

MOVIMENTO DE NITRATO PROVENIENTE DE ÁGUA RESIDUÁRIA EM COLUNAS DE SOLOS¹

ELIANE R. S. GOMES², SILVIO C. SAMPAIO³, MARCUS M. CORRÊA³
MÁRCIO A. VILAS BOAS³, LUIS F. A. ALVES⁴, TEODORICO A. SOBRINHO⁵

RESUMO: O presente trabalho foi realizado visando à avaliação do movimento do nitrato ($N-NO_3^-$) proveniente de águas residuárias de frigorífico, em colunas de solo. No experimento, foram utilizados dois tipos de solo, um de textura argilosa e outro de textura arenosa, ambos corrigidos com calcário, quatro colunas de PVC, de 500 mm de comprimento e 75 mm de diâmetro. Após saturação com $CaCl_2$ 0,01 M, foi mantida na parte superior de cada coluna, por meio de frasco de Mariotte, uma lâmina de 100 mm da água residuária, que permitiu uma lâmina total de infiltração correspondente a 2,5 vezes o volume total de poros de cada coluna avaliada. Foi coletado, para cada coluna, um total de 100 amostras do efluente percolado, sendo analisadas 20 amostras com intervalo de cinco amostras. As análises realizadas foram: pH, condutividade elétrica (CE) e concentrações de nitrato. Os resultados mostraram uma elevação na taxa de nitrato acima da concentração inicial C_0 , para todos os efluentes percolados nos solos, sendo esses valores mais acentuados para a coluna de solo arenoso com calcário. A adição de calcário induziu uma predisposição para a lixiviação do nitrato e apresentou menor diminuição no pH do lixiviado. O solo arenoso, independentemente do calcário, apresentou maior lixiviação de sais totais e de nitrato.

PALAVRAS-CHAVE: poluição do solo, dinâmica de soluto, lixiviação de sais.

NITRATE MOVEMENT FROM WASTEWATER IN SOIL COLUMNS

SUMMARY: The present work was accomplished seeking the evaluation of the movement of the nitrate ($N-NO_3^-$) originated from freezer residual waters in soil columns. For the experiment two soil types were used, one of loamy texture and another of sandy texture, respectively areas from Medianeira and Umarama, Paraná - Brazil. Four columns of PVC, of 500 mm of length and 75 mm of diameter, were mounted and filled out with the soils, with and without limestone (80% $CaCO_2$). In the columns, after saturation with $CaCl_2$ 0,01 M, was maintained in the superior part, through flask of Mariotte, a sheet of 100 mm of residual water which allowed a displaced fluid in a total of 2.5 times the total volume of pores (V_p). It was collected for each column a total of 100 samples of the percolated effluent and it was analyzed 20 samples in an interval of each 5 samples. It was analyzed pH values, electric conductivity (CE) and concentrations of nitrate. The results of this study showed an elevation in the rate of nitrate over the initial concentration C_0 , for all the percolated effluent in the soils, being these values more accentuated for the column of sandy soil with limestone. The limestone addition induced a predisposition lixiviation of the nitrate and also a smaller decrease in the pH of the leached. The sandy soil, independently of the limestone, presented a larger lixiviation of total salts and of nitrate.

KEYWORDS: soil pollution, solute dynamic, salts leaching.

¹ Extraído da dissertação de Mestrado apresentada pela primeira autora à UNIOESTE/Cascavel/Engenharia Agrícola.

² Professora do CEFET-PR, Unidade de Medianeira - PR.

³ Professor Adjunto da área de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental - RHESA/UNIOESTE.

⁴ Professor Adjunto da UNIOESTE/Cascavel/CCBS/Biologia.

⁵ Professor Adjunto da UFMS/Agronomia.

Recebido pelo Conselho Editorial em: 21-6-2002

Aprovado pelo Conselho Editorial em: 23-6-2004

INTRODUÇÃO

O uso de produtos químicos de maneira inadequada em áreas agrícolas representa uma grande ameaça, pois muitos processos envolvidos nas interações desses com o ambiente ainda são desconhecidos, e a natureza orgânica das moléculas de muitos produtos não permite sua degradação.

Como são pouco conhecidos o destino e os efeitos do transporte dessas moléculas no solo, os recursos hídricos agem como integradores de processos biogeoquímicos de qualquer região e, quando produtos químicos são introduzidos, os recursos hídricos, sejam superficiais, sejam subterrâneos, aparecem como destino principal.

Conhecer a disponibilidade dos sistemas aquíferos e a qualidade de suas águas é primordial ao estabelecimento de políticas de gestão das águas subterrâneas. E, apesar de toda complexidade envolvida no sistema solo-água-planta, e em face da necessidade de melhor equacionamento da disposição de águas residuárias de agroindústrias no solo e sua ação fertilizante, procurou-se contribuir para o desenvolvimento da pesquisa nesta área, buscando informações científicas sobre o assunto em solos de clima tropical, brasileiros, por meio de um trabalho experimental. Desse modo, tem-se como objetivo geral do trabalho, a avaliação do movimento do nitrato e de sais totais provenientes de águas residuárias de frigorífico em colunas de solos, em dois tipos de solos com e sem calcário.

MATERIAL E MÉTODOS

As amostras de solo foram retiradas de unidades de solos pertencentes a dois tipos de solos diferentes: Latossolo Vermelho eutrófico de textura argilosa e Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico de textura franco-arenosa (EMBRAPA, 1999), comumente chamado de “Arenito Caiuá”, respectivamente das cidades de Medianeira e Umuarama, ambas do Estado do Paraná.

Durante a coleta em campo, quatro amostras simples foram retiradas em locais diferentes da área escolhida, para cada classe de solo e profundidades de 0-20 cm do perfil do solo. Todas as amostras retiradas foram secas ao ar e passadas em peneira com malha de 2 mm para formar amostras de terra fina seca ao ar (TFSA) para serem analisadas fisicamente (EMBRAPA, 1997).

Após o preparo das amostras, para cada classe de solo, realizou-se a correção de pH, de acordo com as análises químicas previamente realizadas.

Desse modo, obtiveram-se duas classes de solos em quatro condições diferentes para serem avaliados, que foram identificados como:

- Latossolo Vermelho eutrófico textura argilosa - (ARG)
- Latossolo Vermelho eutrófico corrigido textura argilosa - (ARG C)
- Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico textura franco arenosa corrigido - (ARE)
- Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico textura franco arenosa corrigido - (ARE C)

Nas Tabelas 1 e 2, apresentam-se os valores das características químicas e físicas para os solos utilizados no experimento, respectivamente.

TABELA 1. Características químicas dos solos utilizados antes do experimento.

Solo	pH	C	H ⁺ +Al ³⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	P	Cu	Zn	Fe	Mn	B	SB	CTC	V
	CaCl ₂	(%)	cmol _c dm ⁻³			mg dm ⁻³						cmol _c dm ⁻³	(%)		
ARG	5,20	0,331	3,69	0,26	4,14	1,30	1,90	18,30	0,80	107,00	77,30	anr	5,70	9,39	60,70
ARG C	5,20	0,779	2,95	0,10	5,15	1,64	1,50	16,39	2,81	138,00	81,00	anr	6,89	9,84	70,02
ARE	5,40	0,234	2,54	0,09	1,41	0,31	1,00	2,85	22,00	240,00	39,60	0,05	1,81	4,35	41,61
ARE C	5,80	0,390	1,75	0,10	1,99	0,78	1,50	5,05	14,00	250,00	26,80	0,05	2,87	4,62	62,12

SB - soma de bases; CTC - capacidade de troca catiônica; V - saturação de bases; anr - análise não realizada.

De acordo com as análises químicas (Tabela 1) e o PRNT do calcário (80%), foram aplicadas para a correção dos solos 1 t ha^{-1} e 2 t ha^{-1} , para os solos ARG e ARE, respectivamente. Ressalta-se que o calcário foi misturado de modo homogêneo em toda a massa do solo, em ambos os casos. Os solos corrigidos foram utilizados após um período de dois meses de reação com o calcário.

TABELA 2. Características físicas dos solos utilizados antes dos testes experimentais.

Granulometria dos Solos	ARG	ARE	ARG C	ARE C
Argila (g kg^{-1})	700	220	700	22
Silte (g kg^{-1})	130	200	130	200
Areia (g kg^{-1})	170	760	170	760
Massa específica de partículas (Mg m^{-3})	3,16	2,76	3,16	2,76
Massa específica do solo (Mg m^{-3})	1,18	1,55	1,18	1,55

As águas residuárias utilizadas no experimento foram provenientes das lagoas de tratamento de efluentes da unidade de abate de suínos e industrialização da Cooperativa Central Agropecuária Sudoeste (SUDCOOP), localizada na cidade de Medianeira. Essa unidade utiliza, em seus processos de tratamento de efluentes, lagoas facultativas e aeróbicas e de estabilização, sendo já utilizadas em estudos de fertirrigação (RODRIGUES, 2001 e JUCHEN, 2000). As características físico-químicas da água residuária utilizada no experimento estão na Tabela 3.

TABELA 3. Características físico-químicas médias das águas residuárias de frigorífico.

Características	Método	Expresso	Unidade	Valor
Temperatura	Termométrico	Graus	$^{\circ}\text{C}$	25
pH	Potenciométrico	Unidade	--	7,90
Sólidos totais a 103°C	Gravimétrico	Sólidos	mg L^{-1}	1.395
DBO/5	Diluição	O_2	mg L^{-1}	180
DQO	Refluxo/Ampola	O_2		156
Matéria sedimentável	Volumétrico	--		< 0,10
Fósforo total	Ácido Ascórbico	$\text{P}(\text{PO}_4)$	mg L^{-1}	6,41
Nitrogênio total	Kjeldahl	N	mg L^{-1}	60,34
Nitrato	Colorimétrico	N-NO_3^-	mg L^{-1}	3,00
Condutividade elétrica - CE	Condutímetro	Teor de sais	mS cm^{-1}	2,60
Óleos e graxas	Extração com éter/gravimétrico	Óleos e graxas	mg L^{-1}	13,0
Cálcio	Titulométrico	Ca	mg L^{-1}	3,69
Sódio	Fotômetro de chama	Na	mg L^{-1}	287,5
Potássio	Fotômetro de chama	K	mg L^{-1}	20,0

Utilizaram-se, nos experimentos, colunas de PVC de 75 mm de diâmetro e 50 cm de comprimento, deixando-se uma folga de 15 cm na parte superior para proporcionar uma carga hidráulica de 10 cm de coluna de líquido.

Na Tabela 4, são apresentados alguns parâmetros calculados em função da sua caracterização física inicial (Tabela 2).

TABELA 4. Parâmetros do solo nas colunas.

Colunas de Solos	ARG	ARG C	ARE	ARE C
Massa total de solo (g)	2.606,54	2.606,54	3.361,90	3.361,90
Volume de poros (cm ³)	1.384,07	1.384,07	968,40	968,40
Volume de solo na coluna (cm ³)	2.208,93	2.208,93	2.168,97	2.168,97
Vp (%)	0,63	0,63	0,45	0,45
Fluxo (m dia ⁻¹)	1,79	1,92	1,14	1,27
Velocidade real (m dia ⁻¹)	2,85	3,05	2,54	2,83

Vp - volume de poros, que representa porosidade total do solo.

Após a saturação natural da coluna de solo, com a finalidade de evitar eventual desestabilização estrutural do solo, aplicou-se uma solução de cloreto de cálcio (CaCl₂ 0,01 mol), seguindo metodologia proposta por CORRÊA (1996). Ressalta-se que o efeito químico dessa solução não foi considerado nas análises posteriores, visto sua baixa concentração. Uma vez montadas as colunas e garantida a estabilidade estrutural do solo, promoveu-se a aplicação da água residuária, perfazendo um total de 2,5 vezes o volume total de poros (Vp) de cada coluna, como mostrado na Tabela 4. Esse volume de poros (Vp = 2,5) foi uma forma de garantir o deslocamento do nitrato até a extremidade inferior da coluna, pois a literatura indica o valor de duas vezes o volume total de poros para soluções puras de nitrato (CORRÊA, 1996).

O monitoramento da água percolada por meio das colunas iniciou-se com a primeira gota de água lixiviada em sua extremidade inferior, sendo o tempo de coleta estimado pelo fluxo de água em cada coluna (Tabela 4). Coletaram-se 100 amostras individuais em cada coluna, e cada unidade de amostra correspondeu a 1% do volume total da água residuária percolada na coluna, ou seja, 1% de 2,5 Vp. Todas as amostras lixiviadas nas quatro colunas, num total de 400 amostras, foram coletadas em provetas graduadas, perfazendo um volume coletado de 50 mL sob cada coluna. Após a coleta, todas as amostras foram transferidas para copinhos plásticos descartáveis, devidamente identificados e numerados, sendo posteriormente armazenadas em coletores plásticos fechados, sob refrigeração, em temperatura próxima a 0° C.

Analisaram-se os teores de nitrato, pH e condutividade elétrica (CE) diretamente nas amostras coletadas, após o restabelecimento da temperatura ambiente, visto que todas estavam armazenadas sob refrigeração. Observando a ordem cronológica de coleta das 100 amostras coletadas, analisaram-se apenas 20, pois usaram-se intervalos de cinco amostras. Esse procedimento é sugerido na literatura consultada, porque o número analisado de 20 amostras é suficiente para descrever um comportamento temporal. A dinâmica do movimento do nitrato, condutividade elétrica (CE) e pH foram avaliados, fazendo-se gráficos bidimensionais. De posse dos valores de concentração de nitrato, obtidos por espectrofotometria (EATON et al., 1995), foram construídas as curvas de chegada do produto, relacionando-se a concentração relativa C/C₀, ou seja, a relação entre a concentração do composto, determinada na alíquota amostrada e a concentração inicialmente adicionada no topo da coluna.

Para o ajuste dessas curvas, foram utilizados o “software” CXTFIT, desenvolvido por PARKER & GENUCHTEN (1984), em que os dados de entrada são a concentração relativa (C/C₀) do parâmetro avaliado e seu volume de poros respectivo. Esse “software”, além de permitir o ajuste da curva de eluição, estima também os coeficientes hidrodinâmico e dispersivo do elemento avaliado, para que sejam utilizados na simulação de deslocamentos de elementos químicos no solo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A variação ocorrida com o pH do efluente percolado em cada coluna, durante o experimento, é apresentada na Figura 1.

Ressalta-se que o pH nas amostras coletadas para os solos ARG, ARG C, ARE e ARE C, da água residuária utilizada como fluido deslocador, foi igual a 7,9 para todas as colunas, pois a água residuária foi a mesma.

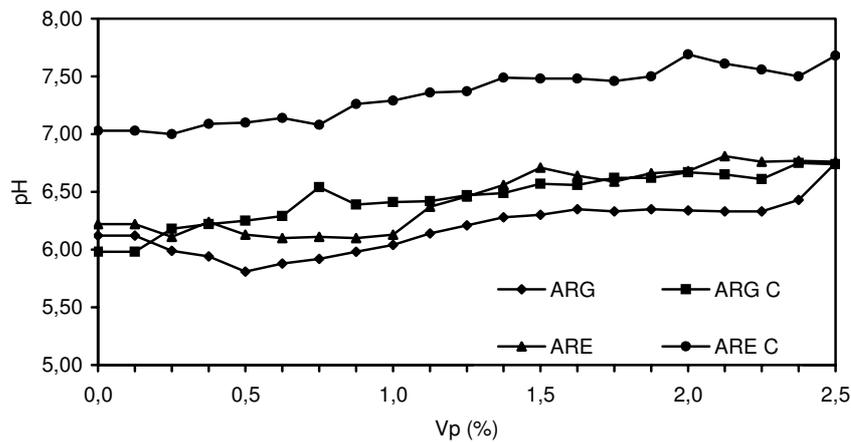


FIGURA 1. Medidas de pH do efluente das águas residuárias de frigorífico observadas no ensaio de lixiviação para os solos avaliados em função do Vp.

Na água residuária de frigorífico, a avaliação de pH esteve sempre, nos períodos dos ensaios, entre 7,9 e 8,2, valor considerado normal para a utilização na fertirrigação, segundo FAO (1985). Somente para o solo argiloso sem calcário observou-se que houve uma pequena acidificação nas amostras lixiviadas para o primeiro Vp. RODRIGUES (2001), utilizando-se de água residuária semelhante em fertirrigação, não encontrou variações sensíveis no pH do solo, indicando que o sistema água-solo-planta tem capacidade de tamponar variações de pH originadas da mineralização bacteriana da matéria orgânica advinda dos efluentes.

Os valores superiores no pH do lixiviado na coluna com solo ARE C, quando comparado ao solo ARG, devem estar associados, provavelmente, ao efeito da correção ter sido mais eficiente no solo ARE.

A variação ocorrida com o CE do efluente percolado em cada coluna apresenta-se na Figura 2. Nessa Figura, verifica-se que, logo nas primeiras coletas para todas as colunas, os valores de CE se iniciam próximos ao do fluido deslocador de saturação inicial (CaCl_2) que é de $2,03 \text{ mS cm}^{-1}$. Observa-se que os valores de CE para a água residuária nos solos argilosos (ARG e ARG C) e arenosos foram de $2,36 \text{ mS cm}^{-1}$ e de $1,90 \text{ mS cm}^{-1}$, respectivamente.

Nota-se, nos solos argilosos, que, no início, a CE determinada no final da coluna foi relativa à água ($2,03 \text{ mS cm}^{-1}$) que percolava no solo antes da água residuária. A seguir, quando a frente de molhamento da água residuária foi alcançando o final da coluna, a CE foi aumentando, porém o máximo não correspondeu àquele referente à CE da água residuária ($2,60 \text{ mS cm}^{-1}$), uma vez que o solo reteve parte desses sais. Além disso, essa retenção provoca um efeito acumulativo no tempo, provocando assim a pequena queda nos valores de CE. Ressalta-se que essa retenção acontece por um período que corresponde ao potencial de saturação de sais do solo. A partir desse ponto, inicia-se o processo de lixiviação desses sais, atingindo valores iguais ou até superiores àqueles registrados na água residuária, que caracteriza como fonte de entrada de sais.

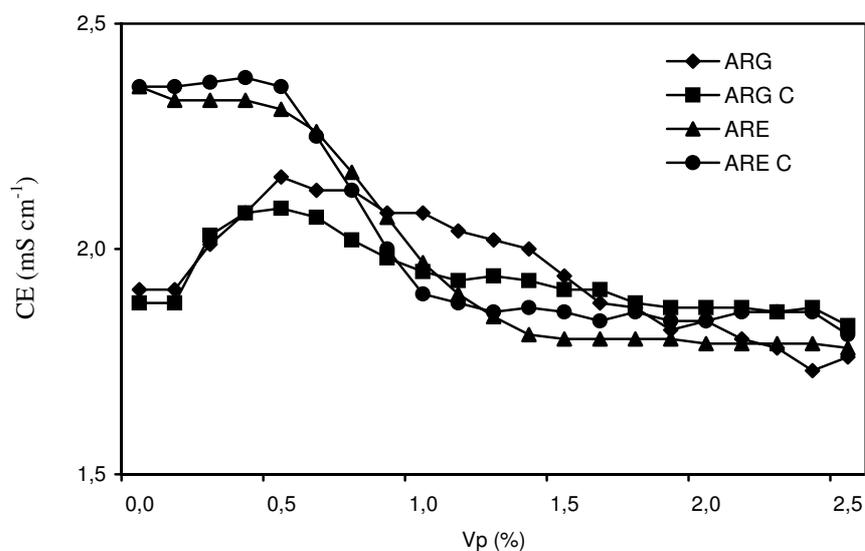


FIGURA 2. Medidas de condutividade elétrica (CE) das águas residuárias de frigorífico observadas no ensaio de lixiviação para os solos avaliados.

Nos solos arenosos, o comportamento foi semelhante, porém, provavelmente, a primeira coleta amostrada já possuía traços da frente de molhamento da água residuária. Assim, o início da curva esperada não foi detectado, em função de o fluxo do solo arenoso ser maior que o argiloso. Outros pontos importantes são os valores máximos de CE encontrados nesses solos serem maiores que os argilosos, como também apresentarem uma taxa de queda mais acentuada nesses referidos valores, ao longo do tempo. A principal causa desse efeito, provavelmente, é a menor retenção de sais em solos argilosos, ou seja, existe lenta interação entre o solo e a água residuária, provocada pela maior permeabilidade do solo arenoso e sua baixa CTC.

Observa-se, também, que a faixa de condutividade elétrica (CE) nas amostras coletadas e na água residuária inicial possui de ligeira a moderada restrição para disposição no solo sem diluição (FAO, 1985). RODRIGUES (2001), trabalhando com a mesma água residuária diluída oito vezes, observou que essa restrição deixa de existir.

Resultados das análises de solo realizadas com amostras homogêneas da metade superior de cada uma das quatro colunas de solos são descritos na Tabela 5, e os resultados foram comparados à sua análise inicial.

Os resultados obtidos demonstram que as aplicações das águas residuárias de frigorífico provocaram modificação nos níveis de macro e micronutrientes nos solos, após os ensaios. Ressaltam-se as modificações nos teores de Ca^{+2} , que foram de 56,5% para o solo ARG, 92,6% no solo ARG C, 53,9% no solo ARE e de 64,4% no solo ARE C.

TABELA 5. Características químicas dos solos após realização dos testes experimentais.

Solo	pH	C	$\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	P	Cu	Zn	Fe	Mn	B	SB	CTC	V
	CaCl_2	(%)	cmol _c dm ⁻³							mg dm ⁻³			---	---	(%)
ARG	5,90	0,468	2,95	0,23	6,48	0,70	9,10	13,42	3,88	108,73	86,71	anr	7,41	10,36	71,53
ARG C	5,90	0,545	2,36	0,33	9,92	2,12	23,00	14,95	4,67	91,82	97,96	anr	12,37	10,73	83,98
ARE	5,60	0,256	2,03	0,14	2,17	0,44	28,00	2,56	9,86	344,75	317,80	anr	2,75	4,78	57,53
ARE C	5,80	0,156	1,63	0,14	3,09	0,99	12,30	2,51	8,99	303,75	15,05	anr	4,22	5,85	72,14

SB - soma de bases; CTC - capacidade de troca catiônica; V - saturação de bases; anr - análise não realizada.

Verifica-se, também, a elevação nos níveis de fósforo em todos os solos, chegando a um aumento de 28 vezes para o solo ARE. Esse aumento pode estar associado ao alto teor de fósforo na água residuária (CAMPOS, 1999).

Inicialmente, os níveis de carbono do solo apresentavam-se baixos, diminuindo para os solos ARG C, ARE e ARE C, exceto para o solo ARG, que apresentou aumento de 41,4% após o experimento. JUNCHEN (2000) encontrou aumento médio de 11% nos teores de matéria orgânica do solo em seus estudos de fertirrigações, utilizando essa mesma água residuária diluída e o mesmo tipo de solo (ARG).

Em relação ao pH do solo, encontraram-se valores 13,5% maiores para os solos argilosos ARG e ARG C; 7,7% para o solo ARE e nenhuma alteração para o solo ARE C.

Em relação aos micronutrientes zinco (Zn) e manganês (Mn), houve aumento para os solos argilosos e diminuição para os solos arenosos. Para o ferro (Fe), houve diminuição nos solos argilosos e aumento nos arenosos. Para o cobre (Cu), os níveis diminuíram para todos os solos.

Finalmente, para a porcentagem de saturação de bases, obteve-se aumento em todos os solos, chegando a um aumento de 38,7% para o solo ARE.

Observam-se perdas de nitrato do solo em todas as colunas, sendo maiores nas colunas com calcário, com diminuição da ordem de 15%; 28%; 14% e 37%, respectivamente para ARG, ARG C, ARE e ARE C. Verifica-se, também, que, para os solos corrigidos, a perda é 9% maior no solo arenoso (ARE C) em relação ao solo argiloso (ARG C), conforme Figura 3.

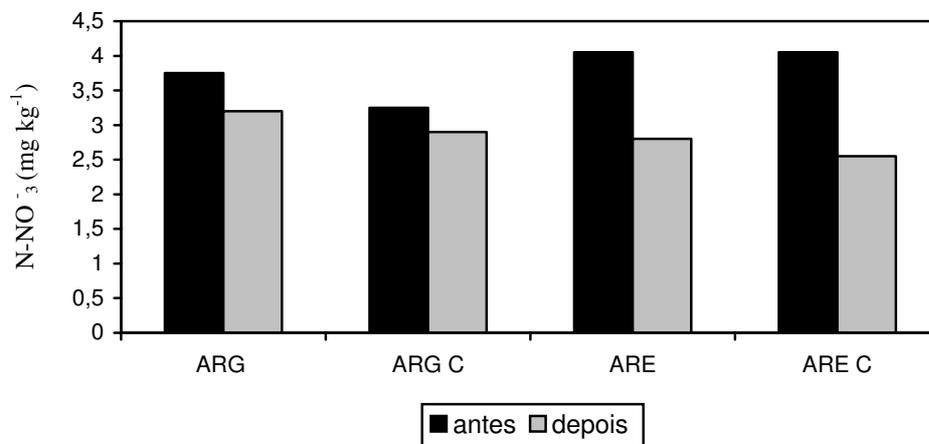


FIGURA 3. Concentração de nitrato nos respectivos solos antes e após os testes experimentais.

Também CURTIN & SMILLE (1983) e AZEVEDO et al. (1995) relataram que a aplicação de calcário incrementa a concentração de nitrato na solução do solo. De fato, pode-se verificar o aumento da concentração do nitrato na solução do solo extraída para as análises, antes e após o experimento (Figura 3).

Na Figura 4, observam-se os valores de nitrato para os solos ARG, ARG C, ARE e ARE C, em que a água residuária utilizada como fluido deslocador apresentou, no início, concentrações do nitrato igual a 4,0 mg L⁻¹ (C₀) para as colunas com os solos.

Pode-se observar nos gráficos que, a partir de 0,5 V_p, ocorreu aumento na concentração do nitrato nas amostras lixiviadas, intensificando-se entre 0,5 e 1 V_p e, após esse intervalo, ocorreram picos nas concentrações de nitrato para todas as colunas.

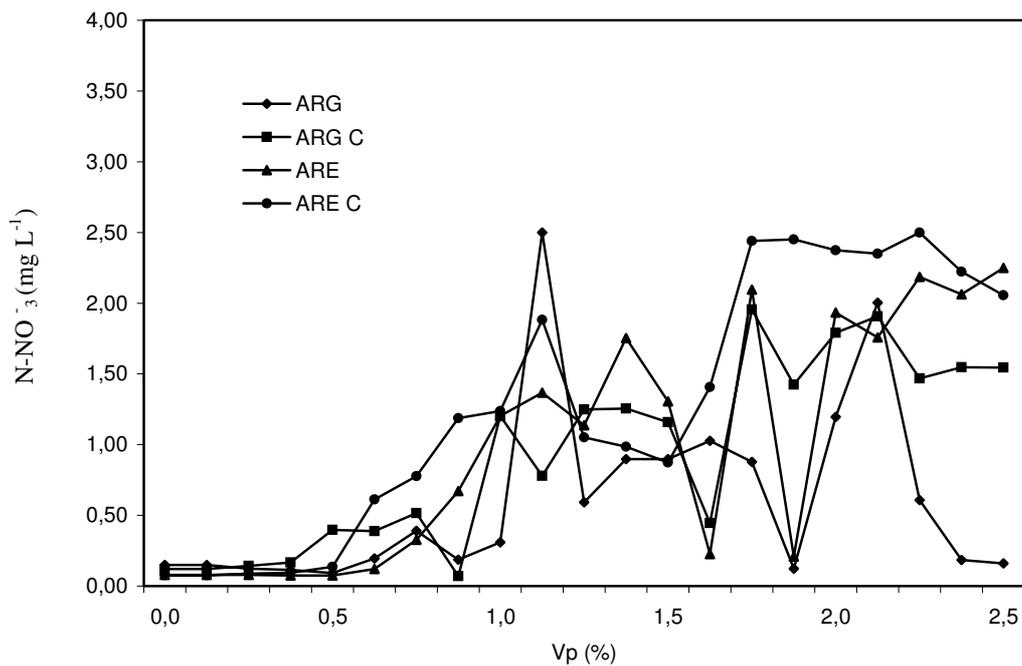


FIGURA 4. Concentração de nitrato das águas residuárias de frigorífico observadas no ensaio de lixiviação.

O conteúdo de nitrato no lixiviado coletado ao longo dos pontos, em todos solos, deve ser proveniente da mineralização da matéria original do solo, bem como da matéria orgânica da água residuária. A comparação dessas concentrações a partir de 1 Vp mostra valores acima da concentração inicial C_0 , com limites máximos de $2,50 \text{ mg L}^{-1}$, inclusive; portanto, bem abaixo dos limites estabelecidos pela legislação, com máximo permitido de 10 mg L^{-1} (BRASIL, 1990).

A causa dos picos de elevação e supressão de nitrato entre 1 Vp até 2,5 Vp, encontrada em todos os solos, provavelmente é devida às reações de nitrificação e cinética de processos correlatos que controlam as perdas de nitrogênio das camadas aeróbico-anaeróbicos do sistema do solo inundado, simulado nas colunas. Os nitratos que se formam na fina camada aeróbica de solo, logo abaixo da interface solo-água, difundem-se no interior da camada anaeróbica logo abaixo e podem ser desnitrificados para as formas gasosas N_2 e N_2O que se perdem na atmosfera, embora a aplicação de maneira continuada de água residuária na camada anaeróbica reduza essas perdas (BRADY, 1989).

Uma das explicações para o aumento da concentração de nitrato no efluente lixiviado das colunas com solos com calcário, quando comparado com o mesmo tipo de solo, pode ser o incremento das taxas de nitrificação reportadas por CURTIN & SMILLE (1983) e AZEVEDO et al. (1995), em estudos semelhantes, que encontraram relação significativa entre a concentração de nitrato e o cálcio (Ca) no lixiviado, em condições saturadas. Possivelmente, pode ter ocorrido a formação de nitrato de cálcio ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$) e posteriormente dissociado como íons cálcio (Ca^{+2}) e nitrato (NO_3^-).

O calcário aumenta o pH do solo, o que intensifica a taxa de nitrificação e o movimento subsequente de nitrato. AZEVEDO et al. (1995) fazem menção a McLNMES & FILLERY (1989) quanto a uma dependência linear entre as taxas de pH e o processo de nitrificação. Então, as diferenças entre as colunas de solos com calcário e sem calcário podem ter resultado tanto de diferenças de taxas de nitrificação, provenientes de nitrogênio (N) residual do solo, como também da alta quantidade do nitrogênio (N) na água residuária de frigorífico (Tabela 3) (BRAYLE & CAVALCANTI, 1979 e RODRIGUES, 2001).

O acompanhamento dessa água residuária por um período de oito horas, posteriormente em laboratório, nas condições semelhantes ao que foi aplicado no topo de cada coluna, demonstrou que há aumento crescente na taxa de nitrificação oriunda do nitrogênio (N-total) da amostra e leve aumento no pH. Na amostra acompanhada, encontrou-se acréscimo maior que 100% em relação à concentração inicial de nitrato.

Outra provável explicação para as diferenças pode ser o processo de eliminação do ânion, com alta mobilidade, numa repulsão entre o ânion e as cargas negativas da superfície mineral do solo. Então, esse processo pode ter influência no transporte de químicos, por meio dos solos (BRADY, 1989). Considerando o pequeno intervalo de tempo, em média cerca de 12 h na realização do experimento, esse processo poderia ser limitado.

Segundo RAIJ (1991), a dinâmica do nitrogênio (N) no solo, em curto prazo, é difícil de prever, pois depende da disponibilidade de resíduos orgânicos, da relação carbono/nitrogênio (C/N) no solo, da umidade, do pH e de outros fatores, podendo haver concentração de nitrogênio mineral no solo, em um dado momento, e, em outro, sua completa ausência.

Para explicar, ainda, uma possível seqüência de mecanismos de remoção do nitrogênio (N) no sistema de disposição sobre o terreno, CAMPOS (1999) relata a síntese química do mesmo descrita por SMITH & SCHROEDER (1983) em que, por sedimentação e filtração, é removido o nitrogênio orgânico coloidal; a maior parte do amônio (NH_4^+) é removida inicialmente por troca iônica na superfície do solo, sendo parte nitrificada quando se apresentam condições aeróbicas. Para o lançamento de água residuária no solo, na fase de secagem, se houver condições anaeróbicas ou surgimento de material carbonáceo, parte do nitrato poderá ser desnitrificado até a próxima aplicação.

Após a redefinição de C_0 , como sendo a maior concentração encontrada nas análises das amostras, podem-se obter valores para C/C_0 iguais a 1,0 e ajustar curvas para um modelo matemático de sorção no solo, utilizando-se do “software” CXTFIT, conforme Figura 5.

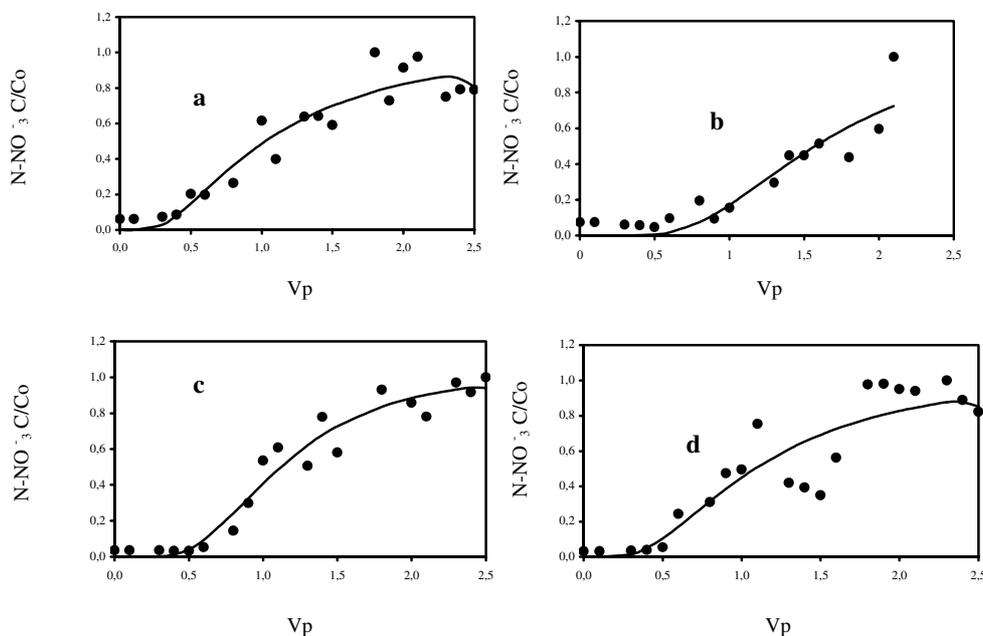


FIGURA 5. Curva de eluição (concentração relativa de nitrato ($\text{N-NO}_3^- \text{ C/C}_0$) versus volume de poros (V_p)), ajustada pelo “software” CXTFIT, no ensaio de lixiviação para os solos ARG (a), ARG C (b), ARE (c), ARE C (d).

Comparando-se as Figuras 5a e 5b, para os solos argilosos com e sem calcário, observa-se nas curvas para o nitrato que esse se desloca mais rapidamente na coluna de solo com calcário, o que poderia significar translocação de uma curva formada pelos pontos à esquerda, a partir do primeiro volume de poros.

Observações semelhantes também foram feitas por CORRÊA (1996) em estudos de mobilidade e retenção de inseticida, referenciando-se aos estudos de NIELSEN & BIGGAR (1962) para solutos puros e não-reativos, em que as curvas se deslocavam para a direita.

Comparando-se as Figuras 5c e 5d, para os solos arenosos com e sem calcário, observa-se comportamento semelhante para as curvas ajustadas das Figuras 5a e 5b, ou seja, também apresenta chegada antecipada do nitrato para as amostras obtidas da coluna com solo e calcário, a partir do primeiro volume de poros.

Realizando-se uma análise mais cuidadosa nas curvas de eluição da Figura 6, pode-se notar que em ARG, solo que apresentou maior conteúdo de carbono orgânico em relação ao ARE, houve a necessidade de maior volume de água residuária percolada para a chegada do nitrato, quando relacionadas aos outros tratamentos ARG C, ARE e ARE C. Esse atraso indica maior sorção aos complexos de troca do solo e confirma a importância da matéria orgânica no seu comportamento sortivo (CORRÊA, 1996 e COELHO, 2000).

Quando se fixa C/C_0 igual a 0,5, nota-se que o calcário potencializou o deslocamento do nitrato. Para os solos ARG C, ARE e ARE C, ocorre esse valor aproximado de C/C_0 em 1 Vp e apenas para o solo ARG esse valor ocorreu em 1,6 Vp.

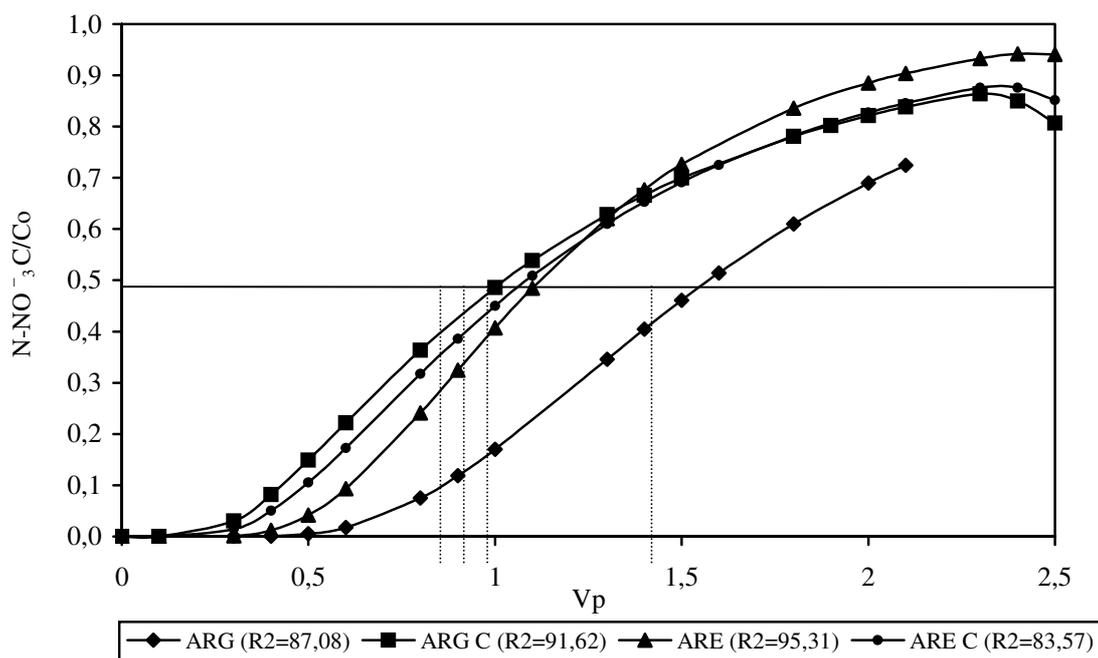


FIGURA 6. Curvas de eluição ajustadas pelo “software” CXTFIT no ensaio de lixiviação.

Nos ajustes das curvas de eluição feitos pelo “software” CXTFIT (Figura 6), conseguiu-se para r^2 valores acima de 80% para as diferentes colunas de solos, sendo que o solo ARE teve o melhor ajuste dos dados experimentais para o modelo descrito pelo “software”.

Como considerações finais, para o experimento em questão, houve formação do nitrato, ou seja, o soluto apresenta comportamento reativo ao longo do experimento, pois as concentrações relativas ultrapassaram a unidade, posto que, partindo-se de uma concentração inicial, essa aumenta com o

passar do tempo. Provavelmente, esse fato tenha ocorrido de maneira diferente nas colunas de solos, influenciando no ajuste das curvas. Podem-se também observar outros fatores, como, por exemplo, superestimativa nos valores de volume de poros nas colunas, podendo haver ar aprisionado ou também zonas de estagnação do fluido deslocador nas colunas, embora se tenha tomado todos os cuidados referenciados na realização do experimento.

A elevada concentração de nitrato na água percolada por meio dos solos, provocada pela aplicação da água residuária de frigorífico de maneira continuada, perfazendo 2,5 volumes de poros (Vp), faz com que a adição desse resíduo seja limitada pelo teor de nitrogênio fornecido por ele.

Os resultados obtidos no ensaio indicam que, no caso de se utilizar a fertirrigação com águas residuárias como meio de fornecer o nitrogênio (N) as plantas, em um programa de adubação, para os solos do experimento, haveria a necessidade de se determinar o ótimo de aplicação da lâmina de água, de modo que, após sua aplicação, a irrigação continuaria com o objetivo de transportar o nitrato até a profundidade em que se encontra o maior volume de raízes ativas (COELHO, 1994). Vale ressaltar que, no experimento, a aplicação da água residuária foi sem diluição, e no caso mais extremo, como na inundação e sem influência de plantas.

Porém, pode-se dizer que, ao utilizarem águas residuárias no solo, deve-se ter a preocupação com a manutenção das suas boas condições, para que tanto os objetivos de tratamento da água residuária quanto os de nutrição de plantas sejam atingidos. CAMPOS (1999) salienta que a percolação de águas residuárias de esgoto sobre o perfil de solos, especialmente na zona ativa da raiz, é um processo muito efetivo de remoção, pois os processos químicos e bioquímicos inativam ou removem a maioria dos poluentes e, como consequência, os nutrientes são absorvidos pelas plantas.

JUNCHEN (2000) e RODRIGUES (2001) obtiveram excelentes resultados utilizando esse tipo de aplicação de águas residuárias em alfaces, sugerindo que o uso dessa água pode produzir efeitos significativos de produtividade, sem a necessidade de qualquer outra adubação nitrogenada, encontrando maiores valores de nitrato na matéria fresca das plantas, mesmo com águas residuárias diluídas.

CONCLUSÕES

A aplicação de calcário propiciou tendências de lixiviação do nitrato, levemente no ARE C e mais acentuado no ARG C.

As curvas de eluição para os solos ARE, ARE C e ARG C foram bastante semelhantes, diferenciando-se do solo ARG.

Não se observaram efeitos da aplicação de calcário na condutividade elétrica (CE) dos lixiviados, nas condições do experimento; porém, o comportamento da CE foi diferenciado entre os solos ARE, ARG, ARE C e ARG C.

REFERÊNCIAS

- AZEVEDO, A.S.; KANWAR, R.S.; SINGH, P.; PEREIRA, L.S. Movement of $\text{NO}_3\text{-n}$ and atrazine through soil columns as affected by lime application. *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, v.39, n.3, p.937-45, 1995.
- BRADY, N. C. *Natureza e propriedades dos solos*. 7.ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1989. 878 p.
- CAMPOS, J.R. *Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbico e disposição controlada no solo*. Rio de Janeiro: ABES, 1999.
- COELHO, A.M. Fertirrigação. In: COSTA, E.F.; VIEIRA, R.F.; VIANA, P.A. *Quimigação: aplicação de produtos químicos e biológicos via irrigação*. Brasília: EMBRAPA-SPI, 1994. 315 p.

- COELHO, F.C. Transporte do amônio em colunas com agregados de um Latossolo Vermelho. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.4, n.3, p.362-7, 2000.
- CORRÊA, M.M. *Mobilidade e retenção do inseticida-nematicida sulfona de aldicarbe em colunas de solos de regiões produtoras de batata de Minas Gerais*. 1996. 75 f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1996.
- CURTIN, D.; SMILLIE, G.W. Soil solution composition as affected by liming and incubation. *Soil Science Society of American Journal*, Madison, v.47, n.4, p.701-7, 1983.
- EATON, A.D.; CLESCERI, L.S.; GRENBORG, A.E. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 19.ed. Washington: APHA/AWWA/WEF, 1995. 1.082 p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. *Manual de métodos de análises de solos*. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. Brasília, 1999. 412 p.
- FOOD AGRICULTURAL ORGANIZATION. Water quality for agriculture. In: AYERS, R.S.; WESTCOT, D.W. *Irrigation and drainage*. Rome, 1985. 218 p. (Paper 29)
- JUCHEN, C.R. *Reúso de efluentes tratados das agroindústrias de leite e carne sobre a produção da cultura de alface (Lactuca Ativa L.) fertirrigada*. 2000. 88 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Sistemas Agroindustriais) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2000.
- NIELSEN N.D.R.; BIGGAR, J.W. Miscible displacement. III - Theoretical considerations. *Soil Science Society of America Proceedings*, Madison, v.26, n.2, p.216-21, Mar./Apr.1962.
- RAIJ, B. van. *Fertilidade do solo e adubação*. São Paulo: Ceres/Potafos, 1991. 285 p.
- RODRIGUES, M.B. *Efeito de fertirrigações com águas residuárias de laticínio e frigorífico em um latossolo roxo eutrófico*. 2001. 74 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Sistemas Agroindustriais) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2001.