

AVALIAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO E DISTRIBUIÇÃO DE NITRITO, AMÔNIO E NITRATO PROVENIENTES DA URÉIA APLICADA VIA SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO¹

Tamara Maria Gomes

Bolsista do CNPq, Av. Independência 1592. CEP: 13416-225. Piracicaba-SP

João Carlos Cury Saad

Raimundo Leite Cruz

Departamento de Engenharia Rural. FCA-UNESP, Cx: 237, CEP: 18.603-970, Botucatu

Carlos Tadeu dos Santos Dias

Departamento de Matemática e Estatística ESALQ-USP, Cx: 09, CEP: 13418-900, Piracicaba

1 RESUMO

O experimento foi conduzido na área experimental de irrigação do Departamento de Engenharia Rural da Faculdade de Ciências Agrônomicas - UNESP/Câmpus de Botucatu, com o objetivo de avaliar a concentração e distribuição de amônio, nitrito e nitrato provenientes do fertilizante uréia em um sistema de irrigação localizada por gotejamento.

As amostras de solução do solo foram coletadas nas profundidades de 25, 50 e 75cm em ambos os lados do gotejador (lado esquerdo e direito) com o uso de cápsulas porosas e as concentrações de amônio, nitrito e nitrato existentes foram determinadas em laboratório, utilizando um espectômetro de fluxo contínuo.

A adubação via fertirrigação foi realizada com uréia nas doses de 0, 30 e 60 kg de N.ha⁻¹ em três épocas de aplicação, com a finalidade de estimar a concentração de nitrato, nitrito e amônio após a última fertirrigação.

Os valores da concentração de amônio e nitrito encontrados nas amostras de solução do solo nos diferentes tratamentos, profundidades e bulbos não atingiram, na maioria das avaliações, teores utilizados como padrão (> 0,2 mg.L⁻¹ e > 0,05mg.L⁻¹, respectivamente). As concentrações de nitrato na solução do solo para as doses de nitrogênio avaliadas nas três profundidades (25, 50 e 75 cm) estudadas não apresentaram diferença significativa, entretanto a concentração de nitrato em relação a posição do gotejador no sentido do fluxo da água foi estatisticamente maior no lado esquerdo, em virtude da declividade do terreno.

A baixa concentração de nitrato encontrada na solução do solo por aplicação de uréia, sugere a realização de outros estudos a respeito da concentração e caminamento do nitrato no solo com o tempo. Para isso recomenda-se um tempo de espera para a coleta de amostras de solução do solo em torno de 30 a 40 dias após aplicação do fertilizante. Outro fator a ser considerado é com relação a instalação dos extratores de cápsulas porosas, que deve ser realizada pouco tempo (1 a 2 dias) antes das amostragens, evitando obstruções das mesmas.

UNITERMO: amônio, nitrito, nitrato, fertirrigação, gotejamento, cápsula porosa.

GOMES, T. M., SAAD, J. C. C., CRUZ, R. L., DIAS, C.T. dos S. Evaluation of the concentration and distribution of nitrite, ammonium e nitrate deriving from the urea applied through trickle irrigation system

2 ABSTRACT

This experiment was conducted in the experimental irrigation area of the Department of Rural Engineering of the Faculty of Agronomical Sciences - UNESP/ Campus of Botucatu, with the objective of evaluating the concentration and distribution of ammonium, nitrite and nitrate deriving from the fertilizer urea in a trickle irrigation localized system.

The samples of the soil solution were collected at depths of 25, 50 and 75 cm on both sides of the trickle (left and right side) using porous capsules and the existing concentrations of ammonium, nitrite and nitrate were determined in the laboratory, using a spectrophotometer of continuous flow.

The application of fertilizer through fertigation was done with urea in the levels of 0, 30 and 60 kg of N.ha⁻¹ in three times of application, with the aim to estimate the concentration of nitrate, nitrite and ammonium after the last fertigation.

The values of the concentrations of ammonium and nitrite found in the samples of the soil solution in the different treatments, depths and bulbs did not reach, in most of the evaluations, contents utilized as standard (>0.2 mg.L⁻¹ and >0.05 mg.L⁻¹, respectively). The concentrations of nitrate in the soil solution for the levels of nitrogen evaluated at the three depths (25, 50 and 75 cm) studied did not show significant difference, although the concentration of nitrate in relation to the position of the trickle in the direction of the water flow was statistically higher on the left side, due to the slope of the soil.

The low concentration of nitrate found in the soil solution due to urea application, suggest the accomplishment of

¹ Parte da dissertação do primeiro autor

other studies involving the concentration and nitrate movement in the soil with the time. Therefore, we recommend a waiting period for the collection of the samples of the soil solution of about 30 to 40 days after the fertilizer application. Another factor to be considered is the installation of extractor of porous capsules, that must be done shortly after (1 to 2 days) the collection of samples, avoiding obstructions in the porous capsules.

KEY-WORDS: ammonium, nitrite, nitrate, fertigation, trickle irrigation system, porous capsules.

3 INTRODUÇÃO

A agricultura no Brasil é um dos setores produtivos que atravessa uma grande crise. É também a atividade que de modo geral faz pouco uso de tecnologia na produção. Consequentemente torna-se difícil produzir economicamente visando ainda aumento de produtividade. Tentando suprir a necessidade de um retorno rápido de capital, a irrigação aparece como sendo a técnica mais viável (Kalil, 1992).

A idéia básica da irrigação é suprir de água as plantas na quantidade necessária e no momento adequado, para obter a máxima produção e a melhor qualidade do produto. A escolha adequada do método de aplicação é importante para o sucesso de um empreendimento, e nesta escolha, todos os fatores devem ser considerados (Olitta, 1986)

Entre os métodos existentes, a irrigação localizada desenvolveu a técnica do gotejamento que proporciona melhores rendimentos utilizando uma maior frequência diária de irrigação, por unidade de área (Bertini, 1977).

Tentando obter um uso ainda mais racional da irrigação, criou-se a prática da fertirrigação, que permite a aplicação de fertilizantes na água de irrigação. Embora esta técnica seja relativamente antiga, no Brasil ainda são poucas as áreas que recebem fertirrigação, porém com as vantagens que oferece e a necessidade de se aumentar o uso da irrigação, abrem-se grandes perspectiva à utilização de tal prática. Contudo necessita-se de pesquisas sobre o assunto, tais como sistemas de injeção de fertilizantes, uniformidade de distribuição de água e fertilizantes na rede de irrigação e no solo (Zanini, 1987).

Desta forma, este trabalho teve como objetivo avaliar a distribuição e concentração de amônio, nitrito e nitrato do fertilizante uréia aplicado em diferentes doses, por um sistema de irrigação localizada em gotejamento no solo.

4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em campo aberto situado na área experimental do Departamento de Engenharia Rural, pertencente à Fazenda Experimental Lageado da Faculdade de Ciências Agrônomicas/Campus de Botucatu, UNESP. O clima segundo a classificação de Koeppen, é o Cwb (mesotérmico de inverno seco), em que a temperatura média do mês mais quente não ultrapassa 22°C, com o mês mais seco e mais frio.

O experimento foi instalado em seis canteiros medindo 1,20m de largura por 40 m de comprimento. Cada tratamento experimental foi representado por dois canteiros, portanto com uma área de 96m² por parcela.

Os tratamentos analisados foram:

- Tratamento 0 kg.ha⁻¹ de N: sem aplicação de fertilizante;
- Tratamento 30 kg.ha⁻¹ de N: aplicação de 50% do fertilizante recomendado;
- Tratamento 60 kg.ha⁻¹ de N: aplicação de 100% do fertilizante recomendado.

Na análise dos dados referentes a concentração e distribuição do íon nitrato na solução do solo utilizou-se o programa computacional SAS (Statistical Analysis System Institute), onde os dados originais (y) foram transformados em y^{0,3} utilizando apotência ótima de Box-Cox.

Para aplicação de água e fertilizantes foi utilizado um sistema de irrigação localizada por gotejamento automatizado, com uma linha de irrigação por canteiro e gotejadores espaçados de um metro. O gotejador utilizado foi Carborundum, modelo GFT, do tipo "on-line" de fluxo turbulento, que segundo o catálogo do fabricante deveria trabalhar com a vazão de 4l/h na pressão de serviço de 16 m.c.a.

Para avaliar as variações que ocorreram na vazão entre os emissores em virtude de diferenças inerentes ao processo de fabricação, como também determinar uma equação que relacione a vazão com pressão na entrada do emissor, foram selecionados aleatoriamente, de acordo com as recomendações da ABNT (1987), 50 gotejadores novos, que foram ensaiados no Laboratório de Irrigação do Departamento de Engenharia Rural da ESALQ-USP. Cada emissor foi submetido às pressões de 50, 100, 150, 200 e 250 kPa, medidas com um manômetro digital, coletando-se a água por meio de leitura direta e pesando-se em balança eletrônica. Em seguida os dados foram transformados em volumes, e posteriormente em vazões, cujo resultado é a média aritmética de três repetições. Para a determinação da uniformidade de aplicação da água do gotejador, em condições de campo, utilizou-se o método de Keller & Karmeli (1974), que consiste na coleta de água por meio de leitura direta e em seguida obteve-se os volumes com o auxílio de uma proveta. O tempo de duração para cada leitura foi de seis minutos, sendo suficiente para coletar volumes superiores a 200 ml (ABNT, 1986).

A água para a irrigação foi captada de um lago distante aproximadamente 80m da área experimental e bombeada por um motor elétrico de 5cv. A mesma foi conduzida até a estação de controle próxima a área por uma tubulação principal de 75mm de diâmetro, com reduções para 50 e 25mm até atingir as válvulas elétricas de distribuição de água. As válvulas estavam conectadas a linha secundária de borracha de 37,5mm de diâmetro que consequentemente se ligava às laterais. Na estação de controle ocorreram vários processos fundamentais, tais como a filtragem da água, mistura dos produtos para a fertirrigação e a distribuição da água para vários setores.

A irrigação era iniciada por meio de um controlador que acionava a bomba e as válvulas de distribuição de água.

O controlador da marca Rain Dial (Hardie) tem capacidade para seis válvulas e três programações distintas em três horários de partida nos diferentes dias da semana. O sistema era composto por três válvulas, cada uma delas responsáveis pela irrigação de dois canteiros. A válvula era constituída por um solenóide que recebia o sinal elétrico proveniente do controlador e em seguida processava a irrigação desejada. A automação do sistema foi muito eficiente, reduzindo consideravelmente o trabalho de execução da irrigação.

O fertilizante foi aplicado via água de irrigação, através do tanque de fertilizante conectado à rede por meio de pequenos tubos. Entre os pontos de união, colocou-se na tubulação de irrigação um registro, que ao ser fechado parcialmente produzia um pequeno gradiente de pressão, o qual causava a circulação de parte da água através do tanque. Desta forma a água atingia o fundo do tanque, misturava o fertilizante e novamente saía pelo outro tubo conectado na tubulação.

O tempo de irrigação foi determinado como apresentado na revisão de literatura por Shani (1981), onde a relação entre a quantidade de água que passa pelo tanque e o seu volume deve ser no mínimo igual a quatro, para garantir uma boa solubilização. Conforme Shani (1981), o período de aplicação do fertilizante não deve ser menor que 30 minutos.

Baseando-se nesta indicação, para este trabalho foi adotado o tempo de 32 minutos de fertirrigação, em função do volume do tanque e do tempo necessário para enchê-lo. Neste caso, o tanque de 95 litros levou 3 minutos para completar seu volume, sendo o tempo necessário para fertirrigação de 12 minutos. Como este valor é menor do que o mínimo recomendado, aplicou-se 32 minutos e como resultado a concentração residual no tanque no final da aplicação foi praticamente zero.

No manejo das fertirrigações, o sistema foi iniciado e finalizado somente com água por 10 minutos, como forma preventiva à futuros entupimentos. O fertilizante utilizado foi uréia, via água de irrigação, injetado através do tanque de fertilizante nas doses de 0, 30 e 60 kg.ha⁻¹ de nitrogênio. As fertirrigações foram parceladas em três épocas de aplicação. Com a finalidade de coletar amostras de solução do solo para análise da concentração de amônio, nitrito e nitrato aplicado ao solo por ocasião da última fertirrigação.

O uso de cápsulas porosas para extrair solução do solo é amplamente difundido, principalmente por causa do manejo fácil ao custo relativamente baixo, e pelo fato de o extrato obtido não requerer tratamentos prévios às determinações físico-químicas e à quantificação dos seus componentes (Moraes & Dynia, 1990).

O extrator de solução era constituído de um tubo de PVC (13 mm de diâmetro), acoplado a uma cápsula porosa e a um tubo de ensaio para armazenamento da solução extraída. Pelo tubo de PVC passavam dois tubos de nylon, o primeiro introduzido até mais ou menos $\frac{3}{4}$ do tubo com finalidade de aplicar o vácuo através de uma bomba elétrica, o segundo tubo atingia a extremidade do tubo de ensaio para retirada da solução absorvida. Nas extremidades dos tubos de nylon existiam pequenos tubos de látex para permitir uma melhor vedação do sistema e facilitar a extração da solução.

Na coleta de solução do solo foi aplicado vácuo de aproximadamente 60 kPa, logo após a fertirrigação. No dia subsequente o vácuo foi interrompido ao retirar a pinça presa ao tubo de látex e a solução coletada em seringas plásticas. Uma vez coletadas as mostras, estas foram acondicionadas adequadamente em recipientes neutros e enviadas ao laboratório onde processou-se o congelamento para futuras análises de nitrato. O tempo de vácuo para coleta do extrato necessário (20-30 ml) para análise de íons é variável dependendo da umidade do solo. Para solos com potenciais próximos de 0 kPa, precisa-se de um tempo de vácuo de aproximadamente uma hora e para potenciais próximos de -50 kPa (valor limite para retirada de solução de solo) de aproximadamente 48 horas. A técnica do extrator apresenta a grande vantagem de não ser destrutiva, podendo-se estudar variações da concentração de nitratos na solução do solo como uma função do espaço e do tempo (Reichardt et al., 1977).

Os extratores de solução de solo foram instalados a três profundidades distintas (25,50, 75 cm) em ambos os lados do gotejador, na disposição crescente (25, 50, 75 cm) e na decrescente (75, 50, 25 cm), distanciados a 15 cm entre si.

Para cada dose de nitrogênio, ou seja para cada tratamento, foram instalados três baterias de extratores, no início, meio e fim, totalizando 54 extratores em toda a área experimental.

A avaliação da concentração de amônio, nitrito e nitrato com base nos tratamentos aplicados pelo o sistema de irrigação foi efetuada utilizando-se o sistema analítico de injeção em fluxo contínuo (Zagatto et al., 1981).

As análises das amostras coletadas foram realizadas por injeção em fluxo no Departamento de Química Analítica do Centro de Energia Nuclear na Agricultura (Universidade de São Paulo/Piracicaba). O conjunto para análises em fluxo era constituído por uma bomba peristáltica, injetor proporcional, módulo de análise e demais acessórios, acoplado a um espectrofotômetro provido de cubeta de fluxo na presença de um registrador.

Mediu-se as alturas dos picos registrados a partir de linha básica e calculou-se as concentrações das amostras através de um programa de computador para esta finalidade.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Avaliação do sistema de irrigação

Para uma pressão de 150 kPa a vazão média verificada para o gotejador em estudo foi de 4,96 L.h⁻¹, com um desvio padrão de 0,12 L.h⁻¹ e um coeficiente de variação de fabricação de 2,4%. A variação da vazão do emissor, resultado da variação de fabricação, seguiu uma distribuição normal, de acordo com a citação de Abreu et al. (1987). Sob o ponto de vista do processo de fabricação o modelo do gotejador foi classificado como excelente, de acordo com a classificação da ASAE, citado por Keller & Bliesner (1990). O valor médio da vazão foi de apenas 1,8% superior ao valor nominal de 4,87 L.h⁻¹, fornecida pelo fabricante para uma pressão de 150 kPa. No entanto, como mostra o Quadro 1, os valores de vazão obtidos em ensaio em relação aos valores fornecidos pelo fabricante são menores para pressões inferiores (50 e 100 kPa) e maiores para

pressões superiores (200 e 250 kPa). Essa variação chega a atingir o valor de -17,3%, para pressão de 50 kPa e de 7,4% para a pressão de 250 kPa.

Quadro 1. Valores médios de vazão dos gotejadores obtidos para cada pressão de ensaio e o valor fornecido pelo fabricante.

Pressão (kPa)	Vazão de ensaio(L.h ⁻¹)	Vazão fabricante (L.h ⁻¹)	Diferença (%)
50	2,48	3,00	-17,3
100	3,93	4,08	-3,7
150	4,96	4,87	1,8
200	5,80	5,53	4,9
250	6,55	6,10	7,4

Submetendo os gotejadores selecionados a diferentes pressões à uma temperatura da água de 23°C, obteve-se os valores correspondentes de vazão e pressão. A equação característica vazão-pressão do emissor, cujos dados foram ajustados tem a seguinte forma:

$$q = 0,234 \cdot H^{0,603} \quad (1)$$

Onde:

q - vazão do emissor (L.h⁻¹)

H - pressão de serviço do emissor (kPa)

Como o valor do expoente de emissão ($x=0,603$), está no intervalo de 0,5 a 0,7, segundo Keller & Karmeli (1974), o seu fluxo é considerado parcialmente turbulento e instável, diferenciando do fluxo da equação $q = 0,54 \cdot H^{0,439}$, obtida a partir da curva característica fornecida pelo fabricante, que é totalmente turbulento.

A uniformidade de distribuição de água do sistema de gotejamento foi de 90,76%, sendo classificado segundo Keller & Karmeli (1974), como excelente, significando que a água foi uniformemente distribuída nas parcelas em qualquer nível de irrigação, não se constituindo em uma fonte de variação adicional no ensaio.

5.2 Análise da concentração e distribuição do fertilizante na solução do solo

Os valores da concentração de amônio e nitrito encontrados nas amostras coletadas de solução do solo nos diferentes tratamentos, profundidades e bulbos são apresentados no Quadro 2.

Quadro 2. Valores médios da concentração dos íons nitrito e amônio (mg.L⁻¹), para as três doses de nitrogênio (0,30 e 60 kg/ha de N), em três profundidades (25, 50 e 75cm) e em duas posições (bulbo esquerdo e direito).

AMOSTRA	NO ₂ (mg.L ⁻¹)	NH ₄ (mg.L ⁻¹)
TOP25D	< 0,05	< 0,2
TOP50D	< 0,05	< 0,2
TOP75D	< 0,05	0,83
Continuação do Quadro 2 ...		
TOP75E	< 0,05	< 0,2
TOP50E	< 0,05	< 0,2
TOP25E	< 0,05	< 0,2
T30P25D	0,06	0,50
T30P50D	< 0,05	< 0,2
T30P75D	0,32	< 0,2
T30P75E	< 0,05	2,48
T30P50E	< 0,05	< 0,2
T30P25E	< 0,05	< 0,2
T60P25D	< 0,05	2,16
T60P50D	< 0,05	0,32
T60P75D	< 0,05	0,37
T60P75E	< 0,05	< 0,2
T60P50E	< 0,05	< 0,2
T60P25E	< 0,05	< 0,2

T0P25D: Tratamento 0; Profundidade 25cm; Direito

T0: Tratamento 0 P25:Profundidade 25cm

D: Lado direito

T30:Tratamento 30 P50:Profundidade 50cm

E: Lado esquerdo

T60:Tratamento 60 P75:Profundidade 75cm

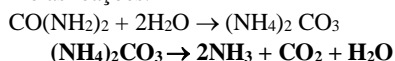
Observa-se pelos resultados que não houve variação significativa nos valores obtidos nas análises. As

concentrações de amônio e nitrito não atingiram na maioria, os valores mínimos de concentração utilizados como padrão ($> 0,2 \text{ mg.L}^{-1}$ e $> 0,05 \text{ mg.L}^{-1}$, respectivamente), não sendo possível aplicar análise estatística nos dados observados.

Estes resultados concordam com Ayres & Westcot (1991), onde descrevem que o nitrogênio mais facilmente assimilável encontra-se na forma de nitrato e de amônio. Porém a forma mais frequente nas águas de irrigação é a de nitrato, enquanto o nitrogênio na forma de amônio e nitrito é, raras vezes, superior a 1 mg.L^{-1} , a menos que contenham águas residuais ou fertilizantes com nitrogênio amoniacal.

Segundo Raij (1991) o nitrito é um ânion, em geral de existência efêmera no solo, sendo rapidamente oxidado a nitrato. Isto é importante, pois o nitrito é tóxico para as plantas e para animais que delas se alimentam.

A baixa concentração do íon amônio na solução do solo segundo Rodrigues & Kiehl (1986), também pode ser consequência da hidrólise enzimática da uréia no solo, produzindo carbonato de amônio, que por sua vez, desdobra-se facilmente em gases NH_3 e CO_2 e água conforme as reações.



Esse mecanismo de perda pode ter acentuado o aumento do pH em torno da região de aplicação dificultando a conversão para o íon amônio.

5.3 Nitrogênio na forma de nitrato ($\text{NO}_3^- - \text{N}$) na solução do solo

A uréia aplicada no solo via água de irrigação é desdobrada em $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ e CO_2 pela enzima urease. O amônio resultante pode ser adsorvido ao solo, adsorvido pelas plantas ou microorganismos ou transformado em nitrato ($\text{NO}_3^- - \text{N}$). A intensidade com que o amônio é convertido em nitrato tem grande importância no estudo do nitrogênio aplicado ao solo, por considerar-se o nitrato um íon móvel, bastante suscetível a perdas por lixiviação (Coelho, 1994).

É difícil prever o grau de mineralização da matéria orgânica que irá ocorrer em determinados períodos em que as plantas são cultivadas, dessa forma, a avaliação da disponibilidade do nitrogênio do solo é um assunto que apresenta maiores dificuldades.

A forma orgânica de nitrogênio se torna disponível lentamente, através do processo de mineralização, quando passa de N-protéico para N-amoniacal ou N-nítrico. O resultado desta mineralização pode alterar os teores inicialmente existentes.

A análise da variância e as médias dos valores relativos a concentração de nitrato em função dos tratamentos, profundidades e bulbos das amostras de solução do solo são apresentadas pelos Quadros 3 e 4, respectivamente.

Quadro 3. Análise de variância com decomposição dos graus de liberdade dos tratamentos, profundidades e bulbos para a variável concentração de nitrato na solução do solo.

Causas de variação	G.L.	S.Q	Q.M.	PR > F
Tratamento	2	0,765	0,382	0,1785 ^{ns}
Profundidade	2	0,0002	0,0001	0,9994 ^{ns}
Bulbo	1	1,180	1,180	0,0260*
Trat. x Prof.	4	0,128	0,032	0,9570 ^{ns}
Trat. x Bulbo	2	0,285	0,143	0,5066 ^{ns}
Prof. x Bulbo	2	0,623	0,311	0,2403 ^{ns}
Trat. x Prof. x Bulbo	2	0,001	0,0005	0,9973 ^{ns}
Resíduo	19	3,845		
Total	34	7,057		

* significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey

ns não significativo pelo teste

C. V. = 34,06%

Quadro 4. Médias de concentração de nitrato encontrados na solução do solo referentes a tratamento, profundidade e bulbo.

		N- NO_3^- (mg.L^{-1})		
Tratamento		Profundidade		Bulbo
T00	1,251 A	P25	1,195 A	D 1,180 B
T30	1,493 A	P50	1,377 A	E 1,559 A
T60	1,204 A	P75	1,351 A	

(*) Na coluna, os valores seguidos pela mesma letra não apresentam diferença significativa ao nível de 5% pelo teste de Tukey

Analisando os valores referentes a concentração de nitrato nas doses de nitrogênio aplicados via água de irrigação, nas três profundidades estudadas, verificou-se que não houve diferença significativa, ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste de Tukey entre os valores obtidos.

A baixa concentração do nitrato na solução do solo pode ter sido ocasionada pela não conversão da uréia em nitrato. Segundo Fornasieri Filho & Fornasieri (1993), fertilizantes amoniacais e amídicos colocados em condição aeróbica no solo serão transformados para a forma nítrica pelas bactérias nitrificadoras, em torno de 20 a 30 dias, após a aplicação.

Em experimento realizado por Haynes (1990) com aplicação de uréia via irrigação para análise de nitrato no tempo e espaço, a maior porcentagem de conversão de nitrogênio aplicado em nitrato ocorreu após 12 dias.

Outro fator que pode ter resultado em baixa concentração de nitrato na solução do solo foi o método de extração das amostras de solução do solo. O método da cápsula porosa segundo Moraes & Dynia (1990), apresenta o inconveniente da diminuição da taxa de infiltração na cápsula, devido a progressiva obstrução de seus poros por partículas coloidais do solo, criando um fator de erro por causa da variação temporal da concentração de certos íons como o nitrato. Além disso a formação de uma camada de argila na superfície externa da cápsula tende também a retardar a penetração de íons em solução.

De todos esses fatores discutidos, ainda pode ter ocorrido redução do N-mineral por desnitrificação em períodos úmidos ou por imobilização, causados pela microflora (Raij, 1991).

As análises da variância dos valores relativos à concentração de nitrato em relação a linha de gotejador (bulbo esquerdo e direito) revelaram-se significativas ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste de Tukey. Os dados mostraram tendência no acúmulo de nitrato na porção esquerda da linha de gotejadores em relação ao sentido de fluxo de água no sistema de irrigação. Esse resultado é explicado pelo fato do terreno caracterizar-se por um acentuado declive à direita do fluxo de água, conseqüentemente a água juntamente com o fertilizante sofreram a ação da gravidade e percolaram no terreno diminuindo a concentração de NO_3^- - N na porção direita da linha de gotejadores, concordando com as observações feitas por Verdade (1951) de que o nitrato no solo esta sujeito a variações na sua concentração decorrentes de fatores como clima, matéria orgânica, tratos culturais e declividade.

6 CONCLUSÕES

- O coeficiente de variação de fabricação (2,4%) e a uniformidade de distribuição de água (90,76%) do sistema de gotejamento, medida a nível de campo, classificam-se como excelentes, segundo Keller & Karmeli (1974).
- A concentração de amônio e nitrito encontrados nas amostras de solução do solo nos diferentes tratamentos, profundidades e bulbos não atingiram na maioria os valores mínimos de concentração utilizados como padrão (> 0,2 mg.L⁻¹ e 0,05 mg.L⁻¹, respectivamente).
- A concentração de nitrato na solução do solo para as doses de nitrogênio fertirrigadas nas três profundidades estudadas não apresentaram diferença significativa. A declividade do terreno resultou em maior concentração de nitrato na solução do solo coletada no lado esquerdo da linha de gotejadores, em relação ao sentido de fluxo de água.
- A baixa concentração de nitrato encontrado na solução do solo por aplicação de uréia, sugere a realização de outros estudos a respeito da concentração e caminhamento do nitrato no solo no espaço e no tempo. Para isso recomenda-se um tempo de espera para a coleta de amostras de solução do solo em torno de 30 a 40 dias após a aplicação do fertilizante, possibilitando uma completa transformação da uréia em nitrato. Outro fator a ser considerado é com relação a instalação dos extratores de cápsulas porosas, que deve ser realizada pouco tempo (1 a 2 dias) antes das amostragens, evitando obstruções das cápsulas porosas.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, J. M. et al. *El riego localizado*. Madrid: Instituto Nacional de Investigaciones Agrárias, 1987. 317p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Emissores para sistema de* ABRÉU, J.M H., LÓPEZ, J.R, REGALADO, A. P. et al. *El Riego Localizada*. In: CURSO INTERNACIONAL DE RIEGO LOCALIZADA, Tenéfe, 1987. Madrid: Instituto Nacional de Investigaciones Agrárias, 1987. 317p.
- AYRES, R. S., WESTOCOT, D. W. *A qualidade da água na agricultura*. Campina Grande: Universidade Federal da Paraíba, 1991. 218 p.
- BERTINI, K. Irrigação por gotejamento. PROGRAMA DE PRESERVAÇÃO DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS, Campinas: CATI, 1977. 2p.
- COELHO, A. M. Fertigação. In: COSTA, F. E., VIEIRA, R. F., VIANA, P. A. *Quimigação: aplicação de produtos químicos e biológicos via irrigação*. Brasília: Embrapa, 1994. p. 201-27.
- FORNASIERI FILHO, D., FORNASIERI, J. L. Nutrição mineral e manejo da fertilidade In: *Manual da cultura do arroz*. Jaboticabal: Funep, 1993.
- HAYNES, R. J. Movement and transformations of fertigated nitrogen below trickle emitters and their effects on pH in the wetted soil volume. *Fert. Res.*, v. 23, p. 105-12, 1990.
- KALIL, A. J. B. *Comparação entre a adubação nitrogenada via fertirrigação por gotejamento e aplicação convencional na produtividade da alfaca*. Viçosa, 1992. 60p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa.

- KELLER, J., BLIESNER, R. D. *Sprinkle and trickle irrigation*. New York: Van Nostrand Reinhold, 1990. 651p.
- KELLER, J., KARMELI, D. Trickle irrigation desing. *Trans. ASAE (Am. Soc. Agric. Eng.)*, v.17, p. 678-84, 1974.
- MORAES, J. F. V., DYNIA, J. F. Uso de cápsulas porosas para extrair solução do solo. *Pesqui. Agropecu. Bras.*, v. 25, p. 1523-28, 1990.
- OLITTA, A. F. L. *Apontamento de aula irrigação localizada*. Piracicaba: Departamento de Engenharia Rural, ESALQ, 1986. 24p.
- RAIJ, B. *Fertilidade do solo e adubação*. 60. ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 1991. 343p.
- REICHARDT, K. et al. Extração e análise de nitratos em solução de solo. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, v.1, p. 130-2, 1977.
- RODRIGUES, M. B. , KIEHL, J. C. Volatilização de amônia após emprego de uréia em diferentes doses e modo de aplicação. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, v. 10, p. 37-43, 1986.
- SHANI, M. *La fertilizacion combinada com el riego*. Tel Aviv: Ministério de Agricultura, 1981. 36p.
- VERDADE, F. C. Estudo da variabilidade dos nitratos num solo tipo terra roxa-misturada. *Bragantia*, v. 11, n. 10-12, p. 269-76, 1951.
- ZANINI, J. R. *Hidráulica de fertirrigação por gotejamento utilizando tanque de derivação de fluxo e bomba injetora*. Piracicaba, 1987. 103p. (Doutorado em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo.
- ZAGATTO, E. A. G. et al. *Manual de análises de plantas e águas empregando sistemas de injeção em fluxo*. Piracicaba: Centro de Energia na Agricultura, Universidade de São Paulo, 1981. 45 p.