

TRANSFORMAÇÕES DO NITROGÊNIO EM SOLO SOB VEGETAÇÃO DE
Digitaria decumbens

Tese

Apresentada ao Decanato de Pós-Graduação da
Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro para o
grau de "Magister Scientiae"

PAULO AUGUSTO DA EIRA

julho de 1977

AGRADECIMENTOS

Aos amigos Professor Dr. Roberto Alvahydo e Pesquisadora Dra. Johanna Döbereiner por terem sugerido, orientado e apoiado tecnicamente a presente pesquisa.

Aos amigos Pesquisadores Dr. Carlos Alberto Meneguelli pela realização da análise estatística e Dr. Avílio Antonio Franco pelas críticas ao texto final.

A equipe do laboratório de solos da UEPAE de Itaguaí, especialmente aos Srs. Selmo Oliveira de Souza e Daniel da Silva, pela colaboração na época das análises químicas.

A Sra. Janete dos Santos Teixeira pela datilografia dos Quadros, à Sra. Vilma Moura Mebeiros pela datilografia do texto e ao Sr. Aldair Cardoso da Cunha pela confecção das figuras.

A EMBRAPA pela oportunidade oferecida para a execução do presente trabalho.

Finalmente a todos os amigos, familiares, professores e companheiros de curso, que durante ou após a sua realização, contribuíram de maneira direta ou indireta para que este trabalho fosse levado a bom termo.

seus trabalhos de pesquisa no extinto IPEACS, até fevereiro de 1974. Nesta época, foi liberado pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, da qual passou a fazer parte o IPEACS, para fazer o Curso de Pós-Graduação na UFRRJ.

Apresentou-se em maio de 1975 ao seu órgão de origem, Unidade de Execução de Pesquisa de Âmbito Estadual - UEPAE de Itaguaí - RJ, onde atualmente exerce o cargo, de Sub-Chefe.

BIOGRAFIA DO AUTOR

Nascido a 27 de Novembro de 1944 na cidade do Rio de Janeiro, filho de Joaquim Augusto da Eira e Rosa Delgado da Eira.

Completo o Curso ginasial em 1959 no Externato São José-RJ e o curso científico em 1962 no colégio Universitário da Universidade Rural (atual UFRRJ), senão diplomado Engenheiro Agrônomo em 1966 pela Escola Nacional de Agronomia da universidade ral do Brasil (atual UFRRJ).

Iniciou em atividades de pesquisa, como Bolsista de Iniciação Científica do Conselho Nacional de Pesquisas (CNPq) de 1965 a 1966 ainda durante o curso de Engenharia Agrônômica.

Iniciou sua carreira de Pesquisador na área de Fertilidade dos solos, como Engenheiro Agrônomo do extinto Instituto de Pesquisa e Experimentação Agropecuárias do Centro Sul (IPEACS) no Km 47 - RJ, de 1967 a fevereiro de 1973, tendo sido simultaneamente Bolsista Pesquisador Assistente do CNPq de 1968 a 1973.

Aprovado em concurso Público para o cargo de Engenheiro Agrônomo efetivo do Ministério da Agricultura em 1972, nomeado no mesmo ano, tomou posse em fevereiro de 1973, continuando.

DEDICATÓRIA

Aos meus pais,

pela oportunidade do saber.

A minha esposa Carmen Lúcia

pelos constante apoio e estímulo.

A minha filha Daniela

pelo que há de vir.

ÍNDICE

	Página
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1 - O nitrogênio no solo.....	4
2.2 - Fatores que influem no teor e nas formas de nitrogênio do solo.....	6
2.2.1 - Mineralização e Imobilização.....	8
2.2.2 - Amonificação e Nitrificação.....	9
2.2.3 - Adsorção e Fixação	14
2.2.4 - Efeito de microorganismos e de plantas.....	15
2.2.5 - Perdas	18
2.3 - Absorção e Assimilação do nitrogênio pe- las plantas	22
2.4 - Fixação biológica do nitrogênio.....	25
3. MATERIAL E MÉTODOS	27
3.1 - Material.....	27
3.1.1 - Solos.....	27
3.1.2 - Planta	29

3.2 - Métodos	29
3.2.1 - Delineamento experimental.....	29
3.2.2 - Detalhes de instalação dos experi- mentos	30
3.2.3 - Adubação e manutenção dos experimen- tos.....	31
3.2.4 - Amostragem.....	32
3.2.5 - Métodos de Análise.....	34
3.2.5.1 - Solo.....	34
Determinação do pH em água	34
Determinação da umidade	35
Determinação do N-amonia- cal.....	35
Determinação do N-nítrico	36
Determinação do Nitrogênio total	37
Determinação de fósforo, potássio, cálcio-magnésio e alumínio.....	39
3.2.5.2 - Planta.....	39
Determinação da matéria se- ca a 55°C.....	39
Determinação do nitrogê- nio total.....	39
Determinação da atividade cia nitrato reductase....	39
3.2.5.3 - Análise Estatística.....	41
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
4.1 - Experimento	42
4.2 - Experimento II.....	64
4.3 - Análise Conjunta	76

5. CONCLUSÕES	99
6. RESUMO	101
7. BIBLIOGRAFIA.....	104
8. ÍNDICE	121

ÍNDICE DOS QUADROS

Quadro	Página
1 Principais características físicas e químicas da Série Ecologia, segundo Mendes et al (1954)....	28
EXPERIMENTO 1	
2 pH do solo no dia da coleta.....	52
3 Teor de N-NH_4^+ e N-NO_3^- no solo.....	52
4 N-NH_4^+ aplicado ao solo no início do experimento	53
5 Teor de N mineral ($\text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^-$) no solo.....	53
6 N total no solo seco a 105°C	56
7 N total no solo seco a 105°C + N total na planta	56
8 Peso da planta seca a 55°C	57
9 Teor de N na planta (%)	57
10 Teor de N total na planta (mg).....	57
11 Análise de variância: valores de F.....	59
12 Desdobramento dos G.L. de tratamento: valores dos contrastes com significância pelo teste F.....	60
13 Análise com desdobramento dos efeitos de tempo, dentro de cada tratamento, para as determinações de pH, N-NH_4^+ , N-NO_3^- e N total no solo.....	61

14	Análise com desdobramento dos efeitos de tempo, dentro de cada tratamento, para as determinações de peso, % N e N total de raiz e N total solo + planta	62
15	Análise com de dobramento dos efeitos de tempo, dentro de cada tratamento, para as determinações de peso, % N e N total da parte área.....	63
EXPERIMENTO II		
16	pH do solo no dia da Coleta.....	78
17	Teor de $N-NH_4^+$ no solo.....	79
18	Teor de $N-NO_3^-$ no solo.....	80
19	Teor de N mineral ($N-NH_4^+ + N-NO_3^-$) no solo...	81
20	N (NH_4^+ ou NO_3^-) aplicado ao solo no início do experimento	82
21	N total no solo seco a 105°C.....	86
22	N total no solo seco a 105°C + N total na planta.....	86
23	Peso da planta seca a 55°C.....	87
24	Teor de N na planta (%)	88
25	Teor de N total na planta (mg).....	89
26	Atividade da nitrato redutase	89
27	Análise de variância: valores de F.....	92
28	Desdobramento dos G.L. de tratamento: valores dos contrastes com significância pelo teste F..	93
29	Análise com desdobramento dos efeitos de tempo, dentro de cada tratamento sem planta.....	94
30	Análise com desdobramento dos efeitos de tempo, dentro de cada tratamento oom raízes.....	95

Quadro		Página
31	Análise com desdobramento dos efeitos de tempo, dentro de cada tratamento com planta, para oito das determinações.....	96
32	Análise com desdobramento dos efeitos de tempo, dentro de cada tratamento com planta, para quatro das determinação	97
33	Análise conjunta dos dois experimentos.....	98

ÍNDICE DAS FIGURAS

Figura		Página
EXPERIMENTO I		
1	Teores de N-NH_4^+ no solo.....	54
2	Teores de N-NO_3^- no solo.....	55
3	N total na planta	58
EXPERIMENTO II		
4	Teores de N-NH_4^+ no solo sem planta e com raízes	83
5	Teores de N-NO_3^- no solo sem planta e com raízes	84
6	Teores de N-NH_4^+ ou N-NO_3^- no solo com planta.	85
7	N total na planta	90
8	Atividade da nitrato redutase.....	91

ÍNDICE DOS QUADROS DO APÊNDICE

Quadro		Página
EXPERIMENTO I		
1	pH do solo no dia da coleta.....	122
2	ppm N-NH ₄ ⁺ no solo seco a 105°C.....	123
3	ppm N-NO ₃ ⁻ no solo seco a 105°C.....	124
4	Teor de N mineral (NH ₄ ⁺ + NO ₃ ⁻) no solo.....	125
5	N-NH ₄ ⁺ aplicado ao solo no início do experimen- to.....	126
6	N total no solo seco a 105°C.....	127
7	N total no solo seco a 105°C + N total na plan- ta.....	128
8	Peso das raízes (g) secadas a 55°C.....	129
9	Peso das partes aéreas (g) secadas a 55°C...	129
10	% de N na raiz	130
11	% de N na parte aérea	130
12	N total na planta (mg N/peso total da raiz).	131
13	N total na planta (mg N/peso total da parte aérea)	131

Quadro**Página**

EXPERIMENTO II

14	pH do solo no dia da coleta.....	132
15	ppm N-NH ₄ ⁺ no solo seco a 105°C.....	133
16	ppm N-NO ₃ ⁻ no solo seco a 105°C.....	134
17	Teor de N mineral (NH ₄ ⁺ + NO ₃ ⁻) no solo.....	135
18	N (NH ₄ ⁺ ou NO ₃ ⁻) aplicado ao solo no início do experimento.....	136
19	N total no solo seco a 105°C.....	137
20	N total no solo seco a 105°C + N total na planta.....	138
21	Peso das raízes (g) secadas a 557°C.....	139
22	Peso das partes aéreas (g) secadas a 55°C...	140
23	% de N na raíz.....	141
24	% de N na parte aérea.....	142
25	N total na planta (raíz).....	143
26	N total na planta {parte aérea}.....	144
27	Atividade da nitrato redutase	145

1 - INTRODUÇÃO

O ciclo do nitrogênio no solo é uma parte do ciclo global do nitrogênio na natureza. O nitrogênio (N_2) é abundante na atmosfera terrestre, correspondendo a 79% do volume dos gases que a constituem. Apesar disto, os organismos vivos da Terra, têm seu crescimento e desenvolvimento mais limitados pela disponibilidade de nitrogênio do que de qualquer outro elemento essencial. Dentre os elementos essenciais, é o N o mais difícil de suprir em quantidades suficientes às plantas e animais, que o requerem em grandes quantidades para elaborarem suas proteínas e outros compostos nitrogenados vitais para o crescimento.

Somente um número limitado de microorganismos possui mecanismos capazes de converter o nitrogênio elementar (N_2), o qual existe como dissemos, em abundância, em formas combinadas ou fixadas, para suas próprias necessidades. Os demais organismos vivos da Terra requerem, para suas atividades vitais, o N combinado.

Apenas uma pequena parte do N combinado do solo, cons-

tituída essencialmente de NH_4^+ e NO_3^- , é aproveitada pelas plantas. Infelizmente esta parte é facilmente diminuída, face às perdas por lixiviação, desnitrificação ou volatilização, ao uso pelos próprios microorganismos ou, embora mais raramente, à fixação por argilas. Com isto o aproveitamento deste nitrogênio pelas plantas fica mais ou menos comprometido.

Sob condições naturais ocorrem ganhos de nitrogênio através da fixação biológica do N_2 pelos microorganismos e do carregamento de compostos nitrogenados, produzidos por descargas elétricas, na atmosfera, que chegam ao solo dissolvidos nas águas das chuvas. As perdas ocorrem através da remoção pelas culturas, lixiviação e volatilização (Stevenson, 1965).

Considerando-se o grande estoque de substâncias orgânicas nitrogenadas no solo como a reserva potencial de N para a nutrição das plantas, ressalta em importância a mineralização deste nitrogênio, a qual só é possível em condições biologicamente favoráveis.

Os teores de NH_4^+ e NO_3^- no solo variam com fatores de clima, solo e planta, destacando-se, entre outros: precipitação pluviométrica, temperatura, propriedades físicas, pH e tipo de cultura. Estes fatores atuam sobre os microorganismos ou sobre a mobilidade das citadas formas minerais do nitrogênio. Em condições climáticas normais e em solos bem arejados, as transformações do N, geralmente, levam-no à forma de NO_3^- .

Entretanto, a influência da planta não pode ser desprezada. Assim, Theron (1951) verificou que a nitrificação foi inteiramente reprimida em solo sob vegetação de gramínea perene

(*Hyparrhenia*), não ocorrendo mesmo quando a gramínea estava dormente, no inverno. Em experimentos levados a efeito por Döbereiner e Day (1974) em solos do Estado do Rio de Janeiro, foi observada ausência marcante de nitrato em solo sob vegetação de gramínea, não chegando os autores, no entanto, a uma explicação para o fato.

Um ponto que deve ser salientado é o de que, apesar de ocorrer esta ausência marcante de nitrato na rizosfera, a maioria das gramíneas tropicais apresenta desenvolvimento exuberante no campo, mesmo quando é feita apenas uma adubação fosfatada.

Tendo em vista que estes teores baixos de nitrato, observados em solos sob vegetação de gramíneas, poderiam ser resultantes não só da inibição da nitrificação (Theron 1951), como também de perdas por lixiviação ou desnitrificação, ou mesmo de outros fatores, resolveu-se desenvolver o presente trabalho para verificar as possíveis causas do problema.

O objetivo principal do presente estudo foi o de verificar a influência da *Digitaria decumbens*, seja como planta inteira ou só raízes (parte aérea cortada), nas transformações do nitrogênio do solo sem adubação nitrogenada e do solo adubado com sulfato de amônio ou nitrato de sódio.

2 - REVISÃO DE LITERATURA

2.1 - O nitrogênio no solo

O teor de nitrogênio total dos solos varia, segundo Bremner (1965a), de < 0,02% em subsolo a 7 2,50% em turfas, oscilando, nas camadas superficiais da maioria dos solos cultivados, entre 0,06 e 0,50% de N.

De acordo com Bremner (1965b), mais de 95% do N total, na maioria dos horizontes superficiais do solo, se encontram na forma de N orgânico. Entre 20 e 40% do N total deste solos, são encontrados na forma de amino ácidos (Kojima 1947; Bremner 1949), 5 a 10% na forma de amino-açúcares (Stevenson 1957 a, b; Sowden 1959) e cerca de 1% em formas derivadas de purina e pirimidina (Adams et al. 1954; Anderson, 1958, 1961). Outros compostos de N orgânico têm sido isolados de solos, não havendo, no entanto, evidências de que sejam responsáveis por uma quantidade significativa do N orgânico do solo (Bremner 1965b);

O nitrogênio inorgânico está presente na maioria dos solos, sob a forma de amônio (NH_4^+) e nitrato (NO_3^-) e em

quantidade muito pequena quando comparada à destes dois íons, na forma de nitrito (NO_2^-) (Bremner 1965 c). Acumulação de nitrito em solos alcalinos após a aplicação de altas doses de fertilizantes amoniacais foi observada por Martin et al. (1943), Chapman e Liebig (1952) e Duisberg e Buehrer (1954). Broadbent et al. (1957) e Stojanovic e Alexander (1958) observaram estes mesmos resultados, demonstrando que o íon amônio inibe a oxidação de nitrito pelas *Nitrobacter* spp.

Outras formas de N inorgânico, tais como hidroxilamina, ácido hiponitroso, e outras, consideradas como intermediárias nos processos de transformação do N nos solos, são quimicamente instáveis, em sua maior parte, e não têm sido detectadas em solos (Bremner 1965 c).

Após a demonstração em muitos solos, da capacidade de fixar o íon amônio (Barshad 1951; Allison et al. 1951; Hanway & Scott 1956; Stojanovic & Broadbent 1960; Walsh & Murdock 1960) verificou-se que, em alguns solos, havia quantidades significantes de amônio fixado ou não trocável, que não eram determinadas pelos métodos até então usados para estimar as formas inorgânicas de N nos solos (Rodrigues 1954; Dhariwal & Stevenson 1958; Stevenson & Dhariwal 1959; Walsh & Murdock 1960; Young 1962; Young & Cattani 1962). Segundo Dremner (1965 d), tais estudos além de invalidarem a tese anterior de que apenas uma pequena proporção (< 2%) do N total do solo existia na forma inorgânica, levaram à conclusão de que a proporção do N do solo, como amônio não trocável, usualmente, não excede à 8% nos horizontes superficiais, mas pode exceder a 40% em certos subsolos.

2.2 - Fatores que influem no teor e nas formas de nitrogênio do solo.

Em ecossistemas naturais, o teor de N dos solos aproxima-se de um valor de equilíbrio. A magnitude deste valor depende de fatores como: clima, tipo de vegetação, natureza do terreno, características físicas do solo e atividades de organismos da microflora e microfauna. Como é um sistema dinâmico, toda alteração em um dos fatores, como por exemplo alteração no clima, pode levar a um nova valor de equilíbrio do N. Da mesma forma alterações deste equilíbrio são produzidas pelas atividades do homem: movimentação do solo, adubação irrigação, etc...

Jenny (1930) procurando avaliar a importância relativa das fatores de formação do solo, no teor de N de solos argilosos dos Estados Unidos chegou à seguinte ordem: clima>vegetação>topografia = material originário > idade (tempo). Apesar de nesta avaliação a autor ter tomado cada fator como uma variável independente, sem levar em conta suas diversas interações, seus estudos contribuíram grandemente para o entendimento dos fatores que influem no teor do N nos solos (Stevenson, 1965).

Em estudos realizados para verificar a importância de componentes do clima (temperatura e umidade), nos níveis de N de solos dos Estados Unidos, Jenny (1929, 1931) e Jenny e Leonard (1934), concluíram que para cada aumento de 10°C na temperatura média anual correspondeu um decréscimo de 2 a 3 vezes no teor de N total do solo Jenny (1928, 1930) concluiu que o teor de N total das solos da parte central dos Estados Unidos, situados numa mesma isoterma anual (11°C), aumentou em proporção logarítmica com

o aumento da umidade. Usando as funções climáticas desenvolvidas nestes trabalhos dos Estados Unidos como base, Jenny et al. (1948) encontraram teores de N total mais altos em solos da Colômbia. Jenny (1950) atribuiu tais resultados às condições climáticas nos trópicos, mais favoráveis ao crescimento das culturas, e à presença de espécies da família Leguminosae nas florestas equatoriais Colombianas.

De acordo com Jenny (1941), a vegetação como fator de formação do solo diz respeito à combinação de espécies de planta disponíveis em um determinado local e não à quantidade de crescimento produzido, considerando-se este, como sendo controlado por outros fatores de formação do solo, especialmente, clima. Solos desenvolvidos sob plantas com extensos sistemas radiculares, geralmente, tem teores mais altos de nitrogênio (e de matéria orgânica), que os desenvolvidos sob plantas com sistemas radiculares restritos; isto se os outros fatores são iguais.

A topografia ou relevo, segundo Aandahl (1948), afeta o teor de N do solo através da sua influência no clima, lixiviação evaporação e transpiração. Grau de declividade, comprimento e forma do declive e posição do lençol freático são também importantes. Segundo ainda Aandahl (1948), solos que ocorrem em depressões, onde o clima é localmente úmido, têm maiores teores de N que aqueles que ocorrem em elevações, onde o clima é localmente árido.

Para uma determinada zona climática e desde que a vegetação e a topografia sejam constantes, o teor de N do solo depende das propriedades texturais. A fixação por substâncias hú-

micas na forma de complexos organo-minerais, serve para preservar o N. Solos de textura mais pesada têm teores mais altos de N que os de textura mais leve (Harradine & Jenny, 1958), influenciando ainda nesta retenção de compostos nitrogenados, o tipo da argila presente.

Todos os fatores que influem na retenção de N pelo solo, inclusive a atividade microbiana, são interdependentes. Os tipos e números de microorganismos presentes, variam conforme o solo, mas como a atividade microbiana é influenciada fortemente por fatores como: vegetação, temperatura, umidade, pH, textura e drenagem, a significância destas variações não pode ser avaliada muito facilmente (Stevenson, 1965). De uma maneira geral, o N pode ser mantido em altos níveis no solo, somente quando a atividade microbiana é interrompida durante algum período do ano.

2.2.1- Mineralização e Imobilização.

Sob condições normais o N inorgânico é continuamente formado do N orgânico, por processos de mineralização. Por outro lado, algum N inorgânico é transformado em N ligado organicamente, por microorganismos do solo. Os processos de mineralização e imobilização ocorrem contínua e simultaneamente, tendo sido tais processos definidos por Hiltbold et al. (1950) como intercâmbio microbiológico.

Bartholomew (1965) apresenta uma revisão dos estudos que foram feitos sobre a mineralização e imobilização de N na decomposição de resíduos de plantas e animais. O nitrogênio que é imobilizado na decomposição de resíduos de culturas sofre

lenta mineralização biológica. Jansson (1963) verificou, usando NO_3^- e NH_4^+ com N marcado, que, entre 2,6 e 4,0% e entre 1,4 e 3,7% do N imobilizado, respectivamente no tratamento com nitrato e com amônio, foram mineralizados e recuperados anualmente, pela cultura de aveia neles plantada por seis anos. Recuperações baixas de N marcado imobilizado, similares a estas haviam sido observadas por Broadbent e Tyler (1962).

A mineralização não deve ser vista como inteiramente independente do suprimento de N mineral disponível. Concentrações muito altas de N mineral solúvel no solo, reduzem o processo aparente de mineralização do nitrogênio (Harmsen & Lindenberg, 1949). Segundo Jansson (1958) esta redução poderia ser causada por uma alta concentração de eletrólitos, mas poderia ser devida também, a um estímulo da imobilização do N inorgânico, dando desta forma a impressão de uma mineralização reduzida. Em alguns solos que apresentam mineralização lenta, uma adição de fertilizante nitrogenado, algumas vezes, estimula a desintegração da matéria orgânica e resulta num aumento na acumulação do nitrogênio inorgânico.

A mineralização do N orgânico só é possível quando o ambiente biológico é favorável (Harmsen & Kolenbrander, 1965).

2.2.2 Amonificação e Nitrificação.

Amonificação é o conjunto das reações de degradação biológica do nitrogênio orgânico do solo que levam à liberação de N amoniacal. Nitrificação é o conjunto das reações microbiológicas que levam à produção de nitrito e à oxidação poste-

rior deste a nitrato (Dommergues & Mangenot, 1970).

A nitrificação autotrófica é feita por dois grupos de microorganismos altamente especializados que tiram toda a energia que lhes é necessária, da oxidação do N-NH_4^+ ou N-NO_2^- . O primeiro grupo, Nitrosomonas, oxida o N-NH_4^+ de origem biológica (último passo da amonificação) e não biológica (principalmente o fixado nas argilas que é liberado) existente no solo, bem como o que é aplicado na forma de adubos amoniacais, a N-NO_2^- . O segundo grupo, Nitrobacter, oxida o N-NO_2^- a N-NO_3^- .

A nitrificação heterotrófica é feita por numerosas espécies de microorganismos capazes de produzir nitrito, nitrato ou os dois, à partir do N amoniacal ou do N orgânico. Contrariamente aos autotróficos, que independem do fornecimento de carbono orgânico, estes microorganismos heterotróficos são incapazes de utilizar a reação de oxidação do nitrogênio como única fonte de energia para suas sínteses celulares.

Alexander (1965) e Dommergues e Mangenot (1970) fornecem maiores detalhes sobre os dois gêneros de bactérias autotróficas mais importantes na nitrificação: Nitrosomonas e Nitrobacter; bem como sobre os de bactérias, actinomicetos e fungos heterotróficos nitrificantes.

Entre os fatores que afetam a amonificação e a nitrificação, Harmsen e Kolenbrander (1965) citam: nutrientes minerais, temperatura, aeração, teor de umidade e pH.

Tanto a amonificação como a nitrificação são limitadas por baixas temperaturas. A faixa ótima para a nitrificação está compreendida entre 25 e 35°C (Frederick 1956), podendo chegar a

40°C para algumas estirpes de zona tropical seca (Dommergues & Mangenot, 1970). Justice e Smith (1962) observaram taxa de nitrificação mais rápida a 25°C que a 35°C. Abaixo do limite inferior desta faixa, 25°C, a nitrificação decresce gradualmente, segundo uma curva assintótica e praticamente cessa, próximo a 5°C. Segundo Dommergues e Mangenot (1970), como a faixa ótima de temperatura para a nitrificação é mais estreita que para a amonificação, haverá tendência para a acumulação de N amoniacal sempre que o solo se encontre, seja a uma temperatura baixa (inferior a 5°C), seja a uma temperatura elevada (superior a 35 ou 40°C). A nitrificação já foi observada em temperaturas bastante baixas como 7°C (Tyler et al. 1959), 5°C (Stojanovic & Broadbent 1957) e mesmo 2°C (Frederick 1956). A influência da temperatura na mineralização do N orgânico foi estudada, entre outros, por Meiklejohn (1953), Sabey et al. (1956) e McIntosh e Frederick (1958).

Muitos autores concordam em que a aeração reduzida, como ocorre no caso de solos alagados, reprime ou mesmo elimina inteiramente a nitrificação, sendo a amonificação menos afetada (Amer & Bartholomew 1951, Robinson 1957, Frederick 1957, Greenland 1958 e Jansson 1958). Tais solos podem apresentar concentrações muito altas de N-inorgânico, mas frequentemente como N amoniacal e não como N-nítrico.

Quanto ao teor ótimo de umidade, a concordância entre os autores já não é tão grande, uma vez que os resultados variam entre 40% da capacidade de retenção de água do solo, até acima da capacidade de campo. Estas diferenças são resultado, aparentemente, das variações de outros fatores e da característica do tipo

das curvas obtidas nestes experimentos, que têm o topo largo, próximo ao ponto ótimo (Hermsen & Kolenbrander, 1965).

Não há também concordância entre os autores, quanto a limitação da nitrificação e amonificação em teores muito baixos de umidade. Greenland (1958) verificou nitrificação apreciável em teor de umidade de 4%, enquanto Robinson (1957) observou o mesmo em teor de umidade correspondente ao ponto de murchamento. A amonificação tem sido observada mesmo em níveis de umidade mais baixos, algumas vezes sob condições de solo seco ao ar (Robinson 1957; Greenland 1958). Calder (1957) demonstrou estímulo da nitrificação por flutuação no teor de umidade.

Birch (1958, 1959 e 1960) e Harpstead e Brage (1958) estudando o aumento da atividade nitrificante de alguns solos após o dessecamento, verificaram que a magnitude deste aumento estava relacionada com o período de tempo em que o solo permanecia no estado seco. Este fenômeno que se verifica apenas nos primeiros centímetros da camada superficial do solo, no caso de regiões de clima úmido, pode ser significativa nas regiões áridas e especialmente nas tropicais, onde as estações secas e úmidas são mais pronunciadas (Jones, 1956; Wetselaar, 1961).

Harmsen e Kolenbrander (1965) salientam que os microorganismos nitrificantes são mais sensíveis às variações de pH que os amonificantes, havendo produção de NO_3^- apenas na faixa de pH 5,0 a 8,0, enquanto em pH mais ácido ou mais alcalino o N permanece sob a forma de NH_4^+ . Ressaltam no entanto, que a opinião geralmente aceita de que a nitrificação não é possível abaixo do pH 5,0 tem algumas exceções, citando como exemplo a pro-

dução de NO_3^- observada por Kivekas e Kivinen (1959), em solos turfosos, muito ácidos, da Finlândia.

A tolerância dos nitrificantes a solos muito ácidos, pode ser explicada, segundo Dommergues e Mangenot (1970), pela:

- a) intervenção de estirpes de bactérias-autotróficas adaptadas à acidez;
- b) intervenção de microorganismo heterotróficos adaptados a pH ácido; e,
- c) existência de microsítios com pH mais elevado que o pH aparente do solo.

Próximo ao limite superior de pH (7,5 a 8,0), há algumas vezes acumulação temporária de nitrito; já que neste valores de pH a oxidação do nitrito a nitrato é marcadamente retardada enquanto a oxidação do amônio permanece vigorosa. Morrill (1959) e Tyler et al. (1959), estão entre os autores que verificaram esta acumulação em solos calcários ou em solos normais após uma calagem pesada. Aumento do teor de nitrito com a aplicação de uréia aos solos, com o que o pH aumenta temporariamente, foi observado por Chapman e Liebig (1952), Broadbent et al. (1958) e Soulides e Clark (1958).

Entre os fatores ambientais que têm influência na nitrificação, além da temperatura, aeração, teor de umidade, pH e nutrientes minerais, relatados por Harmsen e Kolenbrander (1965); Alexander (1965) inclui também: estação do ano, profundidade do horizonte do solo, inibidores químicos, efeito das plantas e matéria orgânica. Alexander (1965) considera que a importância da matéria orgânica tem sido pouco enfatizada face

à sensibilidade dos nitrificantes autotróficos a muitas substâncias tóxicas e sua inabilidade para crescer em meios de cultura supridos com compostos orgânicos, ressaltando que apesar destes resultados em meios de culturas, há ocorrência de nitrificação em solos ricos em matéria orgânica.

Entre as práticas culturais que influenciam na nitrificação Alexander (1965) destaca: fertilizantes nitrogenados estercos e outros fertilizantes, alagamento do solo, inoculação com microorganismos nitrificantes e pesticidas.

2.2.3- Adsorção e Fixação.

A adsorção de compostos inorgânicos de N pelos minerais de argila e pela matéria orgânica, é muito complexa face à gama de reações possível. Na revisão feita por Morthana e Wolcott (1965) as seguintes conclusões de vários estudos dos complexos amônia argila, em ordem decrescente de energia de reação, são destacadas:

a) o íon amônio é formado quando amônia é adsorvida por minerais de argila ácidos;

b) o íon amônio é também formado quando certos minerais de argila saturados com base, adsorvem amônia;

c) ligações tipo amina (coordenação) podem ser formadas na adsorção de amônia, se cátions apropriados estão presentes no complexo de troca; e

d) pura adsorção física de amônia, que representa o menos energético mecanismo de adsorção.

Ressaltam ainda Mortland e Wolcott (1965), que as

reações químicas de amônia ou de óxidos e ácidos de nitrogênio estão intimamente relacionadas com o estado de oxidação-redução da matéria orgânica, e que estas reações levam à imobilização de N em combinações cuja estabilidade varia desde a de sais de amônio dissociáveis até a dos compostos heterocíclicos extremamente estáveis;

Em alguns solos e sob certas condições, pode ocorrer uma transformação não enzimática do N inorgânico, especialmente amônio (amônia), em formas de N muito pouco solúveis e só lentamente disponíveis biologicamente. O processo de maior interesse neste tópico, diz respeito à fixação de amônio por materiais inorgânicos do solo e à fixação de amônia pela matéria orgânica do solo, uma revisão deste assunto foi feita por Nõmmik (1965), que inclui ainda na discussão, outras reações que envolvem a imobilização não enzimática do N mineral no solo.

2.2.4 - Efeito de microorganismos e de plantas.

A significância de uma certa imobilização do nitrogênio mineral pelos microorganismos na rizosfera, advem do fato de a recuperação do N aplicado na cultura, ser sempre muito menor que o decréscimo na quantidade de N mineral no solo durante a fase de crescimento da cultura, como observaram, entre outros, Hiltbold et al. (1950) e Viets (1960). Hiltbold et al. (1950) observaram a ocorrência de alguma imobilização do N adicionado como fertilizante, em solos sem cultura, seguida no entanto, de uma rápida mineralização. Segundo Bartholomew e Clark (1950) a imobilização é muito maior nos solos com cultura que nos solos manti-

dos sem vegetal.

Theron (1951) estudando a influência de plantas na mineralização do nitrogênio, assinalou ter sido a nitrificação inteiramente reprimida sob gramínea perene (*Ryparrhenia*), não ocorrendo mesmo quando a gramínea estava dormente, no inverno. Sob cultura anual a repressão da nitrificação só pode ser detectada durante a maturação da cultura, sendo nesta época, a solução do solo, completamente, esgotada do NO_3^- , devido provavelmente à absorção pelas plantas. Após este período, no entanto, a nitrificação continuava. Observou ainda Theron (1951) que durante o período em que a nitrificação foi reduzida, apareceram no solo quantidades de amônia maiores que as normais, indicando, segundo ele, que a planta (gramínea perene) exerce uma influência na mineralização do nitrogênio do solo, inibindo a atividade dos organismos nitrificantes, sem interferir com o processo de amonificação. Outros trabalhos que assinalam inibição da nitrificação por gramíneas são os de: Boughey et al. (1964), Meiklejohn (1962, 1965 e 1968) e Moore e Waid (1971).

Ross (1960) trabalhando com dois solos da Nova Zelândia, ambos com vegetação natural de gramínea tipo touceira (*Festuca novae-zelandiae*), observou menor atividade nitrificante no solo junto às raízes da gramínea, que no solo mais distante delas. Ambos os solos são considerados como de baixa fertilidade natural, tendo sido as diferenças entre amostras com e sem planta, maiores num dos solos (Taupo soil), enquanto no outro (Cass soil) as diferenças observadas foram pequenas. Estes e outros resultados prévios (Ross, 1958) indicam que o crescimento de touceiras

de Festuca inibe a atividade de organismos nitrificantes nestes solos de pastos tipo-touceira.

Em experimentos levados a efeito por Döbereiner e Day (1974) em solos do Estado do Rio de Janeiro, foi observada ausência marcante de nitrato em solo sob vegetação de gramínea, não sendo aventada no entanto, uma explicação para o fato.

A teoria de Theron (1951) foi questionada por Harmeen e van Schreven (1955); Robinson (1963) e Purchase (1974). Purchase (1974) trabalhando com raízes de Hyparrhenia, observou que os percolados de raízes (vivas e em decadência) quando aplicados ao solo, diariamente, não inibiam a nitrificação, o mesmo ocorrendo quando raízes maceradas foram misturadas com o solo e uma solução de $(\text{NH}_4)_2 \text{SO}_4$ percolada através dele. Observou ainda Purchase (1974), que os percolados de raízes vivas, quando aplicados em culturas líquidas de oxidantes de nitrito, prolongavam levemente o período inicial de adaptação da bactéria (fase latente), sendo os percolados de raízes decadentes inibidores somente se coletados durante os estágios iniciais de decadência. Incubando raízes de Hyparrhenia em solo com $(\text{NH}_4)_2 \text{SO}_4$ adicionado, verificou então que as raízes causavam considerável imobilização do N mineral com conseqüente depressão na acumulação do nitrato, não impedindo no entanto, a nitrificação da amônia excedente. Observou, finalmente, Purchase (1974) que em áreas de Hyparrhenia a insuficiência de bactérias nitrificantes não estava limitada às zonas das raízes, e que a bactéria se multiplicava quando a disponibilidade de amônia era aumentada artificialmente, concluindo então que a nitrificação em áreas de Hyparrhenia é restringida pela dispo-

nibilidade limitada de amônia e que não há evidência convincente de inibição tóxica por secreções de raízes.

No caso das gramíneas deve-se ainda levar em consideração a grande quantidade de raízes e o seu tipo fasciculado, fatos que poderiam levar a uma maior absorção do nitrato na camada superficial do solo que é por elas explorado.

2.2.5 - Perdas

Sabe-se que o nitrato do solo, se não é imediatamente aproveitado pelas plantas ou por microorganismos, pode ser perdido por erosão, por percolação ou ainda sob a forma gasosa, após ser reduzido, no fenômeno da desnitrificação.

Por muitos anos os nitrificantes autotróficos foram considerados como excelentes exemplos de bactérias benéficas do solo. Ultimamente, as consequências da oxidação do amônio tornaram-se mais aparentes, colocando em destaque os efeitos da nitrificação em vários fenômenos, destacando-se os verificados nas taxas diferentes de assimilação dos dois íons (NH_4^+ e NO_3^-) pelas plantas e nas perdas por lixiviação, que são apreciáveis durante o período de formação do nitrato (Baumann & Maass, 1957; Greenland, 1958).

Segundo Martin e Skyring (1962) as perdas por erosão variam, principalmente, com a topografia do terreno, e também com o clima, tipo de solo e vegetação de cobertura.

As perdas por percolação dependem da permeabilidade do solo e do regime de chuvas. Tais perdas, segundo Martin e Skyring (1962), se dão com o nitrogênio inteiramente sob a forma de ni-

trato, e são, aparentemente, maiores em solos de regiões tropicais que em solos de regiões temperadas, face o movimento de água mais intenso em certos períodos e às maiores quantidades de nitrato produzido durante os ciclos alternados de umedecimento e secagem, fenômenos mais acentuados nestas regiões. Verdade (1951) notou perdas de nitrato associadas à quantidade de chuva, mas não chegou a investigá-las quantitativamente.

Eira et al. (1968) estudando o movimento, do íon nitrato em solo podzólico vermelho amarelo (Série Itaguaí), em experimento de campo, sem cobertura vegetal, observaram em solo não adubado que, até à profundidade de 28 cm, os teores de nitrato oscilaram entre 5 e 18 ppm, ocorrendo tanto os mais altos como os mais baixos teores, em períodos de chuva, sendo estes últimos após precipitação ininterrupta. Em solo adubado com NaNO_3 , em dose correspondente a 500 kg N/ha e com o adubo aplicado em toda a superfície da parcela, Eira et al. (1968) observaram que houve percolação até a terceira profundidade (14 a 21 cm), após uma precipitação pluviométrica total de 29,1 mm (15 dias) e que após 145 mm de chuva (30 dias) houve o desaparecimento, até 28 cm de profundidade, de todo o nitrato colocado como adubo. Após este período (30 dias), todo o nitrato foi carregado para profundidades superiores a 28 cm ou então desnitrificado, pois não foi encontrado até esta profundidade.

Uma outra importante perda do N é a que se dá sob a forma gasosa.

As perdas por volatilização de amônia, segundo Dommergues e Mangenot (1970), são particularmente elevadas em condi-

ções de: pH superior a 8,0; temperatura elevada e dessecação; aplicação de adubos, principalmente, uréia, amônia anidra e sais amoniacaís na superfície do solo e fraca capacidade de troca. Hiltbold e Adams (1960) verificaram que as perdas de N por volatilização se davam apenas nos solos com pH alto onde aplicaram sulfato de amônio e o nitrato foi formado, não ocorrendo nos outros solos em que aplicaram o mesmo sal, nos quais as condições ácidas não favoreciam à oxidação do amônio.

Barjak (1954] constatou em Seus experimentos, uma microflora desnitrificante que, segundo ele, fazia parte dos solos de boa fertilidade e atuava em conjunto oom a microflora nitrificante.

Martin e Skyring (1962) realizaram um levantamento de vários trabalhos e constataram que, praticamente, a unanimidade dos resultados de experimentos de laboratório mostrava ser a desnitrificação a causa da perda do nitrato. Haviam, no entanto, dúvidas se este processo estaria envolvido em perdas de N observadas em experimentos de campo e em lisímetros. Sugerem ainda estes mesmos autores, que a perda por volatilização da amônia poderia ser considerada uma possibilidade alternativa, somente, em solos alcalinos. Como outras causas de volatilização do N, fora da desnitrificação, Martin e Skyring (1962) indicam ainda, a decomposição do ácido nitroso em NO e NO₂ e as perdas de nitrogênio gasoso (N₂) por reações não biológicas.

Segundo Dommergues e Mangenot (1970) o termo desnitrificação designa o mecanismo respiratório pelo qual certos microorganismos se desenvolvem em anaerobiose utilizando os nitratos e

outros compostos de N mineral oxigenados como aceptores finais de elétrons, em lugar do oxigênio. Os produtos finais desta desnitrificação "sensu lato" são os compostos de N mais ou menos reduzidos: NO_2^- , N_2O , N_2 , NH_3 . Esta definição é adotada por numerosos microbiologistas ao passo que agrônomos e biólogos do solo, dão ao termo um sentido mais restrito, consideram como desnitrificação o processo microbiano pelo qual os nitratos (e acessoriamente os nitritos) são reduzidos ao estado de produtos gasosos (N molecular, óxido nítrico) que escapam do solo e são assim perdidos. Esta é a chamada desnitrificação verdadeira, segundo Dommergues e Mangenot (1970), que não é senão um caso particular da desnitrificação "sensu lato".

Para a desnitrificação é necessária, segundo Dommergues e Mangenot (1970) a reunião de três condições: presença de nitrogênio sob a forma nítrica ou nitrosa; ausência de oxigênio e teor suficiente de substâncias doadoras de elétrons. Deve-se também levar em conta o pH, a umidade, a temperatura e a vegetação, segundo os mesmos autores.

A desnitrificação se dá em presença de elevados teores de água, sendo pois sua tendência, crescer em épocas chuvosas, desde que não lhe sejam adversos os outros fatores: presença de nitrato e um doador de elétron (Van Scheren, 1963; Ekpete & Cornfield, 1964). Mas a desnitrificação pode se manifestar também em solos bem drenados que não apresentam qualquer sintoma de anaerobiose (McGarity, 1961; Greenwood, 1962; Ekpete & Cornfield, 1964). Esta aparente contradição poderia ser explicada, segundo Dommergues e Mangenot (1970), pela existência de microsí-

tios, onde existissem condições favoráveis de anaerobiose, destacando em particular, a rizosfera, a parte interna dos agregados e junto a restos orgânicos.

O pH ótimo para o processo da desnitrificação está situado entre 7,0 e 8,6, sendo o mínimo da ordem de 5,0 e o máximo de 10,5 (Dommergues & Mangenot, 1970).

A temperatura ótima é bastante elevada, situando -se entre 60 e 65°C (Nõmmik, 1956; Bremner & Shaw, 1958). segundo Broadbent e Clark (1965) as proporções relativas de N₂O e N₂ desprendidos na desnitrificação, variam com a temperatura, predominado o N₂O em baixas temperaturas e o N₂ nas altas.

Broadbent e Tyler (1962) em experimentos com N marcado, verificaram perdas por desnitrificação, de 20 a 32% nos tratamentos com (NH₄)₂SO₄ e de 21 a 35% nos tratamentos com KNO₃. Perdas superiores a 50% do N aplicado foram verificadas por Soullides e Clark (1958) e por Wagner e Smith (1958). Tais resultados mostram que estas perdas atingem valores consideráveis e que algumas medidas devem ser tomadas para reduzi-las. Dommergues e Mangenot (1970) sugerem: a aplicação de adubo sob a forma amoniacal, o controle da nitrificação através de inibidores e o fracionamento das aplicações de matéria orgânica fresca, já que esta estimula a microflora desnitrificante.

2.3 - Absorção e Assimilação do Nitrogênio pelas plantas.

A taxa de absorção de N depende do tipo de planta, do seu estágio de desenvolvimento, do suprimento de N no solo e dos fatores que afetam sua disponibilidade e finalmente, talvez

a mais importante, da absorção total do N para o peso seco final produzido. Esta última depende, para uma determinada variedade ou espécie, de uma série de fatores climáticos e nutricionais, entre os quais se inclui o suprimento do próprio N (Viets, 1965).

A absorção do nitrogênio, na forma de NH_4^+ ou de NO_3^- , é um processo ativo, havendo algumas indicações segundo Epstein (1975) de que os íons amônio têm sistema de transportadores semelhante, ou até o mesmo, do íon potássio.

Fried et al. (1965) usando ^{15}N como NO_3^- ou NH_4^+ , observaram melhor absorção do amônio por raízes de arroz, com o aumento do pH, com a taxa máxima de absorção ocorrendo a pH 8,5. O inverso foi observado para nitrato onde a taxa mais alta de absorção ocorreu a pH 4,0. No entanto, em cada nível de pH a absorção do amônio foi sempre maior que a do nitrato.

Hirose e Goto (1961) trabalhando com arroz cultivado em solução, observaram que a absorção de uréia pelas raízes, foi mais rápida que a do NH_4^+ ou NO_3^- , detectando a uréia por toda a planta. Não foi detectada atividade de urease nas raízes e a absorção da uréia não suprimiu a absorção de K^+ como ocorre com a do NH_4^+ , concluindo Hirose e Goto (1961) que a uréia entra nas raízes por simples difusão, enquanto o NH_4^+ compete com o K^+ pelo mesmo sistema de transportadores.

As raízes das plantas podem absorver NH_4^+ , NO_3^- , uréia e moléculas orgânicas nitrogenadas simples, como por exemplo, aminoácidos e dipeptídeos, do solo ou de solução. Em solos bem arejados e a temperaturas convenientes para o crescimento das plantas, a uréia é rapidamente hidrolizada e o NH_4^+ rapidamente ni-

trificado, de modo que o NO_3^- é a forma predominante em muitos solos após adubação com uréia ou fertilizantes contendo NH_4^+ (NH_3). Entretanto, o NH_4^+ é suficientemente persistente para afetar o metabolismo das plantas e a absorção de outros íons. A nutrição por amônio pode tornar-se mais importante se o uso de inibidores de nitrificação ou fertilizantes encapsulados tornar-se mais popular (Viets 1965).

Em experimento conduzido em latossolo roxo, Mello (1974), observou que plantas de milho retiraram muito pouco nitrogênio do solo até os 28 dias após o plantio, evidenciando no período de 28 a 58 dias, preferência para a forma amoniacal do nitrogênio e daí em diante para a forma nítrica.

As plantas não assimilam N em alto estado de oxidação. Os nitratos são reduzidos a amônia, nos microorganismos e nas plantas superiores, por um grupo de enzimas do qual a nitrato redutase (NR) é o primeiro passo. NR é uma enzima induzível por nitrato e o processo de indução necessita da presença de molibdênio (Candela et al, 1957; Hageman & Flesher, 1960; Beevers et al., 1965). A luz é necessária, segundo Hageman e Flesher (1960), para a indução e manutenção dos níveis de atividade de nitrato redutase no tecido foliar. Nos experimentos de Beevers et al; (1965) apesar de ter sido observada a indução de atividade de NR em presença da luz, verificou-se que o seu efeito foi indireto. Na tese em que estudou o papel do malato na regulagem da absorção e redução de nitrato em plantas de milho, Neyra (1974) apresenta uma revisão em que estes e outros aspectos, ligados à atividade da nitrato redutase, são discutidos. Revisões do assunto

foram feitas por Bandurski (1965) e Beevers e Hageman (1969).

2.4 - Fixação biológica do nitrogênio.

Grande parte do nitrogênio disponível nos solos para a nutrição das plantas, chega através da fixação biológica, embora algum nitrogênio chegue também ao solo através da chuva.

Na fixação biológica do nitrogênio os agentes ativos são microorganismos que vivem em simbiose com certas espécies de plantas superiores ou livremente em solos, água ou vegetação. Nutman (1965) discute vários aspectos ligados à fixação simbiótica em leguminosas. Em publicação editada por Döbereiner et al. (1971), são apresentados outros trabalhos importantes referentes à simbiose Rhizobium-leguminosa, abrangendo aspectos de fisiologia, bioquímica e genética da nodulação, bem como os problemas específicos na pesquisa com leguminosas tropicais. Com respeito à fixação simbiótica em não leguminosas pode ser destacado o trabalho de Becking (1970).

Quantitativamente a fixação pelo sistema Rhizobium-leguminosa é a mais importante nas regiões temperadas (Epstein 1965). Nas regiões tropicais, o uso de leguminosas torna-se mais importante, devido aos preços elevados dos adubos nitrogenados minerais e à rápida lixiviação com as chuvas pesadas nos solos, quase sempre, altamente permeáveis. Por outro lado, o clima e a disponibilidade de um grande número de espécies de leguminosas tropicais, possibilitam o aproveitamento da fixação biológica do N_2 durante todo o ano, na maioria das regiões.

Uma revisão de trabalhos sobre fixação não simbiótica do nitrogênio é apresentada por Mulder e Brotonegoro (1974). Novos caminhos estão se abrindo para a pesquisa, com os resultados mais recentes de estudos sobre associações de gramíneas e bactérias fixadoras de nitrogênio, destacando-se os desenvolvidos com gramíneas forrageiras tropicais Döbereiner et al., 1972; Dommergues et al. 1973, Balandreau & Villemin 1973; Döbereiner & Day, 1975), arroz (Yoshida & Ancajas, 1971; Dommergues et al 1973) e milho (Balandreau & Dommergues, 1972; Raju et al. 1972; Bülow & Döbereiner, 1975).

3 - MATERIAL E MÉTODOS

3.1 - Material

3.1.1 - Solo

Nosso trabalho constou de dois experimentos em solo gray hidromórfico (Série Ecologia), que segundo Mendes et al. (1954) ocupa uma área de 543 ha, correspondente a 65% da área total do antigo Instituto de Ecologia e Experimentação Agrícolas, e de 298 ha, correspondente a 22% da área total do antigo Instituto de Zootecnia, áreas estas atualmente pertencentes, à Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA, como Unidade de Execução de Pesquisa de Âmbito Estadual - UEPAE de Itaguaí. Ainda segundo Mendes et al. (1954), os solos desta Série são extremamente arenosos, distribuindo-se nas planícies onduladas típicas da Baixada de Sepetiba - RJ, sendo a matéria prima mineral sobre a qual se desenvolveram, de formação recente, quaternária representada por depósitos aluvionais mistos, possivelmente de origem marinha e fluvial.

As principais características físicas e químicas dos solos desta Série estão no Quadro 1.

QUADRO 1 - Principais características físicas e químicas da Série Ecologia, segundo Mendes et al. (1954).

FÍSICO - MECÂNICAS									
Hori- zonte	Espessura em cm.	M.e.a.	M.e.R.	Análise Mecânica %			Fc %		
				Areia	Limo	Argila natural			
Ap	20	1,37	2,59	89,4	6,2	4,4	2,0	52,4	
A2	40	1,38	2,62	89,5	5,2	5,3	3,4	35,8	
A3/B1	40	1,24	2,58	74,8	3,2	22,0	14,5	34,0	
B2I	50	1,13	2,59	64,1	2,0	33,9	17,9	47,1	
B22	50	1,16	2,63	46,8	10,6	42,6	16,4	61,5	
B23	40	1,20	2,60	75,6	8,7	15,7	11,4	27,3	

QUÍMICAS										
Hori- zonte	P ₂ O ₅ assim. mg/100g	PH	C. %	N %	C/N	mEq./100 cm ³ de solo seco				
						H ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺ K ⁺ S		
Ap	0,2	5,8	0,39	0,06	6,5	1,51	1,99	0,87	0,08	2,94
A2	0,2	5,9	0,25	0,03	8,3	0,89	0,87	0,27	0,04	1,18
A3/BI	0,2	5,0	0,15	0,03	5,0	1,62	0,91	0,45	0,08	1,44
B21	0,2	4,7	0,19	0,03	6,3	2,89	0,70	0,76	0,08	1,54
B22	0,2	4,6	0,09	0,03	3,0	6,23	0,34	2,68	0,12	3,14
B23	0,2	4,9	0,03	0,02	1,5	4,82	0,84	4,86	0,13	5,83

3.1.2 - Planta

A gramínea utilizada nos experimentos foi a *Digitaria decumbens* Stent, cultivar trasvala, estabelecida no campo há mais de dois anos.

3.2 - Métodos

3.2.1 - Delineamento experimental

Os experimentos foram feitos em casa de vegetação, no delineamento de blocos inteiramente casualizados.

No experimento I os tratamentos foram os seguintes:

- A. Solo sem cobertura vegetal (testemunha)
- B. Solo sem cobertura vegetal mais amônia
- C. Solo com raízes de transvala (parte aérea cortada)
- D. Solo com raízes de transvala mais amônia
- E. Solo com planta (transvala)
- F. Solo com planta mais amônia

Foram feitas 10 repetições destes seis tratamentos, totalizando 60 torrões.

O experimento II teve estes mesmos tratamentos, incluindo-se mais três em que o nitrogênio foi aplicado na forma de nitrato. Foram eles:

- G. Solo sem cobertura vegetal mais nitrato.
- H. Solo com raízes de transvala mais nitrato
- I. Solo com planta mais nitrato.

Foram feitas 16 repetições dos nove tratamentos, totalizando 144 torrões.

3.2.2 Detalhes de instalação dos experimentos.

Cada tratamento era constituído de blocos intactos de solo com plantas, coletados de canteiros no campo, ou de solo sem cobertura vegetal, de áreas adjacentes aos canteiros.

Os blocos eram retirados com cilindros de ferro de diâmetro equivalente ao de latas de óleo lubrificante e transferidos para estas latas, procurando-se assim manter as condições em que se encontravam no campo. As latas eram de óleo lubrificante comum, de forma cilíndrica, das quais foram retiradas a base e a tampa. Para a limpeza completa de qualquer resto de óleo, as latas passaram por uma lavagem com gasolina, seguida por imersão em tanque com água e detergente, lavagem em água corrente, passando-se, finalmente, após serem secadas, um pouco de solo.

A parte inferior das latas era envolvida por uma tela plástica presa por elástico, ficando cada uma das latas sobre um prato plástico para evitar qualquer perda de água que por acaso ocorresse quando das regas, evitando-se assim perdas por lixiviação. Cada uma das latas foi ainda envolvida lateralmente, por uma folha de papel de cor branca, procurando-se assim evitar absorção de calor diferente, já que as suas cores eram variadas.

Os blocos com planta que constituíram depois os tratamentos de solo com raízes, tinham a parte aérea das plantas cortada próximo à superfície do solo, quando da instalação do experimento na casa de vegetação. Nestes tratamentos, era feita

verificação diária da rebrota e sempre que necessário, novo corte era efetuado, não tendo nunca os brotos atingido altura superior a 1 cm.

Nos tratamentos com solo sem vegetação, vez por outra, apareciam alguns brotos, principalmente de tiririca (*Cyperus* sp.), que eram então cortados ou arrancados.

3.2.3 - Adubação e manutenção dos experimentos.

A única adubação feita foi a nitrogenada. Nos tratamentos que receberam amônia, na base de 100 ppm de N, a fonte usada foi o sulfato de amônio p.a., aplicado sob forma de solução. Nos tratamentos com nitrato, na base de 100 ppm de N, a fonte usada foi o nitrato de sódio p.a., aplicado também na forma de solução. A adubação nitrogenada foi feita sempre no início dos experimentos.

A área onde se situam os canteiros no campo, havia recebido calagem e adubação fosfatada há cerca de dois anos. Nas análises químicas efetuadas nos solos dos diversos tratamentos, observaram-se teores altos de fósforo (> 30 ppm P) e da soma cálcio-magnésio (> 2 mE) e ausência de alumínio trocável, o que indica a atuação dos adubos mesmo decorridos dois anos da aplicação. No caso do potássio, as análises efetuadas mostraram que os teores eram bem variados, havendo casos de teores baixos, médios e altos.

Durante o período dos experimentos, o teor de umidade dos solos foi mantido próximo à capacidade de campo, repondo-se a água mediante regas efetuadas diariamente.

3.2.4 - Amostragem.

O experimento I foi Instalado em 16/10/1975, tendo sido feita a primeira coleta (amostra zero) neste mesmo dia, duas horas após a aplicação da adubação nitrogenada nos tratamentos com N e a rega com água destilada dos demais tratamentos. As demais coletas foram feitas após sete, catorze, vinte e um e vinte e oito dias. Em cada uma destas épocas foram retiradas duas repetições.

O experimento II foi instalado em 08/12/1975, efetuando-se a primeira coleta (amostra zero) após a aplicação da adubação nitrogenada (amônia ou nitrato) nos tratamentos correspondentes e a rega com água destilada dos demais tratamentos. As demais coletas foram feitas após dois, quatro, sete, catorze, vinte e um, vinte e oito e trinta e cinco dias, sendo sempre retiradas duas repetições em cada amostragem.

No caso da amostra zero do experimento II, a coleta dos tratamentos sem planta foi feita duas horas após a adubação tal como ocorreu no experimento I, mas os três tratamentos com planta só foram coletados quatro horas após a adubação, o que correspondeu a 10 h da manhã. Isto foi necessário porque, devido ao problema da insolação, só à partir desta hora seria aconselhável a coleta de amostras para a determinação da atividade da nitrato redutase. Nas demais épocas a coleta dos tratamentos com planta foi sempre feita no intervalo de 10 às 12 h, enquanto os demais tratamentos o foram bem mais cedo. Esta coleta defasada, facilitou também o trabalho de laboratório para as demais determinações e extrações.

Nos dois experimentos a chamada amostra zero foi tirada no mesmo dia da adubação, para verificar a situação do solo ao início do experimento, bem como a recuperação de amônia (experimento I) ou amônia e nitrato (experimento II) nos tratamentos que receberam adubação nitrogenada.

Em cada coleta, os blocos de solo foram desfeitos, separando-se as raízes nos tratamentos em que estavam presentes, e colocando-se o solo em saco plástico numerado. Após a pesagem foi o solo de cada tratamento bem homogeneizado no saco plástico correspondente, mediante agitação manual. Uma vez procedida a homogeneização foram os solos levados para o laboratório onde, em seguida, procedeu-se à pesagem de amostras para determinação do pH e do teor de umidade, bem como das amostras para extração de amônia e nitrato para as posteriores determinações colorimétricas. As amostras para todas estas determinações foram retiradas sempre em duplicata. No caso do experimento I foram 24 amostras para cada determinação e no experimento II, 36 amostras.

As amostras do solo foram depois secadas ao ar, passadas em peneiras de 2 mm e homogeneizadas, obtendo-se assim a terra fina seca ao ar (TFSA) que foi usada nas análises químicas de fósforo, potássio, cálcio-magnésio, alumínio trocável, pH e nitrogênio total.

As raízes coletadas foram lavadas, secadas em papel jornal e levadas para estufa a 55°C, determinando-se após esta secagem, a matéria seca. Nos tratamentos com a planta inteira, separaram-se raízes das partes aéreas, procedendo-se então à lavagem e secagem em papel jornal, seguindo-se a determinação da

matéria seca após secagem em estufa a 55°C. Tanto raízes como partes aéreas foram então moídas e guardadas para determinação do nitrogênio total.

Nos tratamentos com planta, no experimento II, procedeu-se também à amostragem para determinação da atividade de nitrato redutase (NR), enzima responsável pela redução do nitrato na parte aérea das plantas. A amostragem foi feita sempre entre as 10 e 12 h, quando há maior intensidade da luz solar. Foi feito o corte do terço superior das plantas em pedaços de 1 cm de comprimento e, após homogeneização, foram retiradas três amostras de 0,5 g cada uma, para a incubação. As amostras foram assim constituídas por pedaços de colmos e de folhas, com predominância destas últimas. Não foram coletadas só as folhas porque o objetivo principal era o de se verificar o efeito de cada tratamento o que seria conseguido com a amostragem sendo feita sempre numa mesma região da planta (no caso a região de crescimento), e em segundo lugar, porque a separação das folhas seria mais difícil e demorada, alterando o ritmo de todas as demais determinações.

3.2.5 - Métodos de análise

3.2.5.1 - Solo

Obs.- Todas as determinações aqui descritas foram feitas com duas repetições.

Determinação do pH em água.

Usou-se nesta determinação a proporção solo: água de 1: 2,5. Para tanto tomou-se uma medida de solo (10 cm³) em copos plásticos de 100 ml, e adicionou-se 25 ml de água destilada. Agi-

tou-se bem com um bastão de vidro, deixando-se em repouso por trinta minutos. Ao fim deste período e após nova agitação, mergulharam-se os eletrodos do potenciômetro na suspensão do solo para efetuar a leitura do pH.

Determinação da umidade.

A umidade atual e a das amostras de solo secadas ao ar, foram determinadas por gravimetria.

Foram colocados entre 10 e 20 g do solo em pesa filtro previamente tarado, efetuando-se então a primeira pesagem. Após 24 horas na estufa regulada para 100-110°C, efetuou-se nova pesagem. Por diferença entre as duas pesagens obteve-se a quantidade de água existente na amostra e conseqüentemente a percentagem. Calcularam-se então os fatores de correção para solo seco a 105°C, das determinações em que foram tomadas amostras do solo recém coletado e da TFSA.

Determinação do N-amoniaco.

Foi utilizado o método colorimétrico descrito por Jackson (1964).

A extração do íon amônio foi feita com solução de NaCl a 10 % pH 2,5. Tomaram-se 10 g do solo recém coletado, em erlenmeyer de 125 ml e adicionaram-se 100 ml do extrator. Após arrolhar os erlenmeyer, foram os mesmos levados ao agitador horizontal para agitação intermitente durante trinta minutos. Em seguida procedeu-se à filtração à vácuo, usando papel de filtro quantitativo (Whatman 42), lavando-se com novas porções do extrator até completar cerca de 200 ml no filtrado. O filtrado foi então transferido para balão volumétrico de 250 ml, completando-se o volume com NaCl.

Para a determinação colorimétrica tomaram-se alíquotas de 25 ou 50 ml do extrato, dependendo da amostra ter ou não recebido adubação com amônia. As alíquotas, colocadas em balão volumétrico de 100 ml, eram então adicionadas água destilada e solução de tartarato duplo de sódio e potássio e finalmente o reativo de Nessler, completando-se o volume com água destilada e agitando-se rapidamente para a mistura do reativo com a solução. O reativo de Nessler foi preparado Segundo o preconizado por Cappó et al. (1965), com as reduções de concentrações sugeridas por Braun e Velloso (1965). Após um período de 25 min. foram efetuadas as leituras em colorímetro Klett-Summerson, usando-se filtro azul (420 nm). Partido de uma solução com concentração conhecida de N-NH_4^+ e após tratamento idêntico ao das amostras, construiu-se a reta padrão, através da qual as densidades óticas determinadas nas amostras foram transformadas em concentração de N-NH_4^+ no solo.

Determinação do N-nítrico.

Foi usado o método colorimétrico descrito por Jackson (1964). A extração do íon nitrato foi feita com solução de $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 0,02 N. Colocaram-se 50 g do solo recém coletado em erlenmeyer de 500 ml, adicionando-se 250 ml da solução extratora. Após agitação manual por 10 min., juntou-se Ca(OH)_2 , agitou-se, e após adicionar MgCO_3 agitou-se, novamente; por 5 min. Após a filtração e desprezados os primeiros 20 ml do filtrado, obteve-se o extrato.

Para a determinação colorimétrica tomaram-se 10 ou 25 ml do extrato, conforme o tratamento tivesse ou não recebido adu-
bação com nitrato. As alíquotas foram evaporadas à secura em cápsulas de porcelana, e após o tratamento por 10 min. com o ácido fenoldissulfônico, juntou-se água destilada e agitou-se com bastão de vidro para que todo o resíduo passasse para a solução. Uma vez esfriada a cápsula, foi a solução transferida para balão volumétrico de 100 ml e uma vez alcalinizado o meio, com NH_4OH 6N, foi completado o volume com água destilada. A leitura da densidade ótica foi feita em colorímetro Klett-Summerson, usando-se filtro azul (420 nm). Submetendo-se ao mesmo procedimento volumes crescentes de um padrão de nitrato, construiu-se uma reta padrão, através da qual as densidades óticas determinadas nas amostras foram transformadas em concentração de N-NO_3^- na solução.

Determinação do Nitrogênio total.

Foi utilizado o método macro Kjeldahl que inclui nitrato, descrito por Bremner (1965 a). A destilação foi feita com arraste de vapor, usando-se um micro destilador.

Para a digestão tomaram-se 5 g de TFSA em balão de Kjeldahl de 500 ml, adicionando-se 40 ml da mistura de ácido sulfúrico-ácido salicílico e deixando-se em repouso por 30 min. Em seguida juntou-se tiosulfato de sódio e após 5 min, iniciou-se o aquecimento até que cessasse a formação de espuma. Uma vez esfriado o balão juntou-se a água destilada e a mistura de sais ($\text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{CuSO}_4$, 10:1), voltando a aquecer até o clareamento da solução. Deixou-se esfriar o balão e juntou-se então, lentamente, água

destilada. (Transferiu-se a solução para balão volumétrico de 250 ml, completando-se o volume com as águas de lavagem do balão de Kjeldahl.

Deste extrato tomou-se uma alíquota de 20 ml para a destilação, juntando-se NaOH 40% e recebendo a amônia destilada em ácido bórico com indicador misto. O destilado foi então titulado com solução padronizada de ácido clorídrico 0,0249 N, até o aparecimento da cor vermelho-vinho.

Determinação de fósforo, potássio, cálcio-magnésio e alumínio.

Os métodos usados para estas determinações foram os preconizados pelo Programa Nacional de Análises Rápidas do Solo (PNARS), descritos por Vettori (1969). Para o fósforo e o potássio a solução extratora foi a mistura de ácido sulfúrico 0,025 N e ácido clorídrico 0,050 N, na proporção de 10 cm³ da TFSA para 100 cm³ de solução. O fósforo foi determinado por colorimetria, após redução pelo ácido ascórbico em presença de solução ácida de molibdato. O potássio foi determinado por fotometria de chama.

Para a soma cálcio-magnésio e para o alumínio trocável a solução extratora foi o cloreto de potássio 1 N, usando-se a proporção de 10 cm³ de TFSA para 100 cm³ do extrator. A soma cálcio-magnésio foi determinada por titulação com EDTA, em presença de tampão e o alumínio trocável por titulação com NaOH.

3.2.5.2 - Planta

Determinação da matéria seca a 55°C

As raízes e as partes aéreas das plantas, após secagem a 55°C até peso constante, foram colocadas em dessecadores, de onde iam sendo retiradas para as pesagens. Obteve-se desta forma a produção de matéria seca a 55°C.

Determinação do nitrogênio total

A 200 mg do material vegetal (raiz ou parte aérea), colocados em balão de Kjeldahl de 100 ml juntou-se 3 ml de ácido sulfúrico concentrado, 2 g de sulfato de sódio anidro e 10 mg de óxido de mercúrio, procedendo-se então à digestão, até o clareamento da solução. Após esfriar o balão, adicionou-se água destilada, transferindo-se, quantitativamente, toda a solução para a câmara de destilação do micro destilador. Juntou-se então solução a 50% de NaOH com tiosulfato de sódio e iniciou-se a destilação, recebendo o destilado em ácido bórico com indicador misto.

O destilado foi depois titulado com solução padronizada de ácido clorídrico 0,1043 N, até o aparecimento da cor vermelho-vinho.

Foram feitas duas repetições de cada amostra.

Determinação da atividade da nitrato redutase.

O método usado foi o descrito por Neyra (1974).

Tomou-se 500 mg do tecido vegetal, cortado em pedaços de cerca de 1 cm e colocou-se em erlenmeyer de 125 ml com 20 ml de meio de incubação. Este meio de incubação era composto

de: fosfato bibásico de potássio 0,1 M pH 7,5, nitrato de potássio 0,1 M, propanol 1% e neutronix 0,05%.

Cada erlenmeyer foi envolvido em papel de alumínio e após serem todos colocados em uma bandeja foram levados a uma estufa regulada para 30°C, durante um período de 10 min (pré-incubação). Tomou-se então uma alíquota de 0,5 ml. de cada um dos erlenmeyer em tubos de ensaio, constituindo-se estas alíquotas (tempo zero) no fator de correção para as determinações que seriam feitas nas alíquotas tomadas com 1 hora. Voltou-se a bandeja com os erlenmeyer para a estufa, agitando-se com cuidado, de 10 em 10 minutos, para facilitar a penetração da solução no tecido vegetal. Após 1 hora de incubação, nova alíquota de 0,5 ml foi tomada de cada um dos erlenmeyer e colocadas em tubos de ensaio.

Aos tubos de ensaio com 0,5 ml. de solução, adicionou-se 2,5 ml de água destilada e 3,0 ml da mistura de reagentes (N-1-naftil etileno diamino dicloreto 0,02% e sulfanilamida 1%, na proporção 1:1), desenvolvendo-se assim a cor púrpura característica. Após homogeneizar a mistura levou-se ao colorímetro Klett-Summerson com filtro verde (540 nm) para leitura da densidade óptica. Partindo de uma solução padrão de nitrito (0,1 mM), tomaram-se volumes crescentes, diluindo-se todos a 3 ml com água destilada. Juntou-se 3 ml da mistura de reagentes e após o desenvolvimento da cor levou-se ao colorímetro. Construiu-se assim a reta padrão através da qual a densidade óptica foi transformada em μ moles de N-NO_2^- por tubo (6 ml de solução), por hora de incubação.

O resultado final foi depois transformado em μ moles de N-NO_2^- por g de tecido verde, por hora de incubação.

3.2.5.3 - Análise Estatística.

As análises estatísticas foram feitas por Computação, no Departamento de Métodos Quantitativos (DMQ) da EMBRAPA.

4- RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 - Experimento I

Os resultados deste experimento, em médias de duas repetições, encontram-se nos Quadros 2 a 10 e nas figuras 1 a 3. Os resultados das análises estatísticas podem ser observados nos Quadros 11 a 15.

Houve diferença significativa para tratamentos em todas as determinações feitas, com exceção da de peso da parte aérea seca (Quadro 11).

Verifica-se que o pH do solo em todos os tratamentos, sofreu um decréscimo com o tempo (Quadro 2) que, à exceção do verificado no tratamento solo sem planta, foi estatisticamente significativo (Quadro 13). Este decréscimo foi significativamente maior (Quadro 12), nos tratamentos que receberam sulfato de amônio; o que seria de se esperar já que este sal é potencialmente ácido. O pH do solo nos tratamentos com raízes e com planta apresenta-se, ao início, ligeiramente mais alto que o do solo testemunha. Aos 28 dias o pH atinge, praticamente, o mesmo valor nos tratamentos adubados, ao passo que, nos sem adubo, permanece ligeiramente su-

perior onde há raízes ou planta.

No quadro 3, observam-se os teores de N-NH_4^+ e N-NO_3^- . Nos tratamentos sem adubo o teor de N-NH_4^+ no solo variou entre 4 e 12 ppm, não havendo diferença significativa quanto à ausência ou presença de planta (Quadro 12). Nos tratamentos adubados, verifica-se boa recuperação do amônio adicionado ao solo, em torno de 100 ppm N-NH_4^+ (Quadro 4), ao se observar os teores alcançados nos solos destes tratamentos na amostragem inicial, feita duas horas após a aplicação (zero dias).

Quanto ao nitrato (Quadro 3), observam-se, quando da amostragem inicial, teores em torno de 1 ppm nos solos sem planta e ligeiramente superiores (1,24 a 1,47) nos solos com raízes ou planta. Nos tratamentos sem adubo e à partir da amostragem aos 7 dias, o solo sem planta apresenta sempre teores mais altos que o solo com a planta inteira. Neste último, à partir da amostragem aos 7 dias, o teor de nitrato esteve sempre abaixo de 1 ppm, ao passo que no solo sem planta só aos 21 dias detectou-se teor menor que 1 ppm. Nos solos onde havia só as raízes de transvala, observaram-se teores menores que 1 ppm aos 7 e 14 dias, havendo um aumento aos 21 e 28 dias.

Os teores de N-NO_3^- menores que 1 ppm verificados na rizosfera da *Digitaria*, confirmam os resultados de Döbereiner e Day (1974), de ausência marcante de nitrato em solos do Estado do Rio de Janeiro sob vegetação de gramínea.

Comparando-se neste Quadro 3, os teores de N-NH_4^+ e N-NO_3^- determinados no tratamento solo sem planta adubado, verifica-se o decréscimo no teor de N-NH_4^+ e o acréscimo no teor de

N-NO₃⁻ a cada amostragem, ambos significativos (Quadro 13). Verifica-se que tais acréscimo são de 6, 9, 11 e 8 ppm de N-NO₃⁻, respectivamente, na 1^a, 2^a, 3^a e 4^a semana (Quadro 3). Estes resultados nos dão idéia da taxa de nitrificação neste solo, que é em média, de 8,5 ppm de N-NO₃⁻ produzido por semana ou seja, cerca de 12 µg/dia/g de solo (2,4 kg/ha/dia).

Desta forma, entre os 7 e 14 dias teve início, no solo Ecologia, o processo de nitrificação. A rapidez com que se iniciou a nitrificação vem confirmar os resultados alcançados em solo podzólico vermelho amarelo por Alvahydo (1958), que a observou em experimentos de laboratório, já aos 15 dias de incubação do solo com sulfato de amônio e por Leal e Alvahydo (1971) que, em experimento de campo, verificaram o mesmo fenômeno entre 18 e 37 dias após a aplicação do adubo. Nitrificação nas primeiras quatro semanas após a aplicação de amônia ao solo, foi verificada por McIntosh e Frederick (1958), trabalhando em solo sem cobertura vegetal, tal como no caso do tratamento solo sem planta no nosso experimento. Justice e Smith (1962) incubando solos calcários com sulfato de amônio, verificaram, a 22°C, a nitrificação de 50% do N adicionado (150 ppm) em 21 dias, sendo a taxa de nitrificação bem elevada entre 14 e 21 dias. Em latossolo roxo, Mello (1974) verificou, em experimento de campo, que nas parcelas mantidas sem cultura, houve desaparecimento ou transformação do N-amoniaco, 15 a 30 dias após sua aplicação.

No tratamento solo com raízes de transvala mais adubo (Quadro 3), observa-se também o decréscimo no teor de N-NH₄⁺ e o acréscimo no teor de N-NO₃⁻, ambos significativos (Quadro 13).

Tal acréscimo é, no entanto, mais alto aí que no solo sem planta, principalmente, nas duas primeiras semanas. Assim é que os acréscimos são de 18, 13, 7 e 7 ppm N-NO₃⁻, respectivamente, na 1^a, 2^a, 3^a e 4^a semana. Esta taxa inicial mais alta no solo com a presença das raízes, poderia ser decorrência ou da maior população de microorganismos nitrificantes ou da existência de maior quantidade de material energético (substâncias excretadas pelas raízes que serviriam como fonte de carbono), no caso de microorganismos heterotróficos. A taxa mais baixa nas duas últimas semanas, quando os valores ficaram próximos aos verificados no solo sem planta, poderia ser explicada pela menor atividade das raízes nestas épocas. Desde o início do experimento qualquer brotação que se verificasse era diariamente cortada, mas esta brotação, que inicialmente, era abundante decresceu com o tempo. A taxa média de nitrificação neste tratamento é de 11,3 ppm de N-NO₃⁻ produzido por semana, o que corresponde a 1,6 µg/dia/g solo (3.2 kg/ha/dia).

Na presença da planta inteira adubada (Quadro 3), verifica-se o completo desaparecimento do N-NH₄⁺ que foi adicionado ao solo, uma semana após ter sido feita a aplicação, o mesmo se verificando nas demais coletas. O teor de N-NO₃⁻ no solo deste tratamento aos sete dias, era de 1,46 ppm, um pouco superior ao verificado na mesma época no tratamento correspondente sem adubo (0,80 ppm), mas nas demais épocas o teor de N-NO₃⁻ decresceu significativamente (Quadro 13), mantendo-se abaixo de 1 ppm.

Uma melhor visualização destes resultados nos é dada pelas figuras 1 e 2 onde estão representados, respectivamente,

os teores de N-NH_4^+ e N-NO_3^- determinados em cada amostragem.

Um outro aspecto a se analisar é o do total de N determinado ($\text{N-NH}_4^+ + \text{N-NO}_3^-$), nos tratamentos adubados: solo sem planta e solo com raízes (Quadro 5). No primeiro verifica-se na amostragem aos 7 e 14 dias que a soma do N mineral é aproximadamente 100 ppm. Já nas amostragens aos 21 e 28 dias obtêm-se 88 e 71 ppm, havendo assim o desaparecimento de, aproximadamente, 12 e 29 ppm de N mineral, respectivamente. No tratamento solo com raízes tal desaparecimento já se verifica à partir da 1ª semana (20 ppm), sendo nas seguintes de, aproximadamente, 26, 36 e 36 ppm de N mineral, respectivamente.

Uma vez que foi tomado o cuidado de ao se regar o solo não se colocar água em excesso e que além disto, todas as latas foram colocadas sobre pratos plásticos que impediam a perda de água, pode ser afastada a hipótese de lixiviação.

A imobilização pela transformação do NH_4^+ permutável em não permutável nas argilas, a nosso ver não seria plausível, dado o baixo teor de argila no solo.

Embora as perdas de NH_4^+ por volatilização, possam ser elevadas em solos de pH elevado (Gasser 1964, Musa 1968), mesmo em solos arenosos elas cessam em valores de pH de 5.4 (Wahhab et al. 1957). Martin e Chapman (1951) verificaram que as perdas de amônio da superfície do solo, por volatilização, são reduzidas quando se aplicam sais neutros ou ácidos de amônio a solos neutros ou ácidos. No presente experimento aplicamos um sal potencialmente ácido, sulfato de amônio, tendo o pH decrescido dos 7 aos 28 dias, de 6,1 a 5,5 no solo sem planta e de

6,1 a 5,6 no solo com raízes, não sendo pois de se esperar que tais perdas ocorressem.

A imobilização por microorganismos, que poderia ser uma outra hipótese para explicar o desaparecimento do N, é pouco provável, pelo menos no solo sem planta, face o baixo teor de matéria orgânica no solo. Além disto o N assim imobilizado seria detectado na determinação do N total (Quadro 6), o que não ocorreu.

Este desaparecimento pode ser explicado então pela desnitrificação. Não seria difícil admitir que tal fenômeno fosse intensificado na presença de raízes, pois, como sugeriu Woldendorp (1962), a diminuição de O_2 e/ou a presença de doadores de H^+ , torna as condições de desnitrificação mais favoráveis na região da rizosfera. Além disso, os resultados de Neyra e van Berkum (1976), que verificaram em meio de cultura, que o *Spirillum lipoferum*, bactéria abundante na rizosfera da *Digitaria*, é capaz de desnitrificar, vêm corroborar esta hipótese.

No Quadro 6 observam-se os resultados do N total, em mg de N/kg de solo seco a $105^\circ C$. De um modo geral, os teores determinados nos tratamentos sem adubação, são mais baixos que os seus correspondentes adubados, o que seria de se esperar. As diferenças são menores entre os tratamentos solo com planta, com e sem adubo, face à absorção do N mineral efetuada pelas plantas.

Outro ponto a ressaltar é o de que os teores de N total nos tratamentos com raízes e com planta são significativamente mais altos que os do solo sem planta, conforme se verifi-

ca no contraste entre estes tratamentos adubados (Quadro 12). Os torrões para os tratamentos com planta inteira ou raízes foram retirados intactos de canteiros estabelecidos no campo há mais de dois anos, o que poderia ser a razão de tais solos, mesmo sem adubação, apresentarem teores de N total mais altos que os do solo sem planta, até mesmo quando este foi adubado. Deve-se lembrar ainda, por um lado, que poderia haver a contribuição da fixação do nitrogênio atmosférico pelo *Spirillum lipoferum* que vive associado às raízes da *Digitaria* e por outro lado, que, no campo, os solos sem planta, estavam muito mais sujeitos à lixiviação que os com planta.

No solo sem planta, com ou sem adubação, há decréscimo no teor de N total com o tempo (Quadro 6), mas só foi significativa (Quadro 13) o verificado em presença da adubação. No solo com raízes ou planta inteira, sem adubação, os teores de N total permanecem estáveis durante o período verificado (28 dias); ao passo que, na presença da adubação há uma oscilação, que é bem maior no solo com planta, onde se verificou significância para efeito de 4ª potência (Quadro 13). Tanto no solo com raízes como no solo com planta, adubados, há um decréscimo embora não significativo, no teor do N total aos 28 dias.

Nos tratamentos com raízes ou planta inteira, transformou-se o teor de N determinado nas raízes e partes aéreas existentes em cada torrão de solo, em mg de N/kg de solo, uma vez que os torrões tinham pesos diferentes. Os teores assim transformados foram somados aos teores de N total determinados em cada um dos solos correspondentes, obtendo-se os valores apresentados no Quadro 7. Com este cálculo procurou-se ter um balanço

do N nos tratamentos em que estavam presentes raízes ou a planta inteira. As oscilações observadas com o tempo, foram semelhantes às verificadas no teor de N total do solo (Quadro 6), obtendo-se significância apenas para o efeito de 4ª potência no tratamento solo com planta, sem adubação (Quadro 14).

No Quadro 8 apresentam-se os resultados, em g, do peso da planta seca a 55°C, separando-se raízes e partes aéreas.

A variação verificada no peso das raízes, nos tratamentos onde a parte aérea foi cortada, é mais resultado da variação da quantidade de raízes existentes nos torrões, que da adubação. Comparado-se os tratamentos com planta, sem e com adubo, verifica-se que só após os 14 dias se evidencia um maior peso no tratamento adubado. O peso das raízes foi significativamente maior no solo com planta que no solo com raízes, ambos adubados (Quadro 12), o que era de se esperar; não ocorrendo o mesmo, entre estes tratamentos sem adubo. O peso das raízes variou com o tempo, observando-se efeito de 4ª potência significativo, apenas no tratamento solo com planta sem adubo (Quadro 14), onde houve maior oscilação. O peso da parte aérea aumentou com o tempo, tanto no tratamento sem adubo, efeito linear e de 4ª potência significativos, quanto no tratamento com adubo, efeito linear, quadrático e cúbico (Quadro 15), onde o aumento foi bem maior.

No Quadro 9 apresentam-se os teores de N percentual na planta, e no Quadro 10 estes mesmos teores transformados em mg de N por peso de planta.

Nos tratamentos onde a parte aérea do transvala foi cortada, as raízes apresentaram teor de N percentual mais alto no

solo adubado dos 7 aos 28 dias e ligeiramente superior, na amostragem feita ao início do experimento (Quadro 9). No solo sem adubo a % de N das raízes cresce aos 7 dias e decresce até os 21 dias, elevando-se novamente aos 28 dias, havendo efeito quadrático e cúbico significativo (Quadro 14). No solo com adubo a % de N nas raízes cresce até os 14 dias e após ligeiro decréscimo aos 21, estabiliza-se aos 28 dias. Ao se calcular o N total tais diferenças desaparecem apresentando-se as raízes no solo não adubado, aos 7 e 28 dias, com maior teor de N total que as raízes do solo adubado (Quadro 10). Estes resultados são devidos ao maior peso de raízes existentes no solo não adubado nestas duas amostragens (Quadro 8), uma vez que o peso é um dos parâmetros usados para o cálculo.

Nos tratamentos em que havia a planta inteira, os valores da % de N e os de N total das raízes e partes aéreas do tratamento adubado, foram superiores aos observados no tratamento sem adubo, dos 7 aos 28 dias (Quadros 9 e 10). No solo sem adubo, a % de N das raízes decresceu significativamente com o tempo (Quadro 14), verificando-se tendência semelhante no N total. Na parte aérea a % de N diminuiu significativamente (Quadro 15), enquanto o N total mostra maior oscilação com o tempo, decorrente da variação do peso da planta seca.

No solo com adubo a % de N, tanto nas raízes como nas partes aéreas cresce até os 14 dias, decrescendo após, sendo significativo o efeito quadrático do tempo (Quadros 14 e 15). Quanto ao teor de N total, enquanto nas partes aéreas houve aumento do início ao fim do experimento, com efeito linear e cúbico signifi-

cativo (Quadro 15), nas raízes, após crescer até os 14 dias, decresceu aos 21 e 28 dias.

A Figura 3 nos dá idéia das variações ocorridas nos teores de N total da planta inteira durante o experimento. Pode-se observar que no tratamento sem adubo a oscilação dos teores do N total nas raízes e partes aéreas foi semelhante. No tratamento com adubo, as curvas representando o teor de N total nas raízes e nas partes aéreas, apesar de, inicialmente, serem crescentes, se afastam após os 14 dias, uma vez que o teor nas raízes tende a decrescer enquanto na parte aérea ele ainda cresce, o que poderia caracterizar a translocação de N das raízes para as partes aéreas.

QUADRO 2 - pH DO SOLO NO DIA DA COLETA

Experimento I - resultados em médias de 2 repetições

Tratamentos	Tempo (Dias)				
	0	7	14	21	28
Solo sem planta	6,8	6,8	6,6	6,6	6,2
Solo sem planta + NH ₄ ⁺	6,6	6,1	5,8	5,7	5,5
Solo com raízes	7,1	6,8	6,4	6,4	6,4
Solo com raízes + NH ₄ ⁺	7,0	6,1	5,8	5,6	5,6
Solo com planta	7,2	6,8	6,4	6,4	6,4
Solo com planta + NH ₄ ⁺	7,0	5,7	5,7	6,0	5,6

QUADRO 3 - TEOR DE N-NH₄⁺ e N-NO₃⁻ NO SOLO (ppm solo seco a 105°C)

Experimento I - resultados em médias de 2 repetições

Tratamentos	Tempo (Dias)									
	0		7		14		21		28	
	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻
Solo sem planta	5,79	1,06	4,55	1,19	8,47	1,60	6,38	0,66	10,30	2,44
Solo sem planta + NH ₄ ⁺	104,40	0,90	92,38	6,84	84,52	15,79	61,11	26,93	36,69	34,77
Solo com raízes	8,25	1,26	3,77	0,34	7,45	0,78	6,32	1,58	11,32	4,14
Solo com raízes + NH ₄ ⁺	110,89	1,47	60,60	20,02	41,00	32,93	24,78	39,11	17,34	46,68
Solo com planta	7,58	1,28	4,66	0,80	6,26	0,73	5,84	0,32	11,66	0,94
Solo com planta + NH ₄ ⁺	105,02	1,24	3,82	1,46	6,52	0,59	7,68	10,25	0,52	0,33

QUADRO 4 - N-NH₄⁺ APLICADO AO SOLO NO INÍCIO DO EXPERIMENTO*

Experimento I - resultados em médias de 2 repetições

Tmtamentos	Tempo (Dias)				
	0	7	14	21	28
Solo sem planta	-	-	-	-	-
Solo sem planta + NH ₄ ⁺	107,80	107,52	107,10	105,63	106,78
Solo com raízes	-	-	-	-	-
Solo com raízes + NH ₄ ⁺	110,14	108,62	109,81	110,116	109,84
Solo com planta	-	-	-	-	-
Solo com planta + NH ₄ ⁺	110,42	109,92	111,48	109,50	112,68

* Valores corrigidos para ppm solo seco a 105°C

QUADRO 5 - TEOR DE N MINERAL (NH₄⁺ + NO₃⁻) NO SOLO (ppm s.s. 105°C)

Experimento I - resultados em médias de 2 repetições

Tratamentos	Tempo (Dias)				
	0	7	14	21	28
Solo sem planta	6,85	5,74	10,07	7,04	12,74
Solo sem planta + NH ₄ ⁺	105,30	99,22	100,31	88,04	71,46
Solo com raízes	9,51	4,11	8,23	7,90	15,46
solo com raízes + NH ₄ ⁺	112,36	80,62	73,93	63,89	64,02
Solo com planta	8,86	5,46	6,99	6,16	12,60
Solo com planta + NH ₄ ⁺	106,26	5,28	7,11	8,20	10,58

Figura 1

TEORES DE $N-NH_4^+$ NO SOLO
EXPERIMENTO I - Médias de duas
repetições

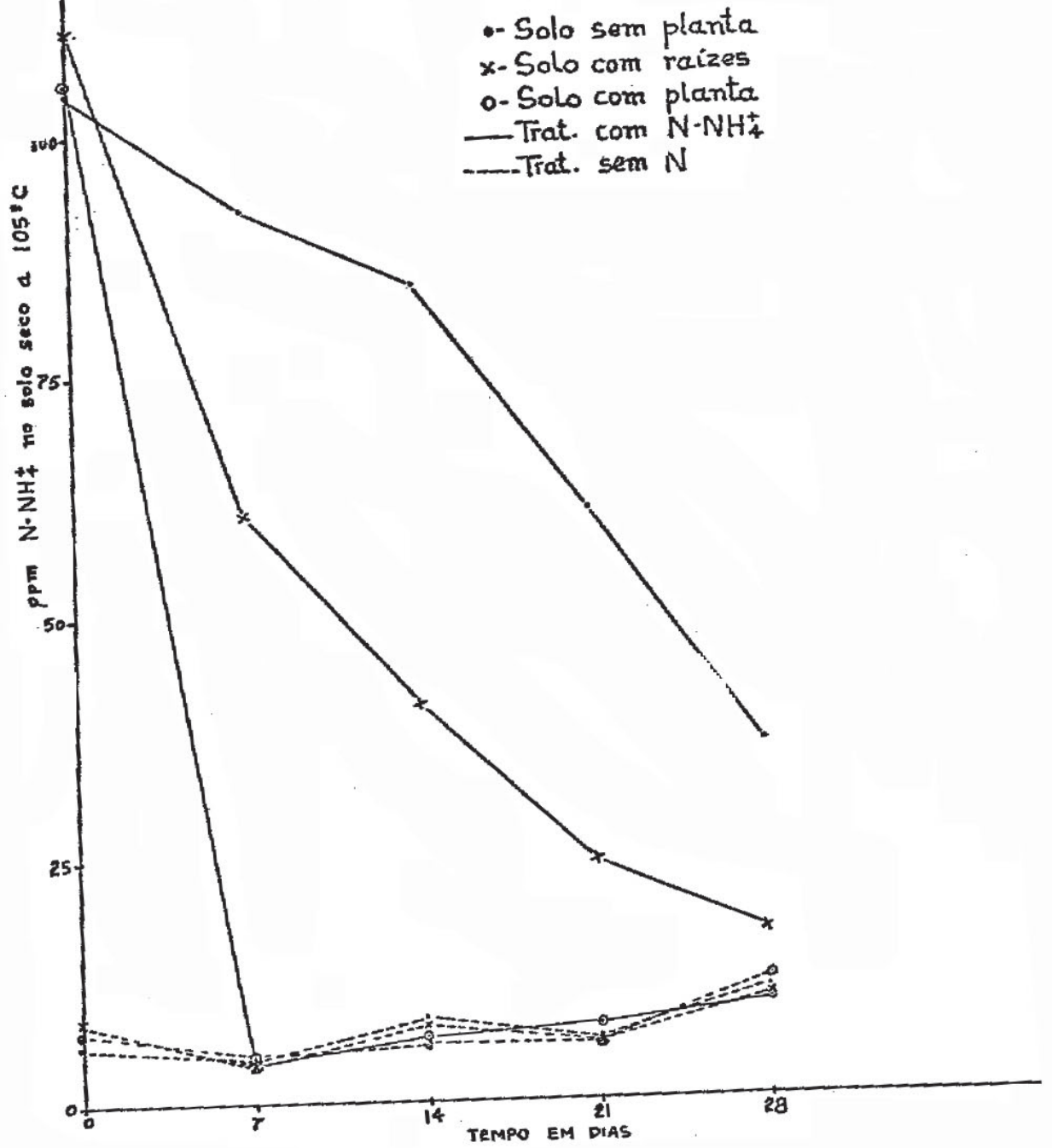
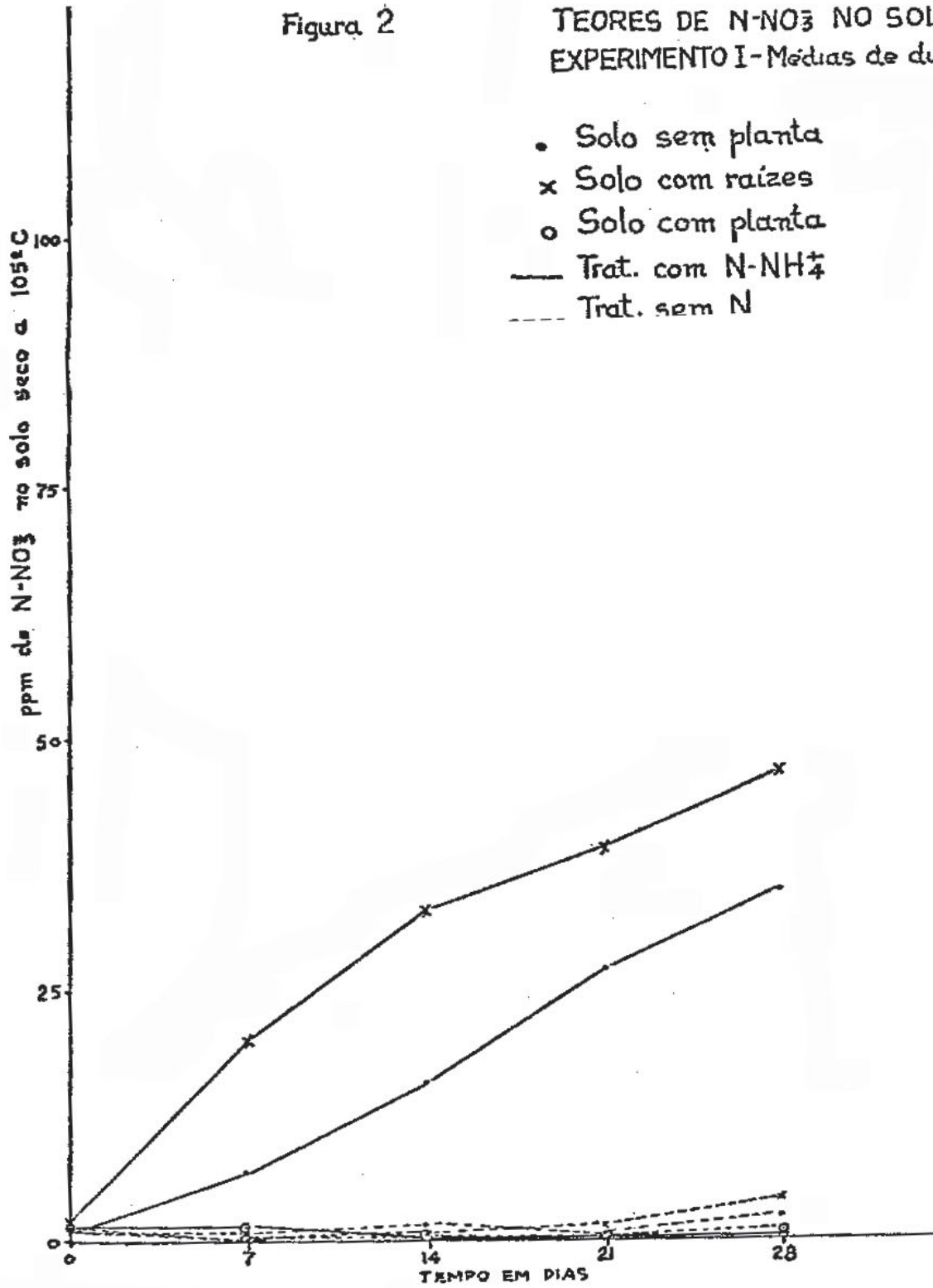


Figura 2

TEORES DE N-NO₃ NO SOLO
EXPERIMENTO I - Médias de duas repetições



QUADRO 6 - N TOTAL NO SOLO SECO A 105°C (mg N/kg solo)
 Experimento I - resultados em médias de 2 repetições

Tratamentos	Tempo (Dias)				
	0	7	14	21	28
Solo sem planta	490	415	425	370	355
Solo sem planta + NH ₄ ⁺	580	480	460	415	390
Solo com raízes	575	585	555	630	555
Solo com raízes + NH ₄ ⁺	720	645	730	720	630
Solo com planta	545	600	590	630	590
Solo com planta + NH ₄ ⁺	655	690	610	665	590

QUADRO 7 - N TOTAL NO SOLO SECO A 105°C* + N TOTAL NA PLANTA**
 Experimento I - resultados em médias de 2 repetições

Tratamentos	Tempo (Dias)				
	0	7	14	21	28
Solo com raízes	602	630	570	645	571
Solo com raízes + NH ₄ ⁺	744	664	750	748	642
Solo com planta	609	680	643	708	644
Solo com planta + NH ₄ ⁺	722	837	754	810	734

* em mg N/kg de solo

** N total nas raízes ou raízes e partes aéreas existentes no torrão, transformado para mg N por 1 kg de solo.

QUADRO 8 - PESO DA PLANTA SECA A 55°C (g)
Experimento I - resultados em médias de 2 repetições

Tratamentos	Tempo (Dias)									
	0	7	14	21	28					
	Raiz	P. aérea	Raiz	P. aérea	Raiz	P. aérea	Raiz	P. aérea		
Solo com raízes + NH ₄	5,4	-	9,2	-	4,0	-	4,1	-	3,9	-
Solo com raízes + NH ₄	5,0	-	3,3	-	3,7	-	4,9	-	2,4	-
Solo com planta + NH ₄	6,0	6,1	8,1	8,6	6,1	6,6	8,4	9,8	6,7	9,0
Solo com planta + NH ₄	6,4	6,2	8,7	7,9	8,0	9,0	9,0	10,9	8,4	16,0

QUADRO 9 - TEOR DE N NA PLANTA (%)
Experimento I - resultados em médias de 2 repetições

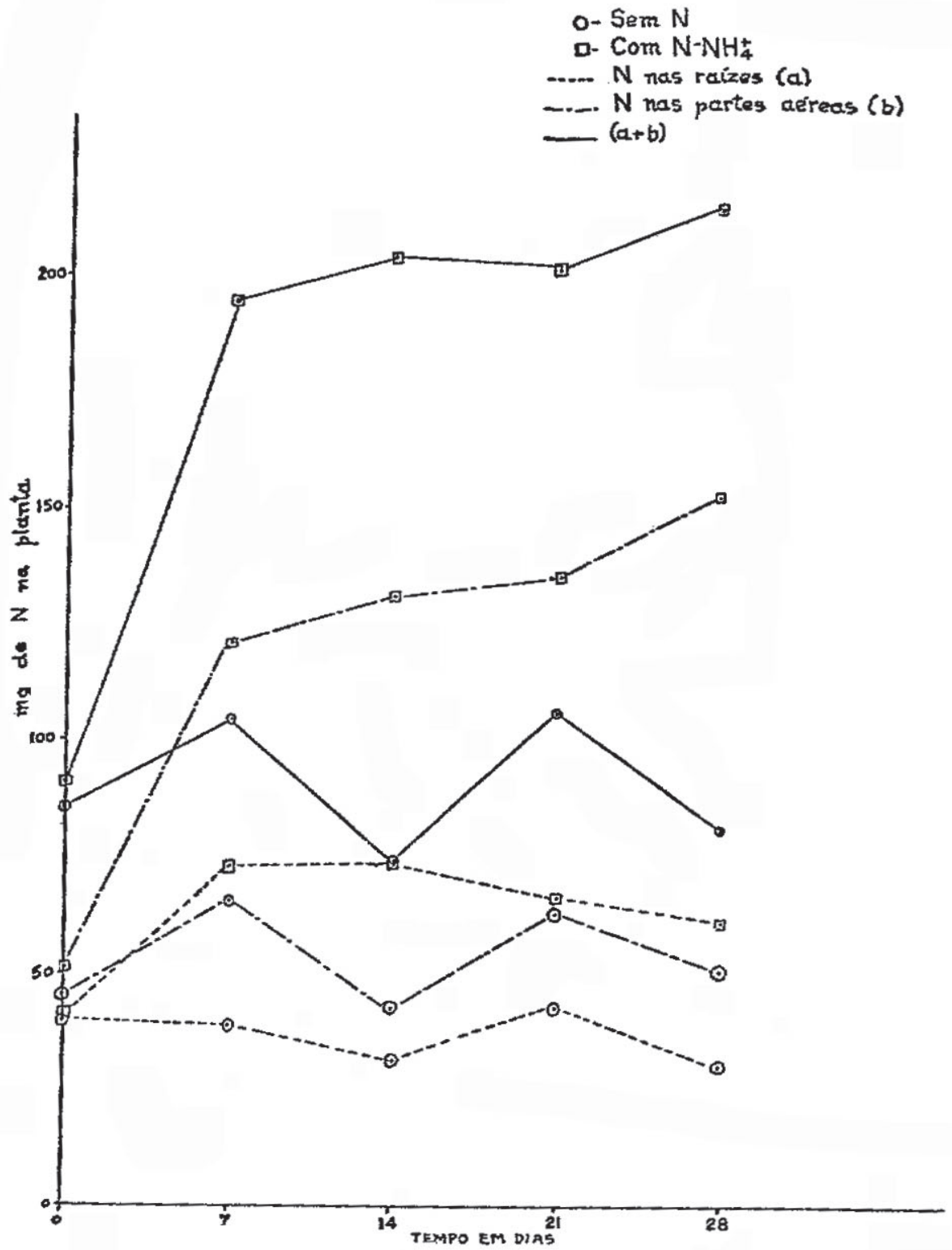
Tratamentos	Tempo (Dias)									
	0	7	14	21	28					
	Raiz	P. aérea	Raiz	P. aérea	Raiz	P. aérea	Raiz	P. aérea		
Solo com raízes + NH ₄	0,56	-	0,59	-	0,50	-	0,49	-	0,62	-
Solo com raízes + NH ₄	0,60	-	0,74	-	0,76	-	0,73	-	0,73	-
Solo com planta + NH ₄	0,67	0,74	0,48	0,77	0,52	0,64	0,51	0,64	0,46	0,56
Solo com planta + NH ₄	0,62	0,82	0,88	1,54	0,94	1,45	0,74	1,24	0,73	0,96

QUADRO 10 - TEOR DE N TOTAL NA PLANTA (mg)
Experimento I - resultados em médias de 2 repetições

Tratamentos	Tempo (Dias)									
	0	7	14	21	28					
	Raiz	P. aérea	Raiz	P. aérea	Raiz	P. aérea	Raiz	P. aérea		
Solo com raízes + NH ₄	31,7	-	54,2	-	20,0	-	20,4	-	24,2	-
Solo com raízes + NH ₄	30,3	-	24,8	-	27,8	-	36,9	-	17,8	-
Solo com planta + NH ₄	40,5	45,2	38,8	65,8	31,6	42,5	42,9	63,0	30,2	50,6
Solo com planta + NH ₄	40,4	50,8	73,2	121,2	73,6	130,5	66,4	135,0	61,0	153,1

Figura 3

N TOTAL NA PLANTA
EXPERIMENTO I - Médias de duas repetições



QUADRO 11 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO EXPERIMENTO 1: VALORES DE F

Fonte de variação	pH	N-NH ₄ ⁺		N-NO ₃ ⁻		Peso P.		% N		N Total		N Total		N Total		N Total Solo + Planta
				Raiz	aérea	Raiz	aérea	Raiz	P. Aérea	Raiz	P. Aérea	Raiz	P. Aérea	Raiz	P. Aérea	
Trat.	22,88**	138,56**	323,19**	14,56*	8,54	62,53**	4337,86**	32,39**	143,25**	41,82**	10,73*					
Tempo	58,87**	174,62**	100,92**	1,20	25,82**	1,86	41,63**	1.26	34,84**	4,63**	3,88*					
Trat. x Tempo	2,63*	54,26**	40,19**	0,78	9,62**	4,34**	32,58**	1,14	25,32**	1,88	1,38					
CV (%)	2,80	14,64	22,25	36,16	10,81	10,00	5,62	36,03	8,66	7,94	6,46					

* - significância a 5%

** - significância a 1%

QUADRO 12 - DESDOBRAMENTO DOS G.L. DE TRATAMENTO NO EXPERIMENTO I: VALORES DOS CONTRASTES COM SIGNIFICÂNCIA PELO TESTE F.

CONTRASTES	pH	N-NH ₄ ⁺	N-NO ₃ ⁻	Peso Raiz	% N Raiz	N Total Raiz	N Total Solo	N Total Solo + Planta,
A1	-18,5	1325,41**	414,09**	-	-	-	9120**	-
A2	-39,0**	2629,37**	845,28**	-	-	-	790	-
A3	- 1,2	740,60**	52,23	-	-	-	-4010**	-
A4	-	2,25	8,08	-17,4	0,27	-67,0	-110	- 532,0
A5	-	242,66	272,13**	-42,0*	-0,69	-354,0*	470	- 618,0
A6	-	-	-	4,4	-4,18**	-234,6	-	-2202,0

Significância a 5%

Significância a 1%

Contrastes realizados:

A1 - Solo sem planta x demais trat.

A2 - Trat. adubados x Trat. não adubados

A3 - Solo sem planta + NH₄⁺ x Solo com planta + NH₄⁺ e Solo com raízes + NH₄⁺

A4 - Solo com raízes X solo com planta

A5 - Solo com raízes + NH₄⁺ x Solo com planta + NH₄⁺

A6 - Solo com raízes e Solo com planta x Solo com raízes + NH₄⁺ e Solo com planta + NH₄⁺

QUADRO 13 - ANÁLISE COM DESDOBRAMENTO DOS EFEITOS DE TEMPO, DENTRO DE CADA TRATAMENTO, NO EXPERIMENTO I: VALORES DE F.

Fonte	PH	N-NH ₄ ⁺		N-NO ₃ ⁻		N Total		PH	N-NH ₄ ⁺		N-NO ₃ ⁻		N Total
		SOLO SEM PLANTA	SOLO COM RAÍZES	SOLO SEM PLANTA	SOLO COM RAÍZES	SOLO	SOLO COM RAÍZES		SOLO SEM PLANTA + NH ₄ ⁺	SOLO COM RAÍZES + NH ₄ ⁺	SOLO	SOLO COM RAÍZES + NH ₄ ⁺	
R	0,74	0,76	0,76	0,76	0,76	0,77	0,77	0,93	0,96	0,98	0,98	0,93	
TL	5,06	3,96	1,86	1,86	1,86	6,38	6,38	28,17**	55,58**	160,86**	160,86**	31,68**	
TQ	1,18	1,14	1,57	1,57	0,02	0,02	0,02	0,06	9,20*	11,13*	11,13*	0,02	
T3	0,42	0,16	2,73	2,73	0,45	0,45	0,45	1,60	1,33	0,45	0,45	2,11	
T4	0,41	2,90	1,92	1,92	0,43	0,43	0,43	0,23	0,05	0,12	0,12	0,20	
CV(%)	4,51	34,31	52,58	52,58	13,57	13,57	13,57	3,69	13,19	18,17	18,17	7,60	
SOLO COM RAÍZES													
R	0,93	0,97	0,83	0,83	0,60	0,60	0,60	0,99	0,99	0,99	0,99	0,70	
TL	26,74**	20,94**	6,28	6,28	0,00	0,00	0,00	385,33**	206,89**	254,07**	254,07**	0,60	
TQ	0,53	50,43**	7,21*	7,21*	0,20	0,20	0,20	25,13**	3,17	0,02	0,02	0,86	
T3	0,26	0,25	0,20	0,20	0,85	0,85	0,85	25,13**	10,16*	8,95*	8,95*	3,46	
T4	2,66	24,63**	0,20	0,20	1,65	1,65	1,65	0,14	0,01	1,58	1,58	0,51	
CV(%)	2,48	11,45	76,83	76,83	9,06	9,06	9,06	1,29	13,61	10,96	10,96	8,77	
SOLO COM PLANTA													
R	0,94	0,98	0,76	0,76	0,78	0,78	0,78	0,98	1,00	0,94	0,94	0,84	
TL	28,17**	31,03**	1,83	1,83	3,10	3,10	3,10	48,09**	2002,25**	28,37**	28,37**	4,37	
TQ	2,51	76,88**	2,39	2,39	1,78	1,78	1,78	14,46*	1011,23**	1,25	1,25	1,90	
T3	1,20	2,94	0,33	0,33	0,00	0,00	0,00	42,83**	903,49**	1,32	1,32	0,21	
T4	1,43	13,00*	0,78	0,78	1,62	1,62	1,62	0,11	60,16**	5,27	5,27	7,40*	
CV(%)	2,29	10,41	46,31	46,31	5,16	5,16	5,16	2,47	6,96	27,96	27,96	5,17	

R - Coeficiente de correlação; TL - efeito linear; TQ - efeito quadrático; T3 - efeito cúbico; T4 - efeito de 4ª potência; CV - coeficiente de variação; * - significância a 5%; ** - significância a 1%.

QUADRO 14 - ANÁLISE COM DESDOBRAMENTO DOS EFEITOS DE TEMPO, DENTRO DE CADA TRATAMENTO, NO EXPERIMENTO I: VALORES DE F.

Fonte	Peso		% N		N Total		N Total solo +		Peso % N		N total		N Total solo	
	Raiz	Planta	Raiz	Planta	Raiz	Planta	Raiz	Planta	Raiz	Planta	Raiz	Planta	Raiz	Planta
	SOLO COM RAÍZES + NH ₄ ⁺													
R	0,68	0,70	0,88	0,59	0,75	0,64	0,75	0,74	0,75	0,64	0,75	0,64	0,75	0,74
TL	1,42	1,39	0,01	0,14	1,72	0,30	2,32	0,79	1,72	0,30	2,32	0,79	1,72	0,79
TQ	0,33	0,09	8,07*	0,25	0,20	0,72	2,13	1,04	0,20	0,72	2,13	1,04	0,20	1,04
T3	1,27	1,68	8,92*	0,25	5,09	2,61	1,38	4,32	5,09	2,61	1,38	4,32	5,09	4,32
T4	1,36	1,38	0,35	2,19	0,24	0,29	0,01	0,40	0,24	0,29	0,01	0,40	0,24	0,40
CV(%)	57,43	61,58	6,89	9,78	31,67	38,44	10,08	8,59	31,67	38,44	10,08	8,59	31,67	38,44
	SOLO COM PLANTA + NH ₄ ⁺													
R	0,89	0,84	0,95	0,87	0,45	0,75	0,88	0,80	0,45	0,75	0,88	0,80	0,45	0,80
TL	0,98	2,55	25,58**	2,45	0,55	1,02	0,20	0,00	0,55	1,02	0,20	0,00	0,55	1,02
TQ	2,04	0,37	1,79	3,66	0,20	3,38	11,34*	3,88	0,20	3,38	11,34*	3,88	0,20	3,88
T3	0,02	3,98	18,05**	0,02	0,12	1,28	4,06	0,40	0,12	1,28	4,06	0,40	0,12	0,40
T4	14,69*	6,28	1,53	6,81*	0,27	0,02	0,96	4,89	0,27	0,02	0,96	4,89	0,27	4,89
CV (%)	10,25	12,45	6,64	4,24	30,35	24,16	10,99	5,98	30,35	24,16	10,99	5,98	30,35	24,16

R- coeficiente de correlação; TL, TQ, T3 e T4 - efeito linear, quadrático cúbico e de 4ª potência, respectivamente; CV - coeficiente de variação; * - significância a 5%; ** - significância a 1%.

QUADRO 15 - ANÁLISE COM DESDOBRAMENTO DOS EFEITOS DE TEMPO, DENTRO DE CADA TRATAMENTO, NO EXPERIMENTO I: VALORES DE F.

Fonte	Peso P. Aérea	% N P.Aérea	N Total P. Aérea
SOLO COM PLANTA			
R	0,88	0,99	0,88
TL	8,55*	200,08**	0,26
TQ	0,02	25,73**	1,10
T3	0,25	0,29	0,57
T4	7,33*	37,42**	14,94*
CV (%)	13,69	2,31	13,38
SOLO COM PLANTA + NH_4^+			
R	0,97	0,99	0,98
TL	84,40**	0,02	99,70**
TQ	20,04**	144,63**	4,30
T3	7,21*	23,19**	21,46**
T4	0,35	2,77	0,03
CV (%)	11,04	5,47	8,28

R = coeficiente de correlação;

TL = efeito linear;

TQ = efeito quadrático;

T3 = efeito cúbico;

T4 = efeito de 4ª potência;

* e ** - Significância a 5 e a 1%, respectivamente.

4.2 - Experimento II

Os resultados deste experimento, em médias de duas repetições, encontram-se nos Quadros 16 a 26 e Figuras 4 a 8, enquanto os das análises estatísticas podem ser observados nos Quadros 27 a 32.

Face ao rápido desaparecimento do N amoniacal ocorrido no tratamento onde havia planta, no experimento I, resolveu-se instalar um segundo experimento onde o intervalo entre as primeiras coletas foi diminuído. Incluiu-se além disto, um outro tratamento com nitrato como fonte de N, para verificar a absorção pela planta e as transformações que ocorreriam no solo sem planta e no solo com raízes.

Houve diferença significativa para tratamento, em todas as determinações feitas (Quadro 27).

No Quadro 16 apresentam-se os resultados do pH dos solos, obtidos nos dias de coleta. Como já havia sido constatado no experimento I, de um modo geral os valores do pH nos solos com raízes ou planta inteira, foram sempre superiores aos verificados no solo sem planta. O pH dos solos nos tratamentos com NH_4^+ foi significativamente menor que o dos solos com NO_3^- (Quadro 28). Em todos os tratamentos com sulfato de amônio houve decréscimo no pH, com o tempo, decréscimo este que só não foi significativo no solo com raízes (Quadros 29, 30 e 31). O pH do solo sem planta nos tratamentos sem N e com nitrato, apresentou valores bem próximos e praticamente sem variações até os 21 dias. Aos 28 e 35 dias no entanto, enquanto no solo sem N o pH sofreu um ligeiro decréscimo, no solo com nitrato ele se manteve próxi-

mo aos valores iniciais.

No solo com raízes o pH nos tratamentos sem N e com nitrato, praticamente se manteve inalterado até os 28 dias, decrescendo ligeiramente aos 35 dias. Comportamento semelhante ao observado no solo com raízes, foi verificado no solo com planta sem adubação, ao passo que na presença de nitrato houve efeito quadrático significativo (Quadro 31), já que o pH aumentou até os 14 dias, decrescendo à partir daí, até atingir o pH inicial.

No Quadro 17 observam-se os resultados do teor de N-amoniaco. Nos tratamentos sem N, o teor de N-NH_4^+ variou, de um modo geral, entre 3,46 e 12,46 ppm, só havendo um solo com planta que apresentou teor fora desta faixa (17,12 ppm), em uma amostragem (14 dias). Não houve diferença significativa entre os teores de N-NH_4^+ do solo com raízes e do solo com planta (Quadro 28). Nos tratamentos que receberam N amoniacal houve boa recuperação do NH_4^+ , na amostragem inicial, feita duas horas após a aplicação do adubo, do solo sem planta e solo com raízes, neste caso menos 6 ppm que o aplicado (Quadro 20); ao passo que, no solo com planta, onde a amostragem inicial foi feita quatro horas após a aplicação do adubo, verificou-se recuperação menor (16 ppm menos que o aplicado). Esta menor recuperação deve ser resultado de rápida absorção efetuada pela *Digitaria*. A % de N (Quadro 24) e o N total (Quadro 25) nesta amostragem inicial, foram mais altos na planta, raiz e parte aérea, adubada com N-NH_4^+ que na não adubada.

No solo sem planta, adubado com N amoniacal, houve um decréscimo significativo no teor de N-NH_4^+ (Quadro 29), que foi

mais acentuado 2 partir dos 14 dias. No solo com raízes, o decréscimo, também significativo (Quadro 30), ocorreu com maior intensidade e já à partir da amostragem aos 2 dias. No solo com planta mais N amoniacal verificou-se diminuição gradativa até o 7º dia quando o teor de N-NH_4^+ atingiu valor próximo ao detectado em outros tratamentos sem N. Neste caso houve efeito cúbico significativo (Quadro 31).

Todos estes resultados são coerentes com os obtidos no experimento I, discrepando apenas, no caso do solo com planta mais N-amoniacal, em duas amostragens (21 e 28 dias), onde se verificaram valores mais altos, não esperados, no teor de N-NH_4^+ (pH 5,4 e 5,2 respectivamente).

Nos tratamentos em que a fonte de N foi o nitrato, observa-se um aumento no teor de N-NH_4^+ (Quadro 17) aos 14 e 21 dias no solo sem planta (pH 6.1 e 5.8), aos 14, 21 e 35 dias no solo com raízes (pH 6.4; 6.4 e 5.9) e aos 21 e 35 dias no solo com planta (pH 7.0 e 6.4), oscilando nas demais amostragens entre 3,52 e 9,82 ppm de N-NH_4^+ no solo seco a 105°C. Houve significância apenas no caso do solo sem planta (Quadro 29), mas não encontramos justificativa para tais valores.

No Quadro 18 apresentam-se os resultados do teor de N-nítrico. A recuperação do N-nítrico aplicado, como pode ser observado na amostragem inicial, foi maior no solo sem planta que no solo com raízas ou planta inteira. Em relação à quantidade que foi aplicada (Quadro 20), não foram recuperados 31 e 25 ppm N-NO_3^- , respectivamente, no solo com raízes e com planta. No solo com planta, uma vez que a amostragem foi feita quatro ho-

ras após a adubação atribui-se este desaparecimento de NO_3^- à absorção pela planta. Acresce ainda que a % de N (Quadro 24) e o N total (Quadro 25) foram mais altos na planta, raiz e parte aérea, adubada com N- NO_3^- , que na não adubada. Já no caso do solo com raízes e apesar de também, a % de N (Quadro 24) e o N total (Quadro 25) das raízes terem sido mais altos no tratamento com N- NO_3^- que no não adubado, fica mais difícil explicar este desaparecimento como resultado apenas de absorção, levando-nos a pensar na ocorrência de desnitrificação. Uma vez que, a amostragem neste tratamento foi feita duas horas após a adubação, tal absorção pelas raízes sozinhas teria que ter sido muito mais intensa que a exercida pela planta inteira.

O teor de N- NO_3^- no solo sem planta e sem N, mostrou-se bastante variável e mais alto que o verificado no experimento I, o que deve ser reflexo da época e dos pontos de amostragem, com os valores mais altos aos 14 e 28 dias. No solo sem planta mais N-amoniacal, ocorreu aumento significativo no teor de N- NO_3^- (Quadro 29), que foi maior, à partir dos 7 dias. A taxa média de nitrificação do solo sem planta, no período de 35 dias, foi de 1,2 μg de N- NO_3^- /dia/g de solo, igual à verificada neste mesmo tratamento, no experimento I. O solo sem planta que recebeu N-nítrico, mostrou decréscimos significativos nos teores de N- NO_3^- (Quadro 29), que foi mais intenso após os 21 dias e que atribuímos à desnitrificação.

No solo com raízes, sem N, o teor de N- NO_3^- oscilou, praticamente, entre 1 e 3 ppm até os 28 dias, aumentado aos 35 dias. Este resultado difere do obtido no experimento I onde os

valores ficaram abaixo de 1 ppm até os 21 dias. O solo com raízes, adubado com N-amoniaco, apresentou teores significativamente crescentes de N-NO_3^- (Quadro 30). A taxa média de nitrificação no solo com raízes, foi de $1,1 \mu\text{g N-NO}_3^-/\text{dia/g solo}$, menor portanto, que a observada no experimento I. Até os 21 dias o teor de N-NO_3^- foi praticamente igual nos dois experimentos, diminuindo aos 28 e 35 dias no experimento II. Tendo em vista que a diferença das taxas de nitrificação dos tratamentos de solo com raízes dos dois experimentos, se verificou nas duas semanas finais, e já que não houve diferença entre as taxas determinadas no solo sem planta, conclui-se que a diminuição foi devida às raízes e/ou microorganismos presentes junto a elas. No experimento II o pH do solo era mais baixo e a temperatura mais alta que no experimento I. O teor de N-NO_3^- no solo com raízes mais N-nítrico tende a diminuir com o tempo, observando-se os valores mais baixos aos 14 e 35 dias (pH 6,4 e 5,9).

O solo com planta, sem N, apresentou teores de N-NO_3^- menores que 1 ppm em todas as épocas, o que confirma os resultados do experimento I e o verificado por outros autores, como Theron (1951) e Döbereiner e Day (1974). O solo com planta, adubado com N-amoniaco mostrou também teores de N-NO_3^- inferiores a 1 ppm em todas as épocas, com exceção das amostragens feitas aos 2 e 4 dias, onde pequena elevação destes teores indica que deve ter ocorrido alguma nitrificação. Tal possibilidade se aceita, seria contrária ao postulado por Theron (1951), de que a nitrificação é inteiramente reprimida sob gramínea perene (*Hyparrhenia*), porque a planta exerce influência na mineralização do nitrogênio do

solo inibindo a atividade dos organismos nitrificantes. Estaria no entanto, de acordo com Purchase (1974), que ao incubar raízes de *Hyparrhenia* em solo adubado com sulfato de amônio, verificou que apesar de as raízes causarem considerável imobilização do N mineral, não impediram a nitrificação da amônia excedente, fato que foi por nós observado no tratamento solo com raízes mais N-amoniacal, onde apesar de ter havido desaparecimento do N mineral, ocorreu nitrificação.

No solo com planta, adubado com N-nítrico (Quadro 18), houve efeito linear significativo (Quadro 31), verificando-se uma diminuição gradativa no teor de N-NO_3^- , até a amostragem feita aos 14 dias, quando praticamente todo o nitrato adicionado desapareceu. Aos 21 dias ocorreu elevação no teor de N-NO_3^- neste solo, seguida de uma diminuição para menos de 1 ppm aos 28 e 35 dias.

Pelos resultados alcançados verifica-se que a *Digitaria* absorveu tanto o N-amoniacal como o N-nítrico, só que pareceu fazê-lo com maior velocidade no caso do N-amoniacal. Fried et al (1965), usando ^{15}N como NO_3^- ou NH_4^+ , observaram melhor absorção do íon amônio por raízes de arroz à medida que aumentava o pH, com a taxa de absorção mais alta a pH 8.5. O inverso foi observado com relação ao íon nitrato, onde a taxa mais alta de absorção se verificou a pH 4.0. Entretanto em cada nível de pH a absorção de NH_4^+ foi sempre maior que a absorção de NO_3^- e mesmo a pH 4.0, onde a absorção de nitrato foi maior, as plantas absorveram 5 a 10 vezes mais nitrogênio como NH_4^+ que como NO_3^- (Fried et al., 1965). Observações quanto à maior taxa de

absorção de NH_4^+ que de NO_3^- foram feitas por Lycklama (1963) em "ryegrass" perene.

Observando-se o Quadro 19, verifica-se, nos tratamentos sem planta inteira, que a soma do N-amoniacal e N-nítrico determinados, não correspondeu, em alguns casos, ao total de N-mineral que foi aplicado (Quadro 20). Houve assim o desaparecimento de N mineral em alguns tratamentos, fato este que já havia sido verificado no experimento I. O desaparecimento ocorreu em maior escala nos tratamentos com N-nítrico e nas últimas amostragens feitas nos solos adubados com N-amoniacal, onde havia mais N-NO_3^- , resultante da nitrificação. Além disto, foi maior no solo com raízes que no solo sem planta. Assim sendo, é plausível se pensar na ocorrência de desnitrificação nestes tratamentos, conjugada no solo com raízes, com a imobilização pelas raízes e microorganismos.

A Figura 4 apresenta a variação dos teores de N-amoniacal no solo sem planta e no solo com raízes. Nele pode-se observar que o decréscimo no teor de N-NH_4^+ , que corresponderia a uma nitrificação, nos tratamentos adubados com N-amoniacal, apesar das curvas semelhantes, é maior no solo com raízes.

A Figura 5 mostra os teores de N-NO_3^- no solo sem planta e no solo com raízes, observando-se além do aparecimento de N-nítrico nos solos adubados, com sulfato de amônia, o desaparecimento do íon nitrato nos solos adubados com nitrato de sódio, desaparecimento este que é maior no solo com raízes. Comparando-se as Figuras 4 e 5 vê-se que nos solos adubados com N-amoniacal apesar do decréscimo no teor de N-NH_4^+ no solo com raízes ser

maior que no solo sem planta (Figura 4), ambos mostram crescimento de teor de N-NO_3^- muito próximos (Figura 5), indicando que neste caso, houve também maior desaparecimento de N-mineral (desnitrificação) no solo com raízes apesar de uma parte do N ter sido absorvida pelas raízes.

Na Figura 6 observam-se os teores de N-NH_4^+ e N-NO_3^- no solo com planta: sem N, com N-amoniacoal e com N-nítrico. Além da absorção pela *Digitaria* do N-amoniacoal e do N-nítrico adicionados, em torno de 100 ppm de N em ambos os casos (Quadro 20), absorção esta verificada, respectivamente, até os 7 e os 14 dias observa-se a elevação verificada nos teores de N-NH_4^+ aos 21 e 28 dias no solo adubado com N-amoniacoal. Como nestas amostragens o NH_4^+ adicionado já havia sido absorvido pelas plantas, esta elevação poderia ser explicada como decorrência da atividade de microorganismos fixadores de N_2 . Por sua vez, teria que ser explicada a razão pela qual este NH_4^+ foi detectado no solo e não foi absorvido pelas plantas. Para justificar uma menor absorção pelas plantas, tem-se apenas o fato de terem sido verificadas nestas duas semanas, condições de clima diversas das observadas nas demais, com ocorrência de maior nebulosidade e temperaturas mais baixas.

Observando-se as Figuras 4 e 6, verifica-se que as curvas referentes ao teor de N-NH_4^+ , no solo com raízes mais nitrato (Figura 4) e no solo com planta mais nitrato (Figura 6) são muito semelhantes, com picos aos 21 e 35 dias, o que poderia ser resultado da atividade de microorganismos fixadores de N_2 .

No Quadro 21 apresentam-se os resultados do N total em mg de N/kg de solo seco a 105°C . Os teores de N total determi-

nados nos solos dos tratamentos adubados são mais altos que os seus correspondentes não adubados, até os 14 dias. Nas amostragens feitas aos 21, 28 e 35 dias ocorrem casos em que os solos sem planta e os solos com raízes, que não receberam N, apresentam teores de N total iguais ou mais altos que os seus correspondentes adubados. No solo com planta tais fatos já ocorrem à partir dos 14 dias, o que poderia ser explicado pela absorção efetuada pelas plantas, que nos solos adubados cresceram mais que no solo sem N. No solo sem vegetação tal fato poderia ser decorrência da variação entre os pontos da amostragem dos torrões de solo, e no solo com raízes, além desta variação do solo, poderia ter havido maior ou menor contribuição da fixação de N_2 por microorganismos associados às raízes da *Digitaria*, conforme o tamanho da touceira coletada no torrão.

Ao contrário do observado no experimento I, as diferenças entre os teores de N total nos solos com planta ou raízes e nos solos sem planta não são muito grandes, apresentando-se estes um pouco mais altos e aqueles um pouco mais baixos que no experimento I. Tal fato deve ser resultado das épocas diferentes de amostragem.

Nos tratamentos adubados com N-amoniacoal houve, quase sempre, decréscimo no teor de N-total com o tempo, embora não significativo estatisticamente. O mesmo ocorreu nos tratamentos adubados com N-nítrico, sendo significativo os decréscimos verificados no solo com raízes (Quadro 30) e no solo com planta (Quadro 31).

Nos tratamentos com raízes ou planta inteira, ao se so-

mar ao N total determinado no solo, o N total das raízes e partes aéreas, após transformação deste em mg N/kg solo (Quadro 22), observou-se aumento no solo com raízes sem adubação e decréscimo no mesmo tratamento adubado com N-nítrico, ambos significativos (Quadro 30). O contraste feito entre os tratamentos adubados e não adubados foi significativo (Quadro 28), já que com adubo, como seria de se esperar, os teores foram mais altos.

No Quadro 23 observam-se os resultados em g e médias de duas repetições do peso da planta seca a 55°C.

Nos tratamentos em que as partes aéreas foram cortadas, a variação no peso das raízes é mais decorrência da variação da quantidade de raízes existente nos torrões que do efeito do nitrogênio aplicado. Já nos tratamentos com planta inteira, as raízes e as partes aéreas mostram de um modo geral, maiores pesos (Quadro 23) nos solos adubados que nos solos sem adubo, embora tais diferenças não cheguem a atingir significância (Quadro 31).

Os resultados do teor de nitrogênio percentual nas raízes e partes aéreas, encontram-se no Quadro 24, e os de N total, em mg de N por peso de raízes ou partes aéreas, no Quadro 25; ambos em médias de duas repetições.

Nos tratamentos onde as partes aéreas da *Digitaria* foram cortadas, as raízes apresentam maior teor de N percentual nos solos adubados que nos solos sem adubo, havendo aumento significativo com o tempo, nos tratamentos adubados (Quadro 30). Tais diferenças, no entanto, não são tão nítidas ao se calcular o N total (Quadro 25) face ao problema, já mencionado, da variação no peso das raízes.

Do início ao fim do experimento, nos tratamentos com a planta inteira, tanto os teores de N-percentual como os de N total, nas raízes e nas partes aéreas da *Digitaria*, foram significativamente mais altos nos tratamentos adubados que nos sem adubo (Quadro 28). Verificaram-se as mais altas concentrações em % de N, aos 7 e 14 dias, respectivamente, nas raízes dos tratamentos com N-amoniacoal e N-nítrico, e aos 14 e 7 dias, respectivamente, nas partes aéreas dos mesmos tratamentos. O aumento com o tempo, observado na % de N das raízes das plantas adubadas, só foi significativo no tratamento com N-amoniacoal (Quadro 31). Nas partes aéreas houve aumento significativo na % de N com o tempo, nos tratamentos adubados, enquanto no N total isto só ocorreu no tratamento que recebeu N-nítrico (Quadro 32).

No solo sem N, os teores de N percentual e total, tanto nas raízes como nas partes aéreas da *Digitaria*, tendem a decrescer com o tempo, o que não é de se estranhar face o esgotamento que sofre o solo.

A Figura 7 dá uma melhor visualização das diferenças nos teores de N total das plantas. Observa-se que as plantas adubadas com N-amoniacoal mostram maior teor de N nas partes aéreas que as adubadas com N-nítrico, apesar de, nas raízes, tais diferenças não serem tão visíveis. Verifica-se, assim, que as plantas adubadas com N-amoniacoal tiveram não só uma absorção mais rápida (Quadro 17), mas também, por ser esta forma (N-NH_4^+) mais prontamente assimilável, um maior crescimento (Quadro 23) e, consequentemente, um maior teor de nitrogênio (Figura 7), que aquelas adubadas com N-nítrico.

No Quadro 26 apresentam-se, em médias, de duas repetições, os resultados das determinações da atividade da nitrato redutase (NR), enzima responsável pela redução do nitrato na planta, na parte aérea da *Digitaria*, expressos em $\mu\text{moles de N-NO}_2^-$ por g de matéria verde por hora de incubação. Estes mesmos resultados podem ainda ser vistos na Figura 8.

A atividade da NR foi significativamente mais alta nas plantas adubadas, não alcançando significância a diferença verificada entre as duas fontes de N (Quadro 28).

No tratamento sem N, a atividade da NR aumentou aos 2 dias, o que pode ser decorrência das melhores condições de umidade no experimento, em relação aquelas em que a planta estava no campo. Nas demais épocas, a atividade decresceu, aumentando de novo ao final.

Na amostragem inicial, realizada quatro horas após a aplicação dos adubos, pode-se observar a pronta resposta da enzima ao nitrato adicionado. O fato de o nitrato acarretar aumento na atividade da nitrato redutase não é de se estranhar, uma vez, que, o íon em questão é o indutor e o substrato desta enzima, como evidenciaram os trabalhos de Candela et al. (1957), Hageman e Flesher (1960) e Beevers et al. (1965), entre outros. Indução da atividade da NR em folhas de milho, uma hora após a adição de nitrato foi observada por Meeker et al. (1974) e Neyra (1974).

Tanto nas plantas que receberam N-nítrico, como nas que receberam N-amoniacal, observa-se aumento na atividade da nitrato redutase no início e queda ao final do experimento. No

tratamento com N-nítrico este aumento foi mais rápido atingindo o máximo na amostragem aos 4 dias, ao passo que com o N-amoniacoal verificou-se o máximo aos 7 dias. Na análise estatística no entanto, só o aumento verificado no tratamento com N-amoniacoal alcançou significância (Quadro 32).

O aumento na atividade da NR verificado no tratamento com N-amoniacoal, que atingiu o máximo 7 dias após a aplicação do adubo, poderia ser explicado como o resultado da nitrificação do N-NH_4^+ adicionado. Para admitir esta hipótese teríamos que admitir também que este NO_3^- era absorvido pela planta, tão logo se formava, uma vez que só foi detectado no solo (Quadro 18) um pequeno aumento no teor de N-NO_3^- nas amostragens feitas aos 2 e 4 dias. Aumento da atividade da NR em *Brachiaria* cultivada em areia, foi observado por Fernandes (1976) ao adicionar pequena dose de N amoniacoal no tratamento com 20 ppm de N-nítrico, o mesmo ocorrendo quando, ao tratamento com 20 ppm de N amoniacoal adicionou pequena dose de N-nítrico. A atividade da NR nestes dois tratamentos foi mais alta que naquele onde havia apenas uma das formas do N, bem como no tratamento onde nitrato de amônio foi adicionado.

4.3 Análise Conjunta.

No Quadro 33 observam-se os resultados da análise conjunta dos dois experimentos, onde foram comparados apenas os tratamentos e os tempos de coleta comuns aos dois. Houve diferença significativa entre experimentos, nas determinações de pH, N-NH_4^+ , N-NO_3^- , peso da parte aérea, % de N na parte aérea e N total na raiz. De um modo geral e com exceção do peso da parte aérea, ob-

servam-se os valores mais altos destas determinações no experimento I.

Estas diferenças são decorrentes da época em que foram coletados os torrões no campo, início de outubro e de dezembro, respectivamente; bem como da época em que foram conduzidos os experimentos I e II, na casa de vegetação, outubro/novembro e dezembro/janeiro, respectivamente.

Em linhas gerais no entanto, os efeitos dos tratamentos e do tempo nas diversas determinações feitas, foram semelhantes nos dois experimentos.

QUADRO 16 - pH DO SOLO NO DIA DA COLETA
Experimento II - resultados em médias de 2 repetições

Tratamentos	Tempo (Dias)							
	0	2	4	7	14	21	28	35
Solo sem planta	6,0	5,8	6,0	5,9	5,9	6,1	5,6	5,7
Solo sem planta + NH_4^+	5,6	5,6	5,6	5,5	5,2	5,2	4,9	4,8
Solo sem planta + NO_3^-	5,8	5,8	5,8	5,8	6,0	5,8	6,2	5,8
Solo com raízes	6,4	6,2	6,2	6,2	6,6	6,6	6,6	6,0
Solo com raízes + NH_4^+	6,1	6,0	6,1	6,0	5,6	5,4	5,4	4,9
Solo com raízes + NO_3^-	6,3	6,1	6,2	6,2	6,4	6,4	6,2	5,9
Solo com planta	6,8	6,6	6,7	6,5	6,6	6,5	6,2	6,0
Solo com planta + NH_4^+	6,2	6,0	5,9	5,6	5,6	5,4	5,2	5,2
Solo com planta + NO_3^-	6,4	6,5	7,1	7,0	7,7	7,0	6,8	6,4

QUADRO 17 - TEOR DE N-NH_4^+ NO SOLO (ppm s.s. 105°C)
 Experimento II - resultados em médias de 2 repetições

Tratamentos	Tempo (Dias)									
	0	2	4	7	14	21	28	35		
Solo sem planta	4,70	3,46	5,88	6,78	11,11	10,08	11,12	10,50		
Solo sem planta + NH_4^+	106,04	110,83	94,86	104,08	93,52	76,04	80,53	66,25*		
Solo sem planta + NO_3^-	4,78	3,52	6,76	5,44	22,58	24,98	9,66	9,28		
Solo com raízes	4,58	4,08	4,20	6,02	10,02	12,46	8,00	10,50		
Solo com raízes + NH_4^+	104,03	81,94	87,26	79,98	78,02	59,62	51,16	28,44		
Solo com raízes + NO_3^-	4,22	4,23	6,09	8,30	13,24	17,34	8,07	17,30		
Solo com planta	6,19	4,18	5,02	6,42	17,12	8,63	10,17	9,36		
Solo com planta + NH_4^+	95,75	64,60	25,97	11,46	11,30	32,96	31,26	9,24		
Solo com planta + NO_3^-	4,56	3,67	5,81	7,15	9,82	14,62	6,30	10,31		

* 1 repetição só

QUADRO 18 - TEOR DE N-NO₃⁻ NO SOLO (ppm S.S. 105°C)
 Experimento II - resultados em médias de 2 repetições

Tratamentos	Tempo (Dias)									
	0	2	4	7	14	21	28	35		
Solo sem planta	3,52	8,44	2,04	5,54	10,15	6,02	12,95	7,78		
Solo sem planta + NH ₄ ⁺	3,25	5,90	8,42	12,71	33,90	27,12	46,40	41,40		
Solo sem planta + NO ₃ ⁻	97,70	99,93	95,62	87,42	88,78	88,64	46,40	59,46		
Solo com raízes	1,50	1,15	2,62	2,57	1,54	2,66	1,12	7,80		
Solo com raízes + NH ₄ ⁺	0,92	3,09	5,32	14,18	33,17	38,26	41,50	30,81		
Solo com raízes + NO ₃ ⁻	81,49	78,54	71,30	82,46	49,02	67,82	62,82	31,22		
Solo com planta	0,95	0,56	0,80	0,58	0,54	0,66	0,66	0,77		
Solo com planta + NH ₄ ⁺	0,82	2,44	2,24	0,75	0,78	0,76	0,50	0,68		
Solo com planta + NO ₃ ⁻	85,38	61,26	49,52	22,20	2,89	7,40	0,94	0,88		

QUADRO 19 - TEOR DE N MINERAL ($\text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^-$) NO SOLO (ppm s.s. 105°C)

Experimento II - resultados em médias de 2 repetições

Tratamentos	Tempo (Dias)									
	0	2	4	7	14	21	28	35		
Solo sem planta	8,22	11,90	7,92	12,32	21,26	16,10	24,07	18,28		
Solo sem planta + NH_4^+	109,29	116,73	103,28	116,79	127,42	103,16	126,93	107,65		
Solo sem planta + NO_3^-	102,48	103,45	102,38	92,86	111,36	113,62	56,06	68,74		
Solo com raízes	6,08	5,23	6,82	8,59	11,56	15,12	9,12	18,30		
Solo com raízes + NH_4^+	104,95	85,03	92,58	94,16	111,19	97,88	92,66	59,25		
Solo com raízes + NO_3^-	85,71	82,77	77,39	90,76	62,26	85,16	70,89	48,52		
Solo com planta	7,14	4,74	5,82	7,00	17,66	9,29	10,83	10,13		
Solo com planta + NH_4^+	96,57	67,04	28,21	12,21	12,08	33,72	31,76	9,92		
Solo com planta + NO_3^-	89,94	64,93	55,33	29,35	12,71	22,02	7,24	11,19		

QUADRO 20 - N (NH_4^+ ou NO_3^-) APLICADO AO SOLO NO INÍCIO DO EXPERIMENTO*

Experimento II - resultados em médias de 2 repetições

Tratamentos	Tempo (Dias)							
	0	2	4	7	14	21	28	35
Solo sem planta + NH_4^+	105,60	106,68	105,88	106,60	106,41	106,30	105,83	106,48
Solo sem planta + NO_3^-	105,85	106,60	106,06	105,60	107,01	106,05	106,74	107,28
Solo com raízes + NH_4^+	110,49	112,40	108,10	112,68	113,74	108,30	107,70	109,38
Solo com raízes + NO_3^-	112,46	104,12	109,12	109,38	112,26	108,22	108,09	107,57
Solo com planta + NH_4^+	112,00	110,06	111,82	109,44	108,61	108,93	109,38	110,60
Solo com planta + NO_3^-	110,62	108,74	109,20	107,96	111,05	107,70	110,74	110,71

* Valores corrigidos para ppm solo seco a 105°C

Figura 4

TEORES DE N-NH₄ NO SOLO SEM PLANTA E COM RAÍZES
EXPERIMENTO II - Médias de duas repetições

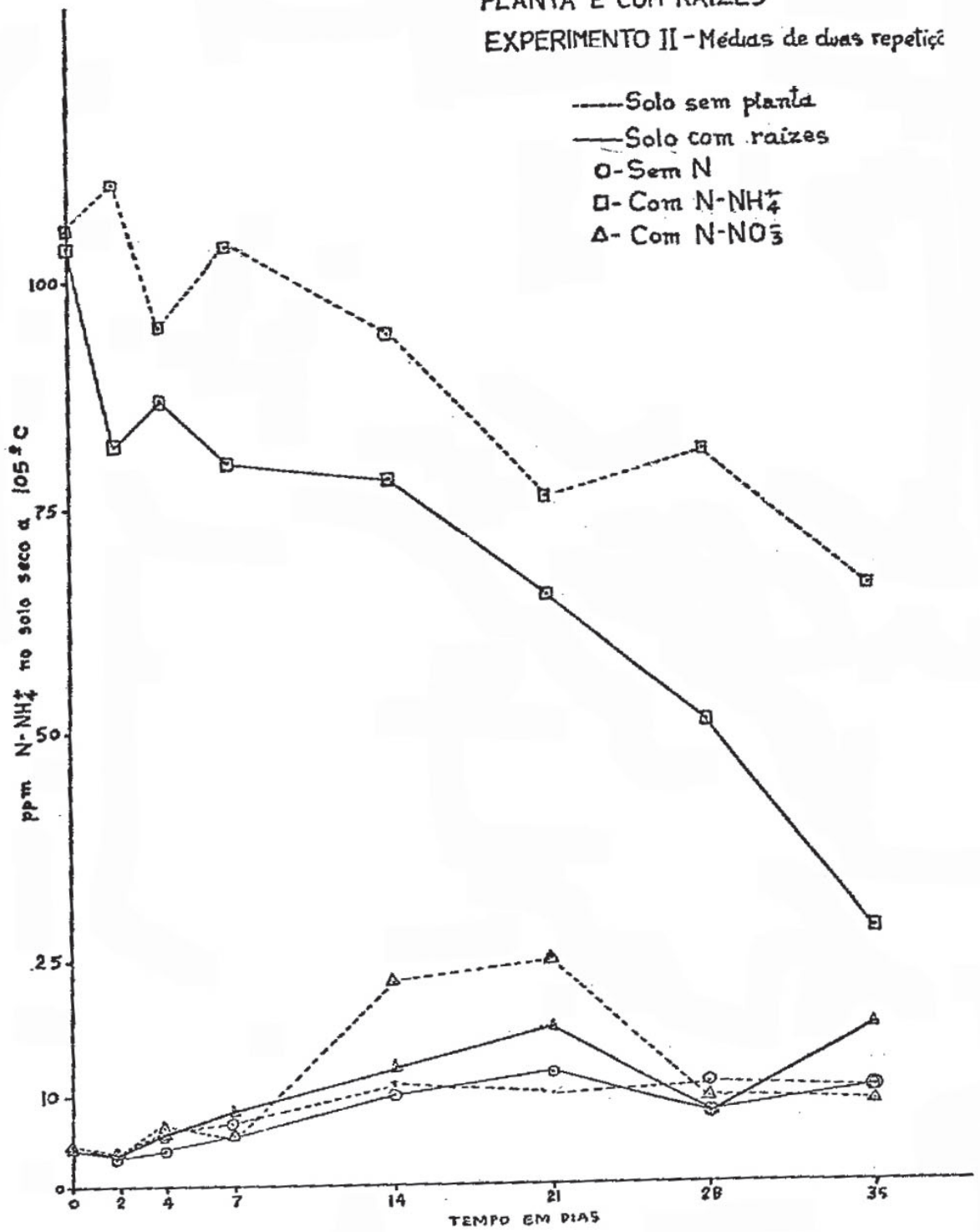


Figura 5

TEORES DE N-NO₃ NO SOLO SEM PLANTA
E COM RAÍZES

EXPERIMENTO II - Médias de duas repetições

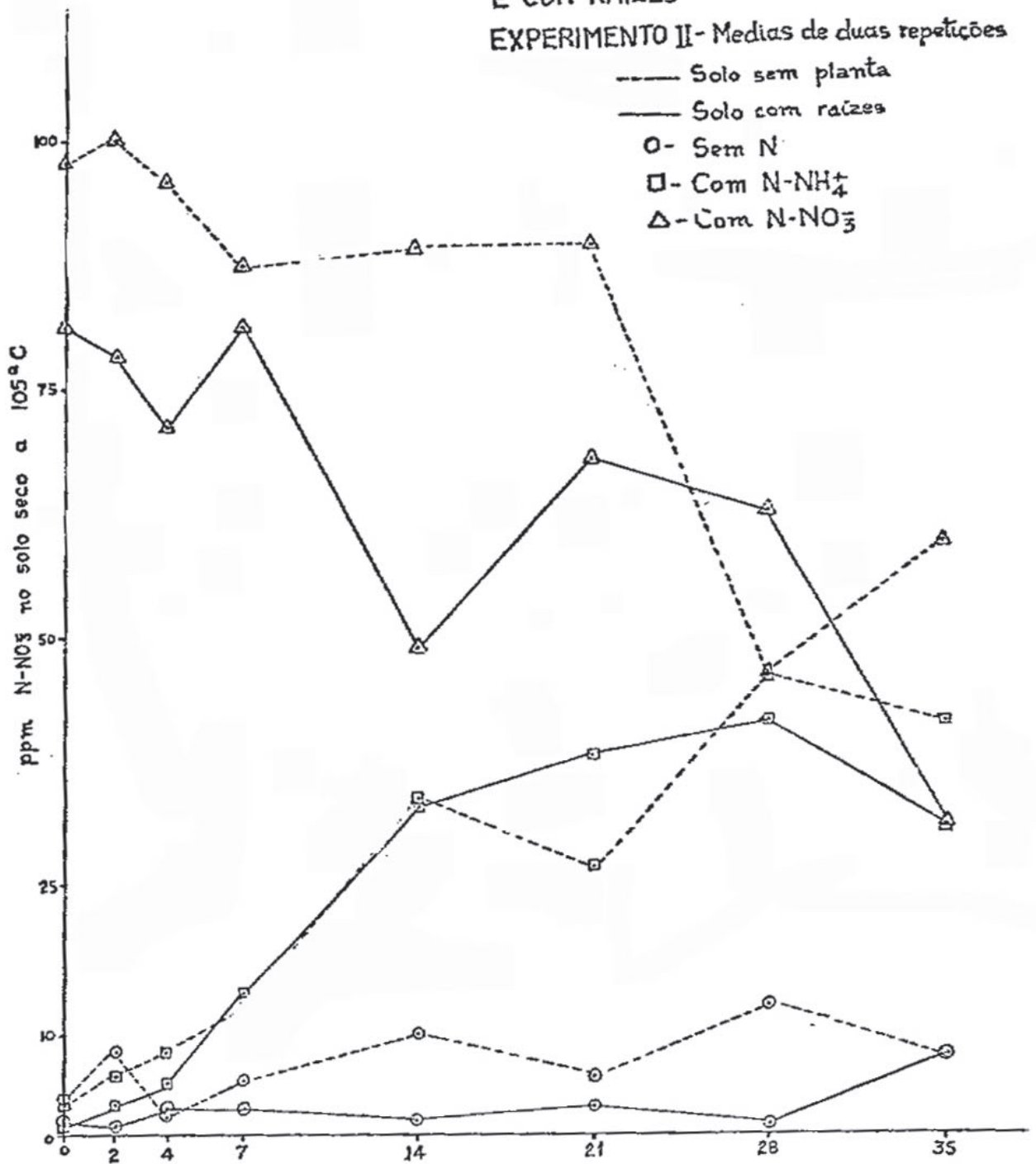
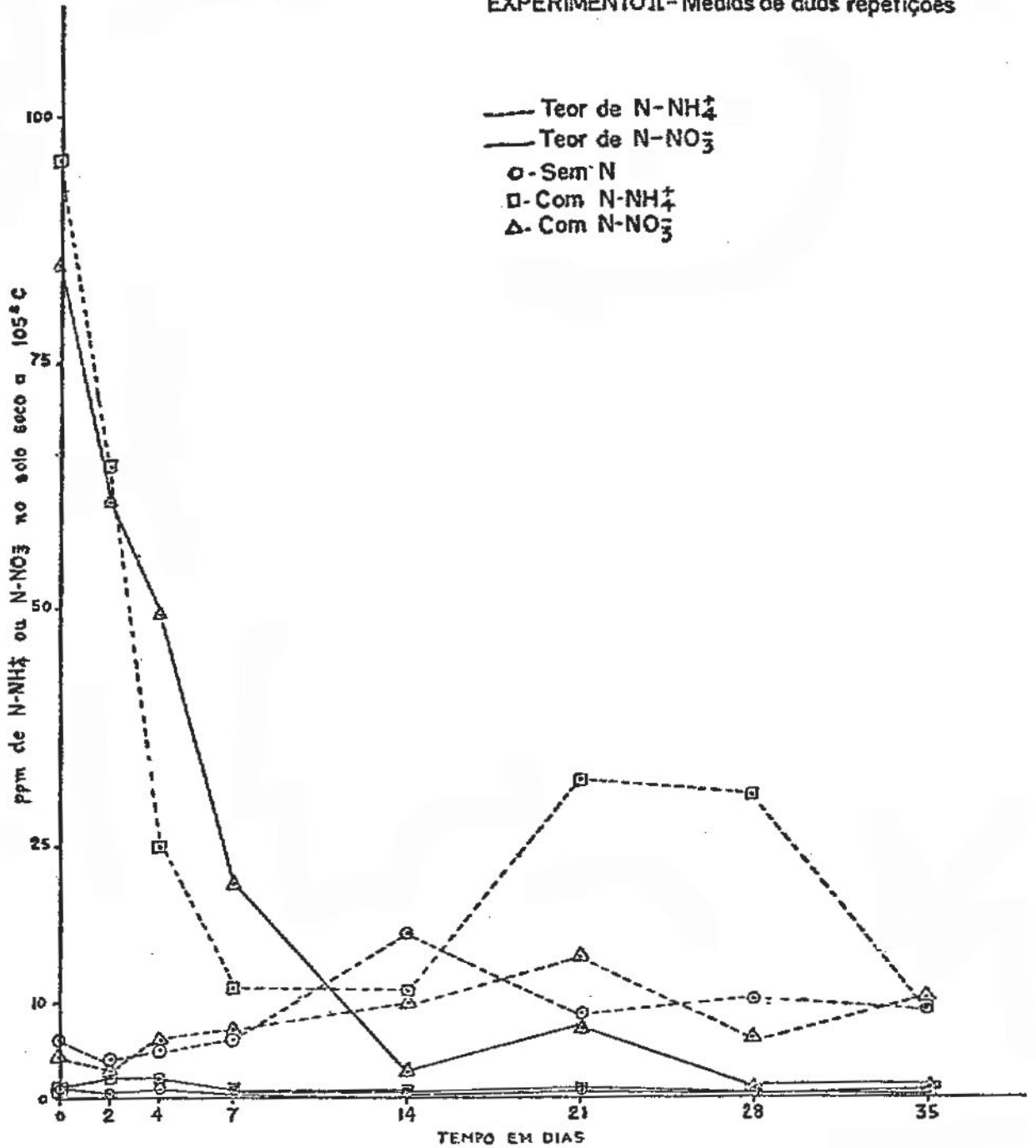


Figura 6

TEORES DE $N-NH_4^+$ OU $N-NO_3^-$ NO SOLO COM PLANTA.

EXPERIMENTO II - Médias de duas repetições



QUADRO 21 - N TOTAL NO SOLO SECO A 105°C (mg N/kg solo)
 Experimento II - resultados em médias de 2 repetições.

Tratamentos	Tempo (Dias)							
	0	2	4	7	14	21	28	35
Solo sem planta	510	570	520	490	565	500	570	555
Solo sem planta + NH ₄ ⁺	600	690	645	620	665	505	590	500
Solo sem planta + NO ₃ ⁻	610	655	630	600	630	595	545	545
Solo com raízes	530	600	540	535	555	600	620	610
Solo com raízes + NH ₄ ⁺	665	760	680	655	665	665	665	585
Solo com raízes + NO ₃ ⁻	730	770	670	695	580	600	580	600
Solo com planta	580	600	510	565	610	555	560	600
Solo com planta + NH ₄ ⁺	640	675	540	610	600	590	535	600
Solo com planta + NO ₃ ⁻	710	645	580	620	610	555	665	585

QUADRO 22- N TOTAL NO SOLO SECO A 105°C* + N TOTAL NA PLANTA**
 Experimento II - resultados em médias de 2 repetições

Tratamentos	Tempo (Dias)							
	0	2	4	7	14	21	28	35
Solo com raízes	539	616	548	558	574	614	641	622
Solo com raízes + NH ₄ ⁺	674	776	705	670	683	679	678	606
Solo com raízes + NO ₃ ⁻	742	779	682	716	603	616	598	620
Solo com planta	661	670	580	613	675	606	607	642
Solo com planta + NH ₄ ⁺	729	752	691	744	726	732	660	760
Solo com planta + NO ₃ ⁻	784	724	678	726	710	670	784	708

* em mg N/kg de solo

** N total, nas raízes ou raízes e partes aéreas existentes no torrão, transformado para mg N por 1 kg de solo.

QUADRO 23 - PESO DA PLANTA SECA A 55°C (g)

Experimento II - resultados em médias de 2 repetições

Tratamentos	Tempo (Dias)															
	0	2	4	7	14	21	25	35								
	RAÍZ P.A.	RAÍZ P.A.	RAÍZ P.A.	RAÍZ P.A.	RAÍZ P.A.	RAÍZ P.A.	RAÍZ P.A.	RAÍZ P.A.								
Solo com raízes	3,0	-	4,7	-	2,4	-	5,2	-	3,8	-	5,0	-	2,7	-		
Solo com raízes + NH ₄ ⁺	3,7	-	3,8	-	5,4	-	3,4	-	4,4	-	2,8	-	2,7	-		
Solo com raízes + NO ₃ ⁻	3,8	-	2,2	-	2,6	-	4,4	-	5,3	-	3,1	-	4,0	-		
Solo com planta	9,0	12,2	6,5	11,3	8,0	11,0	5,9	7,0	8,9	11,2	7,2	9,0	7,8	9,2	5,6	9,7
Solo com planta + NH ₄ ⁺	10,0	12,2	7,5	8,9	10,2	15,9	5,6	12,7	7,8	10,6	9,1	13,6	9,4	15,6	14,4	19,4
Solo com planta + NO ₃ ⁻	8,2	9,6	6,5	9,3	6,8	11,2	6,4	9,1	5,0	9,4	7,2	13,0	8,8	14,2	10,4	16,0

QUADRO 24 - TEOR DE N NA PLANTA (%)
 Experimento II - resultados em médias de 2 repetições

Tratamentos	Tempo (Dias)									
	0	2	4	7	14	21	28	35		
	RAIZ P.A.	RAIZ P.A.	RAIZ P.A.	RAIZ P.A.	RAIZ P.A.	RAIZ P.A.	RAIZ P.A.	RAIZ P.A.	RAIZ P.A.	RAIZ P.A.
Solo com raízes	0,50	0,52	0,54	0,66	0,58	0,58	0,62	0,66	0,62	0,66
Solo com raízes + NH ₄ ⁺	0,42	0,64	0,68	0,66	0,62	0,77	0,76	0,70	0,76	0,70
Solo com raízes + NO ₃ ⁻	0,52	0,71	0,71	0,72	0,66	0,80	0,66	0,74	0,66	0,74
Solo com planta	0,47	0,55	0,57	0,50	0,55	0,48	0,48	0,43	0,42	0,51
Solo com planta + NH ₄ ⁺	0,55	0,70	0,76	0,71	0,78	1,20	0,74	1,10	0,74	0,83
Solo com planta + NO ₃ ⁻	0,63	0,58	0,80	0,72	1,02	0,84	1,11	0,91	1,07	0,84

QUADRO 25 - TEOR DE N TOTAL NA PLANTA (mg)
Experimento II - resultados em médias de 2 repetições

Tratamentos	Tempo (Dias)															
	0		2		4		7		14		21		28		35	
	Raiz	Parte Aérea	Raiz	Parte Aérea	Raiz	Parte Aérea	Raiz	Parte Aérea	Raiz	Parte Aérea	Raiz	Parte Aérea	Raiz	Parte Aérea	Raiz	Parte Aérea
Solo com raízes	14,0	-	24,9	-	13,0	-	36,4	-	30,4	-	22,2	-	31,4	-	17,2	-
Solo com raízes + NH ₄ ⁺	14,4	-	24,2	-	36,8	-	22,4	-	27,3	-	22,0	-	20,5	-	28,6	-
Solo com raízes + NO ₃ ⁻	19,6	-	15,2	-	18,0	-	32,2	-	35,3	-	24,0	-	26,0	-	27,6	-
Solo com planta	42,5	66,8	41,6	66,0	40,8	68,5	29,5	38,7	36,6	61,9	33,4	43,6	33,0	39,6	27,2	39,8
Solo com planta + NH ₄ ⁺	54,7	69,6	52,5	66,9	71,8	163,5	49,2	142,3	61,4	126,1	67,8	148,2	67,2	129,7	102,4	156,7
Solo com planta + NO ₃ ⁻	51,4	55,3	50,8	73,8	48,6	109,0	53,6	101,0	44,8	100,7	61,3	118,5	66,9	119,4	73,0	130,8

QUADRO 26 - ATIVIDADE DA NITRATO REDUTASE
(μ moles N-NO₂⁻/g de matéria verde/hora de incubação)
Experimento II - resultados em médias de 2 repetições

Tratamentos	Tempo (Dias)						
	0	2	4	7	14	28	35
Solo com planta	0,146	0,294	0,152	0,017	0,076	0,170	0,123
Solo com planta + NH ₄ ⁺	0,186	0,426	0,534	0,814	0,138	0,261	0,414
Solo com planta + NO ₃ ⁻	0,502	0,604	0,954	0,462	0,174	0,262	0,182

Figura 7

N TOTAL NA PLANTA

EXPERIMENTO I[- Médias de duas repetições

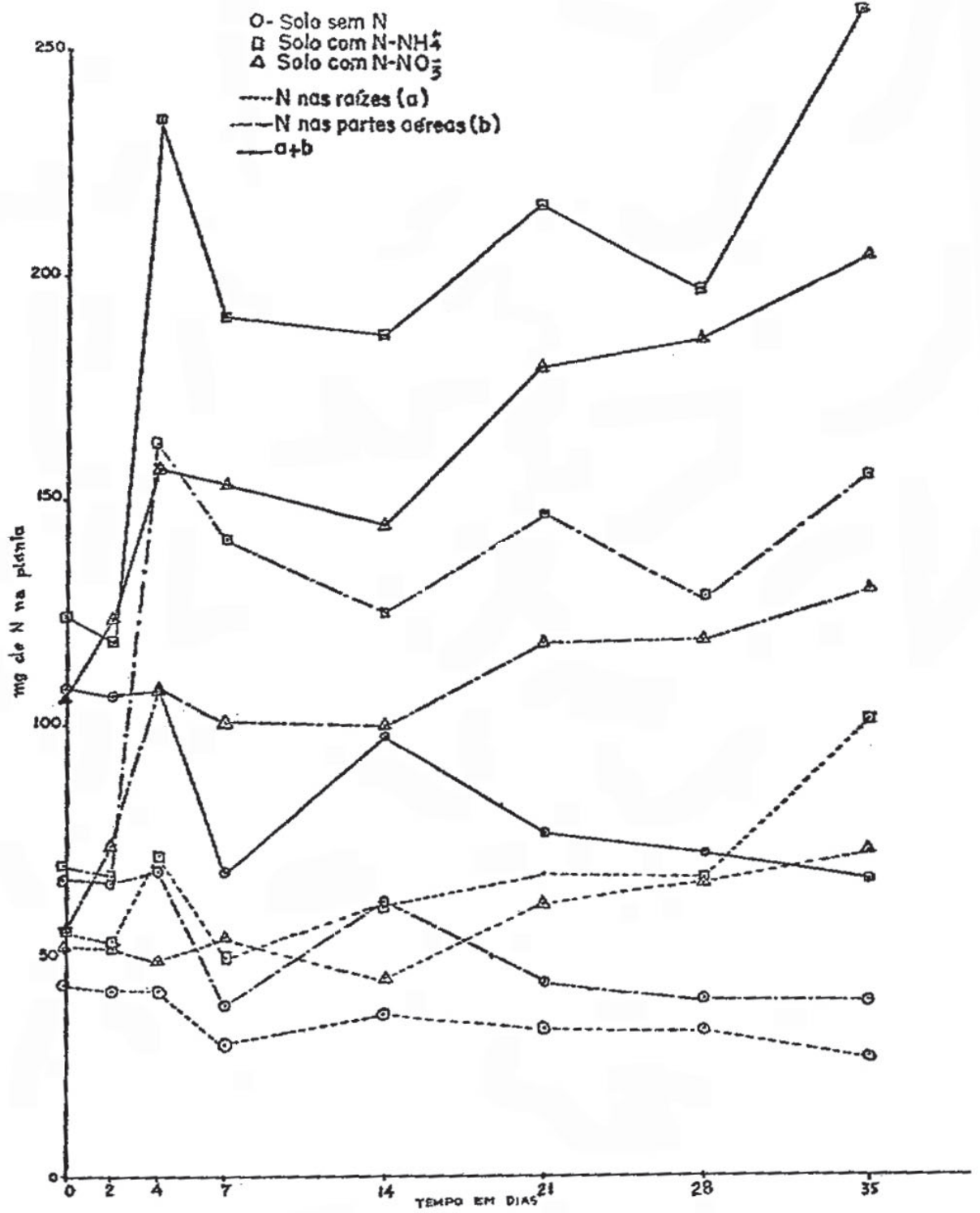
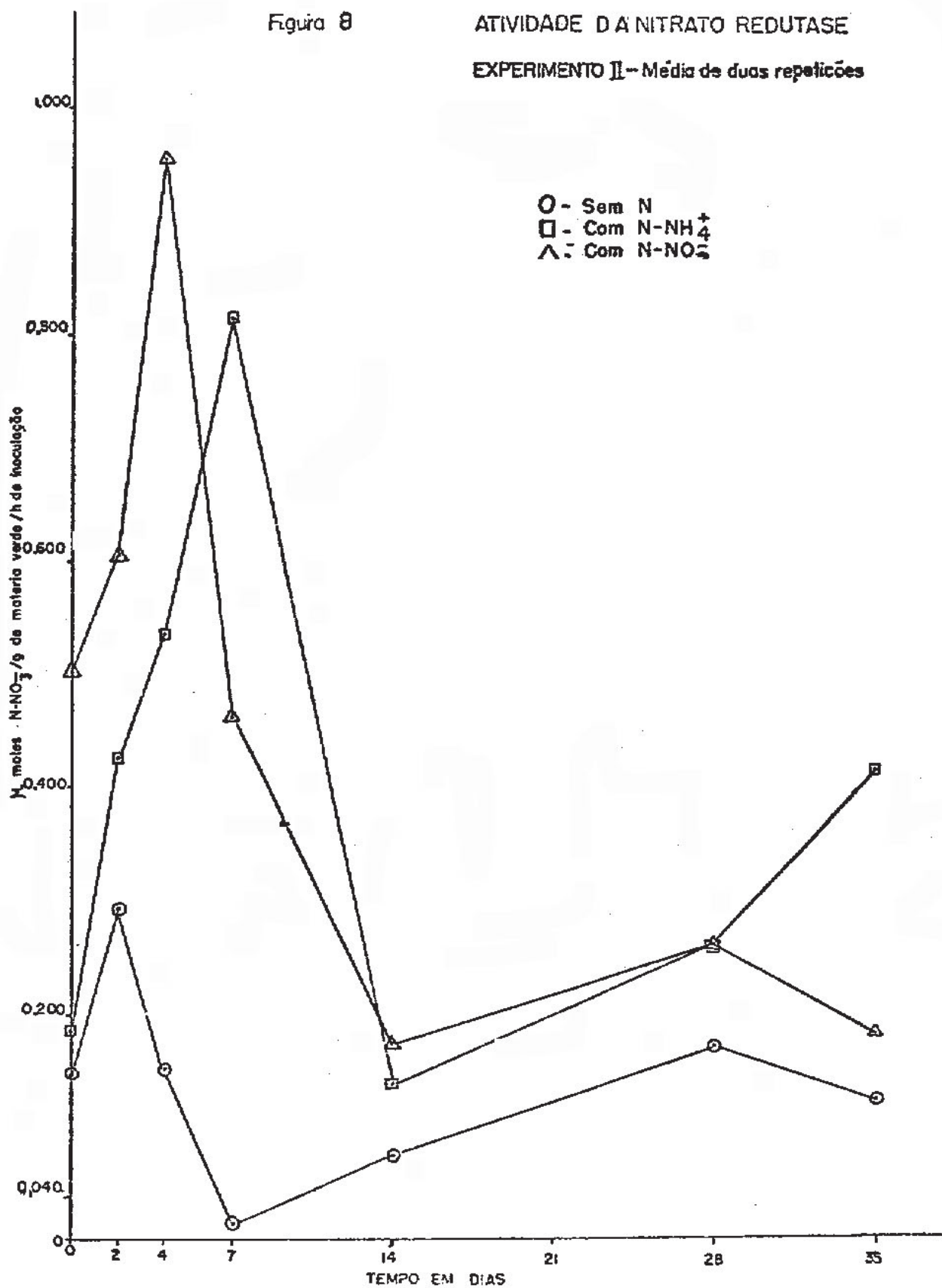


Figura 8

ATIVIDADE DA NITRATO REDUTASE

EXPERIMENTO II - Média de duas repetições



QUADRO 27-ANÁLISE DE VARIÂNCIA DE EXPERIMENTO II: VALORES DE F.

Fonte de Variação	pH	N-NH ₄ ⁺	N-NO ₃ ⁻	Peso Raiz	Peso Aérea	% N Raiz	% N Aérea	N Total Raiz	N Total Aérea	N Total solo	N Total SOLO + planta	Nitrato Redutase
Trat.	56,60**	336,73**	367,81**	37,79**	13,71*	12,34**	76,26**	32,31**	93,37**	11,46**	23,95**	207,48**
Tempo	18,64**	11,81**	4,59**	1,48	3,26*	8,56**	23,90"	1,86	5,93**	5,84**	1,20	18,94**
Trat. x Tempo	3,84**	7,05**	13,64**	1,86*	1,65	1,67	5,88**	1,93*	3,07**	1,47	1,02	10,63**
CV (%)	3.02	26,59	24,87	27,43	21,28	11,18	8,78	25.89	19,35	8,36	8,84	25,32

* - significância a 5%

** - significância a 1%

QUADRO 28 -DESDOBRAMENTO DOS G.L. DE TRATAMENTO, NO EXPERIMENTO II: VALORES DOS CONTRASTES COM SIGNIFICÂNCIA PELO TESTE F

Contrastes	pH	N-NH ₄ ⁺	N-NO ₃ ⁻	Peso		% N		N Total		N Total		N Total		Nitrito Redutase
				Raiz	Área	Raiz	P.Áerea	Raiz	P.Áerea	Solo	P.Áerea	Solo	P.Áerea	
B1	23,8	2794,52**	2698,62**	-	-	-	-	-	-	9760	-	-	-	-
B2	-44,6*	2797,40**	3389,86**	-	-	-	-	-	-	4880	-	-	-	-
B3	-37,3**	2647,06**	-2127,45**	-	-	-	-	-	-	-120	-	-	-	-
B4	-1,5	-14,44	30,93	-53,9*	-	1,47	-	-190,2**	-	20	-687	-	-	-
B5	-12,3	1091,07**	363,91	-	-	-	-	-	-	-1000	-	-	-	-
B6	0,5	574,81**	316,57*	-87,3**	-	-1,19	-	-659,8**	-	1100	-644	-	-	-
B7	-21,4*	65,80	1145,50**	-	-	-	-	-	-	-1150	-	-	-	-
B8	-10,4*	33,08	588,40**	-60,4*	-	1,36	-	-505,4*	-	510	-1056	-	-	-
B9	-	-	-	20,5	-	11,11*	-	846,2	-	-	5524**	-	-	-
B10	-	-	-	-	73,6	-	12,44**	-	1924,1**	-	-	-	7,906**	-
B11	-	-	-	-	34,4	-	0,52	-	388,7	-	-	-	-0,73	-
B12	-	-	-	31,9	-	1,27	-	147,0	-	-	450	-	-	-

* - Significância a 5%; ** - Significância a 1%.

Contrastes realizados:

B1 = Test. contra os demais;

B2 = Trat. com N x Trat. sem N;

B3 = Trat. com NH₄⁺ x Trat. com NO₃⁻;

B4 = Solo com raízes x Solo com planta;

B5 = Solo sem planta + NH₄⁺ x Solo com planta + NH₄⁺;

B6 = Solo com raízes + NH₄⁺ x Solo com planta + NH₄⁺;

B7 = Solo sem planta + NO₃⁻ x Solo com raízes + NO₃⁻ e Solo com planta + NO₃⁻;

B8 = Solo com raízes + NO₃⁻ x Solo com planta + NO₃⁻;

B9 = Solo com raízes e Solo com planta x Trat. adubados com plantas e raízes;

B10 = Solo com planta x Solo com planta + NH₄⁺ e Solo com planta + NO₃⁻;

B11 = Solo com planta + NH₄⁺ x Solo com planta + NO₃⁻;

B12 = Solo com planta + NH₄⁺ e Solo com raízes + NH₄⁺ x os mesmos trat. com NO₃⁻.

QUADRO 29 - ANÁLISE COM DESDOBRAMENTO DOS EFEITOS DE TEMPO,
DENTRO DE CADA TRATAMENTO, NO EXPERIMENTO II:
VALORES DE F.

Fonte	pH	N-NH ₄ ⁺	N-NO ₃ ⁻	N Total Solo
SOLO SEM PLANTA				
R	0,60	0,42	0,52	0,72
TL	1,24	1,79	2,51	3,82
TQ	2,14	0,07	0,16	0,75
T3	2,96	0,02	0,84	0,64
T4	0,80	0,32	1,17	7,82*
CV(%)	3,58	63,23	74,04	5,95
SOLO SEM PLANTA + NH ₄ ⁺				
R	0,68	0,63	0,69	0,61
TL	8,02*	5,64*	7,98*	0,62
TQ	0,15	0,11	0,10	0,34
T3	0,18	0,41	0,58	1,88
T4	0,68	0,04	1,36	2,86
CV(%)	5,25	15,59	69,76	10,90
SOLO SEM PLANTA + NO ₃ ⁻				
R	0,64	0,77	0,71	0,47
TL	4,49	3,13	6,84*	1,34
TQ	0,54	5,20*	3,85	1,75
T3	1,20	4,43	2,98	0,41
T4	2,54	0,66	0,16	0,23
CV(%)	3,17	60,13	20,45	8,21

R = coeficiente de correlação;

TL = efeito linear;

TQ = efeito quadrático;

T3 = efeito cúbico;

T4 = efeito de 4ª potência;

CV = coeficiente de variação;

* e ** = Significância a 5 e a 1%, respectivamente.

QUADRO 30- ANÁLISE COM DESDOBRAMENTO DOS EFEITOS DE TEMPO, DENTRO DE CADA TRATAMENTO, NO EXPERIMENTO II: VALORES DE F.

Fonte	pH	N-NH ₄ ⁺	N-NO ₃ ⁻	N Total		Peso		% N		N Total Raiz	N Total Solo + Planta
				Solo	Raiz	Raiz	Raiz	Raiz	Raiz		
SOLO COM RAÍZES											
R	0,48	0,69	0,23	0,74	0,41	0,53	0,49	0,70			
TL	0,74	4,03	0,00	12,19**	0,28	1,13	0,33	10,37**			
TQ	0,19	1,95	0,20	1,82	0,34	0,50	0,48	1,12			
T3	1,25	1,66	0,01	0,01	1,50	1,90	2,69	0,07			
T4	1,10	0,00	0,38	0,02	0,12	0,68	0,00	0,02			
CV(%)	3,42	36,55	94,82	5,60	46,81	13,68	54,82	6,22			
SOLO COM RAÍZES + NH ₄ ⁺											
R	0,56	0,64	0,71	0,06	0,35	0,91	0,38	0,07			
TL	4,60	7,29*	9,95**	0,01	0,39	42,48**	0,46	0,03			
TO	0,02	0,09	0,06	0,00	0,48	0,43	0,81	0,00			
T3	0,13	0,34	0,02	0,01	0,00	3,05	0,14	0,00			
T4	0,01	0,15	0,28	0,01	0,74	4,35	0,15	0,02			
CV(%)	7,49	30,11	67,00	10,60	39,05	8,62	42,18	10,40			
SOLO COM RAÍZES + NO ₃ ⁻											
R	0,24	0,59	0,57	0,64	0,47	0,82	0,51	0,81			
TL	0,01	1,52	2,05	5,76*	0,31	7,11*	0,00	17,37**			
TQ	0,26	2,20	0,32	0,15	0,72	6,31*	2,10	0,18			
T3	0,36	0,86	0,01	0,00	0,77	0,08	1,30	0,01			
T4	0,05	0,06	2,73	1,13	1,33	5,91*	0,38	2,86			
CV(%)	4,23	59,58	26,44	10,63	36,93	8,76	36,36	6,29			

R = coeficiente de correlação;

TL = efeito linear;

TQ = efeito quadrático;

T3 = efeito cúbico;

T4 = efeito de 4ª potência;

CV = coeficiente de variação

* e ** = Significância a 5 e a 1%, respectivamente.

QUADRO 31 - ANÁLISE COM DESDOBRAMENTO DOS EFEITOS DE TEMPO, DENTRO DE CADA TRATAMENTO, NO EXPERIMENTO II: VALORES DE F.

Fonte	pH	N-NH ₄ ⁺	N-NO ₃ ⁻	N Total		Peso		% N		N Total		
				Solo	PLANTA	Raiz	PLANTA	Raiz	Raiz	Raiz	Planta	
				SOLO COM PLANTA								
R	0,49	0,60	0,41	0,28	0,56	0,31	0,50	0,31	0,50	0,42		
TL	1,95	0,59	0,54	0,13	0,19	0,17	0,82	0,17	0,82	0,66		
T0	1,63	1,17	0,90	0,17	0,31	0,06	0,35	0,06	0,35	0,16		
T3	0,71	0,00	0,59	0,00	1,15	0,00	1,41	0,00	1,41	0,14		
T4	0,09	4,19	0,00	0,66	3,26	0,98	0,97	0,98	0,97	1,41		
CV(%)	4,63	58,90	43,38	11,36	22,45	17,32	20,04	17,32	20,04	10,08		
				SOLO COM PLANTA + NH ₄ ⁺								
R	0,73	0,82	0,08	0,39	0,46	0,81	0,38	0,81	0,38	0,35		
TL	10,33**	5,48*	0,00	1,73	0,27	1,54	1,48	1,54	1,48	0,76		
TQ	0,02	8,17*	0,04	0,26	1,36	7,77*	0,11	7,77*	0,11	0,88		
T3	2,12	6,72*	0,03	0,29	1,22	8,96*	0,20	8,96*	0,20	0,15		
T4	0,29	0,00	0,00	0,01	0,21	1,38	0,07	1,38	0,07	0,16		
CV(%)	5,18	58,65	81,85	12,73	30,80	10,49	28,18	10,49	28,18	10,01		
				SOLO COM PLANTA + NO ₃ ⁻								
R	0,72	0,70	0,80	0,71	0,52	0,62	0,46	0,62	0,46	0,63		
TL	0,27	1,80	12,38**	2,28	0,23	1,00	1,47	1,00	1,47	0,35		
TQ	8,40*	3,64	2,38	5,45*	3,70	4,63	1,13	4,63	1,13	4,53		
T3	0,17	2,52	2,31	0,33	0,03	0,24	0,02	0,24	0,02	0,77		
T4	1,83	0,66	0,08	1,14	0,34	0,02	0,61	0,02	0,61	0,54		
CV(%)	5,55	42,88	77,79	7,99	28,20	14,78	25,77	14,78	25,77	7,25		

R = coeficiente de correlação;

TL = efeito linear;

TQ = efeito quadrático;

T3 = efeito cúbico;

T4 = efeito de 4ª potência;

CV = coeficiente de variação;

* e ** = Significância a 5 e a 1%, respectivamente.

QUADRO 32 - ANÁLISE COM DESDOBRAMENTO DOS EFEITOS DE TEMPO, DENTRO DE CADA TRATAMENTO, NO EXPERIMENTO II: VALORES DE F.

Fonte	Peso P. Aérea	% N P.Aérea	N Total P.Aérea	Atividade Nitrato Redutase
		SOLO	COM	PLANTA
R	0,57	0,46	0,52	0,72
TL	0,15	2,24	1,26	4,78
TQ	0,10	1,09	0,01	0,21
T3	3,44	0,62	1,09	4,94
T4	1,55	0,04	1,78	1,94
CV(%)	24,56	16,91	34,13	54,70
		SOLO	COM	PLANTA + NH ₄ ⁺
R	0,38	0,88	0,59	0,96
TL	0,93	2,77	2,41	0,68
TQ	0,93	27,18**	1,27	15,40**
T3	0,09	1,95	0,59	0,00
T4	0,29	0,13	0,76	40,37**
CV (%)	28,62	13,10	29,46	20,02
		SOLO	COM	PLANTA + NO ₃ ⁻
R	0,60	0,86	0,72	0,57
TL	4,72	1,80	9,20*	0,36
TQ	1,82	17,73**	0,35	0,46
T3	0,07	8,40*	0,94	2,53
T4	0,16	0,10	0,39	3,82
CV(%)	24,14	12,19	21,52	60,84

R = coeficiente de correlação;

TL = efeito linear;

TQ = efeito quadrático;

T3 = efeito cúbico;

T4 = efeito de 4^a potência;

CV = coeficiente de variação;

* e ** = Significância a 5 e a 1%, respectivamente.

QUADRO 33 - ANÁLISE CONJUNTA DOS 2 EXPERIMENTOS^a: VALORES DE F.

Fonte de Variação	pH	N-NH ₄ ⁺	N-NO ₃ ⁻	Peso P.		% N	% N P.	N Total		N Total P. Aérea	N Total Solo Planta
				Raiz	Aérea			Raiz	Aérea		
Trat.	64,69**	288,88**	1518,36**	53,80*	54,48**	48,15**	881,10**	166,44**	862,35**	25,29**	13,10**
Exp.	93,07**	33,72**	62,23**	0,08	54,93**	4,10	143,87**	7,51*	0,13	4,42	3,25
Trat. x Exp.	6,01*	5,82*	46,35**	1,53	2,13	2,21	6,17	0,52	3,20	7,68**	0,19
Tempo	62,76**	67,31**	50,31**	0,10	4,15*	7,30**	51,59**	0,90	12,74**	1,81	1,35
Trat. x Tempo	4,13**	26,05**	17,84**	0,96	2,99*	5,56**	44,25**	1,36	17,12**	1,55	0,70
Exp. x Tempo	10,26**	6,44**	1,04	2,18	2,45	3,80*	3,17*	1,20	2,43	2,58*	1,03
Trat. x Exp. x Tempo	1,44	1,72	0,77	0,78	1,38	0,72	1,22	0,76	2,95	0,86	0,83
CV (%)	2,80	22,11	42,66	32,79	20,55	11,08	7,04	33,21	14,67	9,09	8,73

a = Só foram comparados os 6 tratamentos comuns aos dois experimentos

* = Significância a 5%

** = Significância a 1%

5- CONCLUSÕES

1. Com a aplicação de sulfato de amônio houve decréscimo significativo no pH do solo.
2. O teor de N-nítrico no solo sem planta e sem adubação variou entre 0,66 e 12,95 ppm e o de N-amoniacal entre 3,46 e 11,11 ppm, enquanto no solo com *Digitaria* as variações ocorreram entre 0,32 e 1,28 ppm de N-NO_3^- e 4,18 e 17,12 ppm de N-NH_4^+ , caracterizando a ausência marcante de N-NO_3^- , na rizosfera da gramínea.
3. A nitrificação do N-amoniacal adicionado ao solo, foi rápida, tendo início dois a sete dias após a aplicação. A taxa média de nitrificação foi de $1,2 \mu\text{g N-NO}_3^-$ produzido/dia/g solo (2,4 kg/ha/dia) no solo sem planta, nos dois experimentos. Na presença de raízes de *Digitaria* a taxa média de nitrificação foi de 1,6 e de 1,1 $\mu\text{g de N-NO}_3^-$ /dia/g solo, respectivamente no experimento I e II.
4. A nitrificação foi intensificada na presença das raízes, no experimento I, mas, no experimento II isto não pôde ser obser-

vado porque houve desnitrificação do N-NO_3^- produzido.

5. A desnitrificação, foi maior no solo com raízes de *Digitaria*, mas ocorreu também no solo sem planta.
6. A *Digitaria* absorveu tanto o N amoniacal como o N nítrico. No tratamento que recebeu o N amoniacal todo o N foi absorvido até sete dias após a aplicação, ao passo que no que recebeu N-nítrico a absorção se deu até catorze dias após a aplicação.
7. A atividade da nitrato redutase na planta do tratamento sem adubação aumentou na amostragem feita aos dois dias, o que foi atribuído a condições de umidade melhores que aquelas em que a planta estava no campo.
8. Houve aumento da atividade da nitrato redutase, quatro horas após a aplicação de N-nítrico ao solo.
9. Tanto nas plantas que receberam N-nítrico como nas que receberam N-amoniacal houve aumento da atividade da nitrato redutase, verificando-se o máximo, aos quatro e aos sete dias, respectivamente.
10. Conclui-se, do ponto de vista prático, que a se usar adubação nitrogenada para a *Digitaria*, esta deveria ser feita com N amoniacal, uma vez que com N-nítrico, além da absorção mais lenta pela planta e da desnitrificação observadas, ter-se-ia o problema da lixiviação do NO_3^- , que foi contornado no experimento, mas que seria um fator de perda importante em condições de campo.

6 - RESUMO

Foram conduzidos dois experimentos em casa de vegetação, visando verificar a influência da *Digitaria decumbens*, cult. transvala, seja como planta inteira ou só raízes (parte aérea cortada), nas transformações do nitrogênio do solo sem adubação nitrogenada e do solo adubado com sulfato de amônio ou nitrato de sódio.

No experimento I os tratamentos foram: solo sem planta, solo com raízes e solo com planta, sem N e com sulfato de amônio, realizando-se cinco amostragens, aos 0,7, 14,21 e 28 dias após a aplicação do adubo. No experimento II além desses tratamentos foram incluídos mais três, em que a fonte de N foi o nitrato de sódio, efetuando-se também, além daquelas do experimento I, mais três amostragens aos 2, 4 e 35 dias.

No experimento I foram feitas determinações de pH, $N-NO_3^-$, $N-NH_4^+$ e N total do solo, peso e N total de raízes e partes aéreas. No experimento II além dessas determinações, foi feita ainda a da atividade da nitrato redutase na parte aérea das plantas.

O teor de N-nítrico no solo sem planta e sem adubação va-

riou entre 0,66 e 12,95 ppm; ao passo que no solo com *Digitaria* a variação observada foi entre 0,32 e 1,28 ppm de N-NO_3^- , caracterizando assim a ausência marcante desse íon na rizosfera da gramínea.

A nitrificação do N-amoniaco adicionado ao solo foi rápida, tendo início dois a sete dias após a aplicação e foi intensificada na presença das raízes, no experimento I. No experimento II isto não pôde ser observado porque houve desnitrificação do N-NO_3^- produzido.

A desnitrificação foi maior no solo com raízes de *Digitaria*, mas ocorreu também no solo sem planta.

A *Digitaria* absorveu tanto o N-amoniaco como o N-nítrico. No tratamento com N-amoniaco todo o N foi absorvido até sete dias após a adubação e naquele com N-nítrico até catorze dias após a aplicação do adubo.

A atividade da nitrato redutase na planta sem adubação aumentou na amostragem feita aos dois dias, atribuindo-se este aumento às condições de umidade, melhores que aquelas em que a planta estava no campo.

Houve aumento da atividade da nitrato redutase, quatro horas após a aplicação de N-nítrico ao solo. O máximo da atividade da nitrato redutase foi verificado aos quatro e aos sete dias, respectivamente, nas plantas que receberam N-nítrico e N-amoniaco.

Do ponto de vista prático conclui-se que, a se usar adubação nitrogenada para a *Digitaria*, esta deveria ser feita com N amoniaco, já que com N-nítrico além da absorção mais lenta pe-

la planta e da desnitrificação observadas, ter-se-ia também o problema da lixiviação, que foi contornado nos experimentos, mas que seria um fator de perda importante em condições de campo.

7 - BIBLIOGRAFIA

- Aandahl, A.R. 1948. The characterization of slope positions and their influence on the total nitrogen content of a few virgin soils of western Iowa. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 13:449-454.
- Adams, A.P., Bartholomew, H.V. & Clark, F.E. 1954. Measurements of nucleic acid components in soil. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 18: 40-46.
- Alexander, M. 1965. Nitrification. In: Bartholomew, W.V. & Clark, F.E. (Ed.) Soil nitrogen: 307-343. Agronomy 10. Amer. Soc. Agr., Inc. Madison, Wisconsin, U.S.A.
- Allison, F.E., Doetsch, J.H. & Roller, E.M. 1951. Ammonium fixation and availability in Harpster clay loam. Soil Sci. 72: 187-200.
- Alvahydo, R. 1958. A nitrificação em nossos solos. (Resultados não publicados).
- Amer, F.M. & Bartholomew, W.V. 1951. Influence of oxygen concen-

- tration in soil air on nitrification. *Soil Sci.* 71:215-219.
- Anderson, G. 1958. Identification of derivatives of deoxyribonucleic acid in humic acid. *Soil Sci.* 86: 169-174.
- Anderson, G. 1961. Estimation of purines and pyrimidines in soil humic acid. *Soil Sci.* 91: 156-161.
- Balandreau, J. & Dommergues, Y. 1972. Assaying nitrogenase (C_2H_2) activity in the field. *Bull. Ecol. Res. Comm. (Stockholm)* 17: 247-254.
- Balandreau, J. & Villemin, G. 1973. Fixation biologique de l'azote moléculaire en savanne de Lampto (Basse Côte d'Ivoire). *Resultat préliminaires. Rev. Ecol. Biol. Sol.* 10:25-33.
- Bandurski, R.S. 1965. Biological reduction of sulfate and nitrate. In: Bonner, J. & Varner, J.E. (Ed.) *Plant Biochemistry*: 467-490. Academic Press, New York and London.
- Barjak, H. 1954. La microflore dénitrifiante: sa présence normale dans le sol. *Ann. Inst. Pasteur.* 87: 440-444.
- Barshad, I. 1951. Cation exchange in soils. I. Ammonium fixation and its relation to potassium fixation and to determination of ammonium exchange capacity. *Soil Sci.* 72: 361-371.
- Bartholomew, W.V. 1965. Mineralization and immobilization of nitrogen in the decomposition of plant and animal residues. In: Bartholomew, W.V. & Clark, F.E. (Ed.) *Soil nitrogen*: 285-306. *Agronomy* 10. Amer. Soc. Agr., Inc. Madison, Wisconsin. U.S.A.
- Bartholomew, W.V. & Clark, F.E. 1950. Nitrogen transformations in soil in relation to the rhizosphere microflora. *Trans.* 4th.

- Intern. Cong. Soil Sci. 2: 112-113. Citado por Harmsen & Kollenbrander 1965.
- Baumann, H. & Maass, G. 1957. Über den Verlauf des Nitratgehaltes unter verschiedenen Früchten im Ackerboden. Z. Pflanzernähr. Dung. 79: 155-167. Citado por Alexander, 1965.
- Becking, J. H. 1970. Plant-endophyte symbiosis in non-leguminous plants. Plant & Soil 32 (3): 611-654.
- Beevers, L. & Hageman, R..H. 1969. Nitrate reduction in higher plants. Ann. Rev. Plant Physiol. 20: 495-522.
- Beevers, L., Schraeder, L.E., Flesher, D. & Hageman, R.H. 1965. The role of light and nitrate in the induction of nitrate reductase in radish cotyledons and maize seedlings. Plant Physiol. 40: 691-698.
- Birch, H.F. 1958. The effect of soil drying on humus decomposition and nitrogen availability. Plant & Soil 10: 9-31.
- Birch, H.F. 1959. Further observations on humus decomposition and nitrification. Plant & Soil 11: 262-236.
- Birch, H.F. 1960. Nitrification in soils after different periods of dryness. Plant & Soil 12: 81-96.
- Boughey, A.S., Munro, P.E., Meiklejohn, J., Strang, R.M. & Swift, M.J. 1964. Antibiotic reactions between African savanna species. Nature 203: 1302-1303.
- Braun, W.A.G. & Velloso, A.C.X. 1965. Um novo método para a determinação do nitrogênio total no solo por nesslerização. X Congr. Bras. Cienc. Solo. Piracicaba, S.P. 39 p.

- Bremner, J. M. 1949. Studies on soil organic matter. Part I. The chemical nature of soil organic nitrogen. *J. Agric. Sci.* 39: 183-193.
- Bremner, J. M. 1965a. Total nitrogen. In: Black, C.A. et al. (Ed.) *Methods of soil analysis. Part 2*: 1149-1178. *Agronomy 9*. Amer. Soc. Agr., Inc. Madison, Wisconsin. U.S.A.
- Bremner, J. M. 1965b. Organic forms of nitrogen. In: Black et al. (Ed.) *Methods of soil analysis. Part 2*: 1238-1255. *Agronomy 9*. Amer. Soc. Agr., Inc. Madison, Wisconsin. U.S.A.
- Bremner, J.M. 1965c. Inorganic forms of nitrogen. In: Black et al. (Ed.) *Methods of soil analysis. Part 2*: 1179-1237, *Agronomy 9*. Amer. Soc. Agr., Inc. Madison, Wisconsin. U.S.A.
- Bremner, J. M. 1965d. Organic nitrogen in soils. In: Bartholomew, W.V. & Clark, F.E. (Ed.) *Soil nitrogen*: 93-149. *Agronomy 10*. Amer. Soc. Agr., Inc. Madison, Wisconsin. U.S.A.
- Bremner, J. M. & Shaw, K. 1958. Denitrification in soil. I. Methods of investigation. *J. agric. Sci.* 51: 22-39.
- Broadbent, F.E. & Clark, F.E. 1965. Denitrification. In: Bartholomew, W.V. & Clark, F.E. (Ed.) *soil nitrogen*: 344-359. *Agronomy 10*. Amer. Soc. Agr., Inc. Madison, Wisconsin. U.S.A.
- Broadbent, F.E., Hill, G.N. & Tyler, K.B. 1958. Transformation and movement of urea in soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 22: 303-307.
- Broadbent, F.E. & Tyler, K. B. 1962. Laboratory and greenhouse investigations of nitrogen immobilization. *Soil Sci. Soc. Am.*

- Proc. 26: 459-462.
- Broadbent, F.E., Tyler, K.B. & Hill, G.N. 1957. Nitrification of ammoniacal fertilizers in some California soils. *Hilgardia* 27: 247-267.
- Bülow, J.F.W. von & Döbereiner, J. 1975. Potential for nitrogen fixation in maize genotypes in Brazil. *Proc. Nat. Acad. Sci. USA* 72: 2389-2393.
- Calder, E.A. 1957. Features of nitrate accumulation in Uganda soil. *J. Soil Sci.* 8: 60-72.
- Candela, M.I., Fisher, E.G. & Hewitt, E.J. 1957. Molybdenum as a plant nutrient: X-Some factors affecting the activity of nitrate reductase in cauliflower plants grown with different nitrogen sources and molybdenum levels in sand culture. *Plant Physiol.* 32: 280-288.
- Cappó, G.G., Samuels, G., Landrau Jr., P., Alers, S. & Riera, A. 1965. The method of foliar diagnosis as applied to sugarcane. *Agric. Exp. Sta. Univ. Puerto Rico Bull.* 123. 47 p.
- Chapman, H.D. & Liebig, G.F. 1952. Field and laboratory studies of nitrite accumulation in soils. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 16: 276-282.
- Dhariwal, A.P.S. & Stevenson, F. J. 1958. Determination of fixed ammonium in soils. *Soil Sci.* 86: 343-349.
- Döbereiner, J. & Day, J. M. 1974. Informação pessoal.
- Döbereiner, J. & Day, J. M. 1975. Nitrogen fixation in the rhizosphere of tropical grasses. In: Stewart, W.D.P (Ed.). *Nitrogen*

fixation by free-living microorganisms. Vol 1: 39-56. Cambridge University Press.

Döbereiner, J., Day, J. M. & Dart, P. J. 1972. Nitrogenase activity and oxygen sensitivity of the *Paspalum notatum*-*Azotobacter paspali* association, J. Gen. Microb. 71: 103-116.

Döbereiner, J., Eira, P.A.da, Franco, A.A. & Campêlo, A.B.(Ed.) 1971. As leguminosas na agricultura tropical. 322 p.

Dommergues, Y. Balandreau, J., Rinaudo, G. & Weinhard, P. 1973. Nonsymbiotic nitrogen fixation in the rhizosphere of rice, maize and different tropical grasses. Soil Biol. Biochem. 5: 83-89.

Dommergues, Y. & Mangenot, F. 1970. Écologie microbienne du sol. Ed. Masson et Cie. Paris. 796 p.

Duisberg, P.C. & Buehrer, T.F.1954. Effect of ammonia and its oxidation products on rate of nitrification and plant growth. Soil Sci. 78: 37-49.

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: 267-273.

Ekpete, D. M. & Cornfield, A. H. 1964. Nature 201: 322-323. (Citado por Dommergues Y. & Mangenot, F. 1970).

Epstein, E. 1975. Nutrição mineral das plantas - princípios e perspectivas. Universidade de São Paulo (Ea.) 341 p.

Fernandes, M.S. 1976. Comunicação pessoal.

- Frederick, L.R. 1956. The formation of nitrate from ammonium nitrogen in soils. I-Effect of temperature. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 20: 496-500.
- Frederick, L.R. 1957. The formation of nitrate from ammonium nitrogen in soils. II-Effects of population of nitrifiers. Soil Sci. 83: 481-485.
- Fried, M., Zsoldos, F., Vose, P.B. & Shatokhin, I.L. 1965. Characterizing the NO_3^- and NH_4^+ uptake process of rice roots by use of ^{15}N labelled NH_4NO_3 . Phys. Plantarum 18: 313-320.
- Gasser, J.K.R. 1964. Some factors affecting losses of ammonia, urea and ammonium sulphate applied to soils. J. Soil Sci. 15: 258-272.
- Greenland, D.J. 1958. Nitrate fluctuations in tropical soils. J. Agric. Sci. 50: 82-92.
- Greenwood, D. J. 1962. Nitrification and nitrate dissimilation in soil. Plant & Soil 17: 365-391.
- Hageman, R. H. & Flesher, D. 1960. Nitrate reductase activity in corn seedlings as affected by light and nitrate content of nutrient media. Plant Physiol. 35: 700-708.
- Hanway, J.J. & Scott, A.D. 1956. Ammonium fixation and release in certain Iowa soils. Soil Sci. 82: 379-386.
- Harmsen, G.W. & Kolenbrander, G.J. 1965. Soil inorganic nitrogen. In: Bartholomew, W.V. & Clark, F.E. (Ed.) Soil nitrogen. 43-92. Agronomy 10. Amer. Soc. Agr., Inc. Madison, Wisconsin. U.S.A.

- Harmsen, G.W. & Lindenbergh, D. J. 1949. Investigations on the nitrogen nutrition of plants. *Plant & Soil* 2: 1-29.
- Harmsen, G.W. & van Schreven, D.A. 1955. Mineralisation of organic nitrogen in soil. *Adv. Agron.* 7: 299-398.
- Harpstead, M.I. & Brage, B.L. 1958. Storage of soil samples and its effect upon the subsequent accumulation of nitrate nitrogen during controlled incubation. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 22: 326-328.
- Harradine, F. & Jenny, H. 1958. Influence of parent material and climate on texture and carbon contents of virgin California soils. I-Texture and nitrogen contents of soils. *Soil Sci.* 85: 235-243.
- Hiltbold, A.E. & Adams, F. 1960. Effect of nitrogen volatilization on soil acidity changes due to applied nitrogen. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 24: 45-47.
- Hiltbold, A.E., Bartholomew, W.V. & Werkman, C.H. 1950. The use of tracer techniques in the simultaneous measurement of mineralization and immobilization of nitrogen in soil. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 15: 166-173.
- Hirose, S. & Goto, Y. 1961. Mode of absorption of urea by rice seedlings (Abstr.) *Soil Sci. and Plant Nutr.* 7: 85.
- Jackson, M.L. 1964. *Análisis químico de suelos*. Ed. Omega. Barcelona. 662 p.
- Jansson, S.L. 1958. Tracer studies on nitrogen transformations in soil with special attention to mineralization-immobilization

relationships. Kungl. Lantbrukshögskolans Ann. 24: 101-361.
Citado por Harmsen & Kolenbrander 1965.

Jansson, S.L. 1963. Balance sheet and residual effects of fertilizer nitrogen in a 6 year study with N¹⁵. Soil Sci. 95:31-37.

Jenny, H. 1928. Relation of climatic factors to the amount of nitrogen in soils. J. Am. Soc. Agron. 20: 900-912.

Jenny, H. 1929. Relation of temperature to the amount of nitrogen in soils. Soil Sci. 27: 169-188.

Jenny, H. 1930. A study on the influence of climate upon the nitrogen and organic matter content of the soil. Missouri Agr. Exp. Sta. Res. Bul. 152: 1-66. Citado por Stevenson, F. J. 1965.

Jenny, H. 1931. Soil organic matter-temperature relationship in the eastern United States. Soil Sci. 31: 247-252.

Jenny, H. 1941. Factors of soil formation. McGraw-Hill Book Co., New York.

Jenny, H. 1950. Causes of the high nitrogen and organic matter content of certain tropical forest soils. Soil Sci. 69: 63-69.

Jenny, H., Bingham, F. & Padilla-Saraiva, B. 1948. Nitrogen and organic matter contents of equatorial. soils of Colombia, South America. Soil Sci. 66: 173-186.

Jenny, H. & Leonard, C.D. 1934. Functional relationships between soil properties and rainfall. Soil Sci. 38: 363-381.

- Jones, T. 1956. Carbon and nitrogen studies in the arid irrigated soil of the Sudan Gezira. Trans. Intern. Cong. Soil Sci. 6th. Cong. Paris 13: 417-426. Citado por Harmsen & Kolenbrander 1955.
- Justice, J.K. & Smith, R.L. 1962. Nitrification of ammonium sulfate in a calcareous soil as influenced by combination of moisture, temperature and levels of added nitrogen. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 26: 246-250.
- Kivekäs, J. & Kivinen, E. 1959. Observations on the mobilization of peat nitrogen in incubation experiments. J. Sci. Agr. Soc. Finland 31: 268-281. Citado por Harmsen & Kolenbrander 1965.
- Kojima, R.T. 1947. Soil organic nitrogen. I-nature of the organic nitrogen in a muck soil from Geneva, New York. Soil Sci. 64: 157-165.
- Leal, J.R. & Alvahydo, R. 1971. Transformação e deslocamento do íon amônio em solo da Série Itaguaí. Pesq. agropec. bras. Sér. Agron. 6: 129-135.
- Lycklama, J.C. 1963. The absorption of ammonium and nitrate by perennial ryegrass. Acta Bot. Neerl. 12: 361-423. Citado por Fried et al. 1965.
- Martin, W.P., Buehrer, T.P. & Caster, A.B. 1943. Threshold pH value for the nitrification of ammonia in desert soils. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 7: 223-228 (1942).
- Martin, J. P. & Chapman, B.D. 1951. Volatilization of ammonia from surface fertilized soils. Soil Sci. 71: 25-34.

- Martin, A.E. & Skyring, C.W. 1962. Losses of nitrogen from the soil plant system. In: Commonwealth Bur. of Pastures and Field Crops. (Ed.). A review of nitrogen in the tropics with particular reference to pasture. A symposium: 19-34. Bull. 46. Hurley, Berkshire, England.
- McGarity, J.W. 1961. Denitrification studies on some South Australian soils. Plant & Soil 14: 1-21.
- McIntosh, T.H. & Frederick, L.R. 1958. Distribution and nitrification of anhydrous ammonia in a Nicollet sandy clay loam. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 22: 402-405.
- Meeker, G.B., **Purvis**, A.C., Neyra, C.A. & Hageman, R.H. 1974. Uptake And accumulation of nitrate as a major factor in the regulation of nitrate reductase activity in corn (*Zea mays* L.) leaves: Effects of high ambient CO₂ and malate. In: Bielecki, R. L. et al. (Ed.). Mechanisms of regulation of plant growth. Bull. 12: 49-58. The Royal Soc. New. Zeal.
- Meiklejohn, J. 1953. The nitrifying bacteria: a review. J. Soil Sci. 4: 59-68.
- Meiklejohn, J. 1962. Microbiology of the nitrogen cycle in some Ghana soils..Emp. J. Exp. Agr. 30: 115-126.
- Meiklejohn, J. 1965. Microbiological studies on large termite mounds. Rhod. Zamb. Mal. J. Agr. Res. 3: 67-79.
- Meiklejohn, J. 1968. Numbers of nitrifying bacteria in some Rhodesian soils under natural grass and improved pastures. J. Applied Ecol. 5: 291-300.

- Mello, W. J. de. 1974. Variação do N-amoniaco e N-nítrico em um latossol roxo cultivado com milho (*Zea mays* L.) e com lablab (*Dolichos lab-lab*, L.). Tese Doutorado. Piracicaba. S.P. 104 p.
- Mendes, W., Lemos, P. de O. e C., Lemos, R.C., Carvalho, L.G. de O. & Rosenberg, R.J. 1954. Contribuição ao mapeamento, em séries, dos solos do Município de Itaguaí. Bol. Inst. Ecol. Exp. Agr. 12. 53 p.
- Moore, D.R.E. & Waid, J.S. 1971. The influence of washings of living roots on nitrification. Soil Biol. Biochem. 3: 69-83.
- Morril, L.G. 1959. An explanation of the nitrification patterns observed when soils are perfused with ammonium sulphate. Ph.D. thesis, Cornell University. Citado por Harmsen & Kolenbrander 1965.
- Mortland, M.M. & Wolcott, A.R. 1965. sorption of inorganic nitrogen compounds by soil materials. In: Bartholomew, W.V. & Clark, F.E. (Ed.) Soil nitrogen: 150-197. Agronomy 10. Amer. Soc. Agr., Inc: Madison, Wisconsin. U.S.A.
- Mulder, E.G. & Brotonegoro, S. 1974. Free-living heterotrophic nitrogen-fixing bacteria. In: Quispel, A. (Ed.). The biology of nitrogen fixation. 37-85. North - Holland Publishing Company. Amsterdam-Oxford.
- Musa, M.M. 1968. Nitrogenous fertilizer transformations in the Sudan Gezira soil. I-Ammonia volatilization losses following surface applications of urea and ammonium sulphate. Pl. Soil 28: 413-421.

- Neyra, C.A. 1974. Role of malate in the regulation of nitrate uptake and assimilation in corn (*Zea mays* L.) seedlings. PhD Thesis. Univ. Illinois-Urbana, U.S.A. 110 p.
- Neyra, C.A. & van Berkun, P. 1976. Utilización de nitrato por *Spirillum lipoferum* aislado de raíces de *Digitaria*. VI Reun. Soc. Lat. Amer. Fisiol. Veg. Campinas. São Paulo.
- Nömmik, H. 1956. Investigations on denitrification in soil. Acta Agr. Scand. 6: 195-228. Citado por Dommergues & Mangenot 1970.
- Nömmik, H. 1965. Ammonium fixation and other reactions involving a nonenzymatic immobilization of mineral nitrogen in soil. In: Bartholomew, W.V. & Clark, F.E. (Ed.) Soil nitrogen: 198-258. Agronomy 10. Amer. Soc. Agr., Inc. Madison, Wisconsin. U.S.A.
- Nutman, P.S. 1965. Symbiotic nitrogen fixation. In: Bartholomew, W.V. & Clark, F.E. (Ed.) Soil nitrogen; 360-383. Agronomy 10, Amer. Soc. Agr., Inc. Madison, Wisconsin, U.S.A.
- Purchase, B.S. 1974. Evaluation of the claim that grass root exudates inhibit nitrification. Plant & Soil 41: 527-539.
- Raju, P.N., Evans, H.J. & Seidler, R.J. 1972. An assymbiotic nitrogen-fixing bacterium from the root environment of corn. Proc. Nat. Acad. Sci. USA 69: 3474-3478.
- Robinson, J.B.D. 1957. The critical relationship between soil moisture content in the region of the wilting point and the mineralization of natural soil nitrogen. J. Agric. Sci. 49: 100-105.
- Robinson, J.B.D. 1963. Nitrification in a New Zealand grassland soil. Plant & Soil 19: 173-183.

- Rodrigues, G. 1954. Fixed ammonia in tropical soils. *J. Soil Sci.* 5: 264-274.
- Ross, D.J. 1958. Biological studies of some tussock grasslands soils. VI-Nitrifying activities. *N.Z.J. Agric. Res.* 1: 968-973.
- Ross, D.J. 1960. Biological studies of some tussock grassland soils. XVII-Nitrifying activities of two cultivated soils. *N.Z.J. Agric. Res.* 3: 230-236.
- Sabey, B.R., Bartholomew, W.V., Shaw, R. & Pesek, J. 1956. Influence of temperature on nitrification in soil. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 20: 357-360.
- Soulides, D.A. & Clark, F.E. 1958. Nitrification in grassland soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 22: 308-311.
- Sowden, F. J. 1959. Investigations of the amounts of hexosamines found in various soils and methods for their determination. *Soil Sci.* 88: 138-143.
- Stevenson, F.J. 1957a. Investigations of aminopolysaccharides in soils: I. Colorimetric determination of hexosamines in soil hydrolysates. *Soil Sci.* 83: 113-122.
- Stevenson, F.J. 1957b. Investigations of aminopolysaccharides in soils : II. Distribution of hexosamines in some soil profiles. *Soil Sci.* 84: 99-106.
- Stevenson, F. J. 1965. Origin and distribution of nitrogen in soil. In; Bartholomew, W.V. & Clark, F.E. (Ed.) *Soil nitrogen.* 1-42. *Agronomy 10.* Amer. Soc. Agr., Inc. Madison, Wisconsin.

sin. U.S.A.

- Stevenson, F.J. & Dhariwal, A.P.S. 1959. Distribution of fixed ammonium in soils. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 23: 121-125.
- Stojanovic, B.J. & Alexander, M. 1958. Effect of inorganic nitrogen on nitrification. *Soil Sci.* 86: 208-215.
- Stojanovic, B.J. & Broadbent, F.E. 1957. Influence of low temperatures on nitrogen transformations in Honeoye silt loam. *Soil Sci.* 84: 243-248.
- Stojanovic, B.J. & Broadbent, F.E. 1960. Recovery of ammonium nitrogen from soils. *Soil. Sci.* 90: 93-97.
- Theron, J.J. 1951. The influence of plants on the mineralization of nitrogen and the maintenance of organic matter in the soil. *Journ. Agric. Sci.* 41: 289-296.
- Tyler, K.B., Broadbent, F.E. & Hill, G.N. 1959. Low temperature effects on nitrification in four California soils. *Soil Sci.* 87:123-129.
- van Schreven, D.A. 1963. Nitrogen transformations in the former subaqueous soils of polders recently reclaimed from lake Yssel. *Plant & Soil* 18: 143-174.
- Verdade, F. da C. 1951. Estudo da variabilidade dos nitratos num solo tipo terra roxa misturada. *Bragantia* 11 (10-12): 269-276.
- Vettori, L. 1969. Métodos de análise de solo. *Bol. Téc. 7 da Eq. Ped. Fert. Solo.* 24 p.

- Viets, F.G. Jr. 1960. Recovery of fertilizer nitrogen on irrigated and dry land-soil of the Western United States. Trans. 7th. Intern. Cong. Soil Sci. 2: 486-493. Citado por Harmsen & Kolenbrander 1965.
- Viets, F.G. Jr. 1965; The plant's need for and use of nitrogen. In: Bartholomew, W.V. & Clark, F.E. (Ed.) Soil nitrogen: 503-549. Agronomy 10. Amer. Soc. Agr., Inc. Madison; Wisconsin, U.S.A.
- Wagner, G.H. & Smith, G.E. 1958. Nitrogen losses from soils fertilized with different nitrogen carriers. Soil Sci. 85:125-129.
- Wahhab, A., Randhawa, M.S. & Alam, S.Q. 1957. Loss of ammonia from ammonium sulphate under different conditions when applied to soils. Soil Sci. 84: 249-255.
- Walsh, L. M. & Murdock, J.T. 1960. Native fixed ammonium and fixation of applied ammonium in several Wisconsin soils. Soil Sci. 89: 183-193.
- Wetselaar, R. 1961. Nitrate distribution in tropical soils. I-Possible causes of nitrate accumulation near the surface after a long dry period. Plant & Soil 15: 110-120.
- Woldendorp, J. W. 1962. The quantitative influence of the rhizosphere on denitrification. Plant & Soil 17: 267-270.
- Yoshida, T. & Ancajas, R.R. 1971. Nitrogen fixation by bacteria in the root zone of rice. Soil Sci. Am. Proc. 35: 150-157.

Young, J. L. 1962. Inorganic soil nitrogen and carbon/nitrogen ratios of some Pacific Northwest soils. Soil Sci. 93: 397-404. APÊNDICE

Young, J. L. & Cattani, R.A. 1962. Mineral fixation of anhydrous NH_3 by air-dry soils. Soil Sci. Amer. Proc. 26: 147-152.

APÊNDICE

Experimento I
 QUADRO 1 - pH do solo no dia da coleta

Tratamentos	Tempo (Dias)				
	0	7	14	21	28
Solo sem planta	7,1	6,8	7,0	6,6	6,2
	6,6	6,8	6,2	6,6	6,2
	Média	6,8	6,6	6,6	6,2
Solo sem planta + NH ₄ ⁺	6,5	5,8	5,8	5,8	5,4
	6,7	6,4	5,8	5,6	5,6
	Média	6,6	6,1	5,8	5,7
Solo com raízes	7,0	6,7	6,3	6,6	6,3
	7,2	7,0	6,5	6,3	6,4
	Média	7,1	6,8	6,4	6,4
Solo com raízes + NH ₄ ⁺	7,0	6,0	5,8	5,6	5,5
	7,0	6,2	5,7	5,6	5,6
	Média	7,0	6,1	5,8	5,6
Solo com planta	7,1	6,7	6,3	6,5	6,2
	7,2	6,8	6,5	6,4	6,6
	Média	7,2	6,8	6,4	6,4
Solo com planta + NH ₄ ⁺	6,9	5,8	5,6	6,1	5,8
	7,0	5,6	5,8	5,9	5,5
	Média	7,0	5,7	5,7	6,0

Experimento I
 QUADRO 2 - ppm N-NH₄⁺ no solo seco a 105°C

Tratamentos	Tempo (Dias)				
	0	7	14	21	28
Solo sem planta	5,14	4,24	11,55	8,55	10,01
	6,44	4,86	5,39	4,20	10,58
	Média	5,79	4,55	8,47	6,38
Solo sem planta + NH ₄ ⁺	103,74	101,21	87,41	64,86	48,90
	105,06	83,54	81,64	57,36	24,48
	Média	104,40	92,38	84,52	61,11
Solo com raízes	7,24	4,43	7,45	6,72	11,76
	9,26	3,11	7,45	5,93	10,88
	Média	8,25	3,77	7,45	6,32
Solo com raízes + NH ₄ ⁺	110,84	64,09	49,39	20,17	21,36
	110,94	57,11	32,60	29,40	13,33
	Média	110,89	60,60	41,00	24,78
Solo com planta	6,99	5,38	6,05	6,48	11,37
	8,16	3,94	6,48	5,19	11,94
	Média	7,58	4,66	6,26	5,84
Solo com planta + NH ₄ ⁺	107,80	3,45	6,92	8,37	10,58
	102,24	4,18	6,13	6,98	9,92
	Média	105,02	3,82	6,52	7,68

Experimento I
 QUADRO 3 - ppm $K-NO_3^-$ no solo seco a 105°C

Tratamentos	Tempo (Dias)				
	0	7	14	21	28
Solo sem planta	0,96	1,16	0,66	0,78	3,08
	1,15	1,22	2,55	0,54	1,79
	Média	1,06	1,19	1,60	0,66
Solo sem planta + NH_4^+	1,02	6,05	13,21	28,78	31,13
	0,78	7,64	18,37	25,08	38,41
	Média	0,90	6,84	15,79	26,93
Solo com raízes	1,24	0,40	1,23	1,70	6,05
	1,29	0,28	0,34	1,47	2,22
	Média	1,26	0,34	0,78	1,58
Solo com raízes + NH_4^+	1,48	20,78	33,49	43,84	46,10
	1,46	19,26	32,37	34,38	47,26
	Média	1,47	20,02	32,93	39,11
Solo com planta	1,66	1,06	0,81	0	1,12
	0,89	0,54	0,65	0,64	0,77
	Média	1,28	0,80	0,73	0,32
Solo com planta + NH_4^+	1,48	1,51	0,36	0,42	0,22
	1,01	1,40	0,82	0,63	0,44
	Média	1,24	1,46	0,59	0,52

Experimento I
 QUADRO 4 - Teor de N mineral (NH_4^+ + NO_3^-) no solo

Tratamentos	Tempo (Dias)				
	0	7	14	21	28
Solo sem planta	a 5,79	4,55	8,47	6,38	10,30
	b 1,06	1,19	1,60	0,66	2,44
	c 6,85	5,74	10,07	7,04	12,74
Solo sem planta + NH_4^+	104,40	92,38	84,52	61,11	36,69
	0,90	6,84	15,79	26,93	34,77
	105,30	99,22	100,31	88,04	71,46
Solo com raízes	8,25	3,77	7,45	6,32	11,32
	1,26	0,34	0,78	1,58	4,14
	9,51	4,11	8,23	7,90	15,46
Solo com raízes + NH_4^+	110,89	66,60	41,00	24,78	17,34
	1,47	20,02	32,93	39,11	46,68
	112,36	80,62	73,93	63,89	64,02
Solo com planta	7,58	4,66	6,26	5,84	11,66
	1,28	0,80	0,73	0,32	0,94
	8,86	5,46	6,99	6,16	12,60
Solo com planta + NH_4^+	105,02	3,82	6,52	7,68	10,25
	1,24	1,46	0,59	0,52	0,33
	106,26	5,28	7,11	8,20	10,58

a - Média do teor de N-NH_4^+ , em ppm solo seco a 105°C

b - Média do teor de N-NO_3^- , em ppm solo seco a 105°C

c - Soma a + b

Experimento I

QUADRO 5 - N-NH_4^+ aplicado ao solo no início do experimento*

Tratamentos	Tempo (Dias)				
	0	7	14	21	28
Solo sem planta + NH_4^+	108,62	108,11	107,40	105,65	106,01
	106,99	106,92	106,80	105,61	107,55
	Média	107,80	107,52	107,10	105,63
Solo com raízes + NH_4^+	110,04	109,19	108,77	110,74	110,64
	110,25	108,06	110,85	110,18	109,04
	Média	110,14	108,62	109,81	110,46
Solo com planta + NH_4^+	112,47	108,61	112,51	109,08	112,48
	108,38	111,23	110,45	109,92	112,89
	Média	110,42	109,92	111,48	109,50

* Valores corrigidos para ppm solo seco a 105°C

Experimento I

QUADRO 6 - N total no solo seco a 105°C (mg N/kg solo)

Tratamentos	Tempo (Dias)				
	0	7	14	21	28
Solo sem planta	440	440	480	390	390
	540	390	370	350	320
	Média	490	415	425	370
Solo sem planta + NH ₄ ⁺	570	520	440	440	370
	590	440	480	390	410
	Média	580	480	460	415
Solo com raízes	540	630	610	650	540
	610	540	500	610	570
	Média	575	585	555	630
Solo com raízes + NH ₄ ⁺	680	700	780	760	650
	760	590	680	680	610
	Média	720	645	730	720
Solo com planta	570	570	570	650	590
	520	630	610	610	590
	Média	545	600	590	630
Solo com planta + NH ₄ ⁺	680	700	630	700	610
	630	680	590	630	570
	Média	655	690	610	665

Experimento I
 QUADRO 7 - N total no solo s. 105°C* + N total planta**

Tratamentos	Tempo (Dias)				
	0	7	14	21	28
Solo com raízes	582	693	625	671	546
	623	568	514	619	596
	Média	602	630	570	645
Solo com raízes + NH ₄ ⁺	707	716	796	799	601
	782	611	704	696	623
	Média	744	664	750	748
Solo com planta	642	661	625	720	646
	576	700	661	696	642
	Média	609	680	643	708
Solo com planta + NH ₄ ⁺	751	840	794	857	759
	693	834	715	762	708
	Média	722	837	754	810

* em mg N/kg de solo

** N total nas raízes ou raízes e partes aéreas existentes no torrão, transformado para mg N por 1 kg de solo.

Experimento I

QUADRO 8 - Peso das raízes (g) secadas a 55°C

Tratamentos	Tempo (Dias)				
	0	7	14	21	28
Solo com raízes	7,6	12,5	3,9	5,6	1,5
	3,2	6,0	4,1	2,6	6,3
	Média	5,4	9,2	4,0	4,1
Solo com raízes + NH ₄ ⁺	5,0	3,0	2,7	6,5	2,1
	5,1	3,6	4,7	3,3	2,8
	Média	5,0	3,3	3,7	4,9
Solo com planta	6,5	8,8	6,4	8,2	7,4
	5,6	7,4	5,8	8,6	6,0
	Média	6,0	8,1	6,1	8,4
Solo com planta + NH ₄ ⁺	5,5	5,7	9,9	9,9	9,0
	7,4	11,7	6,0	8,0	7,7
	Média	6,4	8,7	8,0	9,0

Experimento I

QUADRO 9 - Peso das partes aéreas (g) secadas a 55°C

Tratamentos	Tempo (Dias)				
	0	7	14	21	28
Solo com planta	6,3	9,0	6,4	8,2	9,1
	5,9	8,1	6,9	11,5	9,0
	Médias	6,1	8,6	6,6	9,8
Solo com planta + NH ₄ ⁺	7,2	7,9	9,4	12,2	16,5
	5,2	7,9	8,6	9,6	15,6
	Médias	6,2	7,9	9,0	10,9

Experimento I
 QUADRO 10 - % de N na raiz

Tratamentos	Tempo (Dias)				
	0	7	14	21	28
Solo com raízes	0,62	0,58	0,51	0,51	0,62
	0,51	0,60	0,49	0,47	0,62
	Média	0,56	0,59	0,50	0,49
solo con raízes + NH ₄ ⁺	0,62	0,69	0,82	0,80	0,77
	0,58	0,80	0,71	0,66	0,69
	Média	0,60	0,74	0,76	0,73
Solo com planta	0,66	0,51	0,51	0,49	0,42
	0,68	0,44	0,53	0,53	0,49
	Média	0,67	0,48	0,52	0,51
Solo com planta + NH ₄ ⁺	0,58	0,99	0,88	0,71	0,73
	0,66	0,77	1,00	0,78	0,73
	Média	0,62	0,88	0,94	0,74

Experimento I
 QUADRO 11 - % de N na parte aérea

Tratamentos	Tempo (Dias)				
	0	7	14	21	28
Solo com planta	0,75	0,77	0,66	0,64	0,55
	0,73	0,77	0,62	0,64	0,57
	Média	0,74	0,77	0,64	0,64
Solo com planta + NH ₄ ⁺	0,82	1,61	1,44	1,19	0,91
	0,82	1,46	1,46	1,30	1,00
	Média	0,82	1,54	1,45	1,24

Experimento I

QUADRO 12 - N total na planta (mg N/peso total da raiz)

Tratamentos	Tempo (Dias)				
	0	7	14	21	28
Solo com raízes	47,1	72,5	19,9	28,6	9,3
	16,3	36,0	20,1	12,2	39,1
	Média	31,7	54,2	20,0	20,4
Solo com raízes + NH ₄ ⁺	31,0	20,7	22,1	52,0	16,2
	29,6	28,8	33,4	21,8	19,3
	Média	30,3	24,8	27,8	36,9
Solo com planta	42,9	44,9	32,6	40,2	31,1
	38,1	32,6	30,7	45,6	29,4
	Média	40,5	38,8	31,6	42,9
Solo com planta + NH ₄ ⁺	31,9	56,4	87,1	70,3	65,7
	48,8	90,1	60,0	62,4	56,2
	Média	40,4	73,2	73,6	66,4

Experimento I

QUADRO 13 - N total na planta (mg N/peso total da parte aérea)

Tratamentos	Tempo (Dias)				
	0	7	14	21	28
Solo com planta	47,2	69,3	42,2	52,5	50,0
	43,1	62,4	42,8	73,6	51,3
	Média	45,2	65,8	42,5	63,0
Solo com planta + NH ₄ ⁺	59,0	127,2	135,4	145,2	150,2
	42,6	115,3	125,6	124,8	156,0
	Média	50,8	121,2	130,5	135,0

Experimento II

QUADRO 14 - pH do solo no dia da coleta

Tratamentos	Tempo (Dias)							
	0	2	4	7	14	21	28	35
Solo sem planta	5,8	5,7	5,9	6,0	5,6	6,2	5,6	5,6
	6,1	5,8	6,2	5,8	6,2	6,0	5,6	5,8
	Média 6,0	5,8	6,0	5,9	5,9	6,1	5,6	5,7
Solo sem planta + NH ₄ ⁺	5,6	5,5	5,6	5,4	5,2	5,0	5,0	4,8
	5,7	5,6	5,7	5,6	5,1	5,3	4,8	4,8
	Média 5,6	5,6	5,6	5,5	5,2	5,2	4,9	4,8
Solo sem planta + NO ₃ ⁻	5,6	5,7	5,8	5,8	5,8	5,9	6,0	5,7
	5,9	5,8	5,9	5,8	6,3	5,8	6,4	5,9
	Média 5,8	5,8	5,8	5,8	6,0	5,8	6,2	5,8
Solo com raízes	6,5	6,3	6,3	6,0	6,6	6,5	6,5	5,9
	6,4	6,2	6,2	6,4	6,5	6,6	6,6	6,2
	Média 6,4	6,2	6,2	6,2	6,6	6,6	6,6	6,0
Solo com raízes + NH ₄ ⁺	6,2	6,1	5,9	5,9	5,7	5,4	5,4	5,0
	6,0	6,0	6,3	6,1	5,6	5,3	5,4	4,8
	Média 6,1	6,0	6,1	6,0	5,6	5,4	5,4	4,9
Solo com raízes + NO ₃ ⁻	6,4	6,2	6,0	6,1	6,4	6,6	6,2	6,2
	6,2	6,0	6,4	6,4	6,4	6,2	6,3	5,6
	Média 6,3	6,1	6,2	6,2	6,4	6,4	6,2	5,9
Solo com planta	6,6	6,4	6,4	6,4	6,5	6,5	5,8	5,9
	6,9	6,8	7,0	6,6	6,8	6,5	6,5	6,1
	Média 6,8	6,6	6,7	6,5	6,6	6,5	6,2	6,0
Solo com planta + NH ₄ ⁺	6,2	6,0	5,8	5,5	5,8	5,4	5,4	5,2
	6,3	6,0	6,0	5,7	5,5	5,5	5,1	5,2
	Média 6,2	6,0	5,9	5,6	5,6	5,4	5,2	5,2
Solo com planta + NO ₃ ⁻	6,3	6,4	7,5	6,8	7,7	7,2	6,9	6,5
	6,6	6,5	6,7	7,3	7,7	6,9	6,6	6,4
	Média 6,4	6,5	7,1	7,0	7,7	7,0	6,8	6,4

Experimento II

QUADRO 15 - ppm N-NH₄⁺ no solo seco a 105°C

Tratamentos	Tempo (Dias)							
	0	2	4	7	14	21	28	35
Solo sem planta	4,64 4,75	3,50 3,43	7,02 4,75	9,20 4,37	14,14 8,08	13,82 6,35	16,96 5,29	16,61 4,39
Média	4,70	3,46	5,88	6,78	11,11	10,08	11,02	10,50
Solo sem planta + NH ₄ ⁺	108,58 103,49	108,37 113,29	94,08 95,65	103,88 104,27	92,51 94,52	68,92 83,17	97,22 63,84	66,25 *
Média	106,04	110,83	94,86	104,08	93,52	76,04	80,53	66,25
Solo sem planta + NO ₃ ⁻	5,05 4,50	3,11 3,92	7,25 6,27	4,27 6,60	27,29 17,86	16,12 33,83	12,08 7,24	9,78 8,78
Média	4,78	3,52	6,76	5,44	22,58	24,98	9,66	9,28
Solo com raízes	4,96 4,20	4,31 3,86	3,88 4,51	5,10 6,94	9,29 10,76	12,46 12,46	7,46 8,53	12,08 8,92
Média	4,58	4,08	4,20	6,02	10,02	12,46	8,00	10,50
Solo com raízes + NH ₄ ⁺	100,36 107,70	84,04 79,85	75,92 98,61	81,87 78,08	64,70 91,35	55,14 64,10	52,37 49,94	32,72 24,16
Média	104,03	81,94	87,26	79,98	78,02	59,62	51,16	28,44
Solo com raízes + NO ₃ ⁻	4,02 4,42	4,70 3,76	5,94 6,24	6,24 10,35	10,96 15,51	15,07 19,62	4,52 11,62	9,68 24,92
Média	4,22	4,23	6,09	8,30	13,24	17,34	8,07	17,30
Solo com planta	5,34 7,04	4,27 4,08	4,44 5,59	5,53 7,32	26,36 7,88	8,50 8,76	10,88 9,46	11,47 7,24
Média	6,19	4,18	5,02	6,42	17,12	8,63	10,17	9,36
Solo com planta + NH ₄ ⁺	97,00 94,50	72,76 56,45	20,03 31,91	10,19 12,74	12,86 9,73	35,65 30,28	6,19 56,32	11,28 7,21
Média	95,75	64,60	25,97	11,46	11,30	32,96	31,26	9,24
Solo com planta + NO ₃ ⁻	4,12 4,99	3,56 3,78	5,29 6,33	6,12 8,18	11,57 8,08	13,38 15,86	5,24 7,37	15,03 5,59
Média	4,56	3,67	5,81	7,15	9,82	14,62	6,30	10,31

* amostra perdida

Experimento II

QUADRO 16 - ppm N-NO₃⁻ no solo seco a 105°C

Tratamentos	Tempo (Dias)							
	0	2	4	7	14	21	28	35
Solo sem planta	4,97 2,08	8,32 8,56	3,05 1,02	1,76 9,32	17,29 3,01	0,49 11,55	8,85 17,05	6,44 9,12
Média	3,52	8,44	2,04	5,54	10,15	6,02	12,95	7,78
Solo sem planta + NH ₄ ⁺	4,30 2,20	5,47 6,32	12,54 4,30	17,92 7,50	30,02 37,79	33,04 21,19	48,44 44,35	54,21 28,59
Média	3,25	5,90	8,42	12,71	33,90	27,12	46,40	41,40
Solo sem planta + NO ₃ ⁻	97,68 97,72	99,90 99,96	96,04 95,20	80,48 94,35	95,37 82,19	74,56 102,71	59,34 33,96	68,29 50,62
Média	97,70	99,93	95,62	87,42	88,78	88,64	46,40	59,46
Solo com raízes	1,18 1,82	0,40 1,90	2,11 3,14	3,25 1,89	0,99 2,09	3,12 2,21	1,49 0,74	8,12 7,49
Média	1,50	1,15	2,62	2,57	1,54	2,66	1,12	7,80
Solo com raízes + NH ₄ ⁺	0,94 0,89	3,02 3,16	5,34 5,29	12,09 16,28	40,36 25,98	36,57 39,96	31,51 51,50	26,40 35,22
Média	0,92	3,09	5,32	14,18	33,17	38,26	41,50	30,81
Solo com raízes + NO ₃ ⁻	83,66 79,32	73,92 83,17	73,89 68,71	92,29 72,62	58,29 39,75	73,75 61,88	59,70 65,93	30,11 32,32
Média	81,49	78,54	71,30	82,46	44,02	67,82	62,82	31,22
Solo com planta	1,26 0,64	0,38 0,74	0,69 0,90	0,70 0,45	0,97 0,12	0,39 0,92	0,44 0,87	0,80 0,74
Média	0,95	0,56	0,80	0,58	0,54	0,66	0,66	0,77
Solo com planta + NH ₄ ⁺	1,10 0,53	2,75 2,13	1,73 2,76	1,08 0,42	0,84 0,72	0,74 0,78	0,67 0,32	0,79 0,58
Média	0,82	2,44	2,24	0,75	0,78	0,76	0,50	0,68
Solo com planta + NO ₃ ⁻	84,00 86,75	61,49 61,02	45,47 53,57	30,32 14,07	2,21 3,57	2,54 12,26	0,94 0,94	1,10 0,66
Média	85,38	61,26	49,52	22,20	2,89	7,40	0,94	0,88

Experimento II
 QUADRO 17 - Teor de N mineral (NH_4^+ + NO_3^-) no solo

Tratamentos	Tempo (Dias)									
	0	2	4	7	14	21	28	35		
Solo sem planta	a	4,70	3,46	5,88	6,78	11,11	10,08	11,12	10,50	
	b	3,52	8,44	2,04	5,54	10,15	6,02	12,95	7,78	
	c	8,22	11,90	7,92	12,32	21,26	16,10	24,07	18,28	
Solo sem planta + NH_4^+	106,04	110,83	94,86	104,08	93,52	76,04	80,53	66,25		
	3,25	5,90	8,42	12,71	33,90	27,12	46,40	41,40		
Solo sem planta + NO_3^-	109,29	116,73	103,28	116,79	127,42	103,16	126,93	107,65		
	4,78	3,52	6,76	5,44	22,58	24,98	9,66	9,28		
Solo com raízes	97,70	99,93	95,62	87,42	88,78	88,64	46,40	59,46		
	102,48	103,45	102,38	92,86	111,36	113,62	56,06	68,74		
Solo com raízes + NH_4^+	4,58	4,08	4,20	6,02	10,02	12,46	8,00	10,50		
	1,50	1,15	2,62	2,57	1,54	2,66	1,12	7,80		
Solo com raízes + NO_3^-	6,08	5,23	6,82	8,59	11,56	15,12	9,12	18,30		
	104,03	31,94	87,26	79,98	73,02	59,62	51,16	28,44		
Solo com planta	0,92	3,09	5,32	14,18	33,17	38,26	41,50	30,81		
	104,95	85,03	92,58	94,16	111,19	97,88	92,66	59,25		
Solo com planta + NH_4^+	4,22	4,23	6,09	8,30	13,24	17,34	8,07	17,30		
	81,49	78,54	71,30	82,46	49,02	67,82	62,82	31,22		
Solo com planta + NO_3^-	85,71	82,77	77,39	90,76	62,26	85,16	70,89	48,52		
	6,19	4,18	5,02	6,42	17,12	8,63	10,17	9,36		
Solo com planta + NH_4^+	0,95	0,56	0,80	0,58	0,54	0,66	0,66	0,77		
	7,14	4,74	5,82	7,00	17,66	9,29	10,83	10,13		
Solo com planta + NO_3^-	95,75	64,60	25,97	11,46	11,30	32,96	31,26	9,24		
	0,82	2,44	2,24	0,75	0,78	0,76	0,50	0,68		
Solo com planta + NH_4^+	96,57	67,04	28,21	12,31	12,08	33,72	31,76	9,92		
	4,56	3,67	5,81	7,15	9,82	14,62	6,30	10,31		
Solo com planta + NO_3^-	85,38	61,26	49,52	22,20	2,89	7,40	0,94	0,88		
	89,94	64,93	55,33	29,35	12,71	22,02	7,24	11,19		

a - Média do teor de N-NH_4^+ , em ppm solo seco a 105°C

b - Média do teor de N-NO_3^- , em ppm solo seco a 105°C

Experimento II
 QUADRO 18 - N (NH_4^+ ou NO_3^-) aplicado ao solo no início do experimento*

Tratamentos	Tempo (Dias)									
	0	2	4	7	14	21	28	35		
Solo sem planta + NH_4^+	106,01	107,08	106,29	106,34	105,75	106,64	106,02	106,71		
	105,19	106,28	105,47	106,87	107,07	105,96	105,64	106,24		
Média	105,60	106,68	105,88	106,60	106,41	106,30	105,83	106,48		
Solo sem planta + NO_3^-	105,64	106,36	105,80	105,22	106,05	105,93	106,85	107,48		
	106,06	106,85	106,32	105,97	107,97	106,17	106,62	107,09		
Média	105,85	106,60	106,06	105,60	107,01	106,05	106,74	107,28		
Solo com raízes + NH_4^+	112,03	111,80	109,38	115,97	109,68	110,09	107,17	109,70		
	108,95	113,01	106,82	109,39	117,80	106,50	108,22	109,05		
Média	110,49	112,40	108,10	112,68	113,74	108,30	107,70	109,38		
Solo com raízes + NO_3^-	112,91	110,75	108,88	109,36	113,10	109,87	107,96	109,34		
	112,00	107,49	109,35	109,40	111,42	106,56	108,22	105,80		
Média	112,46	109,12	109,12	109,38	112,26	108,22	108,09	107,57		
Solo com planta + NH_4^+	111,38	110,00	111,25	108,88	109,10	109,74	107,50	109,90		
	112,61	110,12	112,38	110,00	107,04	108,12	111,27	111,29		
Média	112,00	110,06	111,82	109,44	108,61	108,93	109,38	110,60		
Solo com planta + NO_3^-	110,32	110,38	109,50	107,78	113,35	107,31	111,22	111,27		
	110,93	107,11	108,90	108,15	108,75	108,09	110,26	110,15		
Média	110,62	108,74	109,20	107,96	111,05	107,70	110,74	110,71		

* Valores corrigidos para ppm solo seco a 105°C

Experimento II

QUADRO 19 - N total no solo seco a 105°C (mg N/kg solo)

Tratamentos	Tempo (Dias)							
	0	2	4	7	14	21	28	35
Solo sem planta	540	570	540	480	540	480	570	520
	480	570	500	500	590	520	570	590
Média	510	570	520	490	565	500	570	555
Solo sem planta + NH ₄ ⁺	630	700	680	650	630	440	610	520
	570	680	610	590	700	570	570	480
Média	600	690	645	620	665	505	590	500
Solo sem planta + NO ₃ ⁻	630	680	630	570	630	540	520	520
	590	630	630	630	630	650	570	570
Média	610	655	630	600	630	595	545	545
Solo com raízes	540	610	540	500	540	630	630	610
	520	590	540	570	570	570	610	610
Média	530	600	540	535	555	690	620	610
Solo com raízes + NH ₄ ⁺	650	800	700	680	650	740	630	540
	680	720	660	630	680	590	700	630
Média	665	760	680	655	665	665	665	585
Solo com raízes + NO ₃ ⁻	740	820	680	740	590	630	590	630
	720	720	660	650	570	570	570	570
Média	730	770	670	695	580	600	580	600
Solo com planta	570	570	520	520	610	570	440	610
	590	630	500	610	610	540	680	590
Média	580	600	510	565	610	555	560	600
Solo com planta + NH ₄ ⁺	650	610	340	540	700	590	590	610
	630	740	540	680	500	590	480	590
Média	640	675	540	610	600	590	535	600
Solo com planta + NO ₃ ⁻	720	590	570	610	570	590	720	560
	700	700	590	630	650	520	610	610
Média	710	645	580	620	610	555	665	585

Experimento II
 QUADRO 20 - N total solo seco 105°C* + N total planta**

Tratamentos	Tempo (Dias)							
	0	2	4	7	14	21	28	35
Solo com raízes	552	629	548	508	558	643	648	616
	526	603	549	608	590	586	634	629
	Média	539	616	548	558	574	614	641
Solo com raízes + NH ₄ ⁺	660	812	736	693	666	758	643	563
	688	740	674	646	700	600	714	649
	Média	674	776	705	670	683	679	678
Solo com raízes + NO ₃ ⁻	756	830	696	758	610	650	605	642
	729	729	669	673	596	581	590	597
	Média	742	779	682	716	603	616	598
Solo com planta	652	654	583	554	680	634	491	650
	670	685	577	672	677	578	723	634
	Média	661	670	580	613	678	606	607
Solo com planta + NH ₄ ⁺	733	699	717	665	841	747	704	773
	725	806	665	822	611	716	616	746
	Média	729	752	691	744	726	732	660
Solo com planta + NO ₃ ⁻	805	666	679	714	661	714	844	685
	762	782	677	739	758	627	724	730
	Média	784	724	678	726	710	670	784

* - em mg N/kg de solo

** - N total nas raízes ou raízes e partes aéreas existentes no torrão, transformado para mg N por 1 kg de solo.

Experimento II

QUADRO 21 - Peso das raízes (g) secadas a 55°C

Tratamentos	Tempo (Dias)							
	0	2	4	7	14	21	28	35
Solo com raízes	4,2	5,1	2,4	2,2	5,7	3,9	4,7	1,2
	1,7	4,3	2,4	8,2	4,8	3,7	5,4	4,2
	Média	3,0	4,7	2,4	5,2	5,2	3,8	5,0
Solo com raízes + NH ₄ ⁺	4,0	3,0	7,8	3,1	4,2	3,6	2,9	4,4
	2,6	4,5	3,0	3,7	4,6	2,1	2,5	3,7
	Média	3,7	3,8	5,4	3,4	4,4	2,8	2,7
Solo com raízes + NO ₃ ⁻	5,0	2,6	3,3	3,9	4,6	4,2	3,6	2,5
	2,6	1,8	1,8	5,0	6,0	2,0	4,3	4,8
	Média	3,8	2,2	2,6	4,4	5,3	3,1	4,0
Solo com planta	9,5	6,7	7,7	5,0	9,3	9,6	8,0	7,2
	8,6	6,3	8,4	5,8	8,5	4,8	7,7	3,9
	Média	9,0	6,5	8,0	5,9	8,9	7,9	7,8
Solo com planta + NH ₄ ⁺	10,0	7,5	11,6	4,5	9,6	9,3	7,3	13,5
	9,9	7,5	8,7	6,8	6,1	8,9	11,4	15,2
	Média	10,0	7,5	10,2	5,6	7,8	9,1	9,4
Solo com planta + NO ₃ ⁻	11,0	6,2	6,9	6,3	4,4	8,1	8,5	12,5
	5,4	6,8	6,7	6,5	5,6	6,3	9,0	8,2
	Média	8,2	6,5	6,8	6,4	5,0	7,2	8,8

Experimento II

QUADRO 22 - Peso das partes aéreas (g) secadas a 55°C

Tratamentos	Tempo (Dias)							
	0	2	4	7	14	21	28	35
Solo com planta	10,5	13,5	9,4	4,5	10,9	11,4	9,4	8,5
	13,9	9,1	12,5	9,4	11,6	6,7	8,9	10,9
	Média	12,2	11,3	11,0	7,0	11,2	9,0	9,2
Solo com planta + NH ₄ ⁺	11,7	11,0	18,9	11,4	12,0	15,5	15,0	19,8
	12,8	6,8	12,9	14,0	9,3	11,7	16,2	19,1
	Média	12,2	8,9	15,9	12,7	10,6	13,6	15,6
Solo com planta + NO ₃ ⁻	9,0	10,1	13,8	7,8	8,0	14,3	15,4	14,4
	10,3	8,5	8,5	10,4	10,8	11,8	13,0	17,6
	Média	9,6	9,3	11,2	9,1	9,4	13,0	14,2

Experimento II
QUADRO 23 - % de N na raiz

Tratamentos	Tempo (Dias)							
	0	2	4	7	14	21	28	35
Solo com raízes	0,44	0,58	0,51	0,58	0,51	0,51	0,58	0,69
	0,55	0,47	0,57	0,73	0,66	0,66	0,66	0,62
	Média	0,50	0,52	0,54	0,66	0,58	0,58	0,62
Solo com raízes + NH ₄ ⁺	0,33	0,62	0,69	0,62	0,60	0,77	0,69	0,72
	0,50	0,66	0,66	0,69	0,64	0,77	0,84	0,69
	Média	0,42	0,64	0,68	0,66	0,62	0,77	0,76
Solo com raízes + NO ₃ ⁻	0,51	0,62	0,69	0,73	0,66	0,73	0,62	0,69
	0,53	0,80	0,73	0,72	0,67	0,86	0,69	0,79
	Média	0,52	0,71	0,71	0,72	0,66	0,80	0,66
Solo com planta	0,47	0,62	0,57	0,50	0,42	0,44	0,40	0,44
	0,47	0,66	0,45	0,50	0,40	0,51	0,44	0,58
	Média	0,47	0,64	0,51	0,50	0,41	0,48	0,42
Solo com planta + NH ₄ ⁺	0,55	0,74	0,69	1,02	0,77	0,77	0,84	0,74
	0,55	0,66	0,73	0,77	0,80	0,72	0,64	0,69
	Média	0,55	0,70	0,71	0,90	0,78	0,74	0,74
Solo com planta + NO ₃ ⁻	0,62	0,72	0,77	1,02	1,02	0,79	0,79	0,73
	0,64	0,84	0,66	0,66	0,80	0,93	0,74	0,67
	Média	0,63	0,78	0,72	0,84	0,91	0,86	0,76

Experimento II

QUADRO 24 - % de N na parte aérea

Tratamentos	Tempo (Dias)							
	0	2	4	7	14	21	28	35
Solo com planta	0,57	0,64	0,58	0,53	0,55	0,47	0,51	0,36
	0,53	0,50	0,66	0,57	0,55	0,50	0,35	0,45
	Média	0,55	0,57	0,62	0,55	0,55	0,48	0,43
Solo com planta + NH ₄ ⁺	0,51	0,74	1,02	1,17	1,11	1,06	0,80	0,82
	0,62	0,77	1,04	1,08	1,28	1,13	0,86	0,79
	Média	0,56	0,76	1,03	1,12	1,20	1,10	0,83
Solo com planta + NO ₃ ⁻	0,60	0,72	0,86	1,11	1,06	0,89	0,80	0,79
	0,55	0,88	1,17	1,11	1,08	0,93	0,89	0,84
	Média	0,58	0,80	1,02	1,11	1,07	0,91	0,84

Experimento II

QUADRO 25 - N total na planta (mg N/peso total da raiz)

Tratamentos	Tempo (Dias)							
	0	2	4	7	14	21	28	35
Solo com raízes	18,5	29,6	12,2	12,8	29,1	19,9	27,3	8,3
	9,4	20,2	13,7	59,9	31,7	24,4	35,6	26,0
	Média	14,0	24,9	13,0	36,4	30,4	22,2	31,4
Solo com raízes + NH ₄ ⁺	15,8	18,6	53,8	19,2	25,2	27,7	20,0	31,7
	13,0	29,7	19,8	25,5	29,4	16,2	21,0	25,5
	Média	14,4	24,2	36,8	22,4	27,3	22,0	20,5
Solo com raízes + NO ₃ ⁻	25,5	16,1	22,8	28,5	30,4	30,7	22,3	17,2
	13,8	14,4	13,1	36,0	40,2	17,2	29,7	37,9
	Média	19,6	15,2	18,0	32,2	35,3	24,0	26,0
Solo com planta	44,6	41,5	43,9	25,0	39,1	42,2	32,0	31,7
	40,4	41,6	37,8	34,0	34,0	24,5	33,9	22,6
	Média	42,5	41,6	40,8	29,5	36,6	33,4	33,0
Solo com planta + NH ₄ ⁺	55,0	55,5	80,0	45,9	73,9	71,6	61,3	99,9
	54,4	49,5	63,5	52,4	48,8	64,1	73,0	104,9
	Média	54,7	52,5	71,8	49,2	61,4	67,8	67,2
Solo com planta + NO ₃ ⁻	68,2	44,6	53,1	64,3	44,9	64,0	67,2	91,2
	34,6	57,1	44,2	42,9	44,8	58,6	66,6	54,9
	Média	51,4	50,8	48,6	53,6	44,8	61,3	66,9

Experimento II

QUADRO 26 - N total na planta (mg N/peso total da parte aérea)

Tratamentos	Tempo (Dias)							
	0	2	4	7	14	21	28	35
Solo com planta	59,8	86,4	54,5	23,8	60,0	53,6	47,9	30,6
	73,7	45,5	82,5	53,6	63,8	33,5	31,2	49,1
	Média	66,8	66,0	68,5	38,7	61,9	43,6	39,6
Solo com planta + NH ₄ ⁺	59,7	81,4	192,8	133,4	133,2	164,3	120,0	162,4
	79,4	52,4	134,2	151,2	119,0	132,2	139,3	150,9
	Média	69,6	66,9	163,5	142,3	126,1	148,2	129,7
Solo com planta + NO ₃ ⁻	54,0	72,7	118,7	86,6	84,8	127,3	123,2	113,8
	56,6	74,8	99,4	115,4	116,6	109,7	115,7	147,8
	Média	55,3	73,8	109,0	101,0	100,7	118,5	119,4

Experimento II

QUADRO 27 - Atividade da nitrito redutase
($\mu\text{moles N-NO}_2^-/\text{g}$ de matéria verde/hora de incubação)

Tratamentos	Tempo (Dias)						
	0	2	4	7	14	28	35
Solo com planta	0,192	0,368	0,176	0,006	0,078	0,182	0,088
Média	0,101	0,221	0,129	0,028	0,073	0,1580	0,158
Solo com planta + NH_4^+	0,146	0,294	0,152	0,017	0,076	0,170	0,123
Média	0,192	0,429	0,546	0,711	0,118	0,217	0,493
Solo com planta + NO_3^-	0,181	0,423	0,522	0,918	0,157	0,305	0,934
Média	0,186	0,426	0,534	0,814	0,138	0,261	0,414
Solo com planta + NO_3^-	0,432	0,570	0,839	0,532	0,146	0,364	0,205
Média	0,571	0,638	1,068	0,392	0,202	0,159	0,153
Média	0,502	0,604	0,954	0,462	0,174	0,262	0,182