MINERALIZAÇÃO E IMOBILIZAÇÃO DO NITROGÊNIO EM SOLO SUPLEMENTADO COM TORTA DE FILTRO DE USINA DE AÇÚCAR DE CANA E CARBONATO DE CÁLCIO

SUELI DOS SANTOS FREITAS

Orientador : Dr. CAIO OCTÁVIO NOGUEIRA CARDOSO

Dissertação apresentada à Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Mestre em Agronomia. Área de concentração : Microbiologia Agrícola.

PIRACICABA
Estado de São Paulo - Brasil
Novembro - 1985

À minha mãe,

DEDICO.

AGRADECIMENTOS

Ao Dr. Caio Octávio Nogueira Cardoso a introdução à pesquisa e o estímulo e a amizade de tantos anos.

Ao Dr. Eli Sidney Lopes, da Seção de Microbiologia do Solo do Instituto Agronômico, a amizade e as sugestões.

Aos Drs. Otávio Antonio de Camargo e Heitor Cantarella, das Seções de Pedologia e Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas do Instituto Agronômico, as muitas sugestões.

À Dr^a Violeta Nagai, da Seção de Técnica Experimental e Cálculo do Instituto Agronômico, o auxílio na análise estatística.

Ao Instituto Agronômico.

À Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico.

Ao Convênio IAC/MIC/STI/FUNAT.

E, finalmente, com muito carinho, aos companheiros todos da Seção de Microbiologia do Solo do Instituto Agronômico: citá-los nominalmente seria uma longa lista e agradecer-lhes à altura, impossível.

Í N D I C E

	<u>página</u>
RESUM●	vi
SUMMARY	ix
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1. Efeito da Adição de Matéria Orgânica ao Solo sobre a Mineralização e a Imobilização do Ni- trogênio.....	3
2.2. Efeito da Calagem sobre a Mineralização e a Imobilização do Nitrogênio	9
2.3. Efeito de Fatores do Ambiente sobre a nitrifi- cação	10
2.4. Efeito de Fatores do Ambiente sobre a Micro- flora atuante na Mineralização do Nitrogênio e Nitrificação	14
3. METODOLOGIA	18
3.1. Teste da Metodologia para Quantificação dos Microrganismos Nitrificadores no Solo	18
3.2. Efeito da Torta de Filtro e do CaCO_3 sobre a Mineralização e a Imobilização do Nitrogênio do Solo e sobre a Nitrificação	21
3.3. Efeito da Torta de Filtro e do CaCO_3 sobre a Mineralização e a Imobilização do Nitrogênio do Solo e sobre a Nitrificação, em Presença de Nitrogênio Adicionado	25

3.4. Delineamento Experimental e Análises Estatísticas	25
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
4.1. Teste de Metodologia para Quantificação dos Microrganismos Nitrificadores no Solo	26
4.2. Efeito da Torta de Filtro e do CaCO_3 sobre a Mineralização e Imobilização do Nitrogênio do Solo e sobre a Nitrificação	30
4.3. Efeito da Torta de Filtro e do CaCO_3 sobre a Mineralização e Imobilização do Nitrogênio do solo e sobre a Nitrificação, em presença de Nitrogênio Adicionado	41
5. CONCLUSÕES	52
6. LITERATURA CITADA	54
7. APÊNDICE	62

MINERALIZAÇÃO E IMOBILIZAÇÃO DO NITROGÊNIO EM SOLO
SUPLEMENTADO COM TORTA DE FILTRO DE USINA
DE AÇÚCAR DE CANA E CARBONATO DE CÁLCIO

Candidata: Sueli dos Santos Freitas

Orientador: Dr. Caio Octávio Nogueira Cardoso

R E S U M O

Conduziram-se dois experimentos de inação de solo em casa de vegetação utilizando amostras de Latossolo Vermelho-Escuro, com o objetivo de estudar o efeito da aplicação do resíduo orgânico da indústria de açúcar e do carbonato de cálcio sobre a mineralização e imobilização do nitrogênio no solo. O solo foi passado em peneira com malha de 2 mm. Em um dos experimentos adicionou-se ao solo uma solução de NH_4NO_3 para fornecer 161 ppm de N e no outro o solo foi mantido natural. Em ambos os experimentos foram testados quatro tratamentos: sem e com adição de torta de filtro (equivalente a 40 t de torta seca/ha), sem e com adição de CaCO_3 (equivalente a 7,2 t/ha). As amostragens foram feitas aos 0, 10, 30, 50, 70 e 90 dias de incubação. Em cada amostragem analisaram-se os teores de N-NH_4^+ e N-NO_3^- e estimaram-

-se os números mais prováveis de microrganismos amonificadores e nitrificadores.

No experimento sem adição de nitrogênio, nos tratamentos com torta de filtro o teor de N-NH_4^+ + N-NO_3^- após 10 dias de incubação foi praticamente zero, enquanto que nos tratamentos sem torta era 12 ppm. No tratamento com torta e sem CaCO_3 esse teor zero de N-NH_4^+ + N-NO_3^- manteve-se pelos 90 dias que durou o experimento, enquanto que no tratamento com torta e com CaCO_3 , após os 30 dias de incubação, esse teor subiu para aproximadamente 7 ppm, em média, mantendo-se até o final do experimento.

No experimento com adição de nitrogênio, somente se observou efeito da torta na imobilização do nitrogênio aos 50 e aos 90 dias de incubação. Nessas duas épocas, os tratamentos com torta apresentaram cerca de 2/3 do teor de N-NH_4^+ + N-NO_3^- contido nos tratamentos sem torta (250 ppm, em média).

Em ambos os experimentos, não se detectou efeito significativo de qualquer dos tratamentos sobre as populações de microrganismos amonificadores e nitrificadores.

Também foi observada a ocorrência de nitrificação fotoquímica em meio de cultura para microrganismos nitrificadores, constatando-se a presença de NO_2^- em meio com

viii.

pleto em nutrientes e esterilizado, após 2 semanas de incubação em condições de laboratório.

NITROGEN MINERALIZATION AND IMMOBILIZATION
IN SOIL AMENDED WITH SUGAR MILL FILTER
AND CALCIUM CARBONATE

Candidate: Sueli dos Santos Freitas
Adviser: Dr. Caio Octávio Nogueira Cardoso

S U M M A R Y

Two incubation experiments were carried out in a greenhouse, with the objective of studying the effect of the application of a sugar cane-processing organic residue and of lime on mineralization and immobilization of nitrogen in soil. The soil used was a Red-Dark Latosol crusted to pass a 2 - mm sieve. In one experiment the soil was treated with a solution containing 161 ppm N, and in the other, no N was added. In both trials four treatments were applied: with or without addition of Oliver-filter cake from sugar-cane mill (equivalent to 40 t/ha of dry cake), and with or without addition of CaCO_3 (equivalent to 7.2 t/ha). Samples were taken at 0, 10, 30, 50, 70 and 90 days of incubation. The

concentration of NH_4^+-N and NO_3^--N , and the most probable number of ammonifying and nitrifying microorganisms were evaluated in each sampling.

In the experiment with no N added, the concentration of NH_4^+-N plus NO_3^--N was practically zero after 10 days of incubation, where Oliver-filter cake was applied, whereas the concentration of these N forms increased to 12 ppm in the treatments without cake. Application of Oliver-filter cake without CaCO_3 caused the concentration of NH_4^+-N plus NO_3^--N to remain close to zero up to the end of the 90-day incubation period; with the addition of cake and CaCO_3 the values of soil inorganic N increased to an average of 7 ppm and were kept constant until the end of the experiment.

In the trial in which N was added, the application of Oliver-filter cake caused immobilization of N only after 50 and 90 days of incubation. In both these periods, the treatment with cake had about 2/3 of the amount of NH_4^+-N plus NO_3^--N that was present in the treatments without cake (average of 250 ppm).

In both experiments, application of filter cake and CaCO_3 didn't increase significantly the population of ammonifying neither nitrifiers microorganisms.

Photochemical nitrification was observed in

culture medium for nitrifying microorganisms; the presence of NO_2^- in sterilized, nutrient complete medium was noticed after 2 weeks of incubation under laboratory condition.

1. INTRODUÇÃO

A torta de filtro, resíduo da indústria álcool-açucareira, traz consigo o problema de sua disposição no ecossistema. Uma das recomendações é a sua disposição no solo, visando à diminuição dos gastos com fertilizantes (COPERSUCAR, s.d.). Quando se adiciona material orgânico ao solo o mesmo é mineralizado pela ação dos microrganismos, que liberam ao solo os elementos contidos no material em decomposição. Há intensa proliferação microbiana, uma vez que o carbono orgânico é fonte de energia para a maioria dos microrganismos (ALEXANDER, 1961). Com essa multiplicação, a população de microrganismos passa a requerer maiores quantidades de nutrientes para a formação de seu protoplasto, inclusive de nitrogênio. Ocorre que as plantas são más competidoras em relação aos microrganismos, sendo que estes satisfazem em primeiro lugar sua própria necessidade de nutrientes, liberando para o solo apenas o nitrogênio em excesso. Esse fenômeno

de conversão do nitrogênio mineral, ou de qualquer outro nutriente, à formas orgânicas retidas na biomassa dos microrganismos é chamado imobilização microbiana (BARTHOLOMEW, 1965).

A imobilização ocorre simultaneamente com a mineralização, e ambas representam fenômenos opostos. A quantidade de nitrogênio do material em decomposição é que determinará, primariamente, se ocorrerá liberação do nutriente para o solo ou sua imobilização na biomassa microbiana (BARTHOLOMEW, 1965). Pode mesmo ocorrer deficiência de nitrogênio para as plantas, dependendo do resíduo aplicado (ASGHAR e KANEHIRO, 1976). A torta de filtro, que tem em média 1,51% de nitrogênio (COPERSUCAR, s.d.), encontra-se pouco acima da faixa crítica apontada por BATHOLOMEW (1965), que diz que resíduos com 1 a 1,3% de nitrogênio podem ou não levar à imobilização desse nutriente.

O amônio liberado ao solo pela mineralização, além de estar sujeito à imobilização, também pode ser oxidado a nitrato, no processo denominado nitrificação.

O objetivo deste trabalho é verificar se ocorre imobilização de nitrogênio quando da adição de torta de filtro e CaCO_3 ao solo, correlacionando-se esse processo com o número de microrganismos amonificadores presentes nesse solo, em diversas épocas de amostragem, bem como a variação numérica da população de nitrificadores.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 - Efeito da Adição de Matéria Orgânica ao Solo Sobre A Mineralização e Imobilização do Nitrogênio

A mineralização do nitrogênio contido em resíduos adicionados ao solo, uma vez que é levada a efeito por microrganismos do solo, é influenciada por inúmeros fatores que afetam essa microflora, tais como: presença de oxigênio (BROADBENT e NAKASHIMA, 1970), concentração hidrogeniônica (JENSEN, 1929; EDMEADES *et alii*, 1981), umidade (MYERS *et alii*, 1982), temperatura (CASSMAN e MUNN, 1980), quantidade de nitrogênio no resíduo incorporado (BROADBENT e NAKASHIMA, 1970) e quantidade de micronutrientes no solo ou no resíduo (PREMI e CORNFIELD, 1969), entre outros.

A imobilização de nitrogênio, ocorrendo simultaneamente à mineralização mas em sentido oposto, depende,

em princípio, da quantidade de nitrogênio do material em decomposição (BROADBENT e NAKASHIMA, 1970). BARTHOLOMEW (1965) afirma que resíduos com mais que 2% de nitrogênio liberam esse nutriente para o solo, resíduos com 1 a 1,3% de nitrogênio podem ou não levar à imobilização e resíduos com menos que 0,75% de nitrogênio podem exigir adição do nutriente para a sua decomposição. Alguns autores também se referem à relação carbono/nitrogênio (C/N) do material. Todavia, Norman (1933), citado por BARTHOLOMEW (1965), assinala que "a decomposição depende diretamente da relação C/N do material somente no caso incomum de todo o carbono e todo o nitrogênio serem prontamente disponíveis". Contudo, essa forma de expressão continua sendo usada, sem que se comprometam as inferências feitas.

De qualquer maneira, a taxa de mineralização é o fator primário que controla a disponibilidade do nitrogênio (CASSMAN e MUNN, 1980), dependendo da predominância de um dos dois processos, mineralização e imobilização, sobre o outro.

A adição de materiais orgânicos ao solo estimula a decomposição da matéria orgânica do próprio solo (BROADBENT e NAKASHIMA, 1974). Nesse caso, o nitrogênio do solo também é mineralizado e tornado disponível às plantas, processo que pode ser acentuado pela adição de fertilizantes

nitrogenados, segundo GANRY *et alii* (1978). Os mesmos autores consideram que o nitrogênio do solo tem um papel pelo menos tão importante quanto o do fertilizante nitrogenado sobre a produtividade. WÓJCIK-WOJTKOWIAK (1978) observou que a mineralização do nitrogênio do solo foi mais rápida e em maior quantidade que a do contido em palha de aveia, incorporada em quantidade equivalente a 20 t/ha.

A predominância da imobilização pode levar as plantas a deficiência de nitrogênio (ASGHAR e KANEHIRO, 1976), tendo sido observada nas mais diferentes condições. O nitrogênio imobilizado na biomassa microbiana pode ser remineralizado. Assim, a adição de materiais que favoreçam a imobilização poderia ser interessante, na medida em que o nitrogênio seria liberado lentamente. FORTUN e HERNANDO (1981a, 1981b) obtiveram maiores rendimentos de sorgo e cevada pela aplicação de 6.000 kg de palha de cereais por hectare complementada com 60 kg de N/ha, quando comparado a tratamentos sem adição de palha, atribuindo os benefícios obtidos à lenta liberação do nitrogênio imobilizado. No entanto, a liberação do nitrogênio imobilizado nem sempre pode ser esperada dentro de curtos intervalos de tempo (STOJANOVIC e BROADBENT, 1956): a incorporação de cerca de 67 toneladas de restos de cultura de abacaxi por hectare, com relação C/N = 95,9, resultou na diminuição da quantidade de nitrogênio disponível no solo

durante as primeiras 23 semanas de incubação, só vindo a aumentar durante as 12 últimas semanas (TAM e MAGISTAD, 1936); é claro que a relação C/N do material incorporado era alta, sendo esperado imobilização. KANAMORI e YASUDA (1979) apontaram $C/N = 20$ como sendo a relação crítica acima da qual há imobilização. Esses mesmos autores, entretanto, adicionando turfa e N mineral ao solo, acharam de pequena magnitude a transformação do nitrogênio adicionado a nitrogênio orgânico, concluindo que a turfa não é facilmente decomponível por microrganismos. Isso confirma o conceito expresso por Norman (1933), citado por BATHOLOMEW (1965), de que a decomposição do material orgânico depende da disponibilidade do carbono e do nitrogênio. Parece ter sido esse o fator que levou à lenta mineralização do nitrogênio contido em cevada observada por BROADBENT e NAKASHIMA (1974), que adicionaram o equivalente a 20 t de parte aérea de cevada por hectare, com uma relação $C/N = 17,1$, isto é, abaixo da relação anteriormente mencionada como crítica, e observaram que apenas 46% do nitrogênio foi mineralizado em cinco anos.

A incorporação de palha pode resultar, em alguns casos, em menor eficiência do fertilizante mineral nitrogenado (GANRY *et alii*, 1978), devido à imobilização, existindo efeito favorável da adição de nitrogênio sobre a decomposição da matéria orgânica incorporada (WÓJCIK-WOJTOKOWIAK, 1978). KANAMORI e YASUDA (1979) incorporaram palha de arroz

(C/N = 56) ao solo, isoladamente ou suplementada com NO_3^- suficiente para baixar a relação C/N para 25; no tratamento com adição de NO_3^- foi acelerada a evolução de CO_2 resultante da decomposição da palha. Já no trabalho de LEUKEN *et alii* (1962), a adição de NH_4NO_3 diminuiu a taxa de decomposição do solo dos seguintes resíduos, medida pela evolução de CO_2 : palha de trigo (C/N = 59,8; 0,787% de N), alfafa (C/N = 19,0; 2,378% de N) e glicose (40% de C e 0% de N). No tratamento com celulose (41% de C e 0% de N) o nitrogênio adicionado aumentou a taxa de evolução de CO_2 .

O aumento na taxa de decomposição da matéria orgânica, isto é, o aumento da atividade microbiana, corresponde a um acréscimo na imobilização de nitrogênio quanto o mesmo é aplicado ao solo (MUNDRA *et alii*, 1973). MUNDRA *et alii* (1973) observaram imobilização de nitrogênio até os 90 dias depois da aplicação de esterco (C/N = 36,9); depois desse período, houve acúmulo de N mineral nas amostras com esterco + fertilizante nitrogenado, possivelmente devido ao estreitamento da relação C/N.

O nitrogênio liberado ou imobilizado vai se refletir no crescimento das plantas. GANRY *et alii* (1978) constataram que a incorporação de palha (a 0; 7,5 e 30 t/ha) diminuiu a produção de grãos e de matéria seca de painço, atribuindo esse fato à imobilização do nitrogênio. A aplicação de palha também resultou em depressões na produção de matéria seca e

absorção de N por plantas de *Lolium multiflorum*, no trabalho de SCHERER e MENGEL (1981), refletindo o teor de NO_3^- no mesmo solo previamente incubado com diferentes quantidades de palha. KANAMORI e YASUDA (1979) também pré-incubaram solo com diferentes materiais orgânicos por 0, 45 e 90 dias, depois do que cultivaram centeio por 18 dias nesses solos. No tratamento com palha de arroz (C/N = 56), o N absorvido diminuiu até os tratamentos com 45 dias de pré-incubação, começando a aumentar aos 90 dias, fato para cuja explicação os autores lembram a remineralização do nitrogênio imobilizado. Para os outros materiais, diferentes restos de diversas madeiras com relações C/N de 76, 268 e 679, houve decréscimo na absorção de N aos 90 dias, possivelmente pela dificuldade no ataque desses materiais pelos microrganismos.

Existe uma inter-relação entre mineralização/imobilização e perdas de nitrogênio solo por desnitrificação. GANRY *et alii* (1978) constataram que a incorporação de palha aumentou as perdas de nitrogênio, principalmente por desnitrificação, enquanto que CRASWELL (1978) observou o contrário, isto é, a diminuição da desnitrificação em presença de palha, justificando esse fato pela remoção de NO_3^- através da imobilização. A imobilização de nitrogênio é menos acentuada em condições de anaerobiose (BROADBENT e NAKASHIMA, 1970), as quais favorecem a desnitrificação. BROADBENT e NAKASHIMA, 1970) verificaram que a taxa inicial de imobilização

foi maior nas amostras aeróbicas mas a imobilização continuou por maior período nas amostras incubadas anaerobicamente. Explicam esse fato, em parte, pela manutenção do NH_4^+ , a forma preferida pelos microrganismos do solo (MUNDRA *et alii*, 1973), num nível mais alto, enquanto que nos solos aerados o NH_4^+ é convertido mais rapidamente a NO_3^- , que também é o substrato para a desnitrificação.

2.2. Efeito da Calagem sobre a Mineralização e a Imobilização do Nitrogênio

JENSEN (1929) afirma que a concentração hidrogeniônica do solo tem influência sobre a mineralização do nitrogênio. A mineralização do próprio nitrogênio do solo é aumentada pela calagem, segundo NYBORG e HOYT (1978). Esses autores incubaram 40 solos diferentes, a 28°C , com a umidade mantida próximo da capacidade de retenção de água. Os solos foram incubados em ausência ou presença de $\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{Mg}(\text{OH})_2$ de maneira a elevar o valor do pH para 6,7. Observaram que, em média, a calagem dobrou a quantidade de nitrogênio mineralizado, após 56 dias de incubação. EDMEADES *et alii* (1981) também observaram aumento da mineralização de nitrogênio causado pela adição de CaCO_3 . Esses autores trabalharam com dois solos, com valores de pH iniciais de 5,3 e 5,1, utilizando tratamen

tos com adição de 1, 3, 5 e 10 t de CaCO_3 /ha ou sem a adição desse sal e plantando *Lolium perenne* em todos os tratamentos. Depois de oito semanas de incubação as plantas dos tratamentos sem CaCO_3 apresentavam nítidos sintomas de deficiência de nitrogênio. Os autores explicaram a resposta observada na produção de matéria seca de *Lolium perenne* à calagem pelo aumento na mineralização de nitrogênio.

2.3 - Efeito de Fatores do Ambiente sobre a Nitrificação

Além da imobilização, um outro destino do NH_4^+ produzido na mineralização é a sua oxidação a NO_3^- , a nitrificação, levada a efeito quase que exclusivamente por bactérias quimiolitotróficas. A passagem de NH_4^+ a NO_2^- é feita por bactérias dos gêneros *Nitrosomonas*, *Nitrosolobus* e *Nitrosospira*, principalmente, e a passagem de NO_2^- a NO_3^- pelas do gênero *Nitrobacter*. Existem microrganismos quimiorganotróficos que realizam a nitrificação (ISHAQUE e CORNFIELD, 1974), mas em escala bem menor. Há também algumas menções à nitrificação fotoquímica, isto é, a oxidação química do NH_4^+ a NO_3^- catalisada pela luz, fenômeno de ocorrência bastante controversa (DOMMERGUES e MANGENOT, 1970). Alguns autores (BARTHOLOMEW e CLARK, 1965; BUCKMAN e BRADY, 1967; LEES e QUASTEL, 1946) referem-se à existência de fotonitrificação em solos, dizendo apenas que, se esse fenômeno ocorrer, deve ser de pouca sig-

nificância. VIRTANEN (1952) discute a origem dos óxidos de nitrogênio na atmosfera, comentando que somente uma pequena proporção do nitrito e do nitrato encontrados em precipitações pluviométricas é formada por descargas elétricas a partir de N molecular e que a fixação fotoquímica do N deve ser da maior importância para esse fenômeno. ERIKSSON (1952) cita que as quantidades de nitrato são maiores nos trópicos, a intensa radiação ultra-violeta liberando a energia de ativação necessária. O ozônio poderia ser o oxidante da molécula de amônio. ALLEN (1949) diz que sais de amônio, em solos tropicais, na presença de luz solar e de vários foto-sensibilizadores ou catalisadores (TiO_2 , ZnO , CdO , $\text{Na}_2\text{U}_2\text{O}_7$, Al_2O_3 , MgO), sofrem oxidação a NO_2^- e NO_3^- . Na ausência dos catalisadores a reação é muito menos pronunciada ou não ocorre.

A nitrificação biológica também sofre influência de diversos fatores ambientais: macronutrientes (ALEXANDER, 1961), concentração de oxigênio (AMER e BARTHOLOMEW, 1951), temperatura (ANDERSON e BOSWELL, 1964), tensão osmótica (JOHNSON e GUENZIE, 1963), micronutrientes (PREMI e CORNFIELD, 1969), concentração de NH_4^+ e/ou NO_3^- (ANDERSON e BOSWELL, 1964) e matéria orgânica (SCHERER e MENGEL, 1981), entre outros.

Todavia, dos fatores ambientais que exercem efeito sobre a nitrificação, o mais estudado parece ser a concentração hidrogeniônica do solo. A faixa de valores de pH

em que ocorre a nitrificação é bastante ampla: Meek e Lipman (1922), citados por WEBER e GAINNEY (1962), encontraram nitrificadores ativos a valores de pH 4,1 e 13; Gaasder e Hagem (1925), citados por WEBER e GAINNEY (1962), situaram os valores mínimos de pH em que a nitrificação ocorre como estando entre 3,9 e 4,5. VENKATAKRISHNAN (1980) observou acúmulos de NO_2^- e NO_3^- em maior quantidade num solo com valor de pH=10,65 que num outro com valor 8,3.

De maneira geral, a nitrificação é mais intensa em solos com valores de pH próximos da neutralidade (NYBORG e HOYT, 1978; WICKRAMASINGHE *et alii*, 1985). Já foi observada relação entre a porcentagem de saturação em bases e em Ca e a nitrificação (NAFTEL, 1931), aumentando a intensidade da última com o aumento das duas primeiras. Em trabalho realizado por SANDANAM *et alii* (1978), a adição do equivalente a 2,8 t de CaCO_3 por hectare elevou o valor de pH de 4,0 para 5,2 e triplicou a nitrificação; com a aplicação do dobro de CaCO_3 , houve elevação do valor de pH para 6,0 e ainda se observou aumento da nitrificação. Num outro solo, considerado "mais pobre" pelos autores, a primeira dose de CaCO_3 elevou o valor de pH para 6,0, havendo ligeiro aumento na intensidade da nitrificação; com a segunda dose, o valor de pH foi para 6,5, resultando em ligeira depressão da nitrificação. Os autores concluíram que não é apenas a concentração hidrogênio

niônica do solo que determina a taxa de nitrificação nos solos ácidos. A conclusão semelhante chegaram WEBER e GAINNEY (1962): a adição de 0,05% de CaCO_3 , que não alterou significativamente o valor de pH do solo (foi de 4,8 para 5,0, estabilizando-se novamente em 4,8) aumentou o acúmulo de NO_3^- em 63%. Esse fato sugere que a redução da concentração de H^+ pela aplicação de CaCO_3 não explica totalmente o efeito benéfico do CaCO_3 sobre a nitrificação. Somente o Ca^{++} também não é significativamente efetivo, uma vez que Ca^{++} aplicado como CaSO_4 ou CaHPO_4 em quantidade equivalente não resultou em aumento de NO_3^- .

Fertilizantes nitrogenados também têm efeito sobre a nitrificação, sendo que o equivalente a 1 t de $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ por hectare foi encontrado como retardando ou inibindo completamente a nitrificação (WEBER e GAINNEY, 1962). BROADBENT *et alii* (1957) constatarem inibição da nitrificação em solos inicialmente ácidos (valores de pH: 5,4, 5,6 e 6,4) quando se adicionaram 800 ppm de NH_4^+ . Num solo com o valor inicial de pH igual a 7,4, a mesma quantidade de NH_4^+ também inibiu a nitrificação. Em solos inicialmente alcalinos (valores de pH: 7,6, 8,0 e 8,1) houve acúmulo de NO_2^- , que depois desapareceu com correspondentes aumentos nos conteúdos de NO_3^- . Esse acúmulo de NO_2^- foi explicado como inibição das bactérias do gênero *Nitrobacter* pelo NH_4^+ .

Há algumas explicações para inibição da nitrificação depois da aplicação de fertilizantes amoniacais (BROADBENT *et alii*, 1957):

- 1) Valor de pH muito alto devido à aplicação de materiais alcalinos; todavia não se conhece um valor máximo de pH que limite a ocorrência da nitrificação.
- 2) Valor de pH muito baixo devido à formação de ácidos nítrico e nitroso. Solo próximo do local onde se aplicou fertilizante pode ficar muito ácido, como resultado até da própria nitrificação, sem que o resto do solo seja tão profundamente afetado.
- 3) Presença de NH_4^+ livre inibindo *Nitrobacter*, acumulando-se NO_2^- . Condições agudas poderiam inibir a transformação do NH_4^+ a NO_2^- .
- 4) Efeito de sais, resultando em concentrações altas demais para atividade ótima das bactérias nitrificadoras.

2.4 - Efeito de Fatores do Ambiente sobre a Microflora atuante na Mineralização do Nitrogênio e Nitrificação

Os processos de mineralização/imobilização de nitrogênio e nitrificação, em sua maior parte, refletem as

alterações sofridas pelas populações microbianas por eles responsáveis. A mineralização ocorre nas mais variadas condições, pela diversidade da microflora que nela atua. As bactérias geralmente liberam menos amônio que os fungos, uma vez que o protoplasto das primeiras tem uma relação C/N menor que o dos últimos (4,5 e 37,3 , respectivamente, segundo VAN VEEN e PAUL, 1979). Em presença de NH_4^+ e NO_3^- , os microrganismos utilizam preferencialmente o primeiro (BROADBENT e NAKASHIMA, 1970; MUNDRA *et alii*, 1973). Pode haver fases "lag" na atividade das populações dos microrganismos responsáveis por amonificação e nitrificação, principalmente em solos sub-superficiais, onde a sua população é menor. Essas fases podem influenciar a taxa de mineralização de nitrogênio (STANFORD *et alii*, 1974).

Dada a diversidade da microflora atuante na mineralização, este fenômeno não é tão afetado por certas variações nas condições ambientais. Assim, EDMÉADES *et alii* (1981) constataram que a calagem (aplicação de 0, 1, 3, 5 e 10 toneladas de CaCO_3 por hectare) não exerceu efeito sobre as populações de bactérias aeróbicas e proteolíticas e fungos. SARATHCHANDRA (1978) observou que, independentemente dos valores de pH, as populações de bactérias amonificadoras decuplicaram em uma semana de incubação. Todavia, com valores de pH de 5,5, os números desses microrganismos eram da ordem de 10^3 /g de solo, enquanto que com valores de pH de 7,5, da

ordem de 10^4 /g de solo.

Os nitrificadores quimiolitotróficos, um grupo mais restrito de organismos, parecem estar mais dependentes das condições ambientais. No trabalho de SARATHCHANDRA (1978), quando se alteraram os valores de pH de 7,5 para 5,5, a população de oxidadores de NH_4^+ diminuiu de 12 a 14 vezes e a de oxidadores de NO_2^- , de 5 a 7 vezes. EDMÉADES *et alii* (1981) observaram aumento nas populações de nitrificadores, de maneira geral, com o aumento nas doses de CaCO_3 aplicadas.

A adição de fertilizantes exerceu influência na população de nitrificadores em solos sob floresta de *Pinus*, segundo MARTIKAINEN (1985). Os fertilizantes haviam sido aplicados dois anos antes das amostragens feitas. No tratamento sem fertilizantes a contagem de nitrificadores pelo método do número mais provável (NMP) não indicou a presença de nenhum desses microrganismos. A aplicação de NH_4NO_3 resultou em algum aumento, quando a população se apresentou na ordem de 10^2 /g de solo, em algumas amostragens. A uréia foi o que mais estimulou a população, que se manteve, aproximadamente, entre 10^4 e 10^5 microrganismos por grama de solo.

A adição de torta de filtro ao solo como complementação aos fertilizantes minerais foi recomendada pela COPERSUCAR (s.d.) para a cultura da cana, afirmando esse órgão que a adição de 5 t de matéria seca de torta fornece, em

média, 70 kg de N, 97 kg de P_2O_5 e 20 kg de K_2O por hectare. Todavia, sua relação C/N próxima da crítica (26,4) em que ocorre imobilização de nitrogênio faz esperar que nem todo o nitrogênio contido na torta seja liberado ao solo e tornado disponível às plantas, podendo ser necessária, para a sua decomposição, a adição de fertilizantes nitrogenados. Uma vez que a decomposição da torta, levando à mineralização/imobilização de nitrogênio, está diretamente ligada à atividade microbiológica, o conhecimento da variação da população microbiana ligada a esses fenômenos torna-se interessante. Isso está de acordo com o que diz MARTIKAINEN (1985), para quem os efeitos do manejo de florestas sobre a nitrificação são melhor indicados pela contagem de nitrificadores que por incubação de solo, particularmente em solos imobilizando nitrogênio ativamente. Nesse trabalho, o autor usou o método do NMP, de largo emprego em microbiologia do solo, que, apesar de ser pouco preciso (ALEXANDER, 1965), é prático por não exigir equipamento sofisticado.

3. METODOLOGIA

3.1 - Teste da Metodologia para Quantificação dos Microrganismos Nitrificadores no Solo

Usou-se o método do número mais provável (NMP), que tem suporte estatístico no trabalho de HALVORSON e ZIEGLER (1932) e que se baseia na diluição à extinção.

O meio de cultura foi o indicado por PRAMER e SCHMIDT (1964), cuja composição segue abaixo:

$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$		0,5 g
Na_2HPO_4		13,5 g
KH_2PO_4		0,7 g
$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$		0,1 g
NaHCO_3		0,5 g
$\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$		0,014 g
$\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$		0,018 g
H_2O destilada		1.000 ml

Antes da instalação dos experimentos propriamente ditos, foram feitos testes de metodologia para a quantificação dos nitrificadores. Utilizou-se para os testes o mesmo solo a ser usado nos experimentos. Fizeram-se diluições de solo de 10^{-1} a 10^{-5} , transferindo-se 1 ml de cada diluição para 10 tubos de ensaio com o meio indicado, incubando-se metade dos tubos em condições de laboratório e metade em incubadora a 28°C , sem agitação.

O período de incubação foi de 10 semanas, de acordo com SCHMIDT e BELSER (1982), que recomendam incubação de pelo menos 6 semanas e avaliações da presença de NH_4^+ , NO_2^- e NO_3^- semanalmente até que não haja mudança no número de tubos de ensaio com reação positiva para esses íons por duas semanas consecutivas. A presença de NH_4^+ foi avaliada pelo reagente de Nessler e a de NO_2^- e NO_3^- , pelo reagente de Griess.

O reagente de Nessler tem a seguinte composição (PRAMER e SCHIMDT, 1964):

HgCl_2	45,5 g
KI	34,9 g
KOH	112 g
H_2O livre de amônio	1.000 ml

Para a análise da presença de NH_4^+ , juntam-se, em uma placa de toque (placa de porcelana com escavações), 2 gotas do reagente de Nessler e 3 gotas de solução a ser tes-

tada. A presença de amônio é evidenciada pelo surgimento de uma cor alaranjada.

O reagente de Griess tem a seguinte composição (PRAMER e SCHMIDT, 1964):

Solução A:

- Ácido sulfanílico 5 g
- Ácido acético (30%) 500 ml

Solução B:

- Alfa-naftilamina 1,5 g
- H₂O destilada 350 ml
- Ácido acético glacial 150 ml

As duas soluções são guardadas separadamente e, no momento do uso, são colocadas 3 gotas de cada uma em uma escavação da placa de toque juntamente com 0,5 ml da solução que se deseja testar. O desenvolvimento de coloração avermelhada indica a presença de NO₂⁻.

3.2. Efeito da Torta de Filtro e do CaCO_3 sobre a Mineralização e a Imobilização do Nitrogênio do Solo e sobre a Nitrificação

O solo utilizado para este experimento é um Latossolo Vermelho Escuro, da Estação Experimental de Limeira, do Instituto Agrônomo, cuja análise química apresentou os seguintes resultados, fornecidos pela Seção de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas, do Instituto Agrônomo: P (resina): $5 \mu\text{g}/\text{cm}^3$; M.O.: 3,1%; pH (em CaCl_2): 3,8; K: 0,40 meq/100 cm^3 ; Ca: 0,3 meq/100 cm^3 ; Mg: 0,2 meq/100 cm^3 ; H + Al: 7,5 meq/100 cm^3 ; S: 0,9 meq/100 cm^3 ; T: 8,4 meq/100 cm^3 ; V: 11%.

Amostra de solo seca ao ar, destorroada e peneirada em peneira de 2 mm de malha foi incubada em copos plásticos. Os copos, com 400 g de terra, foram mantidos, sem plantas, em casa de vegetação da Seção de Microbiologia do Solo, do Instituto Agrônomo.

Foram feitos os seguintes tratamentos:

1. Sem torta, sem CaCO_3 ;
2. Sem torta, com CaCO_3 ;
3. Com torta, sem CaCO_3 ;
4. Com torta, com CaCO_3 .

Foram feitas 3 repetições de cada tratamento.

Cada parcela era constituída de 6 copos plásticos, correspondendo

tes às 6 épocas de amostragem (0, 10, 30, 50, 70 e 90 dias de incubação). Em cada época de amostragem, 3 copos de cada tratamento eram sorteados e submetidos às análises químicas e microbiológicas.

Com o fito de se observar o efeito da torta na imobilização do nitrogênio, adicionou-se torta de filtro em quantidade equivalente a 40 t de torta seca/ha, no momento da instalação dos experimentos. A torta de filtro, obtida na Usina Ester, em Cosmópolis, apresentou a seguinte análise química: C: 37%; N: 1,4%; Ca^{++} : 8.973 ppm; Mg^{++} : 2.263 ppm; K: 4.340 ppm; Na^+ : 110 ppm; Zn: 89 ppm; Cu: 45 ppm; Fe: 13.612 ppm; Mn: 3.514 ppm; P: 278 ppm. A análise foi feita pela Seção de Pedologia do Instituto Agronômico. Depois de seca ao ar, a torta foi moída e passada em peneira com malha de 1 mm.

Com a adição de CaCO_3 desejava-se elevar o valor de pH para 6,5 (em água). O cálculo da quantidade de CaCO_3 foi efetuado pelo método em uso no Instituto Agronômico, pela fórmula:

$$\text{NC} = \frac{T(V_2 - V_1)}{100}$$

em que:

NC: necessidade de calagem;

T : capacidade de troca de cátions;

V_2 : saturação em bases desejada;

V_1 : saturação em bases fornecida pela análise.

Pra o cálculo de V_2 utilizou-se a equação de regressão:

$$\text{pH} = 4,45 + 0,021V\% ,$$

obtendo-se um valor $V_2 = 98\%$ para o valor de pH desejado de 6,5.

Dessa forma, concluiu-se que havia necessidade de se adicionarem 7,2 meq de CaCO_3 /100 cm^3 de solo.

Depois da adição do CaCO_3 o solo foi irrigado com água destilada até 60% da capacidade de retenção de água, umidade que foi mantida por pesagem. Periodicamente foram feitas medições dos valores de pH até que o solo atingisse o valor desejado, cerca de um mês depois. Feito isto, permitiu-se que o solo secasse nos copos, por um mês, para facilitar o seu manuseio quando da adição de torta.

Aos 0, 10, 30, 50, 70 e 90 dias de incubação o solo foi submetido à determinação dos números mais prováveis de microrganismos amonificadores e nitrificadores.

Para os microrganismos amonificadores, foi usado o meio de cultura indicado por POCHON e TARDIEUX (1972), com a seguinte composição:

- Solução salina (0,85% de NaCl) 50 ml
- Asparagina 0,2 g
- Água destilada q.s.p. 1.000 ml

Fizeram-se diluições de solo de 10^{-3} a 10^{-7} (aos 0 e 10 dias de incubação) e de 10^{-6} a 10^{-10} (aos 30, 50, 70 e 90 dias de incubação). Transferiu-se 1 ml de cada diluição a 5 tubos de ensaio com o meio de cultura indicado. Os tubos foram mantidos em incubadora a 28°C por 2 semanas, quando então se procedeu à avaliação da presença de NH_4^{+} com o reagente de Nessler. A partir do número de tubos com reação positiva para NH_4^{+} , obtiveram-se os números mais prováveis de microrganismos utilizando-se a tabela apresentada por ALEXANDER (1982).

Para os microrganismos nitrificadores, o meio de cultura usado foi o mesmo já descrito no item 3.1. Utilizaram-se as diluições de solo de 10^{-1} a 10^{-5} , incubando-se os tubos em incubadora a 28°C , por 8 semanas, após o que procedeu-se à avaliação da presença de NO_2^{-} e NO_3^{-} , com o reagente de Griess.

Ao final de cada época de incubação, o solo era submetido a análises de N-NH_4^{+} e N-NO_3^{-} , pelo método de BREMNER (1965).

3.3 - Efeito da Torta de Filtro e do CaCO_3 sobre a Mineralização e a Imobilização do Nitrogênio do Solo e sobre a Nitrificação, em Presença de Nitrogênio Adicionado

Este experimento utilizou os mesmos métodos, os mesmos materiais e os mesmos tratamentos que os descritos no item 3.2. A única diferença reside no fato de que adicionou-se nitrogênio a todos os tratamentos, com o objetivo de observar-se a mineralização e a imobilização do nitrogênio em solo com relação C/N de cerca de 15 e, portanto, abaixo da apontada como crítica (20) na literatura. O nitrogênio foi aplicado na forma de solução de NH_4NO_3 , esterilizada, 10 ml por copo, resultando que a cada copo com 400 g de solo foi adicionado 0,184 g de NH_4NO_3 , com concentração final de 161 ppm de N no solo.

3.4 - Delineamento Experimental e Análises Estatísticas

Nos dois experimentos descritos nos itens 3.2 e 3.3, o delineamento experimental foi inteiramente casualizado e a análise estatística seguiu o esquema de parcelas subdivididas. Quanto a interação tratamentos x épocas foi significativa, fez-se desdobramento, analisando-se tratamentos dentro de época.

Foi utilizado o teste F.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Teste da Metodologia para Quantificação dos Microrganismos Nitrificadores no Solo

No ensaio realizado para verificação da metodologia, observou-se, da 2.^a semana de incubação em diante, a presença de NO_2^- nos tubos-controle, sob luz, que continham meio esterilizado e que deveriam, teoricamente, ter reação positiva apenas para amônio. Os resultados dessas avaliações, apenas para os tubos-controle, encontram-se na Tabela 1, apenas para as quatro primeiras semanas de incubação. Os resultados foram os mesmos para as avaliações seguintes.

Tabela 1 - Presença de NH_4^+ , NO_2^- e NO_3^- , em 4 períodos de incubação, no escuro e sob luz, em meio completo para nitrificadores.

	1 SEMANA		2 SEMANAS		3 SEMANAS		4 SEMANAS	
	escuro	luz	escuro	luz	escuro	luz	escuro	luz
NH_4^+	+	+	+	+	+	+	+	+
NO_2^-	-	-	-	+	-	+	-	+
NO_3^-	-	-	-	-	-	-	-	-

+: reação positiva; -: reação negativa.

A reação para a presença de NO_2^- foi francamente positiva após 2 semanas de incubação em condições de laboratório e, portanto, sob luz, confirmando a hipótese de que a luz favorece, de maneira ainda indeterminada, uma reação de oxidação química do NH_4^+ . Não se detectou NO_3^- durante o período de incubação do teste, não se sabe se porque esse íon não foi produzido ou porque as quantidades eventualmente produzidas não foram suficientemente grandes para serem detectadas pelo reagente de Griess.

Em virtude desses resultados, aventou-se a hipótese da ocorrência de nitrificação fotoquímica, apesar de não se ter encontrado, na literatura, nenhuma constatação desse fenômeno em meios de cultura. Todavia, como ALLEN (1949) menciona claramente a existência de fotonitrificação em so-

los, inclusive citando alguns catalisadores, fez-se novo teste, usando-se $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ mais cada um dos componentes do meio em separado, de maneira a detectar um possível efeito de catalisação. Os resultados obtidos nas 26 semanas de incubação são apresentados, resumidamente, na Tabela 2. Somente são indicadas as reações para NO_2^- , uma vez que NO_3^- nunca foi detectado. Como os resultados tenderam a se manter por algum tempo, são apresentados apenas os das avaliações em que se observaram mudanças. Após a 5ª semana de incubação todos os tratamentos, com exceção do que continha $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + \text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, apresentaram reação francamente positiva para NO_2^- nos frascos incubados sob luz. Na 10ª semana, também o tratamento com $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ apresentou reação francamente positiva para NO_2^- . O tratamento que continha apenas $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ apresentou oxidação química do NH_4^+ influenciada pela luz, detectada após a 5ª semana, assim como os tratamentos com $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + \text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + \text{NaHCO}_3$ e $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + \text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Os componentes do meio nos três últimos tratamentos acima citados parecem não ter influência sobre o processo, uma vez que tiveram o mesmo comportamento que o tratamento apenas com $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$. Já os tratamentos com $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + \text{Na}_2\text{HPO}_4$ e $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + \text{KH}_2\text{PO}_4$ apresentaram reação positiva para NO_2^- na 2ª e 4ª semanas, respectivamente, parecendo acelerar o processo. Após a 18ª semana de incuba-

ção, no tratamento com $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + \text{Na}_2\text{HPO}_4$ houve uma reação fracamente positiva para NO_2^- em ausência de luz. Esse mesmo tratamento é o que acusou, antes dos outros, presença de NO_2^- quando incubado sob luz. Pode-se aventar a hipótese de que no Na_2HPO_4 haja um catalisador da reação química de oxidação do amônio, seja esse catalisador o próprio sal ou alguma impureza nele contida.

Tabela 2 - Efeito de diferentes compostos do meio de cultura para nitrificadores sobre a fotonitrificação. (Reação ao Griess para presença de NO_2^-)

TRATAMENTOS		SEMANAS DE INCUBAÇÃO							
		1	2	3	4	5	10	18	26
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4^*$ (S.A.)	escuro	**	-	-	-	-	-	-	-
	luz	-	-	-	+	+	+	+	+
S.A. + Na_2HPO_4	escuro	+	-	-	-	-	-	+	+
	luz	-	+	+	+	+	+	+	+
S.A. + KH_2PO_4	escuro	-	+	+	-	-	-	-	-
	luz	-	+	+	+	+	+	+	+
S.A. + $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	escuro	-	-	-	+	-	-	-	-
	luz	-	-	-	+	+	+	+	+
S.A. + NaHCO_3	escuro	-	-	-	+	-	-	-	-
	luz	-	-	-	+	+	+	+	+
S.A. + $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	escuro	-	-	-	-	+	-	-	-
	luz	-	-	-	-	+	+	+	+
S.A. + $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	escuro	-	-	-	+	-	-	-	-
	luz	-	-	-	+	+	+	+	+

* Concentrações dos sais nos diferentes tratamentos: $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$: 0,5 g/l (presente em todos os tratamentos); Na_2HPO_4 : 13,5 g/l; KH_2PO_4 : 0,7 g/l; $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$: 0,1 g/l; NaHCO_3 : 0,5 g/l; $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$: 0,014 g/l; $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$: 0,018 g/l.

** +: reação positiva para NO_2^- ; -: reação negativa para NO_2^- ; ±: reação fracamente positiva para NO_2^- .

S.A.: sulfato de amônio

Obs.: Os testes para presença de NH_4^+ , com o reagente de Nessler, foram sempre positivos, para todos os tratamentos.

4.2 - Efeito da Torta de Filtro e do CaCO_3 sobre a Mineralização e Imobilização do Nitrogênio do solo e sobre a Nitrificação

Os resultados para a estimativa dos números mais prováveis de microrganismos amonificadores estão na Tabela 3 e para os nitrificadores na Tabela 4. Os resultados das análises de N-NH_4^+ estão na Tabela 5, para N-NO_3^- , na Tabela 6 e para $\text{N-NH}_4^+ + \text{N-NO}_3^-$, na Tabela 7. As Figuras 1, 2 e 3 representam as variações nos teores de N-NH_4^+ , N-NO_3^- e $\text{N-NH}_4^+ + \text{N-NO}_3^-$, respectivamente. Os valores de F obtidos na análise estatística encontram-se nas Tabelas 13 a 15, do Apêndice.

Tabela 3 - Microrganismos amonificadores ($\times 10^5$) por grama de solo nas diferentes épocas de amostragem (médias de 3 repetições) (1º experimento).

DIAS DE INCUBAÇÃO	T R A T A M E N T O S*			
	1.T-C-	2.T-C+	3.T+C-	4.T+C+
0	5,0	76,3	7,5	>180,0
10	> 180,0	>180,0	>180,0	>180,0
30	56,1	379,3	802,8	773,2
50	96,2	618,0	491,1	1.074,3
70	63,7	72,9	160,3	107,1
90	81,7	64,5	522,7	1.617,3

*T: torta de filtro; C: CaCO_3

+: presença; -: ausência.

Tabela 4 - Microrganismos nitrificadores por grama de solo para as diferentes épocas de amostragem (médias de 3 repetições) (1º experimento).

DIAS DE INCUBAÇÃO	T R A T A M E N T O S			
	1.T-C-	2.T-C+	3.T+C-	4.T+C+
0	15,2	66,5	0,0	3,4
10	4,0	8,6	1,4	4,7
30	10,9	12,6	0,7	3,7
50	8,5	19,5	2,6	26,5
70	4,1	9,1	0,8	2.968,5
90	1,5	3,8	0,8	98,3

*T: torta de filtro; C: CaCO_3

+: presença; -: ausência.

Tabela 5 - N-NH_4^+ ($\mu\text{g/g}$ de solo) para as diferentes épocas de amostragem (médias de 3 repetições) (1º experimento).

DIAS DE INCUBAÇÃO	T R A T A M E N T O S*			
	1.T-C-	2.T-C+	3.T+C-	4.T+C+
0	5,0	8,4	2,6	8,4
10	4,1	12,5	0,2	0,0
30	6,4	11,3	0,7	7,8
50	5,7	15,5	1,7	4,4
70	0,6	10,1	0,0	4,2
90	0,5	9,4	0,0	3,2

*T: torta de filtro; C: CaCO_3

+: presença; -: ausência.

Tabela 6 - N-NO_3^- ($\mu\text{g/g}$ de solo) para as diferentes épocas de amostragem (médias de 3 repetições) (1º experimento).

DIAS DE INCUBAÇÃO	T R A T A M E N T O S*			
	1.T-C-	2.T-C+	3.T+C-	4.T+C+
0	4,5	3,3	3,0	1,0
10	2,9	4,8	0,8	0,1
30	5,8	5,8	0,4	1,6
50	7,2	5,6	1,0	1,5
70	7,1	4,9	0,1	1,7
90	7,2	4,7	0,7	1,7

*T: torta de filtro; C: CaCO_3

+: presença; -: ausência.

Tabela 7 - $\text{N-NH}_4^+ + \text{N-NO}_3^-$ ($\mu\text{g/g}$ de solo) para as diferentes épocas de amostragem (médias de 3 repetições) (1º experimento).

DIAS DE INCUBAÇÃO	T R A T A M E N T O S*			
	1.T-C-	2.T-C+	3.T+C-	4.T+C+
0	9,5	11,7	5,5	9,4
10	6,9	17,2	1,1	0,1
30	12,2	17,0	1,1	9,4
50	12,8	21,1	2,6	5,9
70	7,8	15,1	0,1	5,9
90	7,7	14,1	0,7	4,9

*T: torta de filtro; C: CaCO_3

+: presença; -: ausência.

Figura 1 - N-NH_4^+ ($\mu\text{g/g}$ de solo) para os tratamentos e períodos de incubação indicados (médias de 3 repetições) (1º experimento).

Figura 2 - N-NO_3^- ($\mu\text{g/g}$ de solo) para os tratamentos e períodos de incubação indicados (médias de 3 repetições) (1º experimento).

Figura 3 - $\text{N-NH}_4^+ + \text{N-NO}_3^-$ ($\mu\text{g/g}$ de solo) para os tratamentos e períodos de incubação indicados (médias de 3 repetições) (1º experimento).

Na primeira amostragem, no início do experimento, para o tratamento T+C+ e na amostragem aos 10 dias de incubação, para todos os tratamentos, todos os tubos, feitos a partir de todas as diluições de solo (de 10^{-3} a 10^{-7}), apresentaram reação positiva para a presença de NH_4^+ , não sendo possível determinar o NMP de microrganismos amonificadores. Sabe-se apenas que esses números foram maiores que 180×10^5 .

Para o NH_4^+ (Tabela 5 e Figura 1), logo na amostragem feita quando da instalação do experimento, observa-se uma diferença altamente significativa entre os tratamentos com e sem CaCO_3 . A adição de CaCO_3 , feita dois meses antes, deve ter agido sobre a microflora amonificadora, estimulando-a e ocasionando maior liberação de NH_4^+ . A análise estatística referente ao NMP de microrganismos amonificadores apresentou um coeficiente de variação muito alto, não se detectando diferenças significativas. Ainda assim, na Tabela 3, pode-se observar uma tendência de aumento dessa população nos tratamentos com CaCO_3 . Esse aumento na população amonificadora não está de acordo com EDMEADES *et alii* (1981), que não observaram efeito da adição de até 10 t de CaCO_3 por hectare sobre as populações de bactérias anaeróbicas e proteolíticas e fungos, constatando, embora, aumento na mineralização de nitrogênio como efeito do CaCO_3 . Talvez a estimativa da população amonificadora como um todo, como neste trabalho, seja

mais eficiente em detectar suas variações que os métodos usados por EDMÉADES *et alii* (1981), que estimaram grupos mais específicos de organismos, separadamente.

Já na segunda amostragem, aos dez dias de incubação, a adição de torta ocasionou drástica redução no teor de N-NH_4^+ no solo. A torta, com 1,4% de N e estando pouco acima da faixa apontada por BARTHOLOMEW (1965) (1-1,3% de N), realmente levou à imobilização de nitrogênio, rapidamente. O CaCO_3 também manteve o efeito sobre a quantidade de N-NH_4^+ . Aliás, esse efeito do CaCO_3 , aumentando a quantidade de N-NH_4^+ , foi altamente significativo em todas as amostragens. Isso pode ser devido a um efeito do CaCO_3 sobre os microrganismos amonificadores, que teriam sido beneficiados com a elevação dos valores de pH em água (foi, em média, de 4,1, nos tratamentos sem CaCO_3 , e de 6,7 nos tratamentos com CaCO_3). Pode-se verificar esse efeito do CaCO_3 sobre a população amonificadora na Tabela 3, onde se observa que o NMP dessa população foi maior em presença do sal em praticamente todas as amostragens.

Ainda nessa amostragem, aos dez dias de incubação, foi altamente significativa a interação torta x CaCO_3 : em ausência de torta, o CaCO_3 estimulou a mineralização do nitrogênio, mas, em presença de torta, o CaCO_3 levou o teor de N-NH_4^+ a zero. Isto é, a calagem estimulou a mineralização de nitrogênio, pelo estímulo à microflora amonificadora. Todavia, na qualidade de material orgânico, a torta estimula o

crescimento da população microbiana como um todo (ALEXANDER, 1961). Assim, o aumento da população em geral teria sido suficiente para consumir todo o nitrogênio mineralizado, imobilizando-o. Ainda que aumentada a população amonificadora, com a conseqüente maior liberação de N-NH_4^+ no solo, a população em geral teria imobilizado todo esse nitrogênio. Não se podem comparar esses dados referentes ao N-NH_4^+ no solo com o NMP de microrganismos amonificadores (Tabela 3), supondo-se apenas que o grande aumento nos números desses organismos aos dez dias de incubação seja devido ao reinício da irrigação dos vasos, quando da instalação do experimento.

A imobilização do NH_4^+ nos tratamentos com torta de filtro, detectada já aos dez dias de incubação, manteve-se nas amostragens subseqüentes, perdurando nos noventa dias que durou o experimento. Esse efeito da torta na imobilização do N-NH_4^+ pode ser comprovado pela análise da Tabela 3: o NMP de microrganismos amonificadores foi maior nos tratamentos com torta, em todas as amostragens, que nos sem torta. Se a microflora que atua na amonificação é bastante diversificada (ALEXANDER, 1961), incluindo variados grupos de microrganismos, é razoável supor-se que essa população reflita mudanças ocorridas na população microbiana geral do solo. Assim como os amonificadores foram estimulados pela torta também o deve ter sido toda a população de microrganismos qui

miorganotróficos do solo, explicando-se dessa forma a imobilização de N-NH_4^+ nos tratamentos com torta de filtro.

Depois dos cinqüenta dias de incubação houve queda no teor de N-NH_4^+ em todos os tratamentos (Tabela 5, Figura 1). Podem ter ocorrido perdas de nitrogênio do sistema. Comparando-se as Figuras 1 e 2, nota-se que aos decréscimos nas quantidades de N-NH_4^+ a partir dos cinqüenta dias não houve acréscimos correspondentes nos teores de N-NO_3^- . Para que o nitrogênio tenha sido perdido na forma amoniacal, pode-se aventar a hipótese de volatilização de NH_3 . Mas o nitrogênio também poderia ter sido perdido a partir da forma nítrica, por desnitrificação, ainda que não se espere a ocorrência de condições anaeróbicas, em grandes extensões, nestas condições. Nesse caso, teria ocorrido nitrificação, mas o NO_3^- resultante teria sido perdido por uma das vias citadas, mantendo-se estável o seu teor conforme indicado na Figura 2.

Para o N-NO_3^- (Tabela 6 e Figura 2), em nenhuma amostragem se observaram diferenças significativas entre os tratamentos com e sem CaCO_3 . A análise estatística do NMP de microrganismos nitrificadores, com os dados transformados em $\log(x+1)$, também não revelou efeito do CaCO_3 sobre esse grupo de organismos, com exceção do tratamento T+C+ aos sessenta dias de incubação. Esse fato não está de acordo com mui

tos autores, que constataram aumento na nitrificação e na população de nitrificadores com a adição de CaCO_3 (EDMEADES *et alii*, 1981; NYBORG e HOYT, 1978; SARATHCHANDRA, 1978; WICKRAMASINGHE *et alii*, 1985), mas coincide com as conclusões a que chegaram SANDANAM *et alii* (1978) e WEBER e GAINNEY (1962), para os quais não é só a adição de CaCO_3 , com o conseqüente aumento nos valores de pH, que teria efeito direto sobre a nitrificação.

A análise estatística somente revelou efeito de CaCO_3 sobre a população de nitrificadores aos setenta dias de incubação. O número desses organismos no tratamento T+C+ (Tabela 4), altamente discrepante dos outros encontrados em qualquer época ou em qualquer tratamento (média de 2.968,5, com os seguintes valores para as três repetições: 5.833,3, 2.674,4 e 397,7), é o que ocasionou essa diferença, e para o quê não se encontram justificativas.

A Figura 3, reflexo quase direto das quantidades de N-NH_4^+ , resume os efeitos da adição de torta de filtro e CaCO_3 sobre o nitrogênio prontamente disponível às plantas, isto é, $\text{N-NH}_4^+ + \text{N-NO}_3^-$.

Dez dias depois de sua incorporação ao solo, a torta de filtro propiciou imobilização do nitrogênio a partir das formas amoniacal e nítrica. Depois de trinta dias de incubação, a adição de CaCO_3 minimizou o efeito da imobilização.

ção causada pela torta de filtro, sem contudo aboli-lo completamente. Havia maiores quantidades de $\text{N-NH}_4^+ + \text{N-NO}_3^-$ nos tratamentos com CaCO_3 , mas o nitrogênio continuou imobilizado em presença de torta. Os efeitos da torta e do CaCO_3 perduraram até os noventa dias de incubação. Os efeitos observados, principalmente no teor de N-NH_4^+ , entre os 0 e 10 dias e entre 30 e 50 dias, evidentes no tratamento T-C+, podem ser devidos a um estímulo sobre a mineralização do nitrogênio do solo. Isso não estaria em desacordo com STANFORD *et alii* (1974), que afirmam que a secagem como a que foi submetido o solo neste experimento pode aumentar grandemente a mineralização do nitrogênio do próprio solo.

4.3. Efeito da torta de filtro e do CaCO_3 sobre a mineralização e imobilização do nitrogênio do solo e sobre a nitrificação, em presença de nitrogênio adicionado

Os resultados da estimativa dos números mais prováveis de microrganismos amonificadores estão na Tabela 8; para os nitrificadores, na Tabela 9. Os resultados das análises de N-NH_4^+ estão na Tabela 10; para N-NO_3^- , na Tabela 11 e para $\text{N-NH}_4^+ + \text{N-NO}_3^-$, na Tabela 12. As Figuras 4, 5 e 6 representam as variações nos teores de N-NH_4^+ , N-NO_3^- e $\text{N-NH}_4^+ + \text{N-NO}_3^-$, respectivamente. Os valores de F obtidos na análise estatística encontram-se nas Tabelas de 16 a 18, no Apêndice.

Tabela 8 - Microrganismos amonificadores ($\times 10^5$) por grama de solo para as diferentes épocas de amostragem (médias de 3 repetições) (2º experimento).

DIAS DE INCUBAÇÃO	T R A T A M E N T O S*			
	1.T-C-	2.T-C+	3.T+C-	4.T+C+
0	42,1	> 180,0	7,2	152,3
10	>180,0	> 180,0	>180,0	> 180,0
30	63,4	1.390,6	273,3	1.521,4
50	144,9	442,4	500,3	299,1
70	8,6	50,1	24,6	37,6
90	38,0	123,9	187,9	34,1

*T: torta de filtro; C: CaCO_3

+: presença; -: ausência.

Tabela 9 - Microrganismos nitrificadores por grama de solo para as diferentes épocas de amostragem (média de 3 repetições) (2º experimento).

DIAS DE INCUBAÇÃO	T R A T A M E N T O S*			
	1.T-C-	2.T-C+	3.T+C-	4.T+C+
0	190,4	450,7	18,9	345,0
10	20,8	7,1	5,5	12,8
30	22,9	16,2	34,8	22,0
50	19,0	8,0	5,5	34,3
70	11,8	37,1	19,0	56,5
90	20,7	14,3	24,7	34,1

*T: torta de filtro; C: CaCO_3

+: presença; -: ausência.

Tabela 10 - N-NH_4^+ ($\mu\text{g/g}$ de solo) para as diferentes épocas de amostragem (médias de 3 repetições) (2º experimento).

DIAS DE INCUBAÇÃO	T R A T A M E N T O S*			
	1.T-C-	2.T-C+	3.T+C-	4.T+C+
0	54,8	78,4	82,1	72,2
10	140,2	94,8	140,5	94,3
30	144,5	114,5	139,7	124,1
50	136,8	100,6	76,6	59,6
70	99,0	66,3	84,6	55,3
90	92,8	84,6	87,3	51,3

*T: torta de filtro; C: CaCO_3

+: presença; -: ausência.

Tabela 11 - N-NO_3^- ($\mu\text{g/g}$ de solo) para as diferentes épocas de amostragem (médias de 3 repetições) (2º experimento).

DIAS DE INCUBAÇÃO	T R A T A M E N T O S*			
	1.T-C-	2.T-C+	3.T+C-	4.T+C+
0	99,8	83,3	71,4	85,2
10	113,4	101,6	127,9	124,2
30	129,4	123,4	124,6	141,7
50	121,5	128,2	87,2	83,3
70	90,8	83,0	82,9	80,5
90	87,6	114,7	81,2	84,2

*T: torta de filtro; C: CaCO_3

+: presença; -: ausência.

Tabela 12 - $\text{N-NH}_4^+ + \text{N-NO}_3^-$ ($\mu\text{g/g}$ de solo) para as diferentes épocas de amostragem (médias de 3 repetições) (2º experimento).

DIAS DE INCUBAÇÃO	T R A T A M E N T O S*			
	1.T-C-	2.T-C+	3.T+C-	4.T+C+
0	154,6	161,7	153,4	157,3
10	253,6	196,4	268,4	218,5
30	273,9	237,8	259,6	266,8
50	258,2	228,8	163,8	142,9
70	189,8	149,3	167,5	135,8
90	180,7	199,3	168,4	135,6

*T: torta de filtro; C: CaCO_3

+: presença; -: ausência.

Figura 4 - N-NH_4^+ ($\mu\text{g/g}$ de solo) para os tratamentos e períodos de incubação indicados (médias de 3 repetições) (2º experimento).

Figura 5 - N-NO_3^- ($\mu\text{g/g}$ de solo) para os tratamentos e períodos de incubação indicados (médias de 3 repetições) (2º experimento).

Figura 6 - $\text{N-NH}_4^+ + \text{N-NO}_3^-$ ($\mu\text{g/g}$ de solo) para os tratamentos e períodos de incubação indicados (médias de 3 repetições) (2º experimento).

Na primeira amostragem, para o tratamento T-C+, e na segunda amostragem, para todos os tratamentos, pelos mesmos motivos já expostos quando da discussão dos resultados do experimento anterior, não foi possível determinar o NMP de microrganismos amonificadores (Tabela 8).

Após 10 dias de incubação, observou-se um aumento nos teores de N-NH_4^+ (Tabela 10 e Figura 4) dos tratamentos sem CaCO_3 , sendo esses teores significativamente diferentes dos tratamentos com CaCO_3 , não tendo havido efeito de torta de filtro. Já que não se pode comparar esses dados com o NMP de microrganismos amonificadores, pode-se apenas supor que a calagem, aliada à adição de nitrogênio, tenha estimulado de tal forma a microflora que ela tenha imobilizado o nitrogênio liberado na mineralização. Aliás, esse efeito do CaCO_3 , diminuindo o teor de N-NH_4^+ do solo, foi significativo em todas as épocas de amostragem, com exceção da primeira. Mesmo sem os números de amonificadores aos 10 dias de incubação, é razoável supor-se esse estímulo do CaCO_3 sobre a microflora, uma vez que aos 0 e 30 dias de incubação, para todos os tratamentos, e nas amostragens subsequentes, para os tratamentos sem torta, observa-se uma tendência de aumento no NMP de microrganismos amonificadores nos tratamentos que receberam CaCO_3 (Tabela 8).

Quanto à torta de filtro, só houve diferença significativa após 50 dias de incubação, o que não se manteve nas amostragens seguintes (Figura 4). A partir dessa mesma época, nota-se uma tendência de queda na população de amonificadores. Esse fato, eventualmente diminuindo a quantidade de N-NH_4^+ liberado pela mineralização e aliado ao aumento que se pode esperar da microflora como um todo, em presença de torta, pode explicar a imobilização do N-NH_4^+ nessa época de amostragem. Depois dessa amostragem, ainda mantendo-se o efeito do CaCO_3 , há uma tendência de estabilização das curvas (Figura 4) e de volta aos níveis iniciais de N-NH_4^+ .

Quanto ao nitrato, em nenhuma amostragem se encontrou efeito significativo da adição de CaCO_3 sobre os teores desse íon. À semelhança do que ocorreu no experimento anterior, não se confirmou aqui o esperado efeito estimulante do CaCO_3 , ou seja, da elevação dos valores de pH em água (foi, em média, de 4,0, nos tratamentos sem CaCO_3 , e de 6,7, nos com CaCO_3), sobre a nitrificação, lembrando, novamente, os trabalhos de SANDANAM *et alii* (1978) e WEBER e GAINEY (1962), que concluíram que não é só o CaCO_3 que tem efeito direto sobre a nitrificação.

Entretanto, aos dez dias de incubação, houve efeito significativo da torta sobre os teores de nitrato, aumentando os teores desse íon (Tabela 11, Figura 5). É inte-

ressante lembrar que, nessa mesma amostragem, não houve efeito da torta sobre o teor de amônio. Pode-se pensar então que a torta teve efeito diretamente sobre a nitrificação, ainda que isso contradiga os resultados obtidos por SCHERER e MENGEL (1981), os quais observaram que o NO_3^- do solo foi sempre significativamente menor nos tratamentos com incorporação de palha que nos sem palha.

Aos 30 dias de incubação não se observaram quaisquer diferenças significativas entre os quatro tratamentos. Aos 50 dias de incubação houve efeito de torta, diminuindo o teor de N-NO_3^- no solo (Tabela 11 e Figura 5). Na mesma época também houve esse efeito sobre o teor de N-NH_4^+ (Tabela 10 e Figura 4), conforme o que já foi discutido. Assim, em virtude da ocorrência da imobilização do N-NH_4^+ causada pela torta, é plenamente justificável a diminuição no teor de N-NO_3^- , seja pela imobilização desse íon, seja pela remoção do N-NH_4^+ , substrato para a nitrificação.

A Tabela 12 e Figura 6 resumem os efeitos a adição de torta de filtro e de CaCO_3 , em presença de nitrogênio adicionado, sobre as quantidades de $\text{N-NH}_4^+ + \text{N-NO}_3^-$, ou seja, de nitrogênio prontamente disponível. Aos 10 dias de incubação houve efeito de CaCO_3 diminuindo o teor de nitrogênio ($\text{N-NH}_4^+ + \text{N-NO}_3^-$), efeito esse novamente detectado aos 70 dias. É interessante

lembrar que aqui, diferentemente do que ocorreu no experimento anterior, o CaCO_3 , quando agiu sobre o teor de nitrogênio no solo, fê-lo no sentido de diminuir esse teor.

Aos 50 e aos 90 dias de incubação somente é que a torta teve efeito sobre a disponibilidade de nitrogênio, diminuindo-a pela imobilização.

5. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos neste trabalho permitem concluir o seguinte:

1. A torta de filtro, isoladamente, determinou imobilização do nitrogênio do solo. A suplementação do solo com NH_4NO_3 impediu a imobilização, que só foi observada aos 50 e aos 90 dias de incubação.
2. A adição de CaCO_3 diminuiu a magnitude da imobilização de nitrogênio quando esse nutriente não foi aplicado, mas exerceu pouco efeito na presença de N adicionado.

3. A adição de CaCO_3 não teve efeito sobre a nitrificação.
4. Experimentos com microrganismos nitrificadores em meio de cultura devem ser conduzidos em ausência de luz.

6. LITERATURA CITADA

ALEXANDER, M., 1961. Introduction to soil microbiology. No
va York, John Wiley & Sons. 472 p.

ALEXANDER, M., 1971. Microbial Ecology. John Wiley & Sons,
Inc. 511 p.

ALLEN, O.N., 1949. Experiments in Soil Bacteriology. Burgess
Publishing Co., Minneapolis. 126 p.

AMER, F.M. e W.V. BARTHOLOMEW, 1951. Influence of oxygen
concentrations in soil air on nitrification. Soil Scien-
ce, 71: 215-219.

ANDERSON, O.E. e F.C. BOSWELL, 1964. The influence of low
temperature and various concentrations of ammonium nitra-
te on nitrification in acid soils. Soil Science Society
of America Proceedings, 28: 525-529.

- ASGHAR, M. e Y. KANEHIRO, 1976. Effects of sugarcane trash and pineapple residue incorporation on soil nitrogen, pH and redox potential. Plant and Soil, 44: 209-218.
- BARTHOLOMEW, W.V., 1965. Mineralization and immobilization of nitrogen in the decomposition of plant and animal residues. In: BARTHOLOMEW, W.V. e F.E. CLARK (eds.) Soil Nitrogen. Agronomy Series 10, American Society of Agronomy, Inc., Madison, p. 285-306.
- BARTHOLOMEW, W.V. e F.E. CLARK (eds.), 1965. Soil Nitrogen. Agronomy Series 10, American Society of Agronomy, Inc., Madison, 615 p.
- BREMNER, J.M., 1965. Inorganic forms of nitrogen. In: BLACK, C.A. (ed.). Methods of soil analysis. Part II. American Society of Agronomy. Madison, p. 1179-1237.
- BROADBENT, F.E. e T. NAKASHIMA, 1970. Nitrogen immobilization in flooded soils. Soil Science Society of America Proceedings, 34: 218-221.
- BROADBENT, F.E. e T. NAKASHIMA, 1974. Mineralization of carbon and nitrogen in soil amended with carbon-13 and nitrogen-15 labeled plant material. Soil Science Society of America Proceedings, 38: 313-315.
- BROADBENT, F.E.; K.B. TYLER e G.N. HILL, 1957. Nitrification of ammoniacal fertilizers in some California soils. Hilgardia, 27: 247-267.

- BUCKMAN, H.O. e N.C. BRADY, 1967. Natureza e Propriedades dos Solos. USAID/Livraria Freitas Bastos, Rio de Janeiro. 549 p.
- CASSMAN, K.G. e D.N. MUNN, 1980. Nitrogen mineralization as affected by soil moisture, temperature and depth. Soil Science Society of America Journal, 44: 1233-1237.
- COPERSUCAR (s.d.). Uso da torta de filtro no plantio da cana-de-açúcar. Cadernos COPERSUCAR, Série Agronômica 1, Centro de Tecnologia COPERSUCAR, São Paulo, 5 p.
- CRASWELL, E.T., 1978. Some factors influencing denitrification and nitrogen immobilization in a clay soil. Soil Biology & Biochemistry, 10: 241-245.
- DOMMERGUES, Y. e F. MANGENOT, 1970. Écologie Microbienne du Sol. Masson et Cie., Paris, 796 p.
- EDMEADES, D.C.; M. JUDD e S.U. SARATHCHANDRA, 1981. The effect of lime on nitrogen mineralization as measured by grass growth. Plant and Soil, 60: 177-186.
- ERIKSSON, E., 1952. Composition of atmospheric precipitation. I. Nitrogen compound. Tellus, 4: 215-232.
- FORTUN, C. e V. HERNANDO, 1981a. Efecto de la paja y de distintos niveles de nitrógeno en el desarrollo de la cebada. Anales de Edafología y Agrobiología, XL: 1205-1215.
- FORTUN, C. e V. HERNANDO, 1981b. Aprovechamiento de la paja como abono orgánico en um cultivo de sorgo. Anales de Edafología y Agrobiología, XL: 1227-1234.

- GANRY, F.; G. GUIRAUD e Y. DOMMERGUES, 1978. Effect of straw incorporation on the yield and nitrogen balance in the sandy soil-pearl millet cropping system of Senegal. Plant and Soil, 50: 647-662.
- HALVORSON, H.O. e N.R. ZIEGLER, 1932. Application of statistics to problems in bacteriology. I. A means of determining bacterial population by the dilution method. Journal of Bacteriology, XXV: 101-121.
- ISHAQUE, M. e M.H. CORNFIELD, 1974. Nitrogen mineralization and nitrification in relation to incubation temperature in an acid Bangladesh soil lacking autotrophic nitrifying organisms. Tropical Agriculture, 51: 37-41.
- JENSEN, H.L., 1929. On the influence of the carbon: nitrogen ratios of organic material on the mineralization of nitrogen. The Journal of Agricultural Science, 19: 71-82.
- JOHNSON, D.D. e W.D. GUENZIE, 1963. Influence of salts on ammonium oxidation and carbon dioxide evolution from soil. Soil Science Society of America Proceedings, 27: 663-666.
- KANAMORI, T. e T. YASUDA, 1979. Immobilization, mineralization and the availability of the fertilizer nitrogen during the decomposition of the organic matters applied to the soil. Plant and Soil, 52: 219-227.
- LEES, H. e J.H. QUASTEL, 1946. Biochemistry of nitrification in soils. I. Kinetics of, and the effects of poison on soil nitrification as studied by a soil perfusion technique. Biochemical Journal, 40: 803-815.

- LEUKEN, H.; W.L. HUTCHEON e E.A. PAUL, 1962. The influence of nitrogen on the decomposition of crop residues in the soil. Canadian Journal of Soil Science, 42: 276-288.
- MARTIKAINEN, P.J., 1985. Numbers of autotrophic nitrifiers and nitrification in fertilized forest soil. Soil Biology and Biochemistry, 17: 245-248.
- MUNDRA, M.C.; G.S. BHANDARI e O.P. SRIVASTAVA, 1973. Studies on mineralization and immobilization of nitrogen in soil. Geoderma, 9: 27-33.
- MYERS, R.J.K.; C.A. CAMPBELL e K.L. WEIR, 1982. Quantitative relationship between net nitrogen mineralization and moisture content of soils. Canadian Journal of Soil Science, 62: 111-124.
- NAFTEL, J.A., 1931. The nitrification of ammonium sulphate as influenced by soil reaction and degree of base saturation. Journal of the American Society of Agronomy, 23: 175-185.
- NYBORG, M. e P.B. HOYT, 1978. Effects of soil acidity and liming on mineralization of soil nitrogen. Canadian Journal of Soil Science, 58: 331-338.
- POCHON, J. e P. TARDIEUX, 1962. Techniques d'analyse in microbiologia du sol. Ed. de la Tourelle. França.
- PRAMER, D. e E.L. SCHMIDT, 1964. Experimental Soil Microbiology. Burgess Publishing Co., Minneapolis.

- PREMI, P.R. e A.H. CORNFIELD, 1969. Effects of addition of copper, manganese, zinc and chromium compounds on ammonification and nitrification during incubation of soil. Plant and Soil, 31: 345-352.
- SANDANAM, S.; S. KRISHNAPILLAI e J. SABARATNAM, 1978. Nitri_fication of ammonium sulphate and urea in an acid red yellow podzolic tea soil in Sri Lanka in relation to soil fer_tility. Plant and Soil, 49: 9-22.
- SARATHCHANDRA, S.U., 1978. Nitrification activities and the changes in soil perfused at two different H-ion concentra_tions. Plant and Soil, 50: 99-111.
- SCHERER, H.W. e K. MENGEL, 1981. The effect of a straw ap_plication on the content of nitrate and exchangeable ammo_nium in the soil and on the yield and nitrogen uptake of Italian ryegrass (*Lolium multiflorum*). Landwirtschaftliche Forschung, 34: 194-205. [Abstract].
- SCHMIDT, E.L. e L.W. BELSER, 1982. Nitrifying bacteria. In: Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbio-logical Properties. Agronomy Monograph n° 9 (2ª ed.) ASA-SSSA, Madison, p. 1027-1042.
- STANFORD, G.; J.N. CARTER e S.J. SMITH, 1974. Estimates of potentially mineralizable soil nitrogen based on short-term incubations. Soil Science Society of America Pro-ceedings, 38: 99-102.

- STOJANOVIC, B.J. e F.E. BROADBENT, 1956. Immobilization and mineralization rates of nitrogen during decomposition of plant residues. Soil Science Society of America Proceedings, 20: 213-218.
- TAM, R.K. e O.C. MAGISTAD, 1936. Chemical changes during decomposition of pineapple trash under field condition. Soil Science, 41: 315-327.
- VAN VEEN, J.A. e E.A. PAUL, 1979. Conversion of biovolume measurements of soil organisms, grown under various moisture tensions, to biomass and their nutrient content. Applied and Environmental Microbiology, 37: 686-692.
- VENKATAKRISHNAN, S., 1980. Mineralization of green manure (*Sesbania aculeata*, Pers.) nitrogen in sodic and reclaimed soils under flooded conditions. Plant and Soil, 54: 149-152.
- VIRTANEN, A.I., 1952. Molecular nitrogen fixation and nitrogen cycle in nature. Tellus, 4: 304-306.
- WEBER, D.F. e P.L. GAINEY, 1962. Relative sensitivity of nitrifying organisms to hydrogen ions in soils and solutions. Soil Science, 94: 138-148.
- WICKRAMASINGHE, K.N.; G.A. RODGERS e D.S. JENKINSON, 1985. Nitrification in acid tea soils and a neutral grassland soil: effects of nitrification inhibitors and inorganic salts. Soil Biology & Biochemistry, 17: 249-252.

WÓJCIK-WOJTKOWIAK, D., 1978. Nitrogen transformations in soil during humification of straw labelled with ^{15}N . Plant and Soil, 49: 49-55.

7. APÊNDICE

Tabela 13 – Valores obtidos no teste F na análise do efeito de torta de filtro e de CaCO_3 sobre o teor de N-NH_4^+ no solo (experimento sem adição de N).

EFEITO	AMOSTRAGEM (dias)					
	0	10	30	50	70	90
Torta (T)	0,81	34,36**	14,00**	29,80**	7,29*	7,47**
CaCO_3 (C)	11,17**	11,38**	18,54**	20,52**	24,36**	19,05**
Interação Tx C	0,94	12,71**	0,82	8,56**	4,72	5,45

Significância a 5% (*) e a 1% (**).

Tabela 14 – Valores obtidos no teste F na análise do efeito de torta de filtro e de CaCO_3 sobre o teor de N-NO_3^- no solo (experimento sem adição de N).

EFEITO	AMOSTRAGEM (dias)					
	0	10	30	50	70	90
Torta (T)	4,84	11,66**	23,57**	26,92**	26,96**	23,39**
CaCO_3 (C)	3,48	0,52	0,41	0,40	0,14	0,75
Interação Tx C	0,18	2,22	0,55	1,48	4,62	4,11

Significância a 5% (*) e a 1% (**).

Tabela 15 – Valores obtidos no teste F na análise do efeito de torta de filtro e de CaCO_3 sobre o teor de N-NH_4^+ + N-NO_3^- no solo (experimento sem adição de N).

EFEITO	AMOSTRAGEM (dias)					
	0	10	30	50	70	90
Torta (T)	4,04	46,81**	30,67**	56,91**	24,87**	23,05**
CaCO_3 (C)	3,79	7,89**	15,03**	11,64**	15,02**	11,58**
Interação Tx C	0,26	10,95**	1,23	2,56	0,25	0,49

Significância a 5% (*) e a 1% (**).

Tabela 16 – Valores obtidos no teste F na análise do efeito de torta de filtro e de CaCO_3 sobre o teor de N-NH_4^+ no solo (experimento com adição de N).

EFEITO	AMOSTRAGEM (dias)					
	0	10	30	50	70	90
Torta (T)	1,00	0,0001	0,002	23,12**	1,45	3,46
CaCO_3 (C)	0,42	18,95**	3,54*	6,39*	8,69**	4,46*
Interação Tx C	2,53	0,001	0,94	0,84	0,03	1,71

Significância a 5% (*) e a 1% (**).

Tabela 17 - Valores obtidos no teste F na análise do efeito de torta de filtro e de CaCO_3 sobre o teor de N-NO_3^- no solo (experimento com adição de N).

EFEITO	AMOSTRAGEM (dias)					
	0	10	30	50	70	90
Torta (T)	2,43	4,73*	0,38	21,49**	0,23	4,67
CaCO_3 (C)	0,01	0,51	0,26	0,02	0,22	3,13
Interação TxC	3,14	0,14	1,83	0,24	0,06	1,98

Significância a 5% (*) e a 1% (**).

Tabela 18 - Valores obtidos no teste F na análise do efeito de torta de filtro e de CaCO_3 sobre o teor de $\text{N-NH}_4^+ + \text{N-NO}_3^-$ no solo (experimento com adição de N).

EFEITO	AMOSTRAGEM (dias)					
	0	10	30	50	70	90
Torta (T)	0,03	1,26	0,22	30,04**	1,19	5,34*
CaCO_3 (C)	0,13	10,60**	0,87	2,34	4,82*	0,22
Interação TxC	0,01	0,06	1,75	0,08	0,08	2,45

Significância a 5% (*) e a 1% (**).