de N, ocorreu decréscimo linear do Ca. No caso presente, a equação obtida foi  $NO_3^-=-0,018Ca+1,77$ .

A quantidade (mg) de  $NO_3^-$  lixiviada e o teor de K ( $cmol_c dm^{-3}$ ) apresentaram  $r^2=0,73$ . A equação obtida foi  $y = 0,0065x+0,0484$ , a qual mostra a relação direta de lixiviação do íon  $NO_3^-$  com o aumento de K no solo. Barbosa Filho et al. (2005) afirmam ser a recomendação geral aplicar o K na época do plantio, juntamente com N e P. Contudo, com drenagem excessiva e CTC baixa, poderá haver consideráveis perdas de K por lixiviação, tendo em vista o comportamento desse elemento no solo (não sofre fixação). Essas condições são muito comuns no Brasil, o que predispõe a grandes perdas de nutrientes por lixiviação. Rajj (1991) afirma que o risco de lixiviação desse elemento é maior nos com baixo teor de MO. Considerando o  $NO_3^-$ , a menor mobilidade do K está relacionada ao caráter aniônico do primeiro, que leva à sua repulsão pelas cargas negativas predominantes no solo.

**CONCLUSÕES:** O volume de eluição para os solos da coluna de superfície e subsuperfície foram maiores para o Gleissolo e o Cambissolo, respectivamente. As

colunas de solo de superfície apresentaram maior lixiviação de  $\text{N-NH}_4^+$  e  $\text{N-NO}_3^-$  para o Latossolo. Na subsuperfície, a lixiviação de  $\text{N-NH}_4^+$  foi maior para o Latossolo e a de  $\text{N-NO}_3^-$  foi maior para o Cambissolo. Para o  $\text{N-NH}_4^+$ , a retenção foi maior para o Cambissolo nas colunas de superfície e para o Latossolo nas colunas de subsuperfície. Com relação ao  $\text{N-NO}_3^-$  praticamente não houve retenção nos solos estudados. Houve uma correlação linear positiva da quantidade de  $\text{NH}_4^+$  lixiviada com a matéria orgânica e negativa com a capacidade de troca aniônica, no Cambissolo. Com relação ao  $\text{NO}_3^-$  lixiviado houve dependência funcional (linear) apenas no Latossolo e somente com os teores de cálcio e potássio no solo, sendo negativa com o cálcio e positiva com o potássio. Para os parâmetros físicos houve correlação apenas no Latossolo e para a quantidade de  $\text{NH}_4^+$  com o teor de argila (negativa), porosidade total (negativa) e microporosidade (positiva) do solo. A lixiviação de nitrogênio nos três solos foi muito maior na forma  $\text{N-NH}_4^+$  em relação à forma  $\text{N-NO}_3^-$ .

#### **LITERATURA CITADA:**

- AITA, C. & GIACOMINI, S.J. Matéria orgânica do solo, nitrogênio e enxofre nos diversos sistemas de exploração agrícola. In: SIMPÓSIO SOBRE NITROGENIO E ENXOFRE NA AGRICULTURA BRASILEIRA, 2007. Piracicaba. Anais... Piracicaba: IPNI Brasil, 2007. 722p.
- 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.
- BAKSH, A.; KANWAR, R.S.; JAYNES, D.B.; COLVIN, T.S. & AHUJA, L.R. Prediction of  $\text{NO}_3^-$  losses with subsurface drainage water from manured and UAN-fertilized plots using GLEAMS. *T. ASAE*, 43:69-77, 2000.
- BARBOSA FILHO, M.P.; FAGERIA, N.K. & SILVA, O.F. Fontes, doses e parcelamento da adubação nitrogenada em cobertura para feijoeiro comum irrigado. *Ci. Agrotec.*, 29:69-76, 2005.
- BORTOLINI, C.G. Eficiência do método de adubação nitrogenada em pré-semeadura do milho implantado em semeadura direta após aveia preta. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2000. 48p. (Dissertação de Mestrado)
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. CONAMA. Resolução nº 357 de 17 de março de 2005. *Diário Oficial da União*, Brasília, 18 de março de 2005. Seção 1, p.58-63.
- BRASIL - Ministério da Saúde (MS). Portaria MS nº 518/2004. Ministério da Saúde, Secretaria de Vigilância em Saúde, Coordenação-Geral de Vigilância em Saúde Ambiental. Brasília: Editora do Ministério da Saúde, 2004.
- CAMPOS, A.X. Fertilização com sulfato de amônio na cultura do milho em um solo do cerrado de Brasília sob pastagem de *Brachiaria decumbens*. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, 2004. 131p. (Tese de Doutorado)
- COSTA, K.A.P.; FAQUIN, V.; OLIVEIRA, I.P.; RODRIGUES, C. & SEVERIANO, E.C. Doses e fontes de Nitrogênio em pastagem de capim-marandu. I – Alterações nas características químicas do solo. *R. Bras. Ci. Solo*, 32:1591-1599, 2008.

- CURCIO, G.R. Relações entre geologia, geomorfologia, pedologia e fitossociologia nas planícies fluviais do Rio Iguaçu, Paraná, Brasil. Curitiba, Universidade Federal do Paraná, 2006. 488p. (Tese de Doutorado)
- DEER, W.A.; HOWIE, R.A. & ZUSSMAN, J. An introduction to the rock forming Minerals. 2.ed. Longman, London, 1992. 696p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análises de solo. 2.ed. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 1997. 212p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2.ed. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 2006. 306p.
- FERNANDES, F.C.S.; LIBARDI, P.L. & SILVA, M.M. Efeito da adubação nitrogenada nas propriedades químicas de um Latossolo, cultivado com milho em sucessão à aveia-preta, na implantação no sistema de plantio direto. Acta. Sci. Agron. 29:639-647, 2007.
- HILLEL, D. Fundamentals of soil physics. New York, Academic Press, 1980. 413p.
- JADOSKI, S.O.; SAITO, L.R.; PRADO, C.P.; LOPES, E.C. & SALES, L.L.S.R. Características da lixiviação de nitrato em áreas de agricultura intensiva. Pesqui. Apl. Agrotec. 3:193-200, 2010.
- KAMOGAWA, M.Y. & TEIXEIRA, M.A. Auto-amostrador de baixo custo para análise por injeção em fluxo. Quím. Nova, 32:1644-1646, 2009.
- KIEHL, J.C. Nitrogênio: Dinâmica e disponibilidade no solo. In: Curso DE ATUALIZAÇÃO EM FERTILIDADE DO SOLO, 1., 1987, Ilha Solteira, Papéis...Ilha Solteira. Campinas: Fundação Cargil, 1987. p.139-157.
- KIEHL, J.C. Distribuição e retenção da amônia no solo após aplicação de uréia. R. Bras. Ci. Solo, 13:75-80, 1989.
- LIBARDI, P.L.; VICTORIA, R.L.; REICHARDT, K. & CERVellini, A. nitrogen cycling in a 15-N fertilized bean (*Phaseolus vulgaris* L.) crop. Plant Soil, 67:193-208, 1982.
- MAACK, R. Geografia Física do Estado do Paraná. 2.ed. Rio de Janeiro, J. Olympio, 1981. 450p.
- MALAVOLTA, E. Manual de Nutrição Mineral de Plantas. 1. ed. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 2006. 638 p.
- MELGAR, R.J; CAMOZZI, M.E. & FIGUEROA, M.M. Guia de fertilizantes, enmiendas y productos nutricionales. Buenos Aires: Instituto Nacional de Tecnologia Agropecuária, 1999. cap.1, p.13-25.
- MOREIRA, F.M.S. & SIQUEIRA, J.O. Microbiologia e bioquímica do solo. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 2006. 729p.
- OWENS, L.B. Impacts of soil N management on the quality of surface and subsurface water. In: LAL, R.; STEWART, B.A., eds. Soil processes and water quality. Lewis Publication, 1994. p.137-162.
- PRASERTSAK, P.; FRENEY, P.G.; DENMEAD, O.T. & PROVE, B.G. Fate of urea nitrogen applied to a banana crop in the wet tropics of Queensland. Nutr. Cycling Agroecosyst., 59:65-73, 2001.
- PRIMAVESI, A.C.; PRIMAVESI, O.; CORRÊA, L.A.; CANTARELLA, H. & SILVA, A.G. Absorção de cátions e ânions pelo capim-coastcross adubado com uréia e nitrato de amônio. Pesq. Agropec. Bras., 40:247-253, 2005.
- PRIMAVESI, A.C.; PRIMAVESI, O.; CORRÊA, L.A.; SILVA, A.G. & CANTARELLA, H. Lixiviação de nitrato em pastagens de *coastcross* adubada com nitrogênio. R. Bras. Zootec. 35:683-690, 2006.

RAIJ, B. van. Fertilidade do solo e adubação. Piracicaba: Agronômica Ceres, Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1991. 343p.

RAUN, W.R. & JOHNSON, G.V. Improving nitrogen use efficiency for cereal production. *Agron. J.*, 91:357-363, 1999.

REICHARDT, K. & TIMM, L.C. Solo, planta e atmosfera: Conceitos, processos e aplicações. São Paulo, Manole, 2004. 478p.

RICCOMINI, C.; GIANNINI, P. C. F. & MANCINI, F. Rios e Processos Aluviais. In: TEXEIRA, W.; TOLEDO, M.C.M.; FAIRCHILD, T.R. & TAIOLI, F., eds. Decifrando a terra. São Paulo: Oficina de Textos, 2000. p.191-214.

SÁ, J.C.M.; CARDOSO, E.G.; BRIEDIS, C.; FERREIRA, A.O.; BORSZOWSKI, P.R.; SANTOS, J.B.; MASSINHAM, A.; FERREIRA, C.F.; SIUTO JÚNIOR, D.; BARANEK, E.J.; PICCOLO, M.C.; PAVEI, M. & URQUIAGA, S. Nitrogen dynamics in soil management systems. I - Flux of inorganic nitrogen ( $\text{NH}_4^+$  and  $\text{NO}_3^-$ ). *R. Bras. Ci. Solo*, 35:1641-1649, 2011.

SÁ, M.F.M. Os solos dos Campos Gerais. In: MELO, M.S.; MORO, R.S.; GUIMARÃES, G.B., eds. Patrimônio natural dos Campos Gerais do Paraná. Ponta Grossa: Editora UEPG, 2007. cap. 6, p.73-83.

SOUSA, D.M.G. & LOBATO, E. Cerrado: correção do solo e adubação. 2.ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. 416 p.

SPARKS, D.L. Environmental soil chemistry. San Diego, Academic Press, 1995. 267p.

YANG, J.E.; SKOGLEY, E.O.; SCHAFF, B.E. & KIM, J.J. A simple spectrophotometric determination of nitrate in water, resin and soil extracts. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 62:1108-1115, 1998.