

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA  
PRÓ-REITORIA PARA ASSUNTOS DO INTERIOR  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

EFEITO DA COBERTURA DO SOLO E FREQUÊNCIA DE IRRIGAÇÃO  
NA LIXIVIAÇÃO DE NITRATO

por

JOSE RENATO CORTEZ BEZERRA

CAMPINA GRANDE - PARAÍBA

OUTUBRO - 1979



B574e Bezerra, José Renato Cortez.  
Efeito da cobertura do solo e frequência de irrigação na lixiviação de nitrato / José Renato Cortez Bezerra. - Campina Grande, 1979.  
83 f.

Dissertação (Mestrado em Ciências) - Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 1979.  
"Orientação : Prof. M.Sc. Benjamin Fernandez Medina".  
Referências.

1. Irrigação. 2. Cobertura do Solo. 3. Solo - Lixiviação do Nitrato. 4. Dissertação - Ciências. I. Medina, Benjamin Fernandez. II. Universidade Federal da Paraíba - Campina Grande (PB).

CDU 631.67(043)

EFEITO DA COBERTURA DO SOLO E FREQUÊNCIA DE  
IRRIGACÃO NA LIXIVIAÇÃO DE NITRATO

JOSE RENATO CORTEZ BEZERRA

Engenheiro Agrônomo

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DA COORDENACÃO DOS  
PROGRAMAS DE PÓS-GRADUACÃO E PESQUISA DO CENTRO DE CIÊNCIAS  
E TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA COMO PARTE  
DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MES  
TRE EM CIÊNCIAS (M.Sc.).

Aprovado por:

COMISSÃO

---

Presidente

---

Examinador

---

Examinador

CAMPINA GRANDE  
ESTADO DA PARAÍBA - BRASIL

OUTUBRO - 1979

Aos meus pais,  
que não mediram esforços para  
a formação dos seus filhos.  
MINHA HOMENAGEM.

Aos meus irmãos, esposa e filho.  
D E D I C O.

## A G R A D E C I M E N T O S

Reconhecendo o inestimável valor da colaboração de todos aqueles que direta ou indiretamente auxiliaram na realização deste trabalho, o autor agradece:

Ao Prof. M.Sc. Benjanmin Fernandez Medina, pela paciente, criteriosa e objetiva orientação na elaboração do presente trabalho.

Ao Prof. Dr. Hugo Orlando Carvalho Guerra, pela valiosa colaboração no planejamento e execução deste trabalho.

Ao Prof. M.Sc. José Elias da Cunha Metri, pelas sugestões e colaboração durante todas as fases deste estudo.

Ao Prof. M.Sc. José Onaldo Montenegro, pela valiosa colaboração na descrição do solo estudado.

À Bibliotecária Emeide Nóbrega Dantas, pela orientação e revisão das referências bibliográficas.

Aos Laboratoristas Francisco de Assis Pereira e José Alves de Lima, pelo auxílio prestado nas análises efetuadas.

Ao Sr. Hércules Hercuergus Sobreira de Almeida, pelo excelente trabalho datilográfico.

Ao Sr. Windson Ramos da Silva, pela execução dos desenhos.

Aos familiares do Sr. Antonio Francisco da Silva, seu sogro, pela valiosa colaboração e incentivo constante em todas da fases do trabalho.

A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), pela oportunidade concedida da realização do curso.

Ao Departamento de Engenharia Civil do Centro de Ciências e Tecnologia da UFPb, em particular à Coordenação do Curso de Pós-Graduação que não mediu esforços na resolução dos problemas que se apresentaram no transcorrer do curso.

Aos Professores do Curso de Pós-Graduação, pela valiosa colaboração na sua formação profissional.

Ao Centro de Ciências Agrárias da UFPb, em particular ao Departamento de Solos e Engenharia Rural, onde foi realizado o trabalho experimental e análises de laboratório.

Aos Funcionários do SID-UEPAE de Teresina pela colaboração na recuperação das comutações bibliográficas.

Aos Funcionários da Biblioteca do Centro de Ciências Agrárias da UFPb, pelas atenções e eficiente colaboração.

Aos colegas da UEPAE de Teresina pelo incentivo constante.

Aos colegas do Curso de Pós-Graduação e às pes

soas e instituições que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

## R E S U M O

O objetivo deste trabalho foi estudar "in situ" a lixiviação do nitrato em um solo sem cobertura e com cobertura plástica, submetido as seguintes frequências e lâminas de irrigação: cada 3 dias, 12,5 mm (I); cada 6 dias, 25,0 mm (II) e cada 12 dias, 50 mm (III). O  $\text{NO}_3\text{N}$  foi aplicado na dosagem equivalente a 400 Kg/ha sob a forma de nitrato de potássio. O experimento foi desenvolvido em um Latosolo Vermelho Amarelo Eutrófico de textura média, localizado na área contígua ao Sul do Plano Piloto de Irrigação do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Paraíba, em Areia-Pb. Utilizou-se o delineamento experimental de blocos ao acaso com parcelas subdivididas. Os resultados deste trabalho indicam que o solo com cobertura plástica apresentou uma maior taxa de lixiviação (significância ao nível de 5%), tendo isto ocorrido em consequência do seu maior conteúdo de água. No solo sem cobertura, a evaporação



retardou a lixiviação como resultado da menor quantidade de água sujeita a percolação e pela ascensão capilar da solução do solo. Embora houvesse uma tendência da lixiviação aumentar com o incremento da lâmina de irrigação, a análise de variância não mostrou diferenças significativas entre subtratamentos. Todavia, o teste de Duncan revelou diferenças significativa entre as frequências I e III (5%) para o solo sem cobertura. Para o solo com cobertura plástica, se obteve diferenças entre as frequências I e III ao nível de 1% e, I e II ao nível de 5%. A não significância observada entre as frequências I e II por um lado e II e III por outro lado, do primeiro tratamento e II e III do segundo, foi devido provavelmente, as chuvas ocorridas durante o período e a proximidade do lençol freático. Verificou-se que, em geral, o conteúdo de água do solo aumentou com o incremento da lâmina de irrigação, sendo o solo com cobertura plástica o que apresentou um maior teor de umidade durante todo o período experimental.

## A B S T R A C T

The leaching of applied nitrate was studied "in situ" on a Red-Yellow Podzolic soil at the Experiment Station of the Center of Agricultural Sciences, Universidade Federal da Paraíba, in Areia-Pb. To attain this objective, unprotected (fallow) as well as protected (covered with a black polyethylene film) plots were submitted to three irrigation frequencies: 12,5 mm every 3 days (I); 25,0 mm every 6 days (II); 50 mm every 12 days (III). Each treatment received the equivalent to 400 Kg/Ha of  $\text{NO}_3^-$ -N, as  $\text{KNO}_3$ . The  $\text{NO}_3^-$ -N of the soil, following each water application, was determined as function of depth. The results of this study showed that  $\text{NO}_3^-$ -N moved faster in the covered plots, which was due to their higher water contents. In the uncovered plots, on the other hand, evaporation of water delayed  $\text{NO}_3^-$ -N leaching as a result of their lower soil-water contents which did not allow the downward displacement of considerable amounts of the ion with the percolating water. Besides, upward

$\text{NO}_3^-$ -N movement by capillary rise might have occurred. Even though there was a trend for leaching to increase with increasing amounts of irrigation water, the analysis of variance did not show significant differences among frequencies. However, Duncan's test revealed significant differences between frequencies I and III (5%), for the unprotected soil and between I and II (5%) and I and III (1%), for the protected one. The lack of significance between frequencies I and II and II and III, for the unprotected soil, and II and III, for the protected one, was due to factors others than those considered in this study. Finally, it was observ<sup>r</sup>ed that, in general, soil-water content increased as the amount of irrigation water augmented, being the protected plots those which showed higher water contents during the experimental period.

# Í N D I C E

	Página
CAPÍTULO I	
INTRODUÇÃO	1
CAPÍTULO II	
REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1 IMPORTÂNCIA DO USO DE FERTILIZANTES NA AGRICULTURA	4
2.2 LIXIVIAÇÃO DE NITRATOS	6
2.2.1 Conteúdo de Umidade	7
2.2.2 Características dos Solos	8
2.2.3 Evapotranspiração	9
2.2.4 Concentração do Íon	10
2.2.5 Natureza do Cultivo	10
2.3 TRANSFORMAÇÕES DO NITROGÊNIO	11
2.3.1 Nitrificação	11
2.3.2 Desnitrificação	14
2.3.3 Mineralização	16
2.4 INFLUÊNCIA DO USO DE FERTILIZANTES NO MEIO AMBIENTE	18
CAPÍTULO III	
MATERIAIS E MÉTODOS	21
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA	21
3.2 SOLO	22
3.3 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL	22

	Página
3.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA	23
3.5 TRATOS CULTURAIS	25
3.6 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL	25
3.6.1 Coleta de Amostras	26
3.6.2 Determinação do Teor de Nitrato	27
3.6.3 Determinação do Conteúdo de Umidade	28
3.7 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E HÍDRICAS DO SOLO	28
3.7.1 Distribuição do Tamanho das Partículas	28
3.7.2 Densidade Global	28
3.7.3 Densidade de Partícula	30
3.7.4 Porosidade Total	30
3.7.5 Capacidade de Campo	30
3.7.6 Ponto de Murchamento	30
3.7.7 Água Disponível	31
3.8 ANÁLISES QUÍMICAS	31
3.8.1 Matéria Orgânica	31
3.8.2 Reação do Solo	31
CAPÍTULO IV	
RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
4.1 SOLO SEM COBERTURA	32
4.2 SOLO COM COBERTURA PLÁSTICA	41
CAPÍTULO V	
CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	53

Página

BIBLIOGRAFIA

55

APENDICE

70

## CAPÍTULO I

### INTRODUÇÃO

O rápido crescimento da população mundial com o conseqüente aumento na demanda alimentícia, leva o homem à busca de novas tecnologias com a finalidade de aumentar a produtividade agrícola, uma vez que a situação atual já é bastante crítica. Esta necessidade é notada com maior exatidão quando trabalhos tem revelado que o aumento da produção pela exploração de novas áreas não é suficiente para suprir o incremento da demanda.

Ao lado de outras práticas agrícolas, o uso de fertilizantes é de essencial importância para se atingir este objetivo. Por esta razão, seu uso tem sido crescente em todo o mundo com perspectivas de continuar aumentando pois a utilização de variedades altamente produtivas exige maiores quantidades de nutrientes para que estas apresentem produções à altura de suas potencialidades genéticas.

Dentre os nutrientes indispensáveis às plantas, o nitrogênio é um dos mais importantes. Porém, sua dinâmica no interior do solo faz este nutriente apresentar características especiais. No solo, ele pode sofrer transformações e quando na forma de nitrato (forma mais comum do nitrogênio na solução do solo) apresentar mobilidade bastante acentuada. Em virtude desta grande mobilidade, o nitrogênio pode sofrer perdas por erosão do solo ou lixiviação, tornando-se, ao lado do fósforo, um contaminador potencial de água superficial e subterrânea.

Considerando que os sais do solo se movem em grande parte devido ao movimento da água do solo, o manejo adequado da irrigação determina em grande parte o uso pelas plantas do nitrogênio aplicado. Fatores físicos, químicos e climáticos tem grande influência neste movimento.

Alguns fatores que afetam o movimento do nitrato no solo são: quantidade de nitrato aplicado, lâmina de irrigação, método de aplicação de água, absorção pelas plantas, cátions associados, temperatura e atividade microbiana.

No Brasil, informações que permitam uma utilização mais adequada do fertilizante nitrogenado, principalmente em áreas manejadas com irrigação, são bastante escassas.

O objetivo deste trabalho foi estudar "in si



tu", o efeito da cobertura do solo e da frequência de irri  
gação na lixiviação de nitrato aplicado.

## CAPÍTULO II

### REVISÃO DE LITERATURA

A presente revisão bibliográfica, que informa acerca dos estudos realizados sobre lixiviação de nitratos, teve por finalidade estabelecer o embasamento necessário para o planejamento e desenvolvimento deste trabalho.

#### 2.1. IMPORTÂNCIA DO USO DE FERTILIZANTES NA AGRICULTURA

A situação alimentícia mundial já é bastante crítica uma vez que se observa déficit alimentar em uma fração representativa da população atual. Segundo estudos da FAO (1975), no ano de 1972 havia 460 milhões de habitantes no mundo com subnutrição; do mesmo modo, TISDALE & NELSON (1975b) reportam que dois terços da população mundial estão submetidos a uma dieta insuficiente. Segundo HARRE et alii (1971), no período de 1955 a 1970, seria necessário um au

mento anual de 4,3% para que a produção possa suprir a demanda em 1985.

Analisando-se a situação atual, observa-se a urgente necessidade de um rápido acrêscimo na produção agrícola, para fazer frente ao rápido crescimento populacional e, ao mesmo tempo, suprir as deficiências nutricionais hoje existentes. De acordo com a FAO (1975), com os níveis de consumo de 1974, é necessário um aumento de mais 20 milhões de toneladas de alimentos para fazer frente ao crescimento da população.

De acordo com CUMMINGS & GLEADSON (1971) e a FAO (1975), o aumento da produção proporcionada pela utilização de novas áreas não é suficiente para suprir o inremento da demanda provocada pelo rápido crescimento populacional. Portanto, há necessidade da utilização racional de novas técnicas para suprir esta necessidade.

Para que se possa chegar a níveis desejáveis na produção de alimentos se faz necessário a adoção de novas técnicas dentre as quais a utilização de fertilizantes químicos é de essencial importância. De acordo com o reportado pelo FAO (1975), a maior utilização de fertilizantes será um dos meios principais para se alcançar a expansão da produção agrícola necessária para melhorar, ou simplesmente manter, os atuais níveis de consumo de alimentos. Todavia, o aumento do uso de fertilizantes deve vir ao lado de ou

tras técnicas, tais como irrigação, variedades melhoradas, uso de defensivos e manejo adequado do solo.

A necessidade constante de aumento da produção agrícola tem obrigado o homem à utilização contínua de suas áreas agrícolas levando, em consequência, ao empobrecimento dos solos. Além deste fator de extrema importância, a utilização de variedades melhoradas com maiores exigências nutricionais implica na utilização de fertilizantes químicos como a forma de recuperar a fertilidade perdida criando, portanto, condições para que as plantas apresentem produções a altura de suas potencialidades genéticas. Tendo o homem se apercebido desta situação vem aumentando a utilização de fertilizantes para poder suprir as necessidades nutricionais das culturas. De acordo com a FAO (1967), o consumo mundial de fertilizantes passou de 7,5 milhões de toneladas em 1945 para 40 milhões de toneladas em 1965. Do mesmo modo, reporta que a demanda de fertilizantes no mundo, em 1980, será 50% superior a demanda de 1973 (FAO, 1975).

## 2.2. LIXIVIAÇÃO DE NITRATOS

A mobilidade do íon nitrato no interior do solo é conhecida pelos estudiosos há bastante tempo. Este ânion, por suas características próprias, difere bastante dos outros íons de interesse na nutrição vegetal. Sua retenção

pelos solos, sob forma permutável, é inferior a qualquer outro íon, chegando mesmo, segundo alguns autores, a considerar como negativa a adsorção desse íon (EIRA et alii, 1968).

A lixiviação de nitratos no interior do solo é influenciada, principalmente pelos seguintes fatores:

2.2.1. Conteúdo de Umidade. Considerável número de estudos tem demonstrado que o nitrato se movimenta no perfil do solo com a água de percolação. Este movimento independe de que seja a água de chuva ou aplicada na irrigação (LEON & PRATT, 1974; BURNS, 1976; KOWALENKO, 1978). SMIKA et alii (1977) reportam que quando a concentração de nitrato na zona radicular é mantida a alto nível, seja pela presença de fertilizante residual ou pela frequente aplicação, a quantidade de nitrato perdida abaixo da zona radicular em solos arenosos é proporcional a quantidade de água que percola abaixo da zona radicular da cultura. GAMBOA & BLASCO (1974), JONES et alii (1974), JONES (1975), CAMERON et alii (1978), encontraram uma alta correlação entre a precipitação e a quantidade de nitrato perdido por lixiviação.

A quantidade de nitrato perdida por lixiviação depende da intensidade e duração das chuvas e da capacidade de armazenamento de água do solo. Quanto maior esta última, menor é a perda de nitrato, já que só depois do solo ter atingido a capacidade de campo haverá movimento descendente (ALLISON, 1965). Por outro lado, vários autores tem demonstrado experimentalmente que a taxa de lixiviação de

nitrato aumenta com o conteúdo de água do perfil do solo (CARVALLO & CASSEL, 1973; METRI, 1976; BAR-YOSEF, 1977). Daí que sob regime de irrigação, a perda de nitrato aumenta com o incremento da lâmina de irrigação (MILLAR et alii, 1975; SAFFIGNA et alii, 1977; SAFFIGNA & KEENEY, 1977; MILLAR et alii, s.d.), e que pequenas lâminas de irrigação com maior frequência produzem menores perdas do que maiores lâminas aplicadas menos frequentemente (CARVALLO & CASSEL, 1973).

2.2.2. Características dos Solos. Outro fator que tem influência marcante na lixiviação de nitrato no perfil do solo são as características físicas dos mesmos. De acordo com ALLISON (1965) e MACLEAN (1977), a quantidade de nitrogênio perdido é influenciado pela taxa de infiltração e percolação que depende, dentre outros fatores, da textura e estrutura do solo. A textura tem uma grande influência na intensidade da lixiviação de nitrato. BOSWELL & ANDERSON (1964) comprovaram uma maior lixiviação de nitrato em solos franco-arenosos do que em solos franco-argilosos, quando a mesma quantidade deste íon tinha sido aplicada, embora que EIRA et alii (1968) observaram uma lixiviação bastante intensa de nitrato em solos de textura média. MOLINA & BLASCO (1970) e GAMBOA & BLASCO (1974) salientaram o efeito da estrutura do solo quando afirmam que os solos derivados de cinzas vulcânicas retardam o movimento de nitrato no perfil

do solo em virtude do alto conteúdo de alopana e nitrogênio orgânico existentes.

BATES & TISDALE (1957), trabalhando em laboratório, efetuaram estudos de lixiviação de nitratos em colunas de solo de textura grossa e chegaram a conclusão de que é possível prever o movimento deste íon, com razoável precisão, quando outros fatores do solo e do ambiente são conhecidos.

Grande parte dos estudos relacionados com a lixiviação de nitratos foram efetuados em lisímetros, porém ALLISON (1965) acha que eles não são adequados para se determinar a magnitude da lixiviação em condições de campo.

2.2.3. Evapotranspiração. CASSEL (1970), efetuando experimentos "in situ" com a finalidade de determinar o efeito da evaporação no movimento de nitrato no perfil do solo, concluiu que há movimento ascendente de nitrato para a superfície do solo, o que está de acordo com o reportado por outros pesquisadores (STEPHENS, 1962; BOSWELL & ANDERSON, 1964; ALLISON, 1965; GARDNER, 1965; HARMSSEN & KOLENBRANDER, 1965; MILLER et alii, 1965; BURNS, 1975; BURNS, 1976; METRI, 1976). As perdas de nitrato no verão diminuem porque uma pequena quantidade de água é perdida por percolação profunda em virtude de existir uma alta demanda evapotranspirativa. A lixiviação de nitrato aumenta quando a precipitação excede a

evapotranspiração (ALLISON, 1965; BURNS, 1975; BURNS, 1976). ONKEN et alii (1977), trabalhando com três sistemas de irrigação (aspersão, sulcos e subirrigação), na cultura do milho, constataram uma maior lixiviação de nitrato nos tratamentos onde foram utilizados os dois primeiros métodos. Isto pode ser explicado pelo movimento ascendente da solução do solo com a utilização da subirrigação. GARDNER (1965) reporta que quando a água é aplicada no solo com irrigação por sulcos, o movimento de íons não é só para baixo mas também para os lados, permanecendo entre os sulcos.

2.2.4. Concentração do Íon. Vários autores já verificaram a influência deste fator na lixiviação do nitrato, JONES et alii (1974), SCHUMAN et alii (1975) e CAMPBELL & PAUL, (1978) observaram que o aumento na taxa de aplicação deste íon, aumentou a taxa de lixiviação do mesmo. Ao mesmo tempo que OLSEN et alii (1970) verificaram que após a aplicação de 1.008 kg/ha de nitrogênio, somente 19% foi recuperado pela cultura do milho.

2.2.5. Natureza do Cultivo. A presença da vegetação tem grande influência no movimento de nitrato no perfil do solo (JONES et alii, 1974). Esta influência pode ser determinada pela evapotranspiração, capacidade de absorção, extensão do sistema radicular e tipo de cobertura do solo. Segundo ALLIS



SON (1965), a presença de culturas tende a reduzir o movimento de nitrato para baixo por causa da evapotranspiração, absorção de nutrientes e, indiretamente, pela quantidade de solução lixiviável. SPENCER et alii (1966) acharam diferentes valores de correlação entre o conteúdo inicial de nitrato e a absorção de nitrogênio para diferentes culturas, evidenciando, desta forma, a influência do tipo de cultura no potencial de lixiviação. Idêntico resultado foi encontrado por DOUGHERTY & LANGER (1974) para o trigo. A utilização de cultivos com sistemas radiculares profundos e extensos e de grande capacidade de absorção de nutrientes, implica em menor perda deste íon por lixiviação (SINGH & SEKHON, 1977).

### 2.3. TRANSFORMAÇÕES DO NITROGÊNIO

Quando se estuda a lixiviação de nitratos, além dos diversos fatores que atuam no processo, é necessário considerar aqueles que podem modificar o conteúdo deste íon no solo. Estes fatores decorrem das transformações que o nitrogênio pode sofrer no interior do solo através dos processos de nitrificação, desnitrificação e mineralização (GAMBOA & BLASCO, 1974; LUDWICK et alii, 1977).

2.3.1. Nitrificação. No processo de nitrificação há formação do nitrato através da oxidação biológica do nitrogênio

sob a forma de amônia. Para que se realize este fenômeno, além da necessidade da presença de microorganismos responsáveis pela transformação e do íon amônio, que pode ser residual, liberado da matéria orgânica ou aplicado como fertilizante, devem intervir fatores que determinam a possibilidade e/ou a magnitude do processo (ALEXANDER, 1965; TISDALE & NELSON, 1975c; MILLS et alii, 1976).

- Aeração do Solo. É indispensável para que se realize a nitrificação, uma vez que as bactérias responsáveis pelo processo são aeróbicas (ALEXANDER, 1965; GAMBOA & BLASCO, 1974; STANFORD & EPSTEIN, 1974; MORAES et alii, 1975; TISDALE & NELSON, 1975c; BILAL, 1977). Portanto a ocorrência da nitrificação é mais intensa em solos de textura arenosa (LEAL & ALVAHYDO, 1971; MORAES et alii, 1975; TISDALE & NELSON, 1975a). ALEXANDER (1965) e TISDALE & NELSON (1975c), reportam que a condição ideal para que este processo ocorra é quando o conteúdo de ar do solo está próximo ao da atmosfera sobre o solo.

- Reação do Solo. É outro fator que se deve levar em conta quando se trata de nitrificação (NYBORG & HOYT, 1978). De acordo com ALEXANDER (1965), o pH ótimo para uma maior velocidade no processo está ao redor da neutralidade, ao passo que TISDALE & NELSON (1975b) acham que este valor é 8,5.

- Temperatura. A temperatura ideal para o de

desenvolvimento dos microorganismos nitrificadores está no intervalo entre 30-35°C (ALEXANDER, 1965; ESCOBAR et alii, 1972, TISDALE & NELSON, 1975c) e, portanto, é neste intervalo que o processo se realiza com maior rapidez. CAMERON & KOWALENKO (1976) e KOWALENKO & CAMERON (1976) detectaram valores significativos entre 15-30°C.

- Conteúdo de Umidade do Solo. Tem uma influência marcante neste processo. Excesso ou falta d'água reduz a velocidade de nitrificação. O conteúdo de umidade ótimo para o desenvolvimento do processo se obtém quando o solo se encontra na capacidade de campo (ALEXANDER, 1965; STANFORD & EPSTEIN, 1974; TISDALE & NELSON, 1975c). De acordo com CAMERON & KOWALENKO (1976) e KOWALENKO & CAMERON (1976), o conteúdo ótimo para o processo é obtido quando o solo está a 60% da saturação. Segundo ALEXANDER (1965), a irrigação em zonas áridas e semi-áridas favorece a nitrificação.

- Matéria Orgânica. O conteúdo de matéria orgânica do solo influencia o processo, sendo este favorecido pelo alto teor no solo (ALEXANDER, 1965; HAVILL et alii, 1977, REEDER & BERG, 1977; HENDRICKSON et alii, 1978; NYBORG & HOYT, 1978).

- Estação do Ano. A influência da estação do ano se dar de maneira indireta com efeitos na disponibilidade de nutrientes, temperatura, conteúdo de umidade e aeração do solo (ALEXANDER, 1965; HAVILL et alii, 1977, KOWALENKO & CAMERON, 1978).

- Profundidade. Sua influência está correlacionada com os fatores que afetam o processo tais como temperatura, pH, aeração do solo, umidade e presença de microorganismos nitrificadores (ALEXANDER, 1965). De uma maneira geral, o processo diminui com a profundidade, entretanto, este autor cita o trabalho realizado por Eno & Ford em 1958, que obtiveram valores apreciáveis de nitrificação até a profundidade de 2,44 m.

- Presença de Inibidores. O processo de nitrificação é influenciado pela presença de inibidores. Observa-se que determinados praguécidas apresentam toxidez para este tipo de microorganismos, reduzindo a velocidade da nitrificação (ALEXANDER, 1965; PRASSAD et alii, 1971; MILLS et alii, 1976; HENDRICKSON et alii, 1978; MITCHELL et alii, 1978).

2.3.2. Desnitrificação. No processo de desnitrificação há formação de óxido nitroso e nitrogênio molecular, através da redução biológica do nitrato e nitrito (BROADBENT & CLARK, 1965 e TISDALE & NELSON, 1975c). A existência e/ou a magnitude do processo é influenciada por diversos fatores ambientais dentre os quais se pode citar.

- Pressão Parcial do Oxigênio. Sendo a desnitrificação provocada por bactérias anaeróbicas, sua ocorrência só será levada a efeito na ausência ou em quantidades

bastantes reduzidas do oxigênio (BROADBENT & CLARK, 1965; COREY et alii, 1967; PONNAMPERUMA, 1972; MORAES et alii, 1975; TISDALE & NELSON, 1975c; BILAL, 1977; MISPA & MISHRA, 1977; KOWALENKO, 1978). Segundo SANDHU & MORAGHAN (1972), o nitrato é rapidamente desnitrificado sob condições anaeróbicas e com o decorrer do tempo este processo diminui gradativamente. Lewis em 1961 citado por METRI (1976), afirma que o processo de desnitrificação pode ocorrer no solo apenas por algumas horas se as condições bacteriológicas são mantidas. Todavia, parece não haver total concordância quanto à anaerobiose do processo. Com efeito Marshall et alii em 1953 e Kafauyer & Allison em 1957, citados por BROADBENT & CLARK (1965), reportam a existência de determinadas bactérias capazes de realizarem o processo sob condições aeróbicas.

- Matéria Orgânica. Este efeito pode ser evidenciado pelo fornecimento de substâncias oxidantes que geram energia para o crescimento das bactérias desnitrificadoras, ao mesmo tempo que liberam hidrogênio para o processo (BROADBENT & CLARK, 1965; COREY et alii, 1967; PONNAMPERUMA, 1972; BAILEY, 1976).

- Reação do Solo. De acordo com BROADBENT & CLARK (1965), o baixo pH do solo acarreta vagarosa desnitrificação que vai aumentando de velocidade como o incremento do pH até determinado limite. O intervalo para uma ótima

desnitrificação está entre valores de pH de 7,3 a 7,9 (TISDALE & NELSON, 1975c).

- Umidade do Solo. Um alto conteúdo de umidade influencia indiretamente o processo atuando de modo a dificultar a difusão do oxigênio, favorecendo, assim, o desenvolvimento das bactérias responsáveis pelo processo (WAGNER & SMITH, 1958; BROADBENT & CLARK, 1965; COREY et alii, 1967; TISDALE & NELSON, 1975c). MILLAR et alii (1975), trabalhando sob irrigação num solo derivado de cinzas vulcânicas que apresentam grande capacidade de retenção de água e movimento interno bastante lento, reportam que as perdas de nitrato ocorridas provavelmente foram devidas a desnitrificação.

- Temperatura. O efeito deste fator está relacionado com a condição para o desenvolvimento dos microorganismos. De acordo com BROADBENT & CLARK (1965), a temperatura ideal para este processo está entre 60-65°C. Decréscimo na temperatura reduz o processo (BAILEY, 1976).

- Concentração de nitrato. Sendo este íon o substrato do processo sua presença é imprescindível para que este ocorra; porém, segundo BROADBENT & CLARK (1965) e CHO & SAKDINAN (1978), além de determinada concentração a taxa de desnitrificação independe deste fator.

2.3.3. Mineralização. No processo de mineralização há transformação do nitrogênio orgânico em mineral provocado

pela ação de microorganismos do solo (BARTHOLOMEW, 1965; TISDALE & NELSON, 1976c). De acordo com os últimos autores, este processo se realiza em condições aeróbicas pelo que sua ocorrência é mais intensa em solos arenosos. BARTHOLOMEW (1965) reporta que a taxa anual de nitrogênio mineralizado varia desde menos de 2% até mais de 10%. Segundo STANFORD et alii (1977), o processo de mineralização é bastante influenciado pela temperatura e conteúdo de umidade do solo, sendo que condições ótimas são encontradas a 30°C e o solo próximo à capacidade de campo. Afirmam também que a maior incidência do processo de mineralização ocorre até a profundidade de 30 cm, embora já tenham observado uma ocorrência significativa na camada entre 30-45 cm do perfil. ESCOBAR et alii (1972) concordam que este processo é favorecido por temperaturas relativamente altas.

Durante o processo de mineralização verifica-se a imobilização do nitrogênio mineral e isto decorre da sua utilização pelos microorganismos para o seu metabolismo (BARTHOLOMEW, 1965; LEGG & ALLISON, 1967; TISDALE & NELSON, 1975c; YOSHIDA & PADRE, 1977; KOWALENKO, 1978). De acordo com ESCOBAR et alii (1972), a ampliação da relação C/N produz a imobilização do nitrogênio em consequência da atividade metabólica dos microorganismos. Este processo é influenciado pela temperatura, conteúdo de umidade e reação do solo (BARTHOLOMEW, 1965; CASSEL et alii, 1971). A taxa de mi

neralização aumenta com o incremento no conteúdo de matéria orgânica (RUIZ & ETCHEVERS, 1975).

#### 2.4. INFLUÊNCIA DO USO DE FERTILIZANTES NO MEIO AMBIENTE

Em decorrência do crescente uso de fertilizantes químicos e defensivos agrícolas, ecologistas especializados no assunto vem advertindo contra o perigo que estes poderão causar nos suprimentos de água superficial e subterrânea (MACGREGOR et alii, 1974).

Segundo vários autores (BAUER, 1971; CASSEL et alii, 1971), uma apreciável contribuição para a contaminação das águas poderá ser devido ao escoamento superficial que transporta os defensivos e fertilizantes agrícolas depositando-os nos reservatórios de água.

O movimento e redistribuição de íons nos solos, após a aplicação de fertilizantes e defensivos agrícolas, estariam contribuindo consideravelmente para a contaminação das águas subterrâneas (POWER, 1967; CASSEL, 1970; OLSEN et alii, 1970; SCHERTZ & MILLER, 1972, CARVALLO & CASSEL, 1973; ENGLAND, 1973; MACGREGOR et alii, 1974; SCHUMAN et alii, 1975; SAFFIGNA et alii, 1977).

Inúmeros autores tem feito a advertência para o limite padrão de 45 ppm de nitrato, atribuído pelo Serviço de Saúde Pública dos Estados Unidos, acima do qual a



água é perigosa para o uso por parte de crianças e animais domésticos (OLSEN et alii, 1970; SCHERTZ & MILLER, 1972).

A idéia de que o aumento do uso de fertilizantes está causando poluição nas águas subterrâneas e superficiais não é unânime no meio científico. SMITH (1968) e VIETS (1970) indicam que os fertilizantes e defensivos não causam contaminação das águas, já que, segundo eles, não há nenhuma prova de que a sua utilização esteja contaminando as águas superficiais e subterrâneas. OLSEN et alii (1970) reportam que a velocidade média do movimento de nitrato através de um perfil de um solo franco-siltoso é de cerca de 30 a 40 cm anuais, o que requereria cerca de 10 a 13 anos para que a maior parte do nitrato pudesse se mover até 4 m de profundidade e, provavelmente, mais alguns anos para atravessar o material original e chegar ao lençol freático. METRI (1976), estudando a lixiviação de nitrato em três solos do Estado da Paraíba, achou pouco provável a possibilidade de haver contaminação de água subterrânea dos locais por ele estudado.

À luz das referências bibliográficas citadas, observa-se que a mobilidade do íon  $\text{NO}_3^-$ -N no perfil do solo é atribuída principalmente a quantidade e forma como a água é aplicada ao solo. Do mesmo modo, teriam influência marcante as propriedades físicas do solo, especialmente a textura, e o fenômeno de evapotranspiração das culturas. Apre

cia-se que para o Brasil este tipo de informação é bastante escassa e quando existente, tem sido feito sob condições de laboratório. Assim, tal tipo de experimento é plenamente justificável.

## CAPÍTULO III

### MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

Com a finalidade de se estudar "in situ" o efeito da cobertura do solo e da frequência de irrigação na lixiviação de nitrato aplicado, estabeleceu-se um experimento no Centro de Ciências Agrárias da UFPb. O referido Centro está localizado no Município de Areia - Pb, a  $6^{\circ}50'12''$  de latitude Sul e  $35^{\circ}42'15''$  de longitude Oeste e a uma altitude de 534,86 m em relação ao nível do mar.

A precipitação média anual em Areia é de 1.470 mm, sendo a maior ocorrência entre os meses de março a agosto, que corresponde a mais de 50% de sua precipitação total. A temperatura média anual é de  $23,4^{\circ}\text{C}$ , apresentando pequeno intervalo de variação no decorrer do ano. O mês mais quente é fevereiro e o mais frio julho. A umidade relativa

apresenta uma média anual de 80%, sendo maior nos meses de junho e julho (87%) e mais baixa em novembro (75%). De acordo com estas características e, segundo a classificação climática de THORNTHWAITE (1948), o Município apresenta clima úmido, com pouca variação de temperatura. Por outro lado, a classificação climática de KOPPEN (1936) caracteriza-o como clima tropical, semi-úmido, com estação chuvosa no período de outono-inverno.

### 3.2. SOLO

O experimento foi desenvolvido em um solo Podzólico Vermelho Amarelo Eutrófico, com A proeminente, textura média, fase floresta subperenifólia, relevo ondulado. A descrição do perfil se encontra no Apêndice.

### 3.3. DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

Neste trabalho foi utilizado o delineamento experimental de blocos ao acaso com parcelas subdivididas e três repetições, segundo o seguinte esquema:

#### Tratamento (Fator A)

SC - Solo sem cobertura

CP - Solo com cobertura plástica

### Subtratamentos (Fator B)

- Frequência I - Aplicação de 12,5 mm de água a cada 3 dias
- Frequência II - Aplicação de 25,0 mm de água a cada 6 dias
- Frequência III - Aplicação de 50,0 mm de água a cada 12 dias

### Ciclos (Fator C)

Foram estudados 7 ciclos que corresponderam aos períodos em que todos os subtratamentos recebiam a mesma quantidade de água (50 mm), sendo portanto, igual a 12 dias.

### Profundidade (Fator D)

Ao final de cada ciclo se realizaram amostras no solo às profundidades de: 0—5, 6—15, 16—30, 31—60 e 61—100 cm, para determinação dos teores de  $\text{NO}_3^- \text{N}$  e conteúdo de umidade.

As parcelas experimentais tinham as dimensões de 3,0 x 2,0 m. Para permitir uma maior eficiência na aplicação de água, foram contornados por camalhões de terra, evitando, assim, a possibilidade de perda de água por escoamento superficial. O espaçamento entre parcelas foi de 1,0 m enquanto que para os blocos foi de 2,0 m. O esquema de campo detalhando a distribuição dos diferentes tratamentos e frequências se mostra na Fig. 1.

## 3.4. ANÁLISE ESTATÍSTICA

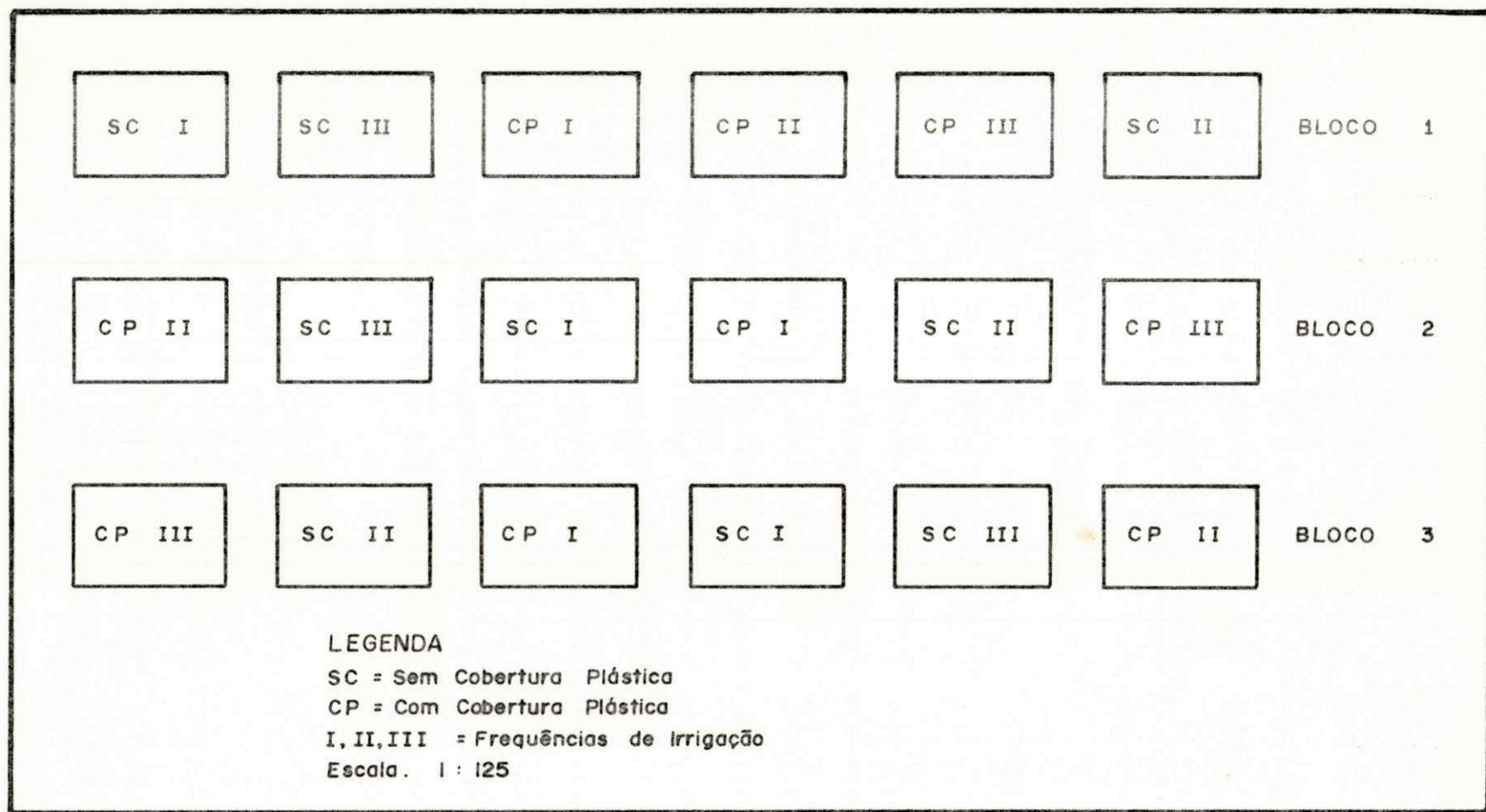


Fig. 1 Esquema de campo do desenho estatístico utilizado no experimento.

Com o objetivo de se comparar os diferentes variáveis envolvidas neste experimento, assim como as suas respectivas interações se realizará a análise de variância. Para se determinar a significância das variáveis estudadas se aplicou o Teste F aos quadrados médios. A comparação entre as médias de cada variável foi feita mediante o teste de Duncan (STEEL & TORRIE, 1960).

### 3.5. TRATOS CULTURAIS

Considerando que a área experimental apresentava declividade nos dois sentidos e, para permitir que a altura do lençol freático permanecesse inalterada ao longo de cada bloco, foi feita uma sistematização de terras utilizando o método da "Tecla de Piano" (BARRIOS, s.d.), com a modificação de que não houve declividade no sentido das teclas.

Devido à presença de ervas daninhas no interior das parcelas experimentais, foi necessário, durante o transcorrer de todo o experimento, a realização de limpas manuais, diárias.

### 3.6. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

As lâminas de irrigação calculadas para cada frequência e os intervalos de irrigação, foram obtidos em

função da capacidade de retenção de água do solo e, a partir dos dados de evaporação do tanque Classe "A", respectivamente (HARGREAVES, 1974), assumindo-se a existência de uma cobertura vegetal.

Com a finalidade de se determinar os teores iniciais de nitrato e conteúdo de umidade do perfil do solo, foi efetuada uma amostragem nas profundidades especificadas. Em seguida se aplicou o equivalente a 400 kg/ha de  $\text{NO}_3^-$ -N, sob a forma de nitrato de potássio, dissolvido em uma quantidade mínima de água e adicionado com auxílio de um regador para possibilitar sua melhor distribuição em toda a parcela experimental. Imediatamente após a aplicação do adubo, cada subtratamento recebeu sua respectiva lâmina de água.

As precipitações ocorridas durante o estudo foram computadas, utilizando-se um pluviômetro instalado a aproximadamente 500 m da área experimental e descontadas por ocasião das aplicações das lâminas de irrigação. Para os dois últimos ciclos estudados, estas excederam o valor da lâmina de água.

3.6.1. Coleta de Amostras. As amostragens foram efetuadas ao final de cada um dos ciclos, quando todos os subtratamentos tinham recebidos a mesma quantidade de água (50 mm).

As amostras para determinação dos teores de nitrato e do conteúdo de umidade foram coletadas em duplica



ta das seguintes camadas do perfil do solo: 0—5, 6—15, 16—30, 31—60 e 61—100 cm, com auxílio de um trado, tendo se o cuidado de recolocar terra no orifício após a amostragem, evitando, assim, o direcionamento da água para estes orifícios no decorrer do estudo.

3.6.2. Determinação do Teor de Nitrato. Para esta determinação, utilizou-se o método do Electrodo Específico, citado por ØIEN & SELMER-OLSEN (1969); MYERS & PAUL (1968) e POTTERTON & SCHULTS (1967), com a utilização do aparelho "Corning, Model 101, Digital Electrometer" e um eletrodo específico para determinação de nitrato (Catalog nº 476.139). Neste instrumento a leitura foi realizada na escala expandida em milivolts (mV) e seu manejo efetuado de acordo com as instruções fornecidas pelo fabricante. <sup>1/</sup>

A preparação das amostras para determinação do nitrato consistiu em se utilizar 10 g de solo e se adicionar 50 ml de água destilada. Esta mistura era agitada durante 30 minutos após a qual, era posta para decantar por um tempo de aproximadamente uma hora. O sobrenadante era transferido para beakers de 50 ml e se determinava no potenciômetro os teores de nitrato.

---

<sup>1/</sup> Technical Information - Corning Scientific Instruments (Midfield, Massachusetts, 05052).

A curva de calibração do aparelho foi efetuada utilizando-se sete soluções de nitrato de potássio, cujas concentrações foram de 1, 5, 10, 50, 100, 500 e 1000 ppm de  $\text{NO}_3^-$ -N. Os valores medidos em milivolts foram plotados em escala milimétrica versus concentrações de nitrato-nitrogênio plotadas em escala logarítmica. Deste modo, obteve-se a curva de calibração mostrada na Fig. 2. O aparelho era calibrado antes e durante as análises minimizando assim os erros devidos às variações eletrônicas e experimentais.

3.6.3. Determinação do Conteúdo de Umidade. Para determinação do conteúdo de umidade do perfil do solo, foi utilizado o método gravimétrico e esta foi expressada em relação ao solo seco.

### 3.7. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E HÍDRICAS DO SOLO

3.7.1. Distribuição do Tamanho das Partículas. A Classificação textural do solo foi efetuada conforme procedimento descrito por BOUYOUCOS (1951), tendo com agente dispersante o NaOH 1N. Os valores percentuais de areia, limo e argila bem como a classificação do solo é encontrada no Quadro A-1 do Apêndice.

3.7.2. Densidade Global. Determinada pelo método do torrão,

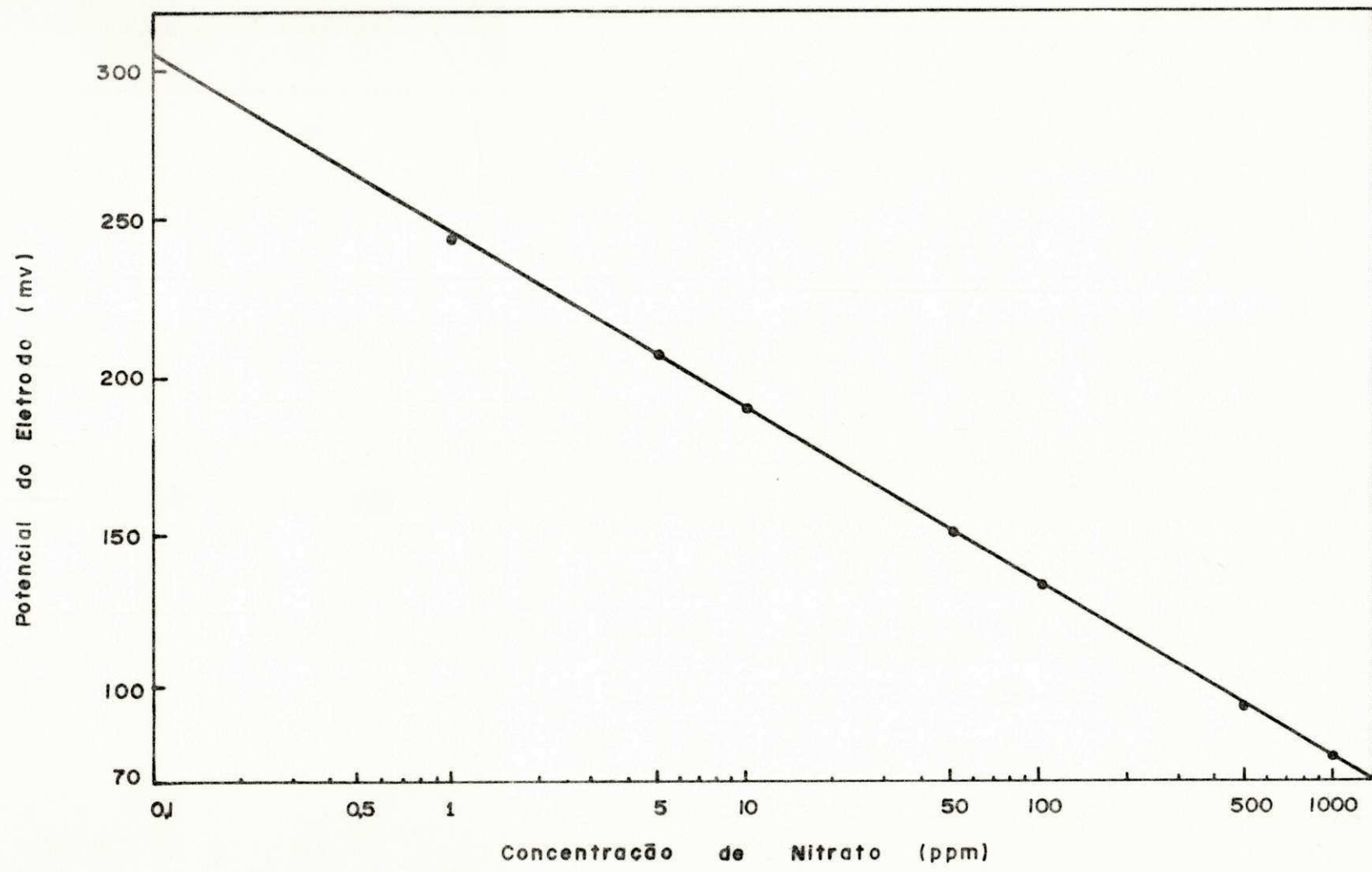


Fig. 2 - Curva de Calibração do Eletrodo Específico.

descrito por BLAKE (1965).

3.7.3. Densidade de Partículas. Segundo a metodologia citada por FORSYTHE (1971), que utilizou água para medir o volume deslocado por uma massa conhecida de solo em um balão volumétrico de 250 ml.

3.7.4. Porosidade Total. Calculada através das densidades globais e de partículas segundo a relação

$$P_T = \left(1 - \frac{D_g}{D_p}\right) 100$$

onde  $P_T$  é a porosidade total (%),

$D_g$  é a densidade global ( $\text{g/cm}^3$ ) e

$D_p$  é a densidade da partícula ( $\text{g/cm}^3$ ).

3.7.5. Capacidade de Campo. Foi determinada com a utilização do método da panela à pressão, segundo o procedimento descrito por RICHARDS (1965).

3.7.6. Ponto de Murchamento. Efetuada com a utilização da panela à pressão conforme o método descrito por RICHARDS (1965).

3.7.7. Água Disponível. Foi obtida por diferença, a partir dos dados de percentagens de água à capacidade de campo e ao ponto de murchamento.

### 3.8. ANÁLISES QUÍMICAS

3.8.1. Matéria Orgânica. Determinou-se pelo método do carbono orgânico, seguindo a metodologia descrita por VETTORI (1969).

3.8.2. Reação do Solo. Foi obtida pelo método citado por VETTORI (1969).

Os resultados destas determinações são encontrados nos quadros A-2 e A-3 do Apêndice.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para permitir uma discussão mais detalhada, os resultados de cada subtratamento são apresentados isoladamente.

As relações entre concentrações de  $\text{NO}_3^-$ -N e profundidade bem como os perfis de umidade se encontram nas Figuras 3 e 4 para os tratamentos Sem Cobertura e Cobertura Plástica, respectivamente, assim como para os subtratamentos Frequências I, II e III, onde são observadas as curvas para cada um dos 7 ciclos estudados. Os valores numéricos destes resultados são mostrados nos Quadros A-4 e A-5 do Apêndice para os tratamentos Sem Cobertura e com Cobertura Plásticas, respectivamente.

#### 4.1. SOLO SEM COBERTURA

##### 4.1.1. Frequência I. Após a aplicação do equivalente a

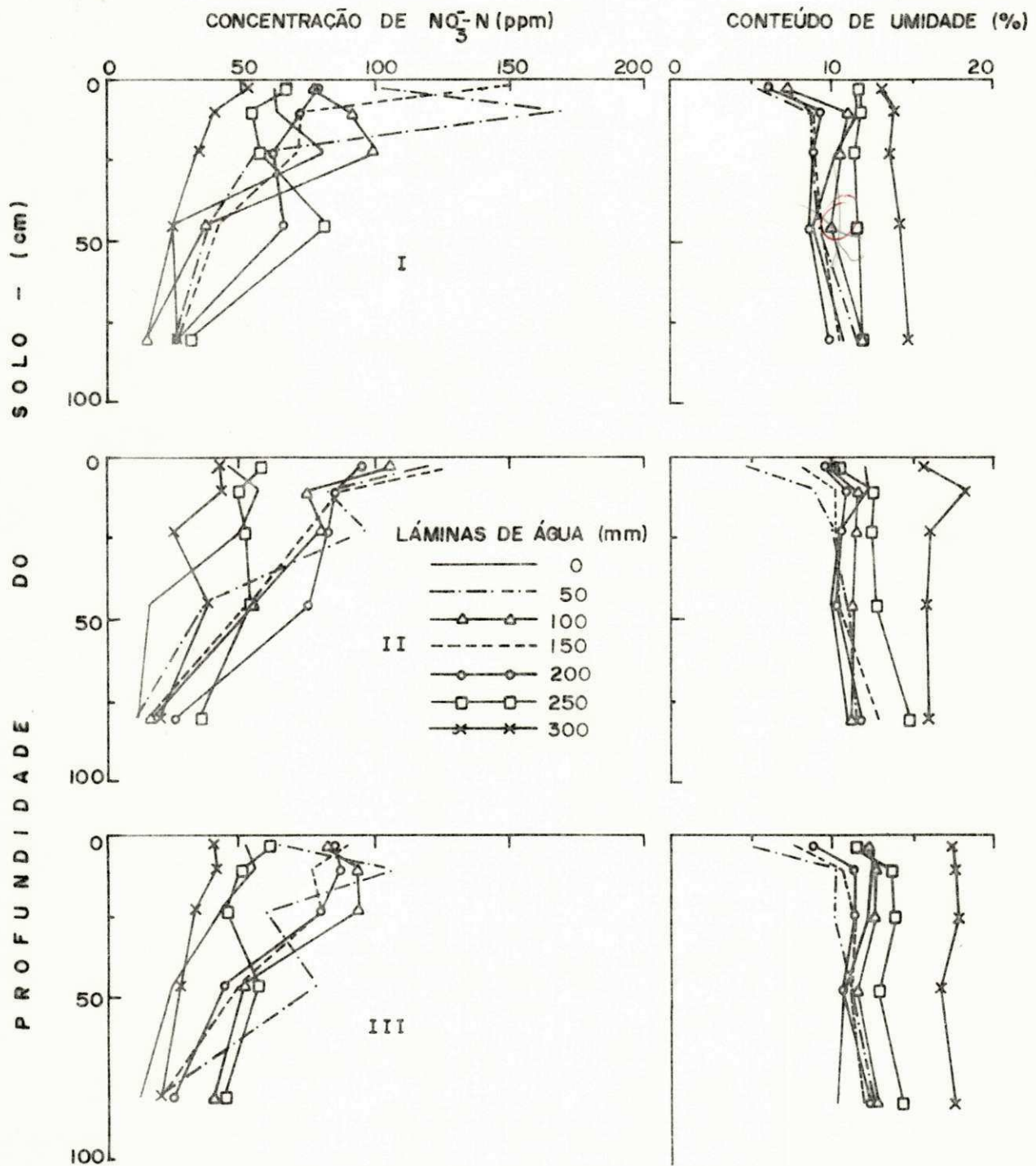


FIG. 3 DISTRIBUIÇÃO DAS CONCENTRAÇÕES DE NITRATO E CONTEÚDO DE UMIDADE ÀS DIFERENTES PROFUNDIDADES DO SOLO SEM COBERTURA, PARA AS FREQUÊNCIAS . I, II E III.

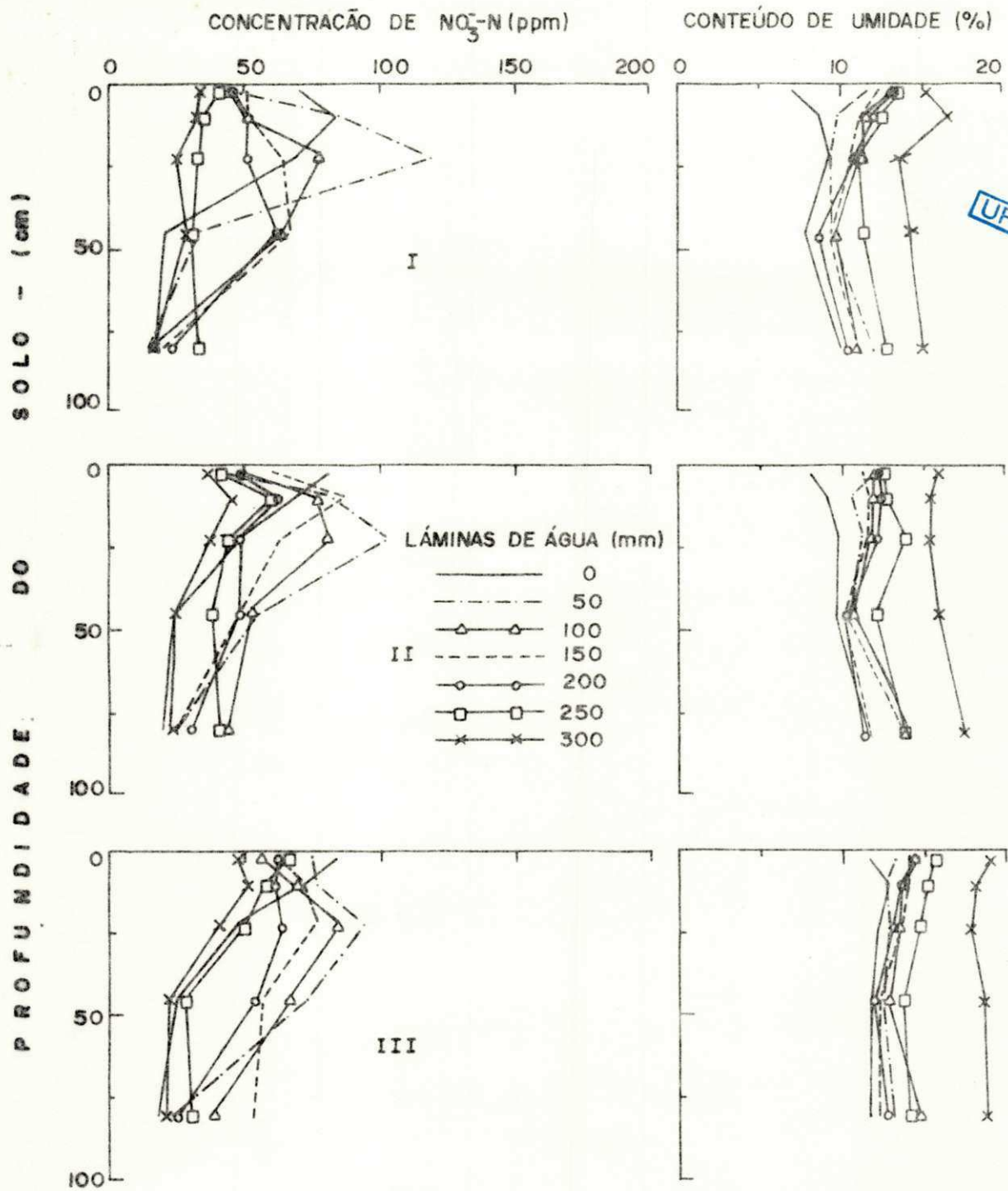


FIG. 4 DISTRIBUIÇÃO DAS CONCENTRAÇÕES DE NITRATO E CONTEÚDO DE UMIDADE ÀS DIFERENTES PROFUNDIDADES DO SOLO COM COBERTURA PLÁSTICA, PARA AS FREQUÊNCIAS I, II E III.



400 kg/ha de  $\text{NO}_3^-$ -N e 50 mm de água distribuídos em quatro irrigações de 12,5 mm a cada 3 dias, houve um aumento nas concentrações de nitrato em todo o perfil do solo quando comparadas com a amostragem inicial, com exceção da camada compreendida entre 20-38 cm, sendo a máxima concentração obtida a 10 cm de profundidade. O maior conteúdo de  $\text{NO}_3^-$ -N encontrado abaixo de 38 cm de profundidade poderia ter sido ocasionado pelo movimento de nitrato residual da camada de 30-38 cm e parte do aplicado. O pequeno deslocamento da concentração máxima está de acordo com o observado por diversos autores. Com efeito, MILLAR et alii (1975) verificaram que uma lâmina de 50 mm desloca a concentração máxima para uma profundidade um pouco além de 10 cm. Em outro experimento, MILLAR et alii (s.d.) observaram que esta mesma lâmina foi capaz de deslocar a concentração máxima até uma profundidade de 23 cm. Esta diferença observada nos dois experimentos é resultado dos diferentes tipos de solos estudados. Outrossim, CARVALLO & CASSEL (1973) reportam que a utilização de pequenas lâminas de água, aplicadas com maior frequência, provocam pouca lixiviação de nitrato. Nesta amostragem verifica-se que o conteúdo de umidade aumentou com a profundidade.

Com a aplicação de 100 mm de água houve um aumento no conteúdo de umidade em todo perfil do solo, quando comparado com a amostragem anterior, produzindo um movimento descendente do nitrato, tendo a concentração diminuído nos

primeiros 18 cm para se acumular na camada seguinte até a profundidade de 44 cm, com a concentração máxima sendo encontrada a 22,5 cm. A partir de 44 cm de profundidade, houve um decréscimo no conteúdo de  $\text{NO}_3^-$ -N, havendo, portanto, transporte para profundidades maiores que a envolvida pelo estudo.

Quando se aplicou 150 mm de água, observou-se um acréscimo no conteúdo de nitrato, da superfície até 9 cm, tendo a concentração máxima sido encontrada a 2,5 cm. Considerando a diminuição do conteúdo de umidade nesta amostragem, é provável que este incremento tenha sido causado pelo processo de nitrificação na camada superficial e ascensão capilar da imediatamente inferior. O aumento do teor de nitrato pelo processo de nitrificação já foi citado por ALEXANDER (1965), GAMBOA & BLASCO (1974), MORAES & FREIRE (1974) e METRI (1976). TISDALE & NELSON (1975c) reportam que, como a nitrificação só ocorre na presença de oxigênio, este processo é mais intenso em solos arenosos. Por outro lado, numerosos estudos tem demonstrado que quando o conteúdo de umidade da superfície do solo é baixo, há movimento de água para cima (HARMSSEN & KOLENBRANDER, 1965; BURNS, 1975; METRI, 1976). Observou-se também nesta amostragem que houve um movimento descendente, que provocou um decréscimo em relação à amostragem anterior na camada do perfil de 9-41 cm, tendo sido este nitrato, acumulado imediatamente abaixo, aumentando, assim, o conteúdo deste íon além de 41 cm.

A aplicação de 200 mm de água determinou uma queda na concentração de nitrato nos primeiros 29 cm do perfil do solo, havendo produzido, em consequência, um acúmulo abaixo da profundidade acima mencionada. Este movimento provocou o deslocamento da concentração máxima para 56 cm do perfil do solo.

Na data correspondente à aplicação de 250 mm de água, as chuvas caídas, no intervalo entre esta amostragem e a anterior, excederam o valor que deveria ter sido aplicado e, em consequência, esta amostragem correspondeu a uma aplicação acumulada de 285,6 mm de água. Isto provocou um significativo aumento no conteúdo de umidade do solo com uma consequente diminuição da concentração do nitrato nos primeiros 28 cm do perfil, tendo este íon ido se acumular abaixo desta profundidade.

No último ciclo estudado, que corresponderia à aplicação de 300 mm de água, ocorreu o mesmo fenômeno, o que significou que o valor da lâmina acumulada fora de 425,0 mm, levando a curva a apresentar a mesma tendência da anterior, um aumento no conteúdo de umidade em todo perfil do solo, o que acarretou uma intensa lixiviação do nitrato.

4.1.2. Frequência II. Aplicando-se o equivalente a 400 kg/ha de  $\text{NO}_3^-$  e 50 mm de água, distribuídos em duas irrigações de 25 mm a cada 6 dias, verificou-se um aumento nas con

centrações do nitrato, quando comparadas com a amostragem inicial, até a profundidade de 79 cm, após a qual houve um pequeno decréscimo. Este resultado vem demonstrar que o aumento da lâmina d'água acarreta uma maior taxa de lixiviação, o que está de acordo com o observado por CARVALLO (1971), CARVALLO & CASSEL (1973) MILLAR et alii (1975) e MILLAR et alii (s.d.). Por outro lado, verificou-se que a concentração máxima ocorreu a 2,5 cm de profundidade o que leva a pensar que esta alta concentração poderia ser devida a nitrificação na superfície do solo e, em parte, a ascensão capilar da camada imediatamente inferior.

Após a aplicação de 100 mm de água houve um aumento no conteúdo de umidade até a profundidade de 75 cm, o que acarretou um movimento descendente do nitrato existente nos primeiros 32 cm do perfil, que se acumulou abaixo desta profundidade.

Com a aplicação de 150 mm de água, houve uma queda no conteúdo de umidade até a profundidade de 60 cm do perfil e um aumento na concentração do nitrato nos primeiros 25 cm do perfil do solo, decorrente provavelmente da nitrificação e ascensão capilar. Abaixo desta profundidade, houve um ligeiro decréscimo no teor de nitrato, havendo portanto transporte deste íon além do ponto máximo envolvido pelo estudo. Embora tenha havido uma queda no conteúdo de umidade nesta amostragem, a lixiviação ocorreu em consequência deste

conteúdo de umidade permanecer além da capacidade de campo. De acordo com BATES & TISDALE (1957), HARMSSEN & KOLENBRANDER (1965) e TERRY & MCCANTS (1968) após o solo chegar a capacidade de campo começa a haver perda de água por percolação provocando a lixiviação do nitrato.

Quando se fez a aplicação de 200 mm de água, observou-se um decréscimo na concentração de nitrato nos primeiros 10 cm do perfil e, após esta profundidade, um aumento na concentração. Verifica-se que o acréscimo ocorrido abaixo de 10 cm foi bastante acentuado o que poderia levar a crer em uma intensa nitrificação. Isto parece pouco provável em virtude do conteúdo de umidade aumentar com a profundidade ao mesmo tempo que diminui o teor de matéria orgânica. Daí, então, que o alto valor encontrado deve ter ocorrido em decorrência de um erro analítico.

Para as duas últimas amostragens, que corresponderia às aplicações de 250 e 300 mm de água, respectivamente a ocorrência do fenômeno já citado para o subtratamento anterior, provocou o mesmo efeito, isto é, um aumento no conteúdo de umidade em todo o perfil do solo com um consequente movimento descendente do nitrato.

4.1.3. Frequência III - Com a aplicação do equivalente a 400 kg/ha de  $\text{NO}_3^-$ -N e 50 mm de água, aplicados a cada 12 dias, observou-se um deslocamento bastante intenso do nitrato apli

cado, tendo havido um deslocamento bem representativo até a profundidade de 45 cm. O valor da concentração máxima foi computado a 10 cm, o que parece indicar que o maior número de dias entre duas irrigações consecutivas ofereceu condições de umidade e aeração para haver nitrificação na camada superficial do solo e ascensão capilar das camadas imediatamente inferiores.

Após a aplicação de 100 mm de água, houve um pequeno aumento na concentração de nitrato até a profundidade de 6 cm. Isto ocorreu, provavelmente, em decorrência da nitrificação da camada superficial. Logo em seguida, verificou-se um pequeno decréscimo em relação à amostragem na camada de 6-14 cm para aumentar até a profundidade de 35 cm. Este aumento deve ter ocorrido em consequência de uma intensa nitrificação na camada superficial, seguida de um transporte para este estrato, como resultado das chuvas caídas (29,8 mm) durante o período entre as duas amostragens. Na profundidade entre 35-64 cm houve uma queda na concentração do nitrato que foi deslocada para a camada imediatamente inferior, onde se constatou um aumento.

Com a aplicação de 150 mm de água, verificou-se um pequeno aumento na concentração do nitrato nos primeiros 5 cm do perfil, resultante da nitrificação e ascensão capilar. Além desta profundidade, houve um decréscimo em relação à amostragem anterior, indicando um movimento descenden

te ao longo do perfil.

Quando se aplicou 200 mm de água, o teor de nitrato entre as profundidades de 5-22 cm, aumentou provavelmente em decorrência do processo de nitrificação e ascensão capilar. Após esta última profundidade houve um decrêscimo até 62 cm tendo ido o nitrato se acumular abaixo desta.

A aplicação de água que correspondia a 250 mm foi excedida pelas chuvas ocorridas no período (85,6 mm) que provocou um considerável aumento no conteúdo de umidade em todo perfil do solo resultando assim em um deslocamento do nitrato da camada superior do solo até 39 cm do perfil, tendo este íon se acumulado abaixo desta profundidade.

Para a aplicação de água que correspondia a 300 mm, de novo a ocorrência de chuvas excessivas (139,4 mm) provocaram um considerável aumento no conteúdo de umidade em todo perfil do solo, com um efeito marcante na taxa de lixiviação.

#### 4.2. SOLO COM COBERTURA PLÁSTICA

4.2.1. Frequência I. Com a aplicação do equivalente a 400 Kg/ha de  $\text{NO}_3^- \text{N}$  e 50 mm de água, distribuídos em quatro irrigações de 12,5 mm a cada 3 dias, observou-se um aumento no conteúdo de umidade em todo o perfil do solo, bem como na concentração de nitrato na camada compreendida entre 10-75

cm. Analisando a curva de concentração do nitrato, verifica-se que esta aplicação de água deslocou para baixo o nitrato aplicado, tendo este efeito sido bastante acentuado até 45 cm de profundidade, abaixo da qual o efeito foi menos intenso. A concentração máxima nesta amostragem foi observada a 22,5 cm mostrando assim, o efeito da cobertura plástica no maior deslocamento deste íon, o que está de acordo com as observações de CARVALLO (1971) e CARVALLO & CASSEL (1973).

Após a aplicação de 100 mm de água, houve um aumento no conteúdo de umidade até a profundidade de 52 cm, quando comparada com a amostragem anterior, o que acarretou um movimento descendente do nitrato nos primeiros 35 cm do perfil, tendo ido se acumular nas camadas inferiores. Embora tenha havido este deslocamento, a concentração máxima permaneceu no mesmo ponto. Com efeito, observa-se que a concentração do nitrato nos primeiros 2,5 cm do perfil permaneceu igual a da amostragem anterior, indicando, deste modo, alguma nitrificação.

A aplicação de 150 mm de água provocou um ligeiro acréscimo na concentração do nitrato até a profundidade de 11 cm do perfil, ocasionado pelo processo de nitrificação. Deste ponto até 41 cm houve um decréscimo no conteúdo de nitrato em decorrência do transporte deste íon pela água para maiores profundidades.

Quando se aplicou 200 mm de água, verificou-



se um decréscimo no conteúdo de nitrato até a profundidade de 69 cm, e logo abaixo deste ponto, um ligeiro acréscimo, o que indica que grande parte dos íons foram carregados para profundidades maiores que esta.

Efetuada a aplicação de 250 mm de água, observou-se um aumento no conteúdo de umidade em praticamente todo o perfil do solo o que acarretou um deslocamento para baixo do nitrato desde a superfície até 71 cm, além da qual houve um acréscimo, indicando que o  $\text{NO}_3^-$ -N se acumulou a maiores profundidades.

Um aumento no conteúdo de umidade com um consequente incremento na taxa de lixiviação foi observado com a aplicação de 300 mm de água.

4.2.2. Frequência II. O equivalente a 400 kg/ha de  $\text{NO}_3^-$ -N e 50 mm de água, aplicados em duas irrigações de 25 mm a cada 6 dias, implicou em valores do conteúdo de umidade maiores que na amostragem inicial em todo o perfil do solo. A concentração do nitrato foi menor que na amostragem inicial nos primeiros 9 cm de profundidade, o que indica que a aplicação desta lâmina foi, nas condições deste subtratamento, suficiente para deslocar uma quantidade representativa deste íon da superfície do solo. Abaixo de 9 cm o conteúdo de nitrato foi sempre maior, quando comparado com a amostragem anterior, o que mostra o transporte deste íon pela água de irrigação.

Analisando esta curva, verifica-se que embora a concentração máxima tenha permanecido à 22,5 cm de profundidade, houve um movimento mais acentuado para baixo, o que indica que o aumento da lâmina d'água aplicada, provocou uma maior taxa de lixiviação, como reportado por diversos autores, já citados anteriormente.

Quando se aplicou 100 mm de água, observou-se um ligeiro acréscimo na concentração de nitrato nos primeiros 7 cm do perfil em relação a amostragem anterior, indicando a ocorrência da nitrificação. A partir deste ponto, até 49 cm, houve uma queda na concentração de nitrato que foi se acumular abaixo desta profundidade.

Após a aplicação de 150 mm de água, ocorreu novamente um aumento na concentração do nitrato até a profundidade de 14 cm, assinalando deste modo a persistência do processo de nitrificação, após a qual houve uma diminuição no conteúdo de  $\text{NO}_3^-$ -N devido ao movimento descendente deste íon ao longo do perfil.

Com a aplicação de 200 mm de água, observou-se um acréscimo no conteúdo de umidade até 55 cm do perfil, a partir deste ponto houve uma ligeira queda. O conteúdo de nitrato nesta amostragem foi menor até 45 cm de profundidade, o que demonstra a ocorrência de movimento deste íon para baixo e sua acumulação a maiores profundidades.

Um aumento no conteúdo de umidade ao longo do perfil, com um conseqüente movimento descendente do nitrato, foi observado após a aplicação de 250 mm de água. Analisando esta curva, verifica-se que, quando comparado com a amostragem anterior, o conteúdo deste íon diminuiu até a profundidade de 61 cm, após a qual verificou-se um aumento.

Ao se aplicar 300 mm de água a curva obedeceu a mesma tendência da anterior, havendo um aumento no conteúdo de umidade e um acentuado transporte de nitrato em todo perfil do solo, tendo este se acumulado a profundidades maiores que a envolvida pelo estudo.

4.2.3. Frequência III. Aplicando-se o equivalente a 400 kg/ha de  $\text{NO}_3^-$ -N e 50 mm de água a cada 12 dias, verificou-se que o conteúdo de umidade foi maior em todo perfil do solo. Ao comparar a concentração de nitrato com a amostragem inicial, observa-se que este foi menor nos primeiros 7,5 cm do perfil, enquanto que abaixo desta houve um significativo acréscimo. A análise desta curva permite apreciar que a utilização de uma lâmina d'água de 50 mm, nas condições deste experimento, provocou uma intensa lixiviação deste íon. Embora a concentração máxima tenha permanecido a 22,5 cm, observa-se que o deslocamento no nitrato foi mais intenso neste subtratamento, quando comparado com as frequências anteriormente analisadas.

Quando se aplicou 100 mm de água, notou-se um

aumento do conteúdo de umidade no perfil do solo, o que provocou movimento descendente do nitrato, tendo a concentração diminuído até a profundidade de 55 cm acarretando, assim, um aumento na concentração deste íon abaixo desta profundidade.

A aplicação de 150 mm de água significou um aumento no conteúdo de nitrato nos primeiros 14 cm do perfil em decorrência do processo de nitrificação. Entre 14-66 cm verificou-se um decréscimo em relação à amostragem anterior, o que indica transporte do  $\text{NO}_3^-$ -N para profundidades maiores que esta última.

A aplicação de 200 mm de água provocou um decréscimo no conteúdo de nitrato em todo o perfil, indicando, deste modo, um movimento deste íon para maiores profundidades, com exceção dos primeiros 2,5 cm de profundidade, o que mostra a ocorrência de alguma nitrificação.

Após a aplicação de 250 mm de água, houve um aumento no conteúdo de umidade em todo o perfil do solo, o que acarretou uma lixiviação do nitrato. A concentração diminuiu, em relação a amostragem anterior, da superfície até 72 cm após a qual houve um pequeno incremento indicando que o nitrato foi perdido para profundidades maiores que a envolvida pelo estudo.

Quando se fez a aplicação de 300 mm de água, observou-se um novo acréscimo no conteúdo de umidade o que provocou, em consequência, um intenso movimento para baixo, tendo a concentração do nitrato sofrido uma queda em todo o

perfil do solo.

Quando se compara as frequências de irrigação deste experimento, verifica-se que há uma tendência a haver um maior deslocamento de nitrato a medida que se aumenta a lâmina de irrigação. Porém realizado o teste F (STEEL & TORRIE, 1960), não encontrou-se diferenças significativas entre frequências (ver Quadro A-6), o que indica que nas condições deste experimento, elas não produziram o efeito esperado, uma vez que diversos trabalhos tem demonstrado que quando se aumenta a lâmina de irrigação há um aumento na taxa de lixiviação do nitrato (CARVALLO, 1971; CARVALLO & CASSEL, 1973; MILLAR et alii, 1975; BAR-YOSEF, 1977; SAFFIGNA et alii, 1977; SAFFIGNA E KEENEY, 1977; MILLAR et alii, s.d.).

Para se comparar os efeitos das diferentes frequências de irrigação em cada um dos tratamentos estudados, efetuou-se o teste de Duncan (STEEL & TORRIE, 1960), verificando-se que, para o Solo Sem Cobertura, só se constatou diferença significativa entre os valores médios das Frequências I e III com significância ao nível de 5%. O fato de não ter se encontrado diferenças significativas entre as frequências I e II por um lado e II e III por outro lado, pode ter sido ocasionado em consequência das chuvas ocorridas em todo o período experimental (306,8 mm), cuja distribuição está mostrada no Quadro A-7 e que teria mascarado em parte, o efeito das frequências. Outro fator que, provavelmente, exerceu significativa influência para a obtenção destes resultados foi a profundidade do

lençol freático (ao redor de 120 cm) que não permitiu o movimento descendente da água ocorresse livremente como seria de se esperar neste tipo de solo, influenciando, assim o movimento do nitrato.

Vários autores tem demonstrado o efeito das chuvas na lixiviação de nitrato; GAMBOA & BLASCO (1974), JONES et alii (1974), JONES (1975) e CAMERON et alii (1978) encontraram uma alta correlação entre a lixiviação de nitrato e a precipitação, ao passo que ALLISON (1965) afirma que a quantidade de nitrato perdido por lixiviação depende da intensidade e duração das chuvas.

BIGGAR & NIELSEN (1967) reportam que o processo de lixiviação em locais com alto nível freático não se dá com bastante eficiência em consequência da baixa velocidade da água. Ao mesmo tempo, CHILDS (1974) e KRAMER (1974) afirmam que o movimento da água do solo diminui quando está com alto conteúdo de umidade. Para PARR & BERTRAND (1960) e HOLMES et alii (1967), a taxa de infiltração de água no solo, dentre outro fatores, depende das características físicas e do conteúdo de umidade.

Finalmente, não se descarta a ocorrência do processo de nitrificação e da ascensão capilar como sendo responsável, em algum grau, da não significância entre algumas frequências. Com efeito, observa-se que o aumento no intervalo de irrigação implica em um aumento na aeração da camada superficial do solo, possibilitando assim, melhores

condições para o processo de nitrificação; a influência da oxigenação no processo de nitrificação já foi reportado por ALEXANDER (1965); MORAES & FREIRE (1974); MORAES et alii (1975) e TISDALE & NELSON (1975c). Ao mesmo tempo, este baixo conteúdo de umidade na superfície do solo por maior tempo provoca o movimento ascendente do nitrato da solução do solo, por ascensão capilar. HASSAN & GHAI BEH (1977) verificaram a incidência deste movimento quando o lençol freático encontra-se próximo a superfície. Enquanto que FRITTON et alii (1967) afirmam que o movimento de água do solo úmido para o seco depende do tempo e do potencial de evaporação.

Para o tratamento com Cobertura Plástica o teste de Duncan mostrou que houve diferença significativa, ao nível de 5% de probabilidade, quando se compara as médias das frequências I e II. Para a comparação das médias das frequências I e III, esta significância foi de 1%, enquanto que não foi observada diferença significativa entre as médias dos subtratamentos II e III. A não significância apresentada entre as Frequências II e III deste tratamento indica que a taxa de lixiviação não aumentou proporcionalmente com o incremento da lâmina de irrigação uma vez que o maior tempo decorrido, para esta última frequência, entre duas irrigações consecutivas poderia oferecer melhores condições de aeração para a ocorrência do processo de nitrificação.

Neste tratamento, verificou-se que o efeito das chuvas foi menos pronunciado, tendo apresentado uma maior in

X fluência nos dois últimos ciclos estudados. O aumento bastante acentuado que ocorreu no conteúdo de umidade, com a conseqüente elevação na taxa de lixiviação observada nos dois últimos ciclos deste tratamento, foi provocada pela infiltração lateral da água da área adjacente ao experimento uma vez que este se encontrava em um terreno que apresenta uma declividade de 6%. Isto possibilitou pela ação do gradiente hidráulico, o deslocamento lateral da água para o interior do perfil das parcelas experimentais. Este efeito acentuou-se em decorrências das fortes chuvas caídas no período.

O transporte do  $\text{NO}_3^-$ -N neste tratamento também sofreu influência da profundidade do lençol freático não havendo, portanto, possibilidade para que a água se movimentasse livremente para baixo no perfil do solo.

A incidência do processo de nitrificação provavelmente foi menor no solo com cobertura plástica, devido ao maior conteúdo de umidade na camada superficial, provocando em decorrência uma menor aeração do solo confirmando, assim, a influência do oxigênio neste processo como publicado por diversos autores já citados anteriormente.

Quando se compara as coberturas do solo, verifica-se que o solo com cobertura plástica apresentou maior conteúdo de umidade do que o solo sem cobertura, em todas as frequências estudadas. Do mesmo modo, a taxa de lixiviação foi maior para este primeiro tratamento, tendo o teste "F" apresentado uma significância ao nível de 5% de probabilidade.



de, o que está de acordo com o observado por CARVALLO (1971) e CARVALLO & CASSEL (1973). Outros autores tem demonstrado que maior taxa de lixiviação ocorre em solos com maior conteúdo de umidade (COREY et alii, 1967; BAUER, 1971; METRI, 1976; BAR-YOSEF, 1977).

Quando se analisaram os ciclos estudados verifica-se uma significância ao nível de 1% de probabilidade. Este efeito pode ter sido causado pelo excesso de água no solo após cada aplicação, não tendo isto se refletido nas curvas de conteúdo de umidade em virtude das amostragens terem sido efetuadas ao final de cada ciclo, ou seja, após a água ter se perdido por percolação, provocando em consequência uma significativa lixiviação.

As interações resultantes destes fatores demonstram que valores não significativos foram encontrados, geralmente, quando nestas entraram a variável frequência. O teste "F" indica estes resultados para as interações Cobertura x Frequência, Frequência x Ciclo e Cobertura x Frequência x Ciclo indicando assim a influência dos vários fatores anteriormente citados. Os demais resultados das interações envolvidas neste estudo demonstram que houve diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade para Cobertura x Ciclo, enquanto que, para Cobertura x Profundidade, Ciclo x Profundidade, Cobertura x Ciclo x Profundidade, Cobertura x Frequência x Profundidade, Frequência x Ciclo x Profundidade e

Cobertura x Frequência x Ciclo x Profundidade, houve diferenças significativas ao nível de 1% de probabilidade.

Com base nos resultados obtidos neste experimento e procurando proporcionar uma maior racionalização da nossa agricultura, verifica-se a necessidade de procurar minimizar as perdas de nitrato aplicado, principalmente em solos arenosos, seja através de um adequado manejo de água de irrigação, de modo que o movimento descendente da solução do solo fique restrito a área de ação do sistema radicular ou, pela aplicação parcelada dos adubos nitrogenados que poderá proporcionar uma diminuição das perdas em áreas sob regime de irrigação ou em regiões com altas precipitações pluviométricas. Para regiões com problemas de salinidade há necessidade de otimizar a irrigação com o objetivo de proporcionar os melhores níveis de umidade para as culturas ao mesmo tempo que possibilite a lavagem do solo para a retirada do excesso de sais sem que isto venha provocar perdas por lixiviação dos adubos nitrogenados.

## CAPÍTULO V

### CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Os resultados deste trabalho permitem concluir:

5.1 - Maior lixiviação de nitrato ocorreu quando o solo foi coberto com plástico, em consequência do seu maior conteúdo de umidade.

5.2 - Uma análise das frequências de irrigação permitem concluir que quando se aumenta a lâmina de irrigação há um aumento na taxa de lixiviação, embora, a análise da variância não tenha mostrado diferença significativa.

5.3 - O teste de Duncan, todavia, indicou diferença significativa ao nível de 5% entre os valores das médias das frequências I e III do solo sem cobertura e I e II para o solo com cobertura plástica e, significância ao nível de 1% entre

os valores das médias das Frequências I e III deste último tratamento. Estes resultados ocorreram em consequência de fatores aleatórios observados durante o estudo.

5.4 - Da análise dos ciclos de irrigação estudados, verificou-se que o movimento descendente do nitrato foi mais acentuado nas duas primeiras irrigações.

5.5 - Para o solo sem cobertura, a evaporação da água da superfície do solo retardou a lixiviação. Este efeito foi causado pela redução da água de percolação e ascensão do nitrato para a camada superficial do solo.

5.6 - Baseado nas conclusões anteriores, recomenda-se um manejo eficiente da água de irrigação, bem como, dos fetilizantes nitrogenados, com a finalidade de minimizar as perdas por lixiviação do nitrato aplicado.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALEXANDER, M. Nitrification. In: BARTHOLOMEW, W. V. & CLARK, F. E. Soil Nitrogen. Madison, American Society of Agronomy, 1965. Cap. 8, p. 307-43. (Agronomy 10).
- ALLISON, F. E. Evaluation of Incoming and Outgoing Processes That Affect Soil Nitrogen. In: BARTHOLOMEW, W. V. & CLARK, F. E. Soil Nitrogen. Madison, American Society of Agronomy, 1965. Cap. 16, p. 573-606. (Agronomy 10).
- BAILEY, L. D. Effects of Temperature and Root on Denitrification in a Soil. Can. J. Soil Sci., 56 (2): 79-87, 1976.
- BARRIOS, J. Sistematização de Terras para Irrigação. Petrolina, GEIDA-SUDENE/IICA-CIDIAT, s.d. 29 p.
- BARTHOLOMEW, W. V. Mineralization and Immobilization of Nitrogen in the Decomposition of Plant and Animal Residues. In: \_\_\_\_\_ & CLARK, F. E. Soil Nitrogen. Madison, American Society of Agronomy, 1965. Cap. 7, p. 285-306. (Agronomy 10).
- BAR-YOSEF, B. Trickle Irrigation and Fertilization of Tomatoes in Sand Dunes: Water, N, and P Distributions in the Soil and Uptake by Plants. Agronomy Journal, 69: 486-91, 1977.

- BATES, T. E. & TISDALE, S. L. The Movement of Nitrate-Nitrogen Through Columns of Coarse-Textured Soil Materials. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 21: 495-8, 1957.
- BAUER, A. Fertilizer Nitrogen Applications to Wheat in Relation to Pollution. North Dakota Farm Research, 44-8, 1971.
- BIGGAR, J. W. & NIELSEN, D. R. Miscible Displacement and Leaching Phenomenon. In: HAGAN, R. M.; HAISE, H. R.; EDMINSTER, T. W. Irrigation of Agricultural Lands, Madison, American Society of Agronomy, 1967. Cap. 14, p. 254-74. (Agronomy 11).
- BILAL, I. M. Transformation and Transport of  $\text{NH}_4^+$ -N in a Flooded Soil. Z. Pflanzenernaehr Bodenkd, 140: 199-207, 1977.
- BLAKE, G. R. Bulk Density. In: BLAKE<sup>CK</sup>, C. A.; EVANS, D. D.; ENSMINGER, L. E.; WHITE, J. L.; CLARK, F. E. Methods of Soil Analysis. Part 1. Physical and Mineralogic Properties, Including Statistics of Measurement and Sampling. Madison, American Society of Agronomy. 1965. Cap. 30 p. 374-90 (Agronomy 9).
- BOSWELL, F. C. & ANDERSON, Q. E. Nitrogen Movement in Undisturbed Profiles of Fallowed Soils. Agronomy Journal, 36, 278-81, 1964.
- BOUYOUCOS, G. J. A Recalibration of the Hydrometer Method

- for Making Analysis of Soil. Agronomy Journal, 43 (9): 434-7, 1951.
- BROADBENT, G. E. & CLARK, F. E. Denitrification. In: BARTHOLOMEW, W. V. & \_\_\_\_\_. Soil Nitrogen. Madison, American Society of Agronomy, 1965. Cap. 9, p. 344-59, (Agronomy 10).
- BURNS, I. G. An Equation to Predict the Leaching of Surface Applied Nitrate. Journal Agricultural Science, 85 (3): 443-54, 1975.
- BURNS, I. G. Equations to Predict the Leaching of Nitrate Uniformly Incorporated to a Known Depth of Uniformly Distributed Throughout a Soil Profile. J. Agric. Sci., 86: 305-13, 1976.
- CAMERON, D. R. & KOWALENKO, C. G. Modelling Nitrogen Processes in Soil: Mathematical Development and Relationship. Can. J. Soil Sci., 56 (2): 71-8, 1976.
- \_\_\_\_\_; \_\_\_\_\_; IVARSON, K. C. Nitrogen and Chloride Distribution and Balance in a Clay Loam Soil. Can. J. Soil Sci., 58 (1): 77-88, 1978.
- CAMPBELL, C. A. & PAUL, E. A. Effects of Fertilizer N and Soil Moisture on Mineralization, N Recovery and A-Values, Under Spring Wheat Grown in Small Lysimeters. Can. J. Soil Sci., 58 (1): 39-51, 1978.
- CARVALLO, H. O. Effect of Cover and Irrigation Frequency

Upon Nitrate and Chloride Behavior in Undisturbed Columns of Hecla, Fine Sandy Loam. Fargo, Soils Dept. North Dakota State University, 1971 (Published Masters Thesis).

\_\_\_\_\_ & CASSEL, D. K. The Effect of Surface Cover and Irrigation Frequency Upon Nitrate and Chloride Behavior in Sandy Soils. North Dakota Research Report, (46): 1-7, 1973.

CASSEL, D. K. Solute Movement in Soil. I. Leaching of Nitrate in Irrigated Fallow Soil. North Dakota Farm Research, 28: 15-8, 1970.

\_\_\_\_\_ ; DAHNKE, W. C.; PATTERSON, D. D. SWENSON, L; TOR KELSON, R. Soil Nitrogen Movement. North Dakota Farm Research, 28: 49-52, 1971.

CHILDS, E. C. La Fisica del Drenaje de Tierras. In: LUT HIN, James N. Drenaje de Tierras Agrícolas: Teoría e Aplicaciones. Mexico, Limusa, 1974. Cap. 1, p. 17-100.

CHO, C. M. & SAKDINAN, L. Mass Spectrometric Investigation on Denitrification. Can J. Soil Sci., 58 (3): 443-57, 1978.

COREY, J. C.; NIELSEN, D. R.; KIRKHAM, D. Miscible Displacement of Nitrate Through Soil Columns. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 31: 497-501, 1967.



CUMMINGS, R. W. & GLEADSON, R. N. The Role of Fertilizer in Agricultural Development. In: OLSON, R. A.; ARMY, T. J.; HANWAY, J. J.; KILMER, V. J. Fertilizer Technology & Use. 2. Madison, Soil Science Society of America, 1971. Cap. 1, p. 1-25.

DOUGHERTY, C. T. & LANGER, R. H. M. An Analysis of a Nitrogen-Induced Depression of Yield in Irrigated "Kopara" Wheat. N. Z. Journal of Agricultural Research, 17:323-31, 1974.

EIRA, P. A. ALMEIDA, D. L. de; ALVAHYDO, R. Movimento do Íon Nitrato, em Solo da Série Itaguaí, nas Condições Naturais de Campo. Pesq. Agrop. Bras., 3: 267-73, 1968.

ENGLAND, C. B. Relative Leaching Potentials Estimated From Hydrologic Soil Groups. Water Resources Bulletin, 9 (3): 590-7, 1973.

ESCOBAR, E.; MARTINEZ, N.; BLASCO, M. Mineralización del Carbono y Nitrógeno en los Suelos del Putumayo, Amazonas Colombiano. Efectos de la Celulosa y Temperatura. Turrialba, 22 (1): 47-52, 1972.

FAO. El Estado Mundial de la Agricultura y la Alimentación 1974. Roma, FAO, 1975. 223 p.

\_\_\_\_\_. Industrias que Sirven a la Agricultura. In: Agricultura e Industrialización, Roma, FAO, 1967. Cap. 4, p. 120-32. (Estudio Básico nº 17).

- FORSYTHE, W. M. Densidad de las Particulas del Suelo; Método com Agua y Kerosene. Curso de Física de Suelos. Turrialba, p. 14, 1971.
- FRITTON, D. D.; KIRKHAM, S.; SHAW, R. H. Soil Water and Chloride Redistribution Under Various Evaporation Potentials. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 31: 599-603, 1967.
- GAMBOA, J. & BLASCO, M. Dinámica de Nitrógeno en el Suelo Después de Cinco Fertilizaciones Consecutivas. Turrialba, 24 (4): 414-9, 1974.
- GARDNER, W. R. Movement of Nitrogen in Soil. In: BARTHOLOMEW, W. V. & CLARK, F. E. Soil Nitrogen. Madison, American Society of Agronomy, 1965. Cap. 15, p. 550-72. (Agronomy 10).
- HARGREAVES, G. H. Precipitacion Dependability and Potentials for Agricultural Production in Northeast Brazil. Utah State University/Embrapa, 1974, 123 p.
- HARMSSEN, G. W. & KOLENBRANDER, G. J. Soil Inorganic Nitrogen. In: BARTHOLOMEW, W. V. & CLARK, F. E. Soil Nitrogen. Madison, American Society of Agronomy, 1965. Cap. 2, p. 43-92. (Agronomy 10).
- HARRE, E. A.; GARMAN, W. H.; WHITE, W. C. The World Fertilizer Market. In: OLSON, R. A.; ARMY, T. J.; HANWAY, J. J.; KILMER, V. J. Fertilizer Technology & Use. 2. Madison, Soil Science Society of America, 1971. Cap. p. 27-55.

- HASSAM, F. A. & GHAIBEH, A. S. H. Evaporation and Salt Movement in Soils in the Presence of Water Table. Soil Sci. Soc. Am. J., 41 (3): 470-8, 1977.
- HAVILL, D. C.; LEE; J. A.; DE-FELICE, J. Some Factors Limiting Nitrate Utilization in Acidic and Calcareous Grassland. New Phytol., 78:649-59, 1977.
- HENDRICKSON, L. L., KEENEY, D. R.; WALSH, L. M.; LIEGEL, E. A. Evaluation of Nitrapyrin as Means of Improving Efficiency in Irrigated Sands. Agronomy Journal, 70 (5): 699-704, 1978.
- HOLMES, J. W. TAYLOR, S. A.; RICHARDS, S. J. Measurement of Soil Water. In: HAGAN, R. M.; HAISE, H. R.; EDMINSTER, T. W. Irrigation of Agricultural Lands, Madison, American Society of Agronomy, 1967. Cap. 15, p. 275-303. (Agronomy 11).
- JONES, M. J. Leaching of Nitrate Under Maize at Samaru, Nigeria. Trop. Agric., 52 (1): 1-10, 1975.
- JONES, M. B.; STREET, J. E.; WILLIAMS, W. A. Leaching and Uptake of Nitrogen Applied to Annual Grass and Clover-Grass Mixtures in Lysimeters. Agronomy Journal, 66: 256-8, 1974.
- KÖPPEN, W. Das Geographische System der Klimate. In: KÖPPEN, W. Geiger R. Handbuch der Klamatologie, Berlin, Gebruder Berntraeger, 1936. Vol. 1, Part. C.

- KOWALENKO, C. G. Nitrogen Transformation and Transport Over 17 Months in Field Fallow Microplots Using  $^{15}\text{N}$ . Can. J. Soil Sci., 58 (1): 69-76, 1978.
- \_\_\_\_\_ & CAMERON, D. R. Nitrogen Transformation in an Incubated Soil as Affected by Combinations of Moisture Content and Temperature and Adsorption-Fixation of Ammonium. Can. J. Soil Sci., 56 (2): 63-70, 1976.
- \_\_\_\_\_; \_\_\_\_\_. Nitrogen Transformation in Soil-Plant Systems in Three Years of Field Experiments Using Tracer and Non-Tracer Methods on an Ammonium-Fixing Soil. Can. J. Soil Sci., 58 (2): 195-208, 1978.
- KRAMER, P. J. El Agua en el Suelo. In: \_\_\_\_\_. Relaciones Hidricas de Suelos y Plantas: Una Sintesis Moderna. Mexico, Centro Regional de Ayuda Tecnica, 1974. Cap. 2, p. 51-81.
- LEAL, J. R. & ALVAHYDO, R. Transformação e Deslocamento do Íon Amômio em Solo da Série Itaguaí. Pesq. Agrop. Bras., 6: 129-35, 1971.
- LEGG, J. O. & ALLISON, F. E. A Tracer Study of Nitrogen Balance and Residual Nitrogen Availability With 12 Soils. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 31: 403-6, 1967.
- LEON, S. L. A. & PRATT, P. F. Efectos Agronómicos de la Retención y Lixiviación de Nitratos en dos Andepts de Colombia. Turrialba, 24 (4): 408-13, 1974.

- LUDWICK, A. E.; SOLTANPOUR, P. N.; REUSS, J. O. Nitrate Distribution and Variability in Irrigated Fields of Northeastern Colorado. Agronomy Journal, 69: 710-3, 1977.
- MACGREGOR, J. M.; BLAKE, G. R.; EVANS, S. D. Mineral Nitrogen Movement Into Subsoils Following Continued Annual Fertilization for Corn. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 38: 110-3, 1974.
- MACLEAN, A. J. Movement of Nitrate Nitrogen With Different Cropping Systems in two Soils. Can. J. Soil Sci., 57: 27-33, 1977.
- METRI, J. E. C. Efeito da Frequência de Irrigação Sobre a Lixiviação de Nitrato em Três Solos do Estado da Paraíba. Campina Grande, CCT/UFPb, 1976. 42 p. (Tese de Mestrado).
- MILLAR, A. A.; DUARTE, N.; RIQUELME, E.; ARIAS, E. Movimento de Nitrato en un Suelo Volcánico Bajo Diferentes Regímenes de Riego. Turrialba, 25 (2): 139-43, 1975.
- MILLAR, A. A.; PEREIRA, J. R.; LOPES FILHO, E. Efeito da Irrigação no Movimento de Nitratos em um Latossolo. Petrolina, MINTER/IICA, s.d., 16 p. (Mimeografado).
- MILLER, R. J.; BIGGAR, J. W.; NIELSEN, D. R. Chloride Displacement in Panoche Clay Loam in Relation to Water

- Movement and Distribution. Water Resources Research, 1 (1): 63-73, 1965.
- MILLS, H. A.; BARKER, A. V.; MAYNARD, D. N. Nitrate Accumulation in Radish as Affected by Nitrapyrin. Agronomy Journal, 68: 13-7, 1976.
- MISRA, C. & MISHRA, B. K. Miscible Displacement of Nitrate and Chloride under Field Conditions. Soil Sci. Soc. Am. J., 41: 496-9, 1977.
- MITCHELL, W. H.; MOREHART, L. J.; COTNIOR, L. J.; HESSELTINE, B. B.; LANGSTON, D. N. Effect of Soil Mixtures and Irrigation Methods on Leaching on N in Golf Greens. Agronomy Journal, 70 (1): 29-38, 1978.
- MOLINA, A. C. E. & BLASCO, M. El Nitrógeno en los Suelos Derivados de Cenizas Volcánicas del Altiplano de Pasto, Colombia. Turrialba, 20 (3): 288-92, 1970.
- MORAES, J. F. V. & FREIRE, C. J. S. Variação do pH, da Condutividade Elétrica e da Disponibilidade dos Nutrientes Nitrogênio, Fósforo, Potássio, Cálcio e Magnésio em Quatro Solos Submetidos a Inundação. Pesq. Agrop. Bras., 9 (9): 35-43, (Série Agronomia).
- \_\_\_\_\_; \_\_\_\_\_; SILVA, E. C. Transformações do Nitrogênio em Dois Solos Submetidos a Inundação. Pesq. Agrop. Bras., 10 (11): 25-30, 1975. (Série Agronomia).

- MYERS, R. J. K. & PAUL, E. A. Nitrate Ion Electrode Method for Soil Nitrate-Nitrogen Determination. Department of Soil Science, University of Saskatchewan, 48: 369-91, 1968.
- NYBORG, M. & HOYT, P. B. Effects of Soil Acidity and Liming on Mineralization of Soil Nitrogen<sup>N</sup>. Can. J. Soil Sci., 58 (3): 331-8, 1978.
- ØIEN, A. & SELMER-OLSEN, A. R. Nitrate Determination in Soil Extracts With the Nitrate Electrode. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 33: 888-94, 1969.
- OLSEN, R. J.; HENSLER, R. F.; ATTOE, O. J.; PETERSON, L. A. Fertilizer Nitrogen and Crop Rotation in Relation to Movement of Nitrate Nitrogen Through Soil Profiles. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 34: 448-53, 1970.
- OLSEN, S. R. & KEMPER, W. D. Movement of Nutrients to Plant Roots. Advances in Agronomy, 20: 91-151, 1968.
- PARR, J. F. & BERTRAND, A. R. Water Infiltration Into Soils. Advances in Agronomy, 12: 311-63, 1960.
- PONNAMPERUMA, F. N. The Chemistry of Submerged Soils. Advances in Agronomy, 24: 29-96, 1972.
- POTTERTON, S. S. S. & SCHULTS, W. D. An Evaluation of the Performance of the Nitrate-Selective Electrode. Analytical Letters, 1: 1-6, 1967.

POWER, J. D. Leaching of Nitrate-Nitrogen Under Dryland Agriculture in the Northern Great Plains. Relationship of Agriculture to Soil and Water Pollution. Cornell University, 1967.

PRASSAD, R.; RESALE, G. B.; LAKHDIVE, B. A. Nitrification Retarders and Slow-Release Nitrogen Fertilizers. Advances in Agronomy, 23: 337-83, 1971.

REEDER, J. D. & BERG, W. A. Nitrogen Mineralization and Nitrification in a Cretaceous Shale and Coal Mine Spoils. Soil Sci. Soc. Am. J., 41, (5): 922-7, 1977.

X RICHARDS, L. A. Physical Condition of Water in Soil. New York, Academic Press, 1965. Part. 1, p. 128-52 (Agronomy 9).

RUIZ, G. S. & ETCHEVERS, J. D. Mineralización del Carbono y Nitrogeno y Retencion de Humedad em Suelos Tratados com Alga Macrocysti Pyrifer. Turrialba, 25 (2):115-20, 1975.

SAFFIGNA, P. G. & KEENEY, D. R. Nitrogen and Chloride Uptake by Irrigated Russet Burbank Potatoes. Agronomy Journal, 69: 258-63, 1977.

\_\_\_\_\_ ; \_\_\_\_\_ ; TANNER, C. B. Nitrogen, Chloride, and Water Balance Witch Irrigated Russet Burbank Potatoes in a Sandy Soil. Agronomy Journal, 69: 251-7, 1977.



- SANDHU, M. S. & MORAGHAN, J. T. Influence of Three Chemicals on Soil Biological Activity. Com. in Soil and Plant Analysis, 3 (6): 439-57, 1972.
- SCHERTZ, D. L. & MILLER, D. A. Nitrate-N Accumulation in the Soil Profile Under Alfafa. Agronomy Journal, 64: 660-4, 1972.
- SCHUMAN, G. E.; MCCALLA, T. M.; SAXTON, K. E.; KNOX, H. T. Nitrate Movement and its Distribution in the Soil Profile of Differentially Fertilized Corn Watersheds. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 39: 1192-7, 1975.
- SINGH, B. & SEKHON, G. S. Some Measures of Reducing Leaching Loss of Nitrates Beyond Potential Rooting Zone. Plant and Soil, 47: 585-91, 1977.
- SMIKA, D. E.; HEEMAN, D. F.; DUKE, H. R.; BATHCJELDER, A. R. Nitrate-N Percolation Through Irrigated Sandy Soil as Affected by Water Management. Agronomy Journal, 69: 623-6, 1977.
- SMITH, G. E. How Much is Agriculture to Blame? Pollution Problems. Agricultural Nitrogen News, 32-40, 1968.
- SPENCER, W. F.; MACKENZIE, A. J.; VIETS JR., F. G. The Relationship Between Soil Tests for Available Nitrogen and Nitrogen Uptake by Various Irrigated Crops in the Western States. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 30: 480,5, 1966.

- STANFORD, G.; CARTER, J. N.; WESTERMANN, D. T.; MEISINGER, J. J. Residual Nitrate and Mineralizable Soil Nitrogen in Relation to Nitrogen Uptake by Irrigated Sugarbeets. Agronomy Journal, 69, 303-8, 1977.
- \_\_\_\_\_ & EPSTEIN, E. Nitrogen Mineralization-Water Relations in Soils. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 38: (1): 103-7, 1974.
- STEEL, R. G. D. & TORRIE, J. H. Principles and Procedures of Statistics. New York, McGraw-Hill, 1960. 481 p.
- STEPHENS, D. Upward Movement of Nitrate in a Bare Soil in Uganda. Journal of Soil Science, 13 (1): 52-9, 1962.
- TERRY, D. L. & MCCANTS, C. B. The Leaching of Ions in Soils. North Carolina Agricultural Experiment Station, 1968, 13 p., (Tech. Bul n° 184).
- THORNTHWAITE, C. W. A Approach Toward a Rational Classification of Climate. Geo. Rev., 38: 55-94, 1948.
- TISDALE, S. L. & NELSON, W. L. Fertilizers and Efficient use of Water, in: \_\_\_\_\_ & \_\_\_\_\_ Soil Fertility and Fertilizers, 3. New York, Macmillan, 1975a. Cap. 16, p. 622-46.
- \_\_\_\_\_ & \_\_\_\_\_. Introduction: Fertilizers in a Changing World. In: \_\_\_\_\_ & \_\_\_\_\_. Soil Fertility and Fertilizers. 3. New York, Macmillan, 1975b. p. 1-4.

- \_\_\_\_\_ & \_\_\_\_\_. Soil and Fertilizers Nitrogen, In:  
\_\_\_\_\_ & \_\_\_\_\_. Soil Fertility and Fertilizers. 3.  
New York, Macmillan, 1975c. Cap. 5, p. 122-88.
- VETTORI, L. Métodos de Análise de Solo. Rio de Janeiro, EPE  
Ministério da Agricultura, 1969, 24 p. (Boletim Técnico  
nº 7).
- VIETS, JR., F.G. Soil Use and Water Quality - A Look Into  
the Future. J. Agr. Food. Chem., 18 (5): 789-92, 1970.
- \_\_\_\_\_. The Plant's Need for and Use of Nitrogen. In:  
BARTHOLOMEW, W. V. & CLARK, F. E. Soil Nitrogen, Madi-  
son, American Society of Agronomy, 1965. Cap. 14, p.  
503-49, (Agronomy 10).
- WAGNER, G. H. & SMITH, G. E. Nitrogen Losses From Soils  
Fertilized with Different Nitrogen Carriers. Universi-  
ty of Missouri Soil Science, 85 (3): 125-9, 1958.
- YOSHIDA, T. & PADRE JR.; B. C. Transformation of Soil and  
Fertilizer Nitrogen in Paddy Soil and Their Availibili-  
ty to Rice Plants. Plant and Soil, 47: 113-23. 1977.

A P Ê N D I C E

## PERFIL Nº 01

- Classificação - Podzólico Vermelho Amarelo Eutrófico. A proeminente, textura média, fase floresta subperenifólia, relevo ondulado.
- Localização - Área contígua ao Sul do Plano Piloto de Irrigação do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Paraíba, em Areia-Pb.
- Situação e Declividade - Trincheira no terço inferior de encosta com 6% de declividade.
- Vegetação Primária - Floresta subperenifólia.
- Vegetação Local - Remanescentes de uma coleção de gramíneas, com presença de touceiras de capim jaraguá e capim elefante. Ocorrência de invasoras herbáceas.
- Formação Geológica e Litologia - Pré-Cambriano. Grupo Caicó. Migmatitos Laterogêneos.
- Material Originário - Produto da decomposição de gnaisses com provável influência de material transportado nas porções superficiais e subsuperficiais do perfil.
- Relevo Local - Suavemente ondulado.
- Altitude - 524 m.
- Drenagem - Imperfeitamente drenado.

Pedregosidade - Ausente na superfície. Ocorrência de calhaus e matacões de quartzo semi-desarestado e desarestados na transição para o horizonte IIC.

Uso Atual - Terreno em posio.

- A<sub>1</sub> 0 - 23 cm; bruno escuro (10 YR 3/3, úmido); areno-franco; fraca pequena e média granular; muitos poros muito pequenos, comuns pequenos; macio, não plástico e não pegajoso; transição abrupta e suavemente ondulada;
- B<sub>1t</sub> 23 - 48 cm; bruno acinzentado muito escuro (10 YR 3/2, úmido); franco-arenoso; fraca pequena e média blocos subangulares; muitos poros muitos pequenos e pequenos, comuns médios e grandes; friável, plástico e ligeiramente pegajoso; transição gradual e suavemente ondulada.
- B<sub>2t</sub> 48 - 78 cm; bruno escuro (10 YR 3/3, úmido); mosqueado pouco, médio, distinto, bruno amarelado escuro (10 YR 4/4, úmido); franco-arenoso; fraca pequena e média blocos subangulares; muitos poros muito pequenos, comuns pequenos e médios; friável (com partes ligeiramente firmes), plástico e pegajoso; transição abrupta e ondulada.
- IIC 78 - 115 cm +; bruno (10 YR 4/3, úmido); franco-arenoso; fraca pequena e média blocos angulares; poros comuns muito pequenos, poucos pequenos; friável, plástico e pegajoso.

Raízes - Muitos finas, no  $A_1$ ; comuns no  $B_{1t}$ ; poucas no  $B_{2t}$  e raras no IIC.

Observações:

- Atividade biológica mais intensa (com ocorrência de canais e galerias) no segundo horizonte;
- Ocorrência de concreções brandas de ferro no horizonte  $B_{2t}$ , em pontos localizados; ocorrência mais frequente no horizonte IIC.
- Presença de calhaus e alguns matacões de quartzo desarestados e semi-desarestados na transição para o horizonte IIC.
- Indícios de elevação do nível freático no período chuvoso.

QUADRO A-1 - VALORES PERCENTUAIS MÉDIOS DE AREIA, LIMO E ARGILA E CLASSIFICAÇÃO TEXTURAL PELOS SISTEMAS AMERICANO (USDA) E INTERNACIONAL (ISSS) DO SOLO ESTUDADO.

PROF. (cm)	SISTEMA	AREIA (%)	LIMO (%)	ARGILA (%)	CLASSE TEXTURAL
0-15	USDA	84,13	6,96	8,91	AREIA FRANCA
	ISSS	86,68	4,41	8,91	AREIA
16-30	USDA	76,10	9,66	14,24	FRANCO ARENOSO
	ISSS	81,29	4,47	14,24	FRANCO ARENOSO
31-60	USDA	77,45	8,35	14,20	FRANCO ARENOSO
	ISSS	81,34	4,46	14,20	FRANCO ARENOSO
61-100	USDA	78,74	7,05	14,21	FRANCO ARENOSO
	ISSS	82,63	3,16	14,21	FRANCO ARENOSO



QUADRO A-2 - VALORES MÉDIOS DE pH EM ÁGUA, MATÉRIA ORGÂNICA, DENSIDADE GLOBAL, DENSIDADE DE PARTÍCULA E POROSIDADE TOTAL DO SOLO.

PROF. (cm)	pH	MATÉRIA ORGÂNICA (%)	DENS. GLOBAL (g/cm <sup>3</sup> )	DENS. DE PARTÍCULA (g/cm <sup>3</sup> )	POROSIDADE TOTAL (%)
0-15	4,8	3,32	1,64	2,61	37,15
16-30	4,9	3,28	1,86	2,66	30,08
31-60	5,4	1,87	1,70	2,59	34,36
60-100	6,1	0,62	1,87	2,64	29,17

QUADRO A-3 - VALORES MÉDIOS DE CAPACIDADE DE CAMPO,  
PONTO DE MURCHAMENTO E ÁGUA DISPONÍVEL DO SOLO.

PROF. (cm)	CAPACIDADE DE CAMPO (%)	PONTO DE MURCHAMENTO (%)	ÁGUA DISPONÍVEL (%)
0-15	8,09	3,92	4,17
16-30	10,23	5,16	5,07
31-60	10,02	5,94	4,08
61-100	10,88	6,15	4,73

QUADRO A-4 - CONCENTRAÇÕES DE NITRATO E CONTEÚDO DE UMIDADE DO SOLO EM FUNÇÃO DA PROFUNDIDADE PARA AS DIFERENTES FREQUÊNCIAS DO TRATAMENTO SEM COBERTURA.

LÂM. D'ÁGUA (mm)  PROF. DO SOLO (cm)		CONCENTRAÇÕES DE NITRATO (ppm)						CONTEÚDO DE UMIDADE (%)							
		0	50	100	150	200	250	300	0	50	100	150	200	250	300
F R E Q U Ê N C I A I															
0-5	62	103	78	149	79	68	54	11,1	5,2	7,1	6,7	6,0	11,5	12,9	
6-15	64	169	91	73	73	55	41	11,4	8,4	10,9	8,5	9,2	11,6	13,8	
16-30	81	56	100	71	63	58	35	10,0	8,6	10,3	8,6	8,7	11,2	13,5	
31-60	26	39	38	42	67	82	25	8,6	9,0	9,8	9,1	8,5	11,4	14,1	
61-100	16	26	16	28	29	32	27	10,5	11,2	11,8	10,2	9,8	11,8	14,6	
F R E Q U Ê N C I A II															
0-5	47	119	105	125	96	59	43	11,8	4,5	10,0	8,0	9,6	10,1	15,6	
6-15	58	83	75	87	86	51	44	11,9	8,8	11,6	9,9	10,8	12,4	18,2	
16-30	52	96	81	76	83	53	26	10,4	9,8	11,4	10,0	10,4	12,3	15,9	
31-60	17	38	56	54	76	55	39	9,9	10,7	11,3	10,2	10,2	12,6	15,7	
61-100	13	12	18	17	27	37	21	10,7	11,3	11,1	12,6	11,7	15,2	15,8	
F R E Q U Ê N C I A III															
0-5	53	67	83	89	85	62	41	12,4	4,9	12,2	7,5	8,7	11,3	17,3	
6-15	57	106	94	77	88	52	43	12,3	10,0	12,7	10,3	11,2	13,6	17,5	
16-30	43	61	94	81	81	46	34	12,0	10,0	12,6	11,3	11,2	13,8	17,7	
31-60	25	79	53	51	46	58	29	10,6	11,0	11,4	11,0	10,5	12,8	16,7	
61-100	14	20	42	22	27	46	22	10,3	12,4	12,7	12,1	12,5	14,3	17,6	

QUADRO A-5 - CONCENTRAÇÕES DE NITRATO E CONTEÚDO DE UMIDADE DO SOLO EM FUNÇÃO DA PROFUNDIDADE PARA A DIFERENTES FREQUÊNCIAS DO TRATAMENTO COM COBERTURA PLÁSTICA.

LÂM. D'ÁGUA PROF. DO SOLO (cm)		CONCENTRAÇÕES DE NITRATO (ppm)						CONTEÚDO DE UMIDADE (%)							
		0	50	100	150	200	250	300	0	50	100	150	200	250	300
F R E Q U Ê N C I A I															
0-5	70	45	46	51	46	41	34	7,2 <sup>✓</sup>	11,5 <sup>✓</sup>	13,0 <sup>✓</sup>	12,3 <sup>✓</sup>	13,2 <sup>✓</sup>	13,4 <sup>✓</sup>	15,2 <sup>✓</sup>	
6-15	84	84	51	52	52	36	33	8,6 <sup>✓</sup>	9,7 <sup>✓</sup>	11,5 <sup>✓</sup>	11,1 <sup>✓</sup>	12,0 <sup>✓</sup>	12,5 <sup>✓</sup>	16,9 <sup>✓</sup>	
16-30	69	119	78	64	51	33	25	9,3 <sup>✓</sup>	9,4 <sup>✓</sup>	11,3 <sup>✓</sup>	10,4 <sup>✓</sup>	10,8 <sup>✓</sup>	11,1 <sup>✓</sup>	13,7 <sup>✓</sup>	
31-60	21	33	64	67	62	31	29	7,7 <sup>✓</sup>	9,5 <sup>✓</sup>	9,8 <sup>✓</sup>	9,4 <sup>✓</sup>	9,0 <sup>✓</sup>	11,3 <sup>✓</sup>	14,2 <sup>✓</sup>	
61-100	17	15	17	21	24	33	17	9,8 <sup>✓</sup>	11,9 <sup>✓</sup>	11,2 <sup>✓</sup>	11,2 <sup>✓</sup>	10,3 <sup>✓</sup>	12,6 <sup>✓</sup>	15,0 <sup>✓</sup>	
F R E Q U Ê N C I A II															
0-5	81	43	50	61	49	41	36	7,9	11,9	11,9	11,2	12,3	12,4	15,7	
6-15	69	82	77	87	61	60	45	8,9	10,5	11,8	11,5	12,4	12,5	15,3	
16-30	48	102	81	63	48	44	37	9,6	11,0	11,6	11,3	12,0	13,8	15,2	
31-60	25	55	52	48	48	38	24	9,4	10,3	10,4	10,0	10,1	11,9	15,8	
61-100	19 <sup>✓</sup>	25 <sup>✓</sup>	44 <sup>✓</sup>	25 <sup>✓</sup>	30 <sup>✓</sup>	41 <sup>✓</sup>	23 <sup>✓</sup>	11,7 <sup>✓</sup>	13,6 <sup>✓</sup>	14,1 <sup>✓</sup>	11,9 <sup>✓</sup>	11,5 <sup>✓</sup>	13,8 <sup>✓</sup>	17,3 <sup>✓</sup>	
F R E Q U Ê N C I A III															
0-5	84	74	56	62	62	66	47	11,5	13,0	14,2	13,9	14,4	15,6	19,0	
6-15	72	76	69	71	60	58	51	12,6	12,5	13,5	13,8	13,5	15,1	18,0	
16-30	47	93	84	76	63	49	40	12,0	12,6	13,2	13,2	12,9	14,6	17,7	
31-60	25	72	66	56	53	27	22	11,6	12,3	12,6	12,0	11,6	13,6	18,6	
61-100	18	23	38	52	24	30	21	11,5	12,9	14,4	12,1	12,4	14,0	18,7	

QUADRO A-6 - ANÁLISE DA VARIÂNCIA

CAUSA DE VARIAÇÃO	GL	SQ	QM	F
Blocos (r)	2	5.898,56	2.949,28	9,99
Cobertura (a)	1	8.736,06	8.736,06	29,59*
Erro	2	590,41	295,20	
SUB-TOTAL I	5	15.225,03		
Frequência (b)	2	66,32	33,16	0,01
Cob. x Freq. (ab)	2	2.478,57	1.239,28	0,49
Erro	8	20.416,69	2.552,09	
SUB-TOTAL I + II	17	38.186,61		
Ciclos (c)	6	73.377,24	12.229,54	13,42**
Cob. x Ciclos (ac)	6	13.193,19	2.198,86	2,41*
Freq. x Ciclos (bc)	12	5.071,25	422,60	0,46
Cob. x Freq. x Ciclos (abc)	12	3.531,31	294,28	0,32
Erro	72	65.591,02	910,99	
SUB-TOTAL I + II + III	108	198.950,62		
Profundidade (b)	4	173.479,32	43.369,83	276,05**
Cob. x Prof. (ad)	4	13.342,87	3.335,72	21,23**
Freq. x Prof. (bd)	8	1.293,12	161,64	1,03
Ciclo x Prof. (cd)	24	49.104,25	2.406,01	15,31**
Cob. x Freq. x Prof. (abd)	8	8.282,36	1.305,29	6,59**
Cob. x Ciclos x Prof. (acd)	24	44.903,15	1.870,96	11,91**
Freq. x Cic. x Prof. (bcd)	48	20.119,21	419,15	2,67**
Cob. x Freq. x Cic. x Prof. (abcd)	48	108.009,99	2.250,21	14,32**
Erro	336	52.789,25	157,11	
TOTAL GERAL	629	670.274,14		

(\*) Significativo ao nível de 0,05

(\*\*) Significativo ao nível de 0,01

QUADRO A-7 - PRECIPITAÇÕES OCORRIDAS NO PERÍODO E SEUS VALORES ACUMULADOS ÀS DATAS CORRESPONDENTES A CADA APLICAÇÃO DE ÁGUA PARA AS TRÊS FREQUÊNCIAS DE IRRIGAÇÃO.

ANO: 1976		PRECIPITAÇÃO (mm)	VALORES ACUMULADOS		
MÊS	DIA		FREQUÊNCIAS		
			I	II	III
FEVEREIRO	01	0,0			
	02	0,0			
	03	0,0			
	04	8,5	8,5		
	05	0,1			
	06	0,0			
	07	0,4	9,5	9,0	
	08	1,9			
	09	0,0			
	10	0,0	1,9		
	11	2,2			
	12	0,0			
	13	0,0	2,2	4,1	13,1
	14	0,0			
	15	0,0			
	16	1,0	1,0		
	17	0,0			

ANO: 1976		PRECIPITAÇÃO (mm)	VALORES ACUMULADOS		
MÊS	DIA		FREQUÊNCIAS		
			I	II	III
FEVEREIRO	18	0,0			
	19	4,0	4,0	5,0	
	20	0,0			
	21	9,0			
	22	0,1	9,8		
	23	0,5			
	24	14,0			
	25	0,5	15,0	24,8	29,8
	26	0,0			
	27	0,1			
	28	0,0	0,1		
MARÇO	01	0,0			
	02	0,0			
	03	19,3	19,3	19,4	
	04	0,9			
	05	0,0			
	06	0,7	1,6		
	07	0,0			
	08	1,1			
	09	1,0	2,1	3,7	23,1
	10	0,4			

ANO: 1976		PRECIPITAÇÃO (mm)	VALORES ACUMULADOS		
MÊS	DIA		FREQUÊNCIAS		
			I	II	III
MARÇO	11	0,2			
	12	0,0	1,6		
	13	3,7			
	14	1,5			
	15	0,8	6,0	7,6	
	16	0,3			
	17	0,2			
	18	0,5	1,0		
	19	1,1			
	20	6,9			
	21	0,2	8,2	9,2	16,8
	22	0,0			
	23	0,0			
	24	0,0			
	25	0,5			
	26	10,8			
	27	0,0	11,3	11,3	
	28	7,0			
	29	17,0			
	30	4,2	29,1		
	31	12,2			



ANO: 1976		PRECIPITAÇÃO (mm)	VALORES ACUMULADOS		
MÊS	DIA		FREQUÊNCIAS		
			I	II	III
ABRIL	01	33,0			
	02	0,0	44,2	74,3	85,6
	03	0,0			
	04	25,3			
	05	0,0	25,3		
	06	18,7			
	07	23,2			
	08	0,0	41,9	67,2	
	09	5,9			
	10	1,4			
	11	6,3	13,6		
	12	19,9			
	13	1,2			
	14	37,5	58,6	72,2	139,4

