

RETENÇÃO E NITRIFICAÇÃO DA AMÔNIA EM SOLOS DO MUNICÍPIO DE PIRACICABA

JORGE DE CASTRO KIEHL

Engenheiro Agrônomo

**Auxiliar de Ensino do Departamento de Solos
e Geologia da Escola Superior de Agricultura
«Luiz de Queiroz» - Universidade de São Paulo**

**Tese apresentada à Escola Superior de
Agricultura «Luiz de Queiroz», da USP,
para obtenção do título de Doutor em
Agronomia.**

**Piracicaba
Estado de São Paulo
— 1972 —**

Aos meus Pais

AGRADECIMENTOS

Ao dr. Antonio Cobra Netto pela orientação no presente trabalho.

Aos drs. Humberto de Campos e Decio Barbin pelas sugestões na parte estatística.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo pelas bolsas concedidas.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho,

os sinceros agradecimentos do autor.

CONTEÚDO

	página
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	
2.1. Retenção de amônia no solo	4
2.1.1. Técnicas empregadas em estudos de retenção ..	5
2.1.2. Textura e capacidade de retenção	8
2.2. Nitrificação da amônia no solo	9
2.2.1. Efeito da amônia na nitrificação	10
2.2.2. Efeito da amônia no pH e no acúmulo de nitrito	12
2.2.3. Capacidade de nitrificação dos solos	15
3. MATERIAL E MÉTODOS	
3.1. Material	18
3.1.1. Solos	18
3.1.2. Aplicadores de amônia	19
3.1.2.1. Aplicador de amônia anidra	19
3.1.2.2. Aplicador de amônia sob concentra- ção controlada	19
3.1.3. Aparelho de destilação	20
3.1.4. Frascos de incubação	20
3.1.5. Estufa	20
3.2. Métodos	22
3.2.1. Coleta e preparo das amostras de solo	22
3.2.2. Aplicação de amônia	22
3.2.2.1. Aplicação de amônia anidra	22
3.2.2.2. Aplicação de amônia sob concentra- ção controlada	23
3.2.3. Extração e determinação do amônio e dos nitratos	25
3.2.3.1. Extração	25
3.2.3.2. Determinação	26
3.2.4. Esterilização do solo	26

3.2.5. Delineamentos experimentais e convenções estatísticas	26
3.2.5.1. Capacidades de retenção de amônia anidra de alguns solos do Município de Piracicaba	27
3.2.5.2. Efeito da amônia na nitrificação	27
3.2.5.3. Nitrificação da amônia em alguns solos do Município de Piracicaba	29
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	
4.1. Capacidades de retenção de amônia anidra de alguns solos do Município de Piracicaba	31
4.2. Efeito da amônia na nitrificação	34
4.2.1. Resultados estatísticos	34
4.2.2. Interpretação e discussão dos resultados	35
4.3. Nitrificação da amônia em alguns solos do Município de Piracicaba	45
4.3.1. Resultados estatísticos	45
4.3.2. Interpretação e discussão dos resultados	46
5. CONCLUSÕES	
5.1. Capacidades de retenção de amônia anidra de alguns solos do Município de Piracicaba	57
5.2. Efeito da amônia na nitrificação	58
5.3. Nitrificação da amônia em alguns solos do Município de Piracicaba	59
6. RESUMO	60
7. SUMMARY	62
8. BIBLIOGRAFIA CITADA	64
ANEXOS	69

1. INTRODUÇÃO

O uso da amônia anidra em aplicações diretas no solo ou na água de irrigação constitui uma revolucionária prática de adubação iniciada em 1932 na Califórnia (E.E.U.U.), e que atualmente se acha difundida em outros países. A eficiência da amônia anidra como adubo é considerada igual ou superior à de outros fertilizantes nitrogenados, mas suas reais vantagens estão ligadas à elevada concentração e ao baixo custo unitário desse material.

O crescente consumo de fertilizantes verificado no Brasil nos últimos anos, os atuais incentivos à agricultura e o progressivo desenvolvimento das indústrias sugerem que, dentro em breve, o uso da amônia anidra ocupará, a exemplo de outros países, lugar de destaque na agricultura nacional. Alguns experimentos foram conduzidos na Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", e os promissores resultados obtidos abrem um campo de novas pesquisas para melhor se conhecer o comportamento e as condições de uso desse fertilizante em nosso meio.

Devido às suas características, a aplicação de amônia na forma anidra ou em solução aquosa deve ser efetuada em condições que evitem perdas por volatilização, não obstante o solo

constitua um sistema capaz de reter esse fertilizante em quantidades apreciáveis. Contudo, a retenção de amônia depende em grande parte das propriedades do solo, e portanto, pode variar substancialmente de modo a exigir, em locais desfavoráveis, a introdução de técnicas mais adequadas que melhor se adaptem a essas condições. O conhecimento prévio dessa capacidade de retenção do solo, por esse e por outros motivos, é um dos requisitos considerados essenciais ao emprego da amônia anidra nas adubações.

O efeito imediato da amônia no solo é criar condições de elevada alcalinidade na zona de retenção. Essa alcalinidade, associada a altos teores de amônia, causam esterilização parcial do solo reduzindo drasticamente o número de organismos nitrificadores. Em experimento de laboratório, realizado recentemente pelo autor, pôde ser observado o efeito da amônia na nitrificação, sendo que os resultados obtidos sugeriram melhores estudos sobre o assunto.

A nitrificação dos fertilizantes amoniacais há muito vem sendo objeto de estudo uma vez que, dentre outros motivos, a conversão do amônio a nitrato aumenta a mobilidade do nitrogênio no perfil do solo e provoca abaixamento do pH na faixa de aplicação. Diversos são os trabalhos nesse sentido, mesmo para o caso particular da amônia anidra e das soluções aquosas da mesma, mas a grande variabilidade entre os solos impede generalizações e exige a realização de novos experimentos quando se pretende conhecer o comportamento de diferentes solos quanto à oxidação da amônia adicionada como fertilizante.

O presente trabalho constitui-se de três experimentos distintos os quais tiveram os seguintes objetivos:

a) Determinar a capacidade de retenção da amônia anidra de alguns solos do Município de Piracicaba.

b) Obter informações adicionais sobre o efeito da amônia na nitrificação quando o solo é tratado com esse material.

c) Estudar a nitrificação da amônia em alguns solos do Município de Piracicaba, acompanhando as alterações do pH decorrentes da adição e posterior oxidação dessa substância.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Retenção de amônia no solo

O fenômeno da retenção de amônia no solo, de acordo com MORTLAND (1958), BROADBENT & STEVENSON (1966), MORTLAND (1966) e PARR & PAPENDICK (1966-a), se dá através de diversos mecanismos que são genericamente divididos em químicos e físicos. Os mecanismos químicos de retenção se fundamentam na reação da molécula de amônia (NH_3) com iônios H^+ provenientes da solução do solo ou da fase sólida: no primeiro caso, há formação de um sal amoniacal ou de hidróxido de amônio e no segundo, forma-se amônio (NH_4^+) associado às partículas minerais e orgânicas do solo através das cargas negativas desses materiais. Iônios de alumínio hidratado, que por hidrólise produzem H^+ , também contribuem substancialmente na retenção química da amônia.

Os mecanismos químicos de retenção, caracterizados por elevada energia de ligação, são importantes em evitar que a amônia passe à fase gasosa do solo e venha a se perder na atmosfera; outro fato de certa importância prática, conforme cita MORTLAND (1966), é o de que a retenção química da amônia no solo converte um composto gasoso e tóxico, em um nutriente relativamente

imóvel e inócuo. Ao contrário da retenção química, a retenção física da amônia no solo é caracterizada pela baixa energia de ligação que se estabelece entre a molécula de NH_3 e a superfície das partículas minerais e orgânicas, não havendo formação de amônio. Este fenômeno ocorre apenas quando há uma pressão positiva de amônia no solo, por exemplo, quando esse material é aplicado como fertilizante. A retenção física da amônia é temporária, pois com a redução da pressão do gás, a amônia passa à fase gasosa do solo e nele se difunde até ser retida quimicamente ou se perder na atmosfera.

Embora teoricamente haja uma certa distinção entre retenção física e química da amônia no solo, BROWN & BARTHOLOMEW (1962) afirmam não haver método que separe a amônia retida fisicamente daquela quimicamente retida.

2.1.1. Técnicas empregadas em estudos de retenção

A revisão da literatura mostra uma grande variedade de técnicas e aparelhos idealizados para o estudo da retenção de amônia no solo e que diferem principalmente em relação à fonte de NH_3 , ao modo de aplicar essa substância ao solo e ao de avaliar a quantidade retida.

Para estudar os efeitos de algumas propriedades físicas e químicas do solo na retenção de amônia, JACKSON & CHANG (1947) e STANLEY & SMITH (1956) injetaram quantidades conhecidas de amônia anidra em um ponto no interior da amostra de solo encerrada em sistema fechado; a retenção de amônia foi estimada

submetendo-se o sistema à aeração e determinando a quantidade de amônia não retida.

Blue & Eno (1952), citados por PAPENDICK & PARR (1965), relataram uma técnica para estimar a capacidade de retenção de amônia dos solos, que consistia em se passar uma corrente de amônia em uma coluna de solo até que o gás fosse detectado na extremidade oposta da mesma; a capacidade de retenção da amostra era caracterizada pela quantidade de amônia removida do solo através de extração com solução salina.

SOHN & PEECH (1958) determinaram a capacidade de retenção e de fixação de amônia de vários solos fazendo uso de uma técnica que consiste em se amonizar amostras com aplicações em excesso de amônia gasosa até aparente saturação, e em seguida, deixando-as pernoitar em contato com o gás; a amônia não retida era removida naturalmente colocando a amostra em bandejas no interior de uma capela por uma semana; a capacidade de retenção de amônia foi determinada pela diferença entre os teores de nitrogênio total das amostras amonizadas e os das testemunhas correspondentes; a capacidade de fixação de amônia foi determinada pela diferença entre a capacidade de retenção e a quantidade de amônia retida como amônio trocável (NH_4^+), que por sua vez, foi obtida pela diferença entre o teor de amônio das amostras amonizadas e o das testemunhas através de extração com solução de NaCl a 10% seguida de destilação.

YOUNG & CATTANI (1962) e YOUNG (1964) também estudaram a retenção e a fixação de amônia pelos solos passando uma

corrente de amônia gasosa em frascos Erlenmeyer contendo as amostras; a amônia não retida foi removida submetendo-se o solo à um vácuo contínuo por doze horas; a amônia retida e a fixada foram estimadas por procedimento semelhante ao de SOHN & PEECH (1958).

Um equipamento especial que permite dosar e aplicar quantidades conhecidas de amônia gasosa em amostras de solo foi empregado por PAPENDICK & PARR (1965), PARR & PAPENDICK (1966-b) e PARR (1969); a amônia era medida pelo deslocamento do nível de colunas de mercúrio causado pela entrada do gás no sistema, e em seguida, liberada no interior de um frasco contendo a amostra de solo; a retenção era caracterizada pela diferença entre a quantidade aplicada e a recuperada por meio de aeração contínua do solo. Com esse equipamento, PAPENDICK & PARR (1965) e PARR & PAPENDICK (1966-b) demonstraram (a) que a retenção de amônia no solo aumenta com o aumento da concentração do gás aplicado, principalmente até 5 000 ppm de $N-NH_3$, (b) que após um período de duas horas de contato do solo com a amônia não há aumento na quantidade retida e (c) que a maior parte da amônia não retida é eliminada após as primeiras 60 horas de aeração independentemente da intensidade desta, embora pequenas perdas de amônia fossem detectadas mesmo após 360 horas de aeração.

A dificuldade em se avaliar a capacidade de retenção de amônia anidra dos solos é muito bem situada por PARR (1969) quando relata que "a retenção de amônia pelo solo é uma característica dinâmica que não só depende das propriedades do solo como também das condições experimentais empregadas no seu estudo".

2.1.2. Textura e capacidades de retenção

Dentre as propriedades do solo que influem na retenção de amônia, como o conteúdo de matéria orgânica, a capacidade de troca catiônica e o pH (MORTLAND, 1958), a textura desempenha importante papel uma vez que está diretamente relacionada com aquele fenômeno. De um modo geral, solos de textura fina retém melhor a amônia que os de textura grosseira; por esta razão, segundo PARR & PAPENDICK (1966-a), é comum levar-se em consideração a textura do solo quando se pretende recomendar a dose de aplicação de amônia anidra. JENNY et al. (1945) e STANLEY & SMITH (1956) verificaram que a retenção de amônia pelo solo era uma função da sua textura, sendo maior em solos argilosos; Mc DOWELL & SMITH (1958) observaram que as perdas de amônia por volatilização eram maiores em solos arenosos que nos argilosos. Apesar desses fatos, a textura nem sempre pode dar indicações seguras sobre o fenômeno em questão. JACKSON & CHANG (1947) e PARR & PAPENDICK (1966-a) demonstraram que solos arenosos as vezes retém melhor a amônia que solos argilosos; segundo esses últimos, o fato indica que outras propriedades além da textura podem influir no fenômeno, como por exemplo, o teor e a natureza dos minerais de argila e da matéria orgânica.

Desde que a retenção de amônia é uma função das propriedades físicas e químicas dos solos, estes divergem substancialmente quanto à capacidade de reter o fertilizante. As retenções observadas por SOHN & PEECH (1958) variam desde 685 ppm de $N-NH_3$ para um solo barro limoso até mais de 24 000 ppm de $N-NH_3$

para um solo turfoso; os dados desses autores mostram também que a retenção de amônia na forma trocável responde pela maior parte (72,2 a 86,9%) da retenção global, variando de 553 a 2 365 ppm de $N-NH_3$ em solos minerais e atingindo 14 602 ppm de $N-NH_3$ em um solo turfoso. YOUNG (1964) também demonstrou que a maior parte (cerca de $3/4$) da amônia retida era lixiviada com uma solução de KCl 0,5 N, sendo o restante fixado pela fração mineral e orgânica do solo.

2.2. Nitrificação da amônia no solo

O fenômeno da nitrificação é realizado em duas etapas consecutivas nas quais participam gêneros distintos de bactérias autotróficas: na primeira etapa, realizada pelas do gênero *Nitrosomonas*, a amônia é oxidada a nitrito (NO_2^-) e na segunda, as do gênero *Nitrobacter* complementam a nitrificação oxidando o nitrito a nitrato (NO_3^-). Pelo fato dos fertilizantes amoniacais serem geralmente aplicados em uma estreita faixa do solo, altas concentrações de amônio ou amônia se originam ao longo dessa faixa, causando a inibição de uma ou de ambas as etapas da nitrificação.

Segundo BROADBENT *et al.* (1957), a inibição da nitrificação se deve a uma ou mais das seguintes causas: (a) pH excessivamente alto resultante da aplicação de materiais alcalinos; (b) pH excessivamente baixo devido à formação de ácidos nitroso e nítrico com a nitrificação; (c) presença de amônia livre inibindo as bactérias formadoras de nitrato a partir do nitrito (condições

extremas podem bloquear também a oxidação do amônio a nitrito); (d) efeito salino, originando pressões osmóticas muito elevadas para as bactérias nitrificadoras, principalmente devido à presença de nitratos.

Diversos são os fatores que governam o fenômeno de nitrificação, mas para FREDERICK & BROADBENT (1966), a concentração de amônia e de nitratos, o pH e a população de bactérias nitrificadoras são os mais diretamente ligados à prática de adubação com amônia anidra.

2.2.1. Efeito da amônia na nitrificação

Imediatamente após a aplicação da amônia anidra no terreno, elevadas quantidades de amônia (NH_3) e de amônio (NH_4^+) ficam retidas numa estreita zona cilíndrica do solo causando drástico distúrbio no equilíbrio microbiológico. Os efeitos deletérios da amônia anidra nos organismos do solo foram demonstrados por ENO & BLUE (1954) e por ENO et al. (1955), os quais observaram que o número de bactérias, actinomicetos e fungos diminuiu consideravelmente no centro da zona de retenção do fertilizante logo após a sua injeção; esse fato refletiu, portanto, negativamente no fenômeno da nitrificação. Segundo WAKSMAN (1952), o efeito deletério da amônia se deve à facilidade com que esta substância, na forma livre NH_3 , penetra nas células dos organismos neles exercendo ação tóxica, o que não ocorre quando na forma de sais amoniacais.

NÖMMIK & NILSSON (1963) demonstraram que, imediatamente após a injeção de amônia anidra, concentrações superiores a 2 500 ppm de $N-NH_3$ formam-se no centro da zona de retenção resultando condições de esterilização parcial que persistem por diversas semanas. Mc INTOSH & FREDERICK (1958) e NÖMMIK & NILSSON (1963) observaram que a nitrificação na zona de retenção iniciava-se na periferia dessa zona, onde o pH e as concentrações de amônia eram menos drásticos aos organismos nitrificadores, e prosseguia centripetalmente em direção à linha de aplicação à medida que as condições iam se tornando favoráveis.

KIEHL & COBRA NETTO (1972) verificaram que o tratamento de amostras de solo com amônia anidra em laboratório, empregando técnica de SOHN & PEECH (1958), prejudicava drasticamente a sua posterior nitrificação, mesmo após um período de 5 semanas de incubação; entretanto, o processo de nitrificação era rapidamente restituído com a adição de 50% de solo não tratado com amônia, tendo sugerido os autores que esta técnica propiciava melhores condições de nitrificação, provavelmente devido à inoculação com microrganismos nitrificadores e à redução do teor de amônia, originalmente de 796 ppm, para níveis menos tóxicos de 399 ppm de $N-NH_3$; as condições do experimento, contudo, não permitiram avaliar a contribuição de cada causa isoladamente.

Considerando-se que a amônia exerce ação deletéria aos organismos vivos do solo, era de se supor que a amônia anidra provocasse um acentuado retardamento no processo de nitrificação; altamente benéfico por garantir a presença do nitrogênio ao alcance

das raízes durante mais tempo; entretanto, alguns trabalhos sobre o assunto mostram que esse efeito geralmente não ocorre em condições de campo, provavelmente devido à recolonização da zona afetada pela amônia ser um tanto rápida. Mc INTOSH & FREDERICK (1958) observaram que a amônia anidra aplicada na quantidade de 130 kg de N por hectare é geralmente nitrificada por completo dentro de 4 a 8 semanas, enquanto ENO & BLUE (1954) mostraram que, em solos ácidos, a amônia anidra é oxidada mais rapidamente que o sulfato de amônio, o inverso se dando em solos alcalinos.

O efeito da concentração de nitrogênio amoniacal na nitrificação foi estudado por BROADBENT et al. (1957), STOJANOVIC & ALEXANDER (1958) e JUSTICE & SMITH (1962). Os resultados de BROADBENT et al. (1957) mostraram que maiores quantidades de nitratos eram produzidas quando se aumentava a concentração de amônio até 400 ppm de N-NH₄, fornecido como NH₄OH, (NH₄)₂SO₄ ou NH₄NO₃; doses de 800 ppm ou mais provocaram notável efeito inibitório ao processo da nitrificação. Efeitos mais acentuados do amônio na nitrificação foram obtidos por STOJANOVIC & ALEXANDER (1958), os quais observaram redução na velocidade de nitrificação quando o amônio era fornecido na concentração de apenas 250 ppm de N-NH₄ aplicado na forma de (NH₄)₂SO₄.

2.2.2. Efeito da amônia no pH e no acúmulo de nitrito.

O efeito alcalinizante que a amônia exerce logo após a aplicação no solo pode ser verificado em uma série de trabalhos (BROADBENT et al. (1957; ENO & BLUE, 1957; NÖMMIK & NILSSON, 1963;

SMILEY & PAPENDICK, 1968; KIEHL & ROCHA FILHO, 1972). No local de injeção de amônia anidra, onde a concentração era superior a 2 500 ppm de $N-NH_3$, NÖMMIK & NILSSON (1963) encontraram valores de pH acima de 9,5, enquanto SMILEY & PAPENDICK (1968) observaram um pH de 8,8. KIEHL & ROCHA FILHO (1972), amonizando solo em laboratório, observaram uma alteração do pH de 6,3 a 9,0 devido a uma quantidade de 575 ppm de $N-NH_4$ retida. Os dados de BROADBENT et al. (1957) mostram que o aumento do pH causado pela aplicação de amônia depende, além da quantidade aplicada, do poder tampão do solo: para uma dose de 800 ppm de $N-NH_3$ aplicada como NH_4OH em um solo bem tamponado, o pH variou de 5,4 a 5,9 enquanto que em outro, de baixo poder tampão, o pH elevou-se de 6,4 a 9,8. SMILEY & PAPENDICK (1968) observaram que o pH e o conteúdo de amônia do solo decrescem com a distância do ponto de injeção do fertilizante, aplicado como amônia anidra, e que os valores de pH estavam altamente correlacionados com os conteúdos de amônia.

Embora exista uma divergência de opiniões na literatura a respeito do pH ótimo para a nitrificação, sabe-se que este se situa um pouco acima da neutralidade. Foster (1951), citado por ENO & BLUE (1957), observou aumento na intensidade de nitrificação quando o pH do solo era corrigido para valores entre 8,5 e 9,0. ENO & BLUE (1954) verificaram que a amônia anidra era nitrificada mais rapidamente em solos ácidos que nos alcalinos; posterior trabalho dos autores (ENO & BLUE, 1957) veio demonstrar que a amônia estimulou a nitrificação em solos ácidos por aumentar o pH para níveis mais adequados (pH 8,0 a 9,0) e por constituir uma base para a neutralização do ácido nítrico produzido no processo.

De acordo com Meyrhof (1916), citado por BROADBENT et al. (1957), o pH ótimo para as bactérias nitrificadoras do gênero Nitrosomonas, que oxidam a amônia a nitrito, está entre 8,5 e 8,8, e para as do gênero Nitrobacter, que complementam a nitrificação oxidando o nitrito a nitrato, o pH pode variar de 8,3 a 9,3.

Mesmo sendo um material alcalino, devido à nitrificação a amônia anidra faz baixar o pH na faixa de aplicação, muito embora a reação do solo como um todo não seja alterada (BROADBENT et al. 1957). Experimentos realizados por ENO & BLUE (1957), BROADBENT et al. (1957) e NÖMMIK & NILSSON (1963) mostraram que o pH do solo pode baixar para valores entre 4,2 e 4,8 após a nitrificação da amônia aplicada. Para FREDERICK & BROADBENT (1966), o limite inferior de pH para a nitrificação parece ser variável: em solos de textura fina, valores de pH 5,5 a 5,0 inibem a nitrificação drasticamente, enquanto que em solos mais arenosos, a nitrificação tem sido observada em valores de pH inferiores a 4,5.

De maneira geral, na natureza o nitrito não se acumula no solo uma vez que a velocidade de oxidação deste é sempre maior que a de sua produção; contudo, sabe-se que apreciáveis quantidades de nitrito podem persistir durante um certo tempo em solos adubados com amônia devido à Nitrobacter ser mais sensível que a Nitrosomona às condições de alcalinidade e elevada concentração desse fertilizante (BROADBENT & STEVENSON, 1966). Esse fato tem merecido atenções de pesquisadores devido ao nitrito ser tóxico às plantas quando acima de determinadas concentrações (BINGHAM et al., 1954).

Incubando porções de terra coletadas a diferentes distâncias da linha de aplicação de amônia anidra, NÖMMIK & NILSSON (1963) observaram que, nas regiões próximas a essa, a nitrificação foi inibida principalmente no seu segundo estágio, resultando acúmulo de nitrito em teores de até 27 ppm de N-NO₂. BROADBENT et al. (1957) também observaram, em condições de laboratório, acúmulo de nitrito de até 149 ppm de N-NO₂ em solos ácidos tratados com 1 600 e 3 600 ppm de N-NH₄ aplicados como NH₄OH; em solos alcalinos, houve aparecimento de nitrito mesmo com a aplicação de 50 ppm de N-NH₄ (pH 8,0 a 8,4), mas quantidades bem maiores, iguais a 80, 200, 600 e 800 ppm de N-NO₂ foram observadas com aplicações de 200, 400, 800 e 1 600 ppm de NH₄OH, (NH₄)₂SO₄ ou NH₄NO₃; nesses solos alcalinos, concentrações em torno de 600 ppm de N-NO₂ ocorreram mesmo quando o pH era de 7,3. Acúmulos de nitrito após aplicação de sais amoniacaes também foram observados por CHAPMAN & LIEBIG Jr. (1952), STOJANOVIC & ALEXANDER (1958) e JUSTICE & SMITH (1962). Mantendo-se o pH constante, STOJANOVIC & ALEXANDER (1958) observaram que a quantidade de nitrito aumentava com a dose de (NH₄)₂SO₄ fornecida, o que indicava ser o amônio prejudicial somente para a segunda etapa da nitrificação; em solos com pH elevado, contudo, admitiram os autores que a inibição se deve à presença de amônia na forma livre proveniente do fertilizante.

2.2.3. Capacidade de nitrificação dos solos

Sob condições favoráveis, a nitrificação da amônia no solo é um processo bastante rápido; entretanto, alguns pesquisadores tem mostrado existir variações entre os solos quanto à

capacidade dos mesmos em realizar a completa oxidação da amônia ou amônio adicionado como fertilizante, em um determinado prazo. Os resultados de BROADBENT et al. (1957) mostraram que, em três solos medianamente ácidos, o amônio adicionado como NH_4OH na dose de 100 ppm de N-NH_4 era nitrificado integralmente em cerca de 0,5, 1,5 e 2,0 semanas de incubação; a completa nitrificação do amônio na dose de 200 ppm de N-NH_4 , contudo, se deu após 2,0, 2,5 e 3,0 semanas em cada solo estudado.

Conforme observaram SABEY et al. (1959), a produção de nitrato, em função do tempo, obedece geralmente a uma curva sigmóide cuja porção mais inclinada corresponde à fase de máxima velocidade de nitrificação. Conforme FREDERICK & BROADBENT (1966), quando o amônio não é limitante, a máxima velocidade de nitrificação mostra-se útil para estabelecer comparações entre solos, e segundo BROADBENT et al. (1957), constitui uma forma de se avaliar a capacidade da flora microbiológica do solo em oxidar grandes quantidades de amônia em um curto espaço de tempo. A literatura cita velocidades de nitrificação das mais variáveis mesmo dentro de uma limitada faixa de temperatura de 25 a 30°C; FREDERICK (1956) observou velocidades de 40 e de 100 ppm de nitrogênio nítrico por semana em dois solos barro limosos; ENO & BLUE (1957) obtiveram velocidades de 0 e de 14 ppm por semana em solos arenosos, e SABEY et al. (1959) registraram taxas de 44 e de 167 ppm por semana em solos barro argilo limosos e de 20 ppm em um barro limoso. Maiores velocidades de nitrificação foram observadas por BROADBENT et al. (1957) em dois solos argilosos calcários, ou seja, de 312 e de 385 ppm de nitrogênio nítrico por semana; para doses de 100 ou de 200

ppm de N-NH₄, aplicado como NH₄OH, esses autores obtiveram velocidades de 57 a 143 ppm por semana em solos medianamente ácidos.

3. MATERIAL E MÉTODOS

O material e os métodos utilizados no presente estudo são relacionados a seguir.

3.1. Material

3.1.1. Solos

Dez séries de solos do Município de Piracicaba foram escolhidas de forma a abrangerem vários grandes grupos e classes texturais (horizonte Ap), conforme dados de RANZANI et al. (1966) e DEMATTE (1970):

- a) Ribeirão Claro: Regossol, areia fina.
- b) Paredão Vermelho: Latossol, areia fina.
- c) Quebra Dente: Podzólico, areia barrenta fina.
- d) Artemis: Podzólico, barro arenoso fino.
- e) Anhumas: Podzólico, barro arenoso fino.
- f) Lajeadozinho: Litossolo, barro.
- g) Bairrinho: Mediterrânico, barro.
- h) Godinhos: Podzólico, barro limoso.
- i) Guamium: Latossol, argila.
- j) Iracema: Latossol, argila.

3.1.2. Aplicadores de amônia

3.1.2.1. Aplicador de amônia anidra

É um equipamento composto por um pequeno bujão de 3 litros de capacidade contendo amônia anidra liquefeita sob pressão e por um tubo aplicador metálico de aproximadamente 50 cm de comprimento e 1 mm de diâmetro interno, ligado ao bujão através de um registro. Ainda como parte do equipamento, frascos Erlenmeyer de vidro resistente tipo "Pyrex" de 500 ml acondicionam o solo durante e após a aplicação da amônia anidra.

3.1.2.2. Aplicador de amônia sob concentração controlada

O aplicador, construído pelo autor e ilustrado na Figura 1, consta de uma bureta de 50 ml (a) ligada a um frasco lavador (b), e este, à câmara de amonização (c), ou seja, um frasco de absorção equipado com dois tubos de vidro de diferentes comprimentos e um disco de papel de filtro para manter o solo no bulbo superior, sem impedir a passagem da amônia quando colocada no bulbo subjacente. Torneiras de vidro (t_1 , t_2 e t_3) constituem as demais partes do equipamento. Para conectar as peças do aparelho empregou-se pedaços de tubo de borracha, o que conferiu maior flexibilidade ao mesmo durante o manuseio.

3.1.3. Aparelho de destilação

As diferentes formas de nitrogênio mineral foram determinadas em aparelho de destilação a vapor semelhante ao descrito por BREMNER & KEENEY (1965), modificado por COBRA NETTO (trabalho não publicado) quanto ao frasco de destilação (Figura 2); o balão de Kjeldahl daquele aparelho foi substituído por um frasco de vidro em forma de pera contendo em seu interior um tubo em U invertido, e em sua base, uma haste que se adapta diretamente ao gerador de vapor.

3.1.4. Frascos de incubação

Durante a incubação, as amostras de solo foram mantidas em frascos cilíndricos de vidro com 11 cm de altura, 5 cm de diâmetro e 200 ml de capacidade, comumente empregados em laboratório para acondicionar extratos de solo ou de planta. Películas de polietileno de 25 micra de espessura cortadas em quadrados de 11 cm de lado serviram de sistema de aeração; este sistema, já utilizado por KEENEY & BREMNER (1966) e por KEENEY & BREMNER (1967), baseia-se na propriedade dessas películas em serem permeáveis aos gases mas não ao vapor d'água.

3.1.5. Estufa

A estufa constituiu-se de uma caixa de madeira medindo 1,00 x 0,60 x 0,80 m, forrada internamente com material isolante térmico e equipada com prateleira de tela metálica, resistência elétrica, termostato, termômetro de vidro e ventilador.

Figura 1 - Aplicador de amônia sob concentração controlada

LEGENDA

- a - bureta de 50 ml
- b - frasco lavador
- c - câmara de amonização
- t_1, t_2, t_3 - torneiras de vidro

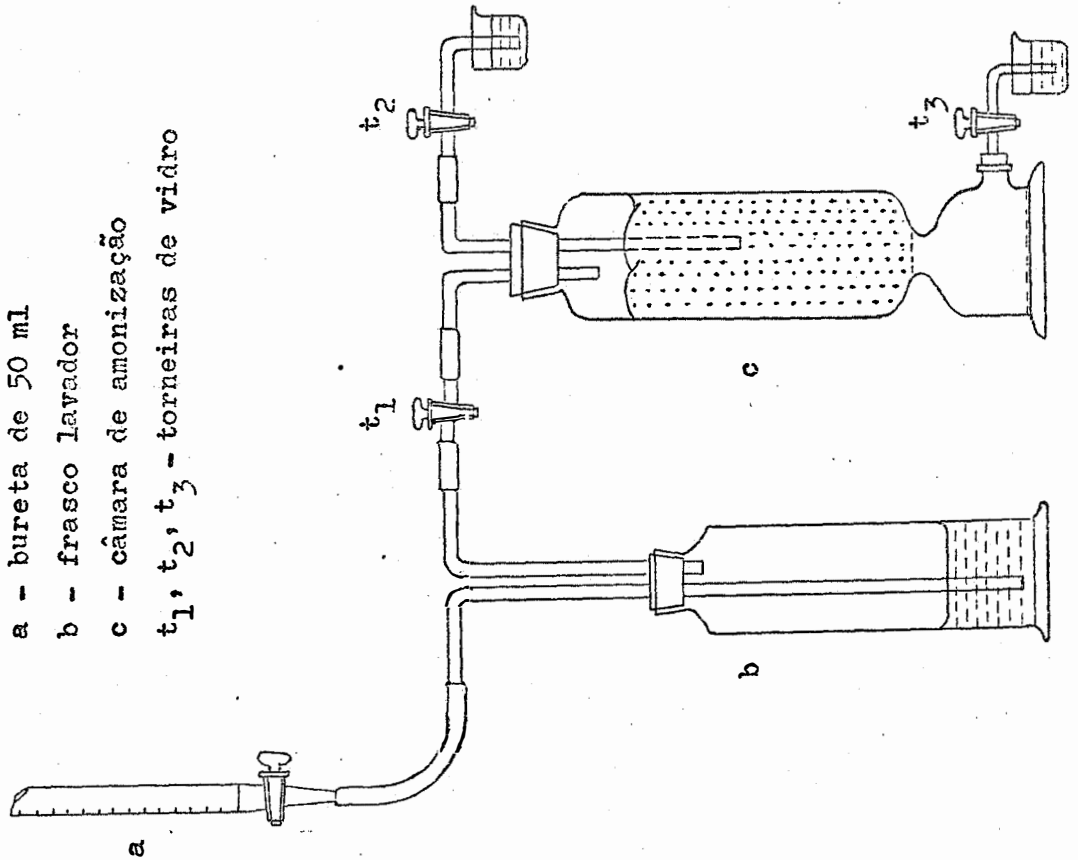
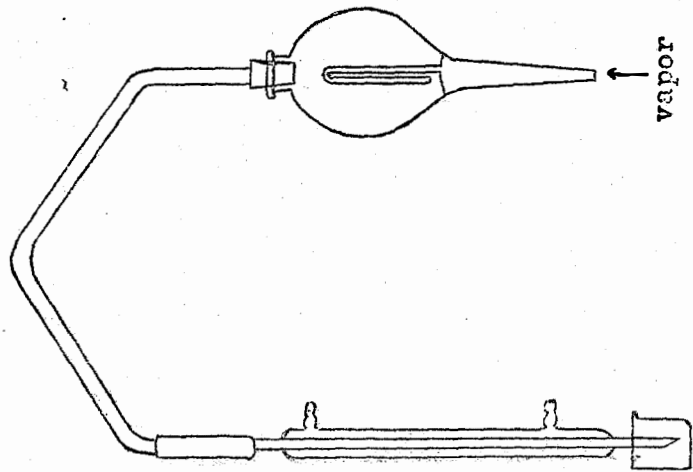


Figura 2 - Aparelho de destilação



3.2. Métodos

3.2.1. Coleta e preparo das amostras de solo

As amostras de solo foram coletadas do horizonte Ap, seguindo-se secagem do material ao ar, destorreamento e tamizamento em peneira de 2 mm de abertura.

3.2.2. Aplicação de amônia

3.2.2.1. Aplicação de amônia anidra

Empregou-se técnica de SOHN & PEECH (1958), já utilizada por COBRA NETTO (trabalho não publicado), posteriormente por KIEHL & COBRA NETTO (1972), utilizando-se o material descrito em 3.1.2.1. Inicialmente, uma quantidade de 300 g de solo seco ao ar foi colocada no Erlenmeyer; com o bujão de amônia anidra fixado em um suporte em posição invertida, deixou-se escapar uma porção do gás até que se congelassem os condutos de saída, permitindo a liberação da amônia no estado líquido. Após introduzir no solo o tubo aplicador, abriu-se o registro o suficiente para que a amônia, ao gaseificar-se, provocasse uma leve turbulência da terra enquanto que, manualmente, conservava-se o Erlenmeyer em rotação mudando-se continuamente o ponto de aplicação. Decorridos 20 segundos, o recipiente foi arrolhado para que o solo ficasse em contato com a amônia durante 24 horas, após o que a terra foi transferida para bandejas, permanecendo sob capela por um período de 1 semana; nesse intervalo, revolveu-se o solo diariamente para

promover a máxima liberação da amônia livre e da fracamente retida. As amostras amonizadas foram acondicionadas em recipientes de vidro bem fechados até posterior emprego.

3.2.2.2. Aplicação de amônia sob concentração controlada

Neste sistema de aplicação de amônia empregou-se o aparelho descrito em 3.1.2.2. A amostra de solo seca ao ar, na quantidade de 480 g, foi transferida para o bulbo superior da câmara de amonização (Figura 1, letra c) através de um funil, ficando a extremidade do tubo mais longo no centro da amostra e a do tubo mais curto acima da superfície. Com as torneiras t_1 e t_2 abertas, completou-se o volume da bureta com água destilada deixando-se que uma parte escorresse para o frasco lavador a fim de eliminar o ar da tubulação. Através do orifício onde se adapta a torneira t_3 , e com as demais torneiras fechadas, adicionou-se 20 ml de solução de hidróxido de amônio 14 N no bulbo inferior, readaptando-se logo após a torneira em posição fechada. Testes preliminares efetuados com o solo Lajeado, variando o volume e a concentração de hidróxido de amônio, indicaram que os resultados desejados eram obtidos quando se efetuava essa adição.

O aplicador de amônia sob concentração controlada permitiu a dosagem desse gás em três regiões da câmara de amonização: (a) no centro da amostra de solo, (b) na superfície da amostra de solo e (c) no bulbo inferior da câmara de amonização. Em cada caso particular, procedeu-se da seguinte forma:

a) No centro da amostra de solo: colocou-se um copo de 50 ml contendo 25 ml de uma solução de ácido bórico a 2% com os indicadores bromocresol verde e vermelho de metila sob a torneira t_2 , que se liga ao tubo longo da câmara de amonização à semelhança da Figura 1. As amostragens de ar foram efetuadas passando-se 10 ml de água da bureta para o frasco lavador com a torneira t_1 aberta e as demais fechadas. O volume de água acrescentado faz com que igual volume de ar, proveniente do centro da amostra, se desloque quando se abre a torneira t_2 e borbulhe na solução de ácido bórico com indicadores. A amônia coletada foi, em seguida, determinada por titulação com H_2SO_4 0,05 N.

b) Na superfície da amostra de solo: procedeu-se como no caso anterior, porém, tendo-se previamente invertido as ligações dos tubos curto e longo com as torneiras t_1 e t_2 , respectivamente.

c) No bulbo inferior da câmara de amonização: procedeu-se como nos casos anteriores, porém, colocando-se o copo com ácido bórico e indicadores sob a torneira t_3 e conservando-se fechada a t_2 .

Outro estudo preliminar com o solo Lajeado, em que amostras de ar foram coletadas das três regiões da câmara de amonização após 1, 24 e 48 horas da adição de hidróxido de amônio, mostrou que em apenas 24 horas, o gás de amônia já havia se distribuído uniformemente em toda a câmara numa concentração de 210 ppm de $N-NH_3$; em nenhuma das determinações observou-se concentrações superiores a 210 ppm quer no centro da amostra de solo, quer

na sua superfície. Para garantir a amonização, o solo foi deixado em contato com a amônia por mais 24 horas, após o que, porções da superfície, do centro e da base da coluna foram coletadas e arejadas separadamente pela mesma técnica de aeração descrita em 3.2.2.1. A extração e a determinação da amônia retida (3.2.3) revelou iguais conteúdos dessa forma nitrogenada nas três regiões da coluna de solo.

3.2.3. Extração e determinação do amônio e dos nitratos

3.2.3.1. Extração

Em Erlenmeyer de 250 ml, contendo terra seca ao ar na quantidade equivalente a 20 g da terra seca em estufa, adicionou-se 100 ml de solução de KCl 4 M^{1/} ligeiramente acidificada com HCl para prevenir volatilização de amônia; o material foi agitado por 1 hora em agitador mecânico e filtrado em papel de filtro "S & S" faixa preta. Os extratos foram acondicionados em frascos de vidro (3.1.4) com tampa plástica, e levados ao refrigerador por um período não maior que 14 dias.

^{1/} A escolha da relação solo:extrator e da concentração do mesmo foi baseada nos resultados obtidos por BREMNER & KEENEY(1966); os autores demonstraram que a quantidade de amônio extraída por agitação do solo com solução de KCl por 1 hora é a mesma quer se empregue KCl 1 M, 2 M ou 4 M, desde que o volume tomado para a extração contenha 20 e.mg de K⁺ por grama de solo ou mais; neste caso, optou-se pela solução de KCl 4 M devido ao volume de líquido ser menor e mais adaptável aos materiais utilizados na extração.

3.2.3.2. Determinação

A determinação química dos teores de amônio e de nitratos foi efetuada por destilação conforme BREMNER & KEENEY(1965) em aparelho de destilação a vapor (3.1.3). O método baseia-se em converter as formas de nitrogênio a serem analisadas em amônio, que é separado por destilação a vapor; a amônia é coletada em solução de ácido bórico com indicadores e determinada por titulação com ácido sulfúrico padronizado. O óxido de magnésio é empregado na destilação da amônia, enquanto que a liga de Devarda finamente moída faz a redução do nitrato e do nitrito a amônio; o nitrato é separado do nitrito decompondo-se o último a nitrogênio elementar com solução de ácido sulfâmico antes da destilação.

3.2.4. Esterilização do solo

Amostras de solo secas ao ar e passadas em peneira de 2 mm de abertura foram transportadas para Erlenmeyer de 500 ml e tratadas em autoclave sob 2 atmosferas de pressão e temperatura de 120°C durante 20 minutos. Esta técnica foi recentemente empregada por SARAVIA (1970) e mostrou-se eficiente em promover a esterilização do solo.

3.2.5. Delineamentos experimentais e convenções estatísticas

Os três delineamentos seguintes referem-se a experimentos inteiramente casualizados, conduzidos em laboratório, cujos

resultados foram analisados e interpretados estatisticamente de acordo com PIMENTEL GOMES (1966). Os limites de F nas análises da variância, quando significativos aos níveis de 5% e 1% de probabilidade, estão representados por um ou por dois asteriscos, respectivamente. Todas as comparações das médias foram efetuadas através do Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

3.2.5.1. Capacidades de retenção de amônia anidra de alguns solos do Município de Piracicaba

Amostras triplicadas dos solos Ribeirão Claro, Pareião Vermelho, Quebra Dente, Artemis, Anhumas, Lajeadinho, Bairrinho, Godinhos, Guamium e Iracema foram inicialmente amonizadas pela técnica de SOHN & PEECH (1958) (3.2.2.1). O conteúdo de amônio dessas amostras e de outras não tratadas (testemunha) foi determinado (3.2.3) e a retenção de amônia calculada por diferença entre os conteúdos de amônio das terras amonizadas e os das testemunhas correspondentes. Os resultados foram estudados estatisticamente através de análise da variância; as médias foram comparadas pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

3.2.5.2. Efeito da amônia na nitrificação

Amostras do solo Lajeadinho, após serem tratadas com amônia anidra pela técnica de SOHN & PEECH (1958) (3.2.2.1) ou com amônia sob concentração de 210 ppm de N-NH₃ (3.2.2.2), foram postas para incubar juntamente com outras igualmente tratadas, mas

que receberam 30% ou 60% de solo não amonizado (testemunha), que passará a ser convencionalmente chamado de solo natural; um outro grupo de amostras, também tratadas com o fertilizante, recebeu 30% ou 60% do solo natural, porém esterilizado (3.2.4). Após o preparo das amostras, quantidades de terra seca ao ar correspondentes a 20 g da terra seca em estufa foram transportadas para frascos de incubação (3.1.4) em número suficiente para possibilitar, em cada época de 0, 4, 8 e 12 semanas, a coleta e a análise das três repetições por tratamento. Uma outra série de amostras de cada tratamento foi reservada para determinação do pH (relação água:solo de 2,5:1) segundo CATANI et al. (1955) em potenciômetro Beckman "Zeromatic" equipado com elétrodo de vidro. A terra nos frascos de incubação foi umedecida a 50% da capacidade máxima para a água; as amostras relativas à época inicial de incubação (0 semanas), embora destinadas à análise imediata do nitrogênio mineral, também foram umedecidas por questão de uniformidade em relação às demais épocas^{1/}. Os frascos das épocas 4, 8 e 12 semanas foram fechados com películas de polietileno (3.1.4) presas ao gargalo com anéis de borracha, e levados em estufa (3.1.5) ajustada à temperatura de $30^{\circ}\text{C} \pm 0,2$, onde ocuparam posições ao acaso. Ao término de cada período de incubação, os frascos a serem amostrados eram deixados abertos na estufa para secagem da terra e posterior determinação dos conteúdos de amônio, nitrato e nitrito (3.2.3). Os resultados foram estudados estatisticamente procedendo-se à uma análise da variância em cada época de incubação; as médias foram comparadas pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade; as variações

^{1/} Segundo MASS (1968) e SEIFERT (1969), o umedecimento seguido de secagem pode alterar o conteúdo de nitrogênio mineral do solo.

dos conteúdos de amônio e de nitratos durante a incubação foram estudadas através de regressões lineares, quadrática e cúbicas, obtidas através de suas análises da variância; efetuou-se, ainda, um estudo de correlação entre os teores de amônio dos solos no início da incubação e os valores de pH.

3.2.5.3. Nitrificação da amônia em alguns solos do Município de Piracicaba

Um experimento fatorial foi montado com quatro solos (Ribeirão Claro, Lajeado, Godinhos e Iracema), três doses de amônia (0, 110 e 220 ppm de $N-NH_3$) e quatro épocas de incubação (0, 3, 6 e 9 semanas). Utilizando-se microbureta, a amônia foi aplicada diretamente nos frascos de incubação (3.1.4) contendo quantidade de terra seca ao ar correspondente a 20 g da terra seca em estufa, adicionando-se ora uma, ora duas gotas de solução de hidróxido de amônio aproximadamente $4 N^{1/}$; após cada aplicação, os frascos eram fechados com tampas de plástico durante 48 horas para que, com a evaporação da solução, a amônia volatilizada se difundisse e fosse retida pelo solo; pequeno torrão formado no local da aplicação foi desfeito com espátula, e a terra muito bem homogeneizada. As amostras foram umedecidas a 50% da capacidade máxima para a água, incluindo-se aquelas destinadas à análise imediata do nitrogênio amoniacal (0 semanas de incubação) pelos motivos

1/ Testes preliminares, em que as mesmas quantidades da solução de hidróxido de amônio foram recolhidas em solução de ácido bórico a 2% com indicadores bromocresol verde e vermelho de metila seguindo-se de titulação com H_2SO_4 0,01 N; indicaram como sendo de 110 ppm (± 1) e de 220 ppm (± 2) de $N-NH_3$ as doses de amônia aplicadas.

já abordados em 3.2.5.2, Os frascos das demais épocas foram fechados com as películas de polietileno (3.1.4) presas ao gargalo com anéis de borracha e levados em estufa (3.1.5) ajustada à temperatura de $30^{\circ}\text{C} \pm 0,2$, onde ocuparam posições ao acaso. Ao término de cada período de incubação, os frascos a serem amostrados eram deixados abertos na estufa para secagem da terra, procedendo-se então à determinação do pH e dos conteúdos de amônio e de nitrato + nitrito. O pH foi determinado adicionando-se 20 ml de água destilada diretamente no frasco de incubação (relação água:solo de 1:1), agitando-se com bastonete de vidro e fazendo-se a leitura após 1 hora em potenciômetro "Leeds & Northrup" cujo elétrodo de vidro, sendo longo, permitia atingir-se a suspensão. Nas mesmas amostras procedeu-se à extração^{1/} e determinação dos conteúdos de amônio e de nitrato + nitrito (3.2.3). Estes resultados foram estudados estatisticamente efetuando-se uma análise da variância em cada época de incubação; as médias foram comparadas pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade; as variações dos conteúdos de amônio e de nitratos durante a incubação foram estudadas através de regressões lineares, quadráticas e cúbicas, obtidas através de suas análises da variância.

^{1/} Para se proceder à extração nas mesmas condições descritas em 3.2.3, em vista da prévia adição de 20 ml de água para determinação do pH, tomou-se apenas 80 ml da solução de KCl, porém, na concentração 5 N.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados e a discussão de cada experimento serão apresentados separadamente, distribuídos nos três itens que se seguem.

4.1. Capacidades de retenção de amônia anidra de alguns solos do Município de Piracicaba

Várias são as técnicas utilizadas em estudos de retenção de amônia pelo solo. Desde que a literatura ainda não fixou um método para a determinação da capacidade dos solos em reter a amônia, e em vista do fenômeno depender não só das propriedades do solo como também das condições experimentais empregadas, conforme salientou PARR (1969), a capacidade de retenção da amônia torna-se um valor relativo, a menos que seja definida em função do método escolhido na sua determinação.

A técnica descrita por SOHN & PEECH (1958) para determinar a capacidade de retenção de amônia do solo, além de ser simples e não requerer equipamentos especiais, nem sempre disponíveis em laboratórios, atende às observações de PAPENDICK & PARR (1965) e PARR & PAPENDICK (1966-b) sobre as condições que podem interferir nessa determinação.

No presente trabalho, em que a amônia anidra foi aplicada conforme técnica de SOHN & PEECH (1958), não foram consideradas as formas de amônia fixadas pelo solo e sim, somente aquelas extraídas com solução de KCl 2N, uma vez que o amônio trocável constitui, conforme esses autores e YOUNG (1964), quase a totalidade do fertilizante aplicado; portanto, os resultados obtidos devem representar, sob o ponto de vista da nutrição vegetal, quantidades de nitrogênio que o solo retém em formas facilmente assimiláveis após a injeção de amônia anidra.

A Tabela 1 apresenta as capacidades de retenção de amônia anidra de alguns solos do Município de Piracicaba, em valores absolutos e relativos. Os valores absolutos referem-se às concentrações de amônia retida e são médias dos dados experimentais da Tabela I (ANEXOS); os valores relativos foram calculados a partir das médias, considerando-se a maior igual a 100. A análise da variância (Tabela II, ANEXOS) forneceu um valor de F significativo ao nível de 1% de probabilidade.

Observa-se na Tabela 1 que todos os solos ocuparam categorias distintas quanto à capacidade de retenção de amônia anidra, com exceção dos solos Artemis e Paredão Vermelho, que não diferiram significativamente. Em confronto com os resultados obtidos por SOHN & PEECH (1958), verifica-se que os solos Artemis, Paredão Vermelho, Ribeirão Claro e Quebra Dente mostraram retenções de amônia bem menores que as encontradas por aqueles autores; os demais solos, Anhumas, Lajeadozinho, Bairrinho, Guamium, Godinhos e Iracema apresentaram capacidades de retenção comparáveis com a maioria dos solos por eles estudados.

Tabela 1 - Capacidades de retenção de amônia anidra de alguns solos do Município de Piracicaba, em valores absolutos e relativos (dados médios).

Solos	Capacidade de retenção	
	valores absolutos	valores relativos
	ppm de N-NH ₃	%
Artemis (barro arenoso fino)	196,00	13
Paredão Vermelho (areia fina)	206,27	14
Ribeirão Claro (areia fina)	253,87	17
Quebra Dente (areia barrenta fina)	289,80	19
Anhumas (barro arenoso fino)	756,93	50
Lajeadoinho (barro)	819,93	54
Bairrinho (barro)	856,33	57
Guamium (argila)	1 137,73	75
Godinhos (barro limoso)	1 327,20	88
Iracema (argila)	1 510,60	100
dms a 5%	27,80	

O efeito da textura pode ser melhor apreciado através das capacidades relativas de retenção de amônia anidra (Tabela 1). De maneira geral, os resultados concordam com JENNY *et al.* (1945), STANLEY & SMITH (1956) e Mc DOWELL & SMITH (1958), que observaram acentuada tendência dos solos mais argilosos reterem maiores quantidades de amônia. Os valores percentuais calculados também mostram o grau de variação dessa capacidade quando a classe textural varia desde areia fina até argila.

Embora desempenhando importante papel na retenção de amônia anidra do solo, a textura nem sempre constitui um parâmetro adequado de avaliação dessa capacidade. O exemplo mais evidente é o do solo Artemis, um barro arenoso fino que apresentou uma capacidade de retenção inferior à do Anhumas, de mesma classe textural, e semelhante à do Paredão Vermelho, areia fina. Esse fato sugere, conforme já haviam proposto JACKSON & CHANG (1947) e PARR & PAPENDICK (1966-a), que o efeito da textura pode ser facilmente mascarado por outras propriedades do solo, como o teor e a natureza dos minerais de argila e da matéria orgânica.

4.2. Efeito da amônia na nitrificação

Os resultados obtidos nas parcelas, relativos às variações dos teores de nitratos e de amônio durante a incubação encontram-se nos ANEXOS, Tabelas III e IV.

4.2.1. Resultados estatísticos

As análises da variância dos teores de nitratos e de amônio por época de incubação são apresentadas nas Tabelas V e VI (ANEXOS), onde se observa que o efeito dos tratamentos foi significativo ao nível de 1% de probabilidade para todas as épocas. Os teores de nitratos na época inicial (Tabela III) não diferiram entre as repetições em todos os tratamentos, o que justifica a omissão, na Tabela V, da análise da variância para essa etapa de incubação; conseqüentemente, considerou-se significativa qualquer diferença entre as médias desses resultados.

Nas Tabelas VII e VIII (ANEXOS) são encontradas as análises da variância das regressões relativas às variações dos teores de nitratos e de amônio em função do tempo de incubação. Observa-se que essas variações obedeceram, na maioria dos tratamentos, a regressões cúbicas; contudo, para os teores de nitratos dos solos tratados com amônia anidra, e que receberam 30% e 60% de solo natural esterilizado, nenhuma das regressões estudadas foi significativa mesmo ao nível de 5% de probabilidade (Tabela VII). As equações de regressão significativas ao nível de 1% ou de 5% de probabilidade, e que interpretam as variações dos teores de nitratos e de amônio com a incubação, acham-se na Tabela IX (ANEXOS).

As diferenças mínimas significativas ao nível de 5% de probabilidade, dadas pelo Teste de Tukey, encontram-se junto às médias da Tabela 2.

4.2.2. Interpretação e discussão dos resultados

A Tabela 2 apresenta as variações dos teores de nitratos e de amônio durante a incubação de amostras do solo Lajeado previamente amonizadas por dois processos diferentes, e que receberam ou não posteriores adições de solo natural ou de solo natural esterilizado; encontram-se na mesma Tabela os valores iniciais de pH de cada tratamento. Observa-se que com a aplicação de amônia anidra, o conteúdo de nitrogênio amoniacal do solo Lajeado elevou-se de 21,70 para 834,40 ppm de $N-NH_4$; com a aplicação de amônia gasosa na concentração de 210 ppm de $N-NH_3$, o conteúdo elevou-se para 772,80 ppm de $N-NH_4$, conforme mostram os teores de

Tabela 2 - Variações dos teores de nitratos e de amônio durante a incubação do solo Lajeadinho e valores de pH iniciais, nos diversos tratamentos (dados médios)

Tratamentos*	pH inicial	Semanas de incubação											
		0	4	8	12	0	4	8	12	0	4	8	12
SN	5,6	0,70	28,00	64,87	79,80	21,70	22,40	7,00	9,33	ppm de N-NH ₄			
A	7,7	2,80	2,80	5,60	18,20	834,40	874,53	885,27	962,73				
A + 30% de SN	7,2	2,80	27,53	172,67	291,20	615,60	694,40	601,53	502,13				
A + 30% de SNE	7,3	2,80	2,80	6,07	12,60	624,40	705,60	720,07	763,47				
A + 60% de SN	6,7	1,40	40,13	202,53	241,73	368,20	403,70	281,87	250,60				
A + 60% de SNE	6,7	1,40	3,27	4,67	8,87	376,60	455,20	483,93	499,80				
B	7,4	2,80	7,93	51,80	106,40	772,80	823,20	819,00	834,40				
B + 30% de SN	7,0	2,80	24,27	180,60	269,73	568,87	623,47	508,67	445,20				
B + 30% de SNE	7,0	2,80	4,20	21,93	63,47	571,67	646,33	652,87	647,27				
B + 60% de SN	6,5	1,40	43,87	190,40	224,00	348,13	362,13	252,00	235,67				
B + 60% de SNE	6,5	1,40	3,73	8,87	17,27	354,20	416,73	437,27	483,47				
dms a 5%	-	-	5,28	18,38	35,35	17,09	15,22	27,18	30,17				

* SN, solo natural; A, solo tratado com amônia anidra; SNE, solo natural esterilizado; B, solo tratado com amônia sob concentração de 210 ppm de N-NH₃.

amônio desses tratamentos na época 0 semanas.

É conveniente observar que, embora parte da amônia aplicada às amostras de solo tenha sido retida como amônio (NH_4^+), uma certa porção do gás, aplicado em excesso, permaneceu em contato com a terra por diversas horas na forma livre (NH_3) durante a amonização. Assim, dois efeitos distintos devem ser considerados para uma correta avaliação dos resultados: o da amônia livre, por ocasião da amonização das terras e o do amônio retido, por ocasião da incubação.

Com a adição de 30% ou de 60% de solo natural (não esterilizado), conseguiu-se o abaixamento da concentração inicial de amônio, resultando três níveis ou doses no grupo de amostras tratadas com amônia anidra e três no grupo constituído por amostras tratadas com amônia sob concentração de 210 ppm de N- NH_3 . O mesmo procedimento foi repetido com solo natural esterilizado para isolar prováveis efeitos de inoculação.

O efeito da amônia (NH_3) na nitrificação pode ser avaliado através das produções de nitratos. Observa-se que, da 4ª semana em diante, o solo tratado com amônia anidra apresentou teores de nitratos menores que os do solo natural, tomado como testemunha; o solo tratado com amônia sob concentração de 210 ppm de N- NH_3 , por sua vez, mostrou-se semelhante ao solo natural (testemunha) em produzir nitratos nas duas últimas épocas. Estabelecendo-se comparação entre os dois processos de aplicação de amônia, verifica-se que nas épocas finais, o solo tratado com amônia sob concentração de 210 ppm de N- NH_3 mostrou teores de nitratos também

baixos, mas significativamente maiores que os do solo tratado com amônia anidra. Os efeitos descritos também podem ser observados através das curvas de nitrificação apresentadas na Figura 3.

O efeito da adição de solo natural (não esterilizado), conforme indicam as produções de nitratos (Tabela 2), foi significativo tanto para as amostras tratadas com amônia anidra quanto para aquelas tratadas com amônia sob concentração de 210 ppm de $N-NH_3$. Quando houve adição de solo natural, as produções de nitratos no final do experimento foram de 224,00 a 291,20 ppm de nitrogênio nitrato e, quando o mesmo não foi adicionado, obteve-se produções de apenas 8,87 a 63,47 ppm. A Figura 3 mostra graficamente esse efeito.

As variações dos teores de amônio durante a incubação, apresentadas na Tabela 2 e na Figura 4, também evidenciam o efeito das aplicações de amônia e da adição de solo natural. Observa-se que, em todos os tratamentos que não incluíam solo natural (não esterilizado), os teores de amônio elevaram-se durante a incubação, decrescendo somente quando aquele foi adicionado. É provável que no primeiro caso tenha havido predomínio dos processos de amonificação do nitrogênio orgânico sobre os processos de nitrificação do amônio, sugerindo que a influência da amônia não foi a mesma para os organismos encarregados de realizar cada um desses fenômenos microbiológicos do solo.

Em trabalhos anteriores, KIEHL & COBRA NETTO (1972) já haviam observado que o tratamento do solo com amônia anidra causava acentuado decréscimo na capacidade de nitrificação e que

Figura 3 - Variações dos teores de nitratos durante a incubação do solo Lajeado, nos diversos tratamentos.

LEGENDA

- SN, solo natural
- SNE, solo natural esterilizado
- A, solo tratado com amônia anidra
- B, solo tratado com amônia sob concentração de 210 ppm de $N-NH_3$

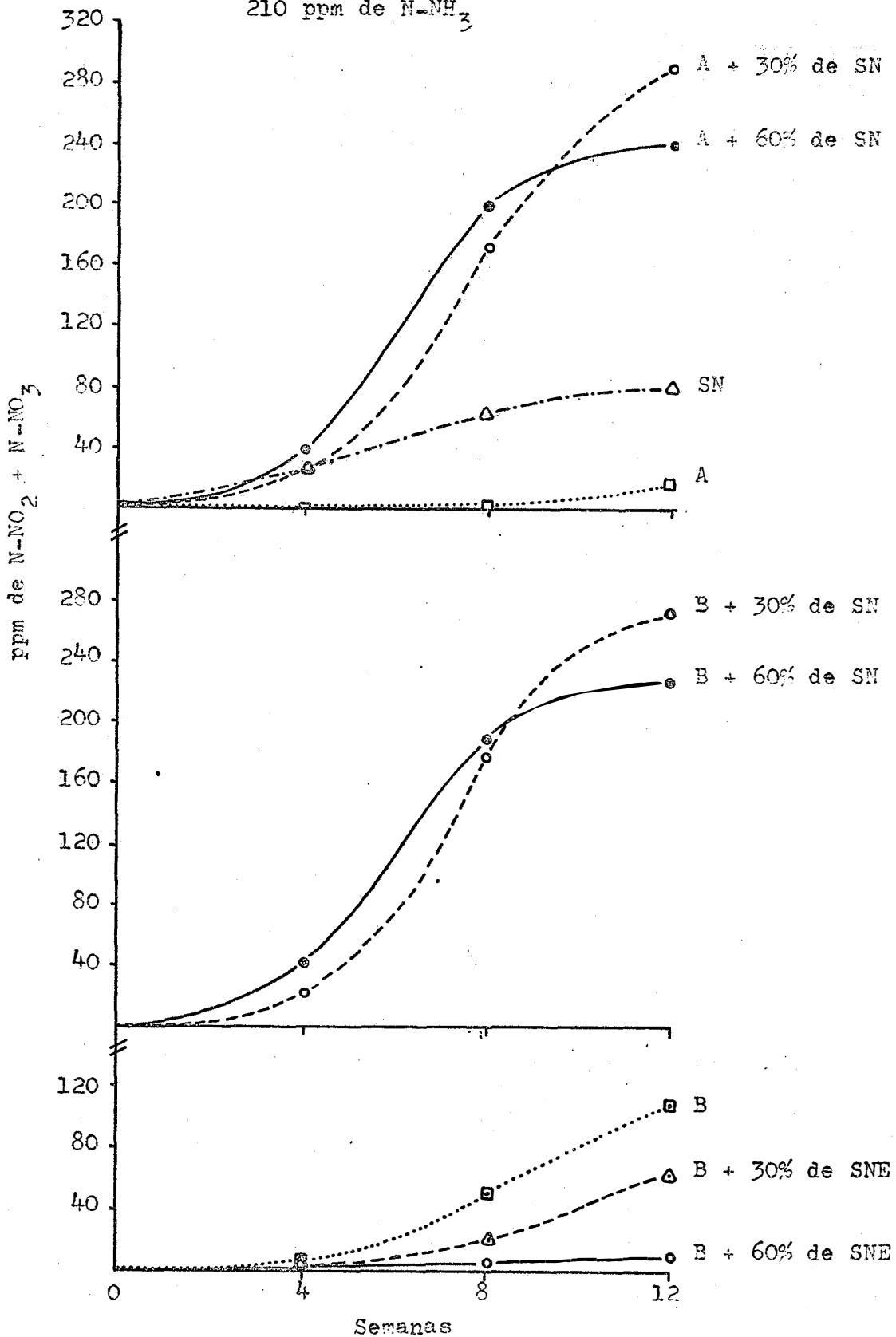
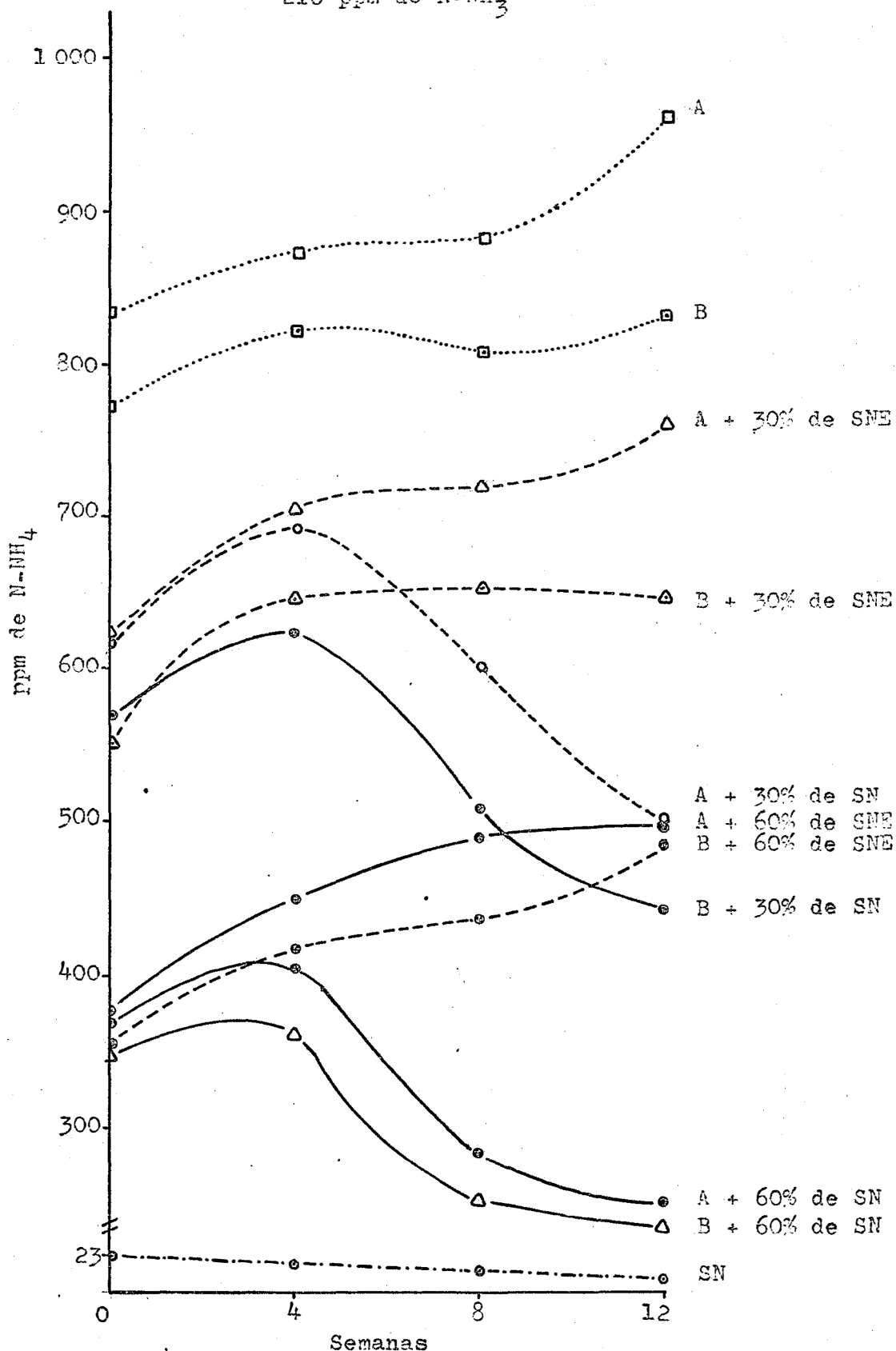


Figura 4 - Variações dos teores de amônio durante a incubação do solo Lajeadozinho, nos diversos tratamentos.

LEGENDA

- SN, solo natural
- SNE, solo natural esterilizado
- A, solo tratado com amônia anidra
- B, solo tratado com amônia sob concentração de 210 ppm de $N-NH_3$



esta era restituída pela adiçãõ de solo natural; entretanto, os autores não puderam afirmar se o solo não tratado estimulava o processo por ter efeito como inoculante ou como diluente do amônio retido, reduzindo a concentração deste a níveis mais toleráveis aos organismos nitrificadores. Neste experimento, esses efeitos puderam ser estudados isoladamente com as adições de solo natural (diluição e inoculação) e de solo natural esterilizado (diluição). Observa-se pelas produções de nitratos que apenas redução do conteúdo de amônio com solo natural esterilizado não estimulou a nitrificação mesmo nas doses mais baixas de 376,60 ou de 354,20 ppm de N-NH₄; entretanto, a nitrificação intensificou-se após adiçãõ de solo natural, mesmo quando os níveis de amônio eram de 615,60 ou 568,87 ppm de N-NH₄. Esses resultados parecem estar ligados às observações de ENO & BLUE (1954), ENO et al. (1955) e NÖMMIK & NILSSON (1963) sobre a influência da amônia nos organismos do solo e mostram que seus efeitos não são os mesmos para a amônia na forma livre e na forma retida; WAKSMAN (1952) já havia chamado a atenção para esse último fato.

Diversos trabalhos (BROADBENT et al., 1957; STOJANOVIC & ALEXANDER, 1958; JUSTICE & SMITH, 1962) tem sido realizados com a finalidade de estudar o efeito da concentração de amônio, empregando hidróxido ou sais de amônio. Entretanto, a literatura fornece poucas informações com referência à amônia livre e à concentração no solo além da qual há limitação dos diversos fenômenos microbiológicos. ENO et al. (1955), Mc INTOSH & FREDERICK (1958) e NÖMMIK & NILSSON (1963) demonstraram que a nitrificação na zona de retenção inicia-se na periferia, onde o pH e a

concentração de amônia são mais favoráveis aos organismos nitrificadores.

Admitindo-se que as concentrações de amônia que ocorrem nas amostras de solo durante a aplicação de amônia anidra sejam tão altas quanto aquelas verificadas em condições de campo (2 500 ppm de $N-NH_3$ segundo NÖMMIK & NILSSON, 1963), pode-se considerar que o solo tratado com amônia anidra neste experimento estaria em condições análogas às da terra situada no centro da zona de retenção, enquanto que o solo tratado sob concentração de 210 ppm de $N-NH_3$ corresponderia à terra de uma região mais externa àquela zona; o comportamento relativo dessas amostras quanto à nitrificação sugere, portanto, que a amônia inibiria temporariamente os organismos nitrificadores na zona de retenção exceto nas regiões mais externas onde a concentração do gás fosse menor que 210 ppm de $N-NH_3$. Pesquisas complementares seriam necessárias para que fosse determinada com maior rigor a concentração abaixo da qual a amônia livre deixa de prejudicar substancialmente os processos de nitrificação no solo.

Embora a ação deletéria da amônia às bactérias nitrificadoras persista por várias semanas, quando avaliada em laboratório, saliente-se que em condições de campo o fertilizante é oxidado em prazos semelhantes aos dos demais adubos amoniacaís, conforme verificaram Mc INTOSH & FREDERICK (1958) e ENO & BLUE (1954); portanto, devido à rapidez com que a região do solo afetada pela amônia anidra é recolonizada, a ação deletéria parece ser ineficiente em evitar que o fertilizante seja nitrificado prematuramente.

Esse fato merece consideração ao se pretender tirar certas conclusões práticas de resultados de laboratório.

Por ser um fertilizante de reação alcalina, o efeito imediato da aplicação de amônia no solo Lajeado foi o de elevar o pH original (Tabela 2), fato comumente observado em trabalhos similares (BROADBENT et al., 1957; ENO & BLUE, 1957; NÖMMIK & NILSSON, 1963; SMILEY & PAPENDICK, 1968; KIEHL & ROCHA FILHO, 1972). Devido às adições de solo natural (esterilizado ou não) baixarem ambos conteúdo de amônio e pH das amostras amonizadas, efetuou-se um estudo de correlação entre essas variáveis; um coeficiente $r = 0,987$ foi encontrado, cujo Teste t, com um resultado igual a 15,59, com 9 graus de liberdade, indicou significância ao nível de 1% de probabilidade. A estreita correlação entre o conteúdo de amônio e o pH, também verificada por SMILEY & PAPENDICK (1968), sugere a possibilidade de se estimar a concentração do fertilizante na faixa de aplicação através da determinação do pH.

A Tabela 3 apresenta os teores médios de nitrito observados em três épocas de incubação. Embora diversos trabalhos (BROADBENT et al., 1957; STOJANOVIC & ALEXANDER, 1958; NÖMMIK & NILSSON, 1963) tenham demonstrado que não raramente ocorre acúmulo de nitrito no solo após aplicações de amônia anidra, observa-se que a concentração desse aniônio no solo Lajeado não ultrapassou a 5 ppm de $N-NO_2$ mesmo em condições de pH semelhantes às registradas na literatura; em várias das parcelas, as quantidades de nitrito escaparam à determinação química por serem mínimas, impossibilitando um estudo estatístico desses resultados. Desde que

o nitrito se acumula quando apenas o segundo estágio da nitrificação é inibido, devido à Nitrobacter ser mais sensível que a Nitrosomona à alcalinidade e à amônia (BROADBENT & STEVENSON, 1966) é provável que o tratamento do solo com essa substância tenha bloqueado ambos os estágios desse fenômeno microbiológico; por outro lado, nas amostras que foram inoculadas, não era de se esperar acúmulo de nitrito uma vez que a adição de solo natural restituiria, aos solos amonizados, os dois grupos de bactérias encarregadas da completa oxidação da amônia a nitrato.

Tabela 3 - Teores de nitrito no solo Lajeado, observados em três épocas de incubação, nos diversos tratamentos (valores médios).

Tratamentos*	Semanas de incubação		
	4	8	12
	ppm N-NO ₂		
SN	0,00	0,00	2,33
A	0,00	0,47	2,33
A + 30% de SN	1,40	0,00	0,93
A + 30% de SNE	0,00	0,00	0,00
A + 60% de SN	0,70	1,40	0,00
A + 60% de SNE	1,87	0,00	0,00
B	1,87	3,27	2,80
B + 30% de SN	1,40	0,93	0,93
B + 30% de SNE	0,93	4,67	0,93
B + 60% de SN	0,47	1,87	0,93
B + 60% de SNE	1,63	4,20	0,93

* SN, solo natural; A, solo tratado com amônia anidra; SNE, solo natural esterilizado; B, solo tratado com amônia sob concentração de 210 ppm de N-NH₃.

4.3. Nitrificação da amônia em alguns solos do Município de Piracicaba

Os resultados obtidos nas parcelas, relativos às variações dos teores de nitratos e de amônio durante a incubação e aos valores de pH encontram-se nos ANEXOS, Tabelas X, XI e XVII respectivamente.

4.3.1. Resultados estatísticos

As análises da variância dos teores de nitratos e de amônio por época de incubação são apresentadas nas Tabelas XII e XIII (ANEXOS).

Observa-se na Tabela XII que os efeitos dos solos e da interação solos x doses no teor de nitratos foram significativos a 1% de probabilidade em todas as épocas de incubação; o efeito das doses de amônia foi significativo a 1% de probabilidade em todas as épocas exceto para 0 semanas. A decomposição dos graus de liberdade da interação solos x doses mostrou que, em todas as épocas, o efeito dos solos dentro de qualquer das doses foi significativo a 1% de probabilidade.

Para os teores de amônio, verifica-se na Tabela XIII que, em todas as épocas, houve significância a 1% de probabilidade para solos, doses e interação solos x doses; a decomposição dos graus de liberdade dessa interação mostrou que os efeitos dos solos dentro das doses foram igualmente significativos.

Nas Tabelas XIV e XV (ANEXOS) são encontradas as análises da variância das regressões relativas às variações dos teores de nitratos e de amônio em função do tempo de incubação, onde se observa que a maioria das regressões cúbicas foi significativa a 1% de probabilidade. As equações de regressão significativas ao nível de 1% ou de 5% de probabilidade, é que interpretam as variações dos teores de nitratos e de amônio com a incubação, acham-se na Tabela XVI (ANEXOS).

As diferenças mínimas significativas ao nível de 5% de probabilidade para comparação de médias entre solos dentro de doses, dados pelo Teste de Tukey, encontram-se na Tabela 4 junto às médias.

4.3.2. Interpretação e discussão dos resultados

A Tabela 4 e as Figuras 5, 6 e 7 apresentam as variações dos teores médios de nitratos e de amônio durante a incubação de alguns solos do Município de Piracicaba tratados com diferentes doses de amônia.

Na Figura 5 ou na Tabela 4 pode ser observado o comportamento dos solos Ribeirão Claro, Lajeado, Godinhos e Iracema quanto à nitrificação, quando não houve adição de amônia. Em todos os solos, verifica-se que as quantidades de nitratos produzidas no final da incubação sempre foram maiores que as de amônia iniciais, o que equivale a dizer que cerca de 50% da amônia oxidada foi proveniente da mineralização do nitrogênio orgânico, ocorrida

Tabela 4 - Variações dos teores de nitratos e de amônio durante a incubação de alguns solos do Município de Piracicaba tratados com diferentes doses de amônia (valores médios)

Solos	Doses de amônia	Semanas de incubação								
		0	3	6	9	0	3	6	9	
	ppm de N-NH ₃	ppm de N-NH ₄								
		ppm de N-NO ₂ + N-NO ₃				ppm de N-NH ₄				
Ribeirão Claro	0	5,13	23,33	30,33	30,80	14,00	6,53	7,47	7,93	
(areia fina)	110	3,27	63,93	72,80	72,80	111,53	73,27	71,40	66,27	
	220	1,40	49,47	111,07	111,53	192,27	212,33	157,73	133,47	
Lajeadoinho	0	1,40	17,73	34,07	43,87	22,87	11,20	11,20	7,47	
(barro)	110	1,40	53,20	120,87	135,33	129,27	78,40	28,47	24,27	
	220	3,27	74,20	161,00	168,93	238,00	165,20	98,93	79,33	
Godinhos	0	3,27	40,60	57,40	80,27	40,60	30,80	30,33	22,87	
(barro limoso)	110	4,67	71,87	83,53	123,20	144,67	101,73	104,07	91,93	
	220	3,27	99,87	115,73	156,33	254,80	181,07	185,73	168,00	
Iracema	0	8,87	64,40	83,07	91,93	48,07	13,07	8,40	7,00	
(argila)	110	9,33	91,47	175,47	192,27	146,53	85,87	12,60	7,47	
	220	9,33	108,27	217,47	266,47	255,27	166,60	71,40	38,27	
dms a 5% dentro de doses		1,58	6,79	5,97	6,93	6,23	9,25	5,85	7,74	

Figura 5 - Variações dos teores de nitratos e de amônio durante a incubação de alguns solos do Município de Piracicaba não tratados com amônia.

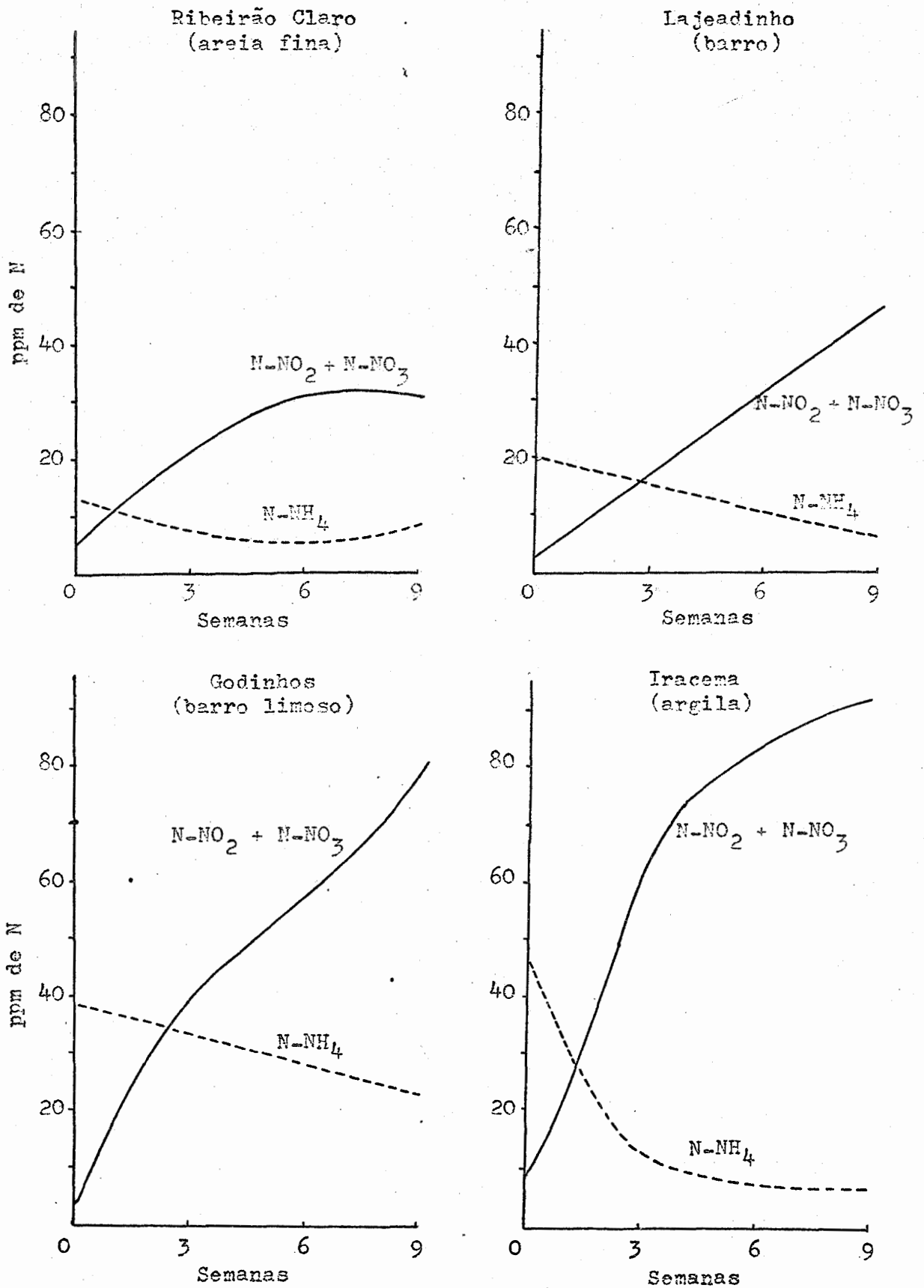


Figura 6 - Variações dos teores de nitratos e de amônio durante a incubação de alguns solos do Município de Piracicaba tratados com amônia na dose de 110 ppm de $N-NH_3$.

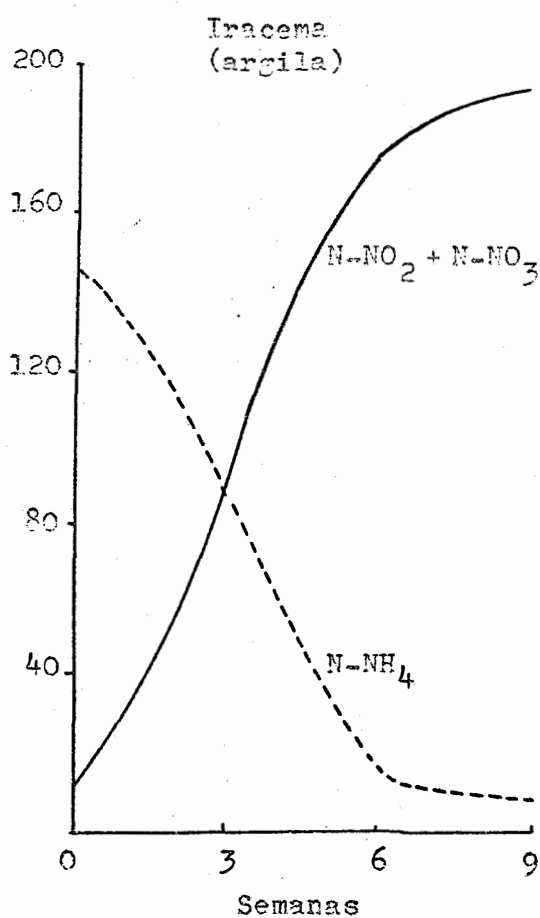
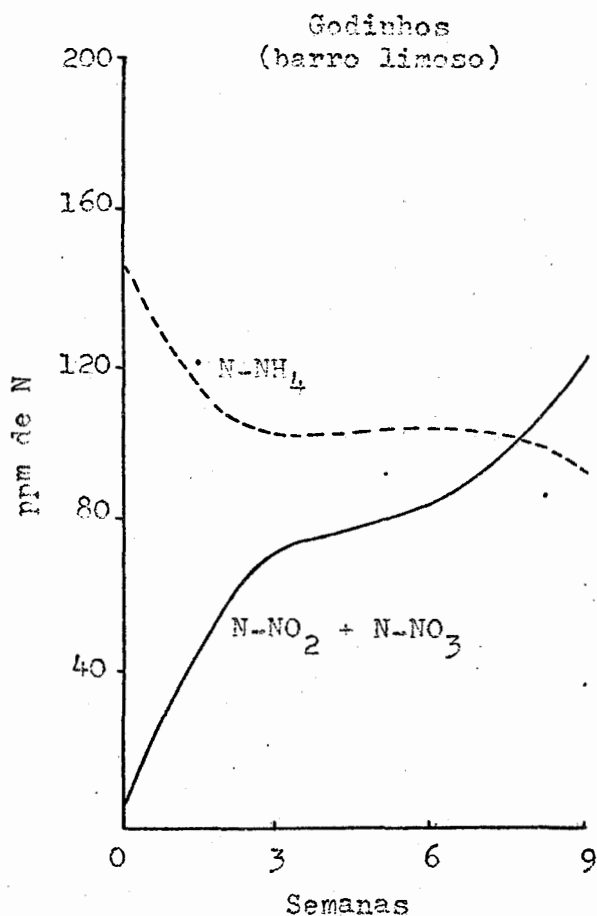
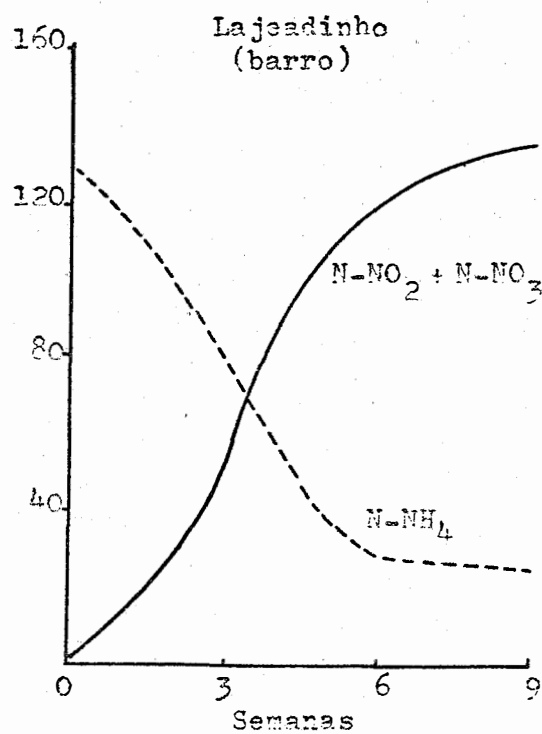
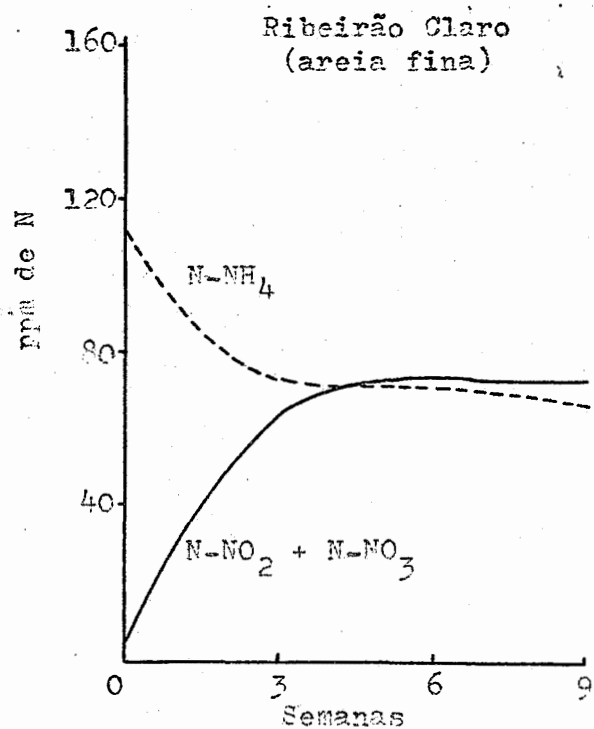
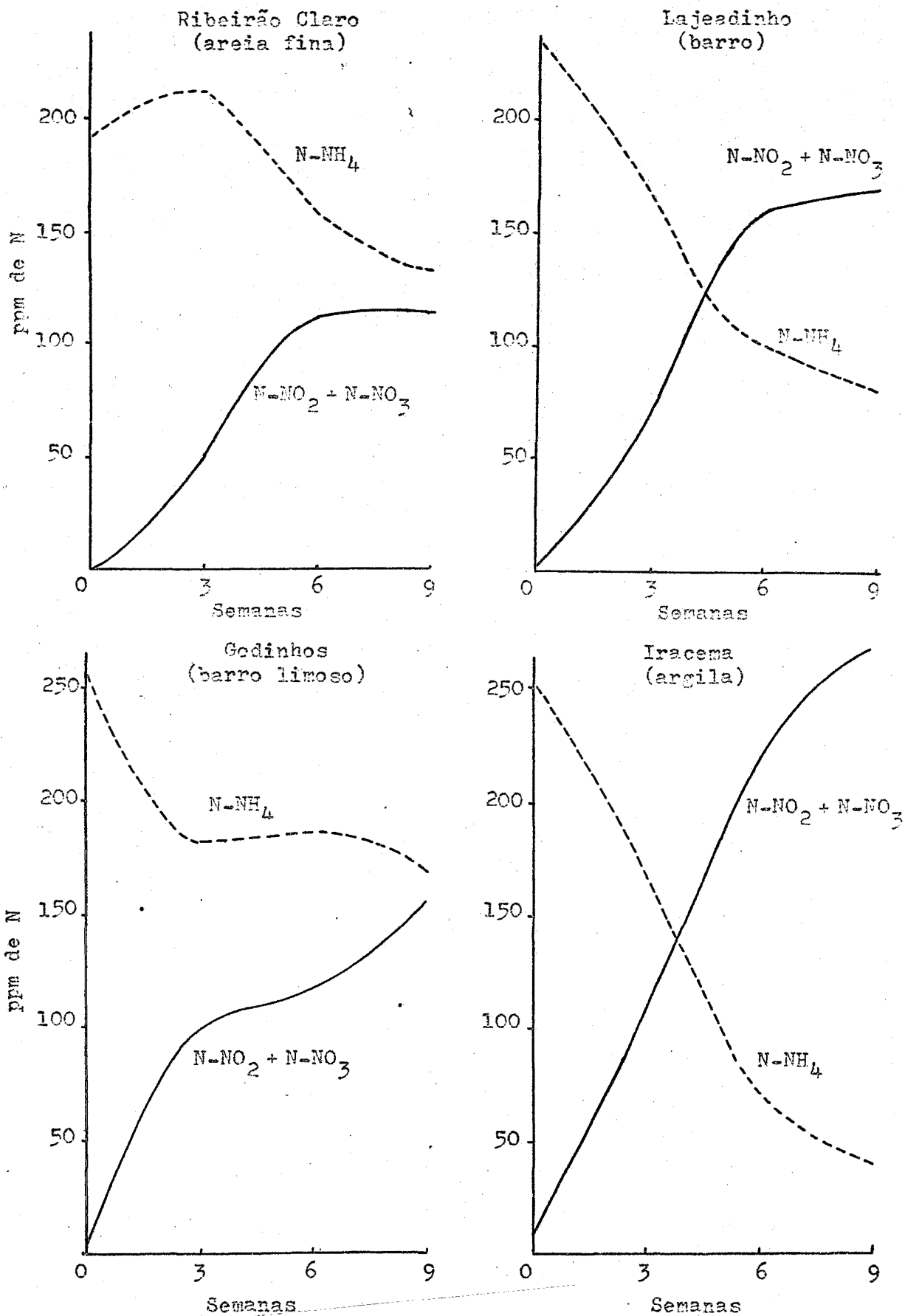


Figura 7 - Variações dos teores de nitratos e de amônio durante a incubação de alguns solos do Município de Piracicaba tratados com amônia na dose de 220 ppm de $N-NH_3$.



durante o experimento. Embora o solo Iracema apresentasse quantidades de nitratos mais elevadas, o Godinhos mostrou maior capacidade em produzir nitrogênio mineral, conforme se verifica somando-se os teores de nitratos e de amônio da Tabela 4, para os diversos solos. Os solos Lajeado e Ribeirão Claro mostraram as menores concentrações finais de nitrogênio nítrico.

A nitrificação da amônia, adicionada nos quatro solos na dose de 110 ppm de $N-NH_3$, pode ser avaliada pelos teores de nitratos da Tabela 4 ou pelas curvas de nitrificação da Figura 6. Observa-se que no solo Ribeirão Claro, pouco mais da metade da amônia aplicada foi oxidada, uma vez que a quantidade de nitratos acumulada com a incubação foi de 72,80 ppm. Entretanto, os solos Lajeado e Iracema na 6ª semana já haviam convertido a nitratos toda a amônia adicionada na dose de 110 ppm, produzindo nessa época, 120,87 e 175,47 ppm de nitrogênio nítrico respectivamente. No Godinhos, a amônia também foi totalmente nitrificada mas só depois de 9 semanas, quando o solo mostrava 123,20 ppm de nitratos.

Para a dose de 200 ppm de $N-NH_3$, o comportamento relativo dos solos foi o mesmo, mas somente o Iracema produziu nitratos em quantidades superiores à da amônia aplicada, conforme se observa na Tabela 4 ou na Figura 7. No final do experimento, enquanto o Iracema continha 266,47 ppm de nitrogênio nítrico, os solos Ribeirão Claro, Lajeado e Godinhos revelavam teores de 111,53, 168,93 e 156,33 ppm respectivamente.

BROADBENT et al. (1957), utilizando técnicas semelhantes às deste experimento, observaram completa nitrificação do

amônio, fornecido nas doses de 100 e de 200 ppm de $N-NH_4$, em períodos não maiores que 2 e 3 semanas, respectivamente. Contudo, é desejável que a amônia aplicada como fertilizante permaneça no solo por um maior espaço de tempo sem sofrer oxidação devido às formas nítricas serem mais sujeitas ao arrastamento pelas águas de drenagem.

Nas Figuras 5, 6 e 7 observa-se que a maioria das curvas de produção de nitratos obedeceu à forma sigmóide que caracteriza o fenômeno da nitrificação (SABEY et al., 1959), cuja máxima velocidade corresponde ao segmento de maior inclinação da curva. A Tabela 5 apresenta as máximas velocidades de nitrificação observadas em cada solo, calculadas com os dados da Tabela 4, e os períodos de incubação correspondentes. Uma observação geral é a de que houve tendência do período de máxima velocidade de nitrificação atrasar-se com o aumento da quantidade de amônia aplicada. Verifica-se também que as maiores velocidades ocorreram quando as maiores doses de amônia foram aplicadas, destacando-se os solos Iracema, Godinhos e Lajeadinho, que produziram respectivamente 36,3, 31,0 e 29,0 ppm de nitrogênio nítrico por semana. Essas velocidades de nitrificação mostraram-se inferiores às observadas por FREDERICK (1956) e SABEY et al. (1959), mas superiores às relatadas por ENO & BLUE (1957). Empregando a mesma fonte de amônia e aplicando doses semelhantes às deste experimento, BROADBENT et al. (1957) obtiveram velocidades de 57 a 143 ppm por semana em solos medianamente ácidos.

Tabela 5 - Máximas velocidades de nitrificação observadas em alguns solos do Município de Piracicaba, tratados com diferentes doses de amônia, e períodos de incubação correspondentes

Solos	Doses de amônia ppm de N-NH ₃	Máxima velocidade	
		período semanas	velocidade ppm/semana
Ribeirão Claro (areia fina)	0	0 - 3	6,0
	110	0 - 3	20,3
	220	3 - 6	20,7
Lajeadozinho (barro)	0	0 - 9	4,8
	110	3 - 6	22,7
	220	3 - 6	29,0
Godinhos (barro limoso)	0	0 - 3	12,7
	110	0 - 3	22,3
	220	0 - 3	31,0
Iracema (argila)	0	0 - 3	18,3
	110	3 - 6	28,0
	220	3 - 6	36,3

Considerando-se a importância da reação do solo para as bactérias nitrificadoras, conforme relataram Meyerhof (1916) e Foster (1951), citados respectivamente por BROADBENT et al. (1957) e ENO & BLUE (1957), é provável que, em condições de campo, as velocidades de nitrificação dos solos estudados sejam maiores, uma vez que as concentrações de amônia na zona de retenção, geralmente mais altas, propiciam valores mais adequados de pH; o efeito estimulante da amônia na nitrificação devido ao aumento do pH foi demonstrado por ENO & BLUE (1957).

A Tabela 6 apresenta as variações do pH dos solos durante a incubação, em valores médios. O efeito inicial da amônia, nas doses de 110 e de 220 ppm de $N-NH_3$, foi o de elevar o pH original tanto mais acentuadamente quanto mais grosseira era a textura e maior a dose aplicada, conforme se observa pelos resultados obtidos antes da incubação. No decorrer do experimento, em todos os tratamentos houve decréscimos do pH; de um modo geral, esses decréscimos foram mais acentuados nas três primeiras semanas e nos solos de textura grosseira e, invariavelmente, nos solos que receberam a dose mais elevada de amônia. Em virtude da amônia exercer efeitos opostos na reação do solo, elevando o pH após a aplicação e baixando-o quando nitrificada, o decréscimo do pH original de cada solo parece ter dependido da relação entre a quantidade de amônia aplicada e aquela nitrificada. Assim, no solo Ribeirão Claro, o decréscimo do pH original foi maior para a dose de 0 ppm e menor para a de 220 ppm de $N-NH_3$, provavelmente devido à baixa intensidade de nitrificação mostrada por esse solo; no Iracema, contudo, a nitrificação mais intensa talvez tenha sido a responsável pelo maior decréscimo do pH original quando se aplicou a dose mais elevada de amônia. Pela Tabela 6 observa-se ainda que, apesar do efeito alcalinizante inicial da amônia, já na 3ª semana de incubação acentuados decréscimos do pH puderam ser verificados.

Comparando-se os valores de pH da Tabela 6 com as curvas de nitrificação das Figuras 5, 6 e 7, constata-se que no solo Ribeirão Claro tratado com 0, 110 e 220 ppm de $N-NH_3$, o processo de nitrificação paralizou-se na 6ª semana de incubação quando o pH era 4,00, 4,20 e 4,60, respectivamente; nos solos Lajeado

e Iracema, embora essa atividade microbiológica não tenha sido interrompida, houve sensível redução na 6ª semana - exceto no solo Lajeadinho com 0 ppm - quando os valores de pH oscilavam entre 4,23 e 4,50; no solo Godinhos, entretanto, deu-se o inverso: a velocidade de nitrificação na 6ª semana aumentou em relação à época anterior para todas as doses de amônia e sob um valor de pH

Tabela 6 - Variações do pH durante a incubação de alguns solos do Município de Piracicaba tratados com diferentes doses de amônia (valores médios)

Solos	Doses de amônia	Semanas de incubação			
		0	3	6	9
	ppm de N-NH ₃	pH			
Ribeirão Claro (areia fina)	0	5,03	4,20	4,00	3,97
	110	6,70	4,33	4,20	4,17
	220	7,40	6,40	4,60	4,37
Lajeadinho (barro)	0	5,57	5,03	4,80	4,67
	110	6,03	5,00	4,27	4,13
	220	6,60	5,27	4,33	4,20
Godinhos (barro limoso)	0	5,20	4,60	4,50	4,30
	110	5,60	4,63	4,50	4,30
	220	5,90	4,63	4,50	4,40
Iracema (argila)	0	5,30	4,70	4,50	4,50
	110	5,50	4,70	4,23	4,20
	220	5,83	4,90	4,23	4,10

sempre igual a 4,5. Desde que as quantidades de amônia não eram limitantes, a redução da velocidade de nitrificação observada na maioria dos solos provavelmente seja explicada pelos acentuados

decréscimos do pH no final da incubação; esta hipótese fundamenta-se nos valores limites do pH para a nitrificação relatados por FREDERICK & BROADBENT (1966).

Em condições de campo a oxidação da amônia geralmente é mais completa que aquela que se obtém em amostras de reduzido tamanho. Diversos fenômenos físicos que ocorrem no solo "in natura", principalmente os de difusão e percolação da água, contribuem sem dúvida alguma para diminuir a concentração dos ácidos formados durante a nitrificação e evitar que esse processo se paralize na zona onde é maior a quantidade do fertilizante.

5. CONCLUSÕES

Nas condições em que os experimentos foram realizados, os resultados obtidos, analisados e interpretados estatisticamente permitiram as seguintes conclusões para cada experimento:

5.1. Capacidades de retenção de amônia anidra de alguns solos do Município de Piracicaba

a) A análise estatística mostrou que solos do Município de Piracicaba com semelhantes capacidades de retenção de amônia anidra puderam ser diferenciados com razoável precisão aplicando a técnica de amonização de SOHN & PEECH (1958).

b) Os solos estudados apresentaram ampla variação quanto à capacidade de retenção de amônia anidra; em valores aproximados, essa capacidade variou de 196 a 290 ppm de $N-NH_3$ nos solos Artemis, Paredão Vermelho, Ribeirão Claro e Quebra Dente, e de 757 a 1 511 ppm de $N-NH_3$ nos solos Anhumas, Lajeadozinho, Bairrinho, Guaumium, Godinhos e Iracema.

c) Houve acentuada tendência das capacidades de retenção de amônia anidra aumentarem com a variação da textura do solo

no sentido da mais grosseira para a mais fina.

5.2. Efeito da amônia na nitrificação

a) O tratamento do solo Lajeadoinho com amônia anidra exerceu acentuada inibição da nitrificação do amônio retido, mesmo quando o seu conteúdo foi baixado de 834 para 377 ppm de $N-NH_4$ por meio de adições de solo esterilizado.

b) A nitrificação no solo Lajeadoinho após tratamento com amônia anidra foi estimulada quando se adicionou solo não esterilizado, indicando que esse fenômeno não foi inibido pela concentração de amônio retido, mas sim, devido à uma esterilização parcial causada pela amônia livre durante a aplicação.

c) A amônia livre causou inibição da nitrificação mesmo na concentração de 210 ppm de $N-NH_3$, mas o amônio retido estimulou o processo ainda que em concentrações três vezes maiores.

d) Ambas as técnicas de aplicação de amônia utilizadas neste experimento não se mostraram adequadas para o estudo da nitrificação desse fertilizante em laboratório devido ao acentuado efeito deletério da amônia livre. A técnica que permitiu aplicar amônia sob concentração controlada deve ser repetida empregando-se concentrações menores que 210 ppm de $N-NH_3$.

5.3. Nitrificação da amônia em alguns solos do Município de Piracicaba

a) A técnica utilizada neste experimento para aplicar doses predeterminadas de amônia mostrou ser adequada para estudar, em laboratório, a nitrificação desse fertilizante no solo.

b) O solo Iracema apresentou a maior capacidade para nitrificar a amônia adicionada, seguindo-se os solos Lajeadozinho, Godinhos e Ribeirão Claro.

c) A maior velocidade de nitrificação observada durante o experimento ocorreu no solo Iracema, e a menor, no Ribeirão Claro; nos solos Godinhos e Lajeadozinho, as máximas velocidades foram intermediárias às anteriores.

d) Houve leve tendência do período de máxima velocidade de nitrificação a atrasar-se com o aumento da dose de amônia de 110 a 220 ppm de $N-NH_3$, mas em todos os solos, a máxima velocidade foi maior para essa última dose.

e) Os maiores decréscimos do pH devido à nitrificação da amônia ocorreram nas três primeiras semanas; embora a amônia tenha elevado inicialmente o pH, ao final desse período os solos tornaram-se mais ácidos.

f) O processo de nitrificação da amônia nos solos Ribeirão Claro, Lajeadozinho e Iracema parece ter sofrido redução ou mesmo paralização devido a valores excessivamente baixos de pH; (4,0 a 4,5); esse efeito não foi observado no solo Godinhos mesmo em semelhantes condições de acidez.

6. RESUMO

Amostras do horizonte superficial de séries de solo do Município de Piracicaba foram coletadas para estudos sobre capacidade de retenção de amônia, inibição do processo de nitrificação pela amônia e capacidade de nitrificação, levados a efeito através de três experimentos de laboratório independentes.

A retenção de amônia pelas amostras de solo foi determinada aplicando-se amônia anidra em excesso, eliminando-se o gás não retido e determinando-se o amônio por destilação de um extrato com KCl. Os solos Artemis, Paredão Vermelho, Ribeirão Claro e Quebra Dente mostraram capacidades de retenção de amônia entre 196 e 290 ppm de N-NH₃, e os solos Anhumas, Lajeado, Bairrinho, Guamium, Godinhos e Iracema, entre 757 e 1 511 ppm de N-NH₃. Houve acentuada tendência desses valores aumentarem com a variação da textura do solo no sentido da mais grosseira para a mais fina.

A inibição do processo de nitrificação pela amônia foi avaliada no solo Lajeado tratando-se as amostras com amônia anidra em excesso ou com gás de amônia na concentração de 210 ppm de N-NH₃; após a eliminação do gás não retido, as amostras amonizadas foram misturadas com solo esterilizado ou não esterilizado em várias proporções e incubadas por períodos de até 12

semanas. Um efeito estimulante na nitrificação do amônio retido foi observado quando se adicionou solo não esterilizado, indicando que a amônia livre havia causado uma esterilização parcial do solo durante a aplicação. Os resultados também indicaram que a amônia livre provocou inibição da nitrificação mesmo na concentração de 210 ppm, enquanto que o amônio retido favoreceu o processo ainda que em concentrações três vezes maiores.

A capacidade de nitrificação foi avaliada pela produção final de nitratos aplicando-se quantidades conhecidas de amônia às amostras e incubando-as por períodos de até 12 semanas. O solo Iracema apresentou a maior capacidade para nitrificar a amônia adicionada, seguindo-se os solos Lajeado, Godinhos e Ribeirão Claro. A máxima velocidade de nitrificação, observada durante a incubação, foi mais alta no Iracema, mais baixa no Ribeirão Claro, e intermediária nos solos Godinhos e Lajeado. A aplicação de amônia elevou inicialmente o pH, mas em 3 semanas todos os solos tornaram-se mais ácidos. O processo de nitrificação nos solos Ribeirão Claro, Lajeado e Iracema sofreu substancial redução após 6 semanas, tendo-se admitido como causa, valores excessivamente baixos de pH (4,0 a 4,5); esse efeito não foi observado no Godinhos mesmo em semelhantes condições de acidez.

7. SUMMARY

Samples from the top horizon of soil series occurring in the Piracicaba Municipality were collected for studies of ammonia retention capacity, ammonia induced inhibition of the nitrification process, and nitrification capacity. These objectives were carried out by means of three independent laboratory experiments.

Ammonia retention by the soil samples was determined by applying anhydrous ammonia in excess and measuring, after degassing, the ammonium distilled from a KCl extract. Artemis, Paredão Vermelho, Ribeirão Claro and Quebra Dente soils showed an ammonia retention capacity in the range of 196 to 290 ppm of $\text{NH}_3\text{-N}$, whereas Anhumas, Lajeado, Bairrinho, Guamium, Godinhos and Iracema soils measured in the range of 757 to 1 511 ppm of $\text{NH}_3\text{-N}$. The evaluation of the results obtained, in relation to soil texture, indicated a strong direct relationship between ppm of $\text{NH}_3\text{-N}$ retained and texture, i.e., the retention capacity was greater with the finer-textured materials.

Inhibition of the nitrification process due to ammonia was evaluated by an experiment using Lajeado soil samples which were treated with anhydrous ammonia in excess or with ammonia gas in a concentration of 210 ppm of $\text{NH}_3\text{-N}$; after degassing, the

amoniated samples were mixed with sterilized or non-sterilized soil in various proportions and incubated for periods up to 12 weeks. A stimulating effect on nitrification of the retained ammonium was observed when non-sterilized soil was added, indicating that the free ammonia had caused a partial sterilization of the soil during application. The results also indicated that the free ammonia induced inhibition of nitrification even in concentration of 210 ppm, whereas the retained ammonium favored the process even in concentrations three times higher.

The nitrification capacity was studied by applying known quantities of ammonia to the samples and incubating them for periods up to 12 weeks. Nitrification capacity, evaluated by final nitrate production, was higher in Iracema, followed by Lajeado, Godinhos and Ribeirão Claro. The maximum nitrification rate, observed in the course of incubation, was higher in Iracema, lower in Ribeirão Claro and intermediate in Godinhos and Lajeado soils. The application of ammonia caused at first an increase in soil pH, but after 3 weeks all of them became more acid. The nitrification process decreased substantially after a period of 6 weeks in the Ribeirão Claro, Lajeado and Iracema soils possibly due to pH values, considered to be excessively low (4.0 - 4.5); this effect was not observed for Godinhos even under conditions of similar pH values.

8. BIBLIOGRAFIA CITADA

- BINGHAM, F.T., H.D. CHAPMAN & A.L. PUGH. 1954. Solution-culture studies of nitrite toxicity to plants. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 18:305-308.
- BREMNER, J.M. & D.R. KEENEY. 1965. Steam distillation methods for determination of ammonium, nitrate and nitrite. Anal. Chim. Acta 32:485-495.
- _____. 1966. Determination and isotope-ratio analysis of different forms of nitrogen in soils: 3. Exchangeable ammonium, nitrate, and nitrite by extraction - distillation methods. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 30:577-582.
- BROADBENT, F.E. & F.J. STEVENSON. 1966. Organic matter interactions. In Agricultural Anhydrous Ammonia Technology and Use. Amer. Soc. of Agron., Madison, Wis.
- BROADBENT, F.E., K.B. TYLER & G.N. HILL. 1957. Nitrification of ammoniacal fertilizers in some California soils. Hilgardia 27: 247-267.
- BROWN, J.M. & W.V. BARTHOLOMEW. 1962. Sorption of anhydrous ammonia by dry clay systems. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 26: 258-262.

- CATANI, R.A., J. ROMANO GALLO & H. GARGANTINI. 1955. Amostragem de solo, métodos de análise, interpretação e indicações gerais para fins de fertilidade. Boletim 69. Instituto Agrônômico de Campinas.
- CHAPMAN, H.D. & G.F. LIEBIG Jr. 1952. Field and laboratory studies of nitrite accumulation in soils. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 16:276-282.
- DEMATTE, J.L.I. 1970. Gênese e classificação de solos originados de sedimentos do grupo geológico Estrada Nova - Município de Piracicaba. Tese não publicada. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", U.S.P. Piracicaba. (mimeografada).
- ENO, C.F. & W.G. BLUE. 1954. The effect of anhydrous ammonia on nitrification and the microbiological population in sandy soils. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 18:178-181.
- _____. 1957. The comparative rate of nitrification of anhydrous ammonia, urea, and ammonium sulfate in sandy soils. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 21:392-396.
- ENO, C.F., W.G. BLUE & J.M. GOOD Jr. 1955. The effect of anhydrous ammonia on nematodes, fungi, bacteria, and nitrification in some Florida soils. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 19:55-58.
- 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. & F.E. BROADBENT. 1966. Biological interactions. In Agricultural Anhydrous Ammonia Technology and Use. Amer. Soc. of Agron., Madison, Wis.

JACKSON, M.L. & S.C. CHANG. 1947. Anhydrous ammonia retention by soils as influenced by depth of application, soil texture, moisture content, pH value, and tilth. J. Amer. Soc. Agron. 39:623-633.

JENNY, H., A.D. AYERS & J.S. HOSKING. 1945. Comparative behavior of ammonia and ammonium salts in soils. Hilgardia 16:429-457.

JUSTICE, J.K. & R.L. SMITH. 1962. Nitrification of ammonium sulfate in calcareous soil as influenced by combinations of moisture, temperature, and levels of added nitrogen. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 26:246-250.

KEENEY, D.R. & J.M. BREMNER, 1966. Characterization of mineralizable nitrogen in soils. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 30: 714-719.

_____. 1967. Determination and isotope-ratio analysis of different forms of nitrogen in soils: 6. Mineralizable nitrogen. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 31:34-38.

KIEHL, J.C. & A. COBRA NETTO. 1972. Retenção e nitrificação da amônia anidra no solo da Série Lajeado. Revista de Agricultura 47:35-42.

KIEHL, J.C. & J.V.C. ROCHA FILHO. 1972. Adubação do trigo com amônia anidra. Revista de Agricultura 47:75-80.

MASS, G. 1968. Effect of alternating dryness and moisture on the net mineralization of soil nitrogen. Soils and Fertilizers 32:6.

MCDOWELL, L.L. & G.E. SMITH. 1958. The retention and reactions of anhydrous ammonia on different soil types. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 22:38-42.

- McINTOSH, T.H. & L.R. FREDERICK. 1958. Distribution and nitrification of anhydrous ammonia in a Nicollet sandy clay loam. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 22:402-405.
- MORTLAND, M.M. 1958. Reactions of ammonia in soils. Advances in Agron. 10:325-348.
- _____. 1966. Ammonia interactions with soil minerals. In Agricultural Anhydrous Ammonia Technology and Use. Amer. Soc. of Agron., Madison, Wis.
- NÖMMIK, H. & K.O. NILSSON. 1963. Nitrification and movement of anhydrous ammonia in soil. Acta Agr. Scand. 13:205-219.
- PAPENDICK, R.I. & J.F. PARR. 1965. Retention of anhydrous ammonia by soil: I. Methodology and experimental considerations. Soil Sci. 100:182-191.
- PARR, J.F. 1969. Retention of anhydrous ammonia by soil: IV. Recovery of microbiological activity and effect of organic amendments. Soil Sci. 107:94-104.
- PARR, J.F. & R.I. PAPENDICK. 1966-a. Retention of ammonia in soils. In Agricultural Anhydrous Ammonia Technology and Use. Amer. Soc. of Agron., Madison, Wis.
- _____. 1966-b. Retention of anhydrous ammonia by soil: II. Effect of ammonia concentration and soil moisture. Soil Sci. 101:109-119.
- PIMENTEL GOMES, F. 1966. Curso de Estatística Experimental. 3ª ed. Gráfica Benetti Ltda (ed.), São Paulo - S.P.
- RANZANI, G., O. FREIRE & T. KINJO. 1966. Carta de Solos do Município de Piracicaba. Centro de Estudos de Solos. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", U.S.P. Piracicaba. (mimeografado).

- SABEY, B.R., L.R. FREDERICK & W.V. BARTHOLOMEW. 1959. The formation of nitrate from ammonium nitrogen in soils: III. Influence of temperature and initial population of nitrifying organisms on the maximum rate and deley period. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 23:462-465.
- SARAVIA, A.M. 1970. Processos de fixação, imobilização e mineralização do amônio no solo, avaliados no laboratório com o emprego de N¹⁵. Tese não publicada. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", U.S.P. Piracicaba (mimeografada).
- SEIFERT, J. 1969. Nitrification in airdried and re-wetted soil. Soils and Fertilizers 32:359.
- SMILEY, R.W. & R.I. PAPENDICK. 1968. A portable injector for dispensing liquid anhydrous NH₃ in the field. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 32:729-731.
- SOHN, J.B. & M. PEECH. 1958. Retention and fixation of ammonia by soils. Soil Sci. 85:1-9.
- STANLEY, F.A. & G.E. SMITH. 1956. Effect of soil moisture and depth of application on retention of anhydrous ammonia. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 20:557-561.
- STOJANOVIC, B.J. & M. ALEXANDER. 1958. Effect of inorganic nitrogen on nitrification. Soil Sci. 86:208-215.
- WAKSMAN, S.A. 1952. Soil Microbiology. John Wiley & Sons Inc. (ed.), New York.
- YOUNG, J.L. 1964. Ammonia and ammonium reactions with some Pacific Northwest soils. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 28:339-345.
- YOUNG, J.L. & R.A. CATTANI. 1962. Mineral fixation on anhydrous ammonia by air-dry soils. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 26:147-152.

A N E X O S

Tabela I - Capacidades de retenção de amônia anidra de alguns solos do Município de Piracicaba

Solos	Repetições		
	1	2	3
	ppm de N-NH ₃		
Artemis	194,60	194,60	198,80
Paredão Vermelho	205,80	201,60	211,40
Ribeirão Claro	252,00	256,20	253,40
Quebra Dente	289,80	292,60	287,00
Anhumas	771,40	739,20	760,20
Lajeadozinho	816,20	835,80	807,80
Bairrinho	859,60	856,80	852,60
Guamium	1 148,00	1 143,80	1 121,40
Godinhos	1 337,00	1 311,80	1 332,80
Iracema	1 510,60	1 513,40	1 507,80

Tabela II - Análise da variância das capacidades de retenção de amônia anidra

Causa de variação	G.L.	Q.M.	F
Solos	9	712 212,31	7 714,94**
Resíduo	20	92,32	
Total	29		

Coeficiente de variação 1,31%

Tabela III - Variação dos teores de nitratos durante a incubação do solo Lajeado, nos diversos tratamentos

Tratamentos*	Repetições	Semanas de incubação			
		0	4	8	12
ppm de N-NO ₂ + N-NO ₃					
SN	1	0,70	28,00	67,20	77,00
	2	0,70	28,00	63,00	82,60
	3	0,70	28,00	64,40	79,80
A	1	2,80	2,80	5,60	19,60
	2	2,80	2,80	4,20	28,00
	3	2,80	2,80	7,00	7,00
A + 30% de SN	1	2,80	28,00	162,40	295,40
	2	2,80	26,60	176,40	288,40
	3	2,80	28,00	179,20	289,80
A + 30% de SNE	1	2,80	2,80	7,00	16,80
	2	2,80	2,80	4,20	8,40
	3	2,80	2,80	7,00	12,60
A + 60% de SN	1	1,40	44,80	198,80	243,60
	2	1,40	36,40	205,80	243,60
	3	1,40	39,20	203,00	238,00
A + 60% de SNE	1	1,40	4,20	4,20	8,40
	2	1,40	1,40	5,60	9,80
	3	1,40	4,20	4,20	8,40
B	1	2,80	8,40	46,20	89,60
	2	2,80	7,00	44,80	82,60
	3	2,80	8,40	64,40	147,00
B + 30% de SN	1	2,80	25,20	186,20	266,00
	2	2,80	25,20	170,80	270,20
	3	2,80	22,40	184,80	273,00
B + 30% de SNE	1	2,80	4,20	26,60	74,20
	2	2,80	4,20	18,20	65,80
	3	2,80	4,20	21,00	50,40
B + 60% de SN	1	1,40	42,00	193,20	219,80
	2	1,40	47,60	189,00	226,80
	3	1,40	42,00	189,00	225,40
B + 60% de SNE	1	1,40	4,20	9,80	21,00
	2	1,40	2,80	8,40	11,20
	3	1,40	4,20	8,40	19,60

* SN, solo natural; A, solo tratado com amônia anidra; SNE, solo natural esterilizado; B, solo tratado com amônia sob concentração de 210 ppm de N-NH₃.

Tabela IV - Variação dos teores de amônio durante a incubação do solo Lajeado, nos diversos tratamentos.

Tratamentos*	Repetições	Semanas de incubação			
		0	4	8	12
		ppm de N-NH ₄			
SN	1	22,40	22,40	7,00	11,20
	2	21,00	22,40	7,00	9,80
	3	21,70	22,40	7,00	7,00
A	1	831,60	868,00	863,80	959,00
	2	851,20	876,40	890,40	956,20
	3	820,40	879,20	901,60	973,00
A + 30% de SN	1	616,00	688,80	602,00	501,20
	2	612,50	707,00	606,20	492,80
	3	618,80	687,40	596,40	512,40
A + 30% de SNE	1	617,40	702,80	723,80	760,20
	2	627,20	707,00	712,60	764,40
	3	628,60	707,00	723,80	765,80
A + 60% de SN	1	367,50	400,40	270,20	247,80
	2	367,50	404,60	273,00	249,20
	3	369,60	406,00	302,40	254,80
A + 60% de SNE	1	373,80	450,80	483,00	504,00
	2	380,80	457,80	483,00	499,80
	3	375,20	457,80	485,80	495,60
B	1	775,60	824,60	821,80	842,80
	2	772,80	828,80	824,60	855,40
	3	770,00	816,20	810,60	805,00
B + 30% de SN	1	574,00	630,00	511,00	445,20
	2	562,80	620,20	513,80	445,20
	3	569,80	620,20	501,20	445,20
B + 30% de SNE	1	571,20	641,20	646,80	637,00
	2	569,80	649,60	663,60	641,20
	3	574,00	648,20	648,20	663,60
B + 60% de SN	1	344,40	362,60	253,40	238,00
	2	352,80	359,80	250,60	231,00
	3	347,20	364,00	252,00	238,00
B + 60% de SNE	1	354,20	414,40	436,80	487,20
	2	351,40	421,40	436,80	487,20
	3	357,00	414,40	438,20	476,00

* SN, solo natural; A, solo tratado com amônia anidra; SNE, solo natural esterilizado; B, solo tratado com amônia sob concentração de 210 ppm de N-NH₃.

Tabela V - Análises da variância dos teores de nitratos obtidos no estudo do efeito da amônia na nitrificação

Época da análise	Causa de variação	G.L.	Q.M.	F	C.V.%
4 semanas	Tratamentos	10	766,63	234,68**	10,54
	Resíduo	22	3,27		
8 semanas	Tratamentos	10	21 588,24	741,79**	6,52
	Resíduo	22	29,10		
12semanas	Tratamentos	10	38 144,49	260,54**	9,98
	Resíduo	22	146,41		

Tabela VI - Análises da variância dos teores de amônio obtidos no estudo do efeito da amônia na nitrificação

Época da análise	Causa de variação	G.L.	Q.M.	F	C.V.%
0 semanas	Tratamentos	10	159.155,96	4 650,31**	1,17
	Resíduo	22	34,22		
4 semanas	Tratamentos	10	180 426,51	6 647,40**	0,95
	Resíduo	22	27,14		
8 semanas	Tratamentos	10	206 001,28	2 380,54**	1,81
	Resíduo	22	86,54		
12semanas	Tratamentos	10	237 456,27	2 227,29**	2,01
	Resíduo	22	106,61		

Tabela VII - Análises da variância das regressões relativas às variações dos teores de nitratos em função do tempo de incubação, no estudo do efeito da amônia na nitrificação

Tratamentos*	Causa de variação	G.L.	Q.M.	F
SN	Regress.linear	1	8 952,37	200,30**
	Regress.quadrática	1	1 337,74	29,93**
	Regress.cúbica	1	1 248,53	27,94**
	Tratamentos	3	3 846,21	
	Resíduo	88	44,69	
A	Regress.linear	1	84,97	1,90
	Regress.quadrática	1	119,07	2,66
	Regress.cúbica	1	282,53	6,32*
	Tratamentos	3	162,19	
	Resíduo	88	44,69	
A + 30% de SN	Regress.linear	1	89 691,20	2 006,79**
	Regress.quadrática	1	15 394,00	344,43**
	Regress.cúbica	1	57 870,99	1 294,83**
	Tratamentos	3	54 318,73	
	Resíduo	88	44,69	
A + 30% de SNE	Regress.linear	1	57,62	1,29
	Regress.quadrática	1	32,01	0,72
	Regress.cúbica	1	102,44	2,29
	Tratamentos	3	64,03	
	Resíduo	88	44,69	
A + 60% de SN	Regress.linear	1	97 203,75	2 174,88**
	Regress.quadrática	1	4 555,20	101,92**
	Regress.cúbica	1	24 442,02	546,88**
	Tratamentos	3	42 066,99	
	Resíduo	88	44,69	
A + 60% de SNE	Regress.linear	1	35,57	0,80
	Regress.quadrática	1	27,60	0,62
	Regress.cúbica	1	27,47	0,61
	Tratamentos	3	30,22	
	Resíduo	88	44,69	
B	Regress.linear	1	9 038,08	202,22**
	Regress.quadrática	1	2 676,05	59,88**
	Regress.cúbica	1	9 106,94	203,76**
	Tratamentos	3	6 940,36	
	Resíduo	88	44,69	

(continua)

Tabela VII - continuação

Tratamentos*	Causa de variação	G.L.	Q.M.	F
B + 30% de SN	Regress.linear	1	90 994,99	2 035,96**
	Regress.quadrática	1	9 174,27	205,27**
	Regress.cúbica	1	46 805,09	1 047,24**
	Tratamentos	3	48 991,45	
	Resíduo	88	44,69	
B + 30% de SNE	Regress.linear	1	2 041,67	45,68**
	Regress.quadrática	1	1 382,45	30,93**
	Regress.cúbica	1	3 776,27	84,49**
	Tratamentos	3	2 400,13	
	Resíduo	88	44,69	
B + 60% de SN	Regress.linear	1	83 731,23	1 873,44**
	Regress.quadrática	1	4 339,60	97,10**
	Regress.cúbica	1	18 522,29	414,43**
	Tratamentos	3	35 531,04	
	Resíduo	88	44,69	
B + 60% de SNE	Regress.linear	1	193,68	4,33*
	Regress.quadrática	1	86,40	1,93
	Regress.cúbica	1	164,67	3,68
	Tratamentos	3	148,25	
	Resíduo	88	44,69	

* SN, solo natural; A, solo tratado com amônia anidra; SNE, solo natural esterilizado; B, solo tratado com amônia sob concentração de 210 ppm de N-NH₃.

Tabela VIII - Análises da variância das regressões relativas às variações dos teores de amônio em função do tempo de incubação, no estudo do efeito da amônia na nitrificação.

Tratamentos*	Causa de variação	G.L.	Q.M.	F
SN	Regress.linear	1	413,44	6,50*
	Regress.quadrática	1	2,00	0,03
	Regress.cúbica	1	171,70	2,70
	Tratamentos	3	195,71	
	Resíduo	88	63,63	
A	Regress.linear	1	23 490,73	369,19**
	Regress.quadrática	1	1 045,33	16,43**
	Regress.cúbica	1	1 386,24	21,79**
	Tratamentos	3	8 640,77	
	Resíduo	88	63,63	
A + 30% de SN	Regress.linear	1	28 223,03	443,57**
	Regress.quadrática	1	23 771,90	373,61**
	Regress.cúbica	1	4 082,10	64,16**
	Tratamentos	3	18 692,34	
	Resíduo	88	63,63	
A + 30% de SNE	Regress.linear	1	27 950,42	439,28**
	Regress.quadrática	1	1 071,63	16,84**
	Regress.cúbica	1	1 372,82	21,58**
	Tratamentos	3	10 131,62	
	Resíduo	88	63,63	
A + 60% de SN	Regress.linear	1	33 786,77	531,01**
	Regress.quadrática	1	3 340,00	52,49**
	Regress.cúbica	1	9 210,73	144,76**
	Tratamentos	3	15 445,83	
	Resíduo	88	63,63	
A + 60% de SNE	Regress.linear	1	23 768,56	373,56**
	Regress.quadrática	1	2 976,75	46,78**
	Regress.cúbica	1	214,33	3,37
	Tratamentos	3	8 986,55	
	Resíduo	88	63,63	
B	Regress.linear	1	4 892,45	76,89**
	Regress.quadrática	1	918,75	14,44**
	Regress.cúbica	1	825,85	12,98**
	Tratamentos	3	2 212,35	
	Resíduo	88	63,63	

(continua)

Tabela VIII - continuação

Tratamentos*	Causa de variação	G.L.	Q.M.	F
B + 30% de SN	Regress.linear	1	35 400,25	556,37**
	Regress.quadrática	1	10 454,80	164,31**
	Regress.cúbica	1	7 308,48	114,86**
	Tratamentos	3	17 721,18	
	Resíduo	88	63,63	
B + 30% de SNE	Regress.linear	1	8 166,67	128,35**
	Regress.quadrática	1	4 832,05	75,94**
	Regress.cúbica	1	470,40	7,39**
	Tratamentos	3	4 489,71	
	Resíduo	88	63,63	
B + 60% de SN	Regress.linear	1	30 042,91	472,17**
	Regress.quadrática	1	690,08	10,85**
	Regress.cúbica	1	7 124,24	111,97**
	Tratamentos	3	12 619,08	
	Resíduo	88	63,63	
B + 60% de SNE	Regress.linear	1	25 010,42	393,08**
	Regress.quadrática	1	200,08	3,14
	Regress.cúbica	1	686,82	10,79**
	Tratamentos	3	8 632,44	
	Resíduo	88	63,63	

* SN, solo natural; A, solo tratado com amônia anidra; SNE, solo natural esterilizado; B, solo tratado com amônia sob concentração de 210 ppm de N-NH₃.

Tabela IX - Equações de regressão que interpretam as variações dos teores de nitratos e de amônio em função do tempo de incubação, relativas ao estudo do efeito da amônia na nitrificação (y em ppm de N e x em semanas).

Tratamentos*	Variações dos teores de N-NO ₂ + N-NO ₃	Variações dos teores de N-NH ₄
SN	y = 0,70 - 3,84x + 3,62x ² - 0,24x ³	y = 22,98 - 1,31x
A	y = 2,80 - 5,54x + 1,84x ² - 0,11x ³	y = 834,40 + 21,72x - 3,92x ² + 0,25x ³
A + 30% de SN	y = 2,80 - 75,43x + 26,87x ² - 1,62x ³	y = 615,77 + 54,84x - 10,51x ² + 0,43x ³
A + 30% de SNE	-	y = 624,40 + 36,61x - 5,07x ² + 0,25x ³
A + 60% de SN	y = 1,40 - 44,31x + 17,70x ² - 1,05x ³	y = 368,20 + 49,17x - 12,66x ² + 0,65x ³
A + 60% de SNE	-	y = 378,49 + 21,76x - 0,98x ²
B	y = 2,80 - 30,91x + 10,62x ² - 0,64x ³	y = 772,80 + 25,61x - 4,02x ² + 0,19x ³
B + 30% de SN	y = 2,80 - 69,17x + 24,45x ² - 1,45x ³	y = 568,87 + 53,22x - 12,19x ² + 0,57x ³
B + 30% de SNE	y = 2,80 - 20,10x + 6,77x ² - 0,41x ³	y = 571,67 + 31,85x - 3,88x ² + 0,15x ³
B + 60% de SN	y = 1,40 - 35,87x + 15,28x ² - 0,92x ³	y = 348,13 + 37,17x - 10,69x ² + 0,57x ³
B + 60% de SNE	y = 2,43 + 0,90x	y = 354,20 + 26,52x - 3,43x ² + 0,18x ³

* SN, solo natural; A, solo tratado com amônia anidra; SNE, solo natural esterilizado; B, solo tratado com amônia sob concentração de 210 ppm de N-NH₃.

Tabela X - Variações dos teores de nitratos durante a incubação de quatro solos do Município de Piracicaba tratados com diferentes doses de amônia

Solos	Doses de amônia	Repetições	Semanas de incubação				
			0	3	6	9	
	ppm de N-NH ₃		ppm de N-NO ₂ + N-NO ₃				
Ribeirão Claro	0	1	5,60	23,80	29,40	32,20	
		2	4,20	23,80	30,80	29,40	
		3	5,60	22,40	30,80	30,80	
	110	1	4,20	64,40	72,80	71,40	
		2	2,80	64,40	71,40	74,20	
		3	2,80	63,00	74,20	72,80	
	220	1	1,40	56,00	109,20	110,60	
		2	1,40	50,40	112,00	112,00	
		3	1,40	42,00	112,00	112,00	
	Lajeado-nho	0	1	1,40	16,80	35,00	43,40
			2	1,40	18,20	33,60	43,40
			3	1,40	18,20	33,60	44,80
110		1	1,40	53,20	123,20	134,40	
		2	1,40	54,60	117,60	133,00	
		3	1,40	51,80	121,80	138,60	
220		1	4,20	71,40	163,80	162,40	
		2	2,80	75,60	161,00	169,40	
		3	2,80	75,60	158,20	175,00	
Godinhos		0	1	2,80	42,00	57,40	77,00
			2	4,20	42,00	56,00	79,80
			3	2,80	37,80	58,80	84,00
	110	1	5,60	75,60	86,80	119,00	
		2	4,20	74,20	81,20	126,00	
		3	4,20	65,80	82,60	124,60	
	220	1	2,80	99,40	119,00	151,20	
		2	4,20	102,20	110,60	158,20	
		3	2,80	98,00	117,60	159,60	
	Iracema	0	1	9,80	63,00	82,60	93,80
			2	8,40	64,40	82,60	89,60
			3	8,40	65,80	84,00	92,40
110		1	9,80	92,40	179,20	189,00	
		2	9,80	93,80	175,00	194,60	
		3	8,40	88,20	172,20	193,20	
220		1	9,80	107,80	221,20	266,00	
		2	8,40	107,80	212,80	267,40	
		3	9,80	109,20	218,40	266,00	

Tabela XI - Variação dos teores de amônio durante a incubação de quatro solos do Município de Piracicaba tratados com diferentes doses de amônia

Solos	Doses de amônia	Repetições	Semanas de incubação				
			0	3	6	9	
	ppm de $N-NH_3$		ppm de $N-NH_4$				
Ribeirão Claro	0	1	14,00	7,00	7,00	8,40	
		2	14,00	5,60	7,00	8,40	
		3	14,00	7,00	8,40	7,00	
	110	1	117,60	71,40	72,80	60,20	
		2	106,40	75,60	71,40	68,60	
		3	110,60	72,80	70,00	70,00	
	220	1	193,20	208,60	156,80	135,80	
		2	193,20	211,40	158,20	134,40	
		3	190,40	217,00	158,20	130,20	
	Lajeado-nho	0	1	23,80	12,60	11,20	7,00
			2	22,40	9,80	9,80	7,00
			3	22,40	11,20	12,60	8,40
110		1	131,60	74,20	26,60	28,00	
		2	126,00	75,60	29,40	23,80	
		3	130,20	85,40	29,40	21,00	
220		1	239,40	169,40	98,00	78,40	
		2	236,60	161,00	100,80	79,80	
		3	238,00	165,20	98,00	79,80	
Godinhos		0	1	39,20	29,40	29,40	19,60
			2	40,60	29,40	30,80	26,60
			3	42,00	33,60	30,80	22,40
	110	1	145,60	98,00	102,20	93,80	
		2	145,60	96,60	109,20	85,40	
		3	142,80	110,60	100,80	96,60	
	220	1	256,20	177,80	184,80	168,00	
		2	253,40	180,60	186,20	169,40	
		3	254,80	184,80	186,20	166,60	
	Iracema	0	1	49,00	14,00	8,40	7,00
			2	47,60	11,20	8,40	7,00
			3	47,60	14,00	8,40	7,00
110		1	144,20	88,20	12,60	8,40	
		2	148,40	79,80	15,40	7,00	
		3	147,00	89,60	9,80	7,00	
220		1	261,80	169,40	72,80	30,80	
		2	250,60	168,00	77,00	42,00	
		3	253,40	162,40	64,40	42,00	

Tabela XII - Análises da variância dos teores de nitratos obtidos no estudo da nitrificação da amônia em alguns solos do Município de Piracicaba

Causa de variação	G.L.	0 semanas		3 semanas	
		Q.M.	F	Q.M.	F
Solos	3	90,36	184,40**	3 614,73	397,56**
Doses	2	0,49	1,00	6 899,42	758,82**
Interação solos x doses	6	5,21	10,62**	307,07	33,77**
Resíduo	24	0,49		9,09	
Solos dentro da dose 0 ppm	3	30,49	62,22**	1 320,77	145,30**
Solos dentro da dose 110 ppm	3	34,41	70,22**	783,29	86,17**
Solos dentro da dose 220 ppm	3	35,88	73,22**	2 124,80	233,75**
Coefficientes de variação (%)			15,38		4,77
Causa de variação	G.L.	6 semanas		9 semanas	
		Q.M.	F	Q.M.	F
Solos	3	13 161,11	1 873,92**	19 065,50	2 012,55**
Doses	2	30 626,47	4 360,69**	39 645,30	4 184,95**
Interação solos x doses	6	1 212,89	172,69**	1 731,64	182,79**
Resíduo	24	7,02		9,47	
Solos dentro da dose 0 ppm	3	1 782,89	253,97**	2 531,61	267,33**
Solos dentro da dose 110 ppm	3	6 448,18	918,54**	7 220,42	762,45**
Solos dentro da dose 220 ppm	3	7 355,83	1 047,84**	12 776,75	1 349,18**
Coefficientes de variação (%)			2,51		2,50

Tabela XIII - Análise da variância dos teores de amônio obtidos no estudo da nitrificação da amônia em alguns solos do Município de Piracicaba

Causa de variação	0 semanas		3 semanas	
	G.L.	Q.M.	F	Q.M.
Solos	3	3 648,36	476,15**	703,77
Doses	2	124 481,29	16 246,34**	83 301,03
Interação solos x doses	6	260,77	34,03**	767,68
Resíduo	24	7,66		16,88
Solos dentro da dose 0 ppm	3	738,00	96,34**	338,86
Solos dentro da dose 110 ppm	3	794,02	103,65**	461,85
Solos dentro da dose 220 ppm	3	2 637,89	344,37**	1 438,42
Coefficientes de variação (%)			2,07	4,37

Causa de variação	6 semanas		9 semanas	
	G.L.	Q.M.	F	Q.M.
Solos	3	10 360,56	1 534,67**	10 400,56
Doses	2	40 248,98	5 961,92**	26 644,62
Interação solos x doses	6	1 713,86	253,86**	2 068,98
Resíduo	24	6,75		11,81
Solos dentro da dose 0 ppm	3	348,17	51,58**	178,30
Solos dentro da dose 110 ppm	3	5 175,27	766,71**	4 468,96
Solos dentro da dose 220 ppm	3	8 264,83	1 224,42**	9 891,25
Coefficientes de variação (%)			3,95	6,30

Tabela XIV - Análises da variância das regressões relativas às variações dos teores de nitratos em função do tempo de incubação, no estudo da nitrificação da amônia em alguns solos do Município de Piracicaba

Tratamentos (solos e doses)	Causa de variação	G.L.	Q.M.	F
Ribeirão Claro 0 ppm N-NH ₃	Regress.linear	1	1 058,40	162,34**
	Regress.quadrática	1	235,85	36,18**
	Regress.cúbica	1	3,27	0,50
	Tratamentos	3	432,51	
	Resíduo	96	6,52	
Ribeirão Claro 110 ppm N-NH ₃	Regress.linear	1	7 093,76	1 088,07**
	Regress.quadrática	1	2 760,33	423,39**
	Regress.cúbica	1	276,49	42,41**
	Tratamentos	3	3 376,86	
	Resíduo	96	6,52	
Ribeirão Claro 220 ppm N-NH ₃	Regress.linear	1	23 049,60	3 535,43**
	Regress.quadrática	1	1 699,32	260,65**
	Regress.cúbica	1	836,27	128,27**
	Tratamentos	3	8 528,40	
	Resíduo	96	6,52	
Lajeado 0 ppm N-NH ₃	Regress.linear	1	3 098,89	475,32**
	Regress.quadrática	1	32,01	4,91
	Regress.cúbica	1	6,40	0,98
	Tratamentos	3	1 045,77	
	Resíduo	96	6,52	
Lajeado 110 ppm N-NH ₃	Regress.linear	1	33 059,84	5 070,84**
	Regress.quadrática	1	1 045,33	160,34**
	Regress.cúbica	1	715,53	109,75**
	Tratamentos	3	11 606,90	
	Resíduo	96	6,52	
Lajeado 220 ppm N-NH ₃	Regress.linear	1	51 123,37	7 841,49**
	Regress.quadrática	1	2 976,75	456,58**
	Regress.cúbica	1	1 346,16	206,48**
	Tratamentos	3	18 482,09	
	Resíduo	96	6,52	
Godinhos 0 ppm N-NH ₃	Regress.linear	1	9 210,73	1 412,77**
	Regress.quadrática	1	156,96	24,08**
	Regress.cúbica	1	106,13	16,28**
	Tratamentos	3	3 157,94	
	Resíduo	96	6,52	

(continua)

Tabela XIV - continuação

Tratamentos (solos e doses)	Causa de variação	G.L.	Q.M.	F
Godinhos 110 ppm N-NH ₃	Regress.linear	1	20 232,72	3 103,37**
	Regress.quadrática	1	568,56	87,21**
	Regress.cúbica	1	1 046,67	160,54**
	Tratamentos	3	7 282,65	
	Resíduo	96	6,52	
Godinhos 220 ppm N-NH ₃	Regress.linear	1	33 853,25	5 192,53**
	Regress.quadrática	1	2 352,00	360,76**
	Regress.cúbica	1	1 668,48	255,92**
	Tratamentos	3	12 624,58	
	Resíduo	96	6,52	
Iracema 0 ppm N-NH ₃	Regress.linear	1	10 762,88	1 650,85**
	Regress.quadrática	1	1 633,33	250,53**
	Regress.cúbica	1	109,89	16,86**
	Tratamentos	3	4 168,70	
	Resíduo	96	6,52	
Iracema 110 ppm N-NH ₃	Regress.linear	1	60 065,38	9 213,05**
	Regress.quadrática	1	3 201,33	491,03**
	Regress.cúbica	1	715,53	109,75**
	Tratamentos	3	21 327,41	
	Resíduo	96	6,52	
Iracema 220 ppm N-NH ₃	Regress.linear	1	116 318,45	17 841,35**
	Regress.quadrática	1	1 870,00	286,83**
	Regress.cúbica	1	744,83	114,25**
	Tratamentos	3	39 644,43	
	Resíduo	96	6,52	

Tabela XV - Análises da variância das regressões relativas às variações dos teores de amônio em função do tempo de incubação, no estudo da nitrificação da amônia em alguns solos do Município de Piracicaba

Tratamentos (solos e doses)	Causa de variação	G.L.	Q.M.	F
Ribeirão Claro 0 ppm N-NH ₃	Regress.linear	1	44,72	4,15*
	Regress.quadrática	1	47,20	4,38*
	Regress.cúbica	1	11,79	1,10
	Tratamentos	3	34,57	
	Resíduo	96	10,77	
Ribeirão Claro 110 ppm N-NH ₃	Regress.linear	1	2 842,82	264,05**
	Regress.quadrática	1	823,36	76,48**
	Regress.cúbica	1	236,02	21,92**
	Tratamentos	3	1 300,73	
	Resíduo	96	10,77	
Ribeirão Claro 220 ppm N-NH ₃	Regress.linear	1	8 004,15	743,46**
	Regress.quadrática	1	1 474,08	136,92**
	Regress.cúbica	1	1 653,75	153,61**
	Tratamentos	3	3 710,66	
	Resíduo	96	10,77	
Lajeado 0 ppm N-NH ₃	Regress.linear	1	320,17	29,74**
	Regress.quadrática	1	47,20	4,38
	Regress.cúbica	1	35,57	3,30
	Tratamentos	3	134,31	
	Resíduo	96	10,77	
Lajeado 110 ppm N-NH ₃	Regress.linear	1	19 976,45	1 855,50**
	Regress.quadrática	1	1 633,33	151,71**
	Regress.cúbica	1	301,06	27,96**
	Tratamentos	3	7 303,61	
	Resíduo	96	10,77	
Lajeado 220 ppm N-NH ₃	Regress.linear	1	44 107,97	4 096,93**
	Regress.quadrática	1	2 122,68	197,16**
	Regress.cúbica	1	241,60	22,44**
	Tratamentos	3	15 490,75	
	Resíduo	96	10,77	
Godinhos 0 ppm N-NH ₃	Regress.linear	1	432,02	40,13**
	Regress.quadrática	1	4,08	0,38
	Regress.cúbica	1	40,02	3,72
	Tratamentos	3	158,71	
	Resíduo	96	10,77	

(continua)

Tabela XV - continuação

Tratamentos (solos e doses)	Causa de variação	G.L.	Q.M.	F
Godinhos 110 ppm N-NH ₃	Regress.linear	1	3 644,16	338,48**
	Regress.quadrática	1	711,48	66,09**
	Regress.cúbica	1	535,21	49,71**
	Tratamentos	3	1 630,28	
	Resíduo	96	10,77	
Godinhos 220 ppm N-NH ₃	Regress.linear	1	9 809,93	911,19**
	Regress.quadrática	1	2 352,00	218,46**
	Regress.cúbica	1	1 524,10	141,56**
	Tratamentos	3	4 562,01	
	Resíduo	96	10,77	
Iracema 0 ppm N-NH ₃	Regress.linear	1	2 452,48	227,80**
	Regress.quadrática	1	846,72	78,65**
	Regress.cúbica	1	109,89	10,21**
	Tratamentos	3	1 136,36	
	Resíduo	96	10,77	
Iracema 110 ppm N-NH ₃	Regress.linear	1	36 083,63	3 351,60**
	Regress.quadrática	1	2 312,96	214,84**
	Regress.cúbica	1	977,68	90,81**
	Tratamentos	3	13 124,76	
	Resíduo	96	10,77	
Iracema 220 ppm N-NH ₃	Regress.linear	1	83 522,17	7 757,89**
	Regress.quadrática	1	2 312,96	214,84**
	Regress.cúbica	1	705,89	65,57**
	Tratamentos	3	28 847,01	
	Resíduo	96	10,77	

Tabela XVI - Equações de regressão que interpretam as variações dos teores de nitratos e de amônio em função do tempo de incubação, relativas ao estudo da nitrificação da amônia em alguns solos do Município de Piracicaba (y em ppm de N e x em semanas)

Solos	Doses de amônia	Variação dos teores de N-NO ₂ + N-NO ₃	Variação dos teores de N-NH ₄
Ribeirão Claro	0	$y = 5,37 + 7,23x - 0,49x^2$	$y = 13,56 - 2,56x + 0,22x^2$
	110	$y = 3,27 + 33,62x - 5,26x^2 + 0,26x^3$	$y = 111,53 - 23,23x + 4,23x^2 - 0,24x^3$
	220	$y = 1,40 + 5,47x + 4,90x^2 - 0,46x^3$	$y = 192,27 + 30,80x - 9,98x^2 + 0,65x^3$
Lajeadinho	0	$y = 2,71 + 4,79x$	$y = 20,11 - 1,54x$
	110	$y = 1,40 + 6,95x + 4,72x^2 - 0,43x^3$	$y = 129,27 - 12,13x - 2,44x^2 + 0,28x^3$
	220	$y = 3,27 + 10,48x + 6,14x^2 - 0,58x^3$	$y = 238,00 - 20,90x - 1,87x^2 + 0,25x^3$
Godinhos	0	$y = 3,27 + 18,82x - 2,62x^2 + 0,16x^3$	$y = 39,20 - 1,79x$
	110	$y = 4,67 + 40,93x - 7,73x^2 + 0,52x^3$	$y = 144,67 - 28,49x + 5,83x^2 - 0,37x^3$
	220	$y = 3,27 + 57,37x - 10,34x^2 + 0,65x^3$	$y = 254,80 - 48,84x + 9,95x^2 - 0,62x^3$
Iracema	0	$y = 8,87 + 27,66x - 3,55x^2 + 0,17x^3$	$y = 48,07 - 19,73x + 3,19x^2 - 0,18x^3$
	110	$y = 9,33 + 19,39x + 3,94x^2 - 0,43x^3$	$y = 146,53 - 9,15x - 5,18x^2 + 0,50x^3$
	220	$y = 9,33 + 23,44x + 4,48x^2 - 0,43x^3$	$y = 255,27 - 20,85x - 4,17x^2 + 0,42x^3$

Tabela XVII - Variações do pH durante a incubação de alguns solos do Município de Piracicaba tratados com diferentes doses de amônia

Solos	Doses de amônia	Repetições	Semanas de incubação			
			0	3	6	9
	ppm de N-NH ₃		pH			
Ribeirão Claro	0	1	5,1	4,2	4,0	3,9
		2	5,0	4,2	4,0	4,0
		3	5,0	4,2	4,0	4,0
	110	1	6,7	4,3	4,2	4,1
		2	6,7	4,3	4,2	4,2
		3	6,7	4,4	4,2	4,2
	220	1	7,4	6,3	4,6	4,4
		2	7,4	6,4	4,6	4,4
		3	7,4	6,5	4,6	4,3
Lajeado	0	1	5,6	5,1	4,8	4,7
		2	5,6	5,0	4,8	4,7
		3	5,5	5,0	4,8	4,6
	110	1	6,0	5,0	4,2	4,2
		2	6,0	5,0	4,3	4,1
		3	6,1	5,0	4,3	4,1
	220	1	6,6	5,3	4,3	4,2
		2	6,6	5,2	4,3	4,2
		3	6,6	5,3	4,4	4,2
Godinhos	0	1	5,2	4,6	4,5	4,3
		2	5,2	4,6	4,5	4,3
		3	5,2	4,6	4,5	4,3
	110	1	5,6	4,6	4,5	4,3
		2	5,6	4,6	4,5	4,3
		3	5,6	4,7	4,5	4,3
	220	1	5,9	4,6	4,5	4,4
		2	5,9	4,6	4,5	4,4
		3	5,9	4,7	4,5	4,4
Iracema	0	1	5,3	4,7	4,5	4,5
		2	5,3	4,7	4,5	4,5
		3	5,3	4,7	4,5	4,5
	110	1	5,5	4,7	4,3	4,2
		2	5,5	4,7	4,2	4,2
		3	5,5	4,7	4,2	4,2
	220	1	5,8	4,9	4,2	4,1
		2	5,9	4,9	4,3	4,1
		3	5,8	4,9	4,2	4,1