

AGNO TADEU DA SILVA

**MOVIMENTAÇÃO DE AMÔNIO, NITRATO, POTÁSSIO E
FÓSFORO APLICADOS POR FERTIRRIGAÇÃO
EM LATOSSOLOS**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2004

Aos meus pais *Américo* e *Maria das Graças*, por estarem sempre presentes nas minhas buscas e conquistas.

À *Maria Paula*, pelo incentivo e pela compreensão nesse período de ausência.

Às minhas filhas *Sophia* e *Alice*.

Dedico

AGRADECIMENTO

A Deus, pela sua presença na minha vida.

À Universidade Federal de Viçosa e ao Departamento de Solos, pela oportunidade concedida para a realização deste curso.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de estudos.

Ao professor Hugo Alberto Ruiz, pela orientação, pela dedicação e pela confiança em mim depositada.

Aos professores Víctor Hugo Alvarez V., Paulo Afonso Ferreira e Roberto Bertola Cantarutti, pelo aconselhamento, pelas sugestões, pelas críticas e pelos ensinamentos.

Aos professores Júlio César Lima Neves e Nairam Félix de Barros, pelas valiosas críticas e sugestões.

Aos professores do Departamento de Solos, pelos conhecimentos transmitidos.

Ao laboratorista Ernando Ferreira Motta, pela valiosa ajuda na realização das análises químicas.

Aos funcionários do Departamento de Solos, especialmente à Luciana, secretária do Programa de Pós-Graduação, pelo atendimento sempre solícito.

Aos laboratoristas do Departamento de Solos, em especial a Cláudio Brustoline, Carlos Fonseca, Jorge, Zélia e Carlos Henriques (*in memoriam*), pelo apoio nos trabalhos de laboratório.

Aos colegas do curso de pós-graduação, Ignácio Aspiazú, Rosilene, Guilherme Donagemma, Alexson, César Roriz, Juscimar, D'artagnan, Eliete, Valmir, Daniela, Adriana, Célia e tantos outros, pelo companheirismo e convívio agradável.

Aos companheiros de república, Alessandro, Júlio, Joze Mauro e Alexandre, e à “Dona” Adélia, pelo companheirismo e pela convivência harmoniosa.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

BIOGRAFIA

AGNO TADEU DA SILVA, filho de Américo Crisóstomo da Silva e Maira das Graças Nogueira da Silva, nasceu em 25 de março de 1968, em Guaçuí, Estado do Espírito Santo.

Em 1987, ingressou no curso de Agronomia da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), Alegre-ES, graduando-se em março de 1992.

Em abril de 2002, iniciou o curso de mestrado no Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, na Universidade Federal de Viçosa, submetendo-se à defesa de tese em 16 de julho de 2004.

CONTEÚDO

	Página
RESUMO	viii
ABSTRACT	x
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1. Modelos teóricos que descrevem o transporte de solutos ..	3
2.2. Dinâmica de nitrogênio, potássio e fósforo no solo	4
2.3. Aplicação de nitrogênio, potássio e fósforo por fer- tirrigação	7
3. MATERIAL E MÉTODOS	9
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	14
4.1. Lixiviação de amônio, nitrato e potássio das colunas de solo	14
4.2. Teores médios de amônio, nitrato, potássio e fósforo nas colunas de solo	21
4.3. Distribuição de amônio, nitrato, potássio e fósforo nas colunas de solo	25

5. RESUMO E CONCLUSÕES	45
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47
APÊNDICE	52

RESUMO

SILVA, Agno Tadeu da, M.S., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2004. **Movimentação de amônio, nitrato, potássio e fósforo aplicados por fertirrigação em Latossolos.** Orientador: Hugo Alberto Ruiz. Conselheiros: Víctor Hugo Alvarez V., Paulo Afonso Ferreira e Reinaldo Bertola Cantarutti.

Com o objetivo de determinar a distribuição e mobilidade do amônio, do nitrato, do potássio e do fósforo, aplicados por fertirrigação na forma de fertilizantes formulados, realizou-se um experimento em laboratório, utilizando colunas de percolação de $2,4 \text{ dm}^3$, seccionadas em dez anéis de 7 cm de altura. Os tratamentos corresponderam a um fatorial $4 \times 3 \times 3$, sendo quatro Latossolos de Minas Gerais, três formulações comerciais indicadas para fertirrigação (15-30-15, 6-12-36 e 15-5-30), em doses calculadas para incorporar 20 mg/dm^3 de P, e três lâminas de irrigação, correspondentes a fertirrigação com 0,20 volume de poros (F); fertirrigação seguida de irrigação com igual volume de água (F + I); e fertirrigação seguida de duas irrigações semelhantes (F + I + I). Para homogeneizar a umidade do solo, aplicou-se lâmina de água deionizada correspondente a 0,7 volume de poros cinco dias antes do início do ensaio. Sempre com intervalos de cinco dias entre cada operação, aplicaram-se os

tratamentos (F + I + I) e, na seqüência, os tratamentos (F + I) e (F), nos intervalos indicados, de forma a concluir os trabalhos na mesma data. Finalizado o ensaio, foram retiradas amostras de cada anel para determinar o teor de N-NH_4^+ , de N-NO_3^- , de potássio e de fósforo. Na solução percolada, determinou-se a concentração de N-NH_4^+ , de N-NO_3^- , de potássio e de fósforo, calculando-se as quantidades lixiviadas. A concentração de fósforo na solução percolada foi inferior ao limite de detecção do método utilizado. As quantidades dos nutrientes perdidas por lixiviação e os perfis de distribuição do amônio, do nitrato, do potássio e do fósforo, nas colunas, permitem indicar que o nitrato foi o íon mais móvel na solução do solo, apresentando as maiores perdas por lixiviação, com resposta à concentração no fertilizante e à lâmina aplicada; que o amônio e o potássio, nessa ordem, apresentaram comportamento intermediário; e que o fósforo concentrou-se no anel superior das colunas-resposta esperada, pela aplicação de uma lâmina máxima de 0,6 volume de poros. Pode concluir-se que a mobilidade dos íons estudados, quando aplicados a Latossolos, apresenta a seqüência $\text{NO}_3^- > \text{NH}_4^+ > \text{K}^+ \gg \text{H}_2\text{PO}_4^-$. Essa constatação permite alertar para o risco de utilizar fertilizantes formulados na fertirrigação de Latossolos, que pode levar à eventual contaminação de cursos de água com compostos nitrogenados e à localização excessivamente superficial do fósforo, com menor aproveitamento por parte da cultura.

ABSTRACT

SILVA, Agno Tadeu da, M.S., Universidade Federal de Viçosa, July 2004. **Transport of ammonium, nitrate, potassium and phosphorus applied by fertirrigation on Latosols.** Adviser: Hugo Alberto Ruiz. Committee members: Víctor Hugo Alvarez V., Paulo Afonso Ferreira and Reinaldo Bertola Cantarutti.

Aiming at the determination of both distribution and mobility of the ammonium, nitrate, potassium and phosphorus applied by fertirrigation under the formulated fertilizer form, this experiment was conducted under laboratory conditions, by using soil percolation columns of 2.4 dm³, which were sectioned into ten 7 cm-height rings. The statistical scheme consisted of a factorial 4 x 3 x 3, corresponding to four Latosols from Minas Gerais State, three commercial formulations recommended for fertirrigation (15-30-15, 6-12-36 and 15-5-30) at doses calculated to incorporate 20 mg/dm³ phosphorus, and three irrigation depths, corresponding to: fertirrigation with 0.20 pore volume (F); fertirrigation followed by irrigation with equal water volume (F + I); and fertirrigation followed by two similar irrigations (F + I + I). A deionized water depth corresponding to 0.7 pore volume was applied at five days before beginning the assay, in order to homogenize the soil moisture. At each 5-day intervals,

the treatments (F + I + I) and sequentially (F + I) and (F) were applied at these intervals to conclude the works at the same date. When the assay was concluded, the samples were taken from each ring to determine the N-NH₄⁺, N-NO₃⁻, potassium and phosphorus contents. In the percolated solution, the concentrations of N-NH₄⁺, N-NO₃⁻, potassium and phosphorus were determined, by calculating the leached amounts. The phosphorus concentration in the percolated solution was below the detection limit of the used method. The nutrient contents lost by leaching and the distribution profiles of ammonium, nitrate, potassium and phosphorus in the soil columns showed that nitrate was the most movable free ion in the soil solution, since it showed highest losses by leaching, in response to its concentration in fertilizer and to the applied water depth; the ammonium and potassium showed an intermediate behavior; and phosphorus was concentrated in the upper ring of the columns, an expected response from the application of a maximum water depth of 0.6 pore volumes. It may be concluded that the mobility of these ions, when they are applied on Latosols, show the sequence NO₃⁻ > NH₄⁺ > K⁺ >> H₂PO₄⁻. The results rather direct the attention to the risk in using the formulated fertilizers in the Latosol fertirrigation, because they may lead to an eventual contamination of water streams with nitrogen compounds as well as to the excessively superficial retention of the phosphorus and a consequent reduced absorption by the crop.

1. INTRODUÇÃO

A fertirrigação é a técnica que consiste na aplicação simultânea de água e fertilizantes por meio de um sistema de irrigação. Quando bem executada, permite maior eficiência e flexibilização da adubação, maior economia de fertilizantes e de mão-de-obra e maior controle da poluição do solo (Frizzone et al., 1985; Frizzone e Botrel, 1994; Hernandez, 1994). Entretanto, devido à eventual insuficiência de informações técnicas específicas para o manejo correto da fertirrigação, problemas de baixa produtividade e de contaminação ambiental podem ser verificados (Carrijo et al., 1999).

Uma fertirrigação eficiente exige a localização dos nutrientes na profundidade de máxima densidade radicular. Quando os nutrientes são concentrados próximos à superfície do solo, as raízes aprofundam menos, explorando menor volume de solo. Nessas condições, o acúmulo de sais pode elevar a pressão osmótica da solução do solo a valores acima dos tolerados pelas plantas cultivadas, diminuindo a produtividade (Alva e Syvertsen, 1991; Fischer, 1992). No entanto, a aplicação fora do alcance das raízes das plantas, por excesso de água, diminui a eficiência da adubação e aumenta o risco de contaminação das águas subsuperficiais (Cadahia Lopez et al., 1988; Bernardo, 1992; Fischer, 1992; Sampaio, 1996).

A fertirrigação aumenta a dinâmica dos nutrientes no solo em razão da freqüente aplicação de água, que incrementa a atividade dos microrganismos e favorece a troca entre os sólidos e a solução do solo e a absorção pelas raízes das plantas. Para obtenção de resultados satisfatórios na fertirrigação, é de fundamental importância o controle da concentração de nutrientes, do pH e da condutividade elétrica da solução do solo (Casarini e Folegatti, 1999).

A extração da solução do solo pela utilização de cápsulas porosas é o método mais usado nos estudos de lixiviação de nutrientes no campo. Entretanto, a coleta da solução percolada de colunas de solo em laboratório e de lisímetros cultivados também tem sido utilizada no estudo da dinâmica de íons no solo (Oliveira et al., 2002).

A adoção das informações sobre a movimentação de íons no solo permite verificar a eventual ocorrência de perda de nutrientes por lixiviação, de acúmulo de sais na zona radicular e verificar se as quantidades de nutrientes transportadas são adequadas à fase de desenvolvimento da planta (Anti, 2000).

O objetivo deste trabalho foi determinar a mobilidade e distribuição do amônio, do nitrato, do potássio e do fósforo, aplicados por fertirrigação na forma de fertilizantes formulados, usando colunas de amostras de quatro Latossolos de Minas Gerais.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Modelos teóricos que descrevem o transporte de solutos

Vários modelos matemáticos têm sido desenvolvidos para quantificar o transporte de solutos no solo. Dentre eles, destacam-se os baseados no deslocamento miscível, que é o processo em que um fluido, aplicado ao meio poroso, mistura-se com o fluido residente e o desloca. O movimento de água no solo, contendo fertilizantes dissolvidos, constitui exemplo de deslocamento miscível (Kirkham e Powers, 1972). Estudos sobre deslocamento miscível fornecem informações sobre a velocidade do transporte de solutos no solo, bem como sobre a interação entre os solutos e o meio poroso (Nielsen e Biggar, 1961; Biggar e Nielsen, 1962, 1967).

No transporte de solutos no solo, pode considerar-se a contribuição de três componentes: fluxo de massa ou convectivo, transporte difusivo e transporte dispersivo. O transporte convectivo refere-se ao escoamento passivo de um soluto junto com a solução do solo. O transporte difusivo responde ao gradiente de atividade dos íons na solução do solo, ocorrendo mesmo quando não há fluxo. O transporte dispersivo ocorre devido à diferença na velocidade de escoamento dentro dos poros individuais e entre poros de diferentes formas, tamanhos e direções. Em razão da

similaridade macroscópica, os coeficientes de difusão e dispersão são freqüentemente considerados como aditivos (Nielsen et al., 1986; van Genuchten & Wierenga, 1986).

O sucesso dos modelos utilizados para descrever o transporte de solutos no solo depende, em grande parte, da habilidade em quantificar os parâmetros envolvidos, com destaque para a velocidade de avanço da solução, o coeficiente de dispersão-difusão e o fator de retardamento (van Genuchten e Wierenga, 1986).

O fator de retardamento é um parâmetro que, indiretamente, expressa a capacidade do solo em reter íons, ficando clara sua dependência em relação às interações entre a fase líquida e fase sólida, durante o deslocamento da solução no solo (Matos, 1995). Seu valor corresponde ao número de volumes de poros necessários para que a concentração do íon no efluente seja a metade da sua concentração no fluido deslocador. Assim, representa a defasagem entre a velocidade de avanço do soluto e aquela da interface entre o líquido deslocador e o deslocado, sendo a primeira menor que a segunda quando há interação entre o soluto e a fase sólida do solo (Valocchi, 1984).

2.2. Dinâmica de nitrogênio, potássio e fósforo no solo

A lixiviação de nutrientes em agroecossistemas é influenciada por fatores pedoclimáticos e pelo manejo do sistema água-solo-planta. Entre os primeiros encontram-se a textura, a capacidade de troca de cátions e de ânions e o volume e intensidade das chuvas. Associados ao manejo consideram-se fatores como a dose, o tipo e a solubilidade dos fertilizantes e sua afinidade com os sítios de adsorção no solo, bem como a composição química dos resíduos de culturas incorporados no solo, que, juntamente com fatores microclimáticos (temperatura, umidade e aeração do solo), influenciam a mineralização. A taxa de absorção pelas raízes das plantas e de imobilização por microrganismos também afeta a percolação e a lixiviação dos nutrientes (Oliveira et al., 2002).

Dos nutrientes em estudo, o nitrogênio é o que apresenta a maior mobilidade. A distribuição espacial no solo é fortemente afetada pela fonte adicionada. O amônio é geralmente mais adsorvido aos colóides do solo, tendo, assim, mobilidade inferior em relação à do nitrato. No solo, por meio de reações mediadas por microrganismos, o amônio é transformado em nitrato (Bar-Yosef, 1991). Esse processo é denominado de nitrificação, sendo o suprimento de amônio, a população de organismos nitrificantes, o pH, a temperatura, a umidade e a aeração do solo os principais fatores que regulam esse processo. A faixa ótima de temperatura para que ocorra a nitrificação em solos encontra-se geralmente entre 25 e 35 oC (Haynes, 1986). A meia-vida desse processo, na temperatura de 25 oC e com conteúdo de água do solo na capacidade de campo, é de aproximadamente duas semanas. Nas aplicações periódicas de nitrogênio, em doses que excedem o consumo da planta, é aconselhável incorporar parte deste nutriente na forma amoniacal, para retardar a eventual lixiviação (Bar-Yosef, 1991).

O nitrato é um dos íons mais suscetíveis à perda por lixiviação. Em solos com predominância de argilas ativas, as cargas negativas desses minerais repelem o íon nitrato de sua superfície, resultando na rápida percolação do ânion (Kinjo et al., 1978). Entretanto, em solos de regiões tropicais úmidas, a adsorção de nitrato foi observada (Kinjo e Pratt, 1971). Estes solos apresentam, na fração argila, em geral, predominância de minerais com carga elétrica dependente do pH, como caulinita e óxidos de ferro e alumínio (van Raij e Peech, 1972; Qafoku et al., 2000; Fontes et al., 2001). Neles, há grupos OH reativos que desenvolvem apreciável capacidade de troca de ânions em condições de maior acidez, o que possibilita um retardamento no transporte do nitrato (Qafoku et al., 2000). A adsorção é causada pela atração eletrostática entre o nitrato e os sítios positivamente carregados desses materiais (Oliveira et al., 2000).

Trabalhos têm sido realizados para descrever o transporte de amônio, fósforo e potássio em colunas de percolação, estudando-se o comportamento destes nutrientes em ensaio realizado com amostras de um

Neossolo Quartzarênico e quatro Latossolos de Minas Gerais (Oliveira et al., 2004). Esses autores observaram que o fator de retardamento do fósforo dependia da textura e mineralogia do solo, sendo menor nas amostras mais arenosas e cauliníticas. Entre os Latossolos, os maiores valores do fator de retardamento para potássio e amônio estiveram associados com o incremento da fração argila, independentemente de possíveis diferenciações mineralógicas. Nos solos estudados, a seqüência de mobilidade dos nutrientes foi: $\text{NH}_4^+ > \text{K}^+ > \text{H}_2\text{PO}_4^-$.

Em outros trabalhos, estudou-se o transporte desses três nutrientes em agregados de um Latossolo Vermelho-Escuro (Araújo et al., 2000; Coelho et al., 2000). Quando analisado o comportamento do nitrogênio, aplicado na forma de amônio e associado com os ânions sulfato, nitrato ou cloreto, verificou-se que na maioria dos tratamentos houve superposição com as curvas teóricas, indicando que o transporte do amônio foi, predominantemente, por dispersão. Em acréscimo, não houve diferença em relação ao ânion acompanhante (Coelho et al., 2000).

A predominância do transporte por dispersão justifica-se pelas características do sistema poroso dos Latossolos, que leva à distinção de duas regiões: uma de solução móvel (interagregados), e outra de solução imóvel (intra-agregados). Na primeira região verificam-se pelo menos dois dos três processos de transporte de solutos anteriormente indicados (convecção, dispersão e difusão) e, na segunda, os solutos deslocam-se essencialmente por difusão para dentro ou para fora dos agregados. Em solos com estrutura diferente daquela dos Latossolos esse processo pode ser menos evidente. Apesar disso, a quase totalidade do escoamento ocorrerá pelos macroporos, localizados no espaço poroso interagregados, caracterizando a predominância do transporte por convecção e dispersão (Araújo, 1997).

Resposta semelhante ao transporte do amônio (Coelho et al., 2000) foi constatada para o transporte do fósforo. No escoamento em meio saturado, o modelo que considera apenas o escoamento dispersivo

apresentou melhor predição do transporte de fósforo, revelando predomínio da dispersão hidrodinâmica, durante o deslocamento. Essa conclusão foi válida também para o transporte do potássio em meio saturado (Araújo et al., 2000).

2.3. Aplicação de nitrogênio, potássio e fósforo por fertirrigação

Na aplicação de nutrientes por fertirrigação, a escolha das fontes leva em consideração a solubilidade em água, a compatibilidade, o custo, a facilidade de uso, a pureza e a possibilidade de fornecimento de mais de um nutriente por uma única fonte (Vitti et al., 1994; Carrijo et al., 1999).

Os fertilizantes utilizados na fertirrigação podem ser líquidos ou sólidos. Os fertilizantes sólidos devem ser de alta solubilidade, devido à necessidade de dissolução integral para assegurar a concentração desejada, bem como evitar entupimento ao longo do sistema de irrigação (Cadahia Lopez, 1998).

Os fertilizantes nitrogenados, com elevada solubilidade e facilidade de movimentação no perfil do solo, são os mais utilizados na fertirrigação. Sua eficiência é geralmente incrementada quando aplicados desta forma. Tal fato se deve à rápida localização do fertilizante na zona de maior concentração de raízes, à diminuição das perdas por volatilização e, também, à possibilidade de maior parcelamento das adubações, facilitando a absorção e minimizando as perdas por lixiviação (Girardin et al., 1993; Francis e Schepers, 1994; Silva et al., 1996, 1999; Pinto et al., 1997).

As principais fontes de nitrogênio para uso em fertirrigação são a uréia e os nitratos de amônio, de cálcio ou de potássio. A uréia, eletricamente neutra e altamente solúvel em água, movimenta-se rapidamente no solo, onde é transformada em carbonato de amônio por ação dos microrganismos, sofrendo logo retenção no complexo de troca catiônico. O transporte de uréia no solo, em profundidade, depende principalmente da atividade microbiana e da textura do solo (Coelho, 1994; Vitti et al., 1994; Carrijo et al., 1999).

O potássio é menos móvel no solo do que o amônio e o nitrato. Pode, no entanto, apresentar perdas por lixiviação quando aplicado juntamente com lâminas excessivas de água de irrigação, principalmente em solos arenosos com baixo teor de matéria orgânica (Coelho, 1994; Silva et al., 1996, 1999). A principal fonte de potássio na fertirrigação é o cloreto de potássio, podendo ser utilizados também, eventualmente, nitrato, sulfato ou fosfato de potássio (Vitti et al., 1994; Carrijo et al., 1999).

A aplicação de fósforo por fertirrigação é mais controversa, em razão da reduzida mobilidade no perfil, do custo mais elevado das fontes solúveis em água e do risco potencial de precipitação e conseqüente obstrução de gotejadores (Coelho, 1994; Silva et al., 1996, 1999). Dentre as principais fontes de fósforo utilizadas, podem ser citadas o ácido fosfórico e os fosfatos de potássio (mono) e de amônio (mono e bi). Recomenda-se, em geral, a aplicação de apenas parte do adubo fosfatado via água de irrigação (Vitti et al., 1994; Carrijo et al., 1999).

O manejo racional da fertirrigação é imprescindível para evitar o acúmulo de sais no perfil do solo ou sua lixiviação, quando em excesso. Nestas circunstâncias, a quantidade de nutrientes a ser acrescentada deve ser estimada considerando a disponibilidade prévia de nutrientes no solo e na água de irrigação, a demanda da cultura e a interação dos nutrientes com o solo (Cadahia Lopez et al., 1988; Coelho, 1994; Cadahia Lopez, 1995).

O manejo da fertirrigação divide-se em três etapas: a primeira compreende a aplicação de uma fração da lâmina de irrigação tal que a frente de molhamento atinja uma certa profundidade no perfil do solo; a segunda, a aplicação de fertilizantes dissolvidos na água de irrigação; e a terceira, uma nova aplicação de água, para lavar o sistema de irrigação (aspersão ou localizada) e transportar os nutrientes até a zona de máxima densidade radicular (Frizzone et al., 1985; Carrijo et al., 1999). O controle da profundidade de localização dos nutrientes na fertirrigação é feito aumentando ou diminuindo o valor da terceira fração da lâmina total de irrigação (Hernandez, 1994).

3. MATERIAL E MÉTODOS

Para avaliar o transporte do amônio, do nitrato, do potássio e do fósforo em colunas de solo, quando aplicados na forma de fertilizantes formulados solúveis em água, realizou-se um ensaio de laboratório, utilizando três formulações comerciais, em amostras retiradas até a profundidade de 40 cm de quatro Latossolos de Minas Gerais (Quadro 1). Essas amostras foram secas ao ar e passadas em peneira com abertura de 2 mm, para a caracterização física e química (Quadro 2), e de 4 mm, para o ensaio em colunas.

Os tratamentos foram dispostos num delineamento experimental em blocos casualizados, com três repetições, e corresponderam a um fatorial 4 x 3 x 3, sendo os quatro solos indicados, três formulações comerciais indicadas para fertirrigação (15-30-15, 15-5-30 e 6-12-36) (Quadro 3) e três lâminas de irrigação. A concentração de cada uma das formulações na solução foi calculada de forma a incorporar 20 mg/dm³ de P (Quadro 4). As três lâminas de irrigação corresponderam a fertirrigação com 0,20 volume de poros (F); fertirrigação com 0,20 volume de poros, seguida de irrigação com 0,20 volume de poros de água, com intervalo de cinco dias (F + I); e fertirrigação com 0,20 volume de poros, seguida de duas irrigações com 0,20 volume de poros de água, com intervalo de cinco dias entre cada aplicação (F + I + I).

Quadro 1. Identificação, classificação e localização dos solos estudados

Identificação	Classe de Solo	Localização
LVAd1	Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico	João Pinheiro – MG
LVAd2	Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico	Santa Bárbara – MG
LVdf	Latossolo Vermelho distroférico	Abre Campo – MG
LVd	Latossolo Vermelho distrófico	Sete Lagoas - MG

Quadro 2. Caracterização física e química dos solos

Característica	LVAd1	LVAd2	LVdf	LVd
Análise granulométrica (kg/kg)				
- Areia grossa ^{1/}	0,27	0,40	0,19	0,08
- Areia fina ^{1/}	0,49	0,18	0,11	0,03
- Silte ^{2/}	0,02	0,05	0,19	0,11
- Argila ^{2/}	0,22	0,37	0,51	0,78
Densidade (kg/dm ³)				
- do solo ^{3/}	1,30	1,07	0,92	0,83
- das partículas ^{4/}	2,68	2,63	2,70	2,61
Porosidade (m ³ /m ³)	0,51	0,60	0,66	0,68
N-NH ₄ ⁺ (mg/dm ³) ^{5/}	9,79	9,33	17,89	10,24
N-NO ₃ ⁻ (mg/dm ³) ^{6/}	3,44	5,08	2,23	87,99
P (mg/dm ³) ^{7/}	0,0	1,5	0,8	3,4
K (mg/dm ³) ^{8/}	8,0	20,0	28,0	52,0
pH em água (1:2,5)	5,15	4,55	5,14	4,79
Ca ²⁺ (cmol _c /dm ³) ^{9/}	0,00	0,11	0,82	2,14
Mg ²⁺ (cmol _c /dm ³) ^{9/}	0,02	0,06	0,35	0,27
Al ³⁺ (cmol _c /dm ³) ^{9/}	0,40	2,20	1,20	1,00
Carbono orgânico (dag/kg) ^{10/}	0,92	2,12	3,75	4,11
Fósforo remanescente (mg/L) ^{11/}	29,8	23,3	12,6	14,5

^{1/} Por peneiramento (Ruiz, 2004). ^{2/} Método da pipeta (Ruiz, 2004). ^{3/} Método da proveta (Ruiz, 2004). ^{4/} Método do balão volumétrico (Ruiz, 2004). ^{5/} Extrator KCl 1 mol/L (Kempers e Zewers, 1986). ^{6/} Extrator KCl 1 mol/L (Yang et al., 1998). ^{7/} Extrator Mehlich-1 (Braga e Defelipo, 1974). ^{8/} Extrator Mehlich-1 (Defelipo e Ribeiro, 1997). ^{9/} Extrator KCl 1 mol/L (Vettori, 1969). ^{10/} Método Walkley-Black modificado (Defelipo e Ribeiro, 1997). ^{11/} Alvarez V. et al. (2000).

Quadro 3. Caracterização das formulações comerciais utilizadas no ensaio

Característica	15-30-15	6-12-36	15-5-30
N (%) ^{1/}	15	6	15
P ₂ O ₅ (%)	30	12	5
K ₂ O (%)	15	36	30
Mg (%)	0,6	0,8	0,8
S (%)	1,0	1,3	1,3
Fe (%)	0,04	0,07	0,07
Mn (%)	0,04	0,04	0,04
Cu (%)	0,01	0,01	0,01
Zn (%)	-	0,025	0,025
B (%)	0,025	0,025	0,025
Mo (%)	0,004	0,004	0,004

^{1/} O fabricante não utiliza uréia.

Quadro 4. Quantidade de fertilizante aplicado nas colunas de 2,4 dm³ de solo e quantidade de nitrogênio, fósforo e potássio resultante da aplicação

Formulação	Adubo	Nitrogênio			Fósforo	Potássio
		N-NH ₄ ⁺	N-NO ₃ ⁻	Total		
mg/coluna						
15-30-15	366	29	26	55	48	46
6-12-36	916	14	41	55	48	274
15-5-30	2.202	81	249	330	48	548

Cada unidade experimental foi constituída de 11 anéis de PVC, de 6,6 cm com diâmetro interno e 7 cm de altura, exceto o anel inferior, de 8 cm. Os anéis foram justapostos e vedados com cola de silicone nas uniões. Externamente, os anéis foram fixados com fita adesiva, para formar um segmento de tubo de 78 cm. Na extremidade inferior do segmento foi adaptado um *cap* de PVC perfurado, com funil a ele acoplado, empregando massa plástica para vedação.

No primeiro centímetro do anel inferior colocou-se uma camada fina de lã de vidro e, sobre esta, 1 cm de areia muito grossa (2,0-1,0 mm), para facilitar a drenagem; a seguir, foi calculada uma outra camada de lã de vidro, para evitar a mistura do solo com a areia. O recipiente assim formado foi preenchido com solo peneirado por malha de 4 mm até 7 cm da borda superior, formando uma coluna de solo de 70 cm de altura e volume de 2,4 dm³. A superfície do solo foi coberta com uma camada de lã de vidro, a fim de evitar distúrbios na seção de infiltração do solo.

Em razão de limitações físicas do laboratório, o experimento foi montado com um bloco de cada vez. As 36 colunas de cada bloco foram fixadas verticalmente em estrutura apropriada para a realização do ensaio. Com a finalidade de homogeneizar a umidade do solo, aplicou-se lâmina de água deionizada correspondente a 0,7 volume de poros cinco dias antes do início do ensaio, mantendo-se sempre a extremidade superior coberta, para evitar evaporação de água. Inicialmente aplicaram-se os tratamentos F + I + I e, na seqüência, os tratamentos F + I e F, nos intervalos indicados, de forma a finalizar o ensaio correspondente a cada bloco na mesma data. Após cada fertirrigação ou irrigação recolheu-se o lixiviado, determinando-se o volume e reservando alíquota para posterior análise.

Cinco dias após a última irrigação, as 36 colunas de cada bloco foram desmontadas. De cada um dos dez anéis retirou-se, para análise, o solo contido nos 5 cm centrais. De imediato, amostras foram utilizadas para determinar os teores de N-NH₄⁺, N-NO₃⁻, potássio e fósforo. Determinaram-se os teores de N-NH₄⁺ por colorimetria (Kempers e Zweers, 1986), de N-NO₃⁻ por colorimetria (Yang et al., 1998), de potássio por fotometria de chama (Defelipo e Ribeiro, 1997) e de fósforo por colorimetria, após formação do complexo fosfomolibdico reduzido (Braga e Defelipo, 1974).

Foram determinadas também, nas soluções percoladas, as concentrações de N-NH₄⁺, N-NO₃⁻, potássio e fósforo, utilizando os métodos indicados anteriormente, a condutividade elétrica (Richards,

1954) e o pH. A concentração de fósforo lixiviado foi inferior ao limite de detecção do método utilizado. Com o volume e a concentração de N-NH_4^+ , de N-NO_3^- e de potássio na solução, calculou-se a quantidade perdida por lixiviação.

As características determinadas no lixiviado e os teores médios dos nutrientes nas colunas foram analisados estatisticamente por meio de contrastes ortogonais, apresentando-se valores médios de contrastes (\bar{C}) calculados pela expressão $\bar{C} = \frac{\sum c_i \bar{y}_i}{\sum |c_i|/2}$, em que c_i é o coeficiente e \bar{y}_i é a média das determinações^{1/}.

O perfil de distribuição dos nutrientes nas colunas foi representado graficamente, verificando-se a profundidade de máximo teor. Essas profundidades foram comparadas por meio de contrastes médios, calculados da forma previamente descrita.

^{1/} Prof. Víctor Hugo Alvarez V. (UFV) – comunicação pessoal.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Lixiviação de amônio, nitrato e potássio das colunas de solo

As condições em que foi conduzido o ensaio, com acréscimo inicial de uma lâmina de água de 0,7 volume de poros, visando deixar as colunas em condições semelhantes para, posteriormente, realizar as fertirrigações ou irrigações, com 0,2 volume de poros, mostraram-se adequadas. No Quadro 5 são apresentados os valores do volume de efluente, destacando-se a baixa variabilidade no volume de solução percolada em resposta às lâminas aplicadas em cada solo.

Nessas soluções determinou-se a concentração de N-NH_4^+ , N-NO_3^- e potássio, calculando-se, pelo produto com o volume de solução (Quadro 5), a quantidade total retirada por lixiviação, em resposta aos tratamentos F, F + I e F + I + I, para cada solo e fertilizante. Mediram-se, também, a condutividade elétrica e o pH do efluente (Quadro 6).

Após teste de homogeneidade de variâncias, compararam-se os solos com esta característica (Quadro 7). As perdas de N-NH_4^+ foram próximas para os quatro solos, registrando-se, não obstante, diferenças para os dois com os valores extremos: LVdf (487 μmol_c) e LVd (565 μmol_c) (Quadros 6 e 7). Esses valores seriam indicativos da capacidade diferencial de retenção

de amônio, maior no LVdf, visto que os dois solos indicados apresentaram teor inicial de N-NH_4^+ de 17,89 e 10,24 mg/dm^3 , respectivamente (Quadro 2).

Na caracterização dos solos, o teor de N-NO_3^- foi marcadamente superior no LVd, registrando 87,99 mg/dm^3 , em relação aos dos outros três solos: 3,44 para o LVAd1, 5,08 para o LVAd2 e 2,23 para o LVdf (Quadro 2). Assim, na comparação do LVd com o LVAd1 (Quadro 7), essa característica prevaleceu, levando a maiores perdas por lixiviação no material mais argiloso e oxídico. Já no confronto do LVAd2 com o LVdf, com teor inicial próximo, o material perférrico (LVdf), com maior capacidade de adsorção de ânions, perdeu menos nitrato no efluente.

A quantidade de potássio lixiviada não diferiu marcadamente entre os diferentes solos. É importante observar que, considerando o LVAd1, o LVAd2, o LVdf e o LVd, esses solos apresentaram incremento no teor de argila e no teor inicial de potássio (Quadro 2). Esse teor de potássio, na ordem indicada, apresentou relação 1,0:2,5:3,5:6,5. O maior teor inicial de potássio do LVd prevaleceu sobre o LVdf, para permitir maior lixiviação de potássio (Quadros 6 e 7). Em acréscimo, o solo LVd, como indicado por Araújo et al. (2003), apresenta a possibilidade de liberação de potássio estrutural, visto que na caracterização mineralógica foi registrada a presença de illita, que teria também contribuído para a eluição de potássio.

A condutividade elétrica da solução é diretamente proporcional à concentração de eletrólitos dissolvidos. Comparando a soma das quantidades de amônio, nitrato e potássio nos solos LVAd1 e LVd, chega-se a valores de 1.638 e 2.308 μmol_c , respectivamente (Quadro 6). Não obstante, a condutividade elétrica das soluções percoladas dos dois solos foram semelhantes (Quadro 7). Na comparação dos dois solos, o mais arenoso e mais argiloso, respectivamente, e os com menor e maior teor de matéria orgânica, o LVAd1 deve ter perdido outros íons por lixiviação, não determinados neste trabalho, em proporção maior que o LVd. Na comparação do LVAd2 com o LVdf, a soma dos três íons determinados foi de 1.673 e 1.160 μmol_c , respectivamente, coincidentes com a seqüência dos seus valores de condutividade elétrica (Quadro 7).

Quadro 5. Volume médio de efluente, considerando o solo, o fertilizante e a lâmina aplicada

Solo	Fertilizante	Lâmina ^{1/}	Fertirrigação	Primeira Irrigação	Segunda Irrigação	Volume Total	
mL							
LVAd1	15-30-15	F	219	-	-	219	
		F + I	236	235	-	471	
		F + I + I	230	232	237	699	
	6-12-36	F	218	-	-	218	
		F + I	222	237	-	459	
		F + I + I	232	235	238	705	
	15-5-30	F	226	-	-	226	
		F + I	229	235	-	464	
		F + I + I	237	236	241	714	
	Média		228	235	239		
	LVAd2	15-30-15	F	277	-	-	277
			F + I	278	275	-	553
			F + I + I	252	290	281	823
		6-12-36	F	279	-	-	279
			F + I	277	279	-	556
F + I + I			281	273	278	832	
15-5-30		F	273	-	-	273	
		F + I	276	279	-	555	
		F + I + I	275	282	278	835	
Média			274	280	279		
LVdf		15-30-15	F	313	-	-	313
			F + I	290	289	-	579
			F + I + I	280	300	302	882
		6-12-36	F	311	-	-	311
			F + I	290	279	-	569
	F + I + I		302	305	303	910	
	15-5-30	F	264	-	-	264	
		F + I	303	310	-	613	
		F + I + I	307	284	303	894	
	Média		296	295	303		
	LVd	15-30-15	F	315	-	-	315
			F + I	325	317	-	642
			F + I + I	335	305	320	960
		6-12-36	F	316	-	-	316
			F + I	321	310	-	631
F + I + I			320	310	313	943	
15-5-30		F	322	-	-	322	
		F + I	322	317	-	639	
		F + I + I	336	311	320	967	
Média			324	312	318		

^{1/} F e I indicam fertirrigação e irrigação, respectivamente.

Quadro 6. Quantidade de amônio, nitrato e potássio, condutividade elétrica (CE) e pH das soluções percoladas, considerando o solo, o fertilizante e a lâmina aplicada

Solo	Fertilizante	Lâmina ^{1/}	N-NH ₄ ⁺	N-NO ₃ ⁻	Potássio	CE	pH	
			μmol _c			dS/m		
LVAd1	15-30-15	F	243	161	40	0,242	7,39	
		F + I	293	266	59	0,186	7,51	
		F + I + I	716	406	103	0,189	7,58	
	6-12-36	F	264	1.341	117	0,834	6,59	
		F + I	567	504	87	0,214	7,23	
		F + I + I	537	1.019	142	0,295	7,39	
	15-5-30	F	216	517	96	0,447	7,32	
		F + I	712	1.833	245	0,656	5,64	
		F + I + I	1.040	2.929	294	0,495	7,02	
		Média		510	997	131	0,395	7,07
	LVAd2	15-30-15	F	159	55	40	0,238	6,03
			F + I	527	269	84	0,179	7,47
F + I + I			654	1.649	212	0,347	6,87	
6-12-36		F	219	556	120	0,392	6,03	
		F + I	634	566	79	0,197	7,07	
		F + I + I	1.014	1.783	201	0,348	6,43	
15-5-30		F	183	249	71	0,244	7,49	
		F + I	476	338	99	0,198	7,36	
		F + I + I	929	3.541	349	0,572	6,66	
		Média		533	1.001	139	0,302	6,82
LVdf		15-30-15	F	294	136	98	0,240	7,52
			F + I	461	307	79	0,197	7,45
	F + I + I		746	587	120	0,200	6,69	
	6-12-36	F	425	334	71	0,281	7,03	
		F + I	371	154	78	0,181	6,70	
		F + I + I	627	916	140	0,240	6,67	
	15-5-30	F	186	161	40	0,165	6,84	
		F + I	419	135	90	0,193	7,21	
		F + I + I	852	2.395	222	0,387	6,71	
		Média		487	569	104	0,232	6,98
	LVd	15-30-15	F	265	102	32	0,132	7,58
			F + I	569	2.109	266	0,646	6,74
F + I + I			828	2.695	266	0,375	6,68	
6-12-36		F	235	159	36	0,175	7,01	
		F + I	781	1.569	208	0,526	4,92	
		F + I + I	658	3.280	305	0,476	6,58	
15-5-30		F	296	407	41	0,243	7,23	
		F + I	584	404	105	0,230	7,20	
		F + I + I	872	3.351	355	0,460	7,13	
		Média		565	1.564	179	0,363	6,79

^{1/} F e I indicam fertirrigação e irrigação, respectivamente.

Quadro 7. Contrastes ortogonais comparando a quantidade de amônio, nitrato e potássio, a condutividade elétrica (CE) e o pH das soluções percoladas, considerando os solos que apresentaram homogeneidade de variâncias

Nutriente	Contraste	Unidade	Valor
N-NH ₄ ⁺	2 LVAd1 - (LVdf + LVd)	μmol _c	-16
	LVdf - LVd	μmol _c	-78**
N-NO ₃ ⁻	LVAd1 - LVd	μmol _c	-567*
	LVAd2 - LVdf	μmol _c	432**
Potássio	3 LVAd1 - (LVAd2 + LVdf + LVd)	μmol _c	-9,67
	2 LVAd2 - (LVdf + LVd)	μmol _c	-2,50
	LVdf - LVd	μmol _c	-75**
CE	LVAd1 - LVd	dS/m	0,032
	LVAd2 - LVdf	dS/m	0,070**
pH	3 LVAd1 - (LVAd2 + LVdf + LVd)		0,21
	2 LVAd2 - (LVdf + LVd)		-0,07
	LVdf - LVd		0,19

*, **: Significativo a 5 e 1%, respectivamente, pelo teste F.

Não houve diferenciação na comparação do pH do efluente para os quatro solos em estudo (Quadro 7). Observando o valor médio do pH do solo na caracterização, de 4,91 (Quadro 2), e o valor médio do pH da solução percolada, de 6,92 (Quadro 6), confirma-se a perda de cátions, em resposta aos tratamentos, com a conseqüente elevação do pH do efluente.

Considerando a lixiviação de amônio em resposta ao fertilizante utilizado na aplicação, somente o solo LVAd1 apresentou diferenças para a fonte (Quadro 8). Nesse solo, mais arenoso e com menor capacidade de retenção de cátions, as diferenças responderam mais às duas irrigações subseqüentes à fertirrigação quando utilizado o fertilizante complexo 15-5-30 (Quadro 6). Essa observação é corroborada pela relação 2,1:1,0:5,8 na quantidade de N-NH₄⁺ aplicada através das três fontes (Quadro 4). Independentemente do fertilizante utilizado como fonte de amônio, as

irrigações provocaram sua lixiviação, como indica a significância da maioria dos contrastes apresentados para a comparação da lâmina (Quadro 8).

A elevada mobilidade do nitrato é evidenciada pela resposta de três dos solos utilizados (LVAd1, LVAd2 e LVdf) às fontes desse ânion. Considerando que os fertilizantes 15-30-15, 6-12-36 e 15-5-30 incorporaram quantidades de N-NO_3^- na relação 1,0:1,6:9,9, esperar-se-ia que a aplicação do terceiro dos listados fosse determinante nesses solos. No entanto, como mostrado pelo Quadro 6, independentemente da significância evidenciada pelos contrastes no Quadro 8, houve pouca variação, nesses solos, na lixiviação de nitrato após a fertirrigação e a primeira irrigação. Pelo contrário, a segunda irrigação provocou perda acentuada de nitrato das colunas. Isso indica a necessidade de utilização de lâmina de água cuidadosamente determinada para reduzir a possibilidade de contaminação dos lençóis freáticos. O solo LVd não apresentou resposta às fontes, porém foi aquele que mais nitrato perdeu por lixiviação (Quadros 6 e 8). Como indicado pela caracterização apresentada no Quadro 2, este solo tinha teor inicial de N-NO_3^- marcadamente superior àquele dos três solos restantes.

Com respeito ao potássio, a resposta mais acentuada às fontes foi observada no material mais arenoso (LVAd1). Para este nutriente, a resposta à lâmina verificou-se, fundamentalmente, quando aplicada à dose de 15-5-30, que incorporou a maior quantidade de potássio nas colunas (Quadro 8).

A condutividade elétrica da solução percolada alterou-se, fundamentalmente, em resposta às lâminas de irrigação (Quadro 8). O sinal positivo da maioria dos contrastes significativos desta característica indica perda crescente de eletrólitos com a irrigação, o que, novamente, indica a necessidade do cálculo correto da lâmina usada na irrigação. Poucas diferenças foram mostradas pelo pH (Quadro 8). Pelas características do ensaio, essa resposta era esperada; deve-se destacar também que, por ser uma determinação com resultado expresso na forma de logaritmo, as eventuais oscilações na atividade de hidrogênio são atenuadas pela forma de expressão.

Quadro 8. Contrastes ortogonais comparando a quantidade de amônio, nitrato e potássio, a condutividade elétrica e o pH das soluções percoladas, considerando o fertilizante (Fert) e a lâmina aplicada para cada solo em estudo

Fert	Lâmina ^{1/}	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇	C ₈
15-30-15	F	-2	0	-2	0	0	0	0	0
	F + I	-2	0	1	-1	0	0	0	0
	F + I + I	-2	0	1	1	0	0	0	0
6-12-36	F	1	-1	0	0	-2	0	0	0
	F + I	1	-1	0	0	1	-1	0	0
	F + I + I	1	-1	0	0	1	1	0	0
15-5-30	F	1	1	0	0	0	0	-2	0
	F + I	1	1	0	0	0	0	1	-1
	F + I + I	1	1	0	0	0	0	1	1
N-NH ₄ ⁺ (μmol _c)									
LVAd1		139**	200**	262**	423**	288**	-30	660**	328**
LVAd2		129	93	432**	127	605**	380*	520**	453*
LVdf		-20	11	310**	285**	74	256**	450**	433**
LVd		17	26	434**	259**	485**	-123	432**	288**
N-NO ₃ ⁻ (μmol _c)									
LVAd1		746**	183*	175	140	-580	515	864**	-904
LVAd2		515**	408**	904**	1.380**	619**	1.217**	1.691**	3.203**
LVdf		339*	429**	311	280	201	762**	1.104**	2.260**
LVd		-107	-282	2.300**	586	2.266**	1.711**	1.471**	2.947**
Potássio (μmol _c)									
LVAd1		96**	96**	41	44	-3	55	174**	49
LVAd2		41**	40	108**	128**	20	122**	153**	250**
LVdf		8	21	2	41	38	62	116**	132**
LVd		-13	-16	234**	0	221**	97	189**	250**
Condutividade Elétrica (dS/m)									
LVAd1		0,29**	0,09	-0,06	0,00	-0,58*	0,08	0,13	-0,16
LVAd2		0,07*	0,03	0,03	0,17**	-0,12**	0,15*	0,14**	0,37**
LVdf		0,03	0,01	-0,04	0,00	-0,07	0,06	0,13**	0,19**
LVd		-0,03	-0,81	0,38**	-0,27	0,33**	-0,05	0,10	0,23
pH									
LVAd1		-0,63*	-0,41	0,16	0,07	0,72	0,16	-0,99	1,38*
LVAd2		0,05	0,66	1,14*	-0,60	0,72	-0,64	-0,48	-0,70
LVdf		-0,36	0,12	-0,45	-0,76	-0,35	-0,03	0,12	-0,50
LVd		-0,32	1,02**	-0,87	-0,06	-1,26*	1,66**	-0,07	-0,07

^{1/} F e I indicam fertirrigação e irrigação, respectivamente.

*, **: Significativo a 5 e 1%, respectivamente, pelo teste F.

4.2. Teores médios de amônio, nitrato, potássio e fósforo nas colunas de solo

Os valores do teor de N-NH_4^+ , de N-NO_3 , de potássio e de fósforo em cada anel permitiram calcular o teor médio desses nutrientes nas colunas de solo, apresentado no Quadro 9. Na análise estatística foi determinada a homogeneidade de variâncias entre solos. Aqueles que apresentaram essa característica foram comparados por meio de contrastes ortogonais, cujos resultados são apresentados no Quadro 10.

Observa-se que o teor de N-NH_4^+ após o ensaio, nos três solos que apresentaram homogeneidade de variâncias (LVAd1, LVAd2 e LVd), foi maior no LVAd1 em relação aos outros dois (Quadro 10). Considerando que o teor inicial foi semelhante (Quadro 2), pode-se concluir que, no LVAd1, o processo de nitrificação foi menos acentuado que nos outros dois solos. Essa observação é reforçada pelo contraste que compara o teor de N-NO_3 nos solos LVAd1 e LVAd2, apreciavelmente superior no segundo (Quadro 10). Como no caso do N-NH_4^+ , o teor inicial de N-NO_3 nestes dois solos também foi próximo (Quadro 2).

O comportamento do potássio, em geral, acompanhou a quantidade adicionada, considerando o teor inicial desse nutriente (Quadros 2, 4 e 9).

Com respeito ao teor de fósforo (Quadro 9), considerando que todos os solos receberam doses semelhantes, pode-se atribuir à menor capacidade-tampão dos solos LVAd1 e LVAd2 os valores que levaram à não-significância do primeiro contraste e ao maior teor no LVAd2, frente aos dois solos restantes (Quadro 10). A diferença entre o LVdf e o LVd é consequência do menor teor inicial (0,8 e 3,4 mg/dm^3 de P, respectivamente, Quadro 2) e do maior poder de fixação do material distoférrico, que, para o mesmo acréscimo de fósforo, incrementa seu teor médio em 1,07 mg/dm^3 , enquanto o LVd aumenta o fósforo extraído em 3,15 mg/dm^3 (Quadros 2 e 4).

Quadro 9. Teor médio de amônio, nitrato, potássio e fósforo nas colunas de solo, considerando o solo, o fertilizante e a lâmina aplicada

Solo	Fertilizante	Lâmina ^{1/}	N-NH ₄ ⁺	N-NO ₃ ⁻	Potássio	Fósforo	
							mg/dm ³
LVAd1	15-30-15	F	33,16	23,12	30,30	4,25	
		F + I	34,00	20,66	36,21	5,14	
		F + I + I	34,11	26,35	31,10	4,58	
	6-12-36	F	22,42	33,81	162,94	4,02	
		F + I	18,91	32,02	135,78	5,20	
		F + I + I	21,57	31,07	167,90	3,31	
	15-5-30	F	54,27	158,22	272,66	3,60	
		F + I	56,93	149,19	231,26	4,35	
		F + I + I	49,42	122,70	254,23	4,16	
		Média		37,81	66,35	137,61	4,30
	LVAd2	15-30-15	F	6,76	53,17	36,70	2,75
			F + I	5,55	53,20	40,24	5,95
F + I + I			5,82	50,11	37,52	6,35	
6-12-36		F	2,02	62,03	160,81	6,73	
		F + I	2,11	62,42	134,37	5,50	
		F + I + I	3,79	35,49	148,31	5,86	
15-5-30		F	54,58	177,35	274,36	4,45	
		F + I	49,64	165,79	230,53	4,14	
		F + I + I	32,93	111,71	263,53	6,48	
		Média		17,21	85,70	147,37	5,36
LVdf		15-30-15	F	48,90	34,74	48,89	1,93
			F + I	42,51	47,31	43,43	1,17
	F + I + I		29,78	62,90	48,46	2,12	
	6-12-36	F	38,42	49,45	126,90	2,14	
		F + I	30,48	60,89	169,83	2,08	
		F + I + I	33,71	47,72	169,56	1,70	
	15-5-30	F	76,11	207,07	320,73	1,33	
		F + I	67,20	174,97	258,60	2,47	
		F + I + I	62,48	160,00	316,74	1,90	
		Média		48,92	95,09	167,01	1,87
	LVd	15-30-15	F	12,12	63,24	70,75	5,60
			F + I	9,86	66,55	68,83	6,40
F + I + I			9,87	45,41	70,79	8,74	
6-12-36		F	10,79	71,19	142,93	5,79	
		F + I	4,76	63,71	209,47	7,04	
		F + I + I	6,47	56,93	168,52	7,18	
15-5-30		F	51,18	188,73	314,35	5,60	
		F + I	41,63	194,76	277,14	5,34	
		F + I + I	42,11	138,22	285,89	7,25	
		Média		20,80	100,10	169,40	6,55

^{1/} F e I indicam fertirrigação e irrigação, respectivamente.

Quadro 10. Contrastes ortogonais comparando o teor médio de amônio, nitrato, potássio e fósforo, considerando os solos que apresentaram homogeneidade de variâncias

Nutriente	Contraste	Valor
		mg/dm ³
N-NH ₄ ⁺	2 LVAd1 - (LVAd2 + LVd)	16,54**
	LVAd2 - LVd	-2,85*
N-NO ₃ ⁻	LVAd1 - LVAd2	-19,35**
	LVdf - LVd	-4,86
Potássio	2 LVAd1 - (LVAd2 + LVdf)	-10,27*
	LVAd2 - LVdf	-19,65
Fósforo	3 LVAd1 - (LVAd2 + LVdf + LVd)	-0,30
	2 LVAd2 - (LVdf + LVd)	1,15**
	LVdf - LVd	-4,68**

*, **: Significativo a 5 e 1%, respectivamente, pelo teste F.

Os contrastes que comparam o teor médio de N-NH₄⁺, N-NO₃⁻, potássio e fósforo, considerando o fertilizante e a lâmina aplicada, para cada solo em estudo, são apresentados no Quadro 11. Considerando que o critério utilizado para calcular a dose de cada um dos fertilizantes foi a incorporação de 20 mg/dm³ de P, verifica-se que o acréscimo de N-NH₄⁺ a cada coluna foi de 29, 14 e 81 mg para os fertilizantes complexos 15-30-15, 6-12-36 e 15-5-30, respectivamente (Quadro 4). Assim, as diferenças estatisticamente significativas registradas nos dois contrastes iniciais responderam, fundamentalmente, à maior incorporação de N-NH₄⁺ pelo terceiro dos fertilizantes indicados. A resposta à lâmina aplicada foi esporádica e, nos casos em que houve diferenciação, sempre foi registrada no sentido da diminuição do teor com o incremento das lâminas aplicadas, sinalizando alguma lixiviação de amônio em resposta à irrigação.

O comportamento do nitrato e do potássio, em linhas gerais, foi semelhante àquele do amônio (Quadros 4 e 10). Neste caso, também, pelo critério de escolha das doses (Quadro 4), o fertilizante 15-5-30 foi determinante na significância dos contrastes que compararam as três fontes de nutriente.

Quadro 11. Contrastes ortogonais comparando os teores médios de amônio, nitrato, potássio e fósforo, considerando o fertilizante (Fert) e a lâmina aplicada para cada solo em estudo

Fert	Lâmina ^{1/}	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇	C ₈
15-30-15	F	-2	0	-2	0	0	0	0	0
	F + I	-2	0	1	-1	0	0	0	0
	F + I + I	-2	0	1	1	0	0	0	0
6-12-36	F	1	-1	0	0	-2	0	0	0
	F + I	1	-1	0	0	1	-1	0	0
	F + I + I	1	-1	0	0	1	1	0	0
15-5-30	F	1	1	0	0	0	0	-2	0
	F + I	1	1	0	0	0	0	1	-1
	F + I + I	1	1	0	0	0	0	1	1
N-NH ₄ ⁺ (mg/dm ³)									
LVAd1		3,50*	32,57**	0,90	0,11	-2,18	2,66	-1,10	-7,51
LVAd2		18,14**	43,08**	-1,08	0,27	0,93	1,68	-13,30**	-16,71**
LVdf		11,00*	34,39**	-12,76	-12,73	-6,33	3,23	-11,27	-4,72
LVd		15,54**	37,63**	-2,26	0,01	-5,18	1,71	-9,31*	0,48
N-NO ₃ ⁻ (mg/dm ³)									
LVAd1		64,46**	111,07**	0,39	5,69	-2,27	-0,95	-22,28**	-26,49**
LVAd2		50,31**	98,30**	-1,52	-3,09	-13,08*	-26,93**	-38,60**	-54,08**
LVdf		68,37**	127,99**	20,37	15,59	4,86	-13,17	-39,59	-14,97
LVd		60,52**	109,96**	-7,26	-21,14	-10,87	-6,78	-22,24	-56,54*
Potássio (mg/dm ³)									
LVAd1		171,6**	97,18**	3,36	-5,11	-11,10	32,12	-29,32	22,97
LVAd2		163,83**	108,31**	2,18	-2,72	-19,47	13,94	-27,33	33,00
LVdf		180,13**	143,27**	-2,95	5,03	42,80*	-0,27	-33,06	58,14*
LVd		162,93**	118,82**	-0,94	1,96	46,07	-40,95	-32,84	8,75
Fósforo (mg/dm ³)									
LVAd1		-0,55	-0,14	0,61	-0,56	0,24	-1,89	0,66	-0,19
LVAd2		0,51	-1,01	3,40**	0,40	-1,05	0,36	0,86	2,34
LVdf		0,20	-0,07	-0,29	0,95	-0,25	-0,38	0,86	-0,57
LVd		-0,55	-0,61	1,97	2,34	1,32	0,14	0,70	1,91

^{1/} F e I indicam fertirrigação e irrigação, respectivamente.

*, **: Significativo a 5 e 1%, respectivamente, pelo teste F.

Com relação às irrigações, a maior mobilidade do nitrato em relação ao amônio levou a evidenciar diferenças em maior número de tratamentos (Quadro 11). Essas diferenças foram registradas, fundamentalmente, para os fertilizantes mais concentrados e para o solo mais arenoso (LVAd1) e para o mais caulínítico (LVAd2), em que o ânion sofre a maior repulsão.

A característica catiônica do potássio levou a respostas mais próximas daquelas do amônio que das do nitrato (Quadro 11).

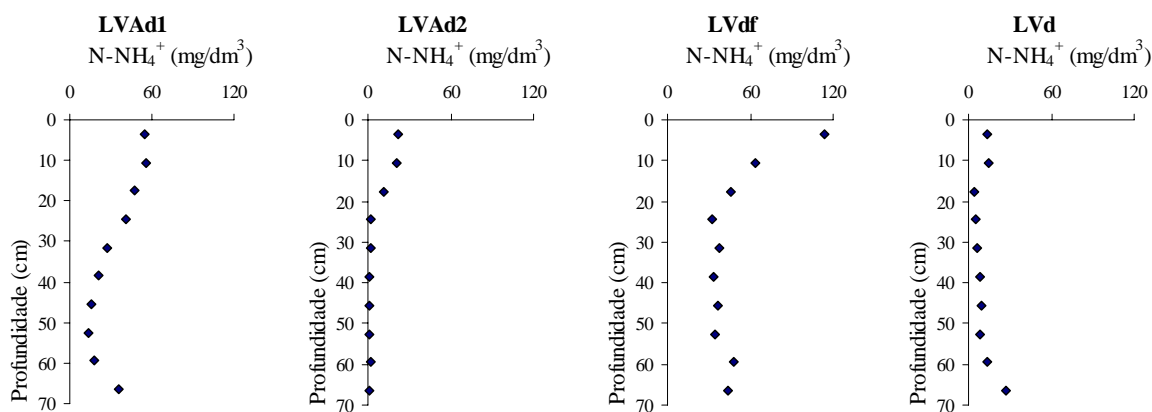
A incorporação da mesma quantidade de fósforo, independentemente da formulação utilizada, e a baixíssima mobilidade deste nutriente no perfil do solo levaram a respostas semelhantes, quando consideradas as fontes do fertilizante (Quadro 11). Mais uma vez, o material mais caulinítico (LVAd2), com maior densidade de carga negativa e, conseqüentemente, mais repulsão por ânions, comportou-se de forma diferenciada. O fósforo movimentou-se, em resposta às irrigações subseqüentes, quando aplicado através do fertilizante 15-30-15. A resposta diferenciada no que diz respeito aos outros dois fertilizantes pode ser decorrente de fontes diferentes de fósforo, não informadas pelo fabricante.

4.3. Distribuição de amônio, nitrato, potássio e fósforo nas colunas de solo

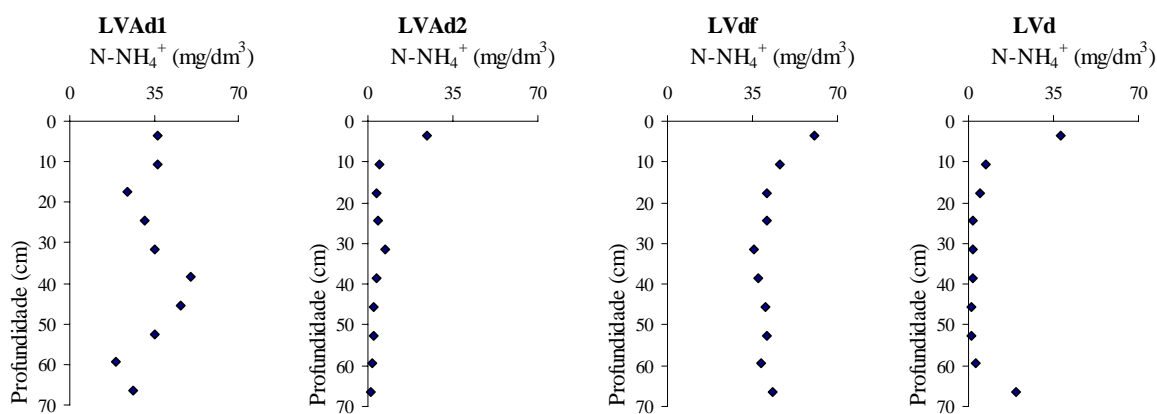
Os teores dos nutrientes em cada anel permitiram traçar o perfil de distribuição em relação à profundidade, levando em consideração o fertilizante aplicado e a lâmina utilizada, para o N-NH_4^+ , o N-NO_3^- , o potássio e o fósforo.

Com respeito à distribuição de amônio, percebe-se, na totalidade dos perfis, que a resposta à lâmina utilizada levou ao deslocamento do amônio em maior profundidade com a aplicação das lâminas subseqüentes (Figuras 1 a 3). O maior teor de N-NH_4^+ no solo LVdf é conseqüência do maior teor inicial dessa forma de nitrogênio (Quadro 2). Independentemente do solo e considerando que a relação de N-NH_4^+ nas doses aplicadas das três formulações utilizadas foi de 2,1:1,0:5,8 para os fertilizantes 15-30-15, 6-12-36 e 15-5-30, respectivamente (Quadro 4), as colunas tratadas com este último fertilizante, pela maior quantidade desta forma de nitrogênio, apresentaram resposta mais acentuada à lâmina de água (Figura 3).

Fertirrigação



Fertirrigação + Irrigação



Fertirrigação + Irrigação + Irrigação

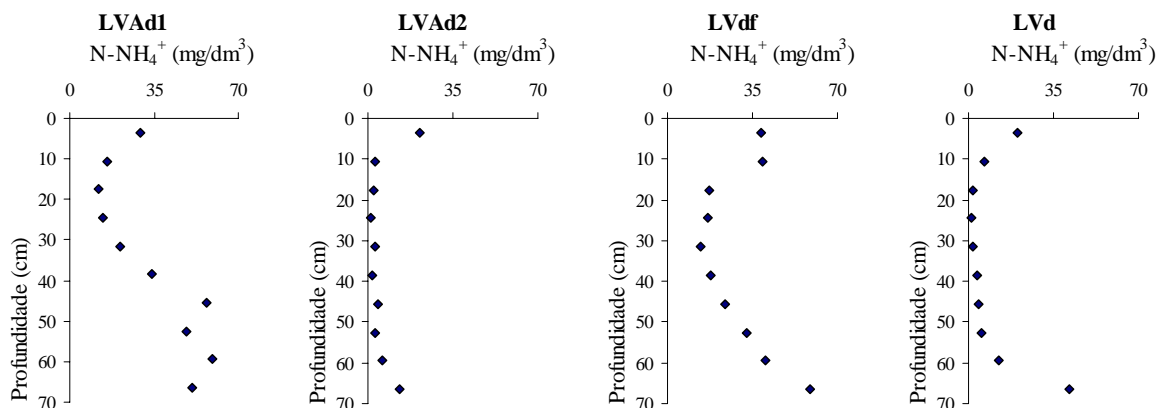
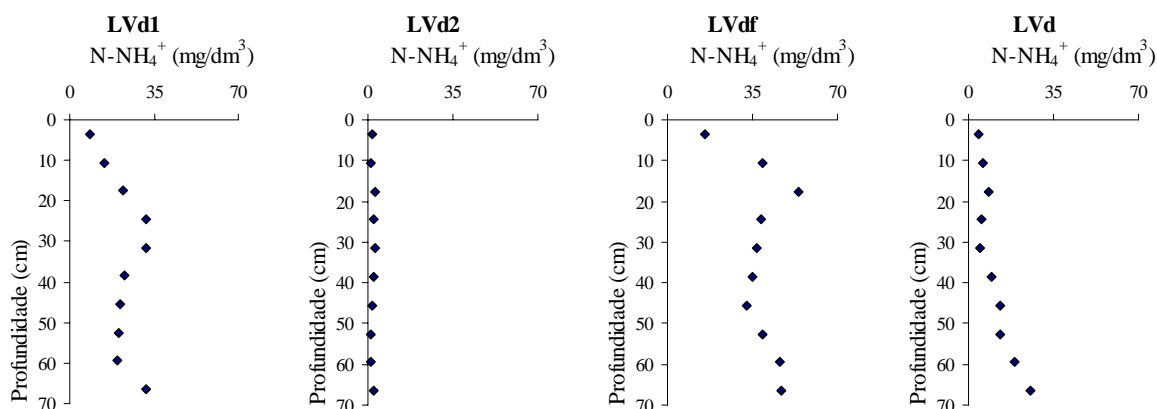
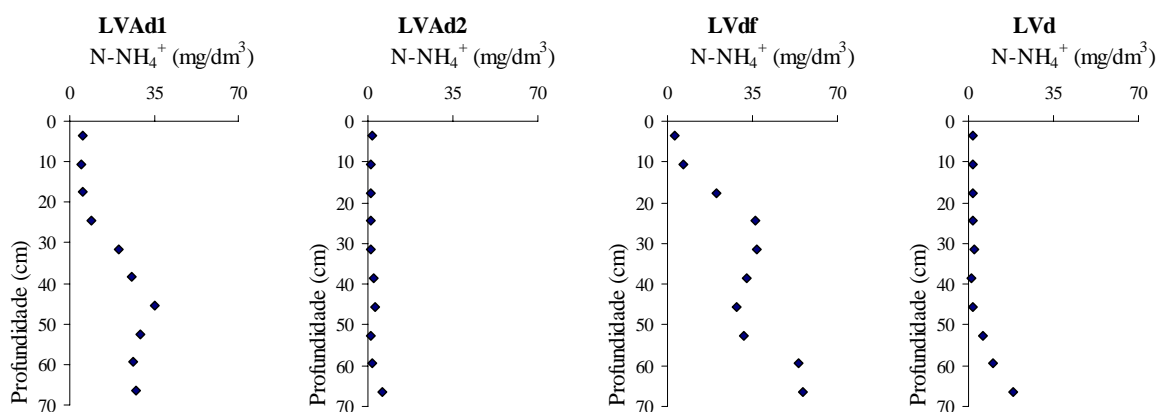


Figura 1. Distribuição de amônio no solo, em resposta à aplicação de 29 mg de N-NH₄⁺ pela utilização do fertilizante 15-30-15, considerando a lâmina e a profundidade de amostragem.

Fertirrigação



Fertirrigação + Irrigação



Fertirrigação + Irrigação + Irrigação

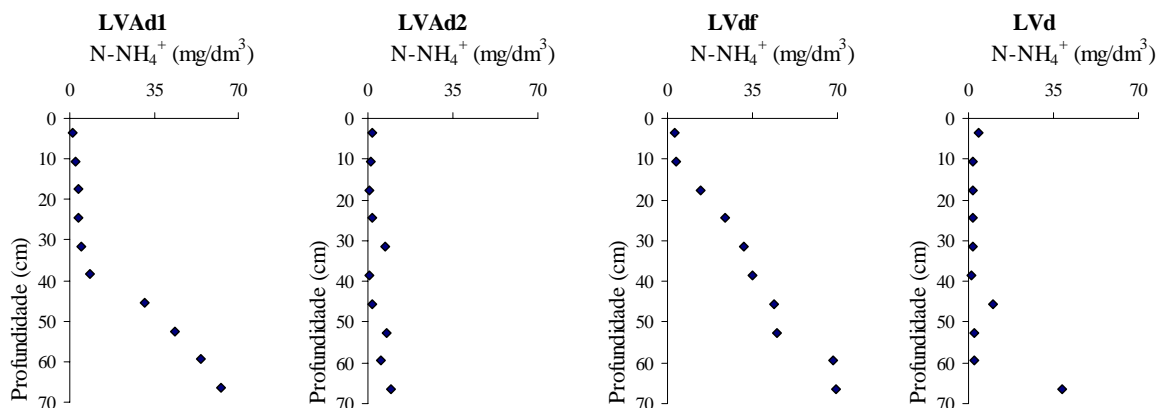
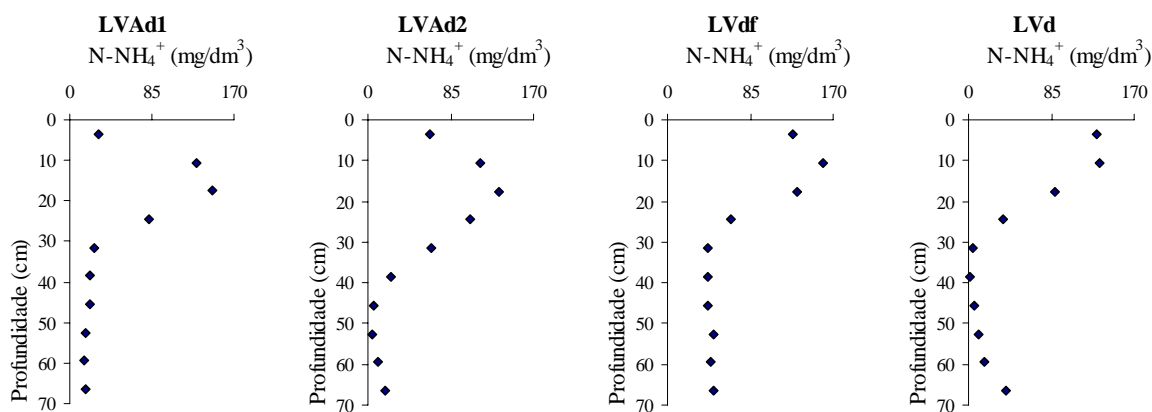
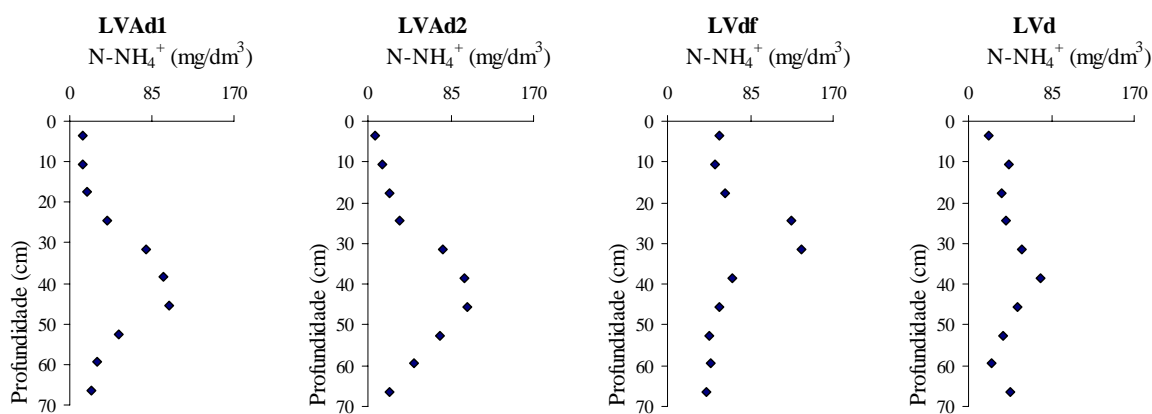


Figura 2. Distribuição de amônio no solo, em resposta à aplicação de 14 mg de $N-NH_4^+$ pela utilização do fertilizante 6-12-36, considerando a lâmina e a profundidade de amostragem.

Fertirrigação



Fertirrigação + Irrigação



Fertirrigação + Irrigação + Irrigação

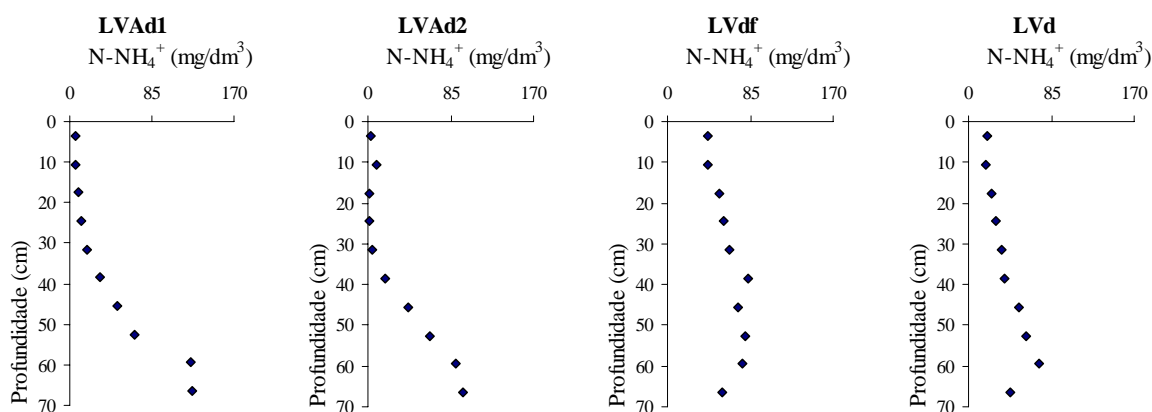


Figura 3. Distribuição de amônio no solo, em resposta à aplicação de 81 mg de $N-NH_4^+$ pela utilização do fertilizante 15-5-30, considerando a lâmina e a profundidade de amostragem.

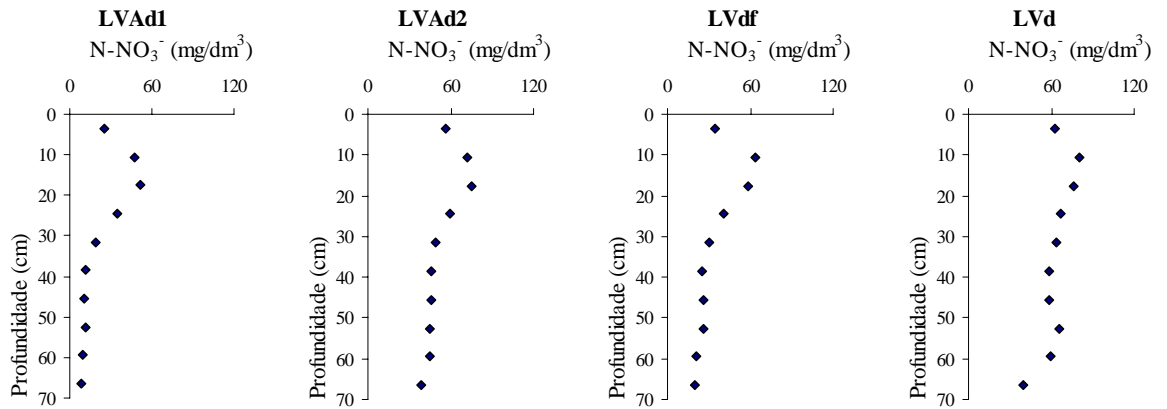
Com teor inicial semelhante de N-NH_4^+ , o LVAd, mais arenoso, mostrou, cinco dias após a última irrigação, maior teor de N-NH_4^+ que o LVAd2, mais caulínítico, e que o LVd, o mais argiloso entre os solos estudados, reflexo da sua menor capacidade-tampão para este cátion (Quadro 2 e Figuras 1, 2 e 3).

As colunas que receberam o 15-30-15 apresentaram incremento do teor de N-NH_4^+ no anel superior, nas irrigações subseqüentes à fertirrigação (Figura 1). Uma possível justificativa seria a amonificação da matéria orgânica, porém, se assim fosse, essa resposta seria também esperada nas colunas que foram tratadas com 6-12-36 e 15-5-30. As informações fornecidas pelo fabricante não permitem evidenciar características diferenciais entre o primeiro dos fertilizantes e os dois restantes (Quadro 3).

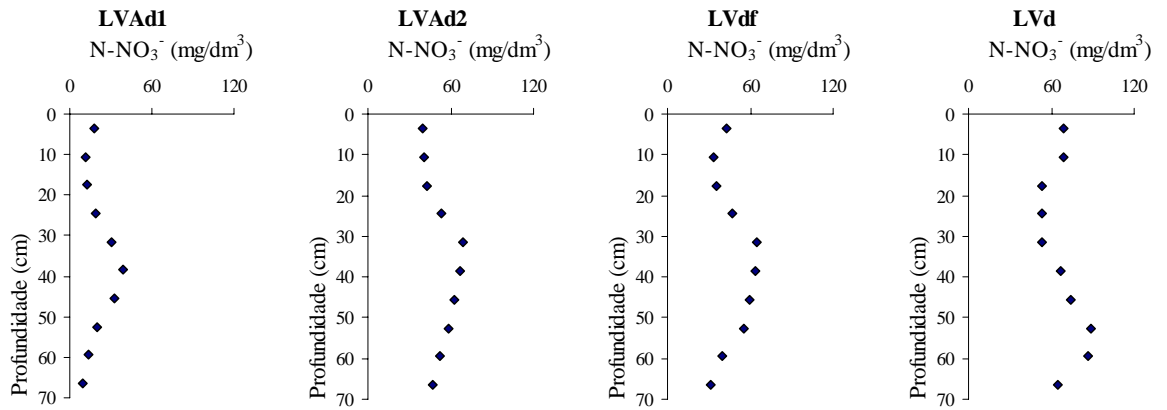
Na distribuição de nitrato (Figuras 4 a 6), os perfis levam à suposição de maior interação deste ânion com os materiais mais oxídicos. Assim, haveria maior retardamento ao transporte deste ânion nos solos LVdf e LVd, em relação a LVAd1 e LVAd2. A relação do N-NO_3^- entre as formulações utilizadas foi de 1,0:1,6:9,6 para 15-30-15, 6-12-36 e 15-5-30, respectivamente (Quadro 4). Independentemente da apreciável quantidade de N-NO_3^- aplicada pelo fertilizante 15-5-30, sua mobilidade é evidenciada pelo baixo teor de nitrato na metade superior das colunas, para todos os solos, nos tratamentos que receberam duas irrigações após a fertirrigação.

Em se tratando do o nitrato, também foi observado incremento do seu teor no anel superior, após duas irrigações, quando utilizado o fertilizante 15-30-15 (Figura 4). Neste caso, porém, a suposição de nitrificação nesse tratamento justificar-se-ia pela relação $\text{N-NH}_4^+/\text{N-NO}_3^-$, de 1,12, comparada aos valores de 0,34 e 0,33 para 6-12-36 e 15-5-30, respectivamente (Quadro 4).

Fertirrigação



Fertirrigação + Irrigação



Fertirrigação + Irrigação + Irrigação

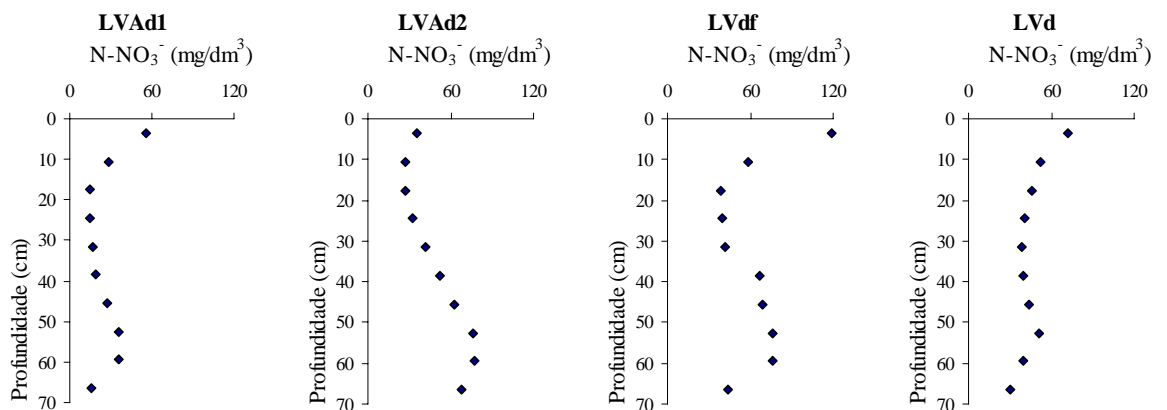
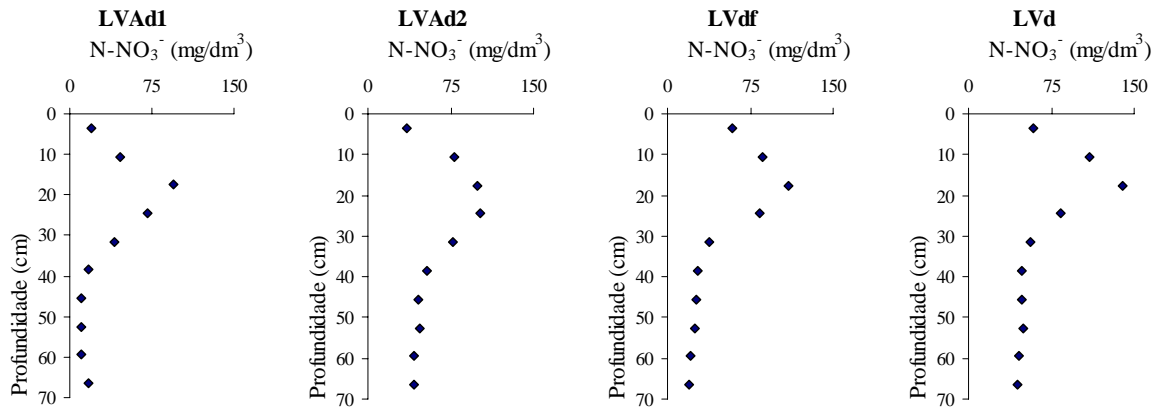
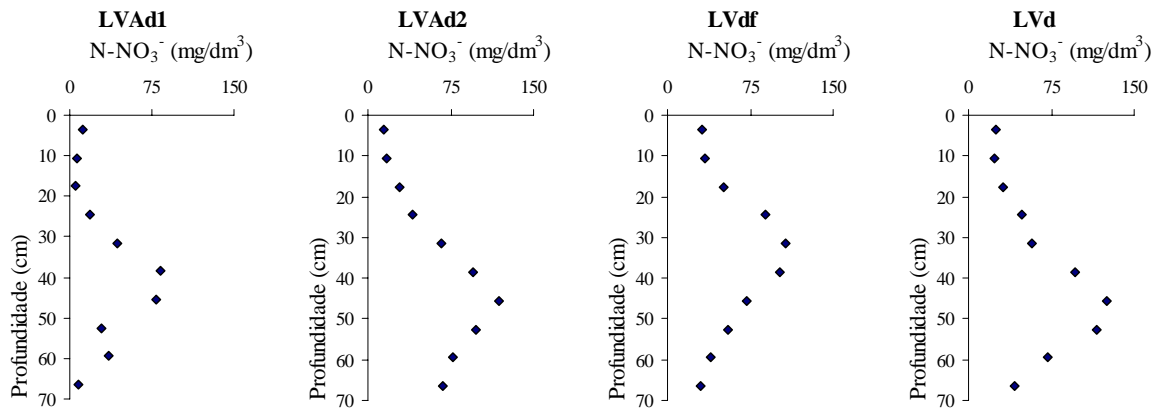


Figura 4. Distribuição de nitrato no solo, em resposta à aplicação de 26 mg de N-NO_3^- pela utilização do fertilizante 15-30-15, considerando a lâmina e a profundidade de amostragem.

Fertirrigação



Fertirrigação + Irrigação



Fertirrigação + Irrigação + Irrigação

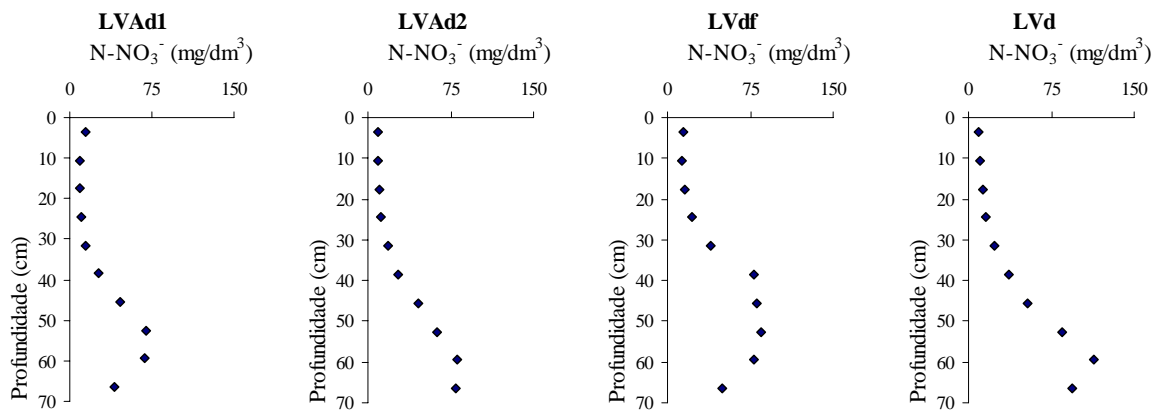
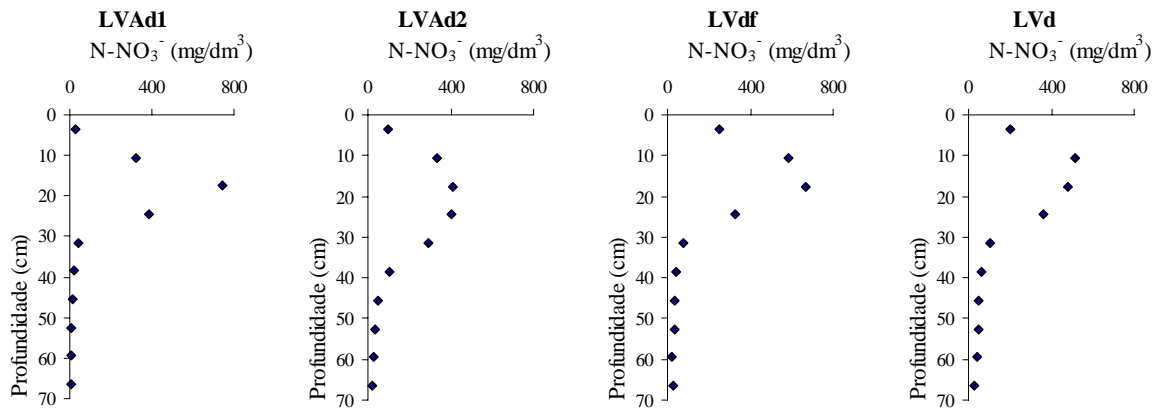
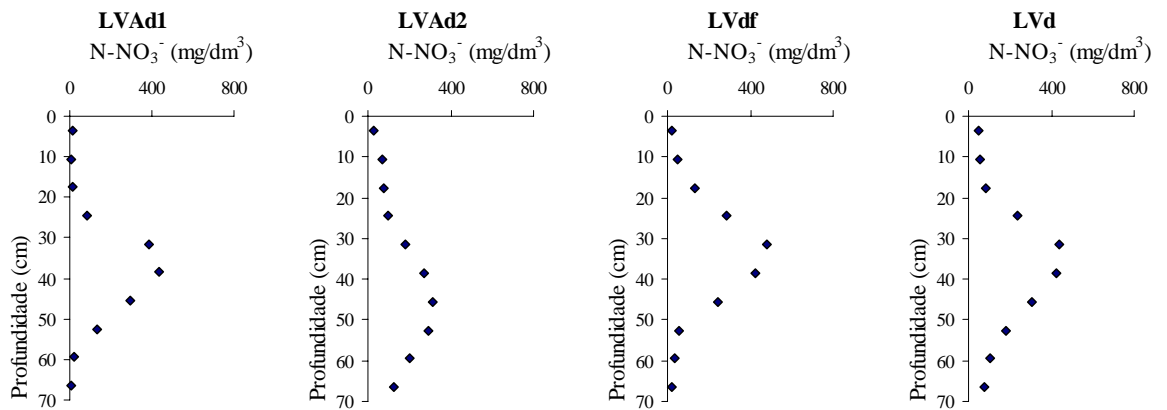


Figura 5. Distribuição de nitrato no solo, em resposta à aplicação de 41 mg de N-NO_3^- pela utilização do fertilizante 6-12-36, considerando a lâmina e a profundidade de amostragem.

Fertirrigação



Fertirrigação + Irrigação



Fertirrigação + Irrigação + Irrigação

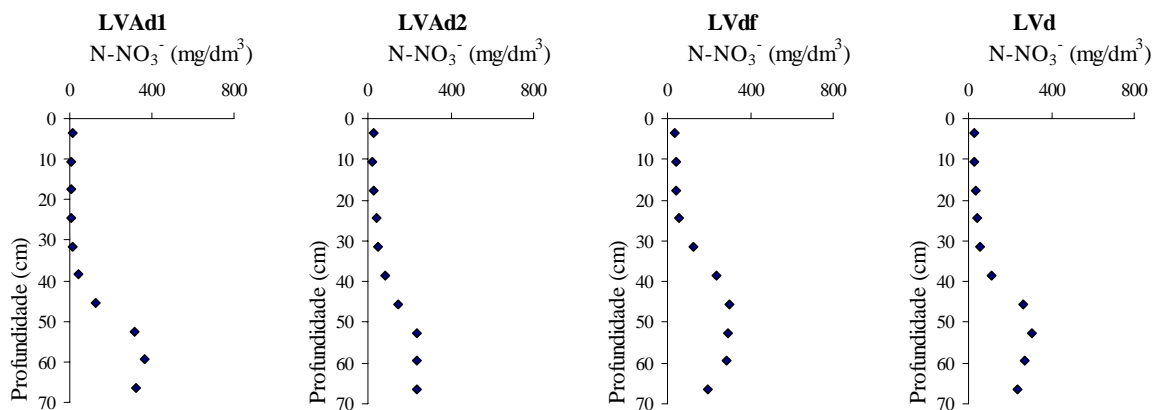


Figura 6. Distribuição de nitrato no solo, em resposta à aplicação de 249 mg de N-NO_3^- pela utilização do fertilizante 15-5-30, considerando a lâmina e a profundidade de amostragem.

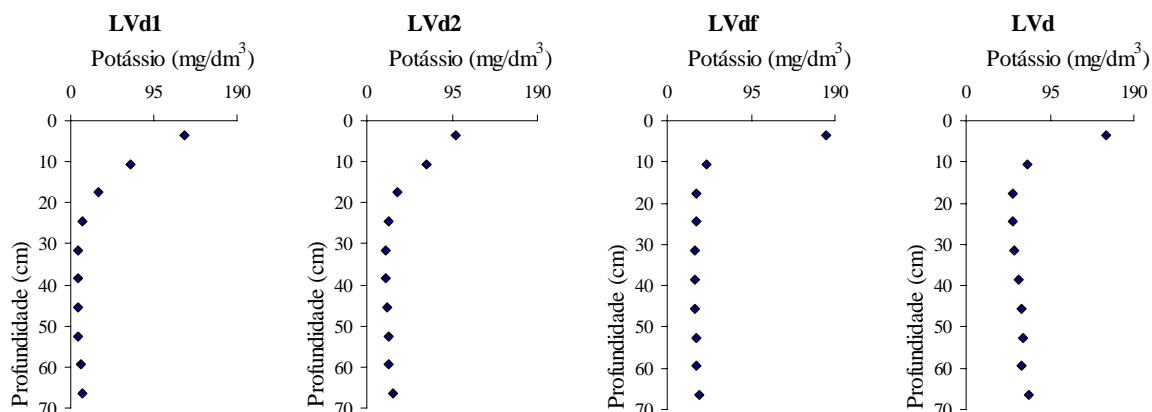
Na distribuição do potássio, observou-se comportamento diferenciado entre as fontes. A relação do nutriente nas doses aplicadas foi de 1,0:6,0:11,9, para 15-30-15, 6-12-36 e 15-5-30, respectivamente (Quadro 4). Assim, a baixa quantidade de potássio aplicada com o fertilizante 15-30-15 não evidenciou sua movimentação nas colunas (Figuras 7 a 9). Essa resposta à quantidade de potássio aplicada é visualizada pela forma dos perfis de distribuição correspondentes aos outros dois fertilizantes formulados, percebendo-se a descida mais acentuada nas aplicações de 15-5-30.

Dos quatro solos estudados, Oliveira (2001) determinou os fatores de retardamento para N-NH_4^+ , potássio e fósforo nos solos LVAd2 e LVd., Encontrando diferença no fator de retardamento médio, com valores de 2,37 e 4,18 para o potássio, respectivamente. É responsável pelo perfil de distribuição distinto desses dois solos, com máximo teor à maior profundidade no LVAd2 (Figuras 7 a 9).

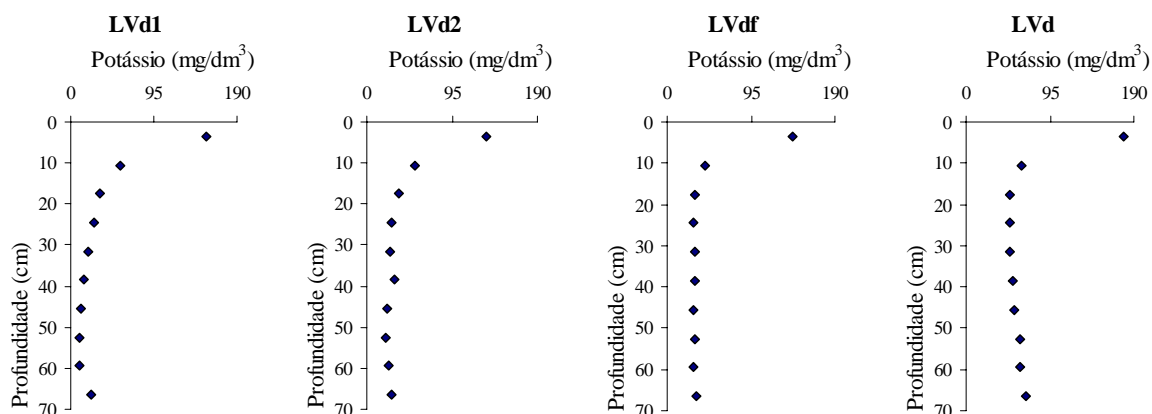
Houve resposta da movimentação de potássio com as lâminas de água aplicadas após a fertirrigação. Contudo, esse comportamento é observado nos perfis de distribuição, quando maiores quantidades de potássio são aplicadas. Nas condições experimentais, os fertilizantes 6-12-36 e 15-5-30 se incorporaram às colunas 274 e 548 mg/coluna de potássio, respectivamente (Figuras 8 e 9). Nota-se que a mobilidade do potássio é mais restrita que as de amônio e nitrato (Figuras 1 a 9).

O fósforo concentrou-se no anel superior, mostrando início de transporte somente no LVAd2, o material mais caulínítico, após duas irrigações, quando aplicado 6-12-36 (Figuras 10 a 12). Esse baixo deslocamento é conhecido, porém não pode ser indicado como ausência de transporte na solução do solo, principalmente quando aplicado por fertirrigação, em condições de saturação do meio poroso. Oliveira (2001), trabalhando com dois dos solos aqui utilizados (LVAd2 e LVd), determinou fatores de retardamento médios de 15,50, 3,28 e 2,29 para fosfato, potássio e amônio, respectivamente. Considerando que, neste ensaio, trabalhou-se com 0,60 volume de poros de fluido deslocador, o transporte de fósforo seria, necessariamente, mínimo.

Fertirrigação



Fertirrigação + Irrigação



Fertirrigação + Irrigação + Irrigação

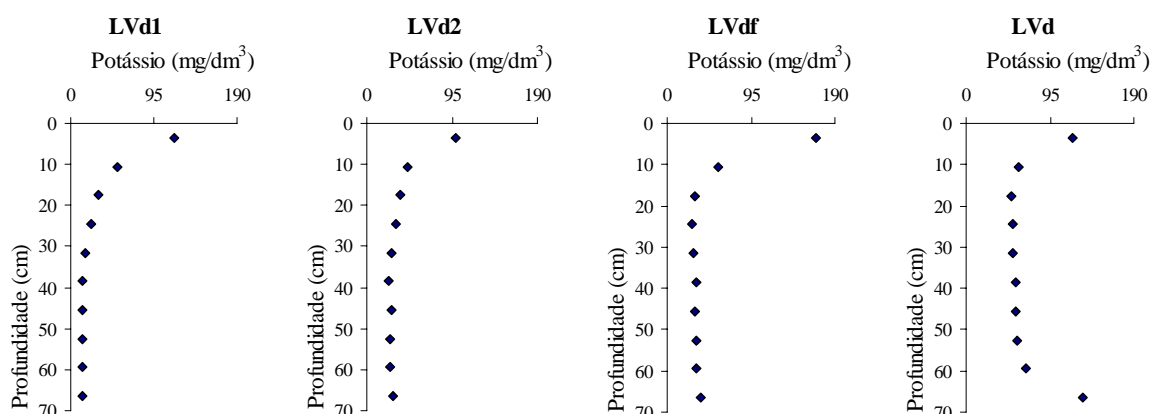
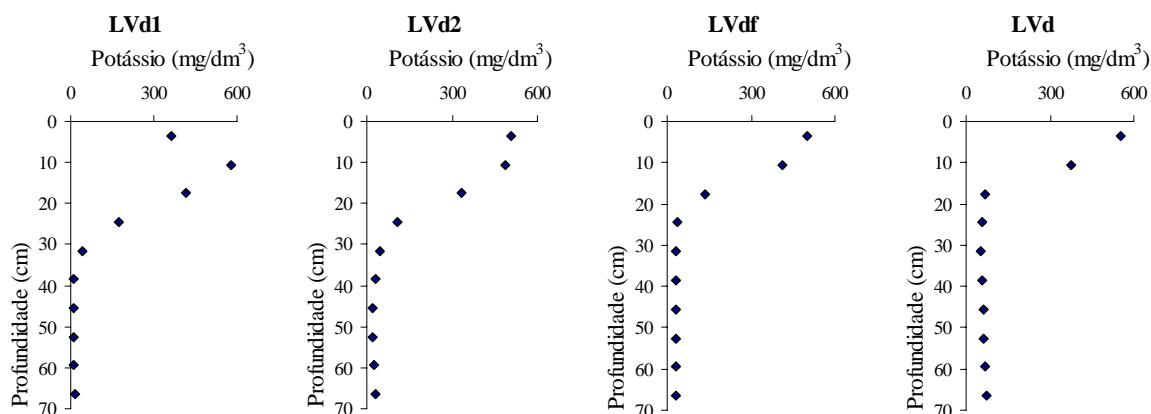
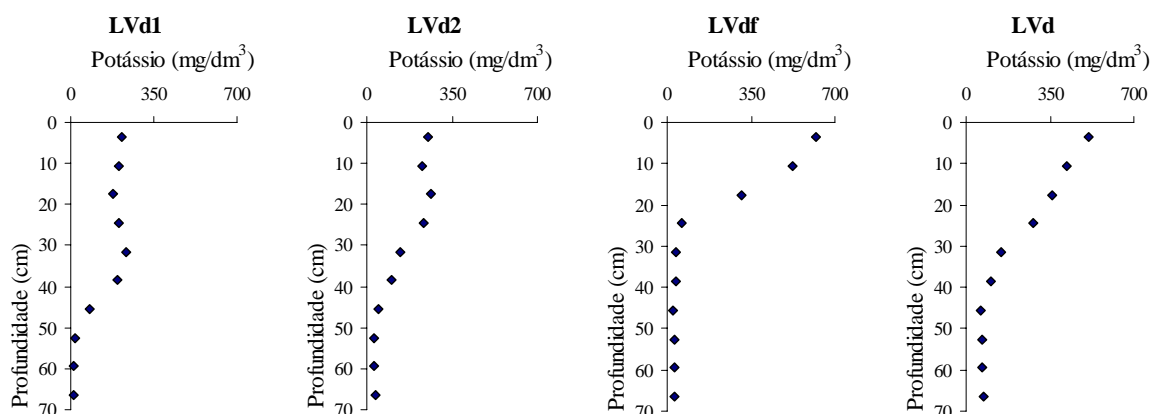


Figura 7. Distribuição de potássio no solo, em resposta à aplicação de 46 mg de potássio pela utilização do fertilizante 15-30-15, considerando a lâmina e a profundidade de amostragem.

Fertirrigação



Fertirrigação + Irrigação



Fertirrigação + Irrigação + Irrigação

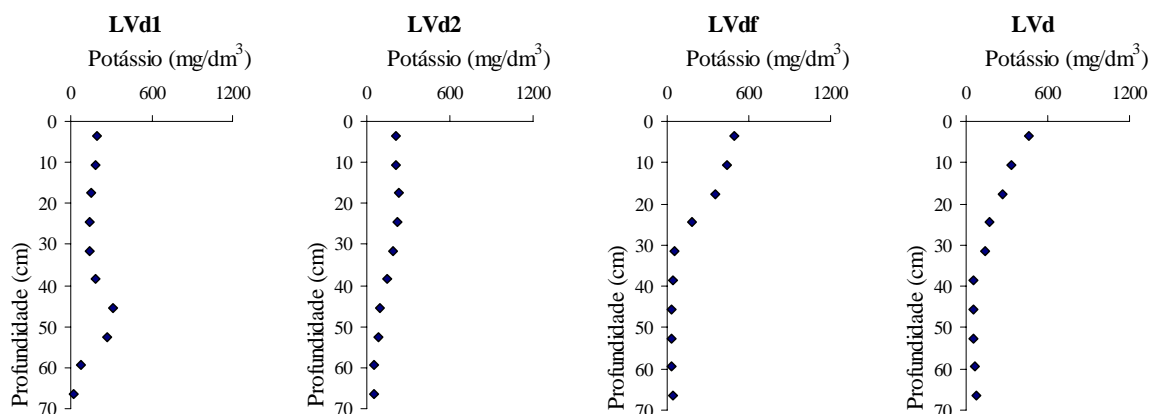
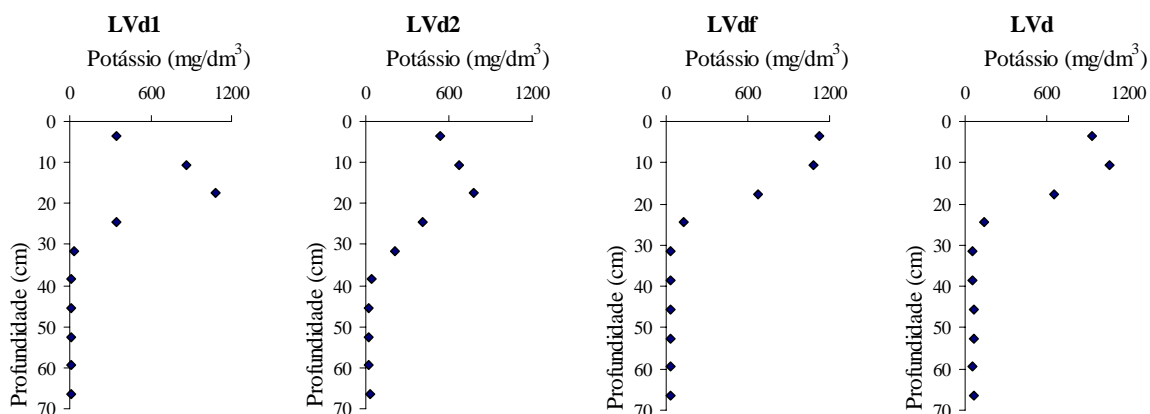
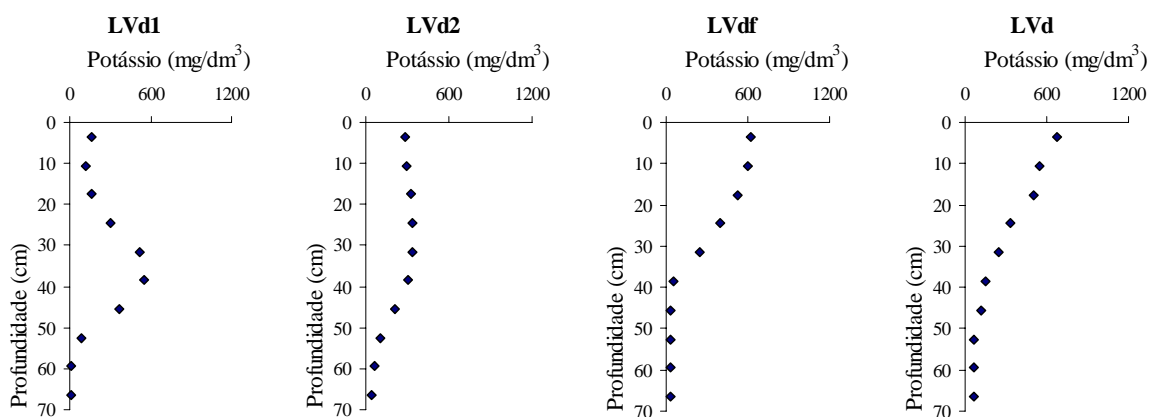


Figura 8. Distribuição de potássio no solo, em resposta à aplicação de 274 mg de potássio pela utilização do fertilizante 6-12-36, considerando a lâmina e a profundidade de amostragem.

Fertirrigação



Fertirrigação + Irrigação



Fertirrigação + Irrigação + Irrigação

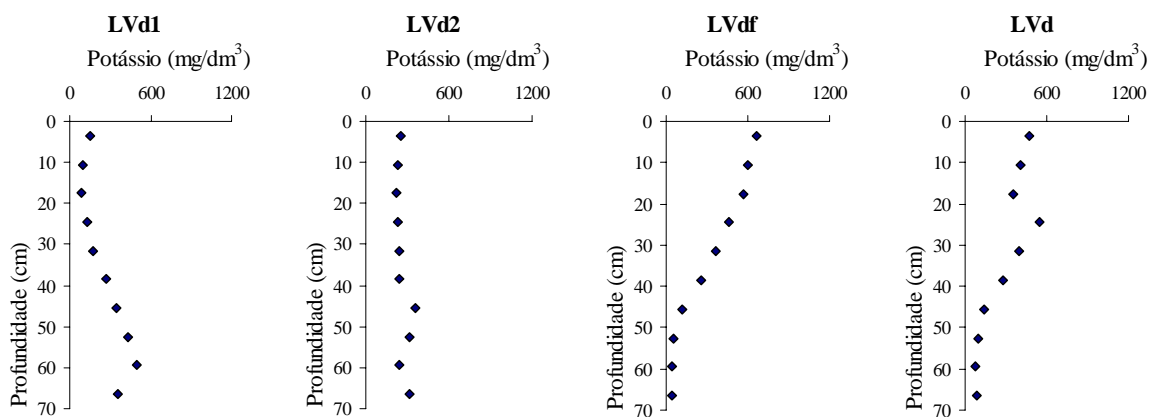
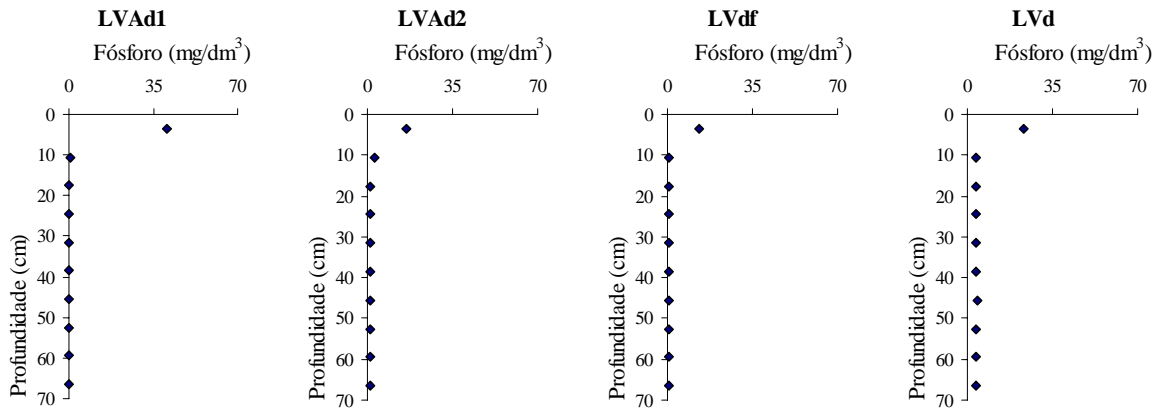
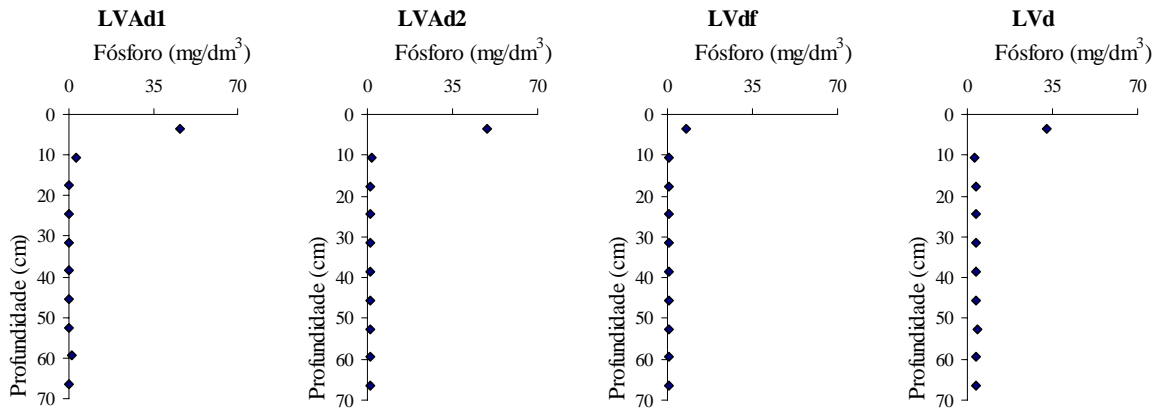


Figura 9. Distribuição de potássio no solo, em resposta à aplicação de 548 mg de potássio pela utilização do fertilizante 15-5-30, considerando a lâmina e a profundidade de amostragem.

Fertirrigação



Fertirrigação + Irrigação



Fertirrigação + Irrigação + Irrigação

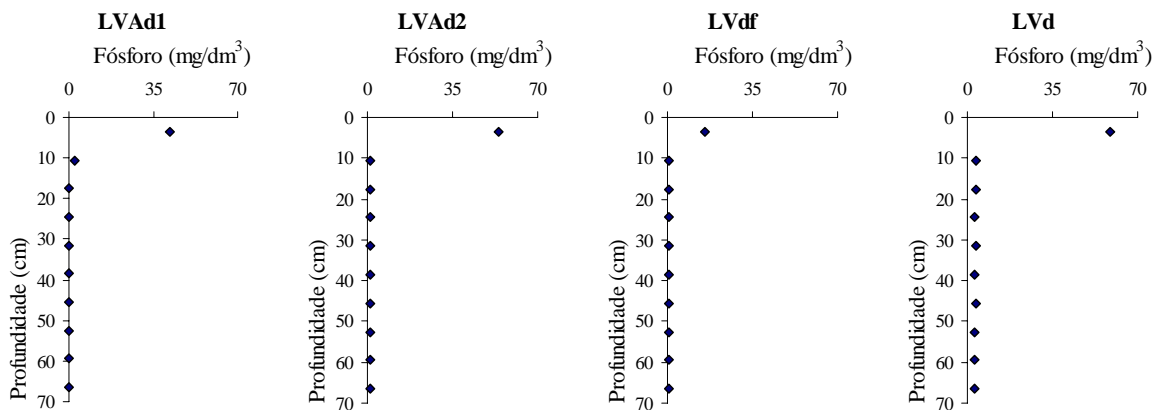
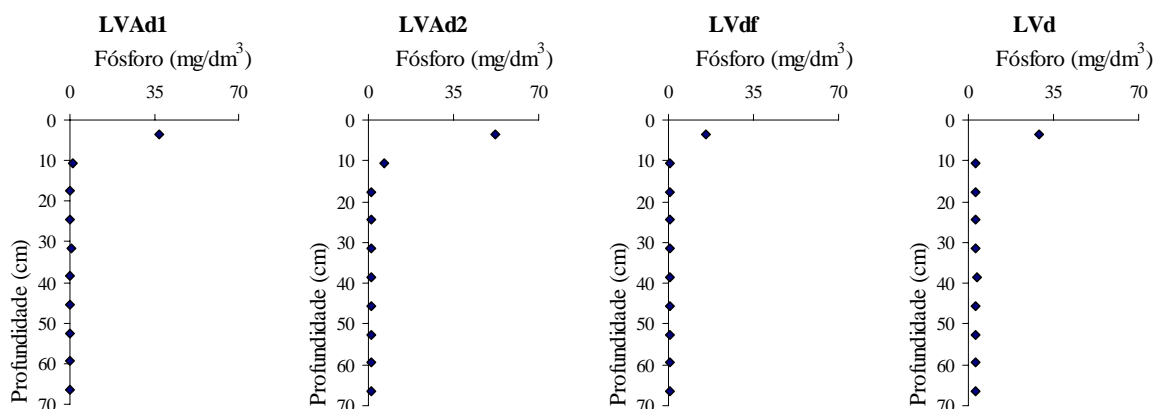
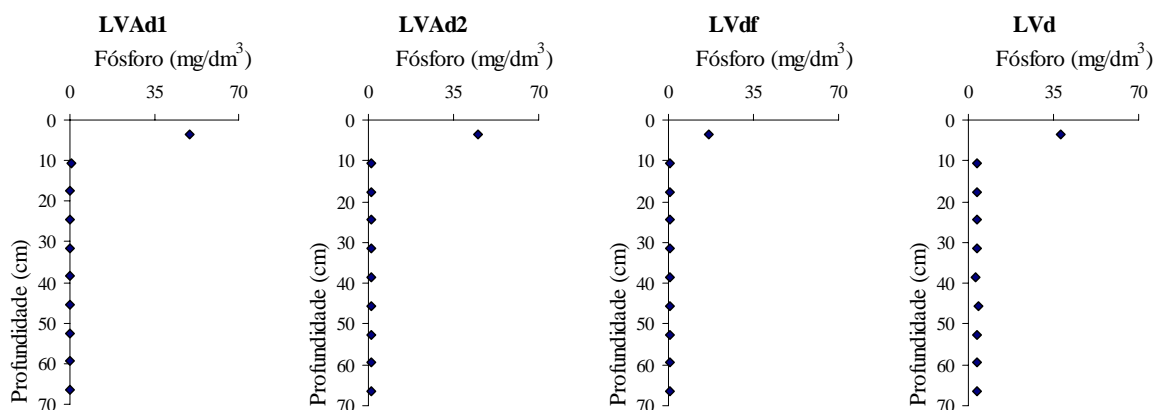


Figura 10. Distribuição de fósforo no solo, em resposta à aplicação de 48 mg de fósforo pela utilização do fertilizante 15-30-15, considerando a lâmina e a profundidade de amostragem.

Fertirrigação



Fertirrigação + Irrigação



Fertirrigação + Irrigação + Irrigação

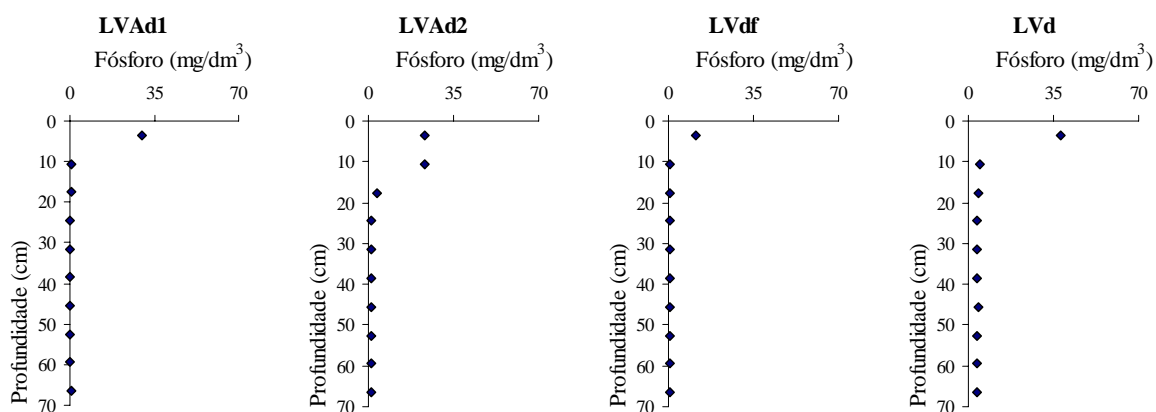
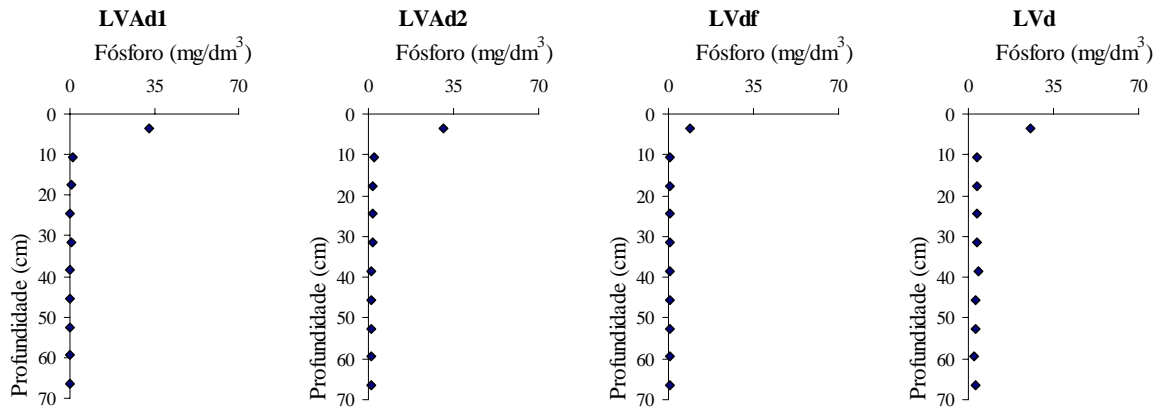
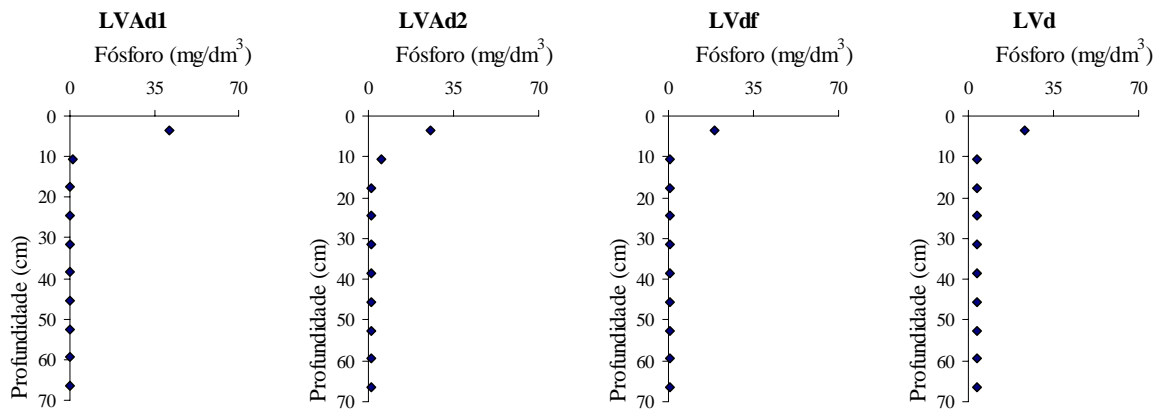


Figura 11. Distribuição de fósforo no solo, em resposta à aplicação de 48 mg de fósforo pela utilização do fertilizante 6-12-36, considerando a lâmina e a profundidade de amostragem.

Fertirrigação



Fertirrigação + Irrigação



Fertirrigação + Irrigação + Irrigação

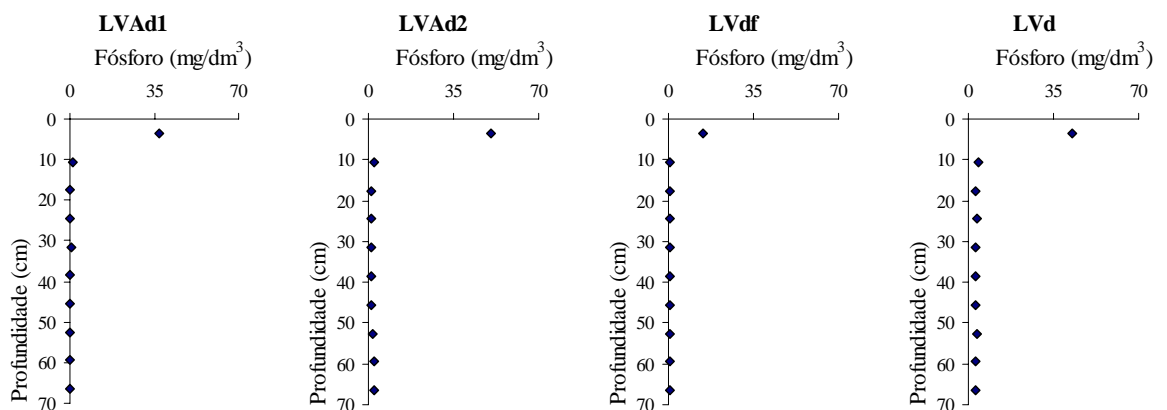


Figura 12. Distribuição de fósforo no solo, em resposta à aplicação de 48 mg de fósforo pela utilização do fertilizante 15-5-30, considerando a lâmina e a profundidade de amostragem.

Com os valores correspondentes a cada uma das repetições que levaram às médias apresentadas nas Figuras 1 a 12, determinou-se a profundidade de máximo teor de amônio, de nitrato, de potássio e de fósforo nas colunas preenchidas com os quatro solos em estudo. Para isso, considerando que cada anel tinha 7 cm de altura, à profundidade média do primeiro anel foi atribuído o valor de 3,5 cm, e assim sucessivamente, até o décimo anel, com profundidade de 66,5 cm. Também, nesta avaliação, foi considerado exclusivamente o movimento descendente dos íons em estudo, excluindo-se eventuais incrementos na disponibilidade em superfície, como apontado para o amônio e o nitrato, em tratamentos com 15-30-15. As profundidades de máximo teor assim calculadas são apresentadas no Quadro 12.

Após constatação da homogeneidade de variâncias, os solos com essas características foram comparados, para estabelecer eventuais diferenças na profundidade de máximo teor de amônio, nitrato e potássio (Quadro 13). O fósforo foi excluído, considerando que em três dos solos (LVAd1, LVdf e LVd) o máximo teor foi observado, consistentemente, no primeiro anel; no restante (LVAd2), somente o tratamento F + I + I na aplicação do fertilizante 6-12-36 evidenciou movimentação (Figura 10).

Com respeito ao amônio, o LVd apresentou maior profundidade de máximo teor que o LVAd1 (Quadro 13). Observando os perfis de distribuição do amônio nesses dois solos (Figuras 1 a 3), verifica-se comportamento semelhante em resposta à aplicação de 15-5-30 (Figura 3), fertilizante que apresentava a maior concentração de amônio nas doses utilizadas no ensaio. A diferença correspondeu, fundamentalmente, à distribuição do 15-30-15 e do 6-12-36, os fertilizantes com menor quantidade de amônio aplicada (Quadro 4). Pelas características dos solos, o LVAd1, mais caulínico em relação ao LVd, apresentou maior interação do amônio com o complexo de troca catiônico, dificultando seu deslocamento na coluna.

Quadro 12. Profundidade de máximo teor de amônio, nitrato, potássio e fósforo, nas colunas de solo, considerando o solo, o fertilizante e a lâmina aplicada

Solo	Fertilizante	Lâmina ^{1/}	cm				
			N-NH ₄ ⁺	N-NO ₃ ⁻	Potássio	Fósforo	
LVAd1	15-30-15	F	7,0	17,5	3,5	3,5	
		F + I	38,5	38,5	3,5	3,5	
		F + I + I	49,0	57,2	3,5	3,5	
	6-12-36	F	31,5	19,8	12,8	3,5	
		F + I	49,0	43,2	28,0	3,5	
		F + I + I	64,2	57,2	45,5	3,5	
	15-5-30	F	17,5	17,5	17,5	3,5	
		F + I	38,5	40,8	38,5	3,5	
		F + I + I	61,8	59,5	59,5	3,5	
	Média		39,7	39,0	23,6	3,5	
	LVAd2	15-30-15	F	7,0	17,5	3,5	3,5
			F + I	31,5	38,5	3,5	3,5
F + I + I			66,5	59,5	3,5	3,5	
6-12-36		F	31,5	22,1	8,2	3,5	
		F + I	50,2	47,8	8,2	3,5	
		F + I + I	59,5	61,8	10,5	8,2	
15-5-30		F	17,5	19,8	12,8	3,5	
		F + I	42,0	47,8	29,2	3,5	
		F + I + I	64,2	59,5	45,5	3,5	
Média			41,1	41,6	13,9	4,0	
LVdf		15-30-15	F	3,5	12,8	3,5	3,5
			F + I	21,0	33,8	3,5	3,5
	F + I + I		61,8	56,0	3,5	3,5	
	6-12-36	F	17,5	17,5	5,8	3,5	
		F + I	57,2	33,8	3,5	3,5	
		F + I + I	63,0	47,8	3,5	3,5	
	15-5-30	F	8,2	15,2	5,8	3,5	
		F + I	29,2	31,5	5,8	3,5	
		F + I + I	45,5	52,5	3,5	3,5	
	Média		34,1	33,4	4,3	3,5	
	LVd	15-30-15	F	66,5	15,2	3,5	3,5
			F + I	66,5	54,8	3,5	3,5
F + I + I			66,5	56,0	3,5	3,5	
6-12-36		F	64,2	17,5	3,5	3,5	
		F + I	66,5	45,5	3,5	3,5	
		F + I + I	66,5	61,8	3,5	3,5	
15-5-30		F	10,5	17,5	10,5	3,5	
		F + I	38,5	36,2	3,5	3,5	
		F + I + I	45,5	61,8	10,5	3,5	
Média			54,6	40,7	5,1	3,5	

^{1/} F e I indicam fertirrigação e irrigação, respectivamente.

Quadro 13. Contrastes ortogonais comparando a profundidade de máximo teor de amônio, nitrato e potássio, considerando os solos que apresentaram homogeneidade de variâncias

Nutriente	Contraste	Valor
		cm
N-NH ₄ ⁺	LVA _d 1 - LV _d	-14,9**
	LVA _d 2 - LV _{df}	7,0
N-NO ₃ ⁻	3 LVA _d 1 - (LVA _d 2 + LV _{df} + LV _d)	0,43
	2 LVA _d 2 - (LV _{df} + LV _d)	4,55**
	LV _{df} - LV _d	-7,3**
Potássio	LVA _d 1 - LV _{df}	19,3**
	LVA _d 2 - LV _d	8,8**

** : Significativo a 1% pelo teste F.

Essa observação, porém, poderia ser questionada no confronto com a profundidade de máximo teor de potássio (Quadros 12 e 13). Os materiais mais argilosos, com maior teor inicial de potássio e com maior teor de matéria orgânica (Quadro 2) apresentaram menor deslocamento desse nutriente, como mostra a comparação do LVA_d1 com o LV_{df} e do LVA_d2 com o LV_d.

A significância dos contrastes na determinação da profundidade de máximo teor de nitrato deveu-se, fundamentalmente, ao menor movimento desse ânion nas colunas do LV_{df} (Quadros 12 e 13). O material perférrico evidencia, assim, adsorção de nitrato.

Observando a resposta às fontes e lâminas aplicadas, verifica-se que tanto o amônio quanto o nitrato apresentam a maior mobilidade nas colunas, com valores intermediários para o potássio e praticamente nulos para o fósforo (Quadro 12).

Considerando que a relação de N-NH₄⁺ para as três fontes foi de 2,1:1,0:5,8, nos fertilizantes 15-30-15, 6-12-36 e 15-5-30, respectivamente

(Quadro 4), verifica-se que, no confronto entre as duas quantidades extremas (6-12-36 e 15-5-30), a fertirrigação mais diluída em amônio teve menor profundidade de máximo teor que a mais concentrada (Contraste 2, Quadro 14). Isso se verificou também para o LVd, quando relacionados os três fertilizantes, como mostrado no contraste inicial do mesmo quadro. Nesse solo o máximo teor de amônio, quando aplicado 15-30-15 ou 6-12-36, foi observado geralmente na extremidade inferior da coluna. O máximo teor em posições intermediárias para o 15-5-30 indicaria interações do amônio com os colóides deste solo, mais argiloso e com maior conteúdo de matéria orgânica.

O nitrato, mais móvel, não apresentou diferenças entre fontes (Quadro 14). Já o potássio, com mobilidade intermediária entre os quatro íons estudados, mostrou comportamento diferenciado, com resposta à concentração do nutriente na formulação, para os solos de menor capacidade de adsorção (LVAd1 e LVAd2). Isso não se verificou nas colunas preenchidas com LVdf e LVd, com o potássio concentrando-se próximo à superfície da coluna (Quadros 12 e 14).

Em geral, tanto o amônio como o nitrato movimentaram-se mais nas colunas com o incremento da lâmina aplicada, e o fósforo permaneceu praticamente imóvel, em resposta à lâmina de até 0,6 volume de poros (Quadro 14). O potássio mostrou resposta diferenciada à lâmina, distinguindo-se os dois solos mais arenosos (LVAd1 e LVAd2) dos dois mais argilosos (LVdf e LVd). Assim, nos dois primeiros, com menor capacidade de troca catiônica, houve movimentação com o incremento da lâmina. Os dois restantes, com maior poder de adsorção, mantiveram o máximo teor do nutriente próximo à superfície das colunas (Quadros 12 e 14).

Quadro 14. Contrastes ortogonais comparando as profundidades de máximo teor de amônio, nitrato, potássio e fósforo, considerando o fertilizante (Fert) e a lâmina aplicada para cada solo em estudo

Fert	Lâmina ^{1/}	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇	C ₈
15-30-15	F	-2	0	-2	0	0	0	0	0
	F + I	-2	0	1	-1	0	0	0	0
	F + I + I	-2	0	1	1	0	0	0	0
6-12-36	F	1	-1	0	0	-2	0	0	0
	F + I	1	-1	0	0	1	-1	0	0
	F + I + I	1	-1	0	0	1	1	0	0
15-5-30	F	1	1	0	0	0	0	-2	0
	F + I	1	1	0	0	0	0	1	-1
	F + I + I	1	1	0	0	0	0	1	1
N-NH ₄ ⁺ (cm)									
	LVAd1	12,3**	-9,0**	36,8**	10,5*	25,1**	15,2**	41,4**	23,3**
	LVAd2	9,2**	-5,8	42,0**	35,0**	23,4**	9,3	35,6**	22,2*
	LVdf	8,0	-18,3**	32,1**	40,8**	42,6**	5,8	29,2**	16,3
	LVd	-17,8**	-34,3**	0,0	0,0	2,3	0,0	31,5**	7,0
N-NO ₃ ⁻ (cm)									
	LVAd1	1,9	-0,8	30,4**	18,7**	30,4**	14,0**	32,7**	18,7**
	LVAd2	4,6*	-1,5	31,5**	21,0**	32,7**	14,0**	33,9**	11,7**
	LVdf	-1,2	0,0	32,1**	22,2**	23,3**	14,0**	26,8**	21,0**
	LVd	-2,0	-3,1	40,2**	1,2	36,2**	16,3**	31,5**	25,6**
Potássio (cm)									
	LVAd1	30,1**	9,7**	0	0	24,0**	17,5**	31,5**	21,0**
	LVAd2	15,6**	20,2**	0	0	1,2	1,2	24,6**	16,3**
	LVdf	1,2	0,8	0	0	-2,3	0	-1,2	-2,3
	LVd	2,3	2,3*	0	0	0	0	-3,5	7,0
Fósforo (cm)									
	LVAd1	0	0	0	0	0	0	0	0
	LVAd2	0,8	-0,8*	0	0	0,8*	0,8**	0	0
	LVdf	0	0	0	0	0	0	0	0
	LVd	0	0	0	0	0	0	0	0

^{1/} F e I indicam fertirrigação e irrigação, respectivamente.

*, **: Significativo a 5 e 1%, respectivamente, pelo teste F.

5. RESUMO E CONCLUSÕES

Com o objetivo de determinar a distribuição e mobilidade do amônio, do nitrato, do potássio e do fósforo, aplicados por fertirrigação na forma de fertilizantes formulados, realizou-se um experimento em laboratório, utilizando colunas de percolação de 2,4 dm³, seccionadas em dez anéis de 7 cm de altura. Os tratamentos corresponderam a um fatorial 4 x 3 x 3, sendo quatro Latossolos de Minas Gerais (dois Latossolos Vermelho-Amarelos distróficos, um Latossolo Vermelho distroférico e um Latossolo Vermelho distrófico), três formulações comerciais (15-30-15, 6-12-36 e 15-5-30), em doses calculadas para incorporar 20 mg/dm³ de P, e três lâminas de irrigação, correspondentes a fertirrigação com 0,20 volume de poros (F); fertirrigação seguida de irrigação com igual volume de água (F + I); e fertirrigação seguida de duas irrigações semelhantes (F + I + I). Para homogeneizar a umidade do solo, aplicou-se lâmina de água deionizada correspondente a 0,7 volume de poros cinco dias antes do início do ensaio. Sempre com intervalos de cinco dias entre cada operação, aplicaram-se os tratamentos (F + I + I) e, na seqüência, os tratamentos (F + I) e (F), nos intervalos indicados, de forma a concluir os trabalhos na mesma data. Finalizado o ensaio, foram retiradas amostras de cada anel para determinar os teores de N-NH₄⁺, N-NO₃⁻, potássio e

fósforo. Na solução lixiviada, determinou-se a concentração de N-NH_4^+ , N-NO_3^- , potássio e fósforo, calculando-se as quantidades lixiviadas. A concentração de fósforo na solução foi inferior ao limite de detecção do método utilizado.

Os perfis de distribuição nas colunas e as quantidades dos nutrientes perdidas por lixiviação permitem indicar que:

- O nitrato foi o íon mais móvel na solução do solo, apresentando as maiores perdas por lixiviação, com resposta à concentração no fertilizante e à lâmina aplicada.
- O amônio e o potássio, nessa ordem, apresentaram comportamento intermediário.
- O fósforo concentrou-se no anel superior das colunas.

A mobilidade dos elementos estudados, quando aplicados a Latossolos, apresentou a seqüência: $\text{NO}_3^- > \text{NH}_4^+ > \text{K}^+ \gg \text{H}_2\text{PO}_4^-$. Essa constatação permite alertar para o risco de utilizar adubos formulados na fertirrigação de Latossolos, o que pode levar à eventual contaminação de cursos de água com compostos nitrogenados e à localização excessivamente superficial do fósforo, com menor aproveitamento por parte da cultura.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVA, A.K. & SYVERTSEN, J.P. Soil and citrus tree nutrition are affected by salinized irrigation water. Proc. Fla. State Hort. Soc., 104:135-138, 1991.
- ALVAREZ V., V.H.; NOVAIS, R.F.; DIAS, L.E. & OLIVEIRA, J.A. Determinação e uso do fósforo remanescente. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 25:27-33, 2000. (Boletim Informativo)
- ANTI, G.R. Doses e frequências de aplicação de nitrogênio e potássio via fertirrigação para tomateiro. Piracicaba, ESALQ/USP, 2000. 85p. (Dissertação de Mestrado)
- ARAÚJO, C.A.S. Movimento de fósforo e de macronutrientes catiônicos em agregados de um Latossolo Vermelho-Escuro. Viçosa, UFV, 1997. 124p. (Tese de Doutorado)
- ARAÚJO, C.A.S.; RUIZ, H.A.; FERREIRA, P.A.; SILVA, D.J. & CARVALHO, M.A. Transporte de fósforo e de potássio em colunas com agregados de um Latossolo Vermelho distrófico. R. Bras. Ci. Solo, 24:259-268, 2000.
- 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.

- BAR-YOSEF, B. Fertilization under drip irrigation. In: PALGRAVE, D.A., ed. Fluid fertilizer: science and technology. New York, Marcel Dekker, 1991. p.285-325.
- BERNARDO, S. Impacto ambiental da irrigação no Brasil. In: CONFERÊNCIA SOBRE AGRICULTURA E MEIO AMBIENTE, Viçosa, 1992. Anais. Viçosa, Núcleo de Estudos e Pesquisas em Meio Ambiente, 1994. p.93-100.
- BIGGAR, J.W. & NIELSEN, D.R. Miscible displacement: II. Behavior of tracers. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 26:216-221, 1962.
- BIGGAR, J.W. & NIELSEN, D.R. Miscible displacement and leaching phenomenon. In: HAGAN, R.M.; HAISE, H.R. & EDMINSTER, T.W., eds. Irrigation of agricultural lands. Madison, American Society of Agronomy, 1967. p.254-274.
- BRAGA, J.M. & DEFELIPO, B.V. Determinação espectrofotométrica do fósforo em extratos de solos e plantas. R. Ceres, 21:73-85, 1974.
- CADAHIA LOPEZ, C. Fertilización. In: NUEZ, F., coord. El cultivo de tomate. Madrid, Mundi-Prensa, 1995. p.168-187.
- CADAHIA LOPEZ, C.; EYMAR ALONSO, E. & LUCENA MAROTTA, J.J. Materiales fertilizantes utilizados em fertirrigación. In: CADAHIA LOPEZ, C., coord. Fertirrigación: cultivos hortícolas y ornamentales. Madrid, Mundi-Prensa, 1988. p.81-122.
- CARRIJO, O.A.; SILVA, W.L.C.; MAROUELLI, W.A. & SILVA, H.R. Tendências e desafios da fertirrigação no Brasil. In: FOLEGATTI, M.V., coord. Fertirrigação: Citrus. Flores. Hortaliças. Guaíra, Agropecuária, 1999. p.155-169.
- CASARINI, E. & FOLEGATTI, M.V. Aspectos relevantes na fertirrigação de flores e hortaliças. In: FOLEGATTI, M.V., coord. Fertirrigação: Citrus. Flores. Hortaliças. Guaíra, Agropecuária, 1999. p.441-458.
- COELHO, A.M. Fertirrigação. In: COSTA, E.F.; VIEIRA, R.F. & VIANA, P.A., eds. Quimigação – aplicação de produtos químicos e biológicos via irrigação. Brasília, EMBRAPA-SPI, 1994. p.201-227.
- COELHO, F.C.; RUIZ, H.A.; FERREIRA, P.A.; FRANÇA, G.E.; ARAÚJO, C.A.S. & DUARTE, M.A. Transporte do amônio em colunas com agregados de um Latossolo Vermelho distrófico. R. Bras. Eng. Agríc. Amb., 4:362-367, 2000.

- DEFELIPO, B.V. & RIBEIRO, A.C. Análise química do solo. 2.ed. Viçosa, UFV, 1997. 26p. (Boletim de extensão, 29)
- FISCHER, J.R. Water and nutrient requirements for drip-irrigated vegetables in humid regions. Gainesville, University of Florida, 1992. 17p. (Bulletin 363)
- FONTES, M.P.F.; CAMARGO, O.A. & SPOSITO, G. Eletroquímica das partículas coloidais e sua relação com a mineralogia de solos altamente intemperizados. *Sci. Agric.*, 58:627-646, 2001.
- FRANCIS, D.D. & SCHEPERS, J.S. Nitrogen uptake efficiency en maize production using irrigation water high in nitrate. *Fert. Res.*, 39:239-244, 1994.
- FRIZZONE, J.A.; ZANINI, J.R.; PAES, L.A.D. & NASCIMENTO, V.M. Fertirrigação mineral. Ilha Solteira, UNESP, 1985. 31p.
- FRIZZONE, J.A. & BOTREL, T.A. Aplicação de fertilizantes via água de irrigação. In: VITTI, G.C. & BOARETTO, A.E., eds. Fertilizantes fluidos. Piracicaba, Potafos, 1994. p.227-260.
- GIRARDIN, P.H.; TRENDEL, R.; MEYER, J.L.; BIRGAENTZLE, M. & FREYSS, P. Effects of conventional and multiple N application by fertigation on maize grain yields and N-NO₃⁻ residues. In FRAGOSO, M.A.C. & BEUSICHEM, M.L., eds. Optimization of plant nutrition. Hardbound, Kluwer, 1993. p.411-415.
- HAYNES, R.J. Nitrification. In: HAYNES, R.J.; CAMERON, K.C.; GOH, K.M. & SHERLOCK, R.R., eds. Mineral nitrogen in the plant-soil system. Orlando, Academic Press, 1986. 127-165p.
- HERNANDEZ, F.B.T. Potencialidades da fertirrigação. In: VITTI, G.C. & BOARETTO, A.E., eds. Fertilizantes fluidos. Piracicaba, Potafos, 1994. p.215-225.
- KEMPERS, A.J. & ZWEERS, A. Ammonium determination in soil extracts by the salicylate method. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*, 17:715-723, 1986.
- KINJO, T. & PRATT, P.F. Nitrate adsorption: II. In competition with chloride, sulphate, and phosphate. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 35:725-728, 1971.

- KINJO, T.; KIEHL, E.J. & PRATT, P.F. Movimento do nitrato em colunas de terra de um Latossolo. R. Bras. Ci. Solo, 2:106-109, 1978.
- KIRKHAM, D. & POWERS, W.L. Advanced soil physics. New York, John Wiley-Interscience, 1972. 534p.
- MATOS, A.T. Fatores de retardamento e coeficiente de dispersão-difusão do zinco, cádmio, cobre e chumbo em solos do Município de Viçosa-MG. Viçosa, UFV, 1995. 110p. (Tese de Doutorado)
- NIELSEN, D.R. & BIGGAR, J.W. Miscible displacement in soils: I. Experimental information. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 25:1-5, 1961.
- NIELSEN, D.R.; van GENUCHTEN, M.T. & BIGGAR, J.W. Water flow and solute process in the unsaturated zone. Water Resour. Res., 22:89S-108S, 1986.
- OLIVEIRA, E.M.M. Fatores de retardamento e coeficientes de dispersão-difusão de fósforo, potássio e nitrogênio em cinco solos de Minas Gerais. Viçosa, UFV, 2001. 56p. (Tese de Mestrado)
- OLIVEIRA, E.M.M.; RUIZ, H.A.; FERREIRA, P.A.; ALVAREZ V., V.H. & BORGES JÚNIOR, J.C.F. Fatores de retardamento e coeficientes de dispersão-difusão de fósforo, potássio e amônio em solos de Minas Gerais. R. Bras. Eng. Agric. Amb., 7:196-203, 2004.
- OLIVEIRA, J.R.A.; VILELA, L. & ANGELAYARZA, M. Adsorção de nitrato em solos de cerrado do Distrito Federal. Pesq. Agropec. Bras., 35:1199-1205, 2000.
- OLIVEIRA, M.W.; TRIVELIN, P.C.O.; BOARETTO, T.M. & M, J. Leaching of nitrogen, potassium, calcium and magnesium in a sandy soil cultivated with sugarcane. Pesq. Agropec. Bras., 37:861-868, 2002.
- PINTO, J.M.; BOTREL, T.A. & FEITOSA FILHO, J.C. Efeitos do nitrogênio via fertirrigação na cultura do melão. Eng. Agric, 16:27-35, 1997.
- QAFOKU, N.P.; SUMNER, M.E. & RADCLIFFE, D.E. Anion transport in columns of variable charge subsoils: Nitrate and chloride. J. Environ. Qual., 29:484-493, 2000.

- RICHARDS, L.A. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. Washington DC, U.S. Department of Agriculture, 1954. 160 p. (USDA Agricultural Handbook, 60)
- RUIZ, H.A. Métodos de análises físicas do solo. Viçosa, UFV/DPS, 2004. 22p. (Notas de aula)
- SAMPAIO, R.A. Produção, qualidade dos frutos e teores de nutrientes no solo e no pecíolo do tomateiro, em função da fertirrigação potássica e da cobertura plástica do solo. Viçosa, UFV, 1996. 117p. (Tese de Doutorado)
- SILVA, E.M.; PINTO, A.C.Q. & AZEVEDO, J.A. Manejo da irrigação e fertirrigação na cultura da mangueira. Planaltina, EMBRAPA-CPAC, 1996. 77p. (Boletim Técnico, 61)
- SILVA, W.L.C.; CARRIJO, O.A. & MAROUELLI, W.A. Fertirrigação na Embrapa Hortaliças. In: FOLEGATTI, M.V., coord. Fertirrigação: Citrus. Flores. Hortaliças. Guaíra, Agropecuária, 1999. p.433-440.
- VALOCCHI, A.J. Describing the transport of íon-exchanging contaminants using an effective K_d approach. Water Resour. Res., 20:99-503, 1984.
- van RAIJ, B. & PEECH, M. Electrochemical properties of some Oxisols and Alfisols of tropics. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 36:587-598, 1972.
- van GENUCHTEN, M.T. & WIERENGA, P.J. Solute dispersion: coefficients and retardation factors. In: KLUTE, A., ed. Methods of soil analysis. Part 1: Physical and mineralogical methods. Madison, ASA, SSSA, 1986. p.1025-1031.
- VETTORI, L. Métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura, 1969. 24p. (Boletim Técnico, 7)
- VITTI, G.C.; BOARETTO, A.E. & PENTEADO, S.R. Fertilizantes e fertirrigação. In: VITTI, G.C.; BOARETTO, A.E., eds. Fertilizantes fluidos. Piracicaba, Potafos, 1994. p.261-281.
- 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.

APÊNDICE

APÊNDICE

Quadro 1A. Análise de variância da quantidade de amônio no lixiviado dos solos estudados

LVAd1, LVdf e LVd			LVAd2		
Fonte de Variação	GL	QM		GL	QM
Blocos	2	44,07**	Blocos	2	10,15
Solos	2	9,39*			
Tratamentos d/LVAd1	8	45,48**	Tratamentos d/LVAd2	8	57,15**
Tratamentos d/LVdf	8	27,15**			
Tratamentos d/LVd	8	32,40**			
Resíduo ^{1/}	49	2,188	Resíduo	16	7,953
CV (%)		20,2	CV (%)		37,8

* e **: Significativo a 5 e 1%, respectivamente, pelo teste F.

^{1/} Parcelas perdidas: 3.

Quadro 2A. Análise de variância da quantidade de nitrato no lixiviado dos solos estudados

LVAd1 e LVd			LVAd2 e LVdf		
Fonte de Variação	GL	QM		GL	QM
Blocos	2	35,81	Blocos	2	12,26
Solos	1	754,57**	Solos	1	449,36**
Tratamentos d/LVAd1	8	471,65**	Tratamentos d/LVAd2	8	757,48**
Tratamentos d/LVd	8	993,78**	Tratamentos d/LVdf	8	313,27**
Resíduo ^{1/}	32	112,053	Resíduo ^{2/}	33	19,202
CV (%)		58,4	CV (%)		39,4

** : Significativo a 1% pelo teste F.

^{1/} Parcelas perdidas: 2. ^{2/} Parcelas perdidas: 1.

Quadro 3A. Análise de variância da quantidade de potássio e do pH do lixiviado dos solos estudados

Fonte de Variação	GL	Quadrado Médio	
		Potássio	pH
Blocos	2	1,79	1,304
Solos	3	35,35**	0,396
Tratamentos d/LVAd1	8	30,09**	1,003
Tratamentos d/LVAd2	8	43,48**	0,998
Tratamentos d/LVdf	8	12,45**	0,375
Tratamentos d/LVd	8	67,29**	1,738**
Resíduo ^{1/}	67	3,328	0,568
CV (%)		33,6	10,9

** : Significativo a 1% pelo teste F.

^{1/} Parcelas perdidas: 3.

Quadro 4A. Análise de variância da condutividade elétrica do lixiviado dos solos estudados

LVAd1 e LVd			LVAd2 e LVdf		
Fonte de Variação	GL	QM		GL	QM
Blocos	2	0,00670	Blocos	2	0,00195
Solos	1	0,01462	Solos	1	0,05709**
Tratamentos d/LVAd1	8	0,15171**	Tratamentos d/LVAd2	8	0,04850**
Tratamentos d/LVd	8	0,08188*	Tratamentos d/LVdf	8	0,01431**
Resíduo ^{1/}	32	0,03265	Resíduo ^{2/}	33	0,00455
CV (%)		47,8	CV (%)		25,3

* e **: Significativo a 5 e 1%, respectivamente, pelo teste F.

^{1/} Parcelas perdidas: 2. ^{2/} Parcelas perdidas: 1.

Quadro 5A. Análise de variância do teor médio de amônio nas colunas dos solos estudados

LVAd1, LVAd2 e LVd			LVdf		
Fonte de Variação	GL	QM		GL	QM
Blocos	2		Blocos	2	68,94
Solos	2	1.910,89**			
Tratamentos d/LVAd1	8	542,26**	Tratamentos d/LVdf	8	848,99**
Tratamentos d/LVAd2	8	967,46**			
Tratamentos d/LVd	8	911,50**			
Resíduo ^{1/}	39	24,492	Resíduo ^{2/}	12	105,313
CV (%)		19,6	CV (%)		21,0

** : Significativo a 1% pelo teste F.

^{1/} Parcelas perdidas: 13. ^{2/} Parcelas perdidas: 4.

Quadro 6A. Análise de variância do teor médio de nitrato nas colunas dos solos estudados

LVAd1 e LVAd2			LVdf e LVd		
Fonte de Variação	GL	QM		GL	QM
Blocos	2	485,48**	Blocos	2	1.323,96
Solos	1	5.053,26**	Solos	1	301,35
Tratamentos d/LVAd1	8	10.318,15**	Tratamentos d/LVdf	8	13.288,10**
Tratamentos d/LVAd2	8	8.435,55**	Tratamentos d/LVd	8	10.335,68**
Resíduo	34	72,877	Resíduo ^{1/}	32	1.074,750
CV (%)		11,2	CV (%)		33,6

** : Significativo a 1% pelo teste F.

^{1/} Parcelas perdidas: 2.

Quadro 7A. Análise de variância do teor médio de potássio nas colunas dos solos estudados

LVAd1, LVAd2 e LVdf			LVd		
Fonte de Variação	GL	QM		GL	QM
Blocos	2	195,19	Blocos	2	6.076,04
Solos	2	3.431,70*			
Tratamentos d/LVAd1	8	23.789,68**	Tratamentos d/LVd	8	22.617,06**
Tratamentos d/LVAd2	8	27.255,35**			
Tratamentos d/LVdf	8	37.249,35**			
Resíduo ^{1/}	50	751,979	Resíduo ^{1/}	14	2.630,681
CV (%)		18,2	CV (%)		30,3

* e **: Significativo a 5 e 1%, respectivamente, pelo teste F.

^{1/} Parcelas perdidas: 2.

Quadro 8A. Análise de variância do teor médio de fósforo nas colunas dos solos estudados

Fonte de Variação	Graus de Liberdade	Quadrado Médio
Blocos	2	19,42**
Solos	3	106,82**
Tratamentos d/LVAd1	8	1,04
Tratamentos d/LVAd2	8	5,20*
Tratamentos d/LVdf	8	0,51
Tratamentos d/LVd	8	3,68
Resíduo ^{1/}	68	2,264
CV (%)		33,3

* e **: Significativo a 5 e 1%, respectivamente, pelo teste F.

^{1/} Parcelas perdidas: 2

Quadro 9A. Análise de variância da profundidade de máximo teor de amônio nas colunas dos solos estudados

LVAd1 e LVd			LVAd2 e LVdf		
Fonte de Variação	GL	QM		GL	QM
Blocos	2	24,50	Blocos	2	42,74
Solos	1	2.392,15**	Solos	1	283,24
Tratamentos d/LVAd1	8	891,95**	Tratamentos d/LVAd2	8	918,12**
Tratamentos d/LVd	8	1.098,18**	Tratamentos d/LVdf	8	1.300,81**
Resíduo ^{1/}	27	15,426	Resíduo ^{2/}	32	107,066
CV (%)		8,2	CV (%)		27,7

** : Significativo a 1% pelo teste F.

^{1/} Parcelas perdidas: 7. ^{2/} Parcelas perdidas: 2.

Quadro 10A. Análise de variância da profundidade de máximo teor de nitrato nas colunas dos solos estudados

Fonte de Variação	Graus de Liberdade	Quadrado Médio
Blocos	2	213,04**
Solos	3	342,75**
Tratamentos d/LVAd1	8	897,43**
Tratamentos d/LVAd2	8	963,67**
Tratamentos d/LVdf	8	724,54**
Tratamentos d/LVd	8	1.131,47**
Resíduo ^{1/}	67	15,824
CV (%)		10,4

** : Significativo a 1% pelo teste F.

^{1/} Parcelas perdidas: 3.

Quadro 11A. Análise de variância da profundidade de máximo teor de potássio nas colunas dos solos estudados

LVAd1 e LVdf			LVAd2 e LVd		
Fonte de Variação	GL	QM		GL	QM
Blocos	2	0,27	Blocos	2	28,70
Solos	1	4.566,21**	Solos	1	951,90**
Tratamentos d/LVAd1	8	1.079,70**	Tratamentos d/LVAd2	8	612,95**
Tratamentos d/LVdf	8	4,08	Tratamentos d/LVd	8	26,77
Resíduo ^{1/}	31	8,149	Resíduo ^{1/}	31	27,654
CV (%)		22,5	CV (%)		54,3

** : Significativo a 1% pelo teste F.

^{1/} Parcelas perdidas: 3.

Quadro 12A. Análise de variância da profundidade de máximo teor de fósforo nas colunas do solo LVAd2

Fonte de Variação	Graus de Liberdade	Quadrado Médio
Blocos	2	1,815
Tratamentos	8	7,259**
Resíduo	16	1,8148
CV (%)		33,5

** : Significativo a 1% pelo teste F.