

MOVIMENTO DOS ÍONS NITRATO E AMÔNIO EM COLUNAS DE MATERIAL DE SOLOS DO TRIÂNGULO MINEIRO E DE PIRAPORA*

Geraldo A.A. Guedes**
Waldemar Moura Filho***
Luiz A. Nogueira Fontes***

1. INTRODUÇÃO

Dentre os fatores limitantes da produtividade das culturas destacam-se a deficiência de nutrientes e o manejo incorreto de fertilizantes.

O nitrogênio, pela complexidade de sua dinâmica no solo, às vezes se constitui um nutriente problema (1, 2, 16). Vários estudos têm demonstrado que apenas cinqüenta por cento, em média, do nitrogênio aplicado no solo são utilizados pelas plantas, sendo o restante perdido por vários processos, entre os quais se destaca a lixiviação (12, 16, 17).

A maior ou menor intensidade dessas perdas está relacionada, entre outros fatores, com as características e condições de cada solo.

Numerosos trabalhos têm demonstrado o fato de nitratos serem facilmente lixiviados, mesmo em solos argilosos, ao passo que o íon amônio é menos sujeito a este processo (6, 8, 13, 14, 20). MARTIN e SKIRING (16), em estudos sobre o comportamento do nitrogênio em regiões de clima tropical, concluíram que, nessas condições, as perdas deste nutriente por lixiviação são intensas, diante dos altos valores de precipitação pluvial e da alta permeabilidade dos solos daquelas regiões. Aliadas a estes fatores, as condições favoráveis à mineralização do nitrogênio orgânico promovem o incremento no conteúdo de NO_3^- e NH_4^+ destes solos. Diversos fatores podem influenciar a intensidade desse processo, entre os quais a temperatura, a umidade e a luminosidade, que são dependentes da região e da época do ano. Por outro lado, alguns pesquisadores (9, 10, 11, 21), trabalhando com solos de regiões tropicais, demonstraram que certas características desses so-

* Recebido para publicação em 19-02-1978.

Projeto registrado no Conselho de Pesquisa da U.F.V. n.º 4748 I.

** Bolsista do CNPq.

*** Professores Titulares da Universidade Federal de Viçosa.

los podem reduzir as perdas de nitratos por lixiviação. Solos recentes, de origem vulcânica, ou solos em avançado estádio de intemperização, como os que existem naquelas regiões, são ricos em materiais inorgânicos amorfos (9, 19, 21). Nestas condições, observa-se uma adsorção positiva de nitratos (9, 21). Vários fatores podem influenciar a intensidade dessa adsorção (10, 11).

Alguns autores (15, 17) têm procurado estabelecer uma fórmula que permita predizer a movimentação de nitratos nos solos; todavia, as variações regionais e anuais de fatores do clima e do solo dificultam este procedimento. A distribuição de nitratos no perfil pode sofrer alterações causadas tanto pelo movimento descendente como ascendente da água (24, 25).

Sabe-se que os latossolos apresentam propriedades físicas favoráveis a uma elevada velocidade de infiltração, associada às características de grande permeabilidade e arejamento (17, 19, 23). Desta maneira, as perdas de nitrogênio por lixiviação nesses solos devem assumir proporções elevadas.

O presente trabalho vem ajudar a outros, já realizados, sobre os solos do Triângulo Mineiro e de Pirapora, visando a fornecer subsídios para o conhecimento global de suas condições edafológicas, permitindo, assim, melhor utilização de suas potencialidades.

O objetivo do presente estudo é verificar a mobilidade dos íons nitrato e amônio em colunas de materiais dos referidos solos.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em laboratório. Os materiais dos solos foram coletados no Centro de Experimentação, Pesquisa e Extensão do Triângulo Mineiro (CEPET), U.F.V., no município de Capinópolis e na área do Centro de Treinamento de Irrigantes da SUVALE, no município de Pirapora, MG.

As amostras do Triângulo Mineiro foram coletadas de um Latossolo Vermelho-Escuro eutrófico, textura média, relevo suave-ondulado, às profundidades de 0-30 e 30-60 cm, em separado, em duas posições de toposequência, sendo uma no topo da encosta (S_1) e a outra na parte inferior, próximo ao curso d'água (S_2). Em Pirapora, para a montagem das colunas, em local previamente selecionado, classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo, textura arenosa, coletaram-se amostras às profundidades de 0-10, 10-20, 20-30 e 30-50 cm, separadamente. Para a caracterização física e química foram coletadas amostras de 0-30 e de 30-60 cm, as quais receberam a designação S_3 .

Depois de serem secadas ao ar, todas as amostras foram passadas em peneira de 2 mm e analisadas química e fisicamente. O Quadro 1 mostra os resultados das análises de algumas características químicas e físicas dos materiais amostrados nos dois municípios.

Foram preparadas colunas utilizando-se manilhas de cerâmica com 7,5 cm de diâmetro e 60 cm de comprimento. A montagem obedeceu à sequência nos perfis. Após a montagem, as colunas passaram 5 meses recebendo três irrigações por semana, cada uma equivalendo a 50 mm de chuva, com o objetivo de recuperar a estrutura do material para melhor simulação das condições de campo. No final desse período foram realizados testes de movimentação dos íons NO_3^- e NH_4^+ , com diferentes níveis d'água. Foram determinadas as densidades aparentes e as porosidades totais, bem como as velocidades de infiltração d'água nas colunas. Os resultados encontram-se no Quadro 2.

O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado, com parcelas subdivididas, com três repetições para cada tratamento, sendo que os solos e os níveis d'água constituíram as parcelas e as profundidades as subparcelas, sendo analisado segundo um esquema fatorial.

QUADRO 1 - Algumas características químicas e físicas dos materiais dos solos estudados

Características	Profundidade em cm			
	S ₁	S ₂	S ₃	
Areia grossa (%)	0-30	30-60	0-30	30-60
	16	13	14	12
Areia fina (%)	30	30	29	28
			25	25
Silte (%)	22	18	23	20
			4	4
Argila (%)	32	39	34	40
			7	7
Densidade aparente	1,00	0,97	1,00	0,97
pH (água 1:2,5)	5,9	6,0	6,0	6,1
CTC (meq/100 g)*	4,7	2,9	5,0	3,0
Materia orgânica (%)**	1,8	1,1	2,3	1,0
			1,2	0,8

* KCl

** Walkley Black

QUADRO 2 - Velocidade média de infiltração, densidade aparente e porosidade total, no campo e nas colunas, às profundidades de 0 a 30 e 30 a 60 cm

	Infiltração média (cm/h)		Densidade aparente		Porosidade total (%)	
	Campo	Coluna	Campo	Coluna	Campo	Coluna
Solo	-	-	0-30	30-60	0-30	30-60
S ₁	20,5	20,0	1,00	0,97	1,06	1,06
S ₂	20,5	20,0	1,00	0,97	1,10	1,01
S ₃	15,0	24,0	1,50	1,30	1,30	1,30

a) Solos:

S₁ — solo da posição superior (Triângulo Mineiro),
 S₂ — solo da posição inferior (Triângulo Mineiro),
 S₃ — solo de Pirapora.

b) Fontes de nitrogênio: KNO₃ e (NH₄)₂SO₄, na dosagem de 200 mg/coluna, e equivalente a cerca de 400 kg/ha, aplicados superficialmente.

c) Níveis d'água:

N₁ — 50 mm d'água aplicados de uma só vez,
 N₂ — 100 mm d'água aplicados de uma só vez,
 N₃ — 200 mm d'água aplicados de uma só vez,
 N₄ — 100 mm d'água em duas aplicações de 50 mm cada uma,
 N₅ — 200 mm d'água em duas aplicações de 100 mm cada uma,
 N₆ — 400 mm d'água em duas aplicações de 200 mm cada uma.

O parcelamento da água nos níveis N₄, N₅ e N₆ foi feito com um intervalo de 24 h. A água era aplicada superficialmente nas colunas, mantendo-se a lámina d'água entre 3 e 5 cm.

Foram feitas amostragens nas colunas a quatro profundidades: 0 — 5, 15 — 20, 30 — 35 e 45 — 50 cm. As amostras foram coletadas 48 horas após a última aplicação d'água, usando-se uma sonda que permitia obter o material sem contaminação. Nas amostras secadas ao ar foram feitas dosagens de NO₃⁻ ou NH₄⁺, de acordo com a fonte utilizada no tratamento.

Na dosagem de NO₃⁻ e de NH₄⁺ foram usados o método do ácido cromatrópico (22) e o de Nessler (7), respectivamente. Em ambos substituiu-se a filtragem pela centrifugação a aproximadamente 2.000 rpm durante 20 minutos. O teor de NO₃⁻ e de NH₄⁺ foram determinados no sobrenadante por colorimetria.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Movimento de NO₃⁻

Os teores de nitrato a diferentes profundidades e as diferenças mínimas significativas entre os tratamentos são apresentados no Quadro 3.

Com relação à lixiviação, os dados indicam um comportamento do íon nitrato, semelhante ao encontrado por vários pesquisadores (3, 4, 15). Não houve diferença de comportamento entre os solos do topo e da parte inferior da encosta no Triângulo (S₁ e S₂). Todavia, constataram-se diferenças altamente significativas entre esses solos e o solo de Pirapora (S₃) quanto à mobilidade do íon nitrato em cada tratamento. A mineralogia e a estrutura parecem exercer efeito marcante na diferença de mobilidade do referido íon nos dois solos. Alguns estudos (9, 18) têm demonstrado este fato.

Comparando-se os diferentes níveis d'água em cada solo e em cada profundidade, verificam-se diferenças significativas entre os teores de nitrato encontrados. Isto mostra a influência da quantidade d'água na distribuição deste íon no perfil. Para os solos S₁ e S₂, os níveis d'água N₁, N₂ e N₄ não diferiram entre si, nem provocaram remoção de nitratos para fora das colunas, enquanto os níveis N₃ e N₅, embora não apresentassem diferenças entre si, promoveram pequena remoção do referido íon.

O nível d'água N₆ foi o que apresentou maior diferença em relação aos demais. Este nível provocou a perda de cerca de 50% do nitrato aplicado. Pode-se ainda observar a semelhança de resultados para os níveis N₂ e N₄ e para N₃ e N₅. Isto

QUADRO 3 - Teores de nitrato, em ppm, para os diferentes tratamentos, nos três solos estudados

Solo	Prof. (cm)	Níveis d'água				Média em em cada prof.	Média em cada solo
		N ₁	N ₂	N ₃	N ₄		
S ₁	0- 5	82,2	38,3	14,7	39,4	14,2	32,9
	15-20	26,4	65,2	56,8	63,4	54,8	45,1
	30-35	9,4	16,1	25,9	14,8	25,3	19,3
	45-50	3,3	6,7	13,0	6,5	15,4	12,0
Médias		31,4	31,5	27,0	30,8	26,8	27,2
S ₂	0- 5	85,2	37,8	14,2	36,5	12,9	32,0
	15-20	26,6	64,1	56,9	67,1	51,1	45,7
	30-35	11,2	17,0	23,4	12,7	25,3	18,7
	45-50	3,6	7,7	14,2	5,5	16,6	12,7
Médias		31,6	31,6	27,2	30,5	26,5	27,3

Continua

Continuação

QUADRO 3 - Teores de nitrato, em ppm, para os diferentes tratamentos, nos três solos estudados

mostra que não houve diferença quando uma quantidade d'água era aplicada de uma só vez ou parcelada em duas aplicações com um intervalo de vinte e quatro horas. Conclui-se que, no caso de irrigações, o parcelamento da quantidade d'água a pequenos intervalos não reduzirá as perdas por lixiviação às profundidades atingidas pela frente de umedecimento.

Observando as Figuras 1, 2 e 3, pode-se verificar o comportamento do ion em estudo nos diferentes tratamentos. A grande diferença entre os solos do Triângulo Mineiro e de Pirapora, com relação à mobilidade do nitrato face à lixiviação, sugere um manejo diferente do nitrogênio nos solos das duas regiões. Cuidados especiais deverão ser tomados com relação às aplicações de nitrogênio e às quantidades de água, principalmente na região de Pirapora, onde se faz necessária a prática da irrigação. Neste caso, deve-se considerar o estádio de crescimento das culturas, pois, de acordo com o desenvolvimento do sistema radicular, pode-se prevenir o deslocamento do ion nitrato para fora da zona de ação das raízes, em razão da quantidade de água aplicada. No caso de Pirapora, o movimento do nitrato parece ser mais influenciado pela quantidade de água que no Triângulo Mineiro. Outros fatores, tais como o fluxo ascendente, devido ao movimento capilar da água, poderão promover outras variações. A mobilidade ascendente de nitratos, com acumulação superficial, já foi observada em algumas regiões (24, 25). Este e outros fatores podem exercer grande influência no comportamento do nitrogênio em diferentes regiões, sendo necessários outros estudos para melhor compreensão do fenômeno.

3.2. Movimento do NH_4^+

Os teores de amônio a diferentes profundidades e as diferenças mínimas significativas entre os tratamentos encontram-se no Quadro 4.

Os resultados estão de acordo com os encontrados por outros pesquisadores (5, 8, 13, 20). A pequena mobilidade do ion NH_4^+ já foi constatada em diversos trabalhos.

De maneira semelhante ao que ocorreu com relação ao ion nitrato, neste trabalho também não se verificou diferença de comportamento entre os solos do topo e da parte inferior da encosta no Triângulo (S_1 e S_2). Todavia, diferenças altamente significativas foram encontradas nas comparações entre esses solos e o solo de Pirapora (S_3).

Sabe-se que a retenção do ion amônio pelo solo está relacionada com seu complexo sortivo. Este fato explica as diferenças encontradas. De fato, JENNY *et alii* (8), estudando a mobilidade do ion NH_4^+ , observaram movimento de apenas 5 cm em solo argiloso e de até 13 cm em solo arenoso, após a aplicação de 250 mm d'água. Além da mineralogia, o conteúdo e o estádio de decomposição da matéria orgânica podem influenciar a capacidade de adsorção catiônica do solo. Pode-se observar que nos solos S_1 e S_2 mais de 80% de amônio aplicado permaneceram entre 0 e 5 cm, enquanto no solo S_3 este teor foi inferior a 60%. Diferenças altamente significativas foram encontradas para os teores de amônio às diferentes profundidades. Não houve variação devida ao parcelamento da água aplicada. Observando as Figuras 4, 5 e 6, pode-se verificar a distribuição do referido ion nas diferentes profundidades, nos vários tratamentos. Verifica-se que, mesmo no caso do solo S_3 , onde a mobilidade do nitrato foi muito elevada, a do NH_4^+ foi relativamente pequena, pois, com a aplicação de até 200 mm d'água, parcelados ou não, mais de 80% do amônio aplicado ficaram entre as profundidades de 0 e 20 cm. Nestas circunstâncias, este nutriente não estaria fora da zona de ação do sistema radicular da maioria das culturas. A manutenção do nitrogênio nesta forma por mais tempo no solo poderia ser um meio de aumentar seu índice de aproveitamento pelas

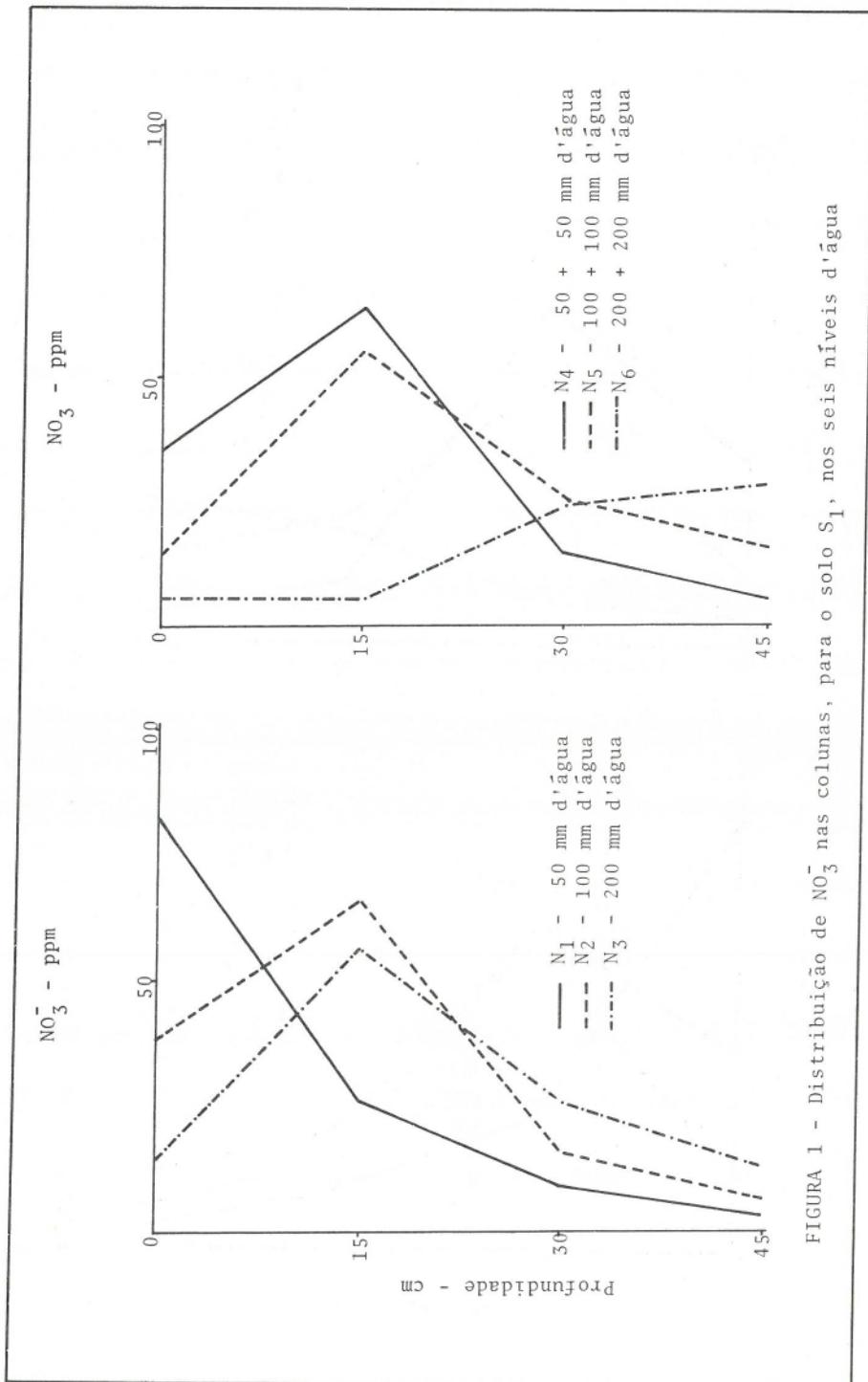


FIGURA 1 - Distribuição de NO₃ nas colunas, para o solo S₁, nos seis níveis d'água

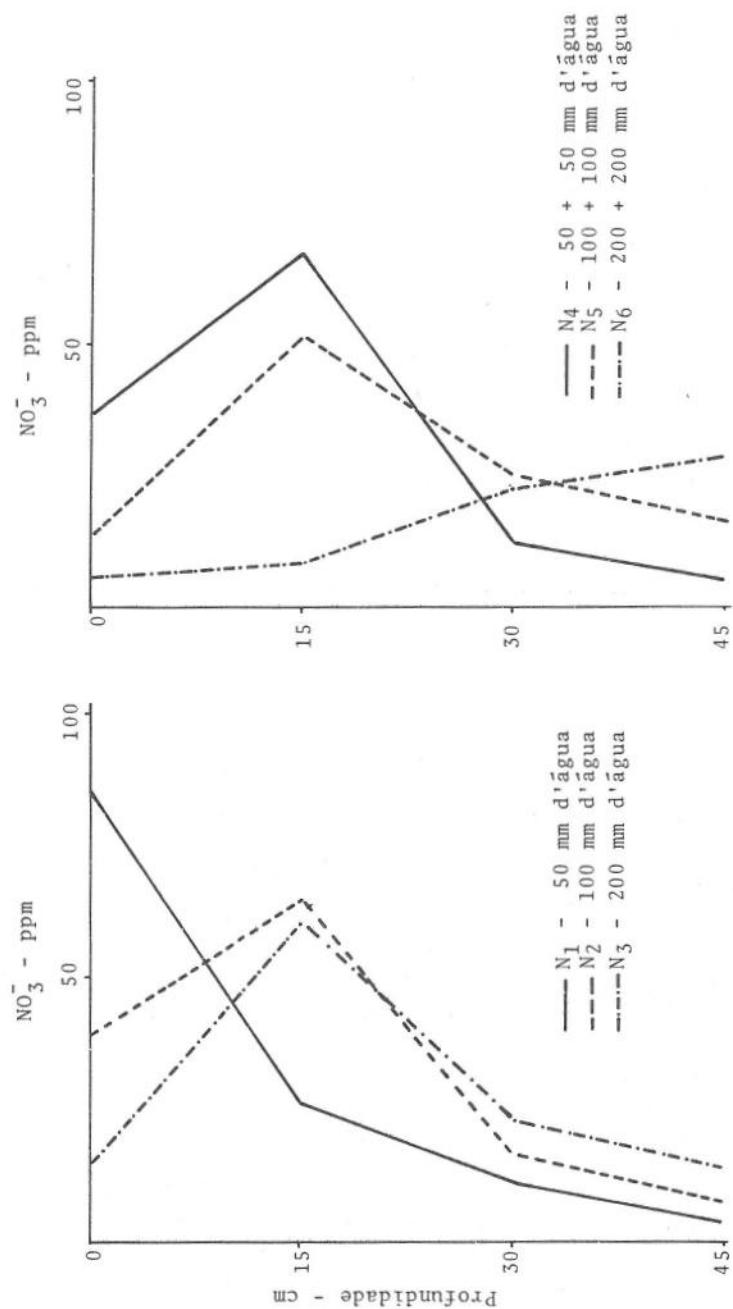


FIGURA 2 - Distribuição de NO_3^- nas colunas, para o solo S₂, nos seis níveis d'água

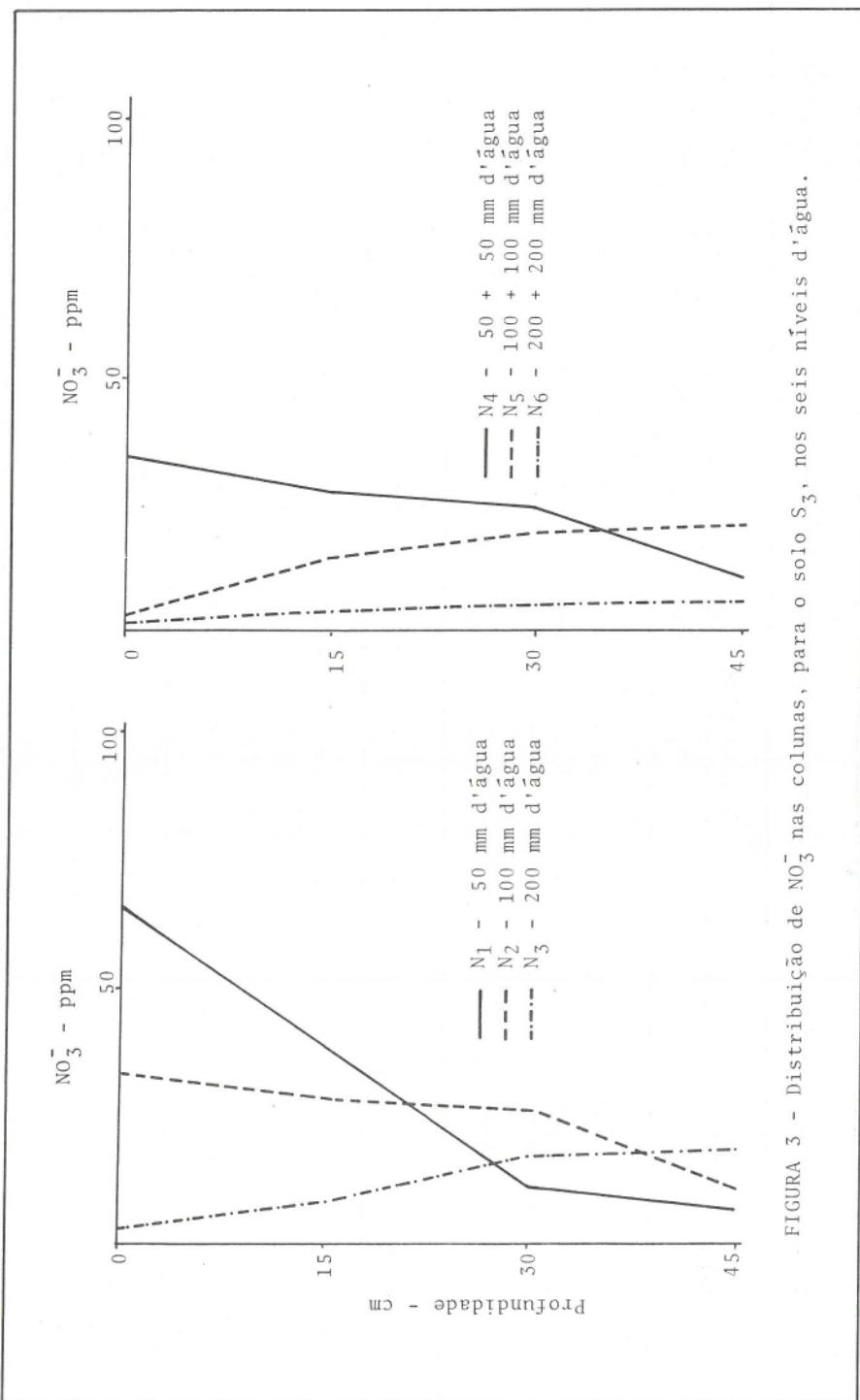


FIGURA 3 - Distribuição de NO₃⁻ nas colunas, para o solo S₃, nos seis níveis d'água.

QUADRO 4 - Teores de amônio, em ppm, para os diferentes tratamentos, nos três solos estudados

Continuação

QUADRO 4 - Teores de amônio, em ppm, para os diferentes tratamentos, nos três solos estudados

Solo	Prof. (cm)	Níveis d'água				Média em cada prof.	Média em cada solo	
		N ₁	N ₂	N ₃	N ₄			
S ₃	0-5	41,9	36,9	28,1	37,8	26,9	23,2	31,6
	15-20	13,0	14,4	13,6	13,9	14,4	13,7	-
	30-35	9,3	10,7	12,3	9,7	12,8	16,0	11,8
	45-50	7,0	7,8	9,9	7,0	9,6	9,7	3,5
Médias		17,9	17,4	16,0	17,1	15,9	15,5	-
Médias de S ₁ , S ₂ e S ₃	0-5	59,8	56,1	49,1	53,8	47,2	42,2	51,3
	15-20	7,6	9,3	11,4	9,7	10,8	12,5	10,2
	30-35	5,0	6,0	7,7	5,9	7,7	9,2	6,9
	45-50	3,9	4,1	5,4	4,0	4,9	5,7	4,6
Média Geral		19,2	18,8	18,3	18,3	17,6	17,0	-

D.M.S. a 5% de probabilidade

- a) Comparação de prof. em cada solo e em cada nível d'água
- b) Comparação de prof. em cada solo
- c) Comparação entre solos
- d) Comparação de níveis d'água em cada solo
- e) Comparação entre profundidades
- f) Comparação de prof. em cada nível d'água
- g) Comparação entre níveis d'água

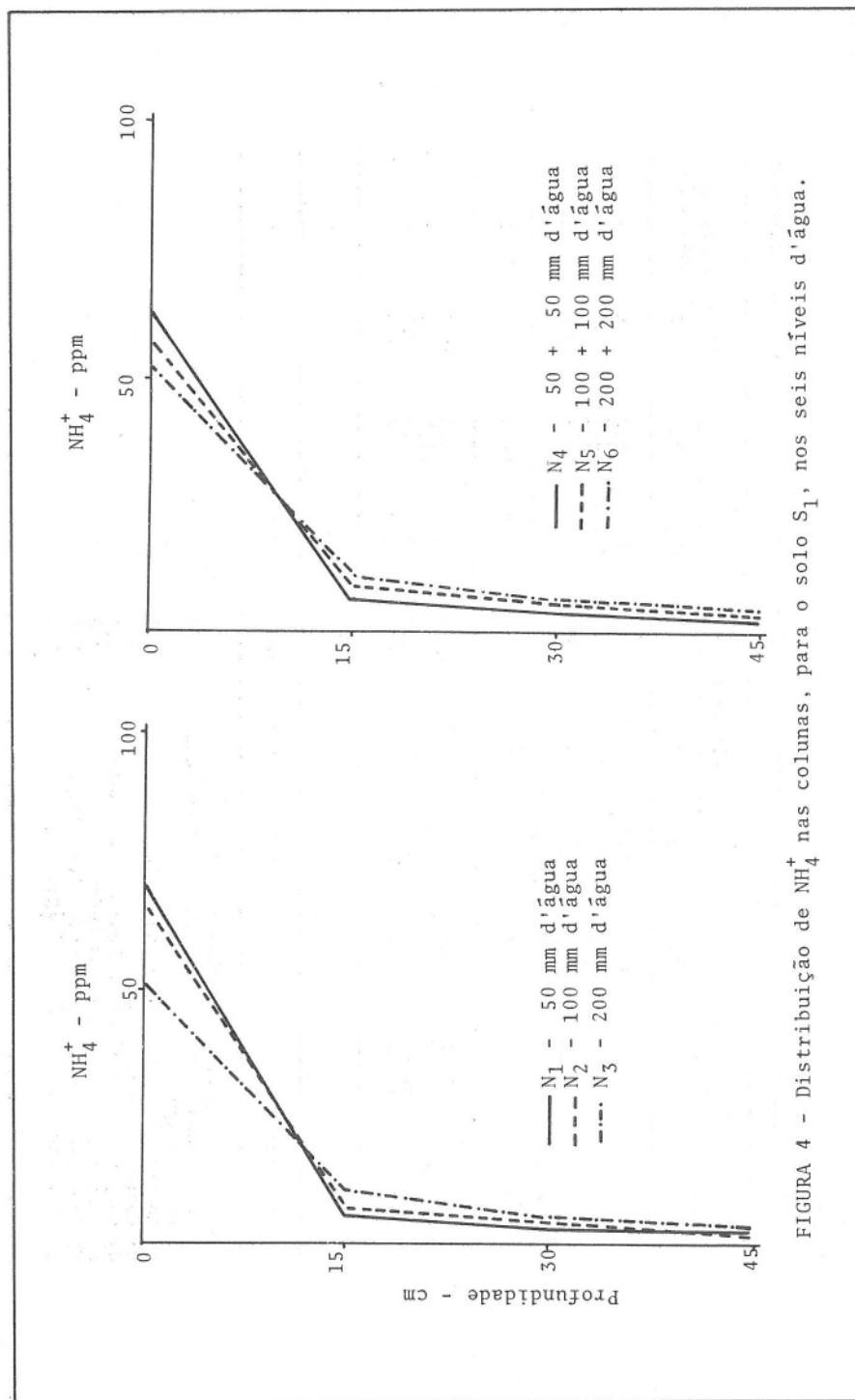
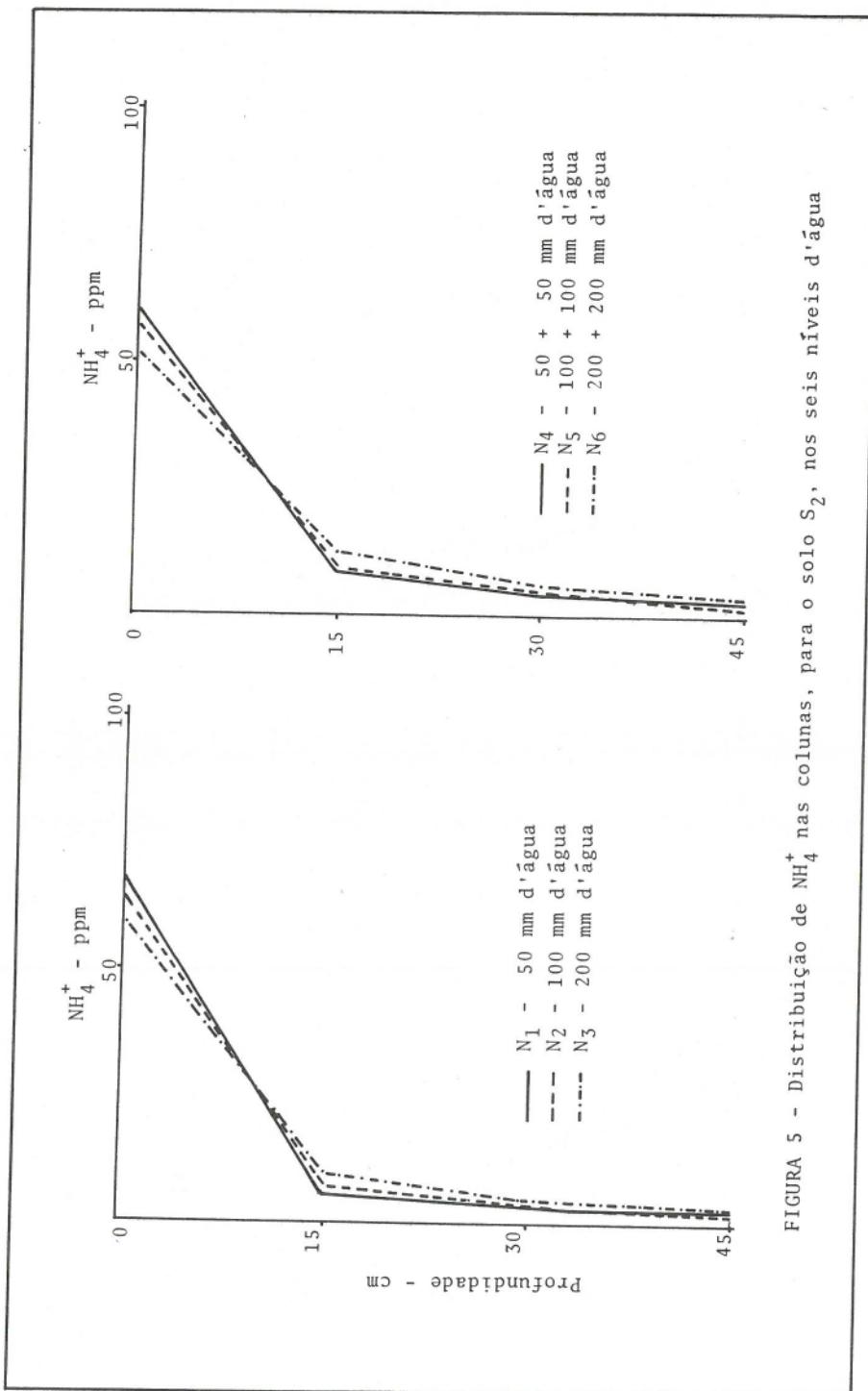


FIGURA 4 - Distribuição de NH₄⁺ nas colunas, para o solo S₁, nos seis níveis d'água.



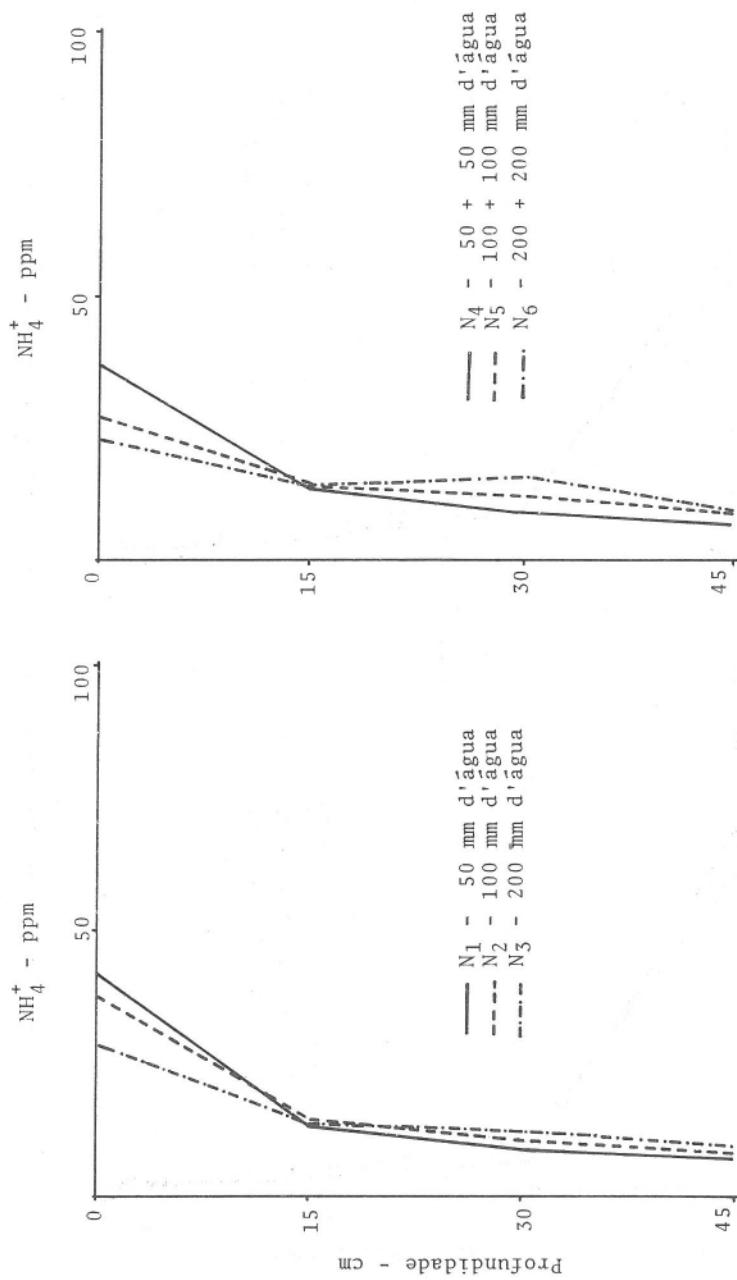


FIGURA 6 - Distribuição de NH_4^+ nas colunas, para o solo S₃, nos seis níveis d'água

plantas. Desta maneira, o estudo de substâncias que retardam a nitrificação poderia apresentar resultados compensadores, principalmente nas regiões tropicais, onde o fenômeno da nitrificação se processa com maior intensidade.

No caso dos solos de Pirapora, pode-se melhorar sua capacidade de retenção deste íon mediante um adequado manejo da matéria orgânica.

4. RESUMO

Estudou-se a movimentação dos íons nitrato e amônio em colunas de materiais de solos, em condições de laboratório. Os materiais dos solos foram coletados de um Latossolo Vermelho-Escuro eutrófico, textura média, no município de Capinópolis, e de um Latossolo Vermelho-Amarelo, textura arenosa, no município de Pirapora, ambos no Estado de Minas Gerais. Avaliou-se a mobilidade daqueles íons aplicando-se as fontes KNO_3 e $(NH_4)_2SO_4$ superficialmente nas colunas, submetendo-as a seis diferentes níveis d'água, e comparando-se os teores daqueles íons em quatro profundidades. Procurou-se aproximar a simulação às condições de campo mediante a comparação da infiltração, da densidade aparente e da porosidade total dos materiais nas colunas e no campo.

Os solos do topo e da parte inferior da encosta do Triângulo Mineiro (S_1 e S_2) comportaram-se de maneira semelhante em todos os tratamentos. A água aplicada de uma só vez ou parcelada em duas aplicações iguais com um intervalo de 24 horas teve o mesmo efeito sobre a mobilidade do nitrogênio. Nos solos do topo e da parte inferior da encosta do Triângulo Mineiro (S_1 e S_2), a aplicação de até 200 mm de água, parceladas ou de uma só vez, promoveu perdas de nitratos nas colunas. No caso do solo de Pirapora (S_3), apenas os níveis de 50 e 100 mm d'água aplicados de uma só vez não promoveram remoção de nitratos das colunas. A pequena mobilidade do íon amônio, mesmo em solos arenosos, mostra ser esta a forma iônica de nitrogênio menos sujeita às perdas por lixiviação. Houve comportamento diferencial dos solos das duas áreas com relação à adubação nitrogenada. Assim, o critério de parcelamento de adubo nitrogenado, bem como as épocas de sua aplicação, deverá refletir esse comportamento.

5. SUMMARY

The movement of nitrate and ammonium nitrogen through columns of soil materials was studied. Samples of a Dark Red Latosol from two slope positions at Capinópolis and of a Red-Yellow Latosol from Pirapora, both localities in Minas Gerais State, Brazil, were used.

After five months of twice-weekly irrigations, bulk density and water infiltration rates in the columns were close to those of soils in the field. After this preparatory treatment, the nitrate and ammonium sources, potassium nitrate and ammonium sulfate, were applied on the column surfaces. Columns were leached with water at six application levels, and after 48 hours, nitrogen was measured at four different depths.

Applying water in small doses rather than all at once did not change the nitrogen movement patterns. There was no difference in the nitrate and ammonium movement in the up — and down-slope positions in the Dark Red Latosol, but there was a difference between the Dark Red and Red-Yellow Latosols. The nitrate was leached out with water applications of greater than 100 mm in the Red-Yellow Latosol and 200 mm in the Dark Red Latosol.

The ammonium nitrogen was not leached out of the columns of either soil in any of the treatments.

6. LITERATURA CITADA

1. ALEXANDER, M. El nitrogeno del suelo: problemas del presente e del futuro. *Suelos Ecuatoriales*, 4(1):1-8. 1972.
2. BARTHOLOMEW, W.V. *Soil nitrogen-supply processes and crop requirements*. Raleigh, North Carolina State University, 1972. 78 p. (Tech. Bulletin, 6).
3. BATES, T.E. & TISDALE, S.L. The movement of nitrogen through columns of coarse textured soil materials. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 21:525-528. 1957.
4. BOSWELL, F.C. & ANDERSON, O.E. Nitrogen movement in indisturbed profiles of fallowed soils. *Agron. Jour.*, 56:278-281. 1964.
5. DOW, A.I., MOODIE, C.D. & STANBERRY, C.O. Movement of ammonium nitrogen and phosphorus in a alkaline irrigated soil. *Agron. Jour.*, 45:353-356. 1953.
6. GARDNER, W.R. Movement of nitrogen in soil. In BARTHOLOMEW, W.V. & CLARCK, F.E. *Soil nitrogen*. American Society of Agronomy, 1965. 615p. 550-572.
7. JACKSON, M.L. *Soil chemical analyses*. Prentice — Hall, Englewood Cliffs, N.J., 1958. 498 p.
8. JENNY, A.D., AYRES, A.D. & HOSKING, J.S. Comparative of ammonia and ammonium salts in soils. *Hilgardia*, 16:429-457. 1944.
9. KINJO, T. & PRATT, P.F. Nitrate adsorption. I. In some acid soils of Mexico and South America. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 35:722-725. 1971.
10. KINJO, T. & PRATT, P.F. Nitrate adsorption. II. In competition with chloride sulfate and phosphate. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 35:725-728. 1971.
11. KINJO, T. & PRATT, P.F. Nitrate adsorption. III. Desorption, movement, and distribution in Andepts. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 35:728-731. 1971.
12. KRANTZ, B.A., OHLROGGE, A.J. & SCARSETH, G.D. Movement of nitrogen in soils. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 8:189-195. 1953.
13. LEAL, J.R. & ALVAHYDO, R. Transformação e deslocamento do ion amônio em solos da série Itaguaí. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 6:129-135. 1971.
14. LEMOS, P. & LUTZ, J.F. Soil crusting and some factors affecting it. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 21:485-491. 1957.
15. LEVIN, I. Movement of added nitrate through soil columns in indisturbed soil profiles. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF SOIL SCIENCE, 8.^o, Bucharest, 1964. *Transactions*. Bucharest, International Society of Soil Science, 1964. V. 4, p. 1.011-1.021.
16. MARTIN, E.S. & SKIRING, G.W. Losses of nitrogen from the soil-plant sys-

- tem. In: COMMONWEALTH AGRICULTURAL BUREAU Farnham Royal. A review of nitrogen in the tropics with particular reference to pasture; a symposium. Farnham Royal, 1962. 185 p. Parte 1, p. 19-34.
17. McCANTES, C.B. Movimiento del nitrogeno en el suelo. *Suelos Ecuatoriales*; 4(1):29-34. 1972.
 18. MITCHEL, B.D., FARMER, V.C. & MCHARDY, W.J. Amorphous inorganic materials in soils. *Advances in Agron.*, 16:327-383. 1964.
 19. MOURA FILHO, W. Characterization of the phisical, chemical and micro-morphological changes engendered by the cultivation of a soil in the Triângulo of Minas Gerais, Brazil. Raleigh, North Carolina State University, 1968. 54 p. (Tese M.S.).
 20. RAY, H.E., MACGREGOR, J.M. & SCHMIDT, E.L. Movement of ammonium nitrogen in soils. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 21:309-312. 1957.
 21. SING, B.R. & KANEHJIRO, Y. Adsorption of nitrate in amorphous and kaolinitic Hawaiian soils. *Soil Sci. Amer. Proc.*, 33:681-683. 1969.
 22. SINS, R.J. & JACKSON, G.D. Rapid analyses of soil nitrate with chromotropic acid. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 35:603-606. 1971.
 23. TERRY, D.L. & McCANTES, C.B. Quantitative prediction of leaching in field soils. *Soil Sci. Soc. Proc.*, 34:271-275. 1970.
 24. WETSELAAR, R. Nitrate distribution in tropical soils. I. Possible causes of nitrate accumulation near the surface after a long dry period. *Plant and Soil*, 15:110-120. 1961.
 25. WETSELAAR, R. Nitrate distribution in tropical soils. II. Extent of capillarity accumulation of nitrate during a long dry period. *Plant and Soil*, 15:121-133. 1961.