

AVALIAÇÃO DO TEOR DE NITRATO LIXIVIADO EM ÁREA DE VÁRZEA CULTIVADA COM MILHO SOB DIFERENTES DOSES DE NITROGÊNIO¹

VELOSO, M.E.C.²; DUARTE, S.N.³; MIRANDA, J.H.⁴; DOURADO NETO, D.⁵; SILVA, E.C.⁶; CRUCIANI, D.E.⁷

RESUMO: O Brasil é o terceiro maior produtor de milho do mundo e possui 30 milhões de hectares de solos de várzea. O nitrogênio (N) é o nutriente absorvido em maior quantidade pela cultura do milho e o que apresenta maior custo. O manejo inadequado do N pode trazer sérios problemas de poluição ao ambiente. O objetivo deste trabalho foi verificar a potencialidade de poluição por nitrato em áreas de várzea cultivadas com milho submetido a diferentes doses N, na forma de uréia. O experimento foi conduzido em uma várzea com sistema de drenagem subterrânea implantado. Utilizou-se um delineamento experimental de blocos casualizados, com cinco tratamentos (0, 50, 100, 150 e 200 kg ha⁻¹ de N) e três repetições. Cada parcela possuía um dreno subterrâneo, um poço de observação, dois tensiômetros e dois extractores de solução do solo. Concluiu-se que aplicações de até 200 kg ha⁻¹ de N na cultura do milho, 2,5 vezes superior à recomendação da adubação de N, não afetou a qualidade da água coletada nas descargas dos drenos. Portanto, essas dosagens não representam preocupações de poluição ambiental.

Palavras-chave: *Zea mays*, lixiviação, ambiente, drenagem, lençol freático

LEACHING NITRATE CONTENT ASSESSMENT IN A LOW LAND AREA WITH CORN CROP UNDER DIFFERENT NITROGEN RATES

ABSTRACT: Brazil is the third largest world corn producer with a low land area of 30 million ha. Nitrogen (N) is the nutrient absorbed in larger scales by corn crop, and presents high costs. The inadequate management of N brings serious pollution problems for the environment. The objective of this work was to verify the pollution potentiality for nitrate at low land areas with corn crop implanted, submitted to different N rates, in the urea form. The research was carried out at a low land area, with a subsurface drainage system. The experimental design was a randomized complete blocks, with five treatments (0, 50, 100, 150 and 200 kg N ha⁻¹) and three replications. Each plot contained a subsurface drain, an observation hole, two tensiometers and two soil solution extractors. The obtained results showed that fertilizer nitrogen until 200 kg N ha⁻¹ in the corn crop, 2.5 times superior to the fertilizer nitrogen recommendation, did not affect the water quality collected by the drain discharges. Therefore, those dosages did not represent environmental pollution concerns.

Keywords: *Zea mays*, leaching, environment, drainage, water table

¹ Extraído da Tese de Doutorado do primeiro autor.

² Engenheiro Agrônomo, Embrapa Meio-Norte, Doutorando em Irrigação e Drenagem, Departamento de Engenharia Rural, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" - ESALQ/USP, Av. Pádua Dias, 11 CP. 09 CEP: 13.418-900, Piracicaba, SP, Fone: (19) 3429-4217, e-mail: meveloso@esalq.usp.br

³ Professor Doutor, Departamento de Engenharia Rural - ESALQ/USP, e-mail: snduarte@esalq.usp.br

⁴ Professor Doutor, Departamento de Ciências Exatas - ESALQ/USP, e-mail: jhmirand@esalq.usp.br

⁵ Professor Associado, Departamento de Produção Vegetal - ESALQ/USP, e-mail: dourado@esalq.usp.br

⁶ Engenheiro Agrônomo, Pós-doutorando do CENA/USP, Piracicaba, SP, e-mail: ecsilva@cena.usp.br

⁷ Professor Titular, Departamento de Engenharia Rural - ESALQ/USP, e-mail: cruciani@esalq.usp.br

Recebido pela Comissão Editorial em: 24.04.06

Aprovado pela Comissão Editorial em: 09.11.06

INTRODUÇÃO

A crise ambiental é cada vez maior na Terra, crescendo juntamente com o aumento desordenado da população, contribuindo para a redução da qualidade de vida e provocando um desequilíbrio nos recursos naturais e aumento da poluição, especialmente a médio e longo prazos.

O milho é um dos mais importantes cereais cultivados e comercializados no mundo. O Brasil é o terceiro maior produtor mundial de milho, superado pelos EUA seguido da China. O nitrogênio (N) é o nutriente absorvido em maior quantidade por essa cultura, o de maior custo e também o que mais influencia na resposta em produtividade de grãos, sendo a uréia o fertilizante nitrogenado mais utilizado na agricultura brasileira;

entretanto, o manejo inadequado do N pode trazer sérios problemas de poluição para o ambiente.

As áreas de várzea no Brasil são estimadas, segundo Lamster (1980), em 30 milhões de hectares. Essas áreas caracterizam-se por apresentar problemas de drenagem, possuir solos de média a alta fertilidade, apresentar proximidade a corpos d'água, representando grande potencial para a produção de alimentos. A exploração racional dessas áreas requer, geralmente, a implantação de sistema de drenagem e um manejo adequado do sistema solo-água-planta-atmosfera. A exploração intensiva de várzeas drenadas, geralmente, tem levado à aplicação de altas dosagens de fertilizantes, podendo contribuir para o desequilíbrio ambiental, especialmente por nitrato (NO_3^-).

O nitrato é um íon que promove o crescimento de algas e outras plantas aquáticas nos corpos d'água de superfície, o que afeta a qualidade da água para uso doméstico, recreação e dizima a população de peixes, por reduzir o teor de oxigênio na água. Para a saúde humana, a toxicidade de NO_3^- em altas doses tem efeito vasodilatador/cardiovascular e pode causar envenenamento fatal em crianças por escassez de oxigênio (metahemoglobinemia).

O nitrato é uma substância química altamente solúvel, que pode ser facilmente lixiviada da zona radicular das plantas e, assim, contaminar a água subterrânea. Entretanto, descargas de água subterrânea oriunda de drenos são escoadas naturalmente para os corpos d'água de superfície, onde o nitrogênio lixiviado do sistema radicular aparece.

Uma boa alternativa para avaliar e conhecer os níveis de nitrato presente nos campos agrícolas em regiões úmidas é monitorar o efluente de drenos, para o qual, geralmente, são convergidos todos os possíveis resíduos de fertilizantes utilizados. Nas regiões de clima úmido do Brasil há carência de estudos de lixiviação de nitrato nas descargas dos drenos, em função de doses crescentes de N no cultivo do milho em solos de várzeas com sistemas de drenagem subterrânea implantados. O melhor conhecimento desse fenômeno, para as condições brasileiras, é muito importante, pois propiciará a elaboração de estratégias e medidas preventivas ou minimizadoras de prováveis impactos ambientais, facilitando a gestão dos recursos hídricos da região.

O efeito da dose de N na produtividade e as perdas de N-NO_3^- na água de drenagem subterrânea necessitam ser quantificados para permitir adequado desenvolvimento econômico e, ao mesmo tempo, garantir o desenvolvimento sustentável das práticas agrícolas (BAKSH et al., 2000).

Os problemas com a contaminação por nitrato oriundo da água dos drenos subterrâneos vêm acontecendo há vários anos em Quebec, Canadá, e

nos EUA. O transporte de nitrato via água, nos escoamentos de drenos dos sistemas de drenagem subterrânea, freqüentemente excede a 10 mg L^{-1} . Esses efluentes são freqüentemente despejados no Rio Mississipi e ao chegarem no golfo do México, contribuem para o agravamento dos problemas de hipoxia (MITCHELL et al., 2000; JAYNES et al., 2004).

Zhu e Fox (2003) citam que o uso de 150 a 200 kg ha^{-1} de N contribuíram para o aumento da produtividade do milho em rotação com soja e as perdas por lixiviação por NO_3^- foram insignificantes.

Lawlor et al. (2005) avaliaram doses de N, variando de 0 a 252 kg ha^{-1} e lixiviação de NO_3^- na cultura do milho em rotação com soja, por um período de 16 anos, em uma área com sistema de drenagem subterrânea. Obtiveram as concentrações médias de N-NO_3^- nas descargas dos drenos superiores a 10 mg L^{-1} de NO_3^- e encontraram também uma forte correlação entre doses de N, precipitação pluviométrica, descargas dos drenos, concentração de NO_3^- e produtividade do milho.

Jaynes e Colvin (2005) avaliaram, em Iowa, EUA, a produção de grãos de milho e perdas de nitrato nas descargas dos drenos em função da aplicação de N. Em 2002 as precipitações pluviométricas totalizaram 2240 mm e ficaram bem abaixo da média regional, considerado como um ano atípico. A concentração de nitrato variou de 3,0 mg L^{-1} a 28,3 mg L^{-1} durante os quatro anos do experimento.

As precipitações pluviométricas constituem-se em um dos principais fatores a serem considerados nas avaliações de lixiviação de nitrato, em função da sua alta solubilidade e correlação com esse íon (WALKER et al., 2000; BAKSH et al., 2001).

Do exposto anteriormente, considera-se relevante o desenvolvimento de pesquisa sobre o comportamento do íon nitrato em áreas de várzea das regiões brasileiras de clima sub-úmido e úmido, cultivada com milho sob adubação nitrogenada e que contribua efetivamente para o desenvolvimento sustentável e melhoria da qualidade de vida do homem nessas regiões. O objetivo deste trabalho foi verificar a potencialidade de poluição por nitrato em áreas de várzea cultivada com milho submetida a diferentes doses de nitrogênio, na forma de uréia.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em uma várzea localizada no Campo Experimental de Drenagem pertencente ao Departamento de Engenharia Rural da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, da Universidade de São Paulo, ESALQ/USP, Piracicaba, SP, situado nas coordenadas geográficas de $22^{\circ}42'30''\text{S}$ e

47°36'00" W, a uma altitude média de 546 m. Segundo a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo CWa, tropical úmido, ocorrendo chuvas de verão e secas de inverno, com uma média anual de 1250 mm, aproximadamente (SENTELHAS, 1998).

Trata-se de uma área sistematizada, medindo 8.100 m² (180 m x 45 m), situada entre uma encosta e o Rio Piracicaba, em solo classificado como Gleissolo eutrófico, horizonte 'A' moderado, textura argilosa com inclusões de solos vérticos, que possui camada impermeável a aproximadamente quatro metros de profundidade. A condutividade hidráulica média do solo saturado (K_s) é de 0,61 m dia⁻¹, determinada pelo método do furo do trado. A área foi cercada por tela e o sistema de drenagem, já implantado, foi constituído por 19 drenos subterrâneos paralelos, de PVC corrugado, que desaguam em um coletor aberto. O espaçamento entre os drenos é de 10 m, instalados na profundidade de 1 m e declividade de 3‰. O comprimento dos drenos é de 45 m e o diâmetro dos tubos de PVC corrugado de 0,10 m, sendo utilizado como envelope de recobrimento dos drenos uma manta de poliéster (BIDIM TIPO OP-20 DA RODHIA). O canal coletor possui uma profundidade de 1,40 m e declividade de 0,002 m m⁻¹, com um desnível de aproximadamente 0,40 m de profundidade entre a saída dos drenos tubulares e o fundo do canal coletor (COSTA, 1994; DUARTE, 1997) (Figura 1). A área experimental encontrava-se em pousio por 10 anos e anualmente era roçada mecanicamente de duas a três vezes.

Utilizou-se um delineamento experimental de blocos casualizados, com cinco tratamentos (0; 50; 100; 150 e 200 kg ha⁻¹ N) e três repetições. A área de cada parcela foi de 302,4 m² (9 m x 33,6 m). Em cada parcela experimental havia um dreno subterrâneo na sua parte central. Entre as parcelas, ao longo dos drenos, foram

construídas valas feitas com um sulcador de cana-de-açúcar e camalhões construídos manualmente na parte superior, seguindo a orientação dos drenos subterrâneos, separando as parcelas.

Essas valetas foram construídas até chegarem ao dreno coletor e podiam funcionar também como sistema de drenagem superficial. No final de cada valeta foi colocado um tubo de PVC de esgoto de 1,5 m de comprimento e 0,1 m de diâmetro, deixando aproximadamente 0,8 m livre. Próximo ao dreno coletor fez-se uma pequena barragem para controlar o escoamento superficial, de maneira que a água da chuva fosse absorvida pelas plantas, evaporada, retida no solo ou drenada pelos drenos subterrâneos.

Antes da instalação do experimento foi realizada uma amostragem composta do solo, a uma profundidade de 0-0,20 m, para a sua caracterização física e química (Tabela 2).

A adubação para P, K e S foi definida em função da análise do solo para uma produtividade esperada de 8 a 10 Mg ha⁻¹, segundo Raij et al. (1997). A adubação de semeadura foi feita com adubadora mecânica, colocando-se 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅, 50 kg ha⁻¹ de K₂O e 40 kg ha⁻¹ de S, na forma de superfosfato simples, cloreto de potássio e superfosfato simples (12% de S), respectivamente. Posteriormente, em sulcos feitos com enxadas com 0,05 m a 0,10 m de profundidade, foram aplicados 30 kg ha⁻¹ de N, na forma de uréia, exceto para o tratamento testemunha.

Foram semeadas mecanicamente, no dia 05/11/04, 48 linhas de milho, espaçadas de 0,7 m, e com 170 m de comprimento, ocupando uma área de 5.712 m² (170 m x 33,6 m). Utilizaram-se sementes do milho híbrido simples 30P70, de ciclo precoce, da Pioneer, para uma população almejada de 60 mil plantas por hectare.

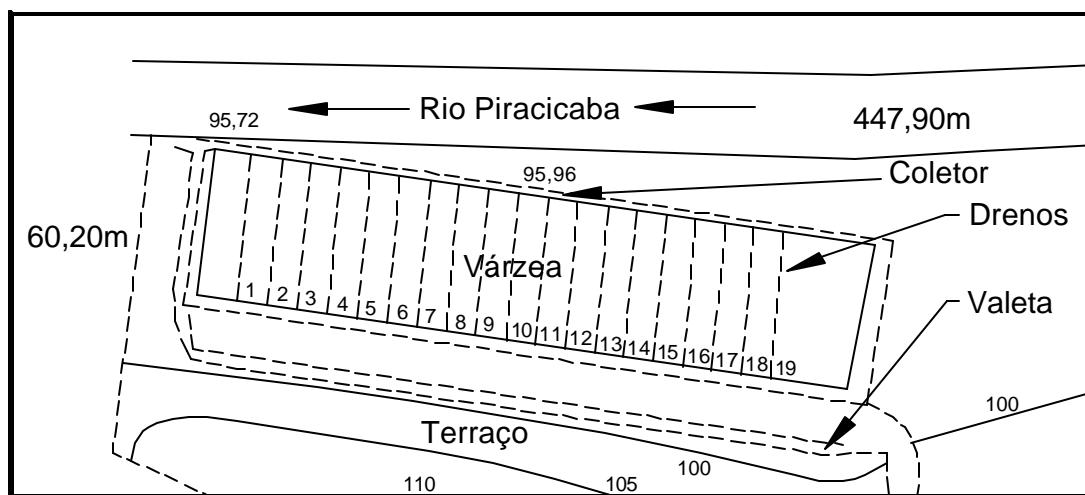


Figura 1 - Levantamento planialtimétrico do campo experimental de drenagem, localizada na ESALQ/USP

Tabela 1 - Resultados das análises químicas e físicas do solo na camada de 0 m a 0,20 m de profundidade, na área experimental antes da instalação do experimento

Análise química	Unidade	Resultado
pH (CaCl_2)	-	6,4
Matéria orgânica	g dm^{-3}	32
P (resina)	mg dm^{-3}	30
S	mg dm^{-3}	13
K	$\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$	1,3
Ca	$\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$	240
Mg	$\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$	160
Al	$\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$	0
H+Al	$\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$	25
SB	$\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$	401,3
CTC	$\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$	426,3
V	%	94
m	%	0
Micronutriente		
B	mg dm^{-3}	0,45
Cu	mg dm^{-3}	5,3
Fe	mg dm^{-3}	67
Mn	mg dm^{-3}	24,9
Zn	mg dm^{-3}	2,3
Análise granulométrica		
Areia	g kg^{-1}	180
Silte	g kg^{-1}	280
Argila total	g kg^{-1}	540
Classe de textura	-	argilosa

Sete dias após a semeadura do milho, instalaram-se poços de observação. Colocou-se um poço por tratamento, localizado a 15 m do coletor e a 2 m ao lado do dreno subterrâneo, totalizando 15 poços. As descargas dos drenos subterrâneos laterais foram medidas diariamente.

A emergência das plantas de milho ocorreu aos 11 dias após a semeadura, recebendo essa data a

classificação de 1º dia após a emergência (DAE). A adubação nitrogenada de cobertura, aplicada manualmente, foi realizada com uréia na superfície do solo, correspondente à complementação de cada tratamento (20; 70; 120 e 170 kg ha^{-1} de N), quando as plantas de milho estavam com seis a sete folhas expandidas, aos 31 dias após a emergência (DAE).

Os dados de chuva foram obtidos de uma Estação Meteorológica, localizada a aproximadamente 500 m da área experimental, até o 16º DAE. Nesta data, instalou-se um pluviômetro dentro da área experimental, cujas leituras foram feitas diariamente entre 8:00 h e 8:30 h.

Os tensiómetros e os extratores foram instalados aos 15 DAE, nas fileiras de milho, a uma profundidade média de 0,20 e 0,40 m e 2 m de distância do dreno subterrâneo. As tensões foram medidas diariamente, utilizando-se um vacuômetro digital (tensímetro).

Faziam-se leituras diárias das tensões dos extratores, de dois a quatro dias antes das coletas de solução e, sempre que necessário, fazia-se vácuo, deixando-os sempre com uma tensão superior a 70 kPa.

Os efluentes coletados nos drenos subterrâneos, nos poços de observação, nos extratores e nas valas, para análise de nitrato, foram realizadas aos 35, 38, 45, 59, 67, 81 e 126 DAE. As soluções foram colocadas em recipiente de plástico, de cor preta, com capacidade de 80 mL, aproximadamente. Em seguida, eram colocadas em caixa de isopor e transportadas para o Laboratório de Ecologia Aplicada (ESALQ/USP), permanecendo no freezer até o momento da análise.

As amostras dos efluentes eram retiradas do freezer e deixadas à temperatura ambiente para atingir equilíbrio e, em seguida, faziam-se as análises; utilizou-se o método da brucina. Coletavam-se 10 mL da solução da amostra e, em seguida, adicionavam-se 2 mL de NaCl, 10 mL de H_2SO_4 e mais 0,5 mL de brucina, permanecendo por 20 minutos em banho-maria a 105°C e, em seguida, procediam-se às leituras no colorímetro (AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, 1976).

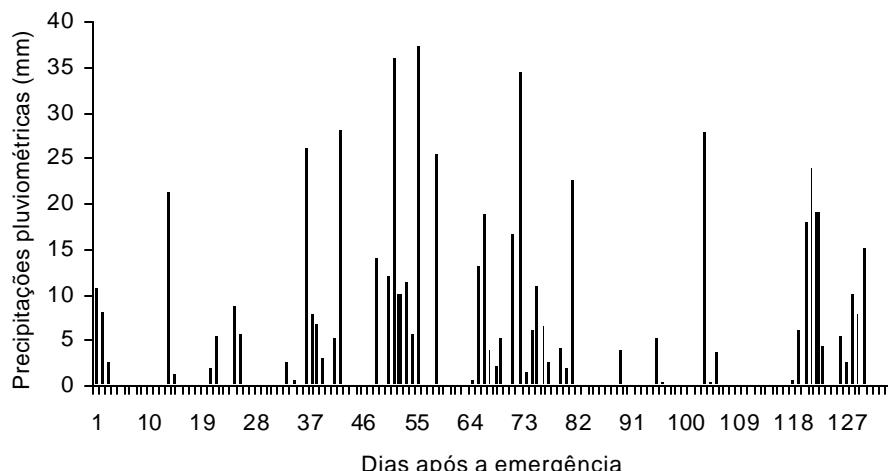


Figura 2 - Valores das precipitações pluviométricas (mm) ocorridas no período entre a emergência e a colheita do milho, Piracicaba, SP, 2004/05

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Verifica-se pela Figura 2 que, da emergência das plântulas de milho à colheita, houve uma boa distribuição das chuvas, capaz de atender, de um modo geral, a necessidade hídrica da cultura do milho, especialmente nos estádios de floração e enchimento dos grãos.

Nos meses de novembro, dezembro, janeiro, fevereiro e março houve uma precipitação pluviométrica total de 117 mm, 103 mm, 275 mm, 70 mm e 114 mm, respectivamente, ocorrendo maior intensidade de chuva no mês de janeiro, com um total no período de 562 mm. Esse dado mostra que a época de semeadura para o milho de sequeiro foi adequada, ficando dentro dos limites recomendados por Fancelli e Dourado Neto (2005) que é no mínimo de 350 a 500 mm de precipitação no verão para que se produza a contento.

Considerando que as precipitações pluviométricas de 558 mm e 499 mm ocorreram nos períodos da semeadura à colheita do milho e da adubação de cobertura de N à maturidade fisiológica, respectivamente, o caminhamento dos íons NO_3^- no solo, o valor médio de 1 mm mm^{-1} de chuva (0,5 mm mm^{-1} de chuva para solos argilosos e mais de 3 mm mm^{-1} de chuva para solos

arenosos, segundo Raij et al. (1997)), a lixiviação dos íons nitrato teria alcançado as profundidades, aproximadamente, de 0,56 m e 0,50 m, respectivamente, não chegando à profundidade de instalação dos drenos subterrâneos, que foi de 1 m de profundidade.

Os valores das tensões de água no solo mostram que a umidade do solo, provavelmente, tenha favorecido o crescimento e desenvolvimento da cultura do milho em função da boa distribuição pluviométrica e da água deslocada por percolação oriunda da encosta, ocorrida no período da pós-semeadura à colheita. Observa-se também que as tensões determinadas a 0,20 m foram maiores que 70 kPa somente em um curto período de tempo, de 96 a 100 DAE, aproximadamente, enquanto os tensiômetros instalados a 0,40 m de profundidade sempre estiveram abaixo desse valor (Figura 3).

Verificou-se que houve uma forte relação entre o aumento da intensidade de precipitação pluviométrica e a elevação das descargas nos drenos subterrâneos. Dados semelhantes também foram obtidos por Bakhsh et al. (2001). No período da emergência das plantas à colheita houve uma descarga média de 53,7 L h^{-1} , variando de 0,5 L h^{-1} a 651 L h^{-1} , com um desvio padrão de 82,3 L h^{-1} (Figura 4).

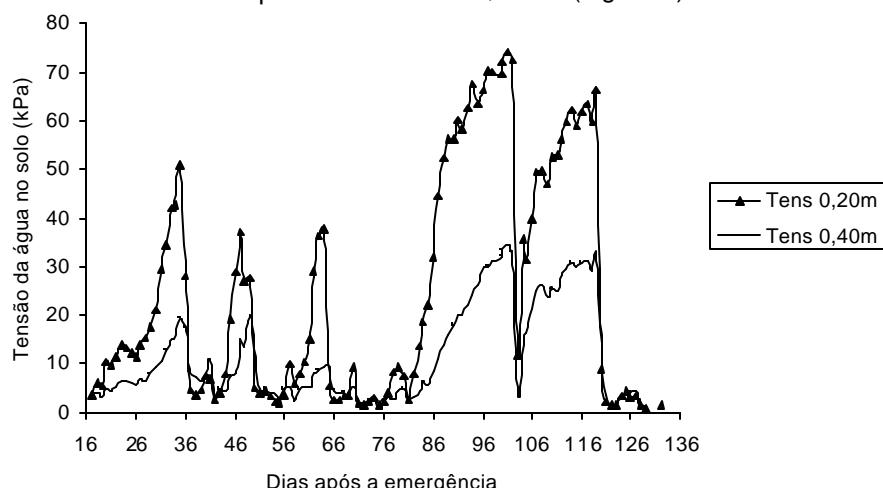


Figura 3 - Valores médios das tensões da água no solo (kPa), determinadas por tensiômetros instalados aos 0,20 m e 0,40 m de profundidade, Piracicaba, SP, 2004/05

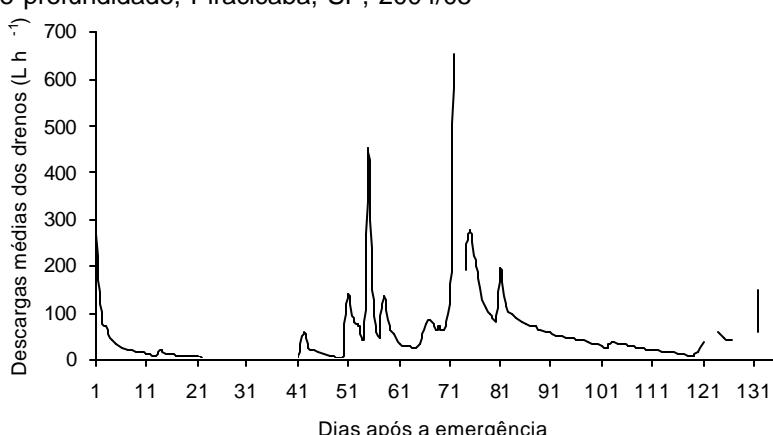


Figura 4 - Valores das descargas média dos drenos ocorridas no período da emergência à colheita do milho, Piracicaba, SP, 2004/05

Observa-se pela Tabela 2 que, na primeira coleta de efluentes dos drenos, realizada aos 35 DAE, quatro dias após a adubação de cobertura com N, somente dois drenos, dos 15 avaliados, estavam funcionando (drenando), com uma concentração de nitrato de 0,20 e 0,50 mg L⁻¹, correspondente, respectivamente, aos tratamentos de 100 e 150 kg ha⁻¹ de N. Esses valores são considerados muitos baixos, sem riscos para o ambiente. Concentrações máximas na água para consumo humano permitidas pelo Brasil e EUA são de 10 mg L⁻¹ e na União Européia e no Canadá de 50 mg L⁻¹ (TUNDISI, 2003). Isso mostra, provavelmente, que não houve precipitação pluviométrica entre a adubação de cobertura e a primeira coleta de efluentes, suficiente para lixiviar o N-NO₃⁻ para os drenos subterrâneos, sendo que foram registrados somente 3,1 mm de chuva nesse período. Além disso, a maior parte do N da uréia que possui forma amídica, provavelmente, ainda não teria se transformado em N-NO₃⁻.

A segunda coleta de efluentes dos drenos subterrâneos foi realizada aos 38 DAE, três dias após a primeira, em função das precipitações que ocorreram nesse período, totalizando 40,7 mm, tendo sido verificado que 53,33% dos drenos subterrâneos estavam funcionando. As concentrações de N-NO₃⁻ continuaram baixas, inferiores a 2 mg L⁻¹, sendo que houve um pequeno aumento de 1,4 e 0,8 mg L⁻¹ em relação aos tratamentos 3 e 4. Esses valores demonstram um pequeno aumento da lixiviação de N-NO₃⁻, provavelmente originado da adubação de cobertura e/ou mineralização da matéria orgânica do solo, que é favorecida pela aplicação de N inorgânico, em virtude do aumento da atividade dos microrganismos quimiorganotróficos (SCIVITTARO et al., 2000) da área experimental. Pode-se pressupor que o N oriundo da adubação de cobertura foi deslocado para camadas inferiores do solo e melhor disponibilizado para o sistema radicular do milho e/ou microrganismos do solo, tornando-se parte immobilizado (RAIJ et al., 1997).

Tabela 2 - Concentrações médias de N-NO₃⁻ (mg L⁻¹) e desvio padrão nos efluentes dos drenos, nos poços de observação e nos extratores (0,20 m e 0,40 m) coletadas na várzea cultivada com milho sob diferentes doses de nitrogênio, Piracicaba, SP, 2004/05

Doses N (kg ha ⁻¹)	Dias das coletas dos efluentes em DAE						
	35	38	45	59	67	81	126
Concentrações de N-NO ₃ ⁻ (mg L ⁻¹)							
Drenos							
0	1,4*	1,1±1,1**	0,7±0,3	0,7±0,7	0,9±0,4	0,7±0,5	
50	1,7±1,3**	1,1±0,4**	0,8±0,3	1,0±0,6	1,1±0,6	0,7±0,5	
100	0,2*	1,60*	0,4±0,0**	0,4±0,2	0,7±0,4	1,1±0,1	0,9±0,8
150	0,5*	1,3±0,9**	0,8±0,6**	0,4±0,3	0,9±0,6	1,2±0,4	0,5±0,2
200	1,0±0,3**	0,6 ±0,2	1,6±1,1	1,0±0,5	2,0±0,6	0,7±0,1	
Poços de observação							
0	1,3 ±0,6	0,9±0,4	3,9±5,5	5,1±6,4	1,0±0,7	0,4±0,2	4,7±4,3
50	0,7±0,6	0,4±0,1	3,7±3,9	2,2±2,5	0,7±0,5	0,3±0,1	4,0±4,9
100	0,4±0,3	3,1±3,8	5,8±6,0	6,7±7,8	5,9±8,2	1,9±2,4	2,6±0,7
150	1,9±2,3	0,4±0,3	5,3±2,6	7,1±5,4	6,7±6,0	5,5±8,5	6,9±3,3
200	0,4±0,3	0,7±0,4	3,5±2,7	5,4±7,8	8,7±5,4	1,0±0,3	5,5±4,6
Extratores instalados a 0,2 m de profundidade							
0	4,6±3,4	3,0±2,4	1,9±1,2	2,4±1,6	2,4±1,7	2,1±0,6	
50	14,9±13,4**	4,1±2,7	4,6±2,7	1,1±0,3	2,9±1,8	2,4±1,7	1,7±0,6
100	8,3±2,0**	13,2±16,9	5,4±4,3	0,5±0,1	3,6±3,9	4,4±4,7	3,00±1,4
150	32,9±39,7**	4,7±2,2	3,4±2,7	2,2±2,3	2,2±1,5	3,7±2,46	5,4±4,8
200	11,3±12,7**	2,1±1,5	1,0±0,5	0,9±0,3	1,7±2,0	1,6±0,7	2,7±0,6
Extratores instalados a 0,4 m de profundidade							
0	9,9±7,8	2,5±1,7	0,5±0,3	0,6±0,1	0,3±0,1	0,3±0,2	0,5±0,6
50	10,1±9,4	6,4±7,1	1,8±1,5	0,6±0,1	0,4±0,1	0,6±0,2	2,9±3,2
100	2,6±1,2**	2,7±0,2	2,9±3,7	2,0±1,6	1,3±1,7	4,4±6,6	2,8±4,2
150	7,8±6,6**	9,5±13,0	1,0±0,7	1,0±1,0	0,9±0,3	0,9±0,5	2,6±3,0
200	2,2±1,6	1,7±0,9	0,5±0,5	2,4±3,6	1,3±1,7	0,8±1,0	1,8±2,6

*Valores de uma observação. ** Valores de duas observações

Isto pode ter viabilizado um maior aproveitamento do N fertilizante pelo milho, que contribuiu para o aumento da produtividade da cultura com doses de até 200 kg ha⁻¹ de N, lixiviando muito pouco N-NO₃⁻, provavelmente, sem trazer prejuízo para o ambiente. Isto mostra que a adubação de nitrogênio de cobertura foi feita em uma época adequada, ocasionando pequena perda de N-NO₃⁻ por lixiviação, revelando que essa prática agrícola deve ser recomendada e, sempre que possível, deve-se evitar os meses em que ocorrem maiores concentrações pluviométricas, tornando-se assim numa importante prática agrícola que contribuirá para o crescimento e desenvolvimento das culturas sem trazer prejuízos para o ambiente.

Os dados da terceira coleta dos efluentes, realizada aos 45 DAE, sete dias após a segunda e com 73,33% dos drenos subterrâneos funcionando, evidenciaram uma pequena redução da concentração de N-NO₃⁻ quando comparada com a segunda coleta de efluentes, apresentando valores de concentração de nitrato inferior a 1,5 mg L⁻¹. Entre a segunda e a terceira coleta de efluentes ocorreu um total de precipitação pluviométrica de 36,6 mm. Isso mostra que as precipitações pluviométricas foram adequadas para atender a demanda hídrica da cultura e sem contribuir para o excesso de lixiviação de N-NO₃⁻, durante esse período. Também os dados dos efluentes dos drenos subterrâneos da quarta, quinta, sexta e sétima coleta, realizadas em intervalos de 8, 14 e 45 DAE, mostraram que as concentrações de N-NO₃⁻ continuaram menores que 2 mg L⁻¹, valores baixos, mostrando que a lixiviação do N oriundo do N fertilizante, N mineral do solo e N mineralizado da matéria orgânica não estava em níveis suportáveis. Esses dados concordam com os de Zhu & Fox (2003), que utilizaram 150 e 200 kg ha⁻¹ de N e encontraram perdas por lixiviação de nitrato insignificante, com um aumento na produtividade de milho, e discordam dos trabalhos de Bakhsh et al. (2000) e Jaynes e Colvin (2005).

Na água dos poços de observação (Tabela 2) detectou-se uma concentração de N-NO₃⁻ geralmente superior à obtida nas descargas dos drenos, apresentando entretanto um valor máximo de NO₃⁻ de 8,7 mg L⁻¹, abaixo dos valores médios recomendados para água potável, que é de 10 mg L⁻¹ no Brasil e EUA (TUNDISI, 2003). Essas maiores concentrações ocorreram, provavelmente, em função da área plantada e adubada com N, que foi de 33,6 m ao longo dos drenos de 45 m de comprimento, além das perdas por desnitrificação, que talvez tenham ocorrido durante o tempo que a água se movimentava do lençol freático para a saída dos drenos subterrâneos. Na primeira coleta de efluentes nos poços de observação observou-se uma variação na concentração de N-NO₃⁻ entre os tratamentos, sendo que o tratamento que não recebeu adubação nitrogenada foi superior aos demais, exceto

para o tratamento 3 (100 kg ha⁻¹ de N). Este fato mostra provavelmente que o N-NO₃⁻ tinha outras fontes, por exemplo, como do N-mineral do solo e a mineralização da matéria orgânica existente no solo de várzea. A disponibilidade do N do tratamento 1, que foi aumentando gradativamente até a quinta coleta, mostra que houve provavelmente uma mineralização da matéria orgânica. Em seguida, houve uma diminuição progressiva até a sexta coleta de efluentes e voltou a crescer na última coleta, ocorrida 45 dias após, mostrando provavelmente as grandes transformações do N no sistema solo-água-planta-atmosfera.

De um modo geral, os valores de concentração de N-NO₃⁻ do tratamento 2 aumentaram de forma gradativa até a terceira coleta, diminuindo em seguida para as duas coletas feitas posteriormente e voltou a subir novamente na última coleta, provavelmente em função da mineralização da matéria orgânica do solo. Os tratamentos 3 e 4 apresentaram um aumento gradativo do N-NO₃⁻ até a quarta coleta, apresentando uma tendência para diminuir a partir dessa data até a coleta final. Entretanto, o tratamento 5 apresentou um aumento até a quinta coleta, com uma tendência de declínio em seguida. Essas concentrações determinadas nos poços de observação não são suficientes para a causar a contaminação do lençol freático ou dos corpos d'água superficiais, mostrando também que os níveis de N não aumentaram os riscos de contaminação do ambiente.

Os valores da concentração de N-NO₃⁻ dos extratores instalados a 0,2 m de profundidade, referente à primeira coleta de efluentes, de um modo geral foram superiores às concentrações dos drenos, dos poços de observação e dos extratores instalados a 0,4 m de profundidade. Isto mostra a maior disponibilidade deste nutrientes para o sistema radicular efetivo das plantas de milho. A maior concentração ocorreu no tratamento 4, com 32,9 mg L⁻¹, com um desvio padrão de 39,7, seguida pelos tratamentos 2 e 5, com 14,9 e 11,3 mg L⁻¹, respectivamente de N-NO₃⁻. Isto mostra que a disponibilidade de N-NO₃⁻, provavelmente, teve outras fontes (matéria orgânica e N mineral) que contribuíram para essa disponibilidade, com uma grande variabilidade espacial desse nutriente, em função da própria formação dos solos de várzeas que têm como uma de suas características apresentarem uma elevada variação espacial dos elementos físicos, químicos e biológicos (SOUSA; LOBATO, 2004).

Na segunda coleta de solução, a maior concentração de N-NO₃⁻ foi para o tratamento 3, com 13,2 mg L⁻¹. A partir dessa coleta, os demais valores apresentaram uma tendência de redução, com valores de concentração de N-NO₃⁻ inferiores a 6 mg L⁻¹.

Os valores de concentração de N-NO₃⁻ encontradas nas soluções dos extratores instalados a 0,4 m de profundidade mostraram-se superiores,

geralmente, aos valores encontrados na primeira e segunda coletas dos efluentes, realizadas aos 35 e 38 DAE, nas saídas dos drenos subterrâneos e poços de observação. Entre a terceira e a última coleta de soluções, realizadas aos 45 e 126 DAE, respectivamente, as concentrações de N-NO₃⁻ foram inferiores a 4,5 mg L⁻¹.

CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos, nas condições do experimento, pode-se concluir que:

A adubação nitrogenada de até 200 kg ha⁻¹ na cultura do milho, 2,5 vezes superior à recomendação da adubação para o N, não afetou a qualidade de água nas descargas dos drenos por nitrato, ficando abaixo das recomendações das legislações brasileira, americana e européia; portanto, não contribui para o aumento da poluição dos recursos hídricos.

REFERÊNCIAS

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. American Water Works Works Association and Water Pollution Control Federation. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 14th ed. Washington, 1976. 1193 p.

BAKSH, A.; KANWAR, R. S.; JAYNES, D.B.; COLVIN, T.S.; AHUJA, L.R. Prediction of NO₃-N losses with subsurface drainage water from manured and un-fertilized plots using GLEAMS. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 42, n. 1, p. 69-77, 2000.

BAKSH, A.; KANWAR, S.R.; JAYNES, B.B.; COLVIN, T.S.; AHUJA, L.R. Simulating effects of variable nitrogen application rates on corn yields and NO₃-N losses in subsurface drain water.

Transactions of the ASAE. St. Joseph, v. 44, n. 2, p. 269-276, 2001.

COSTA, R.N.T. **Espaçamento econômico de drenos laterais e a dinâmica do lençol freático sobre o rendimento da cultura de milho (*Zea mays*, L.)**. 1994. 88 p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem). Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo. Piracicaba, 1994.

DUARTE, S. N. **Modelo para avaliação de desempenho de sistemas de drenagem subterrânea e cálculo de espaçamento de drenos**. 1997. 143 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 1997.

FANCELLI, A.L.; DOURADO NETO, D. Produção de milho em terras baixas. In: **Milho: tecnologia & produção**. Piracicaba: ESALQ, 2005. p. 21-33.

JAYNES, D.B.; COLVIN, T.S. Nitrate losses in tile drainage from mid-season N-fertilizer. In: ANNUAL INTERNATIONAL MEETING, 2005, Tampa. Meeting... Tampa: ASAE, 2005. 1CD ROM.

JAYNES, D.B.; KASPAR, T.C.; MOORMAN, T.B.; PARKIN, T.B. Potential methods for reducing nitrate losses in artificially drained fields. In: COOKE, R. A., INTERNATIONAL DRAINAGE SYMPOSIUM, 8., 2004, Sacramento. **Drainage VIII: proceeding...** Sacramento: ASAE, 2004.

LAMSTER, E.C. Programa nacional de aproveitamento racional de várzeas: provárzeas. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 6, n. 65, p. 3-8, 1980.

LAWLOR, P.A.; HELMERS, M.J.; BAKER, J.L.; MELVIN, S.W.; LEMKE, D.W. Nitrogen application rate effects on corn yield and nitrate-nitrogen concentration and loss in subsurface drainage. In: ASAE ANNUAL INTERNATIONAL MEETING, 2005, Florida. 17-20 July 2005. Paper number 052025. 1 CD ROM.

MITCHELL, J.K.; McISAAC, G.F.; WALKER, S.E.; HIRSCHI, M.C. Nitrate in river and subsurface drainage flows from an east central Illinois Watershed. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 43, n. 2, p. 337-342, 2000.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas: Instituto Agronômico, 1997. 285 p. (Boletim Técnico, 100).

SCIVITTARO, W.B.; MURAOKA, T.; BOARETTO, A.E.; TRIVELIN, P.C.O. Utilização de Nitrogênio de adubos verdes e mineral pelo milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, p. 917-926, 2000.

SENTELHAS, P.C. **Estimativa diária da evapotranspiração de referência com dados de estação meteorológica convencional e automática**. 1998. 97p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem)- Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1998.

SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. Adubação com nitrogênio. In: SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. **Cerrado:** correção do solo e adubação. 2.ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. p. 129-145.

TURNDISI, J.G. **Água no século XXI:** enfrentando a escassez. São Carlos: Rima IIE, 2003. 248 p.

WALKER, S.E.; MITCHELL, J.K.; HIRSCHI, M.C.; JOHNSEN, K.E. Sensitivity analysis of the root zone water quality model. **Transactions of the ASAE.** St. Joseph, v. 43, n. 4, p. 841-846, 2000.

ZHU, Y; FOX, R.H. Corn-soybean rotation effects on nitrate leaching. **Agronomy Journal,** Madison, v. 95, p. 1028-1033, 2003.