

EFEITOS DA ADUBAÇÃO NÍTRICA E AMONÍACAL NO TRANSPORTE DE
NITRATO EM SOLO CULTIVADO COM
Vigna unguiculata (L.) WALP*

SEBASTIÃO ALVES DE LIMA FILHO **
ANDRÉ MARTIN LOUIS NEPTUNE ***

RESUMO

Estudou-se, em condições de campo, o transporte de íons NO_3^- e NH_4^+ em uma Terra Roxa Estruturada (TE) cultivada com *Vigna unguiculata* (L.) Walp., quando se forneceu diferentes doses de adubo nítrico e amoniacal.

O solo foi amostrado em 4 profundidades (0-20, 20-40, 40-60 e 60-80 cm), no final do ciclo vegetativo da cultura, determinando-se os teores de nitrato e amônio em cada profundidade estudada.

* Entregue para publicação em 30-12-1982.

** Coordenadoria Regional Sul do IAA/Planalsucar, SP.

*** Departamento de Solos, Geologia e Fertilizantes, E. S.A. "Luiz de Queiroz", USP.

Os teores de NO_3^- aumentaram com o aumento da profundidade e das doses de $\text{N-NO}_3^-/\text{ha}$, principalmente nas doses mais altas (100, 200 e 400 kg/ha de N-NO_3^-). Os teores mais altos foram encontrados na profundidade de 60-80 cm sendo: 2,46; 3,72; 7,25 e 10,22 ppm de NO_3^- , para as doses de 50, 100, 200 e 400 kg/ha de N-NO_3^- , respectivamente.

Os teores mais altos de NH_4^+ foram encontrados na profundidade de 0-20cm, sendo: 5,42; 7,75; 7,43 e 9,26 ppm de NH_4^+ , para as doses de 50, 100, 200 e 400 kg/ha de N-NH_4^+ , respectivamente. Observou-se menor transporte de (NH_4^+) em relação ao (NO_3^-), mesmo quando o solo recebeu as mais altas doses (kg/ha) de N-NH_4^+ .

INTRODUÇÃO

O nitrogênio no solo apresenta um comportamento bastante variável em função das características pedológicas e dos fatores externos como as adubações nitrogenadas que normalmente modificam a dinâmica dos íons NO_3^- e NH_4^+ .

O amônio pode ser adsorvido pelo complexo argilo-húmico, como também pode transformar-se em nitrato pelo conhecido processo microbiológico de nitrificação (SARAIVA & NEPTUNE, 1976).

WETSELAAR (1962) e GARDNER (1965) têm observado que o transporte do NO_3^- provocado pelas águas das chuvas não é suficiente para que ocorra uma completa extração deste íon da solução do solo. Por outro lado, mostraram que,

na solução do solo, o teor de NO_3^- tende a decrescer, aumentando acentuadamente em camadas mais profundas.

Collison e Mensching, citados por BLACK (1968), constataram que mais de 99% do nitrogênio transportado estava presente como nitrato, menos de 1% como amônio e apenas traços como nitrito. A média anual provável de nitrogênio de um solo mineral representativo de região úmida, mediante transporte, pode variar de 15 a 33 kg / ha.

O objetivo do presente trabalho foi estudar os efeitos da aplicação de doses de nitrato e amônio na magnitude do transporte através da determinação dos teores de nitrato e amônio a diferentes profundidades.

MATERIAL E MÉTODOS

O ensaio foi instalado em uma Terra Roxa Estrutura da eutrófica (TE) com A moderado e textura argilosa com relevo suave ondulado e ondulado, na área experimental da Fundação Faculdade de Agronomia "Luiz Meneghel" de Bandeirantes, Estado do Paraná, situada na micro-região homogênea do Norte Velho de Jacarezinho (PR), de acordo com a Divisão de Pesquisa Pedológica do Departamento Nacional de Pesquisa Agropecuária do Ministério da Agricultura (1962/63).

Antes da instalação propriamente dita do experimento em 15/06/76, colheram-se duas amostras de solo compostas (trinta sub-amostras/cada), na profundidade de 0 - 20 cm e suas características físico-químicas que podem ser observadas na Tabela 1.

Em todas as parcelas cultivou-se a *Vigna unguiculata* (L.) Walp., variedade Branca H₁, conhecida no Nordeste como feijão de corda ou feijão macassar.

Tabela 1 - Propriedades físicas e químicas do solo estudado.

pH (H ₂ O)	C (%)	P(*)	K(*)	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Al ⁺⁺⁺	H ⁺	Argila	Limo	Areia
6,9	1,41	0,68	0,91	9,42	1,91	0,08	1,91	64,86	20,83	14,31
6,7	1,44	0,35	0,82	7,58	2,03	0,08	2,48	66,85	18,60	14,35

(*) Extraído com H₂SO₄ - 0,05N.

Tendo em vista os elevados teores dos nutrientes revelados pelas análises de solo (Tabela 1) dispensou-se a prática da calagem e das adubações fosfatadas e potássicas. Aplicou-se apenas os seguintes adubos nitrogenados: salitre do Chile (NaNO_3) com 16% de N-nítrico e o sulfato de amônio (NH_4) $_2$ SO_4 com 20% de N-amoniaco como fontes de nitrogênio.

O preparo do solo constou de uma aração e duas gradagens, o que foi suficiente para se obter uma boa homogeneização do terreno. A área experimental foi protegida contra erosão por curvas de nível precavendo-se de possíveis problemas de contaminação entre as parcelas.

O delineamento estatístico utilizado foi o de blocos ao acaso com parcelas subdivididas, com 5 tratamentos: 0, 50, 100, 200 e 400 kg/ha de N, com 3 repetições nas parcelas e duas fontes de nitrogênio (N- NO_3^- e N- NH_4^+) nas subparcelas.

Os adubos foram distribuídos à lanço, sendo cuidadosamente misturados ao solo (1 a 2 cm de profundidade), a fim de se obter a melhor homogeneização possível na subparcela.

Sementes de *Vigna* foram colocadas sem inoculante em todas as sub-parcelas (2 m x 1 m = 2 m²) na profundidade de 1 a 2 cm, numa densidade de 30 sementes/m linear de sulco e no espaçamento de 0,33m nas entrelinhas. Aos 15 dias após a germinação fez-se o desbaste deixando-se 20 plantas/m linear de sulco. As sementes foram selecionadas e tratadas preventivamente com Benlate. Durante o ciclo vegetativo, a cultura recebeu pulverizações preventivas e periódicas com os inseticidas: Folidol Em. 60% a 0,1% e Dimetoato 50 E (1,5 l/ha) contra as principais pragas: cochonilhas, pulgões e tripses.

Retirou-se uma amostra de solo em cada uma das 4 profundidades (0-20, 20-40, 40-60 e 60-80 cm) estudadas e em todas as subparcelas, a fim de se determinar os teores de NO_3^- e NH_4^+ existentes em cada amostra/profundidade. Estas 4 amostragens foram retiradas em um "uni-

co ponto" da subparcela e imediatamente foram pesadas e colocadas em frascos contendo solução de KCl-2N (proporção: sólido/solvente, 1:1) para que houvesse a paralização total no processo de nitrificação. Cinco gotas de tolueno p.a. foram adicionadas à solução KCl: de solo para impedir o crescimento e desenvolvimento de fungos.

As concentrações de nitrato (NO_3^-) e de amônio (NH_4^+) em cada amostra de solo foram determinadas pelo método descrito por BREMNER (1965), que se baseia na destilação a vapor da amostra em presença de MgO e liga de Devarda.

Nos dias em que não houve precipitação, cada subparcela foi irrigada com 10 l/m^2 de água (10 mm) por aspersão e da maneira mais homogênea possível.

Com o objetivo de visualizar melhor os efeitos da precipitação + irrigação sobre a cultura/parcela e, da evapotranspiração da *Vigna*, acumulou-se os dados de 10 em 10 dias durante o período de 120 dias que podem ser observados na Tabela 2 e Figura 1.

A evapotranspiração potencial foi calculada segundo a metodologia descrita por PENMAN (1948) e (1956).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Movimento do nitrato (NO_3^-) no solo

As concentrações (ppm) de nitrato no solo encontrado nas 4 profundidades (cm) com as duas fontes de nitrogênio aplicadas estão na Tabela 3. As análises de variância (Tabela 4) mostram diferenças estatísticas ao nível de 1% para os tratamentos com as duas fontes de nitrogênio aplicadas.

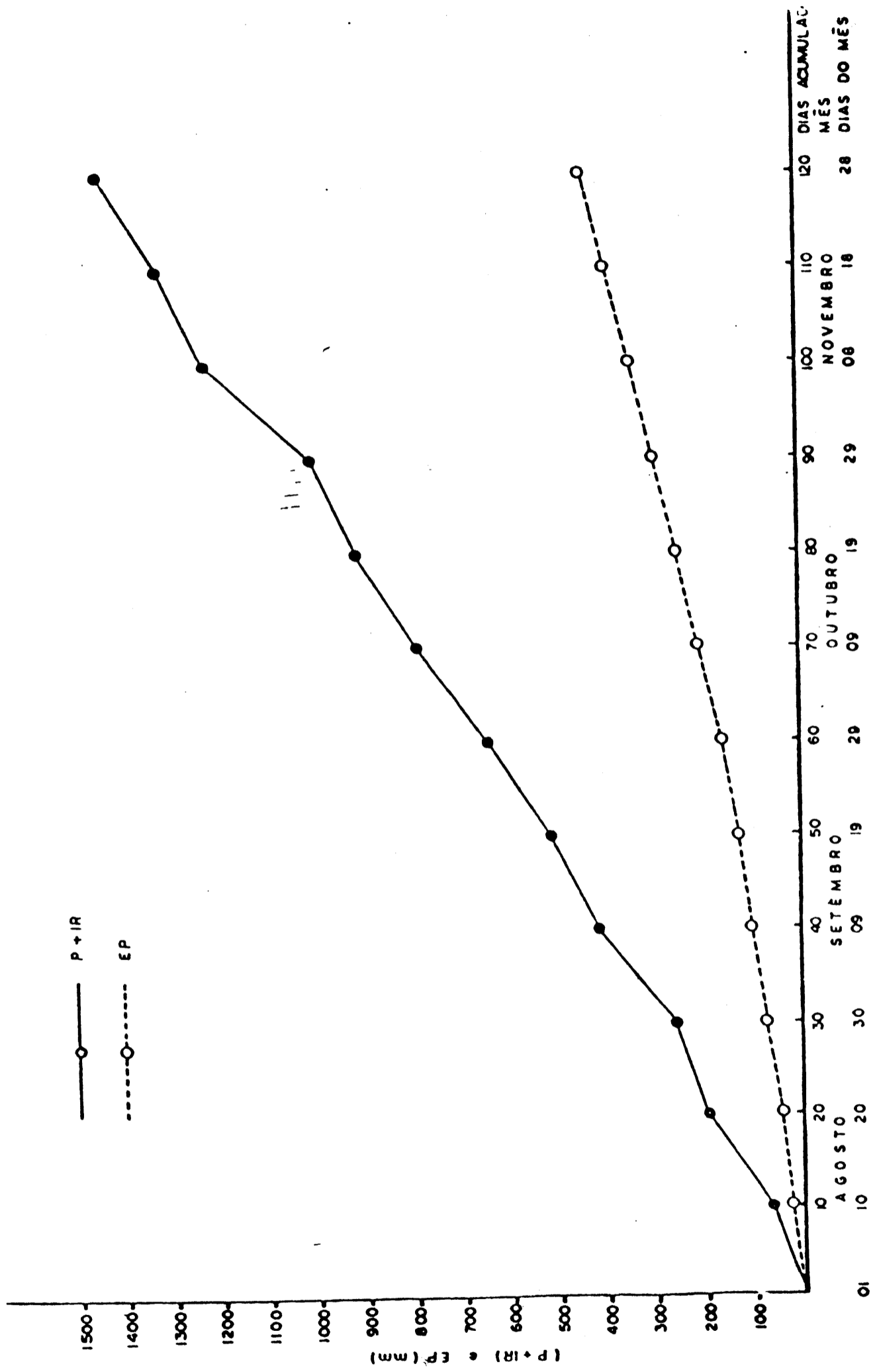


Figura 1 - Curvas representativas da Tabela 2.

Tabela 2 - Dados acumulados (mm) de precipitação (P) e irrigação (IR) e, evapotranspiração potencial (EP) para a cultura da *Vigna* no período de 01/08 à 30/11/76.

Dias acumulados	Precipitação e irrigação	Evapotranspiração potencial
10	65,6	24,40
20	200,0	44,68
30	260,0	76,08
40	416,2	101,40
50	511,0	128,56
60	639,4	159,76
70	784,0	204,50
80	907,6	251,73
90	999,5	294,09
100	1.220,0	338,87
110	1.316,7	386,51
120	1.437,6	434,14

O menor teor médio de NO_3^- (3,63 ppm) com aplicação da fonte nítrica foi encontrado na profundidade de 20-40 cm na sub-parcela testemunha (sem aplicação de nitrogênio) e o maior (14,69 ppm), na profundidade de 60-80 cm com a aplicação de 400 kg/ha de N-NO_3^- .

Quando se aplicou a fonte amoniacal, o menor teor de NO_3^- (3,39 ppm) foi encontrado a 40-60 cm de profundidade na sub-parcela testemunha (sem aplicação de nitrogênio) e o maior teor (8,09 ppm) na profundidade de 60-80 cm com a aplicação da dose de 400 kg/ha de N-NH_4^+ .

A distribuição dos teores de NO_3^- no solo apresenta da na Figura 2 mostra que a fonte nítrica promove um gradiente progressivo de NO_3^- , à medida que se aumenta a pro

Tabela 3 - Concentrações médias (ppm) de NO_3^- no solo em 4 profundidades (cm), sob efeito de fontes e doses de nitrogênio amoniacal (N-NH_4^+) e nítrico (N-NO_3^-).

Fontes de nitrogênio	Tratamentos (kg/ha de N)	Profundidade (cm)					
		0-20	20-40	40-60	60-80	B	
NaNO_3	0	3,91	3,63	4,23	4,47	16,24	-
	50	3,92	4,71	5,65	6,93	21,21	4,97
	100	4,95	5,83	6,84	8,19	25,81	9,57
	200	5,95	6,96	8,76	11,72	33,39	17,15
	400	6,95	9,00	11,65	14,69	42,29	26,05
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	0	3,79	3,95	3,39	3,55	14,68	-
	50	4,05	4,45	4,57	5,29	18,36	3,68
	100	4,72	5,21	5,25	5,44	20,62	5,94
	200	5,98	5,83	6,27	6,48	24,56	9,88
	400	6,17	6,31	7,08	8,09	27,65	12,97

A = Somatória de NO_3^- ao longo do perfil (0-80 cm).

B = Tratamentos (50, 100, 200 e 400 kg/ga de N) - testemunha (0 kg/ha de N).

Tabela 4 - Concentrações médias em ppm de NO_3^- sob efeito de fontes e doses de nitrogênio.

Tratamentos (T) (kg/ha de N)	----- Fontes de N -----	
	$(\text{NH}_4)_2 \text{SO}_4$	NaNO_3
	ppm NO_3^-	ppm NO_3^-
T ₁ 0	3,67	4,06
T ₂ 50	4,59	5,30
T ₃ 100	5,15	6,45
T ₄ 200	6,14	8,35
T ₅ 400	6,97	10,57

F	61,95**	247,84**
DMS (5%)	0,80	0,83
CV (%)	10,73	8,53

** Significativo a 1% de probabilidade

fundidade concordando com resultados obtidos por HALL (1924), SMITH (1928) e, AYRES & HAGIHARA (1963).

Quando se forneceu N-amoniacoal, os teores de NO_3^- encontrados (Figura 3) tiveram uma distribuição no perfil do solo semelhante aos teores de NO_3^- oriundos da fonte nítrica, porém com menores gradientes de NO_3^- entre as profundidades. Evidentemente, a capacidade de adsorção catiônica do solo, o processo de nitrificação do nitrogênio (conversão de NH_4^+ a NO_3^-) e outros fatores como temperatura e quantidade (mm) de água fornecida pela precipitação e irrigação exerceram influência sobre o processo de transporte deste aniônio. Observações análogas foram feitas por WAGNER (1965), EIRA et alii (1968), SCHREVEN (1970) e LUND et alii (1974) em seus trabalhos, quando utilizaram diferentes tipos de solos e doses crescentes de nitrogênio oriundas de N-nítrico, N-amoniacoal e N-amídico.

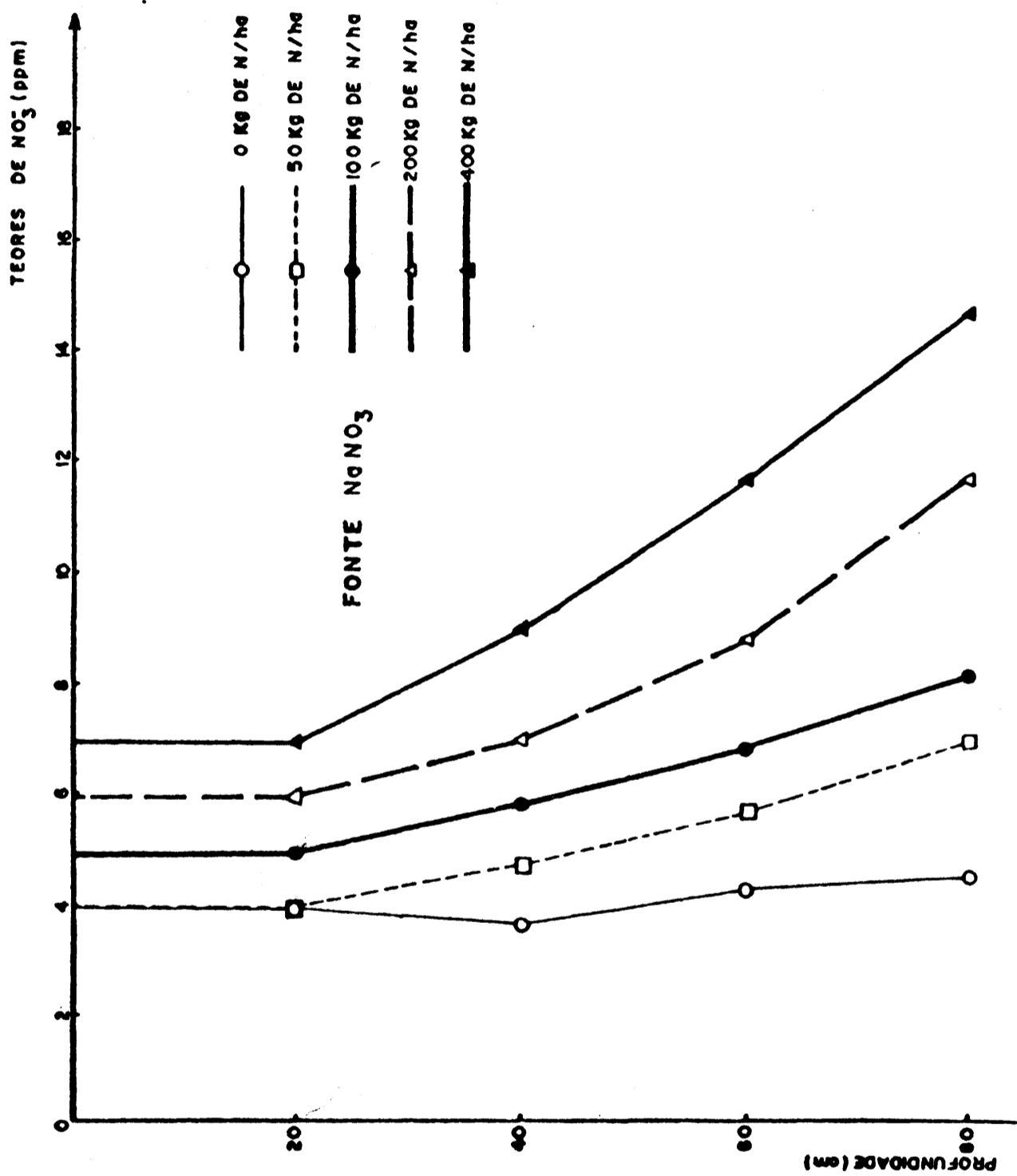


Figura 2 - Teores médios de NO_3^- no solo (ppm) em 4 profundidades (cm) com aplicação de NaNO_3 .

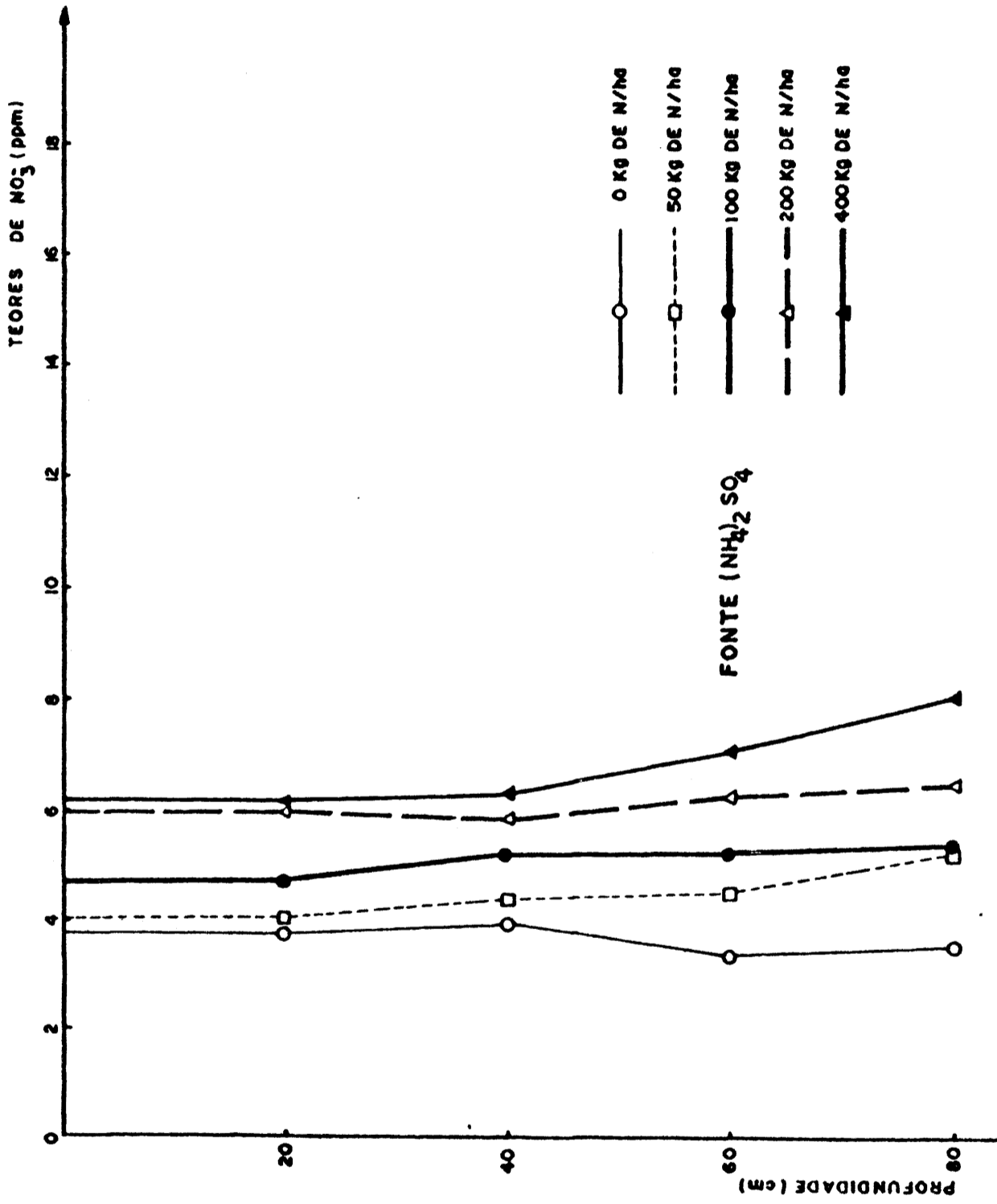


Figura 3 - Teores médios de NO₃ no solo (ppm) em 4 profundidades (cm) com aplicação de (NH₄)₂SO₄.

Esses teores (ppm) de NO_3^- encontrados nas 4 profundidades do solo foram convertidos em quantidades (kg/ha) de N-NO_3^- e encontram-se na Tabela 5. Dessa maneira, torna-se possível avaliar melhor a intensidade do transporte deste iônio em função das doses crescentes de nitrogênio aplicadas.

Os resultados das análises de variância para os teores médios de NO_3^- obtidos com a aplicação dos 5 tratamentos para cada profundidade estão na Tabela 6 onde se observa que na profundidade 60-80 cm, quando se aplicou N-NH_4 , encontrou-se o maior teor de NO_3^- (5,77 ppm), diferindo significativamente dos teores de NO_3^- (4,99 e 5,15 ppm) encontrados nas profundidades 1 e 2, respectivamente. Houve também diferenças significativamente a 1% entre os teores de NO_3^- encontrados em todas as profundidades quando se aplicou N-nítrico.

Houve significância estatística para a interação Tratamentos (T) x profundidades (Prof.), apenas com a aplicação da fonte nítrica. Os desdobramentos efetuados (Tabela 7) permitem avaliar o comportamento dos tratamentos dentro de cada profundidade e o comportamento de cada tratamento dentro das 4 profundidades.

Em todas as profundidades, houve diferenças estatísticas significativas a 1%. A análise do comportamento de cada tratamento nas 4 profundidades mostrou que somente dentro do tratamento T_1 (testemunha) não se verificou diferenças significativas entre as médias de NO_3^- em ppm nas profundidades estudadas.

As maiores variações entre os teores de NO_3^- nas 4 profundidades foram obtidas com a aplicação das doses mais altas (100, 200 e 400 kg/ha de N) na forma nítrica e amoniacal; todavia, os teores de NO_3^- encontrados nas sub-parcelas que receberam a fonte nítrica foram maiores àqueles encontrados nas sub-parcelas adubadas com a forma amoniacal. Estes resultados estão de acordo àqueles obtidos por DEVITT et alii (1976), HOYT et alii (1977), SCARSBROOK (1965) e KRANTZ et alii (1944), quando trabalharam com fontes e doses de nitrogênio semelhantes e em solos menos argilosos.

Tabela 5 - Quantidades médias de nitrato no solo (kg/ha) em 4 profundidades (cm).

Fontes de nitrogênio	Tratamentos (kg/ha de N)	Kg/ha de NO_3^- Profundidades (cm)			
		0-20	20-40	40-60	60-80
NaNO_3	0	9,38	8,71	10,15	10,73
	50	9,41	11,30	13,56	16,63
	100	11,88	14,00	16,42	19,66
	200	14,28	16,70	21,02	28,13
	400	16,68	21,60	27,96	35,26
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	0	9,10	9,48	8,14	8,52
	50	9,72	10,68	10,97	12,70
	100	11,33	12,50	12,60	13,06
	200	14,35	14,00	15,05	15,55
	400	14,81	15,14	17,00	19,42

Tabela 6 - Concentrações médias em ppm de NO_3^- , a diferentes profundidades, sob efeito de fontes e doses de nitrogênio.

Profundidades (P) (cm)		Fontes de N	
		$(\text{NH}_4)_2 \text{SO}_4$	NaNO_3
		ppm NO_3^-	
Prof ₁	0-20	4,99	5,13
Prof ₂	20-40	5,15	6,02
Prof ₃	40-60	5,31	7,43
Prof ₄	60-80	5,77	9,20
F		7,28	128,08
DMS (5%)		0,48	0,60
CV (%)		9,11	8,72

Significativo a 1% de probabilidade

Na Tabela 8, estão as médias dos teores (ppm) de NO_3^- no solo nas 4 profundidades, subtraídas das respectivas testemunhas, ou seja, são teores de NO_3^- supostamente oriundos das adubações realizadas.

A análise dos teores de NO_3^- , provenientes das doses de N-NH_4^+ , encontrados nas profundidades estudadas, permitem sugerir a ocorrência de uma intensa nitrificação do amônio (NH_4^+) adicionado na camada arável do solo (0-20 cm). Se viável esta hipótese, deve-se também a existência de uma população satisfatória de microrganismos, aeração, temperatura e substrato (doses de N-NH_4^+) necessários ao desenvolvimento do processo microbiológico.

Todos os teores de NO_3^- encontrados no solo foram transformados em porcentagens (calculadas a partir dos valores encontrados na coluna B da Tabela 3 aos quais

Tabela 7 - Análise estatística para os desdobramentos da interação: tratamentos com NaNO_3 x profundidades.

C. variação	G.L.	Q.M.
Blocos	2	0,2753 ns
Tratamentos	4	79,2361 **
Profundidades	3	47,2370 **
Tratamentos x Prof.	12	4,2588 **

Tratamentos d. Prof. 1	4	5,2211 **
Tratamentos d. Prof. 2	4	12,9407 **
Tratamentos d. Prof. 3	4	25,0285 **
Tratamentos d. Prof. 4	4	48,8221 **

Profundidades d. T1	3	0,4044 ns
Profundidades d. T2	3	5,0490 **
Profundidades d. T3	3	5,8167 **
Profundidades d. T4	3	19,2331 **
Profundidades d. T5	3	33,7689 **

** Significativo a 1% de probabilidade

ns Não significativo.

Tabela 8 - Médias dos teores (ppm) de NO_3^- no solo menos testemunhas, a diferentes profundidades (cm) e sob efeitos das duas fontes de nitrogênio.

Fonte de nitrogênio	Tratamentos (kg/ha de N)	Profundidades (cm)			
		0-20	20-40	40-60	60-80
ppm de NO_3^-					
NaNO_3	0	-	-	-	-
	50	0,01	1,08	1,42	2,46
	100	1,04	2,20	2,61	3,72
	200	2,04	3,33	4,53	7,25
	400	3,04	5,37	7,42	10,22
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	0	-	-	-	-
	50	0,26	0,50	1,18	1,74
	100	0,93	1,26	1,86	1,89
	200	2,19	1,88	2,88	2,93
	400	2,38	2,36	3,69	4,54

atribuiu-se o valor 100% e obteve-se constantes que por sua vez foram multiplicadas pelos respectivos teores de NO_3^- da Tabela 8) permitindo dessa maneira uma melhor análise da sua distribuição no perfil do solo.

Na Tabela 10, as quantidades de NO_3^- em kg/ha (3a. coluna), foram calculadas a partir dos dados (ppm de NO_3^- à profundidade de 60-80 cm) da 6a. coluna da Tabela 3, considerando nos cálculos uma profundidade de 20 cm e uma densidade de 1,2. Na 4a. coluna, as quantidades de NO_3^- /ha foram convertidos em kg/ha de N-(NO_3^-) e na 5a. coluna, estão as porcentagens de N(NO_3^-) transportados que foram calculadas a partir de um valor 100 para uma das doses de fertilizantes aplicadas.

Se o NO_3^- transportado encontra-se abaixo da zona radicular das culturas, ou seja, abaixo de 60 cm de profundidade, pode-se verificar pelos dados da Tabela 10, que as maiores porcentagens de nitrato transportado (2,66 e 1,88%) ocorrem com as doses de 50 kg/ha de N- NO_3^- e N- NH_4^+ aplicadas. Observa-se que as maiores quantidades de NO_3^- transportado tenham aumentado com as doses, sendo de: 1,33; 2,02; 3,93 e 5,54 kg/ha de N-(NO_3^-), para as doses de nitrato de sódio e 0,94; 1,02; 1,59 e 2,46 kg/ha de N(NH_4^+) para as doses de sulfato de amônio.

Na Tabela 11, estão as quantidades de N- NO_3^- e N(NO_3^-) em kg/ha até 80 cm de profundidade (3a. e 4a. colunas, respectivamente), as quais foram calculadas a partir das concentrações de NO_3^- da Tabela 3. Na 5a. coluna, estão as quantidades de N-inorgânico efetivamente existente no solo (N oriundo dos fertilizantes) e, na 6a. coluna, as quantidades deste N-inorgânico disponível às plantas até a profundidade de 60 cm.

Pelas quantidades de NO_3^- encontradas na planta e no solo, pode-se admitir que a maior parte destes aniônio adicionado como adubo, tenha sido aproveitado pelas plantas, se bem que existe ainda a possibilidade desta leguminosa ter fixado simbioticamente o nitrogênio atmosférico, quando cultivadas com a menor dose (50 kg/ha de N), ou talvez tenha ocorrido uma pequena fixação de ni-

Tabela 9 - Porcentagens médias de NO_3^- menos testemunhas, a diferentes profundidades (cm) e em presença de duas fontes de nitrogênio.

Fontes de nitrogênio	Tratamentos (kg/ha de N)	Profundidades (cm)			
		0-20	20-40	40-60	60-80
NaNO_3	0	-	-	-	-
	50	0,20	21,73	28,57	49,50
	100	10,87	22,99	27,27	36,87
	200	11,90	19,42	26,41	42,27
	400	11,67	20,61	28,48	39,24
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	0	-	-	-	-
	50	7,07	13,59	32,07	47,27
	100	15,66	21,21	31,31	31,82
	200	22,17	19,03	29,15	20,65
	400	18,35	18,20	28,45	35,00

Tabela 10 - Nitrogênio em kg/ha e em porcentagem de NO_3^- transportado à profundidade de 60-80 cm e em presença de duas fontes de nitrogênio.

Fontes de nitrogênio	Tratamentos (kg/ha de N)	N- NO_3^- em kg/ha	N(NO_3^-) em kg/ha	N(NO_3^-) em porcentagem
NaNO_3	0	-	-	-
	50	5,90	1,33	2,66
	100	8,93	2,02	2,02
	200	17,40	3,93	1,96
	400	24,53	5,54	1,38
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	0	-	-	-
	50	4,18	0,94	1,88
	100	4,54	1,02	1,02
	200	7,03	1,59	0,80
	400	10,90	2,46	0,62

Tabela 11 - Quantidades médias (kg/ha) de nitrogênio até as profundidades de 80 cm (A) e 60 cm (B), em presença de duas fontes de nitrogênio.

Fontes de nitrogênio	Tratamentos (kg/ha de N)	N-NO ₃ ⁻ (A)	N(NO ₃ ⁻) (B)	N-inorg. no solo testem. (A)	N-disponível do fertiliz- à cultura (B)
NaNO ₃	0	38,98	8,80	-	-
	50	50,90	11,49	2,69	47,31
	100	61,94	13,99	5,19	94,81
	200	80,14	18,10	9,30	190,70
	400	101,50	22,92	14,12	385,88
(NH ₄) ₂ SO ₄	0	35,23	7,95	-	-
	50	44,06	9,95	2,00	48,00
	100	49,49	11,17	3,22	96,78
	200	58,94	13,31	5,36	194,64
	400	66,36	14,98	7,03	392,97

nitrogênio adicionado através das doses pesadas (100, 200 e 400 kg/ha de N).

Entretanto, uma vez que os teores de NO_3^- aumentaram com o aumento da profundidade, torna-se prático admitir que parte das quantidades de $\text{N}(\text{NO}_3^-)$ perdidas do solo nas várias formas possam ter alcançado profundidades maiores de 80 cm.

Dinâmica do amônio (NH_4^+) no solo

Os teores (ppm) médios de amônio no solo encontrados nas 4 profundidades (cm) com as duas fontes de nitrogênio aplicadas estão na Tabela 12. As análises de variância (Tabela 13) mostram diferenças estatísticas ao nível de 1% para os tratamentos aplicados nas duas fontes de nitrogênio aplicadas.

A distribuição dos teores de NH_4^+ nas 4 profundidades do solo estudadas em função das doses de nitrogênio aplicadas, podem ser melhor entendidas através das Figuras 4 e 5 e das quantidades (kg/ha) no solo (Tabela 14) que foram calculadas a partir dos teores médios de NH_4^+ encontrados no solo e que já foram apresentados na Tabela 12.

Em geral, o NH_4^+ apresenta uma distribuição no solo inversa a do NO_3^- . Enquanto o teor de NO_3^- aumenta com o aumento da profundidade, o NH_4^+ mostra uma tendência em acumular-se na camada de 0-20 cm. ROCHA LEAL & ALVAHYDO (1971) também estudaram a dinâmica desses iônicos no solo e obtiveram resultados semelhantes. Dessa maneira, parece que o NH_4^+ acompanha a distribuição da matéria orgânica e esta por sua vez, é quem define a capacidade de troca catiônica do solo.

A análise estatística para os teores médios de NH_4^+ no solo mostrou que não houve diferenças significativas, entre os tratamentos: 50 e 100 kg/ha e, 200 e 400 kg/ha de nitrogênio aplicados na forma amoniacal.

Tabela 12 - Teores médios de amônio no solo (ppm) em 4 profundidades (cm) em presença de duas fontes de nitrogênio.

Fontes de nitrogênio	Tratamentos (kg/ha de N)	Profundidades (cm)					A(0-80)	B
		0-20	20-40	40-60	60-80			
NaNO ₃	0	7,77	5,40	3,20	2,97	19,34	-	
	50	7,99	5,88	4,76	4,25	22,88	3,54	
	100	8,58	5,41	5,52	4,81	24,32	4,98	
	200	8,45	5,97	6,35	6,20	26,97	7,63	
	400	8,45	6,79	6,51	5,73	27,48	8,14	
(NH ₄) ₂ SO ₄	0	6,01	5,93	5,32	4,05	21,31	-	
	50	11,43	8,01	5,99	5,15	30,58	9,27	
	100	13,76	8,03	6,88	6,17	34,84	13,53	
	200	13,44	12,45	9,76	5,83	41,48	20,17	
	400	15,27	12,64	11,25	7,60	46,76	25,45	

A = Somatória de NH₄⁺ ao longo do perfil (0-80 cm).

B = Tratamentos (50, 100, 200 e 400 kg/ha de N) - Testemunha (0 kg/ha de N).

Tabela 13 - Fontes de nitrogênio, tratamentos aplicados e teores médios de NH_4^+ com suas respectivas análises estatísticas.

Tratamentos (T) (kg/ha de N)	Fontes de N	
	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	NaNO_3
T1	5,33	4,84
T2	7,65	5,72
T3	8,71	6,10
T4	10,37	6,74
T5	11,69	6,87
F	55,39**	14,37**
DMS (5%)	1,62	1,07
CV (%)	13,08	12,48

** Significativo a 1% de probabilidade.

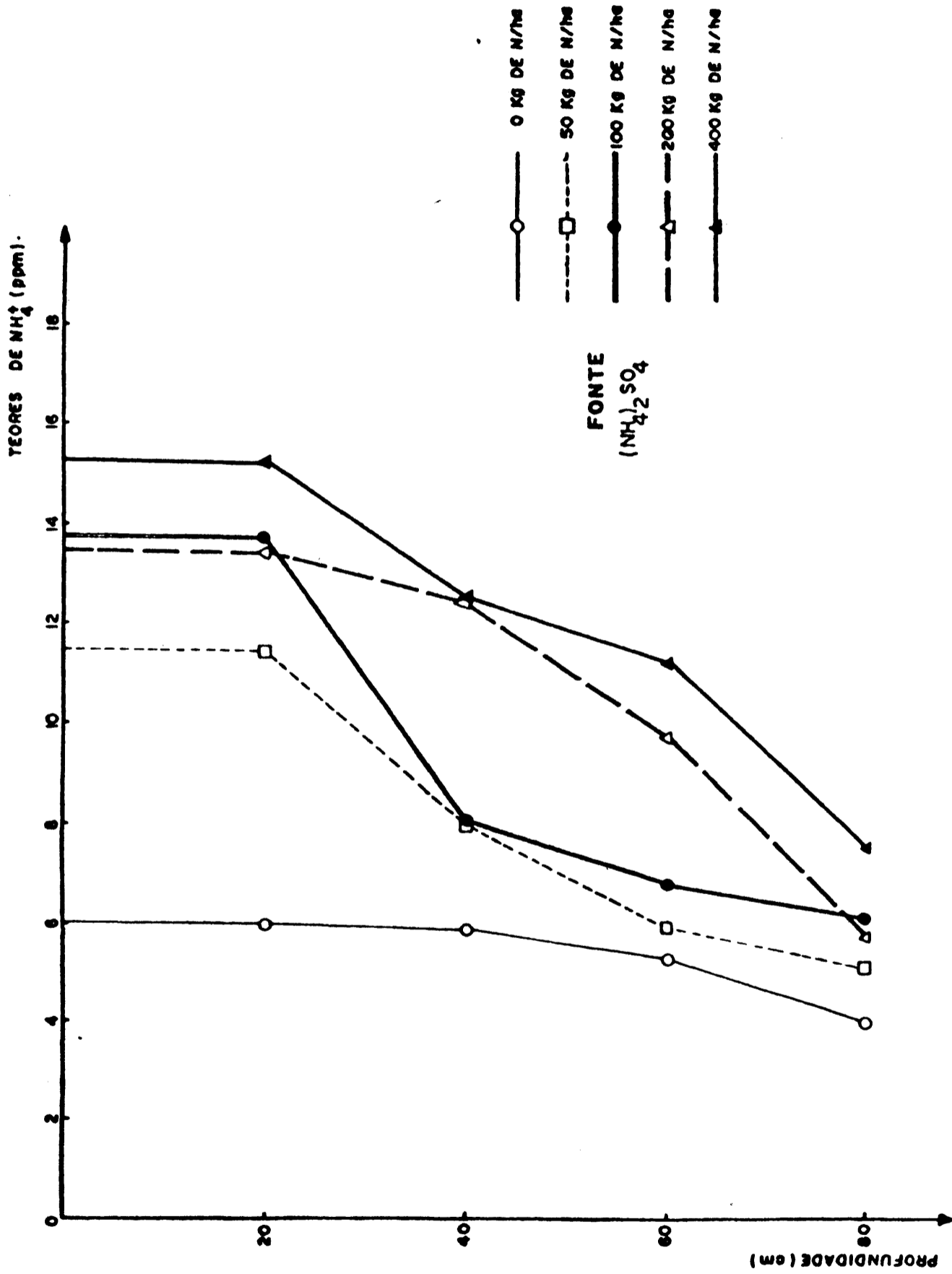


Figura 4 - Teores médios de NH₄⁺ no solo (ppm) em 4 profundidades (cm) com aplicação de (NH₄)₂SO₄.

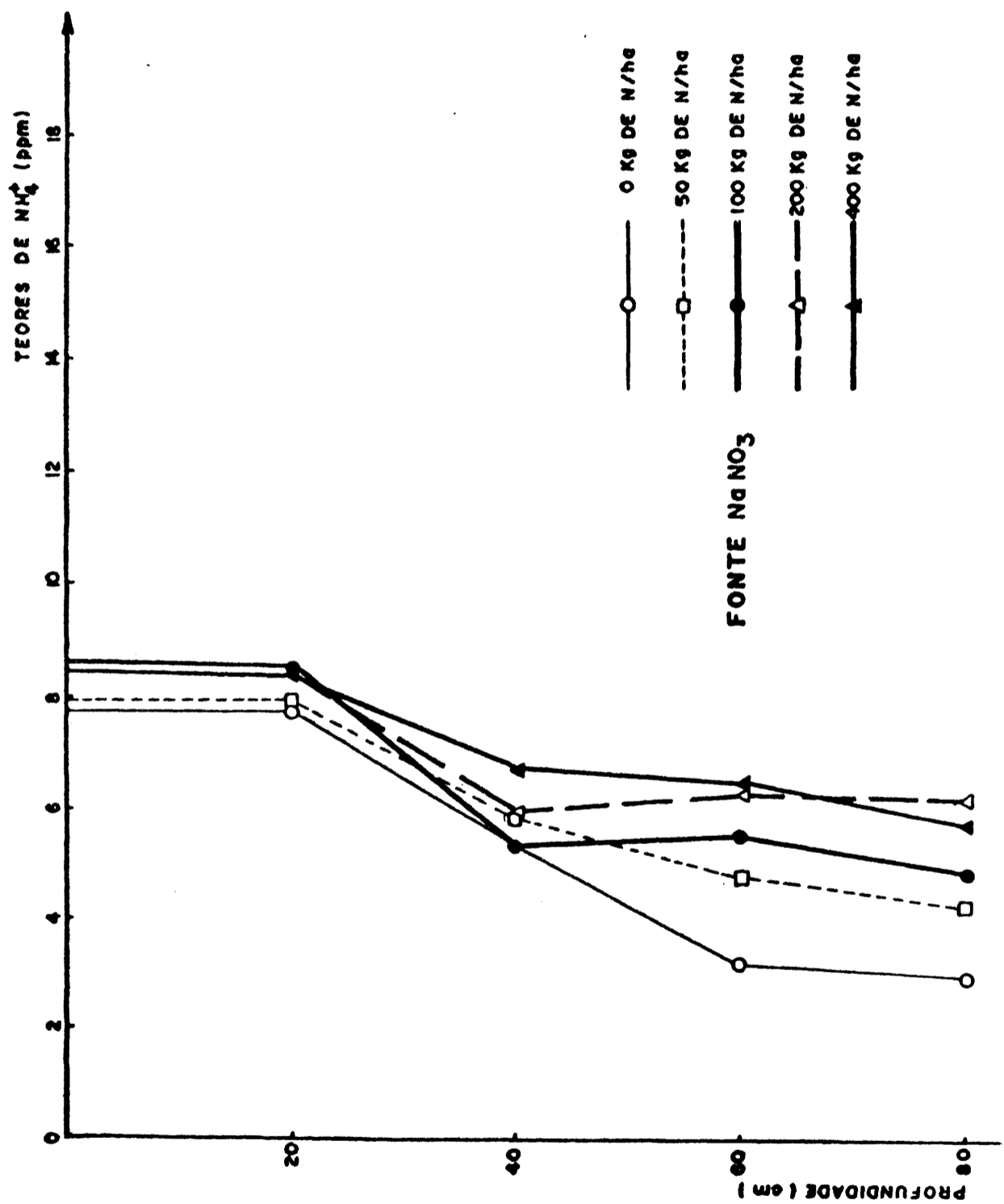


Figura 5 - Teores médios de NH₄⁺ no solo (ppm) em 4 profundidades (cm) com aplicação de NaNO₃.

Tabela 14 - Quantidades médias de amônio no solo (kg/ha) em 4 profundidades (cm) em duas fontes de nitrogênio.

Fontes de nitrogênio	Tratamentos (kg/ha de N)	kg/ha de NH_4^+			
		Profundidade (cm)			
		0-20	20-40	40-60	60-80
NaNO_3	0	18,65	12,96	7,68	7,13
	50	19,18	14,11	11,42	10,20
	100	20,59	12,74	13,25	11,54
	200	20,28	14,33	15,24	14,88
	400	20,28	16,30	15,62	13,75
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	0	14,42	14,23	12,77	9,72
	50	27,43	19,22	14,38	12,36
	100	33,02	19,27	16,51	14,81
	200	32,26	29,88	23,42	14,00
	400	36,45	10,34	27,00	18,24

Na sub-parcela testemunha (sem aplicação de adubo) encontrou-se o menor teor de NH_4^+ no solo que diferiu significativamente daqueles encontrados: 100, 200 e 400 kg/ha de N-nítrico. Por outro lado, apenas o tratamento T_2 (50 kg/ha de N) diferiu significativamente de T_5 (400 kg/ha de N).

Tendo em vista que o NO_3^- adicionado ao solo não se converte a NH_4^+ , pode-se admitir que os teores de NH_4^+ existentes nas 4 profundidades estudadas, já se encontram disponíveis no solo.

Na Tabela 15, encontram-se os resultados das análises de variância para os teores (ppm) médios de NH_4^+ que foram obtidos com os diferentes tratamentos em cada profundidade (Prof. 1 a Prof. 4) estudada. Houve diferenças significativas entre esses teores para todas as profundidades com a aplicação da fonte amoniacal.

Nas sub-parcelas em que se forneceu o N-nítrico não se observou diferenças significativas entre os teores médios de NH_4^+ nas profundidades de 40-60 e 60-80 cm.

Em geral, observou-se que os teores de NH_4^+ encontrados no solo decresceram com o aumento da profundidade independente da forma de nitrogênio aplicado. Evidentemente, nas sub-parcelas que receberam N-amoniacal encontram-se teores de NH_4^+ mais elevados em todas as profundidades quando comparadas àquelas que receberam o N-nítrico.

As análises estatísticas para a interação: Tratamentos (T) x Profundidades (P), foram significativas para ambas fontes de nitrogênio. Assim sendo, fez-se um estudo mais detalhado do comportamento dos teores médios de NH_4^+ dos tratamentos, em cada profundidade. Os resultados destas análises estão na Tabela 16 (desdobramentos da interação: Tratamentos com N-amoniacal x profundidades) e na Tabela 17 (desdobramentos da interação: Tratamentos com N-nítrico x profundidades).

A análise dos dados da Tabela 16 permite observar

Tabela 19 - Porcentagens de NH_4^+ menos testemunhas, a diferentes profundidades (cm).

Fontes de nitrogênio	Tratamentos (kg/ha de N)	Profundidades (cm)			
		0-20	20-40	40-60	60-80
NaNO_3	0	-	-	-	-
	50	6,21	13,56	44,07	36,16
	100	16,60	0,20	47,54	37,70
	200	8,91	7,48	41,28	42,33
	400	8,35	17,08	40,66	33,91
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	0	-	-	-	-
	50	58,47	22,44	7,23	11,86
	100	57,28	15,52	11,53	15,67
	200	36,84	32,33	22,01	8,82
	400	36,39	26,37	23,30	13,94

ra) ou por outro lado, ocorra uma "preferência nutricional" de NH_4^+ pela cultura.

As quantidades de NH_4^+ em kg/ha (3a. coluna da Tabela 20), foram calculadas a partir dos dados (ppm de NH_4^+ à profundidade de 60-80 cm) da 6a. coluna da Tabela 18, considerando nos cálculos, uma profundidade de 20 cm e uma densidade de 1,2.

Na 4a. coluna, as quantidades (kg/ha) de NH_4^+ foram convertidas em kg/ha de $\text{N}(\text{NH}_4^+)$ e na 5a. coluna, estão as porcentagens de $\text{N}(\text{NH}_4^+)$ que foram calculadas a partir de um valor 100 para cada uma das doses de fertilizantes aplicadas.

De um modo geral, observa-se que as quantidades de NH_4^+ encontradas à profundidade de 60-80 cm foram crescentes à proporção das doses de N-NH_4^+ fornecidas.

Não se observa grandes variações percentuais de $\text{N}(\text{NH}_4^+)$ "transportado" (5a. coluna da Tabela 10) para uma mesma dose de N, porém de fontes de nitrogênio diferentes.

Na Tabela 21, estão as quantidades de N-NH_4^+ e $\text{N}(\text{NH}_4^+)$ em kg/ha até 80 cm de profundidade (3a. e 4a. coluna, respectivamente), as quais foram calculadas a partir dos teores (ppm) de NH_4^+ da Tabela 12. Na 5a. coluna, estão as quantidades de N-inorgânico até 80 cm de profundidade (N possivelmente oriundo dos fertilizantes) e, na 6a. coluna, as quantidades de N-inorgânico, disponível às plantas até a profundidade de 60 cm.

As quantidades de N-inorgânico encontradas no solo (5a. coluna da Tabela 21) e os elevados teores de nitrogênio nas plantas, revelados pelas análises de tecidos vegetais e grãos, permitiram observar que cerca de 86% do nitrogênio fornecido como adubo, tenha sido absorvido pelas plantas.

Não se considerou no balanço apresentado na Tabela 21 os possíveis acréscimos de nitrogênio atmosférico pa-

Tabela 20 - Nitrogênio em kg/ha e em porcentagem de NH_4 transportado à profundidade de 60-80 cm.

Fontes de nitrogênio	Tratamentos (kg/ha de N)	N-NH_4^+ em kg/ha	$\text{N(NH}_4^+)$ em kg/ha	$\text{N(NH}_4^+)$ em porcentagem
NaNO_3	0	-	-	-
	50	3,07	2,39	4,78
	100	4,42	3,44	3,44
	200	7,75	6,03	3,02
	400	6,62	5,15	1,29
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	0	-	-	-
	50	2,64	2,05	4,10
	100	5,09	3,96	3,96
	200	4,27	3,32	1,66
	400	8,52	6,63	1,66

Tabela 21 - Quantidades médias de nitrogênio em kg/ha até as profundidades de 80 cm (A) e 60 cm (B).

Fontes de nitrogênio	Tratamentos (kg/ha de N)	N-NH ₄ ⁺ (A)	N(NH ₄ ⁺) (A)	N - inorgânico no solo - testemunhas (A)	N-disponível do fértil. à cultura (B)
NaNO ₃	0	46,42	36,10	-	-
	50	54,91	42,71	6,61	43,39
	100	58,13	45,21	9,11	90,89
	200	64,73	50,35	14,25	185,75
	400	65,95	51,29	15,19	384,81
(NH ₄) ₂ SO ₄	0	51,14	39,78	-	-
	50	73,39	57,08	17,30	32,70
	100	83,62	65,04	25,26	74,74
	200	99,55	77,43	37,65	162,35
	400	112,22	87,28	47,50	352,50

ra o solo em questão, tendo em vista que pesadas doses (100, 200 e 400 kg/ha) de $N-NO_3^-$ e $N-NH_4^+$ fornecidas, via de regra, inibem o processo de fixação simbiótica de nitrogênio por esta leguminosa.

CONCLUSÕES

As conclusões a que se pode chegar, nas condições em que o presente trabalho foi desenvolvido, foram:

- Os teores de nitrato (NO_3^-) aumentaram em função das doses crescentes (kg/ha de $N-NO_3^-$) de N aplicado e do aumento das profundidades. Os teores mais altos foram encontrados na profundidade de 60-80 cm sendo: 2,46; 3,72; 7,25 e 10,22 ppm de NO_3^- , menos testemunhas, para as doses de 50, 100, 200 e 400 kg/ha de $N-NO_3^-$, respectivamente.
- As maiores diferenças entre os teores de NO_3^- ocorreram entre as doses de 100, 200 e 400 kg/ha de $N-NO_3^-$ para as 4 profundidades estudadas: 0-20, 20-40, 40-60 e 60-80 cm.
- Os teores de NO_3^- , possivelmente oriundos da nitrificação do NH_4^+ , ainda que menores tiveram a mesma distribuição àqueles teores de NO_3^- oriundos da fonte nítrica.
- Os teores mais altos de amônio (NH_4^+) foram encontrados na profundidade de 0-20 cm, sendo: 5,42; 7,75; 7,43 e 9,26 ppm de NH_4^+ , menos testemunhas, para as doses de 50, 100, 200 e 400 kg/ha de $N-NH_4^+$, respectivamente.
- Houve um menor "transporte" de NH_4^+ em relação ao NO_3^- mesmo quando o solo recebeu as mais altas doses (kg/ha) de $N-NH_4^+$.

SUMMARY

EFFECTS OF NITRIC AND AMMONIUM FERTILIZERS ON THE TRANSPORT OF NO_3^- AND NH_4^+ IN A FIELD GROWN WITH *Vigna unguiculata* (L.) WALP.

The transport and the distribution of NO_3^- and NH_4^+ ions were studied in a field with TE soil ("Terra Roxa Estruturada") when different doses of nitric and ammonium fertilizers were applied.

The soil was sampled in 4 depths (0-20, 20-40, 40-60, 60-80 cm) and the concentrations of NO_3^- ions were determined at each depth.

NO_3^- contents increased with the increase of soil depth and fertilization increased levels of N- NO_3^- /ha. The highest contents of NO_3^- ion were found at 60-80 cm depth being 2.46; 3.72; 7.25 and 10.22 ppm for the fertilization of 50, 100, 200 and 400 kg/ha of N- NO_3^- , respectively.

On the other hand, the highest contents of NH_4^+ ion were found in the soil at 0-20 cm depth. At this depth, 5.42; 7.75; 7.43 and 9.26 ppm of NH_4^+ were found respectively when N- NH_4^+ rates of 50, 100, 200 and 400 kg/ha were applied.

The "transport" of NH_4^+ ion was lesser than that of NO_3^- ion even when the soil received high rates of N- NH_4^+ .

LITERATURA CITADA

AYRES, A.S.; HAGIHARA, H.H., 1963. A lisimeter study of losses of nitrogen and potassium. **Hawaiian Plant. Rec.** 56: 255-75.

BLACK, C.A., 1968. **Soil plant relationships**, 2 ed., New York, John Willey, 792p.

- BREMNER, J.M., 1965. Total nitrogen. In: BLACK, C.A. Ed., **Methods of soil analysis**, Madison, American Soc. of Agronomy, pte. 2, p.1149-78.
- DEVITT, D.; LETEY, J.; LUND, L.J.; BLAIR, J.W., 1976. Nitrate nitrogen movement through soil as affected by soil profile characteristics. **J. Environ. Quality** 5(3) : 283-8.
- EIRA, P.A. da; ALMEIDA, D.L. de; ALVAHYDO, R., 1968. Movimento do íon nitrato, em solo da série Itaguaí, nas condições naturais de campo. **Pesq. Agropec. Bras.** 3: 267 - 73.
- GARDNER, W.R., 1965. Movement of nitrogen in soil. In: **Soil nitrogen**, cap. 15, p.555-72 (Agronomy, 10).
- HALL, T.D., 1924. Nitrification in some South African Soil. Part II. **Soil Sci.** 18: 219-35.
- HOYT, G.D.; McLEAN, E.O.; REDDY, G.Y.; LOGAN, T.J., 1977. Effects of soil, cover crop, and nutrient source on movement of soil, water, and nitrogen under simulated rainslope conditions. **J. Environ. Qual.** 6(3): 285-90.
- KRANTZ, B.A.; OHLROGGE, A.J.; SCARSETH, G.D., 1944. Movement of nitrogen in soils. **Soil Sci. Soc. Am. Proc.** 8: 189-95.
- LUND, L.J.; ADRIANO, D.C.; PRATT, P.F., 1974. Nitrate concentrations in deep soil cores as related to soil profile characteristics. **J. Environ. Quality** 3(1): 77-82.
- PENMAN, H.L., 1948. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. **Proc. Roy Soc. Série A**, 193: 120-45.
- PENMAN, H.L., 1956. Estimating evaporation. **Trans. Am. Geophys. Union** 37: 43-6.

- ROCHA LEAL, J.; ALVAHYDO, R., 1971. Transformação e deslocamento do íon amônio em solo da série Itaguaí. **Pesq. Agropec. Bras.**, Série Agron., **6**: 129-35.
- SARAVIA, A.M.; NEPTUNE, A.M.L., 1976. Process of fixation, immobilization and mineralization of ammonium in soil using N-15. **An. Esc. Sup. Agric. "Luiz de Queiroz"** **33**: 685-704.
- SCARSBROOK, C.E., 1965. Nitrogen availability. **In Soil Nitrogen**, p.486-501. (Agronomy, 10).
- SCHREVEN, D.A. Van, 1970. Leaching losses of nitrogen and potassium in polders reclaimed from Lake IJssel. **Plant and Soil** **33**: 629-43.
- SMITH, J.B., 1928. Distribution of nitrates in three layers of fallow soil. **Soil Sci.** **26**: 347-50.
- WAGNER, G.H., 1965. Changes in nitrate nitrogen in field plot profiles as measured by the porous cup technique. **Soil Sci.** **100**: 397-402.
- WETSELAAR, R., 1962. Nitrate distribution in tropical soils. III. Downward movement and acumulation of nitrate in the subsoil. **Plant and Soil** **16**: 19-31.

