Influência das adubações nitrogenada e orgânica no tomateiro sobre os teores de N-NO_3^- e N-NH_4^+ no perfil do solo¹

Magna M. M. Ferreira², Gilvan B. Ferreira³, Paulo C. R. Fontes⁴ & José P. Dantas⁵

¹ Parte da Tese de Doutorado apresentada pelo primeiro autor à UFV, financiada pelo CNPq

² EAAC/UEPB. Rua Santo Antônio 636, Santo Antônio, CEP 58103-355, Campina Grande, PB. Fone: (83) 341-6342. E-mail: magna.m.m.ferreira@bol.com.br (Foto)

³ EMBRAPA Algodão. Rua Osvaldo Cruz 1143, CEP 58107-720, Campina Grande, PB. E-mail: gilvanbf@cnpa.embrapa.br

⁴ Depto. de Fitotecnia/UFV. E-mail: pacerefo@mail.ufrv.br

⁵ Depto. de Química/UEPB. Campina Grande, PB. E-mail: gpcnpq@terra.com.br

Protocolo 55 - 24/4/2002 - Aprovado em 16/4/2003

Resumo: Os teores de N-NO_3^- , N-NH_4^+ e N mineral ($\text{N-NO}_3^- + \text{N-NH}_4^+$), em solo cultivado com tomateiro em resposta a doses de nitrogênio e a adubação orgânica, foram avaliados em um experimento de campo conduzido na época de outono/primavera (mai/99 a out/99) e instalado na Horta do Fundão da Universidade Federal de Viçosa, em solo da classe Argissolo Vermelho-Amarelo Câmbico. As doses de N aplicadas foram 0, 110, 220, 440 e 880 kg ha⁻¹ e as de matéria orgânica, na forma de esterco bovino curtido, foram 0 e 8 t ha⁻¹, em base seca. O experimento seguiu o delineamento em blocos ao acaso, no arranjo fatorial 5x2, com quatro repetições. Foram feitas amostragens de solo nas profundidades de 0-20, 20-40 e 40-60 cm ao final do ciclo da planta. Em todas as profundidades e nas duas doses de matéria orgânica, os teores de N-NO_3^- e de N-NH_4^+ aumentaram com o incremento nas doses de N, sendo que os teores de N-NO_3^- foram mais influenciados por este aumento que os de N-NH_4^+ . As respostas apresentadas pelos teores de N mineral foram similares às aquelas apresentadas pelos teores de N-NO_3^- .

Palavras-chave: *Lycopersicon esculentum*, adubação nitrogenada, esterco bovino

Influence of the nitrogen and organic fertilization in tomato plants on the NO_3^- and NH_4^+ -N contents in the soil profile

Abstract: The contents of NO_3^- , NH_4^+ and mineral N ($\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$) in a soil cultivated with tomato crop, in response to nitrogen doses and organic fertilization were evaluated in a field experiment conducted during the autumn/spring season (from May to Oct. 1999) and installed at 'Horta do Fundão' of Federal University of Viçosa, in a Cambic Red-Yellow Argisol. The N doses applied were 0, 110, 220, 440 and 880 kg ha⁻¹ and the organic matter doses in the form of decomposed bovine manure were 0 and 8 t ha⁻¹ (dry weight basis). The experiment was conducted in a randomized block design arranged in a 5 x 2 factorial, with four replications. Soil samples were collected from the 0-20, 20-40 and 40-60 cm depths at the end of the plant cycle. In all depths and in the two doses of organic matter, the NO_3^- and NH_4^+ -N contents increased with the increament of N doses, and the NO_3^- -N contents were more influenced by this increase than NH_4^+ -N contents. The responses presented by mineral N contents were similar to those presented by NO_3^- -N contents.

Key words: *Lycopersicon esculentum*, nitrogen fertilization, bovine manure

INTRODUÇÃO

A contaminação dos mananciais com resíduos de N-NO_3^- e N-NH_4^+ tem causado sérias preocupações uma vez que, em excesso acima de 10 e 0,02 mg L⁻¹, respectivamente, essas formas de nitrogênio podem causar danos à saúde dos homens e dos animais. Embora tal contaminação seja proveniente de várias fontes, como resíduos municipais e de garimpagem, as práticas agrícolas, em especial a fertilização do solo com nitrogênio,

que tem aumentado abusivamente nos últimos cinquenta anos, têm sido consideradas as principais delas (Ferguson et al., 1991). A contaminação ocorre porque as altas taxas de fertilizantes nitrogenados quase sempre excedem os requerimentos culturais e por causa das limitadas práticas de manejo do solo e das culturas, acarretando eutrofização - lixiviação das formas de nitrogênio para o lençol freático e/ou escoamento superficial das mesmas em direção aos mananciais (run off) (Sainju et al., 1999).

Os teores de nitrogênio no solo também aumentam devido à baixa eficiência da adubação nitrogenada apresentada por algumas culturas. Tal eficiência pode ser definida como a quantidade de N proveniente do adubo e absorvida pela planta em relação à quantidade de N aplicada. Segundo Sainju et al. (1999) a recuperação do N pela planta raramente excede 70% daquele aplicado e, na maior parte das culturas, atinge em média 50%. Nas espécies olerícolas chega a ser até mesmo menor como, por exemplo, na batata (*Solanum tuberosum* L.), em que Errebhi et al. (1998) demonstraram que a recuperação do nitrogênio variou entre 25 a 40%, tendo sido lixiviado para as camadas profundas entre 71 e 257 kg ha⁻¹ de N. No tomateiro, Hills et al. (1983) e Ikeda (1991) demonstraram que as eficiências de adubação nitrogenada alcançaram apenas 28 e 15%, respectivamente. Ikeda (1991) encontrou uma lixiviação de N para as camadas profundas variando entre 14 e 60,6% do nutriente aplicado.

Além de todos esses fatores, a mineralização do nitrogênio contido na matéria orgânica do solo pode contribuir significativamente para a acumulação de N-NO₃⁻ no perfil do solo (Sainju et al., 1999). A matéria orgânica constitui o reservatório de nitrogênio do solo que, em determinadas condições, pode funcionar como fonte ou dreno deste nutriente (Boone, 1990). Durante a decomposição da matéria orgânica, relação C/N do solo maior que 30 leva à imobilização do nitrogênio, que é incorporado na microflora até que a relação decresça aquém de 17, quando o N imobilizado anteriormente é gradualmente liberado ao solo, na forma de N-NH₄⁺ que é, de acordo com as condições ambientais, convertido a N-NO₃⁻ (Silva, 1997).

O nitrogênio é essencial ao crescimento e à produção das plantas cultivadas sendo, na maioria dos casos, o elemento que mais causa acentuados problemas de deficiência nutricional, razão pela qual na agricultura comercial moderna, em especial na olericultura, em razão dos fertilizantes nitrogenados e da matéria orgânica apresentarem custo relativamente baixo, grandes quantidades desses insumos são adicionadas ao solo, constituindo-se fonte potencial de poluição ambiental. Para que este problema decresça, é necessário que os agricultores usem os adubos nitrogenados e orgânicos em quantidades que, ao mesmo tempo, aumentem a produtividade das culturas e diminuam ao mínimo possível os teores de N-NO₃⁻ e N-NH₄⁺ no solo (Ünlü et al., 1999). Para este fim, precisam ser direcionadas as pesquisas.

O nitrogênio é um nutriente arrastado pela água que caminha em direção à raiz em resposta à sua absorção pelas plantas à medida em que elas transpiram. Este processo é chamado fluxo em massa e este movimento do N no solo possibilita sua aplicação a maior distância do sistema radicular, assim como determina a necessidade de parcelamento para que o nutriente não percole com a água que desce para o lençol freático e fique fora da zona de absorção radicular. Esta perda é chamada lixiviação. Desta forma, as dosagens de N devem ser divididas em plantio e cobertura para evitar perda e danos químicos às plantinhas, e fornecer o nutriente na época de maior demanda.

No tomateiro, a elevação no nível de N fornecido às plantas aumenta o peso de matéria seca das raízes, do caule, das folhas e dos frutos, a altura da planta, o número de folhas, a área

foliar, o florescimento, a frutificação e a produtividade (Huett & Dettmann, 1988). Entretanto, as plantas precisam de maior quantidade de nitrogênio em certos períodos do seu crescimento vegetativo. No geral, isto ocorre a partir dos 20 a 30 dias após o plantio ou imediatamente antes do florescimento. Adubações nitrogenadas além desse período podem aumentar o ciclo da cultura e os custos de manejo, reduzir a eficiência nutricional, a qualidade da produção e, até mesmo, a produtividade.

Ante o exposto, objetivou-se neste trabalho avaliar os efeitos de doses de nitrogênio e da adubação orgânica sobre os teores de N-NO₃⁻ e N-NH₄⁺ do solo cultivado com tomateiro.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido durante a época do ano de outono/primavera (de 14 de maio a 27 de outubro de 1999) na Horta do Fundão, Universidade Federal de Viçosa, com a cultivar de tomateiro Santa Clara, de hábito de crescimento indeterminado.

Os dados de temperatura, umidade relativa do ar e precipitação de Viçosa durante o período de condução do experimento, obtidos da principal estação de meteorologia do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1. Temperatura do ar, umidade relativa do ar e quantidade total de chuva (precipitação) durante os meses de condução do experimento¹

Mês de Observação	Temperatura			Umidade Relativa %	Precipitação mm
	Mín.	Média	Máx.		
	°C				
Mai/99	11,7	16,4	25,3	80,2	2,0
Jun/99	11,5	16,1	24,5	82,8	13,2
Jul/99	12,4	16,4	24,4	81,8	4,2
Ago/99	8,9	14,8	25,9	71,8	0,0
Set/99	12,8	17,3	27,1	67,0	50,7
Out/99	14,7	17,6	25,0	74,6	118,0
Média	12,0	16,4	25,4	76,4	31,4
D. padrão	1,9	1,0	1,0	6,3	46,5
Total	-	-	-	-	188,1

¹ Dados obtidos da principal estação de meteorologia do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa

O experimento foi conduzido em solo da classe Argissolo Vermelho-Amarelo Câmbico, cuja caracterização física e química encontram-se nas Tabelas 2 e 3.

Os tratamentos se constituíram de cinco doses de nitrogênio, em presença ou não de adubação orgânica. Foram testadas as

Tabela 2. Características químicas do solo utilizado no experimento

P	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	pH
mg dm ⁻³		cmol _c dm ⁻³				
86	85	0,9	0,0	0,3	3,3	5,8
Fração Textural (%)						
Areia			Silte		Argila	
51			12		37	

P e K: extrator Melich-1; Al³⁺, Ca²⁺ e Mg²⁺: extrator KCl 1 mol L⁻¹; H + Al: extrator Ca (Oac)₂ 0,5 mol L⁻¹ a pH 7,0; pH em água, relação 1:2,5

Tabela 3. Teores de N-NO_3^- , N-NH_4^+ e N mineral do solo utilizado no experimento, nas profundidades de 0-20, 20-40 e 40-60 cm

	Profundidade (m)		
	0-20	20-40	40-60
A. N - NO_3^-	4,98	2,27	1,84
B. N - NH_4^+	7,33	5,25	4,72
C. N - Mineral	12,31	7,52	6,56

doses de N correspondentes a 0, 110, 220, 440 e 880 kg ha⁻¹. A fonte desse nutriente foi o nitrocálcio. Os dois níveis de matéria orgânica foram 0 e 8 t ha⁻¹ de matéria seca de esterco bovino curtido, cuja caracterização se encontra na Tabela 4. O experimento seguiu o delineamento em blocos ao acaso no arranjo fatorial 5x2, com quatro repetições, perfazendo 40 unidades experimentais.

Tabela 4. Teores de umidade, de matéria orgânica (M.O.) e de nutrientes na matéria seca dos esterco bovinos utilizados nos dois experimentos

Umidade	M.O.	N ¹	P ²	K ²	Ca ²	Mg ²
%		dag kg ⁻¹				
17	49,45	2,06	0,84	2,35	0,83	0,57

¹ Extraído com H_2SO_4 concentrado

² Extração nítrico-perclórica 3:1

Em 16 de abril de 1999, sementes de tomate foram semeadas em copos de jornal contendo substrato esterilizado, na densidade de duas sementes por copo. As mudas foram transplantadas em 14 de maio de 1999, no espaçamento de 1,0 m entre fileiras e 0,5 m entre plantas, no total de 28 plantas por parcela (4 fileiras com 7 plantas cada), considerando-se úteis as 10 plantas centrais da parcela. As dimensões de cada parcela foram 4 m de largura e 3,5 m de comprimento, ocupando área total de 14 m², sendo 5 m² de área útil.

A calagem foi realizada em 5 de maio de 1999, aplicando-se calcário dolomítico (PRNT=100%; 38,16% de CaO e 14,00% de MgO) a lanço, de forma a elevar para 70% a saturação de bases, fazendo-se a sua incorporação por meio de uma aração e duas gradagens.

Depois dos solos preparados foram aplicadas, nos sulcos, as adubações de transplante, em 13 de maio de 1999, as quais constaram da aplicação de 100 kg ha⁻¹ de P_2O_5 na forma de superfosfato simples, 250 kg ha⁻¹ de sulfato de magnésio, 10 kg ha⁻¹ de bórax, 15 kg ha⁻¹ de sulfato de zinco e 0,5 kg ha⁻¹ de molibdato de amônio. Foi incorporado o inseticida de solo Carbofuran, na dose recomendada pelo fabricante.

As doses de N foram parceladas da seguinte maneira: 10% no momento do transplante, nos sulcos, e 15% aos 21, 35, 49, 63, 77 e 91 dias após o transplante (DAT), em cobertura, ao lado das plantas, em meia-lua. A dose de K_2O (250 kg ha⁻¹) foi parcelada na mesma proporção do N, utilizando-se o cloreto de potássio.

O tomateiro foi conduzido em haste única, com tutoramento em cerca cruzada, tendo sido podadas três folhas acima da

sexta inflorescência. As irrigações por sulco foram realizadas quando necessário, em complementação ao volume de água precipitado pelas chuvas.

Os frutos foram colhidos quando apresentaram coloração cor-de-cana devido ao ataque de pardais neste período do ano, no local. As colheitas foram realizadas nas seguintes datas: aos 94 (18 ago/99), 100 (24 ago/99), 106 (30 ago/99), 112 (06 set/99), 119 (13 set/99), 127 (21 set/99), 134 (28 set/99), 142 (06 out/99), 151 (15 out/99) e 163 (27 out/99) DAT.

Os frutos sem defeito foram classificados de acordo com o diâmetro transversal (Tabela 5). Calculou-se a produção ponderada ou equivalente dos frutos extra AA (PEAA) utilizando-se os fatores de ponderação de 1,000; 0,625 e 0,375, baseando-se nos preços das classes extra AA (US\$ 4,37 cx⁻¹), extra A (US\$ 2,73 cx⁻¹) e médio extra (US\$ 1,64 cx⁻¹) do tomate tipo Santa Cruz, comercializado em caixa tipo K, obtidos no mês de junho de 2000 junto à CEASA de Belo Horizonte (Ceasa, 2000).

Tabela 5. Classificação dos frutos de tomate sem defeito, de acordo com o maior diâmetro (D) transversal¹

Classe	Diâmetro (mm)
Extra AA	69,7 ≤ D < 80,7
Extra A	60,0 ≤ D < 69,7
Médio extra	54,8 ≤ D < 60,0

¹ Adaptado da Portaria Ministerial nº 553 de 30/08/95 do M.A.R.A.

Ao final do ciclo do tomateiro, aos 185 DAT, fez-se a amostragem de solo utilizando-se sonda tipo trado, nas profundidades 0-20, 20-40 e 40-60 cm. Em cada parcela foi obtida uma amostra, composta a partir de três amostras simples, em cada profundidade amostrada. As amostras simples foram retiradas nas fileiras úteis, entre duas plantas úteis.

As amostras de solo foram secadas ao ar e passadas em peneira de 2 mm; em seguida, fez-se a extração de N-NO_3^- e N-NH_4^+ , utilizando-se KCl 1 mol L⁻¹ como extrator, na relação solo-extrator 1:10 (Keeney & Nelson, 1982). O N-NO_3^- foi determinado pela reação de Griss-Liosvay (Keeney & Nelson, 1982) e o N-NH_4^+ o foi pelo método do salicilato (Kempers & Zweers, 1986) para cada profundidade de amostragem (0-20, 20-40 e 40-60 cm); depois, calcularam-se, a partir da soma dos teores de N-NO_3^- e N-NH_4^+ , os teores de N mineral em cada profundidade.

Os dados relativos aos teores de N-NO_3^- , N-NH_4^+ e N mineral foram submetidos às análises de variância e de regressão, relacionando-os as doses de N aplicadas, nos dois níveis de matéria orgânica testados. Os modelos de regressão testados foram: lineares, quadráticos e raiz-quadráticos. Escolheu-se um com base no significado biológico, na significância dos coeficientes de regressão até 10% de probabilidade, pelo teste t, e no maior coeficiente de determinação.

A dose de N que proporcionou a máxima eficiência econômica foi obtida igualando-se a primeira, derivada da equação correspondente a PEAA a 0,004619953, correspondente à relação entre os preços do nitrogênio (US\$ 0,92 kg⁻¹) e do tomate extra AA (US\$ 198,71 t⁻¹) obtidos no mês de junho de 2000 junto a CEASA de Belo Horizonte (CEASA, 2000).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Teores de N-NO_3^- e N-NH_4^+ no solo

Em todas as profundidades do solo (0-20, 20-40 e 40-60 cm) e nas duas doses de matéria orgânica (0 e 8 t ha^{-1}), os teores de N-NO_3^- e de N-NH_4^+ aumentaram com o incremento das doses de N (Figuras 1 e 2) concordando com os resultados obtidos por Guimarães (1998). Westerman et al. (1994), quando avaliando algumas características químicas do solo cultivado com trigo, ao final do ciclo cultural, encontraram aumentos nos teores de N-NO_3^- e N-NH_4^+ , extraídos com KCl 2 M e analisados com injeção de fluxo automático, nas profundidades de 0-30 e

0-15 cm, respectivamente, com o aumento nas taxas de fertilizantes nitrogenados.

*, ** e *** Significativos aos níveis de 5, 1 e 0,1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste t

Figura 1. Teores de N-NO_3^- do solo nas profundidades de 0-20, 20-40 e 40-60 cm, aos 185 DAT do tomateiro, em função das doses de nitrogênio (N) e da matéria orgânica (MO, em t ha^{-1}) do experimento de outono/primavera

*, ** e *** Significativos aos níveis de 5, 1 e 0,1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste t

Figura 2. Teores de N-NH_4^+ do solo nas profundidades de 0-20, 20-40 e 40-60 cm, aos 185 DAT do tomateiro, em função das doses de nitrogênio (N) e da matéria orgânica (MO, em t ha^{-1}) do experimento de outono/primavera

Aparentemente, os teores de N-NH_4^+ foram menos influenciados pelas doses de N que os de N-NO_3^- (Figuras 1 e 2). Esta menor influência das doses de N sobre os teores de N-NH_4^+ pode ser devida ao fato do nitrato de cálcio (nitrato de cálcio) ter sido a fonte de nitrogênio no experimento e, provavelmente, ao ambiente oxidante encontrado no solo ao final do experimento, quando as amostras foram retiradas em decorrência das baixas precipitações dessa época do ano (outono/primavera, média de 31,4 mm mês^{-1}). Este ambiente oxidante pode ter permitido a manutenção do nitrogênio na forma de nitrato inibindo, talvez, a atuação de bactérias desnitrificantes.

Sem ou com adição de matéria orgânica, a camada superficial do solo (0-20 cm) apresentou menores teores de N-NO_3^- que as camadas mais profundas, nas duas maiores doses de nitrogênio (440 e 880 kg ha^{-1}) (Figura 1) fato que pode ser atribuído à absorção do N-NO_3^- pelo tomateiro e à lixiviação em direção

aos horizontes mais profundos (57,43 e 64,04 mg dm^{-3} na ausência e presença da adubação orgânica, respectivamente). A lixiviação de N-NO_3^- pode ser favorecida pela aplicação localizada de doses elevadas de fertilizantes nitrogenados, em especial quando a lâmina de água for excessiva (Christou et al., 1994; Abdul-Baki et al., 1997; Guimarães, 1998; Ünlü et al., 1999; Nohrstedt et al., 2000) como no caso do presente experimento, em que se utilizou irrigação por sulcos.

Sem adição de matéria orgânica e na mais alta dose estudada (880 kg ha^{-1} de N) os teores estimados de N-NO_3^- na camada 0-20 e de 20-40 cm foram 31,79 e 30,38 mg dm^{-3} , respectivamente, enquanto na dose zero de N e nessas mesmas profundidades, os valores foram 2,80 e 2,92 mg dm^{-3} , respectivamente; já na presença da adubação orgânica, tais valores foram, respectivamente, 34,61 e 33,67 mg dm^{-3} , na maior dose de N testada, e 3,15 e 4,45 mg dm^{-3} na dose zero. Os teores encontrados na camada de 0-20 cm estão muito próximos daquele encontrado por Hadas et al. (1989) após 88 dias da aplicação de 1200 kg ha^{-1} de N a um Vertissolo cultivado com algodoeiro, em Israel, ou seja, 34,6 mg dm^{-3} , enquanto na camada de 20-40 cm, o valor encontrado por esses autores (24,1 mg dm^{-3}) foi um pouco inferior aos encontrados no presente experimento.

Por outro lado, Meyer & Marcum (1998), trabalhando em solo cultivado com batata (*Solanum tuberosum* L.), na Califórnia, encontraram teor de N-NO_3^- igual a 1050 mg dm^{-3} na profundidade de 0-60 cm, com a aplicação de 448 kg ha^{-1} de N. Ünlü et al. (1999) também trabalhando com batata, na Turquia, encontraram, ao final do ciclo cultural, teores de N-NO_3^- no solo iguais a 20,4 e 29,3 mg dm^{-3} nas camadas de 0-20 e de 20-40 cm, respectivamente, com a aplicação de 1000 kg ha^{-1} de N. Guimarães (1998) trabalhando com tomateiro nas mesmas condições de cultivo do presente experimento encontrou, ao final do ciclo, teores de N-NO_3^- iguais a 31,8 e 32,9 mg dm^{-3} , com a aplicação de 500 kg ha^{-1} de N. Os resultados dessas pesquisas indicam que os teores de N-NO_3^- no solo variam de acordo com uma série de fatores, tais como taxa de fertilizantes nitrogenados, planta cultivada, práticas culturais, tipo de solo e condições climáticas, entre outros. Para minimizar tais teores, Meyer & Marcum (1998) recomendam a determinação das concentrações de N presentes no solo antes do plantio das culturas. Conhecendo-se essas concentrações, pode-se determinar as taxas apropriadas de fertilizantes nitrogenados e, conseqüentemente, otimizar a produção e obter alta eficiência no uso do N do fertilizante.

Os teores de N-NO_3^- no solo do tratamento sem nitrogênio e sem adição de matéria orgânica, nas três profundidades, foram superiores (Figura 1) aos observados antes do transplantio (Tabela 3), indicando aumento na disponibilidade de N-NO_3^- devido, possivelmente, à mineralização da matéria orgânica já existente no solo antes do experimento. Assim, o teor de N-NO_3^- na camada 0-20 cm do solo, no tratamento sem N e sem adição de matéria orgânica (Figura 1), aumentou de 4,98 mg dm^{-3} antes do transplantio (Tabela 3), para 6,75 mg dm^{-3} aos 185 DAT; também o teor de N-NO_3^- da camada de 40-60 cm, do mesmo tratamento (Figura 1), foi superior ao observado nesta camada antes do transplantio (1,84 mg dm^{-3} , Tabela 3) apesar do menor teor de matéria orgânica e da menor taxa de mineralização neste horizonte mais profundo do solo indicando,

provavelmente, alguma lixiviação de N-NO_3^- mineralizado, proveniente das camadas mais superficiais.

Os teores de N-NH_4^+ no solo do tratamento sem nitrogênio e sem adição de matéria orgânica, nas três profundidades, foram inferiores (Figura 2), aos observados antes do transplantio, conforme Tabela 3, indicando diminuição na disponibilidade de N-NH_4^+ devido, sem dúvida, à sua oxidação a N-NO_3^- , por intermédio das bactérias nitrificantes e/ou, supõe-se, à sua absorção pelas raízes do tomateiro. O N-NH_4^+ é preferencialmente absorvido pelas raízes das plantas em relação ao N-NO_3^- , porque o influxo do N-NH_4^+ direcionado ao citoplasma das células radiculares ocorre a favor do gradiente de potencial eletroquímico transmembrana, verificando-se o contrário com o influxo do N-NO_3^- , que é mais lento (Marschner, 1995). Estudos conduzidos com ^{15}N , utilizando-se plantas de *Camellia sinensis* L., revelaram que a absorção de N-NH_4^+ foi duas vezes mais alta que a de N-NO_3^- , quando a razão $\text{N-NO}_3^-:\text{N-NH}_4^+$ foi 1:1; já a absorção do N-NO_3^- só foi duas vezes superior à do N-NH_4^+ quando esta relação foi 9:1 (Morita et al., 1998).

Teor de N mineral no solo

As doses de N aumentaram os teores de N mineral no solo, sem ou com adição de matéria orgânica, em todas as profundidades de amostragem (Figura 3), concordando com os resultados obtidos por Hadas et al. (1989), Meyer & Marcum (1998) e MacKown et al. (1999) com as culturas do algodoeiro, da batata (*Solanum tuberosum* L.) e do tabaco, nas profundidades de 0-120, 0-60 e 0-30 cm, respectivamente. De modo geral, a resposta dos teores de N mineral foi similar à resposta apresentada pelos teores de N-NO_3^- (Figura 1). Hadas et al. (1989) e Guimarães (1998) também encontraram baixa influência dos teores de N-NH_4^+ sobre a resposta dos teores de N mineral.

A aplicação da maior dose de N (880 kg ha^{-1}) resultou em teores de N mineral, nas profundidades de 0-20, 20-40 e 40-60 cm, iguais a 32,53; 40,71 e 35,33 mg dm^{-3} , sem adubação orgânica, e a 32,00; 47,35 e 40,62 mg dm^{-3} , com adubação orgânica (Figura 3). Tais valores representam, respectivamente, aumentos de 164, 441 e 438%, sem adição de matéria orgânica ao solo, em relação aos valores determinados no solo antes do transplantio, e 160, 530 e 519%, quando houve adição (Tabela 3). Esses resultados indicam a ocorrência de movimentação bastante expressiva do N mineral da camada superficial até as camadas mais profundas, apesar de que se supõe que as raízes do tomateiro absorvam, de maneira mais intensa, o N existente nas camadas mais superficiais do solo.

Com a aplicação da dose de N responsável pela PEAA de máxima eficiência econômica (525,8 e 523,4 kg ha^{-1} de N nas doses 0 e 8 t ha^{-1} de matéria orgânica, respectivamente), os teores de N mineral nas camadas 0-20, 20-40 e 40-60 cm seriam 24,49; 36,83 e 32,17 mg dm^{-3} , na ausência da adubação orgânica, e 25,01; 33,04 e 35,06 mg dm^{-3} , na sua presença. Tais valores representam aumentos de 99, 390 e 390%, respectivamente, em relação aos valores determinados no solo antes do plantio, sem adição de matéria orgânica ao solo, e 103, 339 e 432%, com adição (Tabela 3), significando menores quantidades de N-NO_3^- sujeitas à lixiviação em relação à maior dose estudada (880 kg ha^{-1}).

*, ** e *** Significativos aos níveis de 5, 1 e 0,1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste t
 Figura 3. Teores de N mineral do solo nas profundidades de 0-20, 20-40 e 40-60 cm, aos 185 DAT do tomateiro, em função das doses de nitrogênio (N) e da matéria orgânica (MO, em t ha⁻¹) do experimento de outono/primavera

Esses resultados indicam que altas doses de fertilizantes nitrogenados não aumentam a eficiência de uso do nitrogênio pelo tomateiro irrigado por superfície, mesmo que aplicadas parceladamente, uma vez que houve movimentação bastante expressiva deste elemento para a camada de 40-60 cm do solo, em especial com a maior dose aplicada (880 kg ha⁻¹).

Na dose zero de N, o teor de N mineral na camada 0-20 cm do solo (Figura 3), nos dois níveis de matéria orgânica, atingiu valor mais elevado que aquele no solo antes do plantio, nesta mesma camada (Tabela 3), sendo que, na presença da adubação orgânica, esta variável foi maior que na ausência (Figura 3). Esses resultados indicam que o N presente no solo antes da instalação do experimento e na matéria orgânica (2,06% ou 82,4 mg dm⁻³ de N total, Tabela 5) foram importantes no fornecimento deste elemento ao tomateiro, podendo explicar as produções totais relativamente altas obtidas com a dose zero de N (69,2 e 84,3 t ha⁻¹ para as doses 0 e 8 t ha⁻¹ de matéria orgânica, respectivamente); já nas camadas de 20-40 e 40-60 cm, os teores de N mineral só atingiram valores mais altos que aqueles existentes no solo antes do plantio na presença da adubação orgânica

indicando, novamente, que a matéria orgânica é uma potencial fornecedora de N ao solo, conforme mostra a Tabela 5 e, também, a lixiviação do N-NO₃⁻ da camada superficial, de 0-20 cm, até as camadas mais profundas, de 20-40 e de 40-60 cm.

CONCLUSÕES

1. Os teores de N-NO₃⁻ são mais influenciados que os de N-NH₄⁺ pelo aumento das doses de N no solo, independentemente da profundidade do solo e da presença da matéria orgânica.

2. Os teores de N-NO₃⁻ e N-NH₄⁺ no solo aumentam com o aumento das doses de N no solo para a produção de frutos de tomate, independente da profundidade do solo e do nível de matéria orgânica.

LITERATURA CITADA

- Abdul-Baki, A.A.; Teasdale, J.R.; Korcak, R.F. Nitrogen requirements of fresh-market tomatoes on hairy vetch and black polyethylene mulch. *HortScience*, Alexandria, v.32, n.2, p.217-221, 1997.
- Boone, R.D. Soil organic matter as a potential net nitrogen sink in a fertilized cornfield. *Plant and Soil*, The Hague, v.128, p.191-198, 1990.
- CEASA. Boletim informativo diário de preços. Belo Horizonte: Secretaria de Agricultura, 2000.
- Christou, M.; Leoni, S.; Cornillon, P.; Gainza, A.; Dumas, Y.; Rodriguez, A.; Dimirkou, A. Influence of water and nitrogen availability on elemental composition of processing tomato fruit in EU countries. *Acta Horticulturae*, The Hague, n.376, p.279-284, 1994.
- Errebhi, M.; Rosen, C.J.; Gupta, S.C.; Birong, D.E. Potato yield response and nitrate leaching as influenced by nitrogen management. *Agronomy Journal*, Madison, v.90, p.10-15, 1998.
- Ferguson, R.B.; Shapiro, C.A.; Hergert, G.W.; Kranz, W.L.; Klocke, N.L.; Krull, D.H. Nitrogen and irrigation management practices to minimize nitrate leaching from irrigated corn. *Journal of Production Agriculture*, Madison, v.4, p.186-192, 1991.
- Guimarães, T.G. Nitrogênio no solo e na planta, teor de clorofila e produção do tomateiro, no campo e na estufa, influenciados por doses de nitrogênio. Viçosa: UFV, 1998. 184p. Tese Doutorado
- Hadas, A.; Feigin, A.; Feigenbaum, S.; Portnoy, R. Nitrogen mineralization in the field at various soil depths. *Journal of Soil Science*, Oxford, v.40, p.131-137, 1989.
- Hills, F.J.; Broadbent, F.E.; Lorenz, O.B. Fertilizer nitrogen utilization by corn, tomato and sugarbeet. *Agronomy Journal*, Madison, v.75, p.423-426, 1983.
- Huett, D.O.; Dettmann, E.B. Effect of nitrogen on growth, fruit quality and nutrient uptake of tomatoes grown in sand culture. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, Melbourne, v.28, n.3, p.391-399, 1988.
- Ikeda, H. Utilization of nitrogen by vegetable crops. *Japan Agricultural Research Quarterly*, Tokyo, v.25, n.2, p.117-124, 1991.

- Keeney, D.R.; Nelson, D.W. Nitrogen - inorganic forms. In: Page, A.L. (ed). Methods of soil analysis. Madison: American Society of Agronomy, 1982. Part 2, p.643-698.
- Kempers, A.J.; Zweers, A. Ammonium determination in soil extracts by the salicylite method. Communications in Soil Science and Plant Analysis, New York, v.17, n.7, p.715-723, 1986.
- MacKown, C.T.; Crafts-Brandner, S.J.; Sutton, T.G. Relationships among soil nitrate, leaf nitrate, and leaf yield of barley tobacco: Effects of nitrogen management. Agronomy Journal, Madison, v.91, p.613-621, 1999.
- Marschner, H. Mineral nutrition of higher plants. 2.ed. London: Academic Press, 1995. 889p.
- Meyer, R.D.; Marcum, D.B. Potato yield, petiole nitrogen, and soil nitrogen response to water and nitrogen. Agronomy Journal, Madison, v.90, p.420-429, 1998.
- Morita, A.; Ohta, M.; Yoneyama, T. Uptake, transport and assimilation of ^{15}N -nitrate and ^{15}N -ammonium in tea (*Camellia sinensis* L.) plants. Soil Science and Plant Nutrition, Tokyo, v.44, p.647-654, 1998.
- Nohrstedt, H.O.; Jacobson, S.; Sikstrom, U. Effects of repeated urea doses on soil chemistry and nutrient pools in a Norway spruce stand. Forest Ecology and Management, Amsterdam, v.130, n.1-3, p.47-56, 2000.
- Sainju, U.M.; Singh, B.P.; Rahman, S.; Reddy, V.R. Soil nitrate-nitrogen under tomato following tillage, cover cropping, and nitrogen fertilization. Journal of Environmental Quality, Madison, v.28, n.6, p.1837-1844, 1999.
- Silva, N.F. da. Crescimento, estado nutricional e produção de abóbora híbrida, em função de adubação mineral e orgânica. Viçosa: UFV, 1997. 102p. Tese Doutorado
- Ünlü, K.; Özenirler, G.; Yurteri, C. Nitrogen fertilizer leaching from cropped and irrigated sandy soil in Central Turkey. European Journal of Soil Science, Oxford, v.50, n.4, p.609-620, 1999.
- Westerman, R.L.; Boman, R.K.; Raun, W.R.; Johnson, G.V. Ammonium and nitrate nitrogen in soil profiles of long-term winter wheat fertilization experiments. Agronomy Journal, Oxford, v.86, p.94-99, 1994.