

AVALIAÇÃO DE CRITÉRIOS DE AMOSTRAGEM DE SOLO PARA DETERMINAÇÃO DO NITRATO RESIDUAL DO TOMATEIRO FERTIRRIGADO EM AMBIENTE PROTEGIDO

Evaluation of soil sample criteria for the determination of nitrate residue in tomato plants fertirrigated in an unheated greenhouse

Charles de Araujo¹, Paulo Cezar Rezende Fontes², José Hortêncio Mota¹,
Carlos Siqueyuki Sedyama², Maurício Bernardes Coelho²

RESUMO

O efeito do posicionamento de amostragem para a quantificação do N-NO₃ residual no solo foi determinado após o cultivo do tomateiro fertirrigado. Três experimentos foram conduzidos, em ambiente protegido, com fertirrigação por gotejamento. Em cada experimento, os tratamentos foram arrançados em parcela subdivida, com dez critérios para o manejo da adubação nitrogenada na parcela e posições de amostragem do solo na subparcela. Esses foram arrançados no delineamento experimental de blocos ao acaso. Foi determinado o teor de N-NO₃ no solo de amostras retiradas no final do ciclo de cada experimento, em diferentes posições. Em todos os experimentos, o teor de N-NO₃ residual no solo foi proporcional à quantidade de N aplicada nos diferentes critérios. Em condições de ambiente protegido e fertilizante nitrogenado fertirrigado por gotejamento, a melhor estratégia de amostragem do solo para a determinação do teor de N-NO₃ residual foi obtida pela utilização de amostra composta tomada em posições distanciadas em 10 cm da planta na entre linha e sobre a linha de transplante.

Termos para indexação: *Lycopersicon esculentum*, amostragem do solo, fertirrigação.

ABSTRACT

The effect of sample positioning for quantification of residual N-NO₃ in soil was determined after cultivating fertirrigated tomato plants. Three experiments were carried out in an unheated greenhouse, using drip fertirrigation. Soil N-NO₃ level was determined from samples taken at the end of the cycle of each experiment. In all the experiments, the residual N-NO₃ level of the soil was proportional to the amount of N applied in different criteria. Under unheated greenhouse conditions and using nitrogen fertilization by drip fertirrigation, the best soil sampling strategy for residual N-NO₃ level determination was obtained by the use of a composite sample taken at a position 10 cm from the plants, between rows, and on the transplant row.

Index terms: *Lycopersicon esculentum*, soil sampling, fertirrigation.

(Recebido em 16 de julho de 2008 e aprovado em 16 de fevereiro de 2009)

INTRODUÇÃO

O tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) é uma das hortaliças mais cultivadas no mundo. A produção brasileira de tomate, no ano de 2007, foi de 3.200.846 toneladas, com área cultivada de 54.912 ha e produtividade média de 58,3 t/ha. Os estados com maior produção foram Goiás, São Paulo e Minas Gerais, em ordem decrescente de produção (Agrianual, 2008).

Para a obtenção de alta produtividade e máximo retorno econômico, o tomateiro requer a utilização de práticas intensivas de manejo da água, pragas, desbrota, tutoramento e, principalmente, de nutrientes. Dentre os nutrientes, o nitrogênio (N) é um dos que mais limita o crescimento do tomateiro, sendo necessário tanto para formação da área foliar quanto para a produção de frutos.

No Brasil, onde o ciclo do tomateiro dificilmente ultrapassa 160 dias, a dose de N, geralmente, tem sido definida de maneira empírica, baseando-se em experiências de produtores ou, com menor frequência, em relações derivadas de doses aplicadas e produtividades da cultura (Araújo, 2004).

Além de reduzir a produtividade e aumentar o custo de produção da cultura, a aplicação de alta quantidade de fertilizante nitrogenado sem o conhecimento da capacidade de fornecimento do solo e do período de maior exigência do tomateiro concorre para a diminuição na eficiência de uso do N, que para a cultura do tomateiro, raramente ultrapassa 50%. Isso significa que pode haver aumento substancial da quantidade de N mineral que permanece no solo e do teor de N-NO₃ que pode ser perdido por lixiviação,

¹Centro Federal de Educação Tecnológica de Cuiabá – BR 364, Km 329 – São Vicente da Serra – 78106-970 – Santo Antonio do Leverger, MT – charlesdearaujo@yahoo.com.br, hortenciomota@terra.com.br

²Universidade Federal de Viçosa – Departamento de Fitotecnia, – 36570-000 – Viçosa, MG – pacerefo@ufv.br, csedyama@ufv.br

desnitrificação ou volatilização. Tais processos ameaçam a qualidade das águas e do ambiente pela contaminação do lençol freático, representando sério problema em áreas de agricultura intensiva. Portanto, a determinação da quantidade correta de N a ser aplicada determina, em grande parte, o desenvolvimento da cultura, influenciando o crescimento, a partição de assimilados, a produção e a qualidade dos frutos do tomateiro, além de diminuir a poluição no meio ambiente.

Recomendações precisas do fertilizante nitrogenado, utilizando o teor de N mineral ou N-NO₃ no solo dependem da obtenção de amostras representativas do solo (Dahnke & Johnson, 1990), pois o comportamento do N, no solo, pode ser influenciado por diferentes formas de aplicação do fertilizante nitrogenado. A aplicação via água de irrigação (fertirrigação), especialmente quando aplicada de forma localizada em irrigação por gotejo, promove maior eficiência da fertilização nitrogenada. Porém, esta prática pode, em algumas situações, favorecer a lixiviação e reduzir a concentração do N-NO₃ próximo ao tubo gotejador, especialmente quando a quantidade de água aplicada for excessiva (Cook & Sanders, 1990). Além disso, o fertilizante nitrogenado aplicado tende a acumular na extremidade da área formada pela infiltração de água no solo (bulbo molhado) e, dependendo do local de amostragem, pode haver variação no teor de N-NO₃ no solo sob irrigação por gotejo.

No sistema tradicional de irrigação por sulcos, no qual a quantidade de água aplicada é elevada, o fertilizante nitrogenado é aplicado em faixas para que ocorra maior quantidade de N recuperado (Zebarth et al., 1995). Nesse caso, dependendo da estratégia utilizada para a retirada das amostras do solo, a recomendação da quantidade de fertilizante nitrogenado também pode conter erros.

Assim, na amostragem para a determinação do N mineral deve ser levado em consideração a possível desuniformidade de distribuição de N no solo (Everaarts et al., 1996). Clay et al. (1997) concluíram que a melhor estratégia para amostragem de áreas adubadas em faixa seria a retirada de amostras na posição central localizada entre a linha de plantio e a faixa do fertilizante, que poderiam reduzir em até 50% o número de amostras necessárias quando comparadas com amostras retiradas ao acaso. Entretanto, dependendo da quantidade de N aplicada isso pode não ser adequado e outro procedimento de amostragem é necessário.

Neste estudo, objetivou-se determinar o posicionamento de amostragem para a quantificação do N-NO₃ residual no solo após o cultivo do tomateiro fertirrigado e adubado por sulcos em ambiente protegido.

MATERIALE MÉTODOS

Os experimentos foram conduzidos em áreas contíguas de solo argiloso, localizado na Horta Velha, pertencente à Universidade Federal de Viçosa (UFV). As mudas de tomate, para todos os experimentos, foram produzidas em casa de vegetação, coberta com plástico e circundada por tela antiafídeos. A semeadura do tomateiro, híbrido Carmem, foi feita em copos de jornal, contendo substrato previamente esterilizado com brometo de metila por 72 h, na densidade de uma semente por copo. As mudas foram irrigadas diariamente e pulverizadas com fungicida à base de mancozeb até o momento do transplante para o local definitivo, quando apresentavam 10 a 15 cm de altura e 4 a 6 folhas além dos cotilédones. As mudas foram transplantadas no espaçamento de 0,6 m entre plantas e 1,0 m entre fileiras.

Cada parcela foi composta de 4 plantas, das quais foram consideradas úteis as 2 plantas centrais. Portanto, cada parcela útil apresentou 1,0 m de largura e 1,2 m de comprimento, ocupando área de 1,2 m².

Foram conduzidos três experimentos em ambiente protegido, com fertirrigação por gotejamento: CIL₋₁: com irrigação de lixiviação - início do cultivo no período de verão-outono/02; CIL₂: com irrigação de lixiviação - realizado no período de primavera/02-verão/03; SIL: sem irrigação de lixiviação - com cultivo no período de cultivo primavera/02-verão/03. Após a aração e gradagem do solo, houve a realização da irrigação de lixiviação, que correspondeu a formação de tabuleiros, de 4 m de largura x 10 m de comprimento x 0,20 m de altura. Nestes, por ser solo intensivamente cultivado e que havia recebido altas doses de fertilizantes durante os últimos anos, foi realizado, durante 15 dias consecutivos, a aplicação diária de água para manter lâmina constante de 20 cm. Essa prática teve como objetivo a diminuição do teor de nitrato e dos demais nutrientes pela lixiviação no solo e a eliminação de possíveis problemas de salinização.

Em cada experimento, os tratamentos foram arranjados em parcelas subdivididas. Nas parcelas foram estudados dez critérios para o manejo da adubação nitrogenada do tomateiro. Nas subparcelas foram estudadas as diferentes posições de amostragem do solo. O delineamento experimental utilizado foi de blocos ao acaso, com cinco repetições no experimento CIL₁, quatro no SIL e três no CIL₂.

Fatores da parcela

Os critérios avaliados foram: C1) dose de 50 kg.ha⁻¹ de N aplicada no momento do transplante e o restante

aplicado em cobertura, quando necessário, utilizando-se o critério do nível crítico do índice SPAD para definir a necessidade de N ao longo do ciclo da cultura estabelecido por Guimarães (1998), para o tomateiro cultivado em ambiente protegido; C2) igual a C1, utilizando-se o valor crítico do índice SPAD, aumentado em 20%; C3) igual a C1, porém, com o valor crítico do índice SPAD diminuído em 10%; C4) definido com base na produtividade esperada de frutos (90,0 t.ha⁻¹ para o experimento A – CIL₁ e 120,0 t.ha⁻¹ para os experimentos A – CIL₂ e A – SIL) e contribuições do solo (teor de N-NO₃ no solo) e do fertilizante (6,03 kg/ha de N para produção de cada tonelada de frutos, conforme obtido por Guimarães, 1998); C5) definido com base na percentagem da dose fixa de N no experimento CIL₁ e na quantidade esperada de N no fruto e contribuição do solo, nos experimentos CIL₂ e SIL; C6) definido com base na quantidade esperada de N no fruto; C7) doses de 50; 56 e 105 kg.ha⁻¹ de N no momento do transplante nos experimentos CIL₁, CIL₂ e SIL, respectivamente, e o restante aplicado em cobertura, quando necessário, em razão de observações visuais da aparência da planta; C8) dose recomendada experimentalmente de 280 kg.ha⁻¹ de N por Fontes & Guimarães (1999) para o tomateiro conduzido com 9 cachos em ambiente protegido, aplicada parceladamente em cobertura a cada 14 dias; C9) mesma dose utilizada no C8, mas aplicadas totalmente no momento do transplante; C10) não aplicação de fertilizante nitrogenado.

Para C1, C2 e C3, o índice SPAD foi obtido por meio da utilização do medidor portátil de clorofila SPAD-502 [Soil-Plant Analysis Development (SPAD) Section, Minolta Camera Co. Ltd, Japão]. O SPAD-502 determina a transmitância de feixes de luz, 650 nm (vermelho) e 940 nm (infravermelho), através da folha. O comprimento de onda de 650 nm está situado entre os dois comprimentos de onda associados com a atividade da clorofila (645 e 663 nm), podendo ser absorvido somente por este pigmento. O comprimento de onda de 940 nm atua como autocorreção, a fim de compensar diferenças existentes quanto à espessura da folha, estado de turgescência, e outros fatores. Por meio da diferença entre a atenuação da luz a 650 e 940 nm como um índice de tonalidade da cor verde ou da concentração de clorofila, o medidor calcula um valor SPAD numérico que é proporcional à quantidade de clorofila presente na folha (Minolta Câmera Co, 1989).

A necessidade de adubar, com base nas determinações com o medidor SPAD-502, foi a partir da formação do primeiro cacho floral. A cada 14 dias, as leituras foram realizadas na folha adjacente ao cacho mais recentemente formado. Em cada planta, foram cultivados nove cachos. A medição foi feita sempre no período da manhã, entre 7 e 9 h, em cinco folíolos de cada folha, sendo

dois em cada lado da folha (laterais) e o folíolo terminal central. A leitura SPAD foi a média das cinco leituras.

As quantidades totais de N aplicada em cada experimento encontram-se no Quadro 1.

Quadro 1 – Quantidade de N aplicada (kg.ha⁻¹) em função dos critérios estudados para o manejo do fertilizante nitrogenado na cultura do tomateiro, nos experimentos CIL₁, CIL₂ e SIL.

Critério	Experimento CIL ₁	Experimento CIL ₂	Experimento SIL
C1	246,6	470,0	166,0
C2	1073,0	593,7	319,5
C3	50,0	229,7	50,0
C4	90,0	538,8	570,8
C5	252,0	296,8	24,4
C6	448,0	439,2	439,2
C7	200,0	152,9	145,4
C8	280,0	280,0	280,0
C9	280,0	280,0	280,0
C10	0,0	0,0	0,0

As aplicações de N no momento do transplante, em todos os experimentos, foram realizadas no sulco de transplante. A aplicação de N nos tratamentos em cobertura foi via água de irrigação, por gotejamento. No experimento CIL₁ foi utilizado como fonte de N, sulfato de amônio (20% de N) em todas as aplicações. Nos experimentos CIL₂ e SIL, todas as aplicações em cobertura foram na forma de sulfato de amônio, exceto aos 56 DAT, que foi utilizado o nitrato de cálcio (15% de N).

Fatores da subparcela

Nas subparcelas, foram estudados três locais de amostragem do solo que foram: P1 – amostragem realizada a 10 cm de distância da planta na linha de plantio; P2 – amostragem realizada a 30 cm de distância da planta na linha de plantio; P3 – amostragem realizada a 10 cm de distância da planta entre sulco de transplante (Figura 1). As amostragens foram executadas após a última colheita de frutos, coletando-se amostras simples na camada de 0-20 cm de profundidade. As amostragens foram realizadas nas duas plantas úteis de cada unidade experimental.

Todas as amostras de solo foram secadas ao ar e passadas em peneira de malha de 2 mm. Posteriormente,

foram acondicionadas em sacos plásticos, identificadas e armazenadas em refrigerador a 5°C, visando a paralisar atividades microbiológicas sobre as formas de N, até a determinação do teor de N-NO₃.

Em laboratório, foram tomadas subamostras de 5 cm³ de solo, nas quais foi feita a extração de N-NO₃, em copos plásticos descartáveis, utilizando KCl 1 mol.L⁻¹ como extrator, na relação solo:extrator de 1:10. Após agitação em agitador horizontal, por 15 minutos, o extrato foi obtido por filtração, utilizando-se papel de filtração lenta. O N-NO₃ presente no extrato foi determinado utilizando-se a metodologia simplificada, baseada no método do salicilato, proposta por Yang et al. (1998).

Para cada critério estudado, subamostras de solo das três posições de amostragem foram misturadas e homogeneizadas para constituir uma amostra composta onde foi determinado o pH em água (1:2,5); teor de P, K, Cu, Zn, Fe e Mn extraídos pelo Mehlich 1; Ca e Mg extraídos por KCl 1 mol.L⁻¹ (Defelipo & Ribeiro, 1997).

Os dados foram submetidos a análise de variância. Para o teor de N-NO₃ no solo, as médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade (Gomes, 2000). Também, foi realizada a análise de correlação linear de Pearson entre os valores de pH e dos teores de N-NO₃ nas diferentes posições de amostragem, P, K, Ca, Mg, Cu, Zn, Fe e Mn com as doses de N aplicadas nos diferentes tratamentos estudados. Os coeficientes de correlação foram testados a 1(**), 5(*) e 10%(°), pelo teste t.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Teor de N-NO₃ em diferentes posições de amostragem

No experimento CIL₁, houve diferenças significativas entre os tratamentos, nas três posições de amostragem quanto ao teor de N-NO₃ no solo (Quadro 2). A maior quantidade de N foi aplicada em C2, 1073,0 kg.ha⁻¹, e propiciou o maior teor de N-NO₃ nas amostras de solo retiradas na posição P2.

Em relação à posição de amostragem, houve diferença significativa somente no critério C6, com a aplicação de 448,0 kg.ha⁻¹ de N. Nesse critério, maior teor de N-NO₃ foi observado na posição P1, distanciada das plantas em 10 cm sobre a linha de transplante.

Nos critérios C8 e C9 foi utilizada a mesma dose de N, 280,0 kg.ha⁻¹, mas aplicada em cobertura ou toda no momento do transplante, respectivamente. Essa diferença, no momento de aplicação do N, resultou em menor teor de N-NO₃ no solo em todas as posições de amostragem em C9, quando o fertilizante nitrogenado foi aplicado todo no momento do transplante.

No experimento CIL₂, houve diferenças significativas entre os tratamentos nas três posições de amostragem (Quadro 3). Entretanto, o teor de N-NO₃ no solo não foi proporcional às doses de N aplicadas. Nas amostras de solo retiradas na posição P1 o maior teor de N-NO₃ foi obtido em C1, em razão da aplicação de 420,0 kg.ha⁻¹ de N, aos 70 DAT.

Os resultados obtidos em C8 e C9 foram contrários aos que seriam esperado e àqueles obtidos no experimento CIL₁ (Quadro 2). A aplicação de toda a dose de 280,0 kg.ha⁻¹ de N no momento do transplante (C9) resultou em maior teor de N-NO₃ no final do ciclo de cultivo do que quando aplicada em cobertura a cada 14 dias (C8). Além disso, no critério C9, a amostra coletada em P2 apresentou menor teor de N-NO₃ do que aquelas mais próximas da planta.

No experimento SIL o critério C9 resultou em maior teor de N-NO₃ no final do ciclo de cultivo apenas em P2, não havendo diferença significativa entre as posições de amostragem (Quadro 4).

As amostras de solo retiradas na posição P3 apresentaram maior teor de N-NO₃ do que em P1 e P2, para os critérios C2 e C6 que resultaram na aplicação de grande quantidade de N em cobertura, sendo 269,5 e 114,2 kg.ha⁻¹ de N, aos 28 e 56 DAT, respectivamente.

A distribuição horizontal do teor de N-NO₃ na camada de 0-20 cm de profundidade do solo sob irrigação por gotejamento indicou que a maior parte do N-NO₃ ficou localizado próximo às plantas, na entre linha ou na linha de transplante. Dessas posições, a amostra de solo retirada na posição P1 apresentou o maior teor de N-NO₃, em todos os critérios, no experimento CIL₁ (Quadro 2) e na maioria dos critérios, no experimento SIL (Quadro 4). Entretanto, no experimento CIL₂, a amostra retirada nessa posição apresentou maior teor de N-NO₃ somente nos critérios C1, C6 e C9 (Quadro 3).

A dose recomendada de 280,0 kg.ha⁻¹ de N em C9 foi integralmente aplicada no momento do transplante. Nesse caso, seria esperado que a amostra de solo coletada em P2 apresentasse maior teor de N-NO₃ do que a amostra mais próxima da planta. Isso porque, o sistema radicular do tomateiro sob condições de irrigação localizada, por gotejamento, talvez não se desenvolva horizontalmente na direção da linha de transplante para absorver o N localizado a 30 cm de distância das plantas. Entretanto, apenas no experimento SIL, o teor de N-NO₃ em P2 foi maior do que em P1 e P3 (Quadro 4). Isso indica que, provavelmente, o sistema radicular do tomateiro desenvolveu horizontalmente na direção da linha de transplante e absorveu parte do N localizado em posição mais distante das plantas.

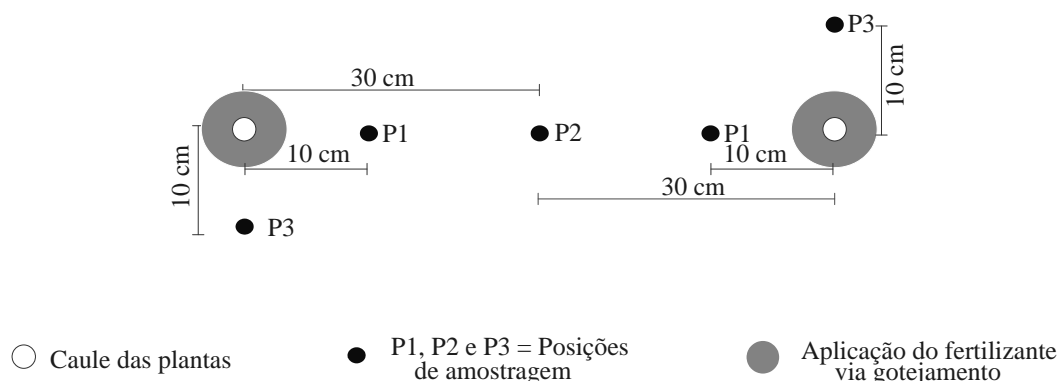


Figura 1 – Posições de amostragem de solo (P1, P2 e P3) nos experimentos CIL₁, CIL₂ e SIL (ambiente protegido e irrigação por gotejamento).

Quadro 2 – Teor médio de N-NO₃ (mg.dm⁻³) das amostras de solo em função das diferentes posições de coleta (P1, P2 e P3) e dos critérios estudados, no experimento CIL₁.

Critério	Dose de N (kg.ha ⁻¹)	Posição de amostragem ¹		
		P1	P2	P3
C1	246,6	96,7 defA	45,8 bcA	52,9 cdA
C2	1073,0	300,7 bA	351,8 aA	407,4 aA
C3	50,0,0	53,5 fgA	28,3 cA	30,1 deA
C4	90,0	74,3 efA	48,8 bcA	26,7 deA
C5	252,0	202,4 cA	56,9 bcA	76,5 cA
C6	448,0	474,1 aA	86,8 bc	221,4 bBC
C7	200,0	131,2 dA	30,4 cA	41,4 cdeA
C8	280,0	100,6 deA	55,0 bcA	77,7 cA
C9	280,0	50,4 fgA	39,7 cA	32,3 deA
C10	0,0	29,4 gA	17,6 cA	8,5 eA

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula e minúscula não diferem significativamente entre si na linha e na coluna, respectivamente, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Quadro 3 – Teor médio de N-NO₃ (mg.dm⁻³) das amostras de solo em função das diferentes posições de coleta (P1, P2 e P3) e dos critérios estudados, no experimento CIL₂.

Critério	Dose de N (kg.ha ⁻¹)	Posição de amostragem ¹		
		P1	P2	P3
C1	470,0	332,0 aA	166,4 cA	179,8 bcA
C2	593,7	89,8 bcA	358,5 aA	378,4 aA
C3	229,7	78,1 bcA	118,6 cdA	124,6 cdeA
C4	538,8	98,1 bcA	177,2 bcA	172,9 bcdA
C5	296,8	87,5 bcA	269,5 abA	132,6 cdeA
C6	439,2	125,1 bA	79,2 cdA	82,2 cdefA
C7	152,9	44,2 bcA	118,4 cdA	74,0 defA
C8	280,0	85,5 bcA	144,1 cdA	70,5 efA
C9	280,0	296,6 aA	155,1 cA	263,7 bA
C10	0,0	21,3 cA	46,2 dA	20,2 fA

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula e minúscula não diferem significativamente entre si na linha e na coluna, respectivamente, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Quadro 4 – Teor médio de N-NO₃ (mg.dm⁻³) das amostras de solo em função das diferentes posições de coleta (P1, P2 e P3) e dos critérios estudados, no experimento SIL.

Critério	Dose de N (kg.ha ⁻¹)	Posição de amostragem ¹		
		P1	P2	P3
C1	166,0	197,1 eA	170,2 cdA	132,6 fA
C2	319,5	358,0 bcA	492,5 aA	499,9 bA
C3	50,0	90,8 fA	88,9 efA	82,9 fA
C4	570,8	551,9 aA	224,4 bcA	429,1 cA
C5	24,4	114,1 fA	70,3 fA	68,0 fA
C6	439,2	294,7 cdA	282,3 bA	631,8 aA
C7	145,4	290,9 cdA	161,6 cdA	115,3 fA
C8	280,0	398,4 bA	142,2 deA	322,5 dA
C9	280,0	240,0 deA	503,1 aA	249,9 fA
C10	0,0	76,6 fA	60,0 fA	74,1 fA

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula e minúscula não diferem significativamente entre si na linha e na coluna, respectivamente, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Os critérios C2 e C6 resultaram nas maiores doses de N aplicadas no experimento CIL₁ e, conseqüentemente, no maior teor de N-NO₃ no final do ciclo de cultivo. Nos experimentos CIL₂ e SIL, além desses critérios, C4 também apresentou comportamento semelhante. Isso foi decorrente dos esses critérios terem resultado nas maiores

quantidades de N aplicadas, conforme também observado por Guimarães (1998), Sainz Rozas et al. (2000) e Ferreira (2001).

Na maioria dos critérios estudados, que receberam aplicação de N em cobertura, nos experimentos CIL₁ e SIL, a amostra de solo coletada em P1, apresentou teor médio de N-NO₃ 247 e 40% maior do que em P3. Menor teor de N-NO₃ na entre linha de transplante sugere que pelo menos pequena quantidade de N fertirrigado foi movida para fora dessa área em razão do tubo gotejador estar localizado a ±5 cm de distância das plantas, ao longo da entre linha de transplante (Cook & Sanders, 1990, 1991).

Coefficiente de correlação entre as características químicas do solo e as diferentes posições de amostragem

Para o experimento CIL₁, o teor de N-NO₃ determinado em todas as posições de amostragem correlacionou positiva e significativamente com as doses de N aplicadas nos diferentes critérios (Quadro 5), indicando que o teor de N-NO₃ no solo foi proporcional às doses de N aplicadas. Maior coeficiente de correlação linear foi obtido com o teor de N-NO₃ das amostras de solo retiradas na posição P2 e P3. Não houve correlação entre as doses de N aplicadas nos diferentes critérios e teor dos demais nutrientes determinados no solo, exceto a correlação negativa com Mn.

Quadro 5 – Coeficiente de correlação linear simples (r) entre o teor de N-NO₃ determinado em amostras de solo retiradas nas posições P1, P2 e P3, valores de pH e teores de P, K, Ca, Mg, Cu, Fe, Zn e Mn das amostras de solo com as doses de N aplicadas nos diversos critérios, nos experimentos CIL₁, CIL₂ e SIL.

Característica avaliada	Coeficiente de correlação linear (r) ¹		
	Experimento CIL ₁	Experimento CIL ₂	Experimento SIL
N-NO ₃ na posição P1	0,64*	0,36	0,89**
N-NO ₃ na posição P2	0,96**	0,63°	0,55
N-NO ₃ na posição P3	0,96**	0,68*	0,87**
pH	0,38	-0,65*	-0,66*
P	0,37	-0,53	-0,05
K	0,01	-0,78**	-0,64*
Ca	0,19	-0,72*	-0,57°
Mg	-0,10	-0,75*	-0,73*
Cu	-0,36	0,80**	-0,07
Fe	-0,28	0,54	0,65*
Zn	-0,07	0,52	-0,17
Mn	-0,56°	0,18	0,45

¹ **, * e ° = significativos a 1, 5 e 10% de probabilidade, respectivamente, pelo teste t.

No experimento CIL₂, os coeficientes de correlação foram significativos apenas para as amostras de solo retiradas na posição P2 e P3, semelhante ao observado no experimento CIL₁. O valor de pH e os teores de P, K, Ca, Mg e Cu foram negativa e significativamente correlacionados com as doses de N aplicadas nos diferentes critérios.

No experimento SIL, os resultados obtidos para as correlações entre o teor de N-NO₃ nas diferentes posições de amostragem e as doses de N aplicadas foram diferentes daqueles observados nos experimentos CIL₁ e CIL₂. Correlação significativa e positiva com as doses de N aplicadas foi observada para o teor de N-NO₃ das amostras de solo retiradas mais próximas das plantas, na posição P1 e P3 e para o teor de Fe. Correlação negativa com as doses de N aplicadas nos diferentes critérios foi observada para o valor de pH e teores de K, Ca e Mg.

Os resultados indicam que o teor de N-NO₃ no solo foi proporcional às doses de N aplicadas nos diferentes critérios, conforme pode ser comprovado pelos elevados coeficientes de correlação linear, exceto para P1 no experimento CIL₂. Dessa forma, altas doses de N aplicadas resultaram em alto teor de N-NO₃ no solo, no final do ciclo de cultivo. Esse resultado pode ser decorrente do efeito da ausência de chuvas e da irrigação localizada, por gotejamento, no ambiente protegido, aliado ao solo da área que apresentava, provavelmente, altas capacidades de troca aniônica e de adsorção de N-NO₃ por ter argila do tipo 1:1 e óxidos de ferro e alumínio (Singhi & Kanehiro, 1969). Tais fatores podem retardar o movimento do íon no solo em relação ao movimento de água (Bellini et al., 1996), minimizando a lixiviação N-NO₃ para profundidades maiores do que 20 cm.

Nos experimentos CIL₂ e SIL, à medida que as doses de N aplicadas aumentaram, o valor de pH e teores de K, Ca e Mg no solo diminuíram, conforme pode ser comprovado pelos coeficientes de correlação negativos e significativos. A diminuição do pH é decorrente da forma amoniacal do fertilizante nitrogenado aplicado (sulfato de amônio) que é oxidada na reação de nitrificação e libera íons hidrogênio (H⁺), resultando na acidificação do solo (Tisdale et al., 1985). A interação entre doses de N aplicadas e os teores de K, Ca e Mg pode ter sido decorrente do aumento da quantidade de N disponível que estimulou o crescimento do tomateiro, aumentando o potencial de utilização desses nutrientes que são exigidos em grande quantidade pelo tomateiro e consequente aumento da absorção pela planta e redução dos teores desses nutrientes no solo.

Recomendações de N baseadas na determinação do teor de N-NO₃ no solo dependem da obtenção de

amostras representativas do solo (Dahnke & Johnson, 1990; Starr et al., 1992). O protocolo de amostragem inclui a coleta de amostras ao acaso dentro de áreas com similar manejo e tipo de solo. Clay et al. (1995) mostraram que se essa estratégia for utilizada em áreas onde o fertilizante nitrogenado é aplicado em faixas, então as recomendações podem conter grandes erros. Provavelmente, o mesmo deve ser verdadeiro para aplicações de N via fertirrigação. Dessa forma, a amostragem de solo para aplicação de N via fertirrigação pode ser realizada pela utilização de amostras tomadas de posições distanciadas das plantas em 10 cm na entre linha de transplante e em 10 e 30 cm sobre a linha de transplante.

CONCLUSÕES

O teor de N-NO₃ residual no solo foi proporcional à quantidade de N aplicada nos diferentes critérios;

Em condições de ambiente protegido e fertirrigação com fertilizante nitrogenado por gotejamento, a melhor estratégia de amostragem do solo para a determinação do teor de N-NO₃ residual foi obtida pela utilização de amostra composta obtida de amostras simples tomadas em posições distanciadas em 10 cm da planta na entre linha e sobre a linha de transplante.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGRIANUAL. **Anuário da agricultura brasileira**. São Paulo: FNP Consultoria e Comércio, 2008. 512p.
- ARAUJO, C. **Critérios para o manejo da adubação nitrogenada do tomateiro em ambiente protegido e no campo**. 2004. 220f. Tese (Doutorado em Fitotecnia)- Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2004.
- BELINNI, G.; SUMNER, M.E.; RADICLIFFE, D.E.; QAFOKU, N.P. Anion transport through of highly weathered acid soil: adsorption and retardation. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v.60, p.132-137, 1996.
- CLAY, D.E.; CARLSON, C.G.; BRIX-DAVIS, K.; OOLMAN, J.; BERG, B. Soil sampling strategies for estimating residual nitrogen. **Journal of Production Agriculture**, Chicago, v.10, n.3, p.446-452, 1997.
- CLAY, D.E.; CARLSON, C.G.; HOLMAN, P.W.; SCHUMACHER, T.E.; CLAY, S.A. Banding nitrogen fertilizer influence on inorganic nitrogen distribution. **Journal of Plant Nutrition**, Chicago, v.18, p.331-341, 1995.

- COOK, W.P.; SANDERS, D.C. Fertilizer placement effects on soil nitrogen and use by drip-irrigated and plastic-mulched tomatoes. **HortScience**, Alexandria, v.25, n.7, p.767-769, 1990.
- COOK, W.P.; SANDERS, D.C. Nitrogen application frequency for drip-irrigated tomatoes. **HortScience**, Alexandria, v.26, n.3, p.250-252, 1991.
- DAHNIKE, W.C.; JOHNSON, G.V. Testing soils for available nitrogen. In: WESTERMAN, R.L. (Ed.). **Soil testing and plant analysis**. 3.ed. Madison: Soil Science Society of America, 1990. p.127-139.
- DEFELIPO, B.V.; RIBEIRO, A.C. **Análise química do solo**. 2.ed. Viçosa, MG: UFV, 1997. 26p.
- EVERAARTS, A.P.; MOEL, C.P. de; NOORDDWIJK, M. de. The effect of nitrogen and the method of application nitrogen uptake of cauliflower and on nitrogen in crop residues and soil at harvest. **Netherlands Journal of Agricultural Science**, Netherlands, v.44, p.43-55, 1996.
- FERREIRA, M.M.M. **Resposta do tomateiro a doses de nitrogênio e à adubação orgânica, em duas épocas de cultivo**. 2001. 145f. Tese (Doutorado em Fitotecnia)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001.
- FONTES, P.C.R.; GUIMARÃES, T.G. Manejo dos fertilizantes nas culturas de hortaliças cultivadas em solo, em ambiente protegido. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.20, n.200/201, p.36-44, 1999.
- GOMES, F.P. **Curso de estatística experimental**. 14.ed. Piracicaba: ESALQ-USP, 2000. 477p.
- 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**. 1998. 184f. Tese (Doutorado em Fitotecnia)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1998.
- MINOLTA CAMERA CO. **Manual for chlorophyll meter SPAD-502**. Tokyo, 1989. 22p.
- SAINZ ROZAS, H.; ECHEVERRÍA, H.E.; STUDDERT, G.A.; DOMÍNGUEZ, G. Evaluation of the presidress soil nitrogen test for no-tillage maize fertilized at planting. **Agronomy Journal**, Madison, v.92, n.6, p.1176-1183, 2000.
- SINGHI, B.R.; KANEHIRO, Y. Adsorption of nitrate in amorphous and koalinitic Hawaiian soils. **Soil Science Society of American Proceedings**, Madison, v.33, p.681-683, 1969.
- STARR, J.L.; PARKIN, T.B.; MEISINGER, J.J. Sample Size consideration in the determination of soil nitrate. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v.56, p.1824-1830, 1992.
- TISDALE, S.L.; NELSON, W.L.; BEATON, J.D. **Soil fertility and fertilizers**. 4.ed. Macmillan, 1985. 754p.
- 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 Science Society of American Journal**, Madison, v.62, p.1108-1115, 1998.
- ZEBARTH, B.J.; BOWEN, P.A.; TOIVONEN, M.A. Influence of nitrogen fertilization on broccoli yield, nitrogen accumulation and apparent fertilizer-nitrogen recovery. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v.75, p.717-725, 1995.