

GUILHERME KANGUSSÚ DONAGEMMA

**DISTRIBUIÇÃO DE AMÔNIO, NITRATO, POTÁSSIO E FÓSFORO
EM COLUNAS DE LATOSSOLOS FERTIRRIGADAS**

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 *Doctor Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2005

GUILHERME KANGUSSÚ DONAGEMMA

**DISTRIBUIÇÃO DE AMÔNIO, NITRATO, POTÁSSIO E FÓSFORO
EM COLUNAS DE LATOSSOLOS FERTIRRIGADAS**

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 *Doctor Scientiae*.

APROVADA: 25 de Fevereiro de 2005.

Prof. Paulo Afonso Ferreira
(Conselheiro)

Prof. Reinaldo Bertola Cantarutti
(Conselheiro)

Prof. Fábio Cunha Coelho

Prof. Júlio César Lima Neves

Prof. Hugo Alberto Ruiz
(Orientador)

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

D674d
2005

Donagemma, Guilherme Kangussú, 1972-
Distribuição de amônio, nitrato, potássio e fósforo
em colunas de latossolos fertirrigadas / Guilherme
Kangussú Donagemma. – Viçosa : UFV, 2005.
xi, 71p. : il. ; 29cm.

Inclui apêndice.

Orientador: Hugo Alberto Ruiz
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: p. 62-67

1. Solos - Movimento de fertilizantes. 2. Fertilidade do
solo. 3. Adubos e fertilizantes. I. Universidade Federal de
Viçosa. II. Título.

CDD 22.ed. 631.84

Ao Senhor, por tudo o quanto me tem feito.

Aos meus pais *Humberto e Lúgia*.

Às minhas avós *Zezé e Clarice*.

Aos meus tios e tias.

À minha esposa *Raquel*.

Aos meus irmãos.

AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), que financiou meus estudos.

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

Ao professor Hugo Alberto Ruiz, pela amizade, pela paciência e pela dedicação durante os momentos mais decisivos da realização deste trabalho; foi, nos últimos sete anos de convívio, mais do que um orientador: um verdadeiro mestre.

Ao professor Víctor Hugo V. Alvarez, sempre solícito; além disso, é exemplo de pesquisador para todos ligados à ciência do solo.

Ao professor Paulo Afonso Ferreira, pelo cuidado e pela atenção que teve para comigo, não só em relação à tese, mas para que eu possa ser realmente um profissional competente.

Ao professor Reinaldo Bertola Cantarutti, pelo apoio irrestrito e pelas sugestões, que contribuíram para a melhoria deste trabalho.

Aos professores Fábio Cunha Coelho e Júlio César Lima Neves, pelas valiosas sugestões, que enriqueceram este trabalho.

Aos colegas Ermelinda e Agno, também orientados do Prof. Hugo, que foram como uma equipe para mim, sempre me apoiando nos momentos mais decisivos desta tese.

Ao Getúlio, companheiro em todos os momentos, pela amizade e pela ajuda inestimável ao longo de todas as fases deste trabalho.

Ao estagiário Henrique, pela ajuda nas análises de laboratório, o que agilizou o trabalho.

À Raquel, pelo amor, pelo estímulo, pelo apoio à minha vida e pela perseverança, que foram fundamentais para eu alcançar mais esta vitória.

Ao Felipe Vaz Andrade, amigo e colega de curso, pela amizade e pelo apoio em tudo, durante nossa permanência em Viçosa, desde a graduação.

Aos Amigos Guilherme Cadinelli, Oldair, Renato Passos e Airton Bortoluzzi, cujas amizades contribuíram sobremaneira para minha formação profissional.

Aos colegas de curso Salomão, Marcelo Metri, Edson, Rozane, Rosilene, Momade, Márcio Francelino, Eduardinho, Ítalo e tantos outros, por tornarem minha vida mais agradável.

Aos laboratoristas do Departamento de Solos, pela ajuda com os equipamentos, os reagentes e as instalações, em especial ao Cláudio e ao Bené, do Laboratório de Física do Solo, pela amizade.

Ao Carlos Henriques (*in memoriam*) e ao Carlos da Fertilidade, sempre solícitos quando precisei de alguma coisa nos laboratórios que gerenciaram.

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

BIOGRAFIA

GUILHERME KANGUSSÚ DONAGEMMA, filho de Humberto José Froes Donagemma e Lígia Maria Kangussú Donagemma, nasceu em 13 de outubro de 1972, na cidade de Belo Horizonte, Minas Gerais.

Em 1992, iniciou o Curso de Agronomia na Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, graduando-se em 1997.

No período de março de 1997 a fevereiro de 1998, foi bolsista de aperfeiçoamento do CNPq.

Em março de 1998, iniciou o Curso de Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas, na Universidade Federal de Viçosa, submetendo-se à defesa de tese em 4 de fevereiro de 2000.

Em março de 2000, na mesma Universidade, iniciou o Curso de Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas, submetendo-se à defesa de tese em fevereiro de 2005.

CONTEÚDO

	Página
RESUMO	viii
ABSTRACT	x
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1. Movimento de amônio, nitrato, potássio e fósforo no solo	3
2.2. Fertirrigação	7
3. MATERIAL E MÉTODOS	10
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	15
4.1. Distribuição de água	15
4.2. Distribuição de nutrientes	17
4.3. Profundidade de maior teor de nutrientes	39
4.4. Teor médio de nutrientes	48
4.5. Variação na distribuição dos nutrientes ao longo das colunas ..	53

5. RESUMO E CONCLUSÕES	60
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	62
APÊNDICE	68

RESUMO

DONAGEMMA, Guilherme Kangussú, D.S., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2005. **Distribuição de amônio, nitrato, potássio e fósforo em colunas de Latossolos fertirrigadas.** Orientador: Hugo Alberto Ruiz. Conselheiros: Víctor Hugo Alvarez V., Paulo Afonso Ferreira e Reinaldo Bertola Cantarutti.

Com o objetivo de estabelecer a fração da lâmina de irrigação em que o pulso de nitrogênio (amônio e nitrato), potássio e fósforo deve ser aplicado e o fracionamento das doses desses nutrientes, de modo a localizá-los na profundidade adequada e determinar a distribuição de amônio, nitrato, potássio e fósforo, aplicados por fertirrigação, realizou-se um experimento em laboratório, utilizando colunas de percolação. Os tratamentos corresponderam a um fatorial $4 \times (1 + 7)$, sendo quatro Latossolos de Minas Gerais (dois Latossolos Vermelho-Amarelos distróficos, um Latossolo Vermelho distroférico e um Latossolo Vermelho distrófico), uma testemunha (aplicação de água deionizada) e sete formas de aplicação de 1 mmol_c de N-NH_4^+ , 1 mmol_c de N-NO_3^- , 2 mmol_c de K e 2 mmol_c de P. A lâmina de água foi dividida em cinco frações iguais (F_i) e a dose dos nutrientes aplicada integralmente (D), ou fracionada em duas ($D_{1/2}$) ou em

três vezes ($D_{1/3}$). Assim, a aplicação dos nutrientes foi feita segundo o esquema: F_2D , F_3D , F_4D , $F_2D_{1/2}F_3D_{1/2}$, $F_3D_{1/2}F_4D_{1/2}$, $F_2D_{1/2}F_4D_{1/2}$ ou $F_2D_{1/3}F_3D_{1/3}F_4D_{1/3}$. Subamostras foram utilizadas na análise de $N-NH_4^+$, $N-NO_3^-$, potássio e fósforo, determinando-se o perfil de distribuição desses nutrientes. A mobilidade apresentou esta ordem: nitrato > amônio > potássio > fósforo, nos solos LVAd1, LVAd2 e LVd. Já para o solo LVdf, a ordem foi amônio > nitrato > potássio > fósforo. A quantidade de água acrescentada a cada coluna, inferior a meio volume de poros, não foi suficiente para deslocar o fósforo além do primeiro anel. Para os outros íons em estudo, a localização em maior profundidade, quando aplicados como pulso único, foi verificada com a maior concentração no pulso ($D > D_{1/2} > D_{1/3}$) e com a maior lâmina de água posterior à sua aplicação ($F_2D > F_3D > F_4D$ e $F_2D_{1/2}F_3D_{1/2} > F_3D_{1/2}F_4D_{1/2}$). Concluiu-se que é conveniente utilizar tratamentos que localizem os nutrientes em maior profundidade na fertirrigação de culturas perenes e, mais superficialmente, nas culturas de ciclo curto. Em acréscimo, a mobilidade diferencial de nitrogênio e potássio exigiria dosagem cuidadosa desses nutrientes na solução, a fim de evitar perdas de nitrogênio por lixiviação, ou localização excessivamente superficial do potássio. A baixíssima mobilidade do fósforo mostra que a fertirrigação não seria uma técnica apropriada para sua incorporação no perfil do solo, visando à fertilização das culturas.

ABSTRACT

DONAGEMMA, Guilherme Kangussú, D.S., Universidade Federal de Viçosa February 2005. **Distribution of ammonium, nitrate, potassium, and phosphorus in columns of fertigated Latosols.** Adviser: Hugo Alberto Ruiz. Committee Members: Víctor Hugo Alvarez V., Paulo Afonso Ferreira and Reinaldo Bertola Cantarutti.

An experiment was carried out under laboratory conditions using percolation columns, to establish the irrigation lamina fraction in which nitrogen (ammonium and nitrate), potassium and phosphorus pulses must be applied as well as the optimum dose fractioning of these nutrients so as to locate their adequate depth and determine the distribution of fertigated ammonium, nitrate, potassium and phosphorus. The treatments consisted of a 4 x (1 + 7) factorial, using four Latosols from Minas Gerais (two dystrophic Red-Yellow, one dystroferric Red, and one dystrophic Red), a control (application of deionized water) and seven modes of application of 1 mmol_c of N-NH₄⁺, 1 mmol_c of N-NO₃⁻, 2 mmol_c of K and 2 mmol_c of P. The irrigation lamina was divided into five equal fractions (F₁) and the nutrient dose was applied whole (D), or fractioned two (D_{1/2}) or three times (D_{1/3}). Hence, nutrient application was performed according to the following

scheme: F_2D , F_3D , F_4D , $F_2D_{1/2}F_3D_{1/2}$, $F_3D_{1/2}F_4D_{1/2}$, $F_2D_{1/2}F_4D_{1/2}$ or $F_2D_{1/3}F_3D_{1/3}F_4D_{1/3}$. Sub-samples were used to analyze $N-NH_4^+$, $N-NO_3^-$, potassium and phosphorus, through the determination of the profile of distribution of these nutrients. Mobility was in the following order: nitrate > ammonium > potassium > phosphorus, on soils LVAd1, LVAd2 and LVd. For the soil LVdf, the order was: ammonium > nitrate > potassium > phosphorus. The amount of water added to the column, lower than half pore per volume, was not sufficient to displace phosphorus beyond the first ring. Regarding the other ions studied, localization at a higher depth when applied as a single pulse, was verified with a higher pulse concentration ($D > D_{1/2} > D_{1/3}$) and with a greater irrigation lamina following its application ($F_2D > F_3D > F_4D$ and $F_2D_{1/2}F_3D_{1/2} > F_3D_{1/2}F_4D_{1/2}$). It was concluded that treatments to locate the nutrients at a higher depth should be used for fertigation of perennial cultures and at lower depths for short cycle cultures. In addition, the differential mobility of nitrogen and potassium would require a careful dosage of these nutrients in the solution to prevent nitrogen losses due to leaching, or excessively superficial localization of potassium. The extremely low mobility of phosphorus shows that fertigation would not be an appropriate technique for incorporation of this mineral into soil for crop fertilization purposes.

1. INTRODUÇÃO

A fertirrigação é a técnica de aplicar fertilizantes via água de irrigação. No Brasil, ela tem sido empregada principalmente no cultivo de hortaliças e fruteiras. Esta técnica pode levar a uma maior eficiência da adubação, maior economia de mão-de-obra, além de melhor controle da poluição do solo.

Para ser eficiente, a fertirrigação requer a localização dos nutrientes na profundidade de máxima densidade de raízes. Quando a lâmina de irrigação é insuficiente, os nutrientes podem se concentrar próximos à superfície do solo. Assim, as raízes crescem menos, explorando menor volume de solo. Nessas condições, pode ocorrer o acúmulo de sais, com conseqüente elevação da pressão osmótica da solução do solo acima de valores tolerados pelas plantas, diminuindo a produtividade, sobretudo em regiões semi-áridas e em cultivos em ambiente protegido. Por sua vez, a aplicação de uma lâmina de irrigação excessiva pode carrear os nutrientes para uma profundidade fora do alcance das raízes, diminuindo a eficiência da adubação; além disso, pode provocar a lixiviação desses nutrientes para o lençol freático e a conseqüente contaminação ambiental.

O estudo do movimento dos nutrientes no solo é, portanto, fundamental para se propor um manejo da fertirrigação que propicie a localização deles na profundidade de máxima densidade de raízes das plantas.

Dessa forma, além de aumentar a eficiência da fertilização, pode ser evitada a contaminação do lençol freático e, por conseguinte, dos córregos e rios, diminuindo o eventual impacto ambiental negativo da fertilização.

Diante do exposto, os objetivos deste trabalho foram:

- Estabelecer a fração da lâmina de irrigação em que o pulso de nitrogênio (amônio e nitrato), potássio e fósforo deve ser aplicado e o fracionamento das doses desses nutrientes, de modo a localizá-los na profundidade adequada.
- Caracterizar os perfis de distribuição desses nutrientes, em profundidade, quando aplicados em dose integral ou fracionada, mediante fertirrigação.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Movimento de amônio, nitrato, potássio e fósforo no solo

A movimentação de nutrientes no solo depende de diversos fatores, podendo-se citar, fundamentalmente, a concentração do nutriente em solução, relacionada com a capacidade de adsorção do elemento pelo solo (Grant & Heaney, 1997; Qafoku et al., 2000), as cargas do complexo de troca iônica (Qafoku & Sumner, 2001; Pinheiro, 2002), o pH (Qafoku et al., 2000), a solubilidade do fertilizante (Schumman, 2001) e as proporções dos nutrientes no fertilizante formulado (Silva, 2004). Além disso, a movimentação do nutriente depende do conteúdo de água (Fesch et al., 1998; Padilla et al., 1999) e da macroporosidade do solo (Kirkby et al., 1997; Jacobsen et al., 1997; Jensen et al., 1998; Shiptalo et al., 2000), entre outros fatores. Na verdade, a movimentação de um nutriente no solo é resultado da atuação simultânea dos fatores supracitados e não da atuação isolada de um deles.

Com relação à influência do conteúdo de água, quanto menor seu teor, mais lento é o movimento de nutriente no solo (Fesch et al., 1998; Padilla et al., 1999). Esse efeito é particularmente marcante para o fósforo. Com a

redução do conteúdo de água, menos espesso se torna o filme em volta dos colóides do solo e, uma vez mais próximo dessas superfícies, o íon fosfato torna-se mais susceptível à adsorção. Com o tempo, acentua-se a passagem de formas lábeis para não-lábeis, sobretudo nos solos mais oxidados (Novais & Smyth, 1999), o que reduz a concentração do fosfato na solução do solo passível de ser transportada (Grant & Heaney, 1997).

Os macroporos constituem a via preferencial de movimento de solutos em meio saturado, quando até mesmo o movimento do fosfato é incrementado com a macroporosidade, uma vez que, nessa condição, o fluxo de massa nos macroporos é o principal mecanismo de transporte de fosfato no solo (Kirkby et al., 1997; Jensen et al., 1998).

A elevada mobilidade do nitrato no solo, que implica maior susceptibilidade à lixiviação, tem levado a um maior número de trabalhos sobre movimentação dessa forma de nitrogênio, em detrimento do amônio. Contudo, as fontes de nitrogênio recomendadas em fertirrigação contêm amônio. Além disso, esse íon também é bastante móvel no solo, principalmente naqueles de baixa capacidade de troca catiônica. Trabalhos recentes com solos tropicais, estudando a movimentação de nutrientes no solo, contemplaram amônio, potássio e fósforo (Oliveira et al., 2004) e amônio, nitrato, potássio e fósforo (Silva, 2004).

O fator de retardamento (R) tem sido utilizado como indicativo do movimento de nutrientes no solo. R é uma característica que retrata a capacidade do solo em reter os solutos à medida que o fluxo de água avança, e seu valor depende das interações que ocorrem entre as fases líquida e sólida do solo durante a percolação. Esse fator corresponde, aproximadamente, ao número de volumes de poros necessários para que a relação de concentrações C/C_0 no efluente alcance o valor de 0,5 (Ferreira, 2001).

A comparação dos fatores de retardamento para fosfato, potássio e amônio, para um Neossolo quartzarênico (RQ) e quatro Latossolos, utilizando oito combinações de duas concentrações desses nutrientes, foi

realizada por Oliveira et al. (2004). A ordem de R nos solos avaliados foi: $\text{H}_2\text{PO}_4^- \gg \text{K}^+ > \text{NH}_4^+$. Conseqüentemente, a ordem de mobilidade foi inversa. Com relação ao fosfato, o R foi menor no solo RQ, mais arenoso, e maior no Latossolo mais oxídico. A menor concentração deste íon resultou também em maior R, nos cinco solos estudados. Os autores observaram ainda que, nos Latossolos, os aumentos nos valores de R para potássio e amônio estavam relacionados ao incremento da fração argila, sem tendência definida quanto à concentração do próprio íon ou do íon acompanhante.

A distribuição e mobilidade do amônio, nitrato, potássio e fósforo, aplicados por fertirrigação, em resposta a três formulações comerciais e três lâminas de irrigação, para quatro Latossolos, foram estudadas por Silva (2004). A ordem observada para movimento e perda por lixiviação foi: $\text{NO}_3^- > \text{NH}_4^+ > \text{K}^+ \gg \text{H}_2\text{PO}_4^-$. O fósforo não foi detectado no lixiviado. Essa reduzida mobilidade vertical do fósforo está relacionada, particularmente, aos óxidos de ferro e alumínio. Os solos mais oxídicos apresentam elevada capacidade de adsorver fosfatos, reduzindo sua concentração na solução do solo e, conseqüentemente, seu movimento. Dessa forma, o fosfato localizou-se na superfície.

Os resultados de Oliveira et al. (2004) e Silva (2004) confirmam que o nitrogênio e o fósforo estão em extremos de mobilidade no solo – o primeiro o mais móvel e o segundo o menos móvel –, com o potássio apresentando mobilidade intermediária. Além disso, os trabalhos mostraram que a textura e a mineralogia do solo influenciam a mobilidade e distribuição desses nutrientes.

A influência marcante da mineralogia sobre o movimento do nitrato, em solos com elevado grau de intemperismo, foi evidenciada por diversos autores (Qafoku et al., 2000; Qafoku & Sumner, 2001; Pinheiro, 2002). Qafoku et al. (2000) observaram que os solos oxídicos tinham maior capacidade de adsorção que os caulíníticos. Essa adsorção, em geral, diminuía com o aumento do pH, incrementando a concentração de nitrato no lixiviado. Esses resultados indicam que solos oxídicos apresentariam menor

risco de contaminação de lençóis freáticos com nitrato do que os caulíníticos, em razão da maior densidade de cargas positivas no intervalo de pH comumente encontrado nos solos característicos de regiões tropicais.

O efeito da variação da carga elétrica líquida sobre a mobilidade do nitrato, aplicado como KNO_3 ou $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, usando lâmina equivalente a três volumes de poros, em amostras dos horizontes A e B de três Latossolos Vermelho-Amarelos com diferentes características mineralógicas e texturais, foi estudado por Pinheiro (2002). Esse autor concluiu que os solos caulíníticos avaliados retiveram menor quantidade de nitrato; dentre eles, o de textura média teve menor capacidade de retenção que o argiloso. Observou ainda que houve uma distribuição uniforme do nitrato nas colunas de solo.

Qafoku & Sumner (2001) estudaram a retenção de nitrato em resposta ao pH e à concentração na solução, usando como fonte $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, em solos que variavam quanto à textura e à mineralogia. Esses autores observaram que a presença e a proporção de caulinita, goethita, hematita e gibbsita na fração argila modificaram a capacidade de retenção de nitrato. Além disso, nem sempre os solos que apresentaram maior capacidade de troca de ânions foram os que mostraram maior retenção de nitrato. Também observaram que, nos solos com grande predomínio de caulinita ou óxidos e proporção insignificante dos outros minerais, a retenção de nitrato foi baixa. Entretanto, quando a fração argila do solo apresentava proporção equilibrada de caulinita e óxidos, a retenção de nitrato foi elevada. Essa retenção diferencial foi sugerida como estando relacionada à interação entre esses componentes que apresentam superfícies de carga opostas, em condições de acidez elevada.

Com relação ao movimento de fósforo no solo, observa-se que ele está intimamente relacionado à capacidade de adsorção do fosfato pelo solo. Diversos autores mostram que os óxidos apresentam maior capacidade de adsorção de fosfatos do que a caulinita, com destaque para a goethita (Bigham et al., 1978; Bahia Filho et al., 1983; Curi & Franzmeier, 1984;

Fontes & Weed, 1996). No entanto, Gualberto et al. (1987) observaram que a hematita adsorveu mais fosfato. Assim, a mobilidade vertical do fósforo deverá diminuir com o aumento da capacidade máxima de adsorção do fósforo do solo (Faria & Pereira, 1993). Nesse sentido, em solos tropicais, a lixiviação de fosfato não seria tão preocupante (Mozaffari & Sims, 1994). Essa suposição é válida, considerando que o pH natural desses solos é ácido. Portanto, é razoável supor que, quanto maior a proporção de argila e de óxidos nessa fração, maior o fator de retardamento do fosfato.

2.2. 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., 1993; Carrijo et al., 1999; Pinto, 2001).

O nitrogênio, com fontes de elevada solubilidade e facilidade de movimentação no perfil, é um dos nutrientes mais usados em fertirrigação. A eficiência dos fertilizantes nitrogenados é maior quando aplicados dessa forma, o que se deve à localização do fertilizante na zona de maior concentração de raízes e à possibilidade de maior parcelamento das adubações, facilitando a absorção pelas raízes e reduzindo as perdas por lixiviação e volatilização (Silva et al., 1990, 1996; Girardin et al., 1993; Francis & Schepers, 1994; Pinto et al., 1997; Pinto, 2001).

As principais fontes de nitrogênio para uso em fertirrigação são a uréia e os nitratos de amônio, de cálcio ou de potássio (Pinto, 2001). A uréia, eletricamente neutra e altamente solúvel em água, movimenta-se rapidamente no solo, onde é transformada em amônio e posteriormente em nitrato. O movimento de uréia no solo, em profundidade, depende principalmente da atividade microbiana e da textura do solo (Vitti et al., 1993; Coelho, 1994; Carrijo et al., 1999).

O potássio é menos móvel no solo do que o nitrogênio, mantendo-se em posição mais superficial, pela interação com o complexo de troca catiônica. No entanto, este elemento pode apresentar perdas por lixiviação quando aplicado juntamente com lâminas excessivas 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; podem ser utilizados também, eventualmente, nitrato, sulfato ou fosfato de potássio (Vitti et al., 1993; Carrijo et al., 1999).

A aplicação de fósforo por fertirrigação é eventualmente questionada, devido à menor mobilidade no perfil, ao custo mais elevado das fontes solúveis e ao risco potencial de precipitação e conseqüente obstrução de gotejadores, na irrigação localizada (Coelho, 1994; Silva et al., 1996, 1999). Das principais fontes de fósforo utilizadas, podem ser citados o ácido fosfórico, o fosfato mono potássio e os fosfatos de amônio (mono e bi). Recomenda-se, em geral, aplicação de apenas parte do adubo fosfatado via água de irrigação, sendo o restante incorporado ao solo, utilizando fontes de menor solubilidade que as recomendadas para fertirrigação (Vitti et al., 1993; Carrijo et al., 1999; Pinto, 2001).

O manejo adequado da fertirrigação é fator imprescindível para evitar o acúmulo de sais na superfície do solo ou a lixiviação de íons, com risco de contaminação do lençol freático. Nessas circunstâncias, a quantidade de nutrientes a ser acrescentada deve ser calculada considerando-se a disponibilidade prévia de nutrientes no solo e na água de irrigação, a demanda da cultura e a interação dos nutrientes com o solo (Coelho, 1994; Cadahia Lopez, 1995; Cadahia Lopez et al., 1998).

O manejo da fertirrigação compreende três etapas, sendo a primeira referente à aplicação de uma fração da lâmina de irrigação, a fim de permitir que a frente de molhamento atinja uma determinada profundidade. Na segunda etapa, aplicam-se os fertilizantes dissolvidos na água de irrigação. A terceira etapa consiste em nova aplicação de água, para lavar o sistema e

transportar os nutrientes até a zona de máxima densidade de raízes (Frizzone et al., 1985; Carrijo et al., 1999; Pinto, 2001). Este último autor sugere que se aplique um quarto da lâmina total de irrigação na primeira etapa, um meio na segunda e um quarto na terceira. Não obstante, essas proporções não devem ser rigorosamente mantidas, pois o controle da profundidade e localização dos nutrientes deve ser feito por meio da quantidade de água aplicada na terceira etapa da fertirrigação (Hernandez, 1993).

Essa última etapa é fundamental não só para maximizar a eficiência da aplicação dos fertilizantes, mas também para evitar a contaminação das águas subterrâneas. Muitas vezes, resultados aparentemente satisfatórios do ponto de vista de produtividade levam à perda de fertilizante e à contaminação de aquíferos. Nesse sentido, estudos adicionais de manejo de fertilizantes via água de irrigação são necessários. Ayars et al. (1999) avaliaram dados de 15 anos de pesquisas com fertilização via irrigação por gotejamento, envolvendo diversas culturas (tomate, algodão, milho doce, alfafa e melão), em solos arenosos.

Esses autores observaram que a elevada frequência de irrigação, com lâminas menores, resultou em menor percolação de água e aumentou a eficiência em localizar os nutrientes na profundidade adequada para as culturas.

3. MATERIAL E MÉTODOS

Realizou-se um ensaio em laboratório, com quatro Latossolos de Minas Gerais: Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico textura média de João Pinheiro (LVAd1), Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico textura argilosa de Santa Bárbara (LVAd2), Latossolo Vermelho distroférico textura argilosa de Abre Campo (LVdf) e Latossolo Vermelho distrófico textura muito argilosa de Sete Lagoas (LVd). A escolha desses solos foi motivada pelo fato de que os Latossolos são amplamente distribuídos pelo Brasil, constituindo unidade dominante, que ocupa cerca de um terço do território nacional, sob diferentes condições de clima, relevo, material de origem, uso e manejo (Ker, 1997). Além disso, procurou-se escolher solos contrastantes na capacidade de retardar o movimento de nutrientes, com destaque para textura e mineralogia, utilizando-se materiais já estudados em trabalhos correlatos. Considerando o histórico de uso desses solos, o LVAd1 e o LVAd2 são utilizados no plantio de eucalipto, em manejo intensivo, e o LVdf e o LVd encontram-se sob vegetação nativa, mata e cerrado, respectivamente. Amostras dos solos assim escolhidos foram retiradas até a profundidade de 40 cm, secas ao ar, passadas em peneira com malha de 4 mm, homogeneizadas e caracterizadas (Quadro 1).

Quadro 1. Caracterização física, química e mineralógica dos solos, peneirados por malha de 4 mm

Característica	LVAd1	LVAd2	LVdf	LVd
Análise granulométrica (kg/kg)				
-areia grossa ^{1/}	0,25	0,27	0,21	0,06
-areia fina ^{1/}	0,53	0,14	0,09	0,15
-silte ^{2/}	0,04	0,04	0,15	0,11
-argila ^{2/}	0,18	0,55	0,55	0,68
Densidade (kg/dm ³)				
-do solo ^{3/}	1,24	1,03	0,96	0,88
-de partículas ^{4/}	2,68	2,68	2,78	2,57
Porosidade (dm ³ /dm ³)				
-total ^{5/}	0,54	0,62	0,65	0,66
-macroporosidade ^{6/}	0,37	0,30	0,32	0,26
-microporosidade ^{7/}	0,17	0,32	0,33	0,40
N-NH ₄ ⁺ (mg/dm ³) ^{8/}	4,18	5,31	5,65	5,23
N-NO ₃ ⁻ (mg/dm ³) ^{9/}	5,11	6,68	18,35	12,26
K (mg/dm ³) ^{10/}	11,4	41,0	40,0	67,0
P (mg/dm ³) ^{11/}	1,10	2,40	1,70	4,40
Ca ⁺⁺ (cmol _c /dm ³) ^{12/}	0,01	0,03	0,39	0,56
Mg ⁺⁺ (cmol _c /dm ³) ^{12/}	0,00	0,06	0,35	0,27
Al ⁺⁺⁺ (cmol _c /dm ³) ^{12/}	0,17	2,20	1,20	1,00
Carbono orgânico (dag/kg) ^{13/}	2,17	2,44	3,57	4,36
pH em água (1:2,5)	4,95	4,97	4,44	4,80
pH em KCl 1 mol/L (1:2,5)	3,97	4,23	4,14	3,98
Δ pH	-0,98	-0,74	-0,66	-0,46
P remanescente (mg/L) ^{14/}	49,49	8,29	6,34	12,17
Mineralogia da fração argila ^{15/} (Principais minerais, em proporção decrescente)	Ka Gb Il	Ka Gb VHE	Ka Gb Hm	Ka Gt Hm

^{1/} Por peneiramento (Ruiz, 2005). ^{2/} Método da pipeta (Ruiz, 2005). ^{3/} Método da proveta (Embrapa, 1997). ^{4/} Método do balão volumétrico (Embrapa, 1997). ^{5/} Porosidade total = 1 - (densidade do solo/densidade de partículas). ^{6/} Água retida entre 0 e -6 kPa. (Ruiz, 2004) ^{7/} Água retida a -6 kPa (Ruiz, 2004). ^{8/} Dosagem com solução de salicilato de sódio (Kempers & Zewers, 1986). ^{9/} Dosagem com solução de salicilato de sódio (Yang et al., 1998). ^{10/} Extrator Mehlich-1 (Defelipo & Ribeiro, 1997). ^{11/} Extrator Mehlich-1 (Braga & Defelipo, 1974). ^{12/} Extrator KCl 1 mol/L (Embrapa, 1997). ^{13/} Oxidação com dicromato de potássio e titulação com sulfato ferroso amoniacal (Yeomans & Bremner, 1988). ^{14/} Alvarez V. et al. (2000). ^{15/} Gb: gibbsita, Gt: goethita, Hm: hematita, Ka: caulinita, Il: ilita, VHE: vermiculita com hidróxido-entrecamadas. Referências para caracterização mineralógica: Amaral, 2000 (LVAd2); Donagemma, 2000 (LVdf); Santos Neto, 2003 (LVAd1) e Araújo, 1997 (LVd).

Os tratamentos corresponderam a um fatorial 4 x (1 + 7), sendo quatro solos, uma testemunha (aplicação de água deionizada) e sete formas de aplicação do(s) pulso(s) de nutrientes (Kirkham & Powers, 1972), correspondente a 2 mmol_c/dm³ de N, K e P, utilizando NH₄NO₃, KCl e KH₂PO₄ como fontes (Quadro 2).

Quadro 2. Quantidade de reagente aplicada nas colunas de 2,4 dm³ de solo e quantidade de nitrogênio, potássio e fósforo resultante da aplicação de 2 mmol_c/dm³ do elemento

Reagente	Massa	Nitrogênio			Potássio	Fósforo	
		N-NH ₄ ⁺	N-NO ₃ ⁻	Total			
		mg/coluna					
NH ₄ NO ₃	192	33,6	33,6	67,2	-	-	
KCl	237,6	-	-	-	124,8		
KH ₂ PO ₄	218,4	-	-		62,4	50,4	

As doses escolhidas corresponderam àquelas usualmente aplicadas por produtores, em manejo intensivo.

A lâmina de água foi dividida em cinco frações iguais (F_i) e a dose dos nutrientes aplicada integralmente (D), ou fracionada em duas (D_{1/2}) ou em três vezes (D_{1/3}). Assim, a aplicação dos nutrientes foi feita segundo o esquema: F₂D, F₃D, F₄D, F₂D_{1/2}F₃D_{1/2}, F₃D_{1/2}F₄D_{1/2}, F₂D_{1/2}F₄D_{1/2} ou F₂D_{1/3}F₃D_{1/3}F₄D_{1/3}, em que:

- F₂D: aplicação da dose integral de nutrientes na segunda fração da lâmina;
- F₃D: aplicação da dose integral de nutrientes na terceira fração da lâmina;
- F₄D: aplicação da dose integral de nutrientes na quarta fração da lâmina;
- F₂D_{1/2}F₃D_{1/2}: aplicação de metade da dose de nutrientes na segunda fração da lâmina e a outra metade na terceira;
- F₃D_{1/2}F₄D_{1/2}: aplicação da metade da dose de nutrientes na terceira fração da lâmina e a outra metade na quarta;
- F₂D_{1/2}F₄D_{1/2}: aplicação da metade da dose de nutrientes na segunda fração da lâmina e a outra metade na Quarta; e
- F₂D_{1/3}F₃D_{1/3}F₄D_{1/3}: aplicação de um terço da dose de nutrientes na segunda fração da lâmina, um terço na terceira e o terço restante na quarta.

Os tratamentos foram dispostos segundo o delineamento experimental em blocos casualizados, no tempo, com três repetições.

Cada unidade experimental foi constituída por 11 anéis de PVC, com 6,6 cm de diâmetro interno e 7 cm de altura cada, exceto o anel inferior, que foi de 8 cm. Os anéis foram sobrepostos e vedados com cola de silicone nas uniões. Externamente, eles foram fixados com fita adesiva, para formar uma coluna de 78 cm. Na extremidade inferior da coluna foi adaptado um *cap* de PVC perfurado, com sete furos de 5 mm de diâmetro, uniformemente distribuídos.

No primeiro centímetro do anel inferior colocou-se uma camada fina de lã de vidro; sobre esta, 1 cm de areia muito grossa (2,0-1,0 mm) e, a seguir, outra camada de lã de vidro. A coluna assim formada foi preenchida com solo peneirado por malha de 4 mm e seco ao ar, até 7 cm da borda superior, formando uma coluna de 70 cm de altura e volume de 2,4 dm³. A coluna foi preenchida com solo, despejado constantemente através de funil, realizando movimentos circulares, com intuito de reduzir ao máximo a segregação dos agregados, até 71 cm. Seguidamente, o solo foi acomodado na coluna, deixando-a cair, na vertical, de uma altura de 0,5 cm, por três vezes, retirando-se cuidadosamente o excesso de solo acima dos 70 cm. A superfície do solo foi coberta com uma camada de lã de vidro, a fim de evitar distúrbios na seção de infiltração do solo.

A lâmina de irrigação foi definida, após testes prévios, como aquela em que a frente de molhamento atingisse o nono anel da coluna de solo (63 cm de profundidade), dois dias após sua aplicação no solo seco ao ar. Essa condição foi atendida com a aplicação de 360, 570, 570 e 660 mL de água/solução, nas colunas preenchidas com amostras de LVAd1, LVAd2, LVdf e LVd, respectivamente.

As 32 colunas de cada bloco foram fixadas verticalmente em estrutura apropriada para a realização do ensaio. A aplicação da lâmina de irrigação, de acordo com o tratamento, foi realizada usando cinco recipientes de vidro, com o volume de água correspondente a um quinto da lâmina total, ou igual

volume de solução contendo a dose de nutrientes. Essa aplicação foi realizada seqüencialmente, despejando cuidadosamente o conteúdo dos cinco recipientes, de forma a manter uma lâmina constante de 1 cm. As colunas foram cobertas, para evitar evaporação. Dois dias após a aplicação da lâmina de irrigação, as 32 colunas de cada bloco foram desmontadas. De imediato, de cada um dos nove anéis superiores retirou-se o solo contido nos 5 cm centrais.

Desse material, uma subamostra foi utilizada para determinar o teor de água no solo e uma outra para a determinação do teor de amônio e nitrato, após extração com solução de KCl 1 mol/L, e de potássio e fósforo, extraídos por Mehlich-1. Nos extratos, quantificaram-se o amônio e o nitrato por espectrometria de absorção molecular na região do visível, após reação com salicilato de sódio (Kempers & Zewers, 1986; e Yang et al., 1998, respectivamente). O potássio foi dosado por fotometria de emissão de chama, e o fósforo, por espectrometria de absorção molecular na região do visível, após formação do complexo fosfomolibdico (Braga & Defelipo, 1974).

Considerando os teores dos nutrientes, determinados em amostras de cada anel, representou-se graficamente a distribuição nas colunas, relacionando esses valores com a profundidade média (3,5 até 59,5 cm). Posteriormente, estabeleceu-se, para cada solo e tratamento, a profundidade média do maior teor e seu valor numérico (média de três repetições). Por último, calculou-se o teor médio dos nutrientes na coluna, para os nove anéis considerados.

Nas profundidades em que se atingiu o maior teor, os respectivos teores determinados nesses anéis e os teores médios dos nutrientes nas colunas foram analisados estatisticamente. Na análise de variância, os graus de liberdade para tratamentos foram desdobrados em contrastes ortogonais. Foram calculados os valores médios dos contrastes (\bar{C}), 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.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Distribuição de água

A distribuição de água ao longo das colunas é mostrada na figura 1. O teor médio de água do solo nos nove anéis considerados foi de 0,135 kg/kg, para o LVAd1; 0,279 kg/kg, para o LVAd2; 0,313 kg/kg, para o LVdf; e 0,361 kg/kg, para o LVd. Ressalta-se que foram calculados os desvios-padrões da média, por solo e anel. Considerando que esses valores foram mínimos, eles não aparecem na figura indicada. Utilizando a densidade do solo e a porosidade total apresentadas na caracterização (Quadro 1), calculou-se o grau de saturação, que foi de 0,298, 0,465, 0,458 e 0,480 m^3/m^3 , respectivamente. Esses valores sugeririam comportamento diferenciado do LVAd1 em relação aos outros três solos. Entretanto, pela figura 1, verifica-se que o maior teor de água encontra-se na faixa de profundidade de 35-42 cm (sexto anel), para LVAd1 e LVAd2, e de 49-56 cm (oitavo anel), para LVdf e LVd.

É sabido que a condutividade hidráulica em meio saturado, maior nos materiais mais arenosos, decresce abruptamente em condições de não-saturação. Já os solos mais argilosos, com maior volume de microporos, mostram diminuições mais gradativas, com o acréscimo do componente matricial do potencial de água no solo (Hillel, 1971).

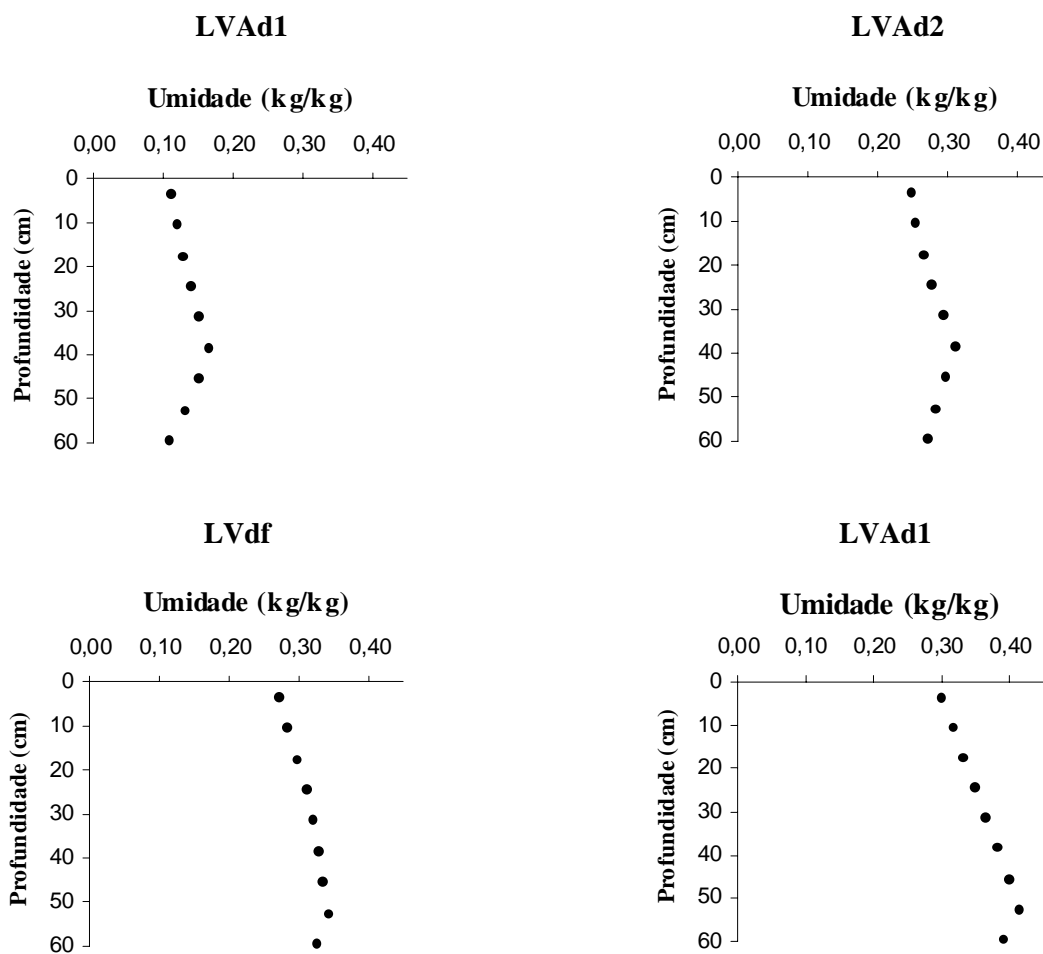


Figura 1. Teores de água ao longo de colunas com amostras dos quatro Latossolos.

Assim, os solos LVAd1 e LVd, com o maior contraste textural (Quadro 1), apresentariam resposta diferenciada, como verificado na figura 1. Além disso, o maior volume de microporos do LVd em relação ao LVAd1 (Quadro 1) leva a uma maior continuidade do sistema poroso. Dessa forma, em condições de não-saturação, a água atinge o ponto de maior teor na coluna a uma profundidade maior no LVd do que no LVAd1.

Na comparação do LVAd2 com o LVdf, ambos apresentam 0,55 kg/kg de argila, porém os 0,45 kg/kg restantes concentram-se na fração areia para o LVAd2 e nas frações areia grossa e silte para o LVdf. Este último foi um dos solos estudados por Donagemma et al. (2003), que apontaram a presença de pseudocomponentes na análise textural de Latossolos, devido às

dificuldades de dispersão. O LVdf apresentou elevada proporção de pseudo-areia e pseudo-silte, o que, na prática, o aproxima do LVd, justificando a similaridade de comportamento quanto ao movimento de água nas colunas. Esse solo apresentaria maior proporção de microporos, quando comparado ao LVAd2. Esses poros são os principais responsáveis pelo deslocamento de água em meio não-saturado (Khonke, 1968). O LVAd2, mais caulínico, é mais facilmente dispersado; contudo, apresenta 0,41 kg/kg de areia, principalmente da fração mais grosseira, o que levaria a mostrar resposta semelhante ao LVAd1, em que predomina a fração fina da areia (Quadro 1).

4.2. Distribuição de nutrientes

Na figura 2 é mostrada a distribuição de amônio ao longo das colunas com amostras dos quatro Latossolos, em resposta à aplicação de água deionizada. Em todos os casos, para os teores de nutrientes que serão apresentados, foram calculados os desvios-padrões da média. Seus valores, extremamente reduzidos, foram omitidos em todas as figuras que serão apresentadas, para todos os nutrientes. Pela figura 2, observa-se que houve redistribuição do amônio, com movimento do íon para camadas mais profundas. Esse resultado é justificado pela baixa capacidade de troca catiônica dos Latossolos (Ker, 1997; Resende et al., 1997), que leva à diminuição da atração eletrostática entre íons de sinal oposto.

As figuras 3 a 6 mostram a distribuição de amônio após aplicação do pulso, ou pulsos, como no caso do tratamento $F_2D_{1/2}F_4D_{1/2}$, que recebeu dois aportes de nutrientes. Essa aplicação levou, logicamente, ao incremento do teor no solo. Verificou-se que a distribuição, ao longo das colunas, foi afetada pela fração da lâmina de irrigação à qual se acrescentou o fertilizante em dose única. Assim, a maior lâmina de água aplicada posteriormente ao pulso justifica a localização do maior teor de amônio em maior profundidade no tratamento F_2D , em posição intermediária no F_3D e mais superficialmente no F_4D .

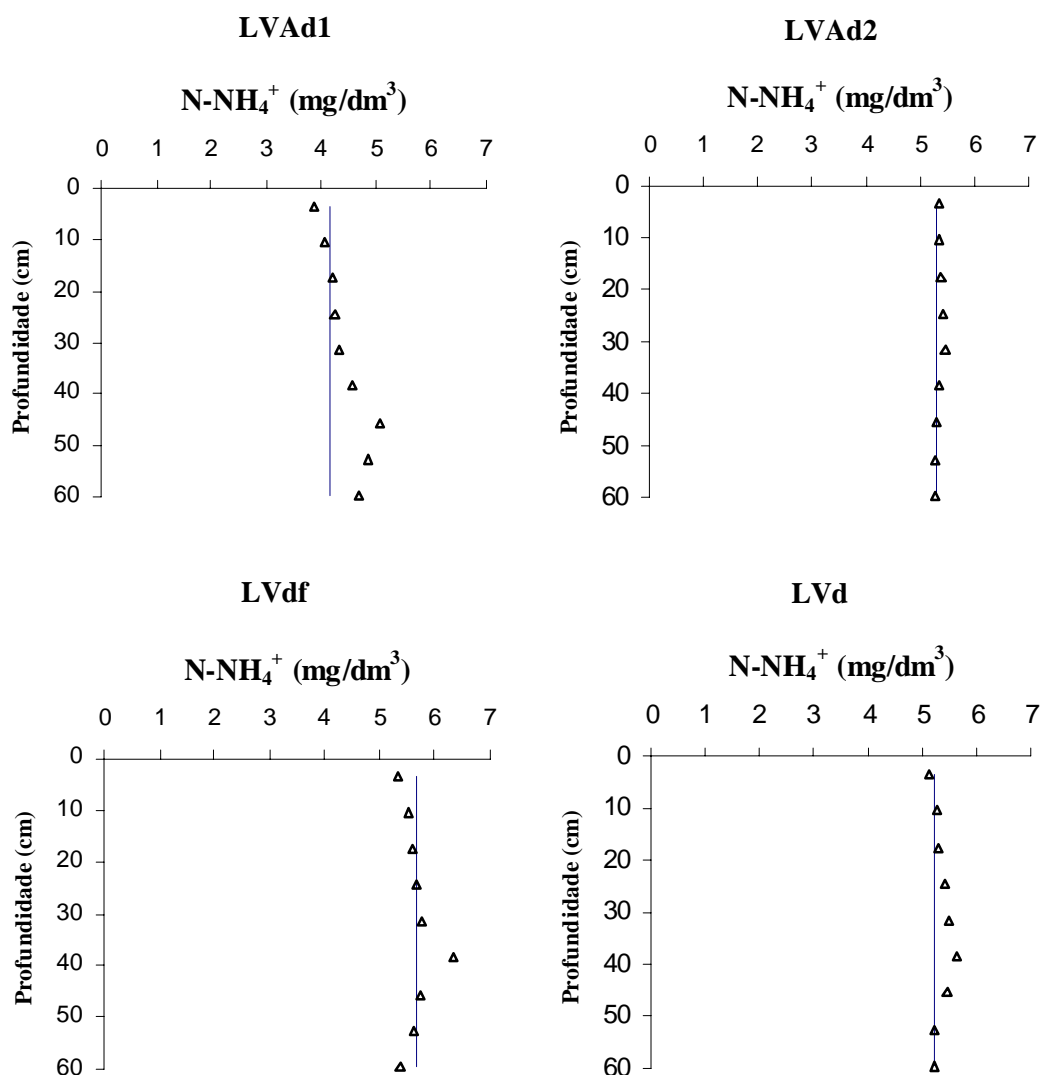


Figura 2. Teores de amônio ao longo de colunas com amostras dos quatro Latossolos, considerando a aplicação de água deionizada. O segmento vertical indica o teor de amônio determinado na caracterização.

Com a aplicação da dose em duas frações, a maior lâmina posterior ao pulso também levou à maior movimentação do amônio na coluna, como mostrado para os tratamentos F₂D_{1/2}F₃D_{1/2} e F₃D_{1/2}F₄D_{1/2} (Figuras 3 a 6).

A distribuição de amônio para o tratamento F₂D_{1/2}F₄D_{1/2}, que, na prática, possivelmente não seria utilizado em fertirrigação, mostra resposta à aplicação de dois pulsos, evidenciando dois pontos de maior teor, para todos os solos estudados (Figuras 3 a 6).

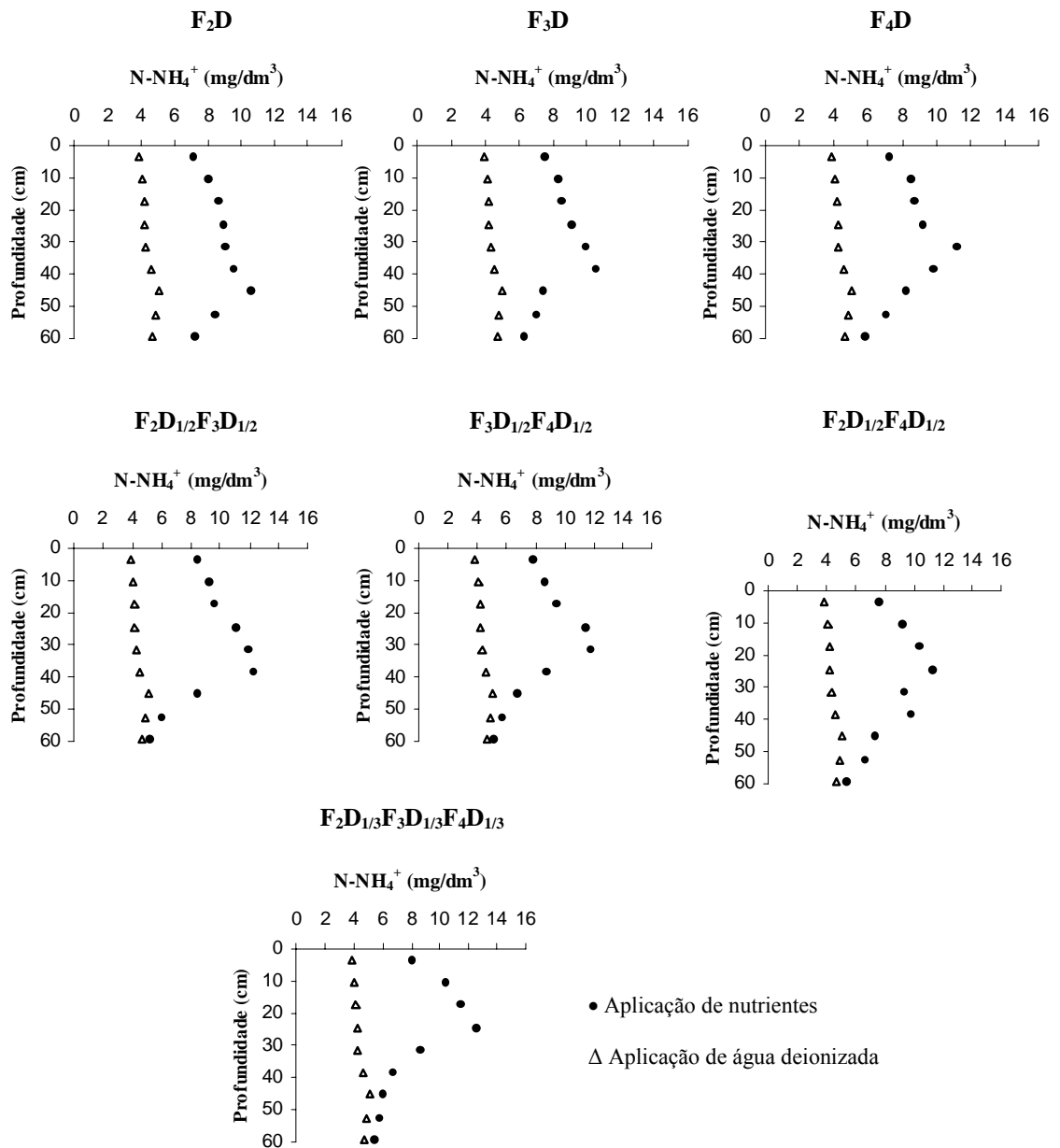


Figura 3. Teores de amônio ao longo de colunas com amostras do LVAd1, considerando a fração da lâmina de irrigação (F) em que o nutriente foi aplicado em dose integral (D), ou fracionada em duas (D_{1/2}) ou em três vezes (D_{1/3}).

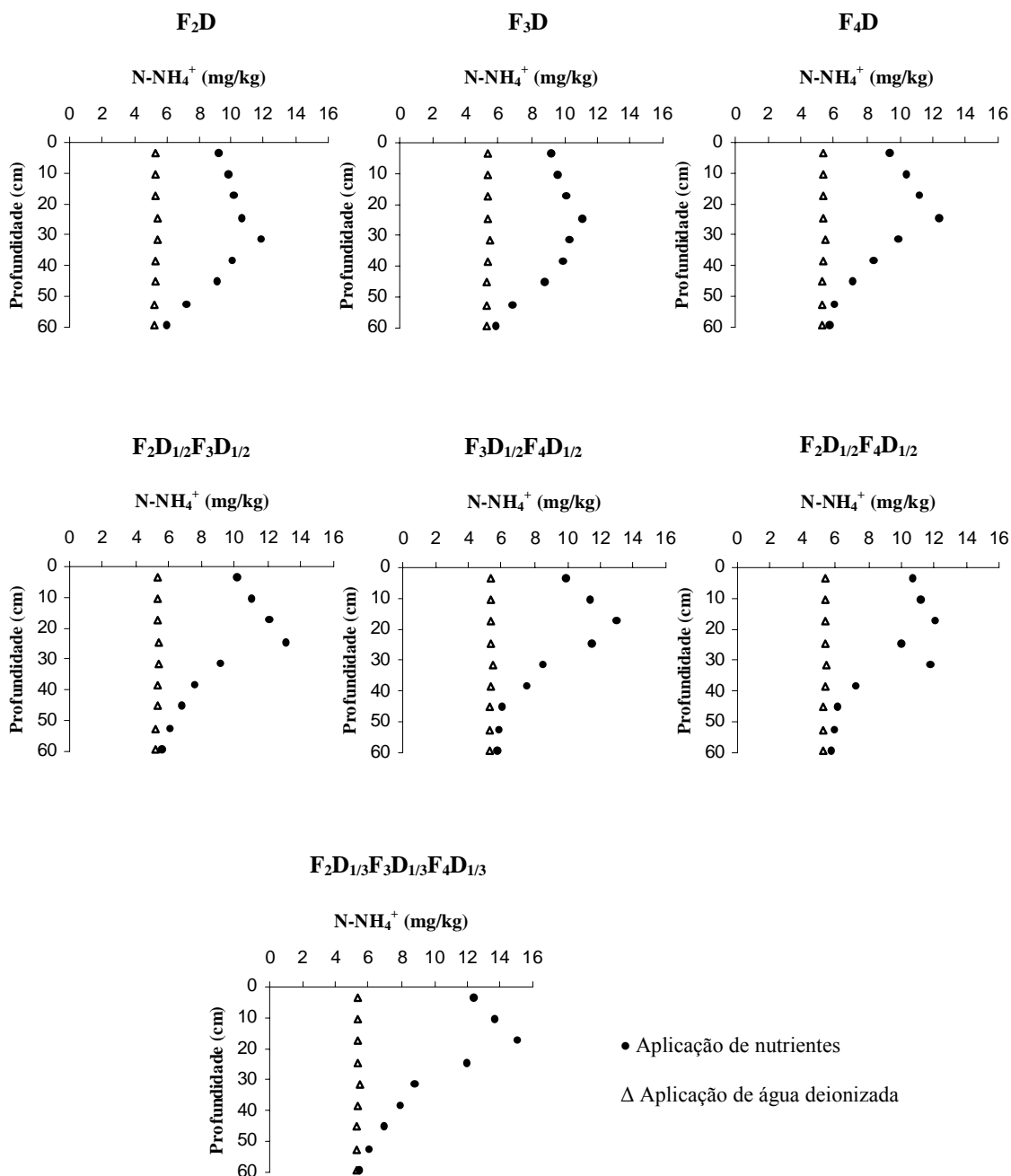


Figura 4. Teores de amônio ao longo de colunas com amostras do LVAd2, considerando a fração da lâmina de irrigação (F) em que o nutriente foi aplicado em dose integral (D), ou fracionada em duas ($D_{1/2}$) ou em três vezes ($D_{1/3}$).

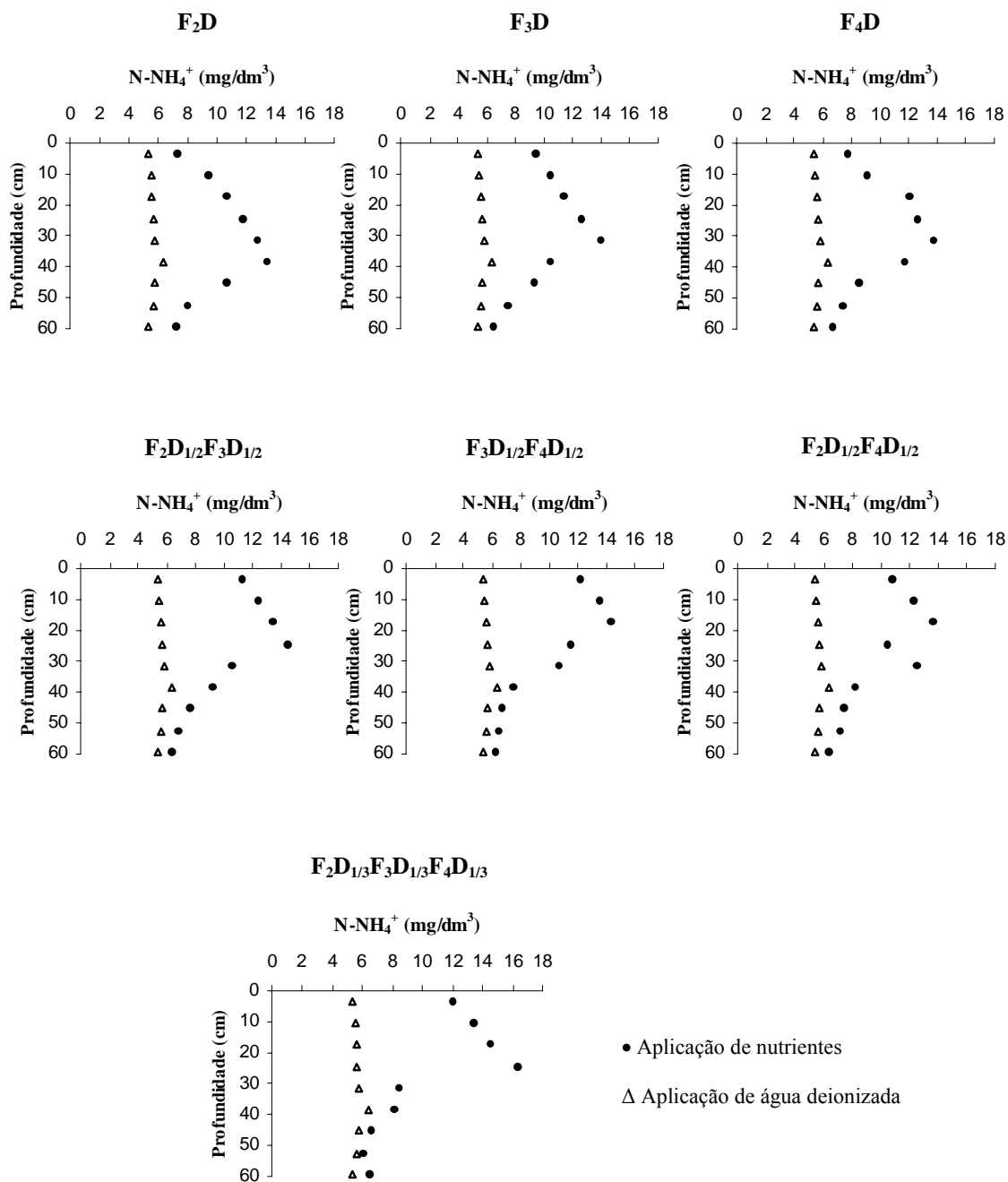


Figura 5. Teores de amônio ao longo de colunas com amostras do LVdf, considerando a fração da lâmina de irrigação (F) em que o nutriente foi aplicado em dose integral (D), ou fracionada em duas ($D_{1/2}$) ou em três vezes ($D_{1/3}$).

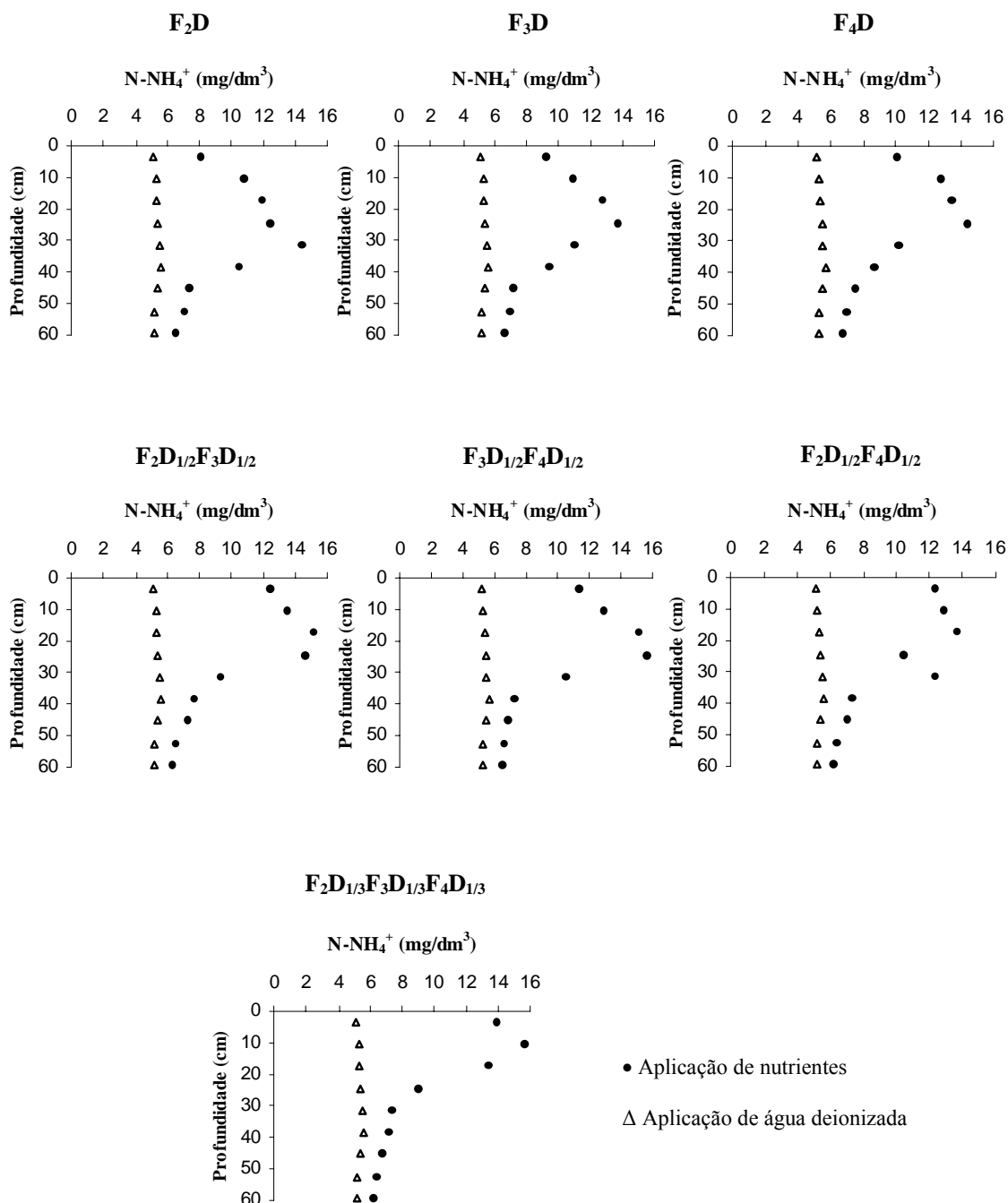


Figura 6. Teores de amônio ao longo de colunas com amostras do LVd, considerando a fração da lâmina de irrigação (F) em que o nutriente foi aplicado em dose integral (D), ou fracionada em duas (D_{1/2}) ou em três vezes (D_{1/3}).

Quando a dose foi subdividida em três frações da lâmina, o amônio ficou localizado em posições mais superficiais na coluna (Figuras 3 a 6). Observa-se, assim, que o fracionamento da dose de amônio, comparado com a aplicação da dose integral na fração da lâmina de irrigação, favorece a retenção do nutriente na fase sólida do solo, retardando seu deslocamento. A aplicação da dose integral, em pulso mais concentrado, reduziria a interação do íon com os sítios de troca, comparado com o fracionamento da dose, favorecendo, dessa forma, o movimento em maior profundidade.

A resposta da distribuição do amônio aos tratamentos utilizados permite indicar que, quando aplicado por meio de pulso único (F_2D , F_3D , F_4D , $F_2D_{1/2}F_3D_{1/2}$, $F_3D_{1/2}F_4D_{1/2}$ e $F_2D_{1/3}F_3D_{1/3}F_4D_{1/3}$), localiza-se em maior profundidade com a maior concentração no pulso e com a maior lâmina de água posterior à sua aplicação (Figuras 3 a 6).

A distribuição do nitrato ao longo das colunas com amostras dos quatro Latossolos apresentou resposta semelhante à do amônio, evidenciando pontos de maior teor em diferentes profundidades de acordo com os tratamentos (Figuras 7 a 11). Entretanto, os resultados experimentais mostrados nessas figuras indicam, em geral, maior dispersão nos teores de nitrato, quando comparados aos do amônio (Figuras 2 a 6). Esse comportamento diferenciado pode ser atribuído, fundamentalmente, ao caráter iônico distinto, catiônico no amônio e aniônico no nitrato. Em acréscimo, os teores de nitrato foram superiores àqueles do amônio, como mostrado nas figuras 2 a 11. A distribuição do potássio foi diferenciada, quando confrontada com a do amônio e do nitrato, como indicado nas figuras 12 a 16.

O ponto de maior teor de potássio localizou-se no anel superficial, em todos os tratamentos que receberam pulso de nutrientes, indicando menor mobilidade (Figuras 13 a 16). Esse deslocamento em profundidade, embora menor do que para amônio e nitrato, foi confirmado com a testemunha, que apresentou maiores teores de potássio em posições intermediárias das colunas (Figura 12).

A menor mobilidade do potássio em relação ao amônio foi observada por Oliveira et al. (2003), trabalhando com Latossolos. Também Silva (2004) verificou esse comportamento, no confronto com amônio e nitrato, em pesquisa na qual utilizou os mesmos solos aqui estudados.

A menor mobilidade do potássio com relação ao amônio, ambos cátions monovalentes, pode ser atribuída ao menor raio iônico hidratado do primeiro. A lei de Coulomb mostra que a força de atração entre partículas de carga de sinal oposto, com os mesmos valores de carga, é inversamente proporcional ao quadrado da distância. Assim, o menor raio iônico hidratado indica menor distância e maior atração do potássio pelo complexo de troca catiônica do solo, quando comparado ao amônio (Griffioen, 2001).

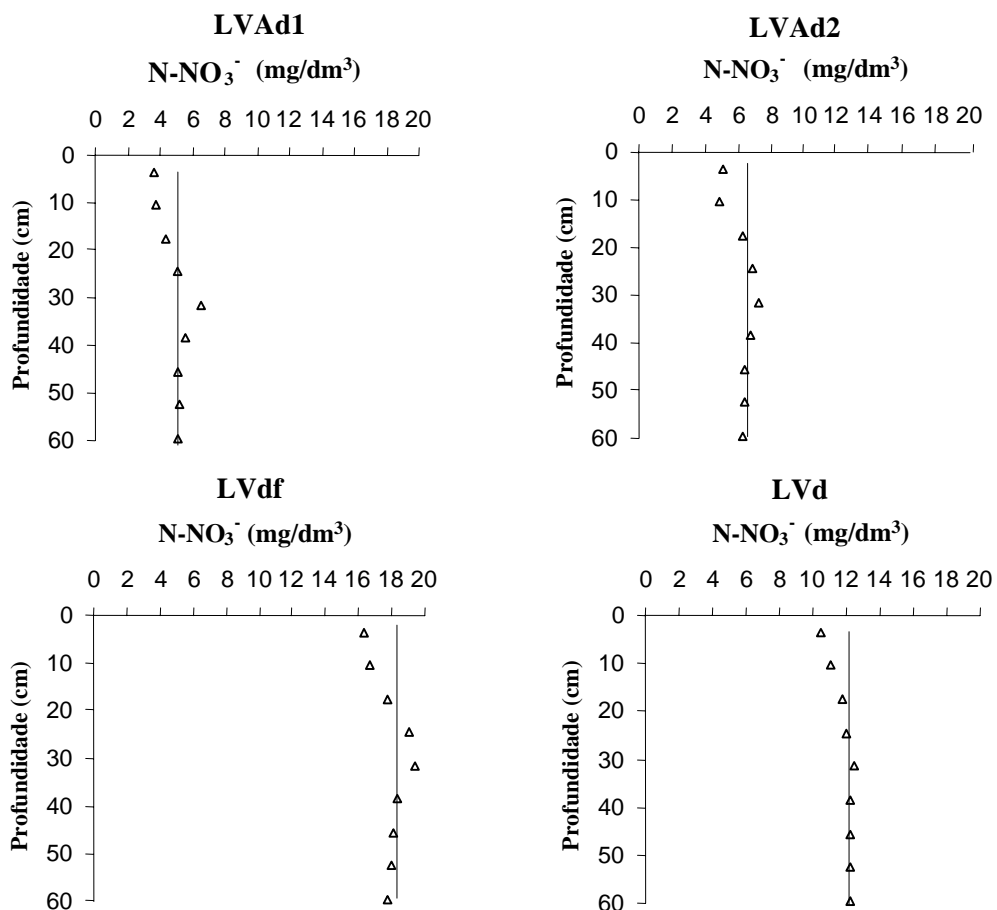


Figura 7. Teores de nitrato ao longo de colunas com amostras dos quatro Latossolos, considerando a aplicação de água deionizada. O segmento vertical indica o teor de nitrato determinado na caracterização.

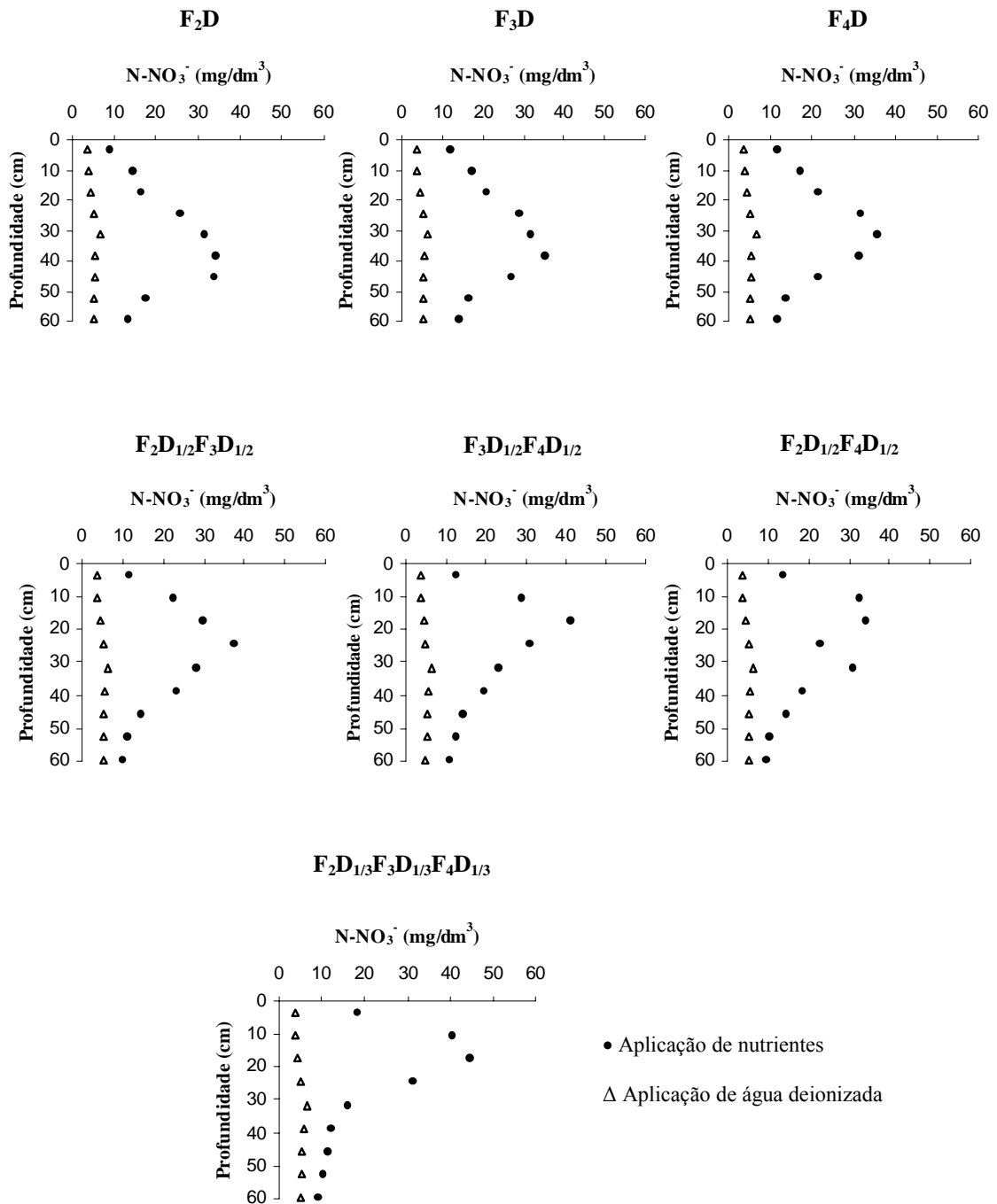


Figura 8. Teores de nitrato ao longo de colunas com amostras do LVAd1, considerando a fração da lâmina de irrigação (F) em que o nutriente foi aplicado em dose integral (D), ou fracionada em duas ($D_{1/2}$) ou em três vezes ($D_{1/3}$).

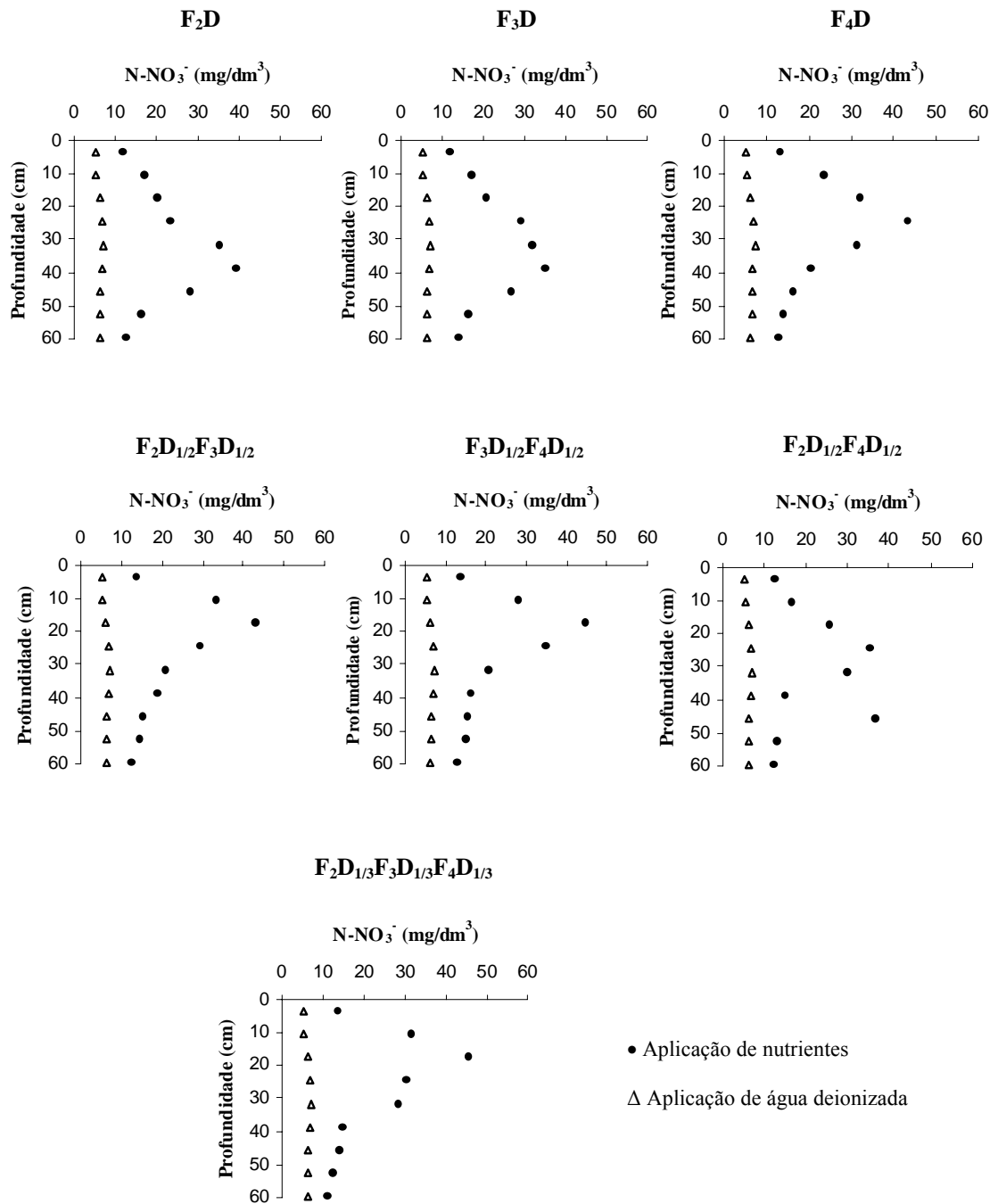


Figura 9. Teores de nitrato ao longo de colunas com amostras do LVAd2, considerando a fração da lâmina de irrigação (F) em que o nutriente foi aplicado em dose integral (D), ou fracionada em duas ($D_{1/2}$) ou em três vezes ($D_{1/3}$).

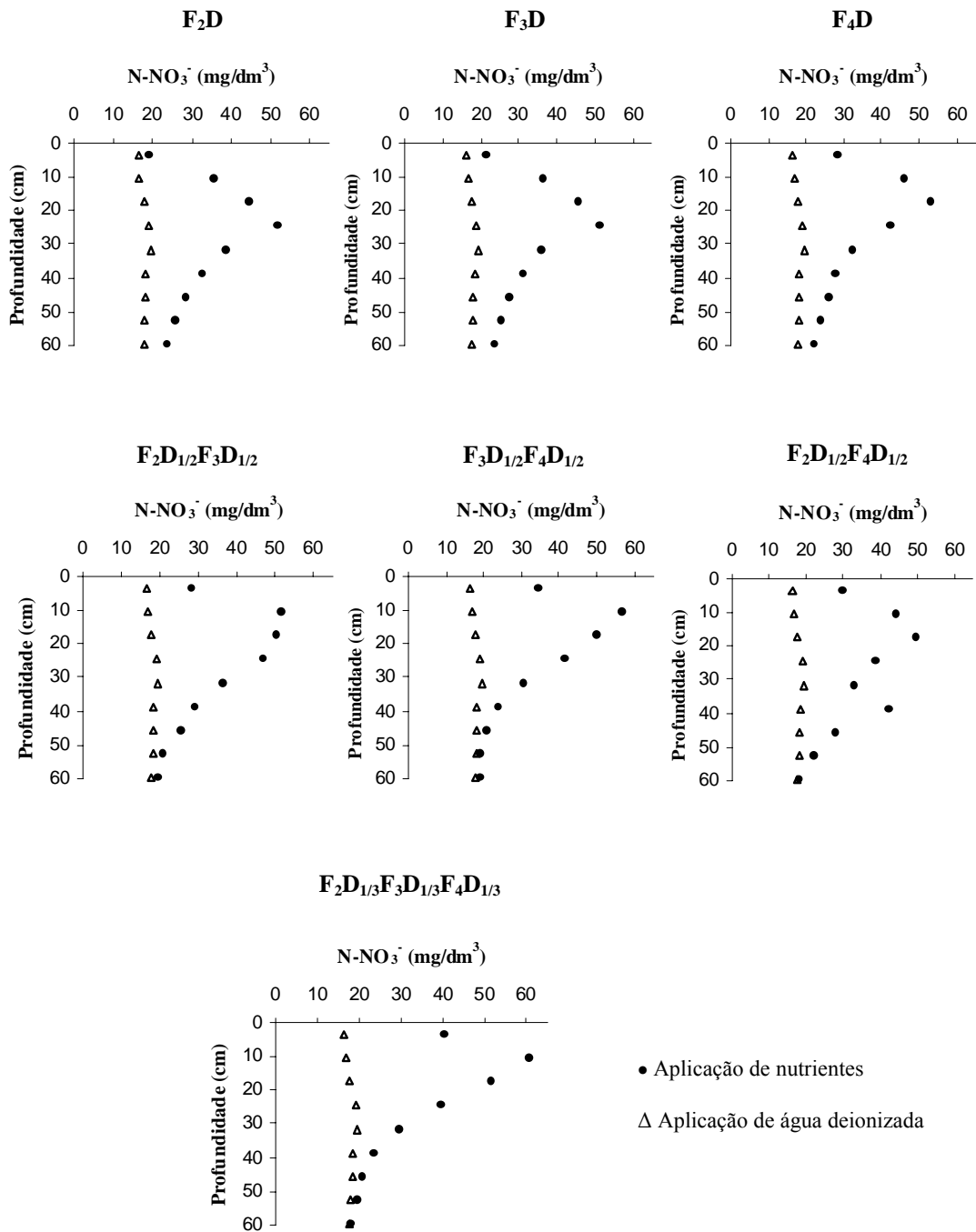


Figura 10. Teores de nitrato ao longo de colunas com amostras do LVdf, considerando a fração da lâmina de irrigação (F) em que o nutriente foi aplicado em dose integral (D), ou fracionada em duas ($D_{1/2}$) ou em três vezes ($D_{1/3}$).

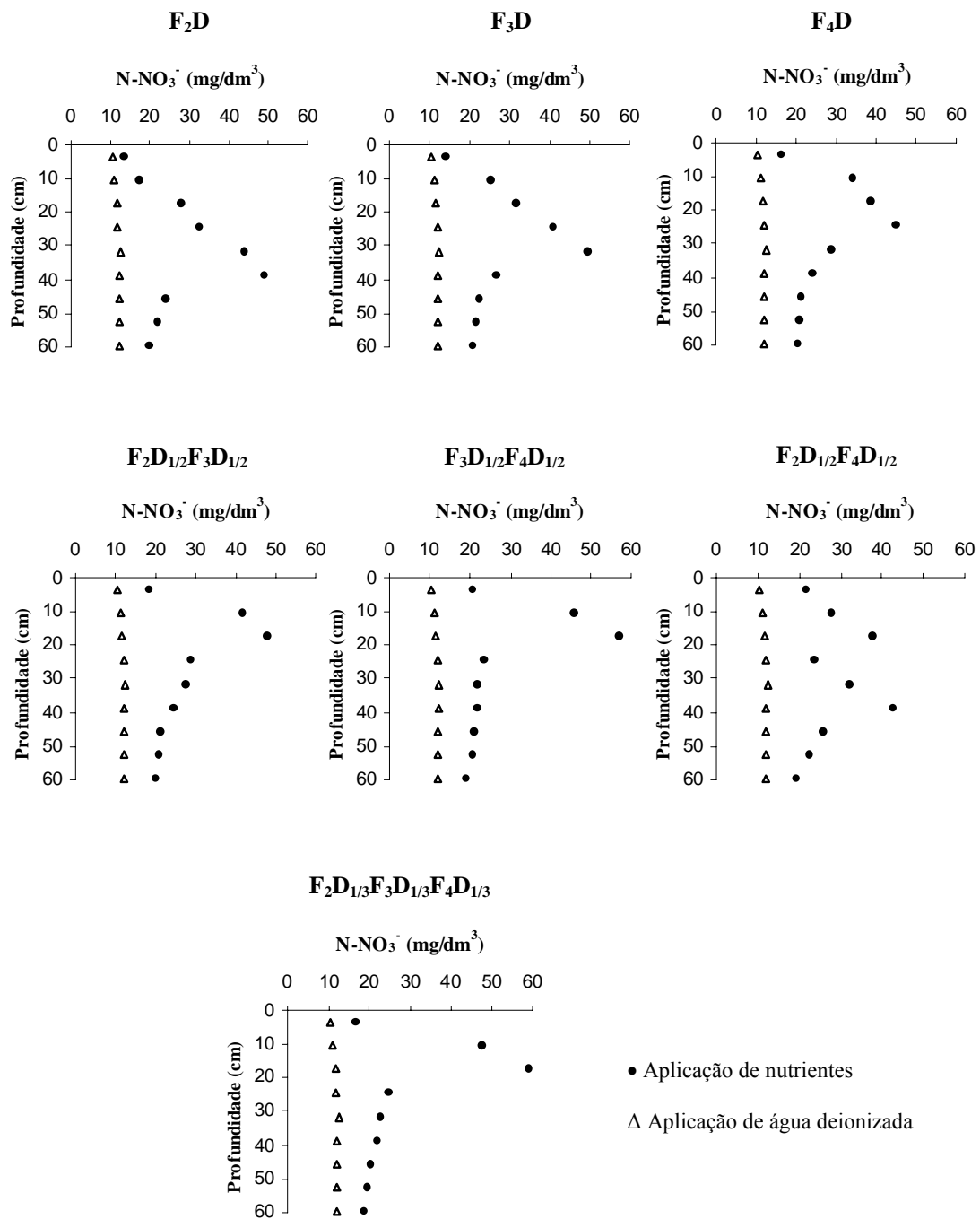


Figura 11. Teores de nitrato ao longo de colunas com amostras do LVd, considerando a fração da lâmina de irrigação (F) em que o nutriente foi aplicado em dose integral (D), ou fracionada em duas ($D_{1/2}$) ou em três vezes ($D_{1/3}$).

que o fósforo ficou localizado na superfície, o que restringiria sua absorção, restrita às raízes na camada mais superficial. Assim, a fertirrigação com fósforo não seria recomendada, sendo adequado incorporá-lo na profundidade do solo de maior densidade de raízes.

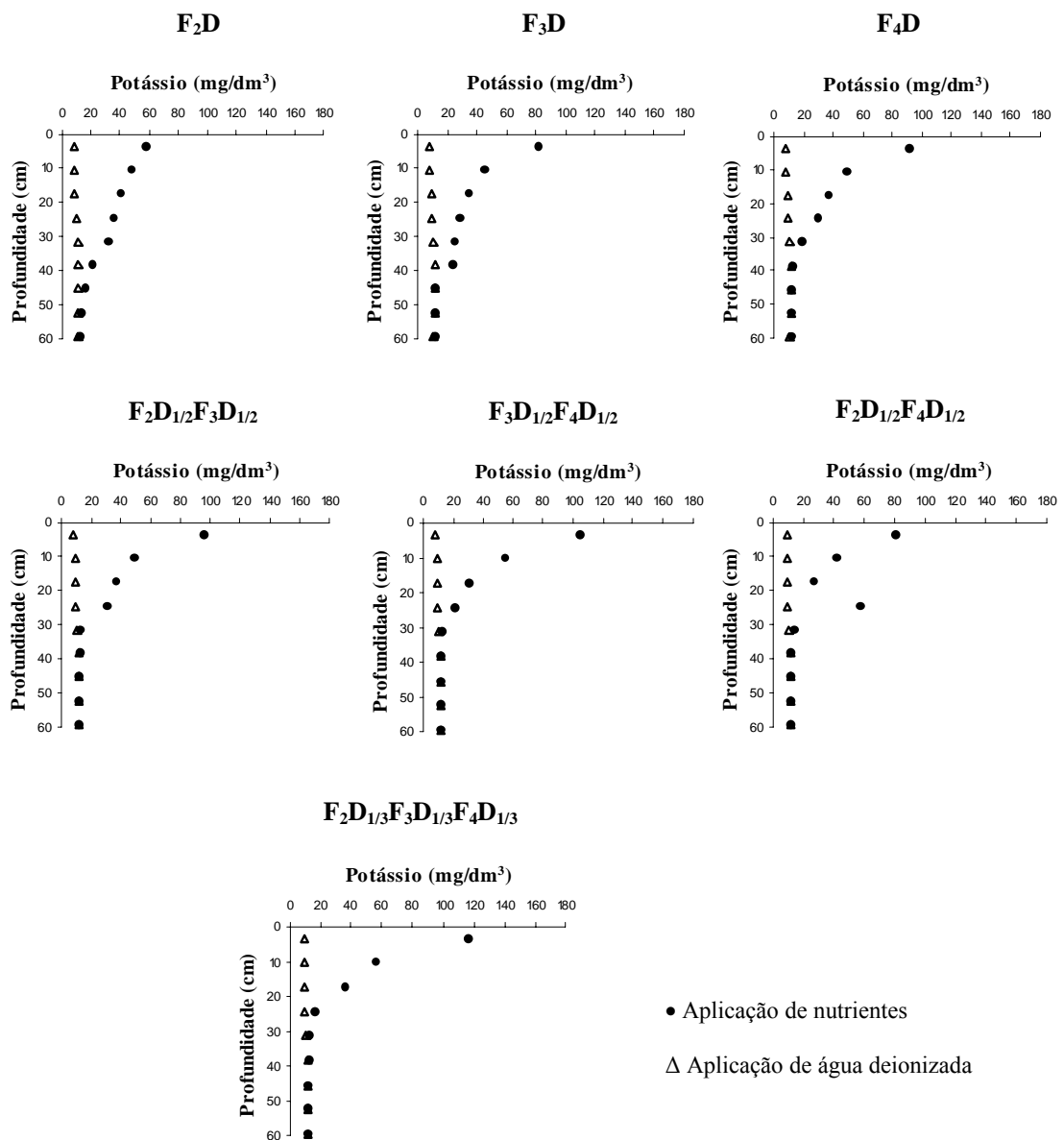


Figura 13. Teores de potássio ao longo de colunas com amostras do LVAd1, considerando a fração da lâmina de irrigação (F) em que o nutriente foi aplicado em dose integral (D), ou fracionada em duas (D_{1/2}) ou em três vezes (D_{1/3}).

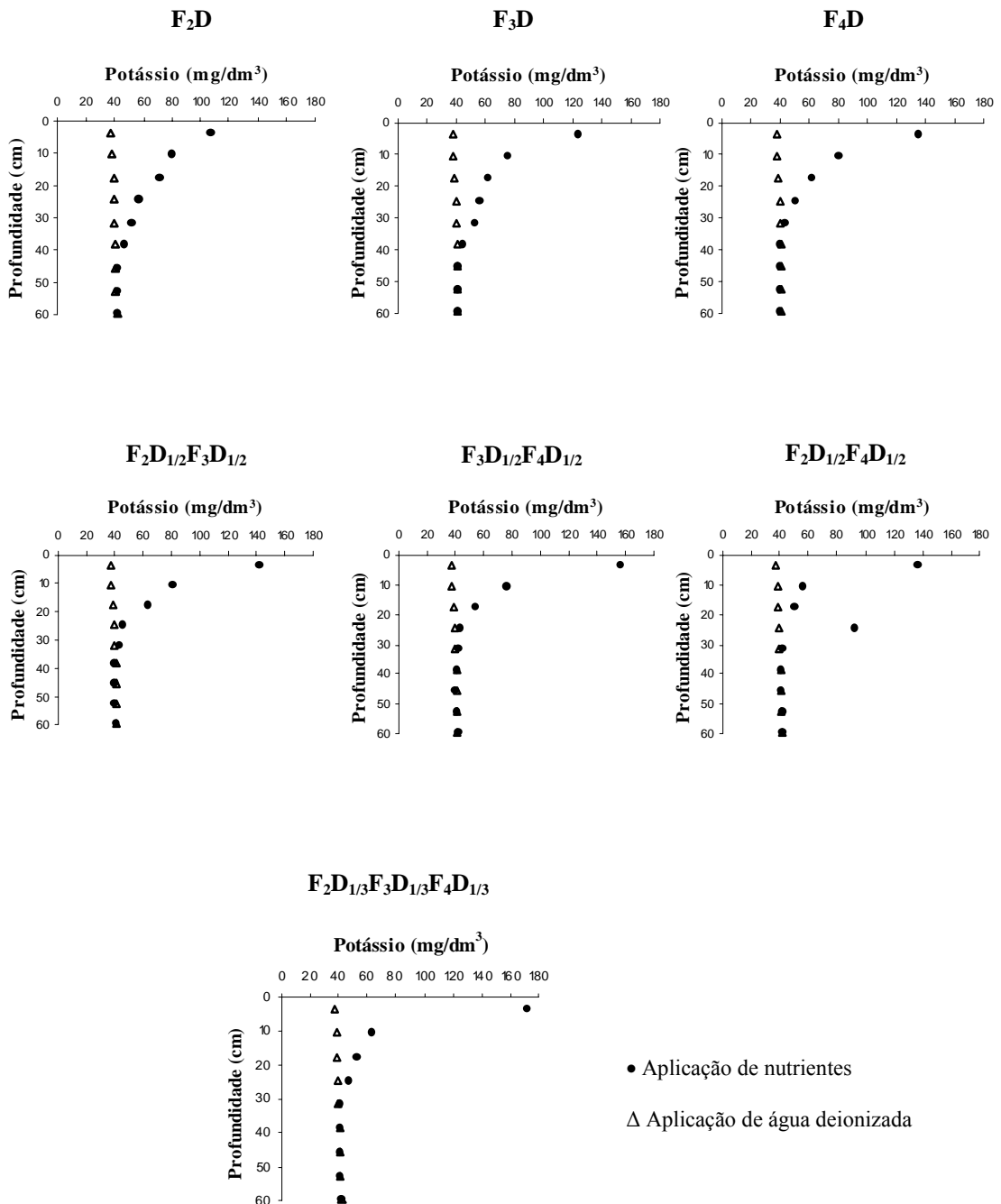


Figura 14. Teores de potássio ao longo de colunas com amostras do LVAd2, considerando a fração da lâmina de irrigação (F) em que o nutriente foi aplicado em dose integral (D), ou fracionada em duas (D_{1/2}) ou em três vezes (D_{1/3}).

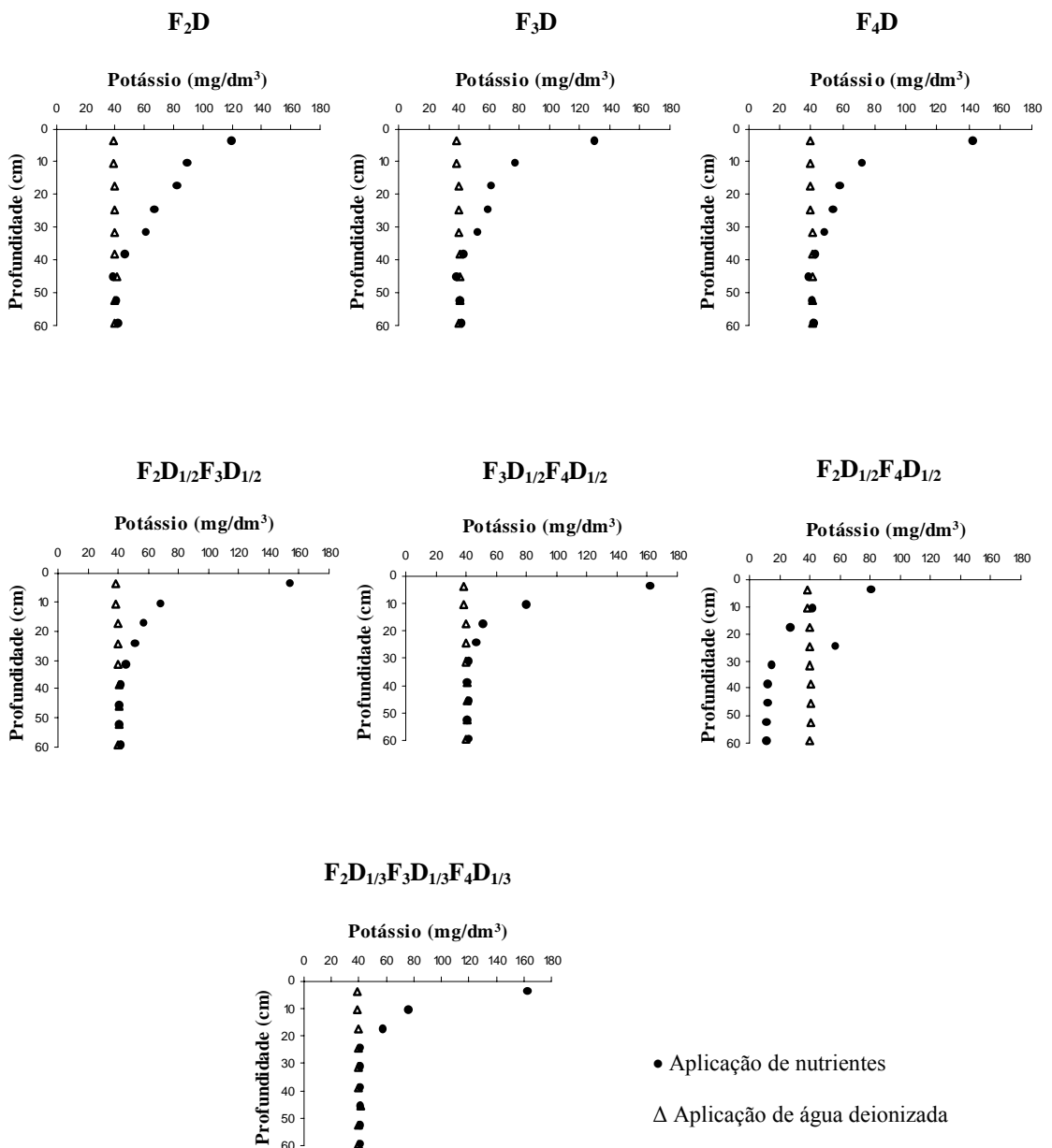


Figura 15. Teores de potássio ao longo de colunas com amostras do LVdf, considerando a fração da lâmina de irrigação (F) em que o nutriente foi aplicado em dose integral (D), ou fracionada em duas ($D_{1/2}$) ou em três vezes ($D_{1/3}$).

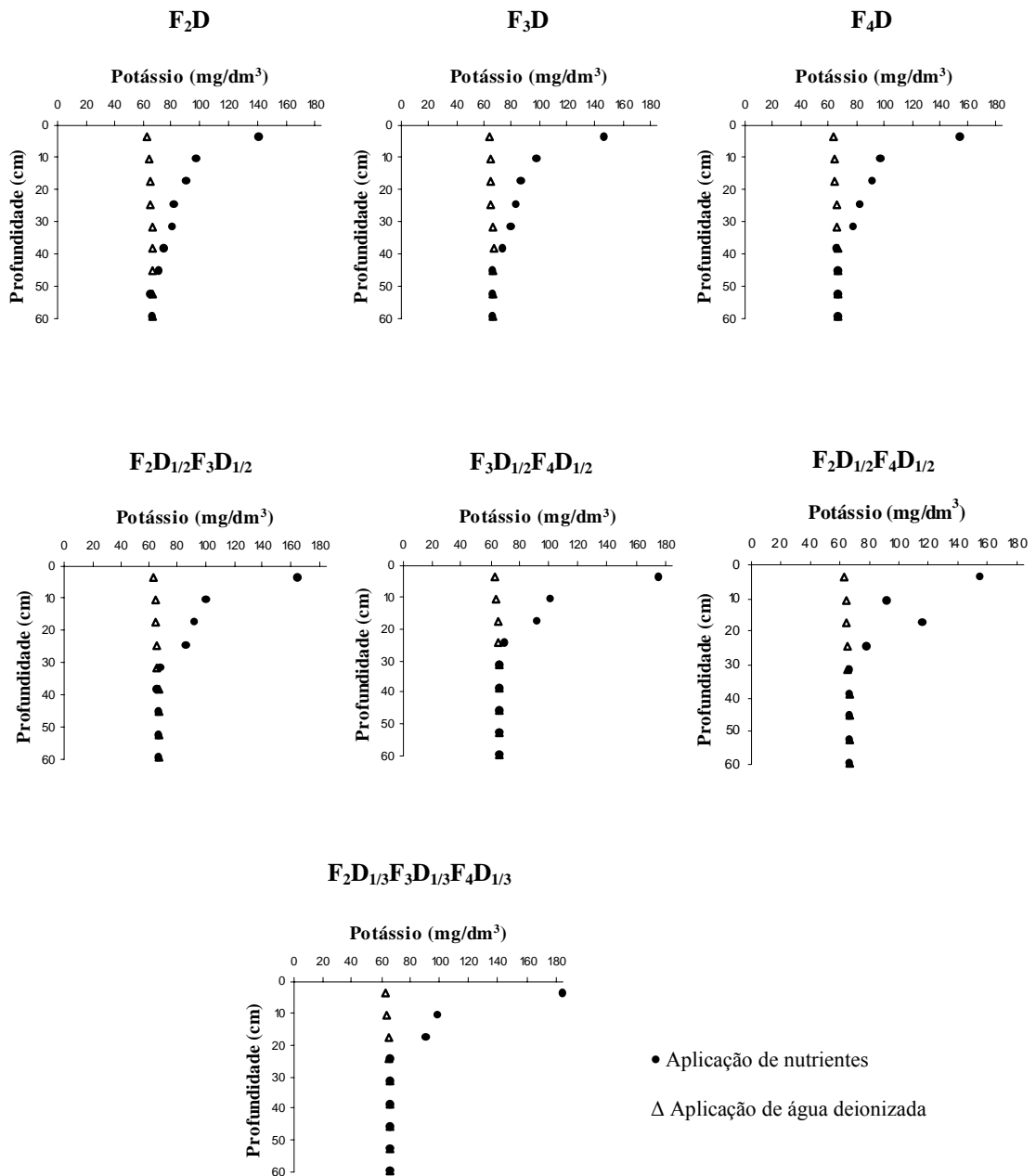


Figura 16. Teores de potássio ao longo de colunas com amostras do LVd, considerando a fração da lâmina de irrigação (F) em que o nutriente foi aplicado em dose integral (D), ou fracionada em duas ($D_{1/2}$) ou em três vezes ($D_{1/3}$).

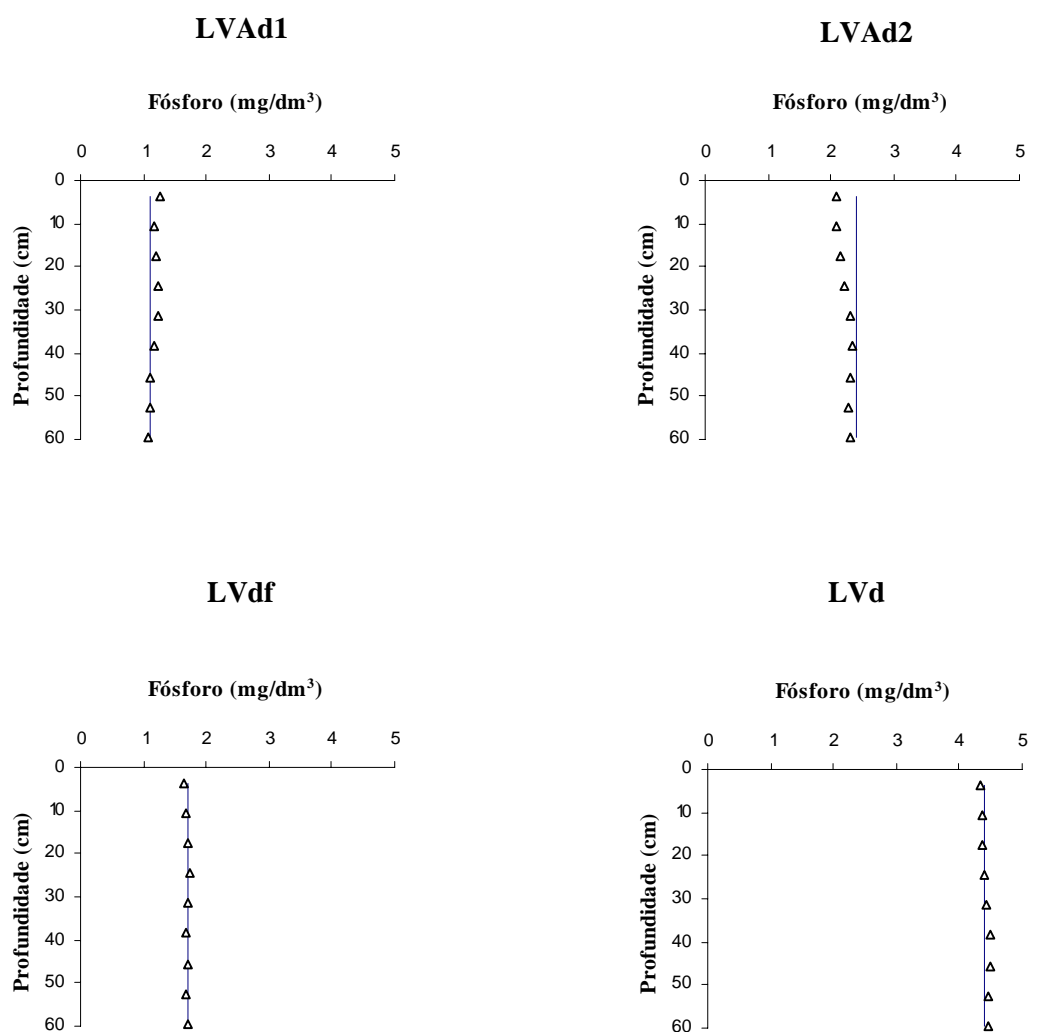


Figura 17. Teores de fósforo ao longo de colunas com amostras dos quatro Latossolos, considerando a aplicação de água deionizada. O segmento vertical indica o teor de amônio determinado na caracterização.

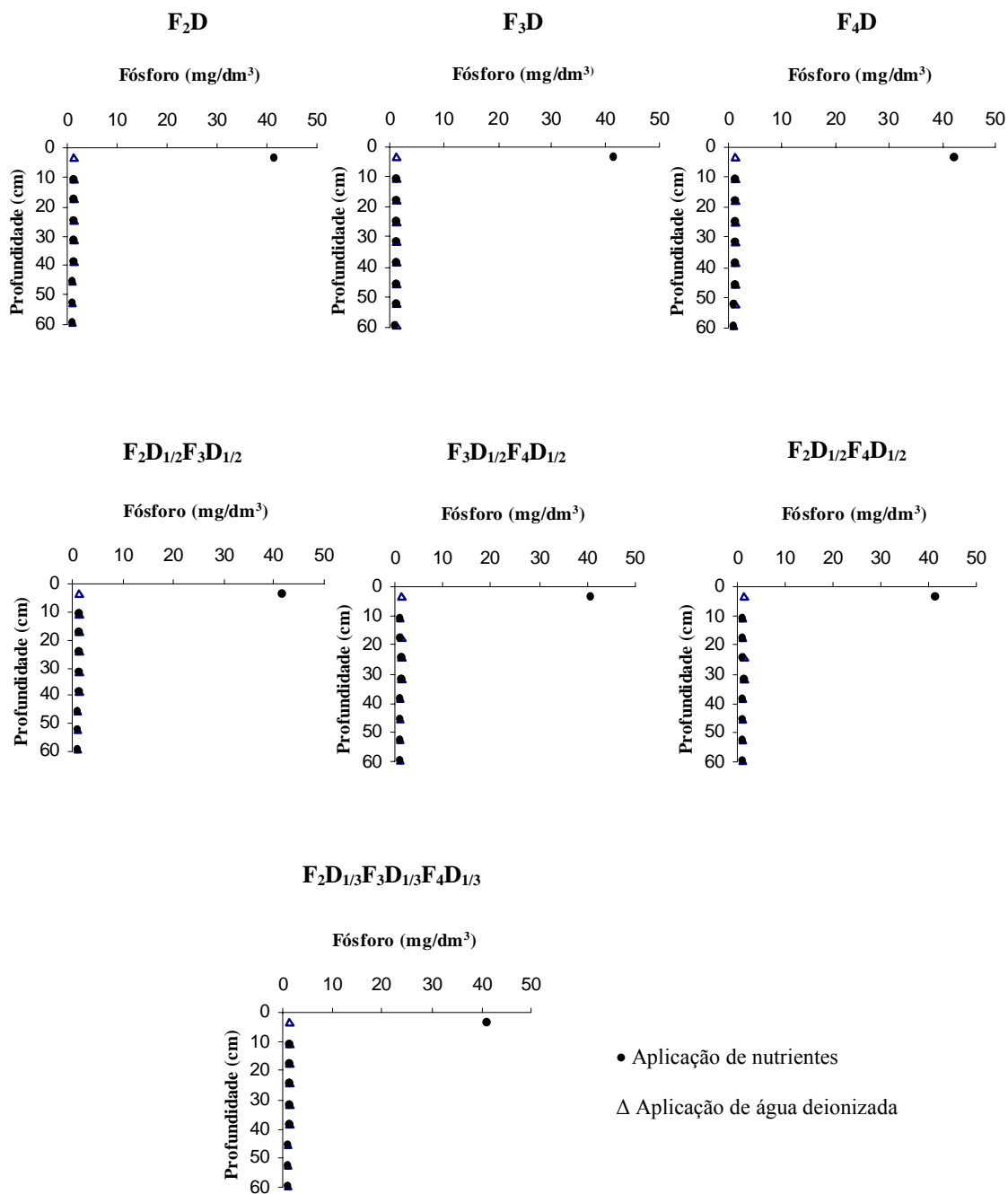


Figura 18. Teores de fósforo ao longo de colunas com amostras do LVAd1, considerando a fração da lâmina de irrigação (F) em que o nutriente foi aplicado em dose integral (D), ou fracionada em duas ($D_{1/2}$) ou em três vezes ($D_{1/3}$).

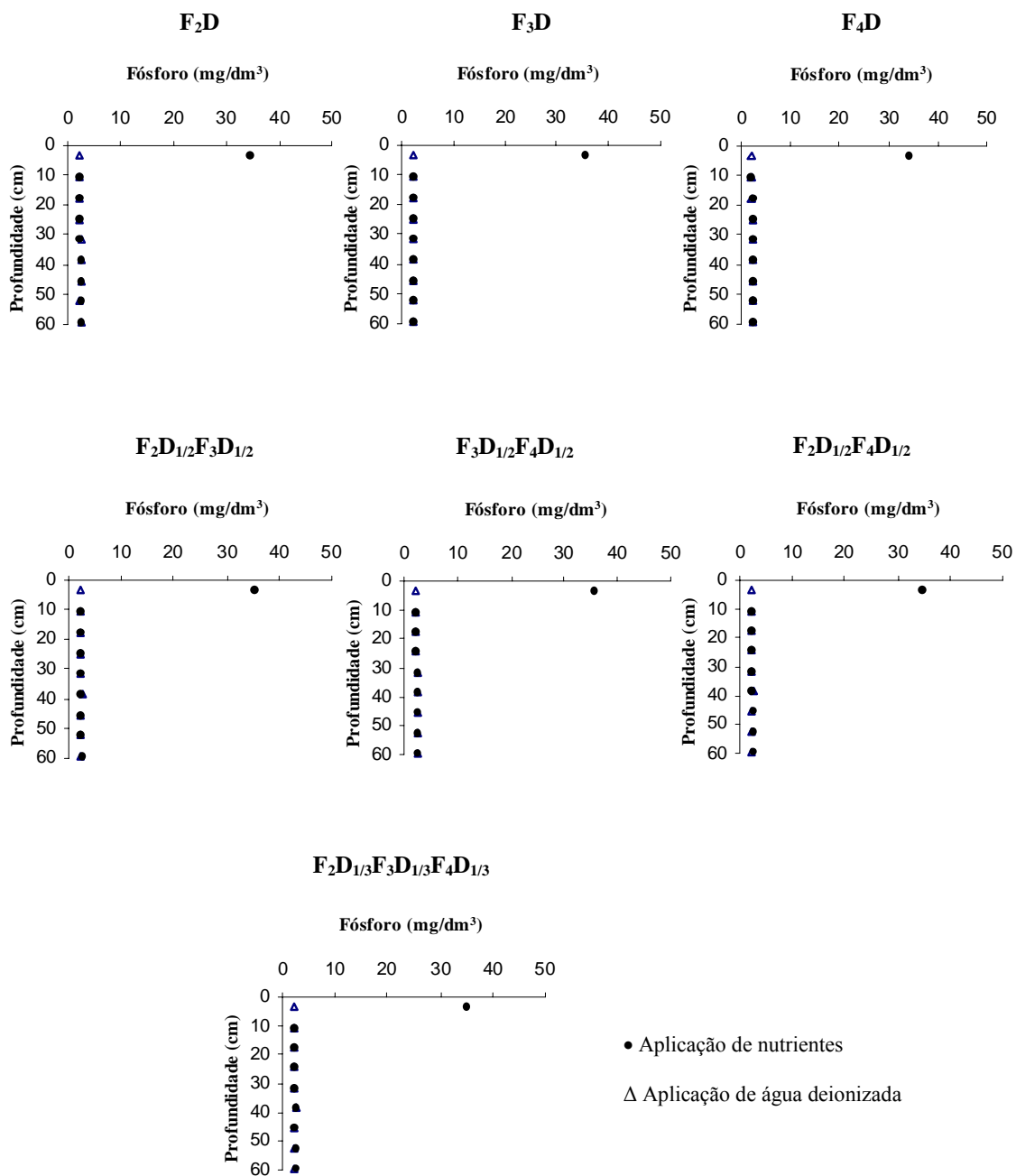


Figura 19. Teores de fósforo ao longo de colunas com amostras do LVAd2, considerando a fração da lâmina de irrigação (F) em que o nutriente foi aplicado em dose integral (D), ou fracionada em duas (D_{1/2}) ou em três vezes (D_{1/3}).

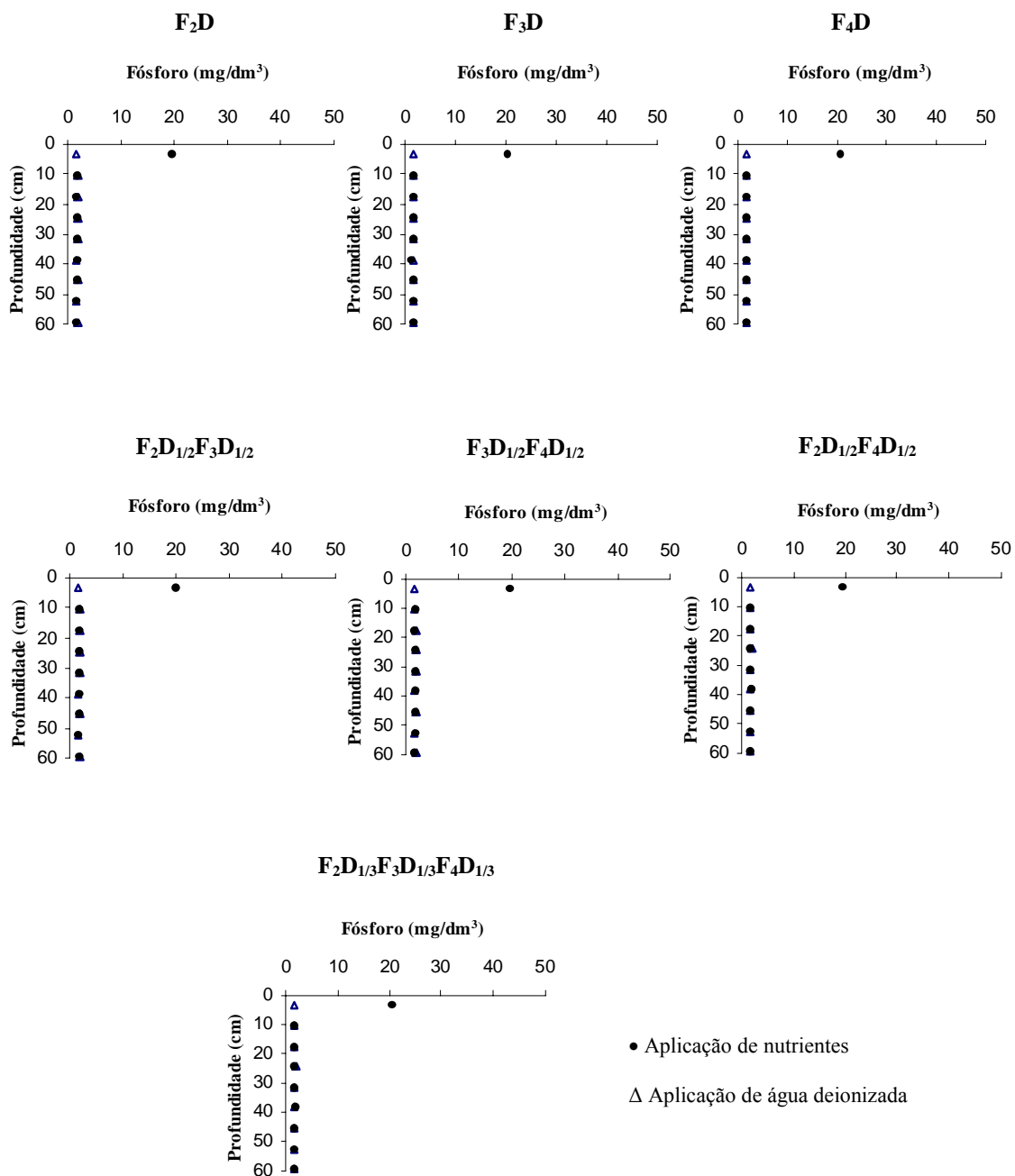


Figura 20. Teores de fósforo ao longo de colunas com amostras do LVdf, considerando a fração da lâmina de irrigação (F) em que o nutriente foi aplicado em dose integral (D), ou fracionada em duas (D_{1/2}) ou em três vezes (D_{1/3}).

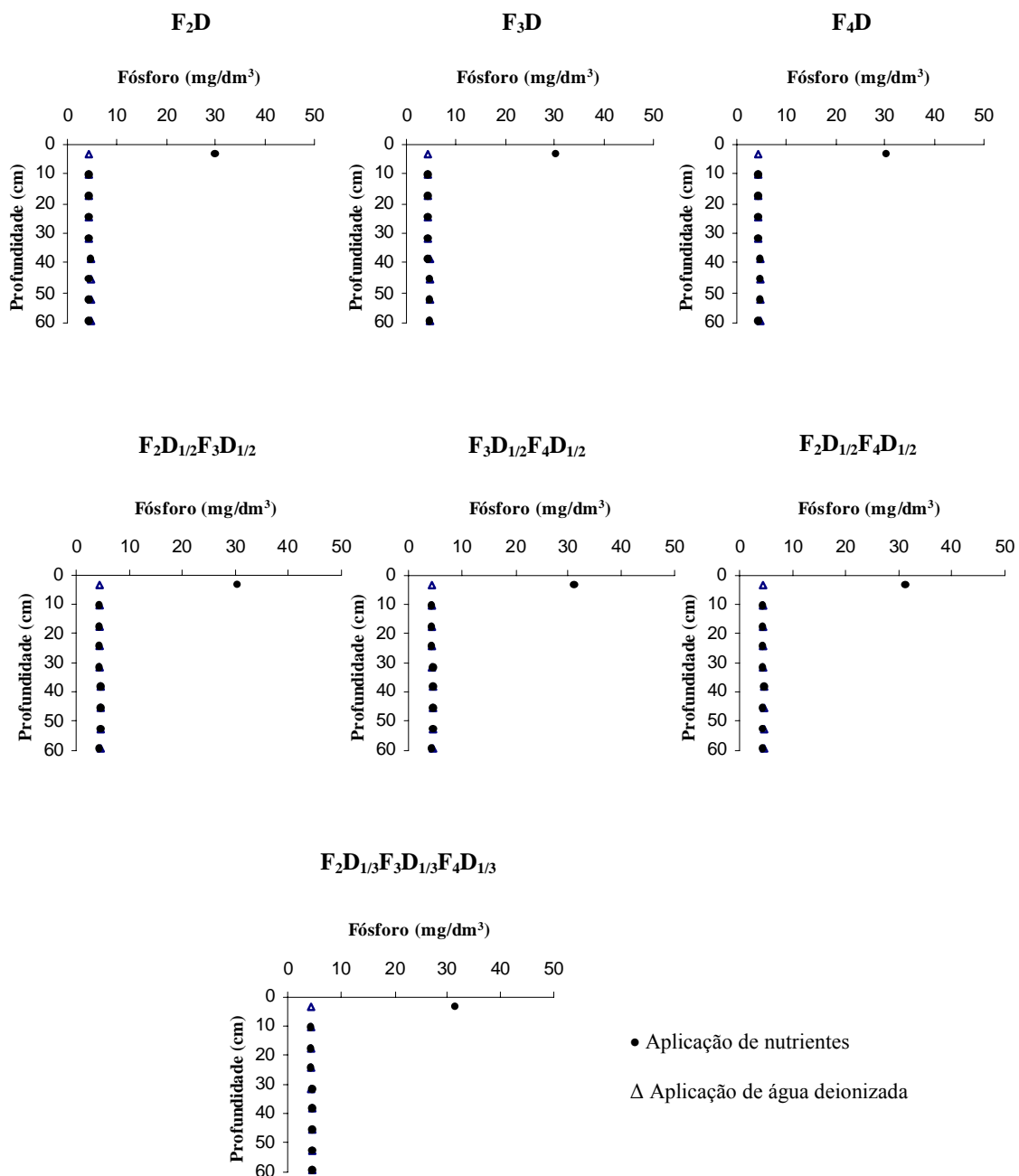


Figura 21. Teores de fósforo ao longo de colunas com amostras do LVd, considerando a fração da lâmina de irrigação (F) em que o nutriente foi aplicado em dose integral (D), ou fracionada em duas (D_{1/2}) ou em três vezes (D_{1/3}).

4.3. Profundidade de maior teor de nutrientes

A partir dos resultados experimentais, representados nas figuras 2 a 21, determinaram-se as profundidades de maior teor de nutrientes (Quadro 3). Esses valores foram analisados estatisticamente, comparando-se os solos em que houve homogeneidade de variâncias (Quadro 4) e a resposta aos tratamentos, para cada solo estudado (Quadro 5).

O amônio movimentou-se em maior profundidade no Latossolo menos argiloso (LVAd1) e no Latossolo distroférico (LVdf), evidenciando a menor interação deste cátion com o complexo de troca desses solos (Quadros 3 e 4). No caso do LVAd1, esse resultado está relacionado à baixa proporção de argila. O LVdf é o solo com maior proporção de óxidos de ferro e alumínio na fração argila e com menor valor de pH entre os quatro solos estudados (Quadro 1); por isso, apresenta maior proporção de cargas positivas (Fontes et al., 2001). Dessa forma, o amônio é menos retido, ficando maior concentração na solução, o que leva ao deslocamento em maior profundidade na coluna.

Considerando os tratamentos aplicados em cada solo, naquele em que somente água foi acrescentada às colunas, o amônio movimentou-se para camadas mais profundas, na comparação com os tratamentos em que foi aplicado pulso do nutriente (Quadros 3 e 5). Levando-se em conta que a distribuição do nutriente antes da aplicação da água era uniforme, essa constatação indica a mobilidade do amônio nos Latossolos.

Na resposta ao fracionamento do pulso, a maior concentração (dose integral numa única fração da lâmina) levou o amônio a movimentar em maiores profundidades, quando comparadas com aquelas em que o pulso foi diluído em duas ou três frações da lâmina (Quadros 3 e 5). Esse comportamento foi evidenciado também, em geral, quando confrontada a diluição do pulso em duas frações da lâmina, em relação à distribuição em três frações.

Quadro 3. Profundidade do maior teor de amônio, nitrato, potássio e fósforo, na coluna, considerando o solo e a fração da lâmina de irrigação (F) em que o nutriente foi aplicado em dose integral (D), ou fracionada em duas ($D_{1/2}$) ou em três vezes ($D_{1/3}$)

Solo	Tratamento	N-NH ₄ ⁺	N-NO ₃ ⁻	Potássio		Fósforo
				cm		
LVAd1	Água	45,5	31,5	40,8	10,5	
	F ₂ D	45,5	43,2	3,5	3,5	
	F ₃ D	38,5	38,5	3,5	3,5	
	F ₄ D	31,5	31,5	3,5	3,5	
	F ₂ D _{1/2} F ₃ D _{1/2}	38,5	24,5	3,5	3,5	
	F ₃ D _{1/2} F ₄ D _{1/2}	31,5	17,5	3,5	3,5	
	F ₂ D _{1/2} F ₄ D _{1/2}	24,5	17,5	3,5	3,5	
	F ₂ D _{1/3} F ₃ D _{1/3} F ₄ D _{1/3}	24,5	17,5	3,5	3,5	
Média		35,0	27,7	8,2	4,4	
LVAd2	Água	31,5	33,8	59,5	45,5	
	F ₂ D	31,5	38,5	3,5	3,5	
	F ₃ D	24,5	31,5	3,5	3,5	
	F ₄ D	24,5	24,5	3,5	3,5	
	F ₂ D _{1/2} F ₃ D _{1/2}	24,5	17,5	3,5	3,5	
	F ₃ D _{1/2} F ₄ D _{1/2}	17,5	17,5	3,5	3,5	
	F ₂ D _{1/2} F ₄ D _{1/2}	17,5	45,5	3,5	3,5	
	F ₂ D _{1/3} F ₃ D _{1/3} F ₄ D _{1/3}	17,5	17,5	3,5	3,5	
Média		23,6	28,3	10,5	8,8	
LVdf	Água	38,5	31,5	47,8	24,5	
	F ₂ D	38,5	24,5	3,5	3,5	
	F ₃ D	31,5	22,2	3,5	3,5	
	F ₄ D	31,5	17,5	3,5	3,5	
	F ₂ D _{1/2} F ₃ D _{1/2}	24,5	10,5	3,5	3,5	
	F ₃ D _{1/2} F ₄ D _{1/2}	17,5	10,5	3,5	3,5	
	F ₂ D _{1/2} F ₄ D _{1/2}	17,5	17,5	3,5	3,5	
	F ₂ D _{1/3} F ₃ D _{1/3} F ₄ D _{1/3}	24,5	10,5	3,5	3,5	
Média		28,0	18,1	9,0	6,1	
LVd	Água	38,5	33,8	43,2	43,2	
	F ₂ D	31,5	38,5	3,5	3,5	
	F ₃ D	24,5	31,5	3,5	3,5	
	F ₄ D	24,5	24,5	3,5	3,5	
	F ₂ D _{1/2} F ₃ D _{1/2}	17,5	17,5	3,5	3,5	
	F ₃ D _{1/2} F ₄ D _{1/2}	24,5	17,5	3,5	3,5	
	F ₂ D _{1/2} F ₄ D _{1/2}	17,5	38,5	3,5	3,5	
	F ₂ D _{1/3} F ₃ D _{1/3} F ₄ D _{1/3}	10,5	17,5	3,5	3,5	
Média		23,6	27,4	8,5	8,5	

Quadro 4. Contrastes médios comparando a profundidade do maior teor de amônio, nitrato, potássio e fósforo, considerando os solos que apresentaram homogeneidade de variâncias

Nutriente	Contraste	Valor
		cm
N-NH ₄ ⁺	3 LVAd1 – (LVAd2 + LVdf + LVd)	9,9 ^{**}
	2 LVAd2 – (LVdf + LVd)	-2,2 ^{**}
	LVdf – LVd	4,4 ^{**}
N-NO ₃ ⁻	3 LVAd1 – (LVAd2 + LVdf + LVd)	3,1 ^{**}
	2 LVAd2 – (LVdf + LVd)	5,6 ^{**}
	LVdf – LVd	-9,3 ^{**}
Potássio	2 LVAd2 – (LVdf + LVd)	-0,6
	LVdf – LVd	0,5
Fósforo	LVAd1-LVAd2	-4,4

** : Significativo a 1 % pelo teste F.

O maior teor de amônio foi registrado na maior profundidade quando a dose, dissolvida numa única fração da lâmina, foi aplicada em estágio inicial, como verificado na comparação do tratamento F₂D com F₃D e F₄D (Quadros 3 e 5). Já a diferenciação entre F₃D e F₄D somente foi evidenciada na comparação para o Latossolo de textura média (LVAd1). Quando a dose foi diluída em duas frações, a profundidade de maior teor de amônio também foi maior com a aplicação nas frações iniciais da lâmina.

O caráter aniônico do nitrato permite diferenciar a profundidade de maior teor, quando comparado o Latossolo distroférico com os outros três (Quadros 3 e 4). Nesse Latossolo, mais oxidico, há maior interação do íon com os constituintes da fase sólida do solo (apresenta maior densidade de carga positiva), o que levou à menor profundidade de maior teor do nutriente. Assim, houve acumulação do nitrato nas camadas mais superficiais.

Quadro 5. Contrastes médios comparando a profundidade do maior teor de amônio, nitrato, potássio e fósforo, considerando a fração da lâmina de irrigação (F) em que o nutriente foi aplicado em dose integral (D), ou fracionada em duas (D_{1/2}) ou em três vezes (D_{1/3})

Tratamento	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇
Água	7	0	0	0	0	0	0
F ₂ D	-1	4	0	2	0	0	0
F ₃ D	-1	4	0	-1	1	0	0
F ₄ D	-1	4	0	-1	-1	0	0
F ₂ D _{1/2} F ₃ D _{1/2}	-1	-3	1	0	0	2	0
F ₃ D _{1/2} F ₄ D _{1/2}	-1	-3	1	0	0	-1	1
F ₂ D _{1/2} F ₄ D _{1/2}	-1	-3	1	0	0	-1	-1
F ₂ D _{1/3} F ₃ D _{1/3} F ₄ D _{1/3}	-1	-3	-3	0	0	0	0
Amônio ^{1/} (cm)							
LVAd1	12,0**	8,8**	7,0**	10,5**	7,0**	10,5**	7,0**
LVAd2	9,0**	7,6**	9,3**	7,0**	0,0	7,0**	0,0
LVdf	12,0**	12,8**	-4,7**	7,0**	0,0	7,0**	0,0
LVd	17,0**	9,3**	9,3**	7,0**	0,0	3,5**	7,0**
Nitrato (cm)							
LVAd1	4,3**	18,5**	2,3*	8,2**	7,0**	7,0**	0,0
LVAd2	6,3**	7,0**	9,3**	10,5**	7,0**	-14,0**	-28,0**
LVdf	15,3**	9,2**	2,3*	4,7**	4,7**	-3,5**	-7,0**
LVd	7,3**	8,8**	7,0**	10,5**	7,0**	-10,5**	-21,0**
Potássio (cm)							
LVAd1	37,3**	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
LVAd2 ^{2/}	56,0**	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
LVdf	44,3**	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
LVd	39,7**	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Fósforo (cm)							
LVAd1	7,0*	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
LVAd2	42,0**	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
LVdf ^{2/}	21,0**	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
LVd	39,7**	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

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

^{1/} A análise estatística apresentou variância zero para todos os solos e tratamentos.

^{2/} A análise estatística apresentou variância zero para os tratamentos dentro deste solo.

Considerando a resposta da profundidade do maior teor de nitrato à aplicação do pulso de nutrientes, verifica-se, em geral, comportamento semelhante ao mostrado pelo amônio. Assim, a profundidade do maior teor de nitrato aumentou com a concentração do pulso (comparação da dose única *versus* a dose fracionada) e, quando incorporado em dose única, com a aplicação de maior lâmina de água posteriormente (Quadros 3 e 5). Essa resposta foi observada, no fracionamento da dose em duas lâminas, para o Latossolo de textura média. Nos três restantes, os valores correspondentes ao tratamento $F_2D_{1/2}F_4D_{1/2}$ foram determinantes na inversão do sinal dos contrastes analisados (Quadros 3 e 5).

O potássio e o fósforo não mostraram diferenças entre solos, concentrando o maior teor no anel superficial (Quadros 3, 4 e 5); portanto, somente houve significância na comparação entre água e pulso de nutrientes. Isso mostra claramente que, ainda de menor magnitude, houve deslocamento de potássio e fósforo na solução do solo.

Analisando os quatro solos estudados, os valores apresentados no quadro 3 permitem verificar profundidades médias maiores para amônio, quando comparadas às do nitrato, no LVAd1 e LVdf e menores no LVAd2 e LVd. A resposta desses dois últimos solos seria esperada, considerando a maior interação do complexo de troca com cátions e não com ânions. O comportamento diferenciado no LVAd1, de baixa capacidade de troca catiônica, pode ser atribuído ao movimento de potássio nas colunas, como evidenciado na figura 13, deslocando o amônio dos sítios de troca catiônica. Já o fósforo ficou localizado no anel superficial (Figura 18). No caso do LVdf, em acréscimo às considerações previamente indicadas (Figuras 15 e 19), é de importância observar que Latossolos mais oxídicos apresentam maior capacidade de adsorção de nitrato, como mostrado por Pinheiro (2002), retardando, em consequência, seu movimento no perfil do solo. Dessa forma, nesse solo a perda de nitrato – e conseqüente contaminação do lençol freático – seria menor do que em solos cauliníticos, para a mesma dose e textura semelhante. Destaca-se, em razão dos resultados, que devem-se evitar recomendações de

fertilizantes, em fertirrigação, feitas considerando somente a cultura e a produtividade, como as publicadas por Pinto (2001) e Borges et al. (2002).

Sugere-se a aplicação da dose integral de nutrientes nas últimas frações da lâmina de irrigação (terceira e quarta) ou diluição da dose em duas vezes, na terceira e na quarta fração, para culturas de ciclo curto, uma vez que os nutrientes vão se concentrar mais na superfície, onde há maior densidade de raízes. No caso de culturas perenes, para aquelas que apresentam raízes absorventes em profundidade, recomenda-se a aplicação da dose integral de nutrientes na segunda fração da lâmina de irrigação ou o fracionamento da dose em duas vezes, na segunda e na terceira fração da lâmina, pois assim os nutrientes são transportados para maior profundidade.

Ressalta-se, também, que o manejo proposto para fertirrigação constitui estratégia que permite localizar os nutrientes na profundidade adequada e reduzir as perdas por lixiviação, particularmente para as formas mais móveis no solo, como nitrato e amônio. Esse parcelamento deveria ser utilizado, sobretudo, em solos arenosos (Pinto, 2001).

A mobilidade dos nutrientes variou com a textura e a mineralogia do solo. Para o LVdf foi observada a ordem: amônio > nitrato > potássio >> fósforo. Para os solos LVAd1, LVAd2 e LVd a ordem foi: nitrato > amônio > potássio >> fósforo, como indicam as profundidades do maior teor de nutrientes (Quadro 3).

Os maiores teores de amônio, nitrato, potássio e fósforo, associados com as profundidades indicadas no quadro 3, são apresentados no quadro 6, e os contrastes analisados, nos quadros 7 e 8. Ressalta-se que as doses de nutrientes aplicadas aos quatro solos foram as mesmas (Quadro 2). Assim, as diferenças indicadas pelos contrastes do quadro 7 devem ser atribuídas à capacidade diferencial de retenção dos nutrientes pelos solos e, conseqüentemente, à recuperação distinta do nutriente pelo extrator. Além disso, essas diferenças podem ser atribuídas ao teor inicial do nutriente (Quadro 1) e também a processos que alteram a disponibilidade de nutrientes, como a mineralização da matéria orgânica e a nitrificação.

Quadro 6. Maior teor de amônio, nitrato, potássio e fósforo, na coluna, considerando o solo e a fração da lâmina de irrigação (F) em que o nutriente foi aplicado em dose integral (D), ou fracionada em duas ($D_{1/2}$) ou em três vezes ($D_{1/3}$)

Solo	Tratamento	N-NH ₄ ⁺	N-NO ₃ ⁻	mg/dm ³	
				Potássio	Fósforo
LVAd1	Água	5,07	6,57	11,69	1,30
	F ₂ D	10,62	34,87	57,57	41,40
	F ₃ D	10,54	35,40	82,12	41,51
	F ₄ D	11,22	35,57	92,31	42,36
	F ₂ D _{1/2} F ₃ D _{1/2}	12,33	37,40	96,27	41,51
	F ₃ D _{1/2} F ₄ D _{1/2}	11,77	41,28	105,18	40,87
	F ₂ D _{1/2} F ₄ D _{1/2}	11,39	34,26	81,25	41,46
	F ₂ D _{1/3} F ₃ D _{1/3} F ₄ D _{1/3}	12,57	44,56	116,57	41,13
Média		10,69	33,74	80,37	36,44
LVAd2	Água	5,46	7,24	41,54	2,34
	F ₂ D	11,84	39,45	106,8	34,55
	F ₃ D	11,16	43,46	123,35	35,42
	F ₄ D	12,39	43,52	135,25	34,17
	F ₂ D _{1/2} F ₃ D _{1/2}	13,11	43,25	142,46	35,53
	F ₃ D _{1/2} F ₄ D _{1/2}	13,02	44,78	156,73	35,65
	F ₂ D _{1/2} F ₄ D _{1/2}	12,14	36,59	136,87	34,70
	F ₂ D _{1/3} F ₃ D _{1/3} F ₄ D _{1/3}	15,10	45,45	172,04	35,60
Média		11,78	37,97	126,88	31,00
LVdf	Água	6,35	19,41	40,66	1,73
	F ₂ D	13,45	51,68	120,35	19,69
	F ₃ D	14,01	50,03	130,07	20,24
	F ₄ D	13,84	54,22	142,90	20,66
	F ₂ D _{1/2} F ₃ D _{1/2}	14,43	51,67	153,86	19,88
	F ₃ D _{1/2} F ₄ D _{1/2}	14,40	56,59	161,21	19,81
	F ₂ D _{1/2} F ₄ D _{1/2}	13,64	49,83	139,59	19,60
	F ₂ D _{1/3} F ₃ D _{1/3} F ₄ D _{1/3}	16,36	60,65	162,47	20,34
Média		13,31	49,26	131,39	17,75
LVd	Água	5,64	12,53	66,90	4,49
	F ₂ D	14,49	49,11	141,11	29,99
	F ₃ D	13,70	49,42	147,44	30,31
	F ₄ D	14,35	44,87	154,98	30,39
	F ₂ D _{1/2} F ₃ D _{1/2}	15,15	48,58	164,27	30,28
	F ₃ D _{1/2} F ₄ D _{1/2}	15,71	57,23	175,58	31,00
	F ₂ D _{1/2} F ₄ D _{1/2}	13,66	42,82	155,33	31,14
	F ₂ D _{1/3} F ₃ D _{1/3} F ₄ D _{1/3}	15,65	59,36	184,65	31,52
Média		13,54	45,50	148,78	27,39

Quadro 7. Contrastes médios comparando o maior teor de amônio, nitrato, potássio e fósforo

Nutriente	Contraste	Valor
		mg/dm ³
N-NH ₄ ⁺	3 LVAd1 – (LVAd2 + LVdf + LVd)	-2,19**
	2 LVAd2 – (LVdf + LVd)	-1,65**
	LVdf – LVd	-0,23**
N-NO ₃ ⁻	3 LVAd1 – (LVAd2 + LVdf + LVd)	-10,50**
	2 LVAd2 – (LVdf + LVd)	-9,41**
	LVdf – LVd	3,76**
Potássio	3 LVAd1 – (LVAd2 + LVdf + LVd)	-55,31**
	2 LVAd2 – (LVdf + LVd)	-13,21**
	LVdf – LVd	-17,39**
Fósforo	3 LVAd1 – (LVAd2 + LVdf + LVd)	11,06**
	2 LVAd2 – (LVdf + LVd)	8,43**
	LVdf – LVd	-9,64**

** : Significativo a 1 % pelo teste F.

Com respeito ao fósforo, observam-se respostas condicionadas pelo fator capacidade do solo em análise, verificado pela menor recuperação de P para o solo com maior contribuição de óxidos (LVdf), indicados pelos menores valores de maior teor nesse solo em relação aos outros (Quadro 6). É sabido que solos oxídicos apresentam menor recuperação da dose de fósforo do que os cauliniticos (Novais & Smyth, 1999).

Dos contrastes apresentados no quadro 8, a significância do primeiro evidencia o teor diferenciado de nutrientes, em resposta à aplicação do pulso. Com relação aos restantes, quando significativos, as diferenças estariam associadas com a concentração da dose e com a fração da lâmina, aplicada posteriormente ao pulso. Quanto maior a profundidade do maior teor, menor a desuniformidade na distribuição do nutriente no solo e, conseqüentemente, menor o teor determinado. O tratamento F₂D_{1/2} F₄D_{1/2}, pelo fato de apresentar dois picos de concentração (Figuras 2 a 13), pode provocar alteração no sinal de alguns dos contrastes analisados (Quadro 8).

Quadro 8. Contrastes médios comparando o maior teor de amônio, nitrato, potássio e fósforo, considerando a fração da lâmina de irrigação (F) em que o nutriente foi aplicado em dose integral (D), ou fracionada em duas ($D_{1/2}$) ou em três vezes ($D_{1/3}$)

Tratamento	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇
Água	7	0	0	0	0	0	0
F ₂ D	-1	4	0	2	0	0	0
F ₃ D	-1	4	0	-1	1	0	0
F ₄ D	-1	4	0	-1	-1	0	0
F ₂ D _{1/2} F ₃ D _{1/2}	-1	-3	1	0	0	2	0
F ₃ D _{1/2} F ₄ D _{1/2}	-1	-3	1	0	0	-1	1
F ₂ D _{1/2} F ₄ D _{1/2}	-1	-3	1	0	0	-1	-1
F ₂ D _{1/3} F ₃ D _{1/3} F ₄ D	-1	-3	-3	0	0	0	0
N-NH ₄ ⁺ (mg/dm ³)							
LVAd1	-6,42**	-1,22**	-0,74	-0,26	-0,68	0,75	0,38
LVAd2	-7,22**	-1,55**	-2,34**	0,07	-1,23*	0,53	0,88
LVdf	-7,95**	-0,94**	-2,20**	-0,48	0,17	0,41	0,76**
LVd	-9,03**	-0,86**	-0,81	0,47	-0,65	0,47	2,05*
N-NO ₃ ⁻ (mg/dm ³)							
LVAd1	-31,05**	-4,10**	-6,91**	-0,62	-0,17	-0,37	7,02**
LVAd2	-35,12**	-0,38	-3,91**	-4,04**	-0,06	2,57**	8,19**
LVdf	-34,11**	-2,71**	-7,95**	-0,45	-4,19**	-1,54	6,16**
LVd	-37,67**	-4,20**	-9,82**	1,97**	4,55**	-1,45	14,41**
Potássio (mg/dm ³)							
LVAd1	-78,49**	-22,48**	-22,34**	-29,65**	-10,19**	3,06**	23,93**
LVAd2	-97,53**	-30,23**	-26,69**	-22,5**	-11,90**	-4,34**	19,86**
LVdf	-103,69**	-23,18**	-10,92**	-16,14**	-12,83**	3,46**	21,62**
LVd	-93,58**	-22,11**	-19,59**	-10,01**	-7,54**	-1,19	20,25**
Fósforo (mg/dm ³)							
LVAd1	-40,16**	0,52	0,15	-0,54	-0,85	0,35	-0,59
LVAd2	-32,75**	-0,66	-0,31	-0,25	1,25	0,36	0,95
LVdf	-18,30**	0,29	-0,58	-0,76	-0,42	0,18	0,21
LVd	-26,17**	0,81	-0,71	-0,36	-0,08	-0,79	-0,14

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

4.4. Teor médio de nutrientes

Os teores médios de amônio, nitrato, potássio e fósforo no solo são apresentados no quadro 9. Considerando que os quatro solos receberam as mesmas doses de nutrientes (Quadro 2), as diferenças indicadas pelos contrastes do quadro 10 devem ser atribuídas ao teor inicial, como no caso do potássio (Quadro 1). Além disso, devem ser consideradas as características relacionadas com a disponibilidade desses nutrientes. Assim, a mineralização da matéria orgânica, nos solos com teores relativamente elevados de carbono orgânico (Quadro 1), contribuiu também para as diferenças observadas nos teores de nitrogênio amoniacal e nítrico.

No tocante ao fósforo, observam-se respostas condicionadas pelo teor inicial e pelo fator capacidade do solo em análise. A diferença no teor inicial do LVAd1, mais arenoso, já para os outros três, foi de $-1,73 \text{ mg/dm}^3$, calculada de forma semelhante ao contraste 1 do quadro 10, com os valores correspondentes extraídos do quadro 1. Na finalização do ensaio, o menor fator capacidade desse solo levou à diminuição desse valor para $-0,22 \text{ mg/dm}^3$ (Quadro 10).

Na comparação do LVAd2 com LVdf e LVd houve inversão do sinal, passando de $-0,65 \text{ mg/dm}^3$ (Quadro 1) para $0,22 \text{ mg/dm}^3$ (Quadro 10). O último contraste analisado mostra maior diferença entre os dois solos comparados, o que pode ser atribuído à maior capacidade de fixação de fósforo do material distroférico (LVdf).

Dos contrastes apresentados no quadro 11 deve-se destacar o primeiro, que compara os solos sem e com acréscimo dos nutrientes. Considerando as quantidades acrescentadas às colunas (Quadro 2) e o fato que a frente de molhamento atingiu o nono anel, a aplicação média de nutrientes foi de $3,73 \text{ mg/dm}^3$ de N-NH_4^+ , $3,73 \text{ mg/dm}^3$ de N-NO_3^- , $20,8 \text{ mg/dm}^3$ de potássio e $5,6 \text{ mg/dm}^3$ de fósforo, para os nove anéis em análise. Na ausência de reações específicas com o solo, os valores numéricos desses contrastes deveriam ser próximos dos indicados, como se observa para o potássio (contraste 1, Quadro 11).

Quadro 9. Teor médio de amônio, nitrato, potássio e fósforo, na coluna, considerando o solo e a fração da lâmina de irrigação (F) em que o nutriente foi aplicado em dose integral (D), ou fracionada em duas ($D_{1/2}$) ou em três vezes ($D_{1/3}$)

Solo	Tratamento	N-NH ₄ ⁺	N-NO ₃ ⁻	mg/dm ³	
				Potássio	Fósforo
LVAd1	Água	4,43	4,96	10,37	1,17
	F ₂ D	8,64	21,74	30,87	5,63
	F ₃ D	8,32	22,60	30,88	5,64
	F ₄ D	8,45	21,80	30,99	5,72
	F ₂ D _{1/2} F ₃ D _{1/2}	9,16	21,03	30,58	5,65
	F ₃ D _{1/2} F ₄ D _{1/2}	8,39	21,61	30,50	5,56
	F ₂ D _{1/2} F ₄ D _{1/2}	8,57	20,82	30,03	5,64
	F ₂ D _{1/3} F ₃ D _{1/3} F ₄ D _{1/3}	8,37	21,57	31,73	5,60
Média		8,04	19,52	28,24	5,08
LVAd2	Água	5,35	6,29	39,88	2,27
	F ₂ D	9,35	22,75	59,88	5,85
	F ₃ D	9,11	22,91	59,89	5,95
	F ₄ D	8,99	23,02	59,32	5,80
	F ₂ D _{1/2} F ₃ D _{1/2}	9,09	22,42	59,86	5,95
	F ₃ D _{1/2} F ₄ D _{1/2}	8,87	22,37	59,67	5,97
	F ₂ D _{1/2} F ₄ D _{1/2}	9,01	24,04	60,51	5,86
	F ₂ D _{1/3} F ₃ D _{1/3} F ₄ D _{1/3}	9,84	22,46	60,13	5,98
Média		8,70	20,78	57,39	5,45
LVdf	Água	5,66	17,94	40,04	1,70
	F ₂ D	10,16	33,37	65,36	3,69
	F ₃ D	10,21	33,27	60,51	3,76
	F ₄ D	9,98	33,16	59,87	3,82
	F ₂ D _{1/2} F ₃ D _{1/2}	10,25	34,33	60,23	3,73
	F ₃ D _{1/2} F ₄ D _{1/2}	9,92	32,78	60,79	3,72
	F ₂ D _{1/2} F ₄ D _{1/2}	9,87	34,06	60,80	3,69
	F ₂ D _{1/3} F ₃ D _{1/3} F ₄ D _{1/3}	10,26	33,79	60,58	3,77
Média		9,54	31,59	58,52	3,49
LVd	Água	5,35	11,85	65,60	4,42
	F ₂ D	9,92	27,81	85,43	7,25
	F ₃ D	9,76	28,06	85,35	7,30
	F ₄ D	10,08	27,70	85,69	7,31
	F ₂ D _{1/2} F ₃ D _{1/2}	10,32	27,80	86,15	7,30
	F ₃ D _{1/2} F ₄ D _{1/2}	10,32	28,03	85,72	7,38
	F ₂ D _{1/2} F ₄ D _{1/2}	9,87	28,19	85,85	7,39
	F ₂ D _{1/3} F ₃ D _{1/3} F ₄ D _{1/3}	9,56	28,09	85,94	7,44
Média		9,40	25,94	83,22	6,97

Quadro 10. Contrastes médios comparando o teor médio de amônio, nitrato, potássio e fósforo

Nutriente	Contraste	Valor
		mg/dm ³
N-NH ₄ ⁺	3 LVAd1 – (LVAd2 + LVdf + LVd)	-1,17**
	2 LVAd2 – (LVdf + LVd)	-0,77*
	LVdf – LVd	0,14
N-NO ₃ ⁻	3 LVAd1 – (LVAd2 + LVdf + LVd)	-6,58**
	2 LVAd2 – (LVdf + LVd)	-7,99**
	LVdf – LVd	5,65*
Potássio	3 LVAd1 – (LVAd2 + LVdf + LVd)	-38,14**
	2 LVAd2 – (LVdf + LVd)	-13,48**
	LVdf – LVd	-24,70**
Fósforo	3 LVAd1 – (LVAd2 + LVdf + LVd)	-0,22*
	2 LVAd2 – (LVdf + LVd)	0,22
	LVdf – LVd	-3,48*

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

No caso específico do nitrogênio, os resultados levam a considerar a hipótese de rápida mineralização da matéria orgânica, favorecida pelo incremento da atividade biológica, em resposta à aplicação de elementos essenciais e à manutenção da água do solo em valores próximos da capacidade de campo (contraste 1, Quadro 11). Essa mineralização é confirmada pelos valores da soma dos teores de N-NH₄⁺ e N-NO₃⁻, apreciavelmente superiores a 7,46, teor resultante da adição de 3,73 mg/dm³ de N-NH₄⁺ e de 3,73 mg/dm³ de N-NO₃⁻ às colunas de solo.

No quadro 12 são mostradas as relações entre o N-NO₃⁻ e o N-NH₄⁺, calculadas considerando os teores apresentados na caracterização (Quadro 1), na testemunha (Quadro 9) e na média dos sete tratamentos com aplicação dos nutrientes (Quadro 9). Estas últimas, com valores extremos de 2,49 e 3,32, indicam a tendência do N-NO₃⁻, de aproximar-se de valores entre 71 e 77% do N total. Os solos LVAd1 e LVAd2, inicialmente distantes desses valores, aproximaram-se com o acréscimo dos elementos essenciais, e os dois restantes, LVdf e LVd, mantiveram aproximadamente essa relação.

Quadro 11. Contrastes médios comparando o teor médio de amônio, nitrato, potássio e fósforo, considerando a fração da lâmina de irrigação (F) em que o nutriente foi aplicado em dose integral (D), ou fracionada em duas (D_{1/2}) ou em três vezes (D_{1/3})

Tratamento	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇
Água	7	0	0	0	0	0	0
F ₂ D ₁	-1	4	0	2	0	0	0
F ₃ D ₁	-1	4	0	-1	1	0	0
F ₄ D ₁	-1	4	0	-1	-1	0	0
F ₂ D _{1/2} F ₃ D _{1/2}	-1	-3	1	0	0	2	0
F ₃ D _{1/2} F ₄ D _{1/2}	-1	-3	1	0	0	-1	1
F ₂ D _{1/2} F ₄ D _{1/2}	-1	-3	1	0	0	-1	-1
F ₂ D _{1/3} F ₃ D _{1/3} F ₄ D _{1/3}	-1	-3	-3	0	0	0	0
	N-NH ₄ ⁺ (mg/dm ³)						
LVAd1	-4,13**	-0,15	0,34	0,26	-0,13	0,68	-0,18
LVAd2	-3,83**	-0,05	-0,85*	0,30	0,12	0,15	-0,14
LVdf	-4,43**	0,04	-0,26	-0,07	0,23	0,37	-0,05
LVd	-4,63**	-0,10	0,61*	0,00	-0,32	0,23	0,45
	N-NO ₃ ⁻ (mg/dm ³)						
LVAd1	-16,64**	0,79**	-0,42	-0,46	0,80	-0,19	0,79
LVAd2	-16,56**	0,07	0,48	-0,22	-0,11	-0,79	1,67
LVdf	-15,60**	-0,47*	-0,07	0,16	0,11	0,91	-1,28
LVd	-16,10**	-0,17	-0,0,8	-0,07	0,36	-0,31	-0,16
	Potássio (mg/dm ³)						
LVAd1	-20,43**	0,20	-1,36**	-0,07	-0,11	0,31	0,47
LVAd2	-20,01**	-0,35*	-0,12	0,28	0,57	-0,23	-0,84
LVdf	-21,12**	1,31**	-0,03	5,17**	0,64	-0,57	-0,01
LVd	-20,13**	-0,43*	-0,03	-0,09	-0,34	0,37	-0,13
	Fósforo (mg/dm ³)						
LVAd1	-4,46**	-0,07	0,02	-0,05	-0,08	0,05	-0,08
LVAd2	-3,64**	0,07	-0,05	-0,03	0,15	0,04	0,11
LVdf	-2,04**	0,03	0,06	-0,01	-0,16	-0,03	-0,03
LVd	-2,92**	-0,09	0,08	-0,06	-0,01	-0,09	-0,01

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

Quadro 12. Relação $N-NO_3^-/N-NH_4^+$ na caracterização inicial do solo, nos tratamentos testemunhas e nos que receberam aplicação de nutrientes

Solo	Caracterização ^{1/}	Testemunha ^{2/}	Aplicação de nutrientes ^{3/}
LVAd1	1,22	1,12	2,52
LVAd2	1,26	1,18	2,49
LVdf	3,25	3,17	3,32
LVd	2,34	2,76	2,80

^{1/} Fonte: Quadro 1. ^{2/} Fonte: Quadro 9. ^{3/} Fonte: Quadro 9 (média de sete valores).

Esses resultados indicam que houve nitrificação, sendo a magnitude maior para os solos com menor teor inicial de nutrientes: LVAd1 e LVAd2 (Quadro 1). O incremento na disponibilidade de nutrientes e a umidade próxima à capacidade de campo favoreceram a atividade de bactérias nitrificadoras, compostas por estirpes adaptadas a solos ácidos (Alexander, 1977). Mesmo no curto espaço de tempo de duração do ensaio a nitrificação é possível, sob condições controladas, como mostrado por Araújo et al. (2004). Trabalhando em casa de vegetação, com movimentação de amônio e nitrato em colunas, após aplicação de uréia como fertilizante em Latossolo Vermelho distroférico, esses autores observaram nitrificação após uma semana do início do ensaio.

O fósforo mostrou teores consistentemente inferiores aos 5,6 mg/dm³ incorporados (contraste 1, Quadro 11), com valores dos contrastes na ordem LVAd1 > LVAd2 > LVd > LVdf, em concordância com o incremento do poder-tampão, do LVAd1 ao LVdf, em resposta aos teores crescentes de óxidos de ferro e alumínio.

Os contrastes restantes do quadro 11 (contrastos 2 a 7) são, em geral, não-significativos, devido às características do ensaio, em que se incorporaram quantidades iguais de nutrientes, sem registro de perdas por lixiviação.

4.5. Variação na distribuição de nutrientes ao longo das colunas

Visando quantificar a variação na distribuição de amônio, nitrato, potássio e fósforo ao longo das colunas, selecionaram-se os tratamentos em que os nutrientes foram aplicados em pulso único: F₂D, F₃D, F₄D, F₂D_{1/2}F₃D_{1/2}, F₃D_{1/2}F₄D_{1/2} e F₂D_{1/3}F₃D_{1/3}F₄D_{1/3}. Utilizando os valores médios dos teores desses nutrientes, representados nas figuras 3 a 6, 8 a 11, 13 a 16 e 18 a 21, calcularam-se os coeficientes de variação para cada nutriente, solo e tratamento (Quadro 13).

Os valores numéricos apresentados no quadro 13 permitem evidenciar que, em geral, o coeficiente de variação cresceu com a diminuição da mobilidade do nutriente na coluna. Assim, o fósforo, que praticamente não sofreu deslocamento e concentrou a dose aplicada no anel superficial, apresentou os maiores coeficientes de variação, praticamente sem alteração em resposta aos tratamentos impostos.

No caso dos nutrientes mais móveis, o maior deslocamento em profundidade com a concentração do pulso e a aplicação em frações iniciais de lâmina levaram a mostrar, em geral, menores valores do coeficiente de variação.

No intuito de comparar estatisticamente a variação na distribuição de nutrientes ao longo das colunas, formulou-se, para os mesmos tratamentos, um índice que relaciona o maior teor com o teor médio do nutriente para cada unidade experimental. Quanto maior o valor do índice, maior a desuniformidade na distribuição dos nutrientes na coluna. Os resultados são apresentados no quadro 14, e as comparações entre solos e tratamentos, dentro de cada solo, nos quadros 15 e 16, respectivamente.

Observando as relações calculadas para o amônio, verifica-se que o índice apresenta valores na seqüência: LVAd1 < LVAd2 < LVdf < LVd (Quadro 14). Considerando que a disponibilidade inicial desse elemento foi próxima (Quadro 1), o valor crescente do índice para o amônio, do LVAd1 ao LVd, pode ser atribuído à textura desses solos, com teores de argila aumentados nessa ordem. Quanto maior a proporção de argila, maior a interação dos cátions com o complexo de troca.

Quadro 13. Coeficiente de variação de amônio, nitrato, potássio e fósforo, na coluna, aplicado como pulso único, considerando o solo e a fração da lâmina de irrigação (F) em que o nutriente foi aplicado em dose integral (D), ou fracionada em duas ($D_{1/2}$) ou em três vezes ($D_{1/3}$)

Solo	Tratamento	N-NH ₄ ⁺	N-NO ₃ ⁻	%	
				Potássio	Fósforo
LVAd1	F ₂ D	12,86	44,82	51,86	184,10
	F ₃ D	16,74	37,29	72,78	185,62
	F ₄ D	18,89	42,16	85,77	183,52
	F ₂ D _{1/2} F ₃ D _{1/2}	26,70	46,00	92,03	186,42
	F ₃ D _{1/2} F ₄ D _{1/2}	27,70	48,16	103,11	186,11
	F ₂ D _{1/3} F ₃ D _{1/3} F ₄ D _{1/3}	31,36	63,40	111,33	185,81
	Média		22,38	46,97	86,15
LVAd2	F ₂ D	18,92	43,05	37,36	238,00
	F ₃ D	18,78	52,05	44,25	238,58
	F ₄ D	25,58	46,49	53,25	240,00
	F ₂ D _{1/2} F ₃ D _{1/2}	29,96	47,54	56,95	237,96
	F ₃ D _{1/2} F ₄ D _{1/2}	30,92	50,16	64,03	237,97
	F ₂ D _{1/3} F ₃ D _{1/3} F ₄ D _{1/3}	36,03	53,05	70,78	238,11
	Média		26,70	48,72	54,44
LVdf	F ₂ D	22,51	31,32	42,42	162,40
	F ₃ D	23,00	30,90	47,89	164,35
	F ₄ D	26,12	40,42	55,01	165,52
	F ₂ D _{1/2} F ₃ D _{1/2}	28,61	36,49	60,29	162,60
	F ₃ D _{1/2} F ₄ D _{1/2}	32,21	42,44	65,14	162,03
	F ₂ D _{1/3} F ₃ D _{1/3} F ₄ D _{1/3}	35,29	45,23	66,04	164,91
	Média		27,96	37,80	56,13
LVd	F ₂ D	28,10	43,26	27,47	117,50
	F ₃ D	26,15	38,89	30,13	118,20
	F ₄ D	28,55	35,01	33,35	118,38
	F ₂ D _{1/2} F ₃ D _{1/2}	34,93	37,58	37,24	117,98
	F ₃ D _{1/2} F ₄ D _{1/2}	35,74	48,82	42,18	120,12
	F ₂ D _{1/3} F ₃ D _{1/3} F ₄ D _{1/3}	38,90	53,14	45,44	121,40
	Média		32,06	42,78	35,97

Quadro 14. Relação entre o maior teor e o teor médio de amônio, nitrato, potássio e fósforo, na coluna, aplicado como pulso único, considerando o solo e a fração da lâmina de irrigação (F) em que o nutriente foi aplicado em dose integral (D), ou fracionada em duas ($D_{1/2}$) ou em três vezes ($D_{1/3}$)

Solo	Tratamento	N-NH ₄ ⁺	N-NO ₃ ⁻	%	
				Potássio	Fósforo
LVAd1	F ₂ D	1,23	1,61	1,87	7,35
	F ₃ D	1,27	1,56	2,66	7,36
	F ₄ D	1,33	1,63	2,98	7,40
	F ₂ D _{1/2} F ₃ D _{1/2}	1,35	1,78	3,15	7,35
	F ₃ D _{1/2} F ₄ D _{1/2}	1,40	1,91	3,45	7,35
	F ₂ D _{1/3} F ₃ D _{1/3} F ₄ D _{1/3}	1,50	2,07	3,65	7,35
	Média		1,35	1,76	2,96
LVAd2	F ₂ D	1,27	1,73	1,78	5,91
	F ₃ D	1,23	1,90	2,06	5,95
	F ₄ D	1,38	1,89	2,28	5,89
	F ₂ D _{1/2} F ₃ D _{1/2}	1,44	1,93	2,38	5,97
	F ₃ D _{1/2} F ₄ D _{1/2}	1,47	2,00	2,63	5,96
	F ₂ D _{1/3} F ₃ D _{1/3} F ₄ D _{1/3}	1,53	2,02	2,86	6,03
	Média		1,39	1,91	2,33
LVdf	F ₂ D	1,32	1,55	1,84	5,33
	F ₃ D	1,37	1,50	2,15	5,44
	F ₄ D	1,39	1,61	2,39	5,41
	F ₂ D _{1/2} F ₃ D _{1/2}	1,41	1,51	2,55	5,34
	F ₃ D _{1/2} F ₄ D _{1/2}	1,45	1,73	2,65	5,32
	F ₂ D _{1/3} F ₃ D _{1/3} F ₄ D _{1/3}	1,60	1,80	2,68	5,40
	Média		1,42	1,62	2,38
LVd	F ₂ D	1,46	1,77	1,65	4,13
	F ₃ D	1,40	1,76	1,73	4,15
	F ₄ D	1,42	1,62	1,81	4,16
	F ₂ D _{1/2} F ₃ D _{1/2}	1,47	1,74	1,91	4,15
	F ₃ D _{1/2} F ₄ D _{1/2}	1,52	2,04	2,05	4,20
	F ₂ D _{1/3} F ₃ D _{1/3} F ₄ D _{1/3}	1,64	2,11	2,15	4,24
	Média		1,49	1,84	1,88

Considerando o nitrato e a interação desse ânion com os sólidos do solo, esperar-se-iam índices na seqüência $LVAd1 < LVAd2 < LVd < LVdf$, sendo este último o material mais oxidico; contudo, a ordem foi $LVdf < LVAd1 < LVd < LVAd2$ (Quadro 14). Essa aparente contradição pode ser atribuída à diferente disponibilidade inicial do nitrato (Quadro 1). A relação, para os quatro solos, na caracterização, foi de 3,59:2,40:1,31:1, na seqüência $LVdf:LVd:LVAd2:LVAd1$. Assim, o maior teor inicial de nitrato no $LVdf$ e LVd contribuiu para incrementar o denominador do índice e, conseqüentemente, diminuir seu valor numérico. Essas considerações justificam os sinais dos contrastes apresentados no quadro 15.

Os valores dos índices para o potássio (Quadro 14) apresentam seqüência relacionada mais à disponibilidade inicial que à capacidade de troca catiônica.

Todas as comparações foram significativas (Quadro 15), com o $LVAd1$ apresentando a maior relação.

Comparando-se à disponibilidade inicial, as relações dos quatro solos foram de 5,98:3,60:3,51:1, para LVd , $LVAd2$, $LVdf$ e $LVAd1$, respectivamente. Assim, essa disponibilidade inicial condicionou os valores dos índices: $LVd < LVAd2 < LVdf < LVAd1$ (Quadro 14).

Se comparado o $LVAd2$ com o $LVdf$, com teor inicial semelhante, a diferença no índice responde à presença de vermiculita com hidróxido-entrecamadas no primeiro (Amaral, 2000). Este mineral incrementa a capacidade de reposição de potássio, diminuindo, assim, a desuniformidade na distribuição do nutriente nas colunas de solos.

A presença de illita no LVd contribui também para o menor valor do índice apresentado por este solo. Araújo et al. (2003), trabalhando com agregados separados de amostras do mesmo LVd , determinaram quantidades eluídas de cálcio e potássio, utilizando colunas de lixiviação. A disponibilidade média inicial de cálcio, nos agregados, foi quatro vezes maior que a de potássio. Já a quantidade de potássio eluída no final do ensaio foi, praticamente, quatro vezes a do cálcio. Na determinação dos

teores finais e iniciais desses nutrientes, a relação média para o potássio foi de 0,92 e, para o cálcio, de 0,75. Esses dados exemplificam a capacidade de reposição de potássio neste solo, apesar da proporção reduzida de ilita na fração argila. Outros autores têm mostrado a capacidade de reposição de potássio pela ilita presente no solo (Corrêa et al., 2003).

O fósforo, pela sua localização no anel superficial, sem movimento nas colunas em razão da baixa quantidade de água acrescentada, apresenta índices que, somente, são reflexo da capacidade de fixação do nutriente pelos solos em estudo (Quadros 14 e 15). O fato de o LVd apresentar menor índice que o LVdf deve ser justificado pela maior disponibilidade inicial do primeiro.

Quadro 15. Contrastes médios comparando a relação entre o maior teor e o teor médio de amônio, nitrato, potássio e fósforo, aplicado como pulso único, considerando os solos que apresentaram homogeneidade de variâncias

Nutriente	Contraste	Valor
N-NH ₄ ⁺	3 LVAd1 – (LVAd2 + LVdf + LVd)	-0,08**
	2 LVAd2 – (LVdf + LVd)	-0,07**
	LVdf – LVd	-0,07**
N-NO ₃ ⁻	3 LVAd1 – (LVAd2 + LVdf + LVd)	-0,03*
	2 LVAd2 – (LVdf + LVd)	0,18**
	LVdf – LVd	-0,22**
Potássio	3 LVAd1 – (LVAd2 + LVdf + LVd)	0,76**
	2 LVAd2 – (LVdf + LVd)	0,20**
	LVdf – LVd	0,50**
Fósforo	LVAd1-LVd	3,19**
	LVAd2- LVdf	0,57**

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

Assim, pode-se indicar que o índice proposto é de importância para estimar a desuniformidade de distribuição de solutos, podendo ser aplicado a íons móveis (amônio e nitrato) ou medianamente móveis (potássio). Nesses casos, deve-se considerar a interação do íon com os constituintes da fase sólida e seu teor inicial no solo. Esse índice não apresenta significado prático no estudo de íons muito pouco móveis no solo, como, por exemplo, o fósforo. A extensão na interpretação do índice para esses últimos exigiria a incorporação de volumes expressivos de água ou solução.

No quadro 16 são mostrados os contrastes que comparam o índice nos tratamentos em que os nutrientes foram aplicados como pulso único (F_2D , F_3D , F_4D , $F_2D_{1/2}F_3D_{1/2}$, $F_3D_{1/2}F_4D_{1/2}$ e $F_2D_{1/3}F_3D_{1/3}F_4D_{1/3}$). Como previamente indicado (item 4.2), nessas condições, a localização em maior profundidade verifica-se com a maior concentração no pulso e com a maior lâmina de água posterior à sua aplicação.

Complementando essa informação, extraída da observação das figuras 3 a 6, 8 a 11 e 13 a 16, verifica-se que os tratamentos que permitem que os nutrientes se desloquem em maior profundidade deveriam apresentar menor valor do índice e, em consequência, maior uniformidade na sua distribuição. Essa observação é confirmada para o amônio e o nitrato, quando se compara a concentração no pulso (Quadro 16). No que diz respeito à lâmina de água posterior à aplicação do pulso, os resultados, quando estatisticamente significativos, ratificam as observações feitas previamente. A comprovação plena verifica-se com o potássio, nutriente de mobilidade intermediária neste ensaio, considerando que os valores analisados corroboram essa suposição, para todos os tratamentos aplicados. A utilização deste índice para fósforo não é apropriada, nas condições experimentais, pela sua reduzida mobilidade, como previamente analisado.

Quadro 16. Contrastes médios comparando a relação entre o maior teor e o teor médio de amônio, nitrato, potássio e fósforo, aplicado como pulso único, considerando a fração da lâmina de irrigação (F) em que o nutriente foi aplicado em dose integral (D), ou fracionada em duas ($D_{1/2}$) ou em três vezes ($D_{1/3}$)

Tratamento	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅
F ₂ D	1	0	2	0	0
F ₃ D	1	0	-1	1	0
F ₄ D	1	0	-1	-1	0
F ₂ D _{1/2} F ₃ D _{1/2}	-1	1	0	0	1
F ₃ D _{1/2} F ₄ D _{1/2}	-1	1	0	0	-1
F ₂ D _{1/3} F ₃ D _{1/3} F ₄ D _{1/3}	-1	-2	0	0	0
		N-NH ₄ ⁺			
LVAd1	-0,14**	-0,13**	-0,07*	-0,06	-0,05
LVAd2	-0,19**	-0,08*	-0,04	-0,15**	-0,03
LVdf	-0,13**	-0,17**	-0,06	-0,02	-0,04
LVd	-0,12**	-0,15**	0,05	-0,02	-0,05
		N-NO ₃ ⁻			
LVAd1	-0,32**	-0,23**	0,02	-0,07	-0,13**
LVAd2	-0,14**	-0,06	-0,17**	0,01	-0,07
LVdf	-0,13**	-0,18**	-0,01	-0,11**	-0,22**
LVd	-0,25**	-0,22**	0,08*	0,14**	-0,30**
		Potássio			
LVAd1	-0,91**	-0,35**	-0,95**	-0,32**	-0,30**
LVAd2	-0,58**	-0,36**	-0,39**	-0,22**	-0,25**
LVdf	-0,50**	-0,08**	-0,43**	-0,24**	-0,10**
LVd	-0,31**	-0,17**	-0,12**	-0,08**	-0,14**
		Fósforo			
LVAd1	0,02	0,00	-0,03	-0,04	0,00
LVAd2	-0,07	-0,07	-0,01	0,06	0,01
LVdf	0,04	-0,07	-0,10	0,03	0,02
LVd	-0,05**	-0,07**	-0,03	-0,01	-0,05

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

5. RESUMO E CONCLUSÕES

Com o objetivo de estabelecer a fração da lâmina de irrigação em que o pulso de nitrogênio (amônio e nitrato), potássio e fósforo deve ser aplicado e o fracionamento das doses desses nutrientes, de modo a localizá-los na profundidade adequada e determinar a distribuição de amônio, nitrato, potássio e fósforo, aplicados por fertirrigação, 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 $4 \times (1 + 7)$, sendo quatro Latossolos de Minas Gerais (dois Latossolos Vermelho-Amarelos distróficos, um Latossolo Vermelho distroférico e um Latossolo Vermelho distrófico), uma testemunha (aplicação de água deionizada) e sete formas de aplicação de 1 mmol_c de N-NH_4^+ , 1 mmol_c de N-NO_3^- , 2 mmol_c de K e 2 mmol_c de P. A lâmina de água foi dividida em cinco frações iguais (F_i) e a dose dos nutrientes aplicada integralmente (D), ou fracionada em duas ($D_{1/2}$) ou em três vezes ($D_{1/3}$). Assim, a aplicação dos nutrientes foi feita segundo o esquema: F_2D , F_3D , F_4D , $F_2D_{1/2}F_3D_{1/2}$, $F_3D_{1/2}F_4D_{1/2}$, $F_2D_{1/2}F_4D_{1/2}$ ou $F_2D_{1/3}F_3D_{1/3}F_4D_{1/3}$. A lâmina de irrigação foi determinada, por testes preliminares, como aquela que permitiu à frente de molhamento atingir o nono anel da coluna de solo (63 cm). Dois dias após a

aplicação dos tratamentos, as colunas foram desmontadas, retirando-se amostras dos 5 cm centrais de cada anel. Subamostras foram utilizadas na determinação de N-NH_4^+ , N-NO_3^- , potássio e fósforo. Com os dados experimentais, estabeleceu-se o perfil de distribuição, determinando-se a profundidade de maior teor e o teor médio dos nutrientes. A mobilidade, determinada nos quatro nutrientes em estudo, para os solos LVAd1, LVAd2 e LVd apresentou esta ordem: nitrato > amônio > potássio > fósforo. Já para o solo LVdf a ordem foi: amônio > nitrato > potássio > fósforo. A quantidade de água acrescentada a cada coluna, inferior a meio volume de poros, não foi suficiente para deslocar o fósforo além do primeiro anel. Em se tratando dos outros íons, a localização em maior profundidade, quando aplicados como pulso único, verificou-se com a maior concentração no pulso ($D > D_{1/2} > D_{1/3}$) e com a maior lâmina de água posterior à sua aplicação ($F_2D > F_3D > F_4D$ e $F_2D_{1/2}F_3D_{1/2} > F_3D_{1/2}F_4D_{1/2}$). O tratamento $F_2D_{1/2}F_4D_{1/2}$ mostrou resposta à aplicação de dois pulsos, evidenciando dois pontos de maior teor de amônio, nitrato e potássio em todos os solos estudados. Os tratamentos que permitiram a localização desses nutrientes na maior profundidade mostraram maior uniformidade na sua distribuição. Conclui-se que a aplicação da dose integral de nutrientes na segunda fração da lâmina de irrigação ou o fracionamento da dose em duas vezes, na segunda e na terceira fração da lâmina, são mais indicados na fertirrigação de culturas perenes, com maior densidade de raízes em profundidade. Por outro lado, para culturas de ciclo curto é mais indicada a aplicação da dose integral de nutrientes nas últimas frações da lâmina de irrigação (terceira e quarta), ou diluição da dose em duas vezes, na terceira e na quarta fração. Em acréscimo, a mobilidade diferencial de nitrogênio e potássio exigiria dosagem cuidadosa desses nutrientes na solução, para evitar perdas de nitrogênio por lixiviação, ou localização superficial do potássio. A baixíssima mobilidade do fósforo mostra que a fertirrigação não seria uma técnica apropriada para sua incorporação no perfil do solo, visando à fertilização das culturas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 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)
- ALEXANDER, M. Introduction to soil microbiology. 2.ed. Jonh Wiley & Sons, New york, 1977. 467p.
- AMARAL, G. Características químicas e físicas de diferentes classes de solos da zona metalúrgica mineira e produtividade de eucalipto. Viçosa, UFV, 2000. 98p. (Tese 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.; 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.
- ARAÚJO, A.R.; CARVALHO, J.L.; GUILHERME, L.R.G.; CURI, N. & MARQUES, J.J. Movimentação de nitrato e amônio em colunas de solo. Ciênc. Agrotec., 28:537-541, 2004.

- AYARS, J.E.; PHENE, C.J.; HUTMACHER, R.B.; DAVIS, K.R.; SCHONEMAN, R.A.; VAIL, S.S. & MEAD, R.M. Subsurface drip irrigation of row crops: a review of 15 years of research at the water management research laboratory. *Agric Water Manag.*, 42:1-27, 1999.
- BAHIA FILHO, A.F.C.; BRAGA, J.M. & RESENDE, M. Relações entre adsorção de fósforo e componentes mineralógicos da fração argila de Latossolos do Planalto Central. *R. Bras. Ci. Solo*, 7:221-226, 1983.
- BIGHAM, J.M.; GOLDEN, D.C.; BUOLI, S.W. & WEED, S.B. Irons oxide mineralogy of well-drained Ultisols and Oxisols. II: influence on color, surface area and adsorption phosphate retention. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 42:825-830, 1978.
- BINKLEY, D.; BURNHAM, H. & ALLEN, H.L. Water quality impacts of forest fertilization with nitrogen and phosphorus. *Forest Ecol. Manag.*, 121:191-213, 1999.
- BORGES, A.L.; COELHO, E.F. & CALDAS, R.C. Fertirrigação com N e K para a bananeira cv. Grand Naine no Norte de Minas. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 22., Uberlândia, 2002. Anais. Uberlândia, ABID, 2002. CD-ROM
- BRAGA, J.M. & DEFELIPO, B.V. Determinação espectrofotométrica de fósforo em extratos de solo e material vegetal. *R. Ceres*, 21:73:85, 1974.
- CADAHIA LOPEZ, C. Fertilización. In: NUEZ, F., coord. El cultivo de tomate. Madrid, Ediciones Mundi-Prensa, 1995. p.168-187.
- CADAHIA LOPEZ, C.; EYMAR ALONSO, E. & LUCENA MAROTTA, J.J. Materiales fertilizantes utilizados en fertirrigación. In: CADAHIA LOPEZ, C., coord. Fertirrigación: cultivos hortícolas y ornamentales. Madrid, Ediciones Mundi-Prensa, 1998. p.81-122.
- CARRIJO, O.A.; SILVA, W.L.C.; MARQUELLI, W.A. & SILVA, H.R. Tendências e desafios da fertirrigação no Brasil. In: FOLEGATTI, M.V., coord. Fertirrigação: Citrus. Flores. Hortaliças. Guaíba, Livraria e Editora Agropecuária., 1999. p.155-169.
- 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.

- CORRÊA, M.M.; KER, J.C.; MENDONÇA, E.S.; RUIZ, H.A. & BASTOS, R.S. Atributos físicos, químicos e mineralógicos de solos da região das várzeas de Souza (PB). R. Bras. Ci. Solo, 27:311-324, 2003.
- CURI, N. & FRANZMEIER, D.P. Topossequence of Oxisols from Central Plateau of Brazil. Soil Sci. Soc. Am. J., 48:341-346, 1984.
- DEFELIPO, B.V. & RIBEIRO, A.C. Análise química do solo. 2.ed. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1997. 26p. (Boletim de Extensão, 29)
- DONAGEMMA, G.K. Pré tratamento na análise textural visando a minimização do pseudo-silte em Latossolos de Minas Gerais. Viçosa, UFV, 2000. 89p. (Tese de Mestrado)
- DONAGEMMA, G.K.; RUIZ, H.A.; FONTES, M.P.F.; KER, J.C. & SCHAEFER, C.E.G.R. Dispersão de Latossolos em resposta à utilização de pré-tratamentos na análise textural. R. Bras. Ci. Solo, 27:765-772, 2003.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos, 1997. 212p.
- FARIA, C.M.B. & PEREIRA, J.R. Movimento de fósforo no solo e o seu modo de aplicação no tomate rasteiro. Pesq. Agropec. Bras., 28:1363-1370, 1993.
- FERREIRA, P.A. Qualidade de água e manejo água - planta em solos salinos In: ABEAS - Associação Brasileira de Educação Agrícola Superior. Curso de Engenharia e Manejo de irrigação. Brasília, ABEAS, 2001. 111p. (Módulo, 10)
- FESCH, C.; LEHMAN, P.; HADERLEIN, S.B.; HINZ, C.; SCHARZENBACH, R.P. & FLUHLER, H. Effect of water content on solute transport in a porous medium containing reactive microaggregates. J. Contam. Hydrol., 33:211-230, 1998.
- FONTES, M.P.F. & WEED, S.B. Phosphate adsorption by clays from Brazilian Oxisols: relationships with specific surface area and mineralogy. Geoderma, 72:37-51, 1996.
- 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 in maize production using irrigation water high in nitrate. *Fertilizer 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.*
- 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.*
- GRANT, R.F. & HEANEY, D.J. Inorganic transformation and transport in soils: mathematical modeling in ecosystem. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 61:752-764, 1997.
- GRIFFIOEN, J. Potassium adsorption ratios as an indicator for the fate of agricultural potassium in ground water. *J. Hidrol.*, 254:244-254, 2001.
- GUALBERTO, V.; RESENDE, M. & CURI, N. Química e mineralogia de Latossolos com altos teores de ferro, da Amazônia e do Planalto Central. *R. Bras. Ci. Solo*, 11:245-252, 1987.
- HERNANDEZ, F.B.T. Potencialidades da fertirrigação. In: VITTI, G.C. & BOARRETO, A.E., eds. *Fertilizantes fluidos. Piracicaba, 1993. Anais. Piracicaba, ESALQ/USP, 1993. p.199-210.*
- HILLEL, D. *Soil and water. London, Academic Press, 1971. 288p.*
- JACOBSEN, O.H.; MOLDRUP, P.; LARSEN, C.; KONNERUP, L. & PETERSEN, L.W. Particle transport in macroporous of undisturbed soil columns. *J. Hidrol.*, 196:185-203, 1997.
- JENSEN, M.B.; JORGENSEN, P.R.; HANSEN, H.C.B. & NIELSEN, N.E. Biopore mediated subsurface transport of dissolved orthophosphate. *J. Environ. Qual.*, 27:1130-1137, 1998.
- KEMPERS, A.J. & ZEWERS, W.L. Ammonium determination in soil extracts by salicylate method. *Comm. Soil Sci. Plant. Anal.*, 17:715-723, 1986.
- KER, J.C. Latossolos do Brasil: Uma revisão. *Geonomos*, 5:17-40, 1997.

- KIRKHAM, D. & POWERS, W.L. Advanced soil physics. New York, John Wiley-Interscience, 1972. 534p.
- KHONKE, H. Soil physics. 2.ed. New York, McGraw-Hill, 1968. 224p.
- KIRKBY, C.A.; SMYTHE, L.J.; COX, J.W. & CHITTLEBOROUGH, D.J. Phosphorus movement down topsequence from a landscape with texture contrast soils. Aust. J. Soil Res., 35:399-417, 1997.
- MOZAFFARI, M. & SIMS, J.T. Phosphorus availability and sorption in an Atlantic costal plain watershed dominated by animal-based agriculture. Soil Sci., 157:97-107, 1994.
- NOVAIS, R.F. & SMYTH, T.J. Fósforo em solo e planta em condições tropicais. Viçosa, UFV, 1999. 399p.
- 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 fosfato, potássio e amônio em solos de Minas Gerais. Eng. Agric. Amb., 8:196-203, 2004.
- PADILLA, I.Y.; JIM YEH, T.C. & CONKLIN, M.H. The effect of water content on solute transport in unsaturated porous media. Wat. Resour. Res., 35:3303-3313, 1999.
- PINHEIRO, R.B. Mobilidade de nitrato em resposta a propriedades eletroquímicas de solos com carga variável. Viçosa, UFV, 2002, 76p. (Tese de Mestrado)
- PINTO, J.M. Fertirrigação em fruticultura irrigada. Item, 49:14-23, 2001.
- 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. Environm. Qual., 29:484-493, 2000.
- QAFOKU, N.P. & SUMNER, M.E. Retention and transport of calcium nitrate in variable charge subsoils. Soil Sci., 166:299-307, 2001.
- RESENDE, M.; CURI, N.; REZENDE, S.B. & CORRÊA, G.F. Pedologia para distinção de ambientes. 2.ed. Viçosa: Neput, 1997. 367p.

- RUIZ, H.A. Métodos de análises físicas do solo. Viçosa, UFV, 2004. 22p. (Notas de aula)
- RUIZ, H.A. Incremento da exatidão da análise granulométrica do solo por meio da coleta da suspensão (silte + argila). R. Bras. Ci. Solo, 29:297-300, 2005.
- SANTOS NETO, J.A. Taxas de recuperação de zinco, cobre e boro por diferentes extratores em solos da Bahia e de Minas Gerais. Viçosa, UFV, 2003, 50p. (Tese de Mestrado)
- SCHUMMAN, L.M. Phosphate and nitrate movement through simulated golf greens. Water Air Soil Pollut., 129:305-318, 2001.
- SHIPTALO, M.J.; DICK, W.A. & EDWARDS, W.M. Conservation tillage and macropore factors that affect water movement and the fate of chemicals. Soil Till. Res., 53:167-183, 2000.
- SILVA, A.S. Movimentação de amônio, nitrato, potássio e fósforo aplicados por fertirrigação em Latossolos. Viçosa, UFV, 2004. 58p. (Tese de Mestrado)
- SILVA, E.M.; PINTO, A.C.Q. & AZEVEDO, J.A. Manejo de irrigação e fertirrigação na cultura da mangueira. Planaltina, Embrapa-CPAC, 1996. 77p. (Boletim Técnico, 61)
- SILVA, W.L.C.; CARRIJO, O.A. & MARQUELLI, W.A. Fertirrigação na EMBRAPA hortaliças. In: FOLEGATTI, M.V., Coord. Fertirrigação: Citrus. Flores. Hortaliças. Guaíba, Agropecuária, 1999. p.433-440.
- VITTI, G.C.; BOARETTO, A.E. & PENTEADO, S.R. Fontes de fertilizantes e fertirrigação, In: VITTI, G.C. & BOARETTO, A.E., eds. Fertilizantes fluidos. Piracicaba, 1993. Anais... Piracicaba, ESALQ/USP, 1993. p.233-256.
- 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.
- YEOMANS, J.C. & BREMNER, J.M. A rapid and precise method for routine determination of carbon in soil. Comm. Soil Sci. Plant Anal., 19:1467-1476, 1988.

APÊNDICE

APÊNDICE

Quadro 1A. Análise de variância da profundidade do maior teor de nitrato, na coluna, considerando os tratamentos aplicados

Fonte de Variação	GL	Quadrado Médio
Blocos	2	0,0000
Solos	3	570,305**
Tratamentos d/LVAd1	7	303,042**
Tratamentos d/LVAd2	7	345,042**
Tratamentos d/LVdf	7	176,167**
Tratamentos d/LVd	7	260,167**
Resíduo	62	2,1075
CV (%)		5,72

** : Significativo a 1 % pelo teste F.

Quadro 2A. Análise de variância da profundidade do maior teor de potássio, na coluna, considerando os tratamentos aplicados, para os solos LVAd1, LVdf e LVd

Fonte de Variação	GL	Quadrado Médio
Blocos	2	4,764
Solos	2	4,764
Tratamentos d/LVAd1	7	522,667**
Tratamentos d/LVdf	7	737,042**
Tratamentos d/LVd	7	590,042**
Resíduo	46	4,0537
CV (%)		23,53

** : Significativo a 1 % pelo teste F.

Quadro 3A. Análise de variância da profundidade do maior teor de fósforo, na coluna, considerando os tratamentos aplicados, para os solos LVAd1, LVAd2 e LVd

LVAd1 e LVAd2			LVd		
Fonte de Variação	GL	QM	Fonte de Variação	GL	QM
Blocos	2	9,188	Blocos	2	2,042
Solos	1	229,688**			
Tratamentos d/LVAd1	7	18,375	Tratamentos d/LVd	7	590,042**
Tratamentos d/LVAd2	7	661,500**			
Resíduo	30	18,9875	Resíduo	14	2,0415
CV (%)		66,40	CV (%)		16,89

** : Significativo a 1 % pelo teste F.

Quadro 4A. Análise de variância do maior teor e do teor médio de amônio, nitrato, potássio e fósforo, na coluna, considerando os tratamentos aplicados

Fonte de Variação	GL	Quadrado Médio			
		N-NH ₄ ⁺	N-NO ₃ ⁻	Potássio	Fósforo
Maior Teor					
Blocos	2	0,6240	1,0591	0,8021	0,0845
Solos	3	43,4744**	1190,430**	20496,56**	1485,303**
Tratamentos d/LVAd1	7	17,0572**	400,021**	3241,068**	605,444**
Tratamentos d/LVAd2	7	23,6439**	488,470**	4731,536**	403,041**
Tratamentos d/LVdf	7	26,1640**	476,354**	4677,743**	126,000**
Tratamentos d/LVd	7	32,4650**	626,816**	3896,231**	257,739**
Resíduo	62	0,4278	1,6173	1,2188	0,7550
CV (%)		5,31	3,06	0,91	3,09
Teor Médio					
Blocos	2	0,0339	0,0044	0,8677**	0,0014
Solos	3	11,4636**	727,8293**	12132,41**	49,2498**
Tratamentos d/LVAd1	7	6,5981**	104,6484**	157,1456**	7,4726**
Tratamentos d/LVAd2	7	5,7759**	103,7024**	150,5775**	5,0128**
Tratamentos d/LVdf	7	7,4379**	91,9687**	176,3196**	1,5744**
Tratamentos d/LVd	7	8,2310**	97,3242**	152,1643**	3,2120**
Resíduo	62	0,0625	0,1320	0,0521	0,0097
CV (%)		2,80	1,49	0,40	1,87

** : Significativo a 1 % pelo teste F.

Quadro 5A. Análise de variância da relação entre o maior teor e o teor médio de amônio, nitrato e potássio, na coluna, incorporados através de pulso único, considerando os tratamentos aplicados

Fonte de Variação	GL	Quadrado Médio		
		N-NH ₄ ⁺	N-NO ₃ ⁻	Potássio
Blocos	2	0,0017	0,0030	0,0011
Solos	3	0,0634**	0,2931**	3,5109**
Tratamentos d/LVAd1	5	0,0289**	0,1179**	1,2259**
Tratamentos d/LVAd2	5	0,0431**	0,0319**	0,4495**
Tratamentos d/LVdf	5	0,0264**	0,0441**	0,3231**
Tratamentos d/LVd	5	0,0214**	0,1111**	0,1089**
Resíduo	46	0,0035	0,0022	0,0006
CV (%)		4,22	2,64	1,00

** : Significativo a 1 % pelo teste F.

Quadro 6A. Análise de variância da relação entre o maior teor e o teor médio de fósforo, na coluna, incorporado através de pulso único, considerando os tratamentos aplicados

LVAd1 e LVd			LVAd2 e LVdf		
Fonte de Variação	GL	QM	Fonte de Variação	GL	QM
Blocos		0,0029	Blocos	2	0,003
Solos	1	91,3098**	Solos	1	3,0319**
Tratamentos d/LVAd1	5	0,0014	Tratamentos d/LVAd2	5	0,0071
Tratamentos d/LVd	5	0,047	Tratamentos d/LVdf	5	0,0073
Resíduo	22	0,0012	Resíduo	22	0,0082
CV (%)		0,60	CV (%)		1,60

** : Significativo a 1 % pelo teste F.