

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

EFEITO DA FREQUÊNCIA DE IRRIGAÇÃO SOBRE A LIXIVIAÇÃO  
DE NITRATOS EM TRÊS SOLOS DO ESTADO DA PARAÍBA.

Por

✓  
José Elias da Cunha Metri

CAMPINA GRANDE - PARAÍBA

Abril - 1976

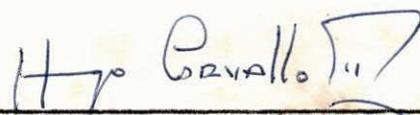
EFEITO DA FREQUÊNCIA DE IRRIGAÇÃO SOBRE A LIXIVIAÇÃO  
DE NITRATOS EM TRÊS SOLOS DO ESTADO DA PARAÍBA.

JOSÉ ELIAS DA CUNHA, METRI

TESE SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DA COORDENAÇÃO DOS PROGRAMAS  
DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DO CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLO  
GIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA COMO PARTE DOS REQUISI  
TOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS  
(M.Sc.).

Aprovado por:

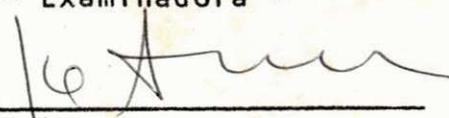
COMISSÃO



Hugo O. Carvalho Guerra  
- Presidente -



Ana Maria Vilar C. Catão  
- Examinadora -



José Vitaliano C. Filho  
- Examinador -

CAMPINA GRANDE  
ESTADO DA PARAÍBA - BRASIL  
Abril - 1976

A minha esposa e filhas

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

O autor expressa os maiores agradecimentos ao seu orientador Hugo O. Carvalho Guerra pela sua inteira dedicação a esta pesquisa e bem como, pela sua indispensável participação no desenvolvimento deste trabalho e na preparação deste manuscrito.

Obrigado aos integrantes do Centro de Ciências e Tecnologia e da Coordenação dos Cursos de Pós-Graduação e Pesquisa, principalmente aqueles que dedicaram o seu tempo participando ou ajudando, o autor, na oportunidade de realização do experimento.

Agradece ainda, aos funcionários do Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS) que souberam distintamente acatar as principais necessidades deste trabalho, ao estudante de Engenharia Civil João Motta pelas determinações das características físicas dos solos estudados, ao desenhista Windsor Ramos da Silva que elaborou as figuras e os gráficos dos resultados e a Jeconias Dantas Costa que trabalhou a parte de datilografia deste manuscrito.

Finalmente, a sua estima e o seu apreço a aqueles que lhe deram estímulo e idéias na elaboração do experimento.

## R E S U M O

O presente trabalho teve como objetivo, estudar o efeito da frequência de irrigação sob a lixiviação de nitratos em três solos do Estado da Paraíba.

O experimento foi conduzido no Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba e, os solos estudados foram obtidos nos Projetos de Irrigação e Colonização de Sumé, Engenheiro Arcoverde e de São Gonçalo, todos da 3ª Diretoria Regional do Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS). Para se determinar a lixiviação de nitratos, utilizaram-se colunas de solos inalterados de 20 cm de diâmetro e 100 cm de comprimento. Os teores de nitratos das amostras do solo e da água de drenagem, foram periodicamente analisados.

As análises dos resultados, permitem observar que, para o solo proveniente do Perímetro de Irrigação Engenheiro Arcoverde (TRATAMENTO II), a maior lixiviação de nitratos correspondeu ao subtratamento IIB (aplicação de 4cm de água a cada 7 dias). Este subtratamento apresentou o maior conteúdo médio de água ( $\bar{\theta}$ ) durante a experimentação. A evaporação de água, na superfície do solo, retardou a lixiviação de nitratos, devido a redução do conteúdo de água disponível a ser percolado e a um provável movimento ascendente de nitrato no solo.

As análises da lixiviação de  $\text{NO}_3^-$ -N do solo, do Projeto de Irrigação de São Gonçalo (TRATAMENTO III), demonstraram que as maiores lixiviações foram evidenciadas nos subtratamentos que apresentaram os maiores conteúdos médios de água ( $\bar{\theta}$ ), confirmando as conclusões estabelecidas para o Tra

tamento II.

Os resultados da lixiviação e do balanço de nitrato, obtidos com as diferentes frequências de irrigação do Tratamento II, indicaram remotas possibilidades de contaminação das águas subterrâneas.

## S U M M A R Y

The purpose of the present work was to evaluate the behavior of the mobile nitrate ion in different types of soils from the Paraíba State, receiving different frequencies of water application.

The experiment was conducted in the Center of Sciences and Technology of the Federal University of Paraíba. The studied soils were obtained from the Irrigation and Colonization Projects of Sumé, Engenheiro Arcoverde e São Gonçalo, all of the supervised by the National Department of Drought Control (DNOCS). Undisturbed soil cores 20 cm in diameter and 100 cm long, were used to study the nitrate leaching distribution. Soil and leachate samples were analyzed periodically for  $\text{NO}_3^-$ -N.

It was observed that for the Engenheiro Arcoverde soil (treatment II) the maximum leaching of nitrate was found to take place with the subtreatment IIB (4.0 cm of water weekly) which had the highest mean soil water content ( $\bar{\theta}$ ) during the whole experiment. Evaporation of water from the soil surface retarded the losses of  $\text{NO}_3^-$ -N, due probably to the reduction of water available to drain and to the possible upward movement of solute.

Similar behavior was observed in the São Gonçalo soil (treatment III). The greatest apparent leachings were found to take place with the subtreatment IIIB and IIIC (4.0 and 8.0 cm of water weekly and biweekly, respectively), on which the highest mean soil water contents were observed.

Under the management at which treatment II was submitted, the possibilities of  $\text{NO}_3^-$ -N ground water contamination were remote.

## Í N D I C E

	Pag.
I - INTRODUÇÃO	1
II - REVISÃO DA LITERATURA	
Uso de Fertilizantes e Efeito Sobre o Meio Ambiente	3
Lixiviação de Ions no Perfil do Solo	6
III - MATERIAL E MÉTODOS	
Equipamentos Experimentais	13
Tratamentos	14
Pré-tratamento	16
Procedimento	17
IV - RESULTADOS E DISCUSSÃO	
Tratamento I	20
Tratamento II	21
Tratamento III	25
Balanço do Nitrato	28
V - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	33
VI - BIBLIOGRAFIA	35
VII - APÊNDICE	39

## CAPÍTULO I

### INTRODUÇÃO

A fertilização é uma prática indispensável para se manter um nível de produtividade agrícola que atenda o consumo da população em constante aumento. Ultimamente o uso mundial de altas taxas de fertilizantes, imposto pela introdução de variedades altamente produtivas e outras avançadas práticas agrícolas, tem induzido a um aumento quase linear, na demanda dos adubos nitrogenados, esperando-se maiores acréscimos no futuro. O Brasil pretende modernizar a sua agricultura para assegurar uma produção que atenda ao mercado externo e interno. Com este objetivo, considerável importância se tem dedicado à intensificação e ao melhoramento de práticas agrícolas como a fertilização e a irrigação dos solos, principalmente nas zonas áridas e semi-áridas, localizadas no Nordeste do país.

Numerosos estudos tem demonstrado que os adubos nitrogenados são lixiviados no perfil dos solos pelas águas de percolação. Essas perdas de nitratos, abaixo das zonas das raízes, além de prejudicar a eficiência econômica da aplicação desses fertilizantes, podem contribuir consideravelmente à contaminação das águas subterrâneas. O teor da lixiviação de nitrato depende de fatores como características do solo, condições climáticas, qualidade e quantidade de água e outros. Problemas relacionados com a lixiviação de nitrato poderão ocorrer onde não se fizer uso eficiente dos fertilizantes e das águas de irrigação.

Trabalhos envolvendo adubação e irrigação, tanto no campo como no laboratório, há muito vem sendo realizados nos Estados Unidos da América e em outros países desen

volvidos. Nestes experimentos foram evidenciados os diversos fatores que atuam no processo. No Brasil, a experimentação de campo começa a ser realizada com a finalidade de se obter conclusões práticas de rápida aplicação. No entanto, para se concluir as mais úteis informações, convem levar-se em consideração o desenvolvimento de trabalhos teóricos conduzidos em laboratório.

O objetivo deste trabalho é estudar, em colunas de solo montadas em laboratório, o efeito da frequência de irrigação sob a lixiviação de nitratos no perfil de três solos do Estado da Paraíba.

## CAPÍTULO II

### REVISÃO DA LITERATURA

#### USO DE FERTILIZANTES E EFEITO SOBRE O MEIO AMBIENTE

Ecologistas têm advertido contra o uso excessivo de fertilizantes químicos no mundo - cinquenta milhões de toneladas por ano, com previsão de um consumo três vezes maior em 1980 (USDA, 1970) - que vem contribuindo à contaminação das águas subterrâneas e prejudicando a eficiência econômica de sua aplicação (c.f. Stanford et alii, 1970).

Uma aparente contaminação das águas, criada pelo movimento e redistribuição dos íons no solo depois da aplicação de fertilizantes e defensivos químicos na lavoura, tem sido reportada por vários autores (Power, 1967; Cassel, 1970; Carvallo e Cassel, 1973). Miller em 1960 afirmou que os nitratos e os fosfatos são os ânions presentes no solo que apresentam maior importância neste aspecto. Olsen et alii (1970) indicam os principais mecanismos das perdas destes elementos como:

- a) Erosão
- b) Escoamento superficial
- c) Lixiviação no perfil dos solos

Prakash (s.d) afirmou que é impossível se avaliar a lixiviação ou o escoamento superficial dos diversos íons do solo, sem se observar detalhadamente um balanço e o movimento da água no solo. Stanford et alii (1970) realizaram um balanço do nitrogênio nos Estados Unidos e determinaram que em 1930 e 1947 o uso desse elemento pelas plantas, e as perdas por erosão, lixiviação e desnitrificação foi maior que as entradas. Tais entradas seriam através de adubação, fixação simbiótica, chuvas, incorporação de cultivos e adubos or

gânicos. A prática da adubação química era então bastante pequena (0.3 e 0.7 milhões de toneladas em 1930 e 1947, respectivamente) e como as perdas por erosão e lixiviação somaram 9 e 7 milhões de toneladas, respectivamente, o empobrecimento dos solos nesses dois anos foi constante. Em 1969 as remoções foram aproximadamente iguais às entradas. A aplicação de fertilizantes, dessa vez, totalizou 6.8 milhões de toneladas e evidenciou-se uma perda por erosão e lixiviação de 5 milhões de toneladas. Isto revela que 74% dos adubos aplicados foram erodidos ou lixiviados, provavelmente contribuindo para a poluição das águas superficiais e subterrâneas.

Holt et alii (1970) indicam que o escoamento superficial proveniente das fazendas, podem contribuir apreciavelmente para a presença de fertilizantes e defensivos químicos nas águas. Eles afirmam que a solução para estes problemas, pode ser obtida através de um uso adequado e racional dos fertilizantes. Viets (1957) questiona o mal uso das leis federais ou regulamentações autorizadas, que regulam o uso das águas e dos fertilizantes químicos nos Estados Unidos. Afirma, ainda, que os nutrientes agrícolas contidos no escoamento superficial são difíceis de ser mensurados e coletados. Os agricultores, por sua vez, não dispõem de dados ou conhecimentos dos efeitos médios deste processo, a fim de que possam defender a agricultura do uso exagerado de fertilizantes químicos.

Por outro lado, vários cientistas (Smith, 1962 e Olsen et alii, 1970) reprovam a afirmação de que os fertilizantes contribuam para a poluição ambiental. Olsen et alii (1970) enfatizam que para ocorrer a contaminação dos lagos é necessário um uso excessivo de adubos e de água durante muitos anos. Eles demonstraram que a velocidade média do movimento de nitrato através do perfil de um solo Franco-Siltoso, foi de 30 a 40 cm anuais. Smith (1962) afirmou que a proporção do nitrogênio e outros íons aplicados ao solo, lixiviados ou erodidos, e que podem contribuir para a poluição do meio

ambiente, é bastante pequena quando comparada com o aumento que eles produzem na produção alimentar. Demonstra, ainda no seu trabalho, a importância dos adubos nitrogenados na formação de proteínas e no valor alimentício dos produtos de consumo infantil. (sic)

Viets (1957) indica que uma exagerada e arbitrária restrição ao uso de fertilizantes causaria um desastre nacional. Ele usou o último censo agrícola disponível (1964) para estimar o que sucederia se houvesse restrição à fertilização de algumas culturas. Ele informa que em Colorado e Iowa seriam necessários 30% mais de terras cultivadas para se produzir uma mesma quantidade de milho. No Texas necessitaria-se de 30% mais de terras, para se produzir a mesma quantidade de algodão e no Kansas 20% mais de terras para se produzir igual quantidade de trigo.

Norman Borloug, especialista em cereais e prêmio Nobel da Paz de 1970, declara que nos últimos 25 anos, as reservas mundiais de alimentos têm atingido o mais baixo nível. Antes da segunda grande guerra, países da Ásia, África e América Latina eram exportadores de cereais (11 milhões de toneladas anuais) porém, já em 1974, importaram 30 milhões de toneladas destes mesmos alimentos. Explica Borloug que nos países em que a "revolução verde" procedeu a uma reforma na estrutura técnica e legal, os resultados foram notáveis. A atual situação no mundo, afirma ele, talvez não se deva essencialmente a uma produção insuficiente, nem à explosão demográfica e, sim, a causas mais profundas como a má distribuição de terras e a criação e uso eficiente de uma tecnologia moderna nos países não desenvolvidos. (c.f. Borgès, 1975)

Com relação a países nos quais a "revolução verde" tem causado avanços notáveis, cientistas americanos têm feito a seguinte pergunta: Poderia a agricultura americana moderna continuar produzindo quantidades adequadas de alimentos sem usar fertilizantes e defensivos? Para alguns, a resposta é não e justificam: O homem não pode voltar a culti

var como fazia há 75 anos atrás sem usar agroquímicos. Se assim for feito, alguém deverá decidir quais dos 50 milhões de americanos morrerão de fome. (Potash Institute of América, 1973)

#### LIXIVIAÇÃO DE ÍONS NO PERFIL DO SOLO.

Toda água de irrigação contém sólidos dissolvidos. Quando a água é aplicada ao solo alguns sais são depositados na superfície, alguns ficam no perfil do solo e outros, juntamente com a água de percolação, passarão eventualmente para além da zona radicular (Carter e Fanning, 1953). O movimento dos íons de uma zona a outra no perfil do solo, provocado pela percolação da água, tem sido definido como lixiviação (Carvallo, 1971). O excesso de água e de solutos nela dissolvidos, que passam além da profundidade do sistema radicular, estão relacionados com a existência e o desenvolvimento das culturas e a quantidade de água aplicada (Carter e Fanning, 1953 e Hillel, 1970).

A lixiviação é uma consequência da percolação e as características do processo podem ser deduzidos da consideração do movimento da água no perfil do solo (Terry e McCants, 1968). Há muito tempo o fluxo de água através do solo vem sendo considerado como movimento de massas e descrito pela lei de Darcy. Essa descrição, no entanto, é inadequada para o movimento de transição dos solutos dissolvidos neste processo (Nielsen e Biggar, 1961). Day em 1956 adaptou a teoria estatística do movimento desordenado, desenvolvida por Scheidegger em 1954, para descrever a dispersão dos íons na água, movendo-se através de colunas de solo. Estudos semelhantes ao de Day tentaram adaptar fórmulas teóricas a tais movimentos (c.f. Biggar e Nielsen, 1962). Ainda nesse mesmo trabalho, Biggar e Nielsen indicam que a transferência de solutos através do perfil do solo, depende do grau de saturação e da taxa de movimento de água. Experimentos envolvendo esta transferên

cia demonstram que a dispersão do líquido, no perfil do solo, ocorre por distribuição microscópica de velocidade de fluxo e difusão das moléculas dos íons. A velocidade de fluxo varia de direção e magnitude devido à variação geométrica dos poros do meio e às características da solução (Aylmore e Karin, s. d.).

#### 1 - Principais Fatores que Influenciam a lixiviação de solutos.

Os principais fatores que influenciam a lixiviação de solutos através do perfil dos solos são:

Características dos solos - Bates e Tisdale (1957) estudando a influência da textura do solo sobre a lixiviação de solutos, encontraram que um alto conteúdo de argila no solo, aumenta a proporção de microporos. Como a água se movimenta mais rapidamente através dos macroporos, uma textura fina retarda a lixiviação. Posteriormente, Drover em 1963 comparou a lixiviação de certos íons em solos de diferentes texturas e reportou que todos os elementos estudados sofreram maior lixiviação em solos arenosos que em solos argilosos. Carvallo (1971) reporta que a lixiviação de íons depende da capacidade de troca de cátions e de ânions que, por sua vez, dependem também da quantidade de material argiloso presente nos solos. Para cada íon específico, o efeito de uma maior absorção retarda a lixiviação. Assim, a ação do conteúdo de argila do solo está intimamente relacionada com a porosidade e a capacidade de troca de íons.

Deformações da estrutura do solo alteram o movimento da água e dos solutos nela dissolvidos (Terry e McCants, 1968). Nielsen e Biggar em 1961 reportaram que o movimento dos solutos através do perfil dos solos é determinado, em parte, pela tortuosidade dos espaços vazios. A distribuição destes espaços depende da estrutura do solo. Cassel et alii (1974) realizaram experimentos com solos destorroados e

não destorroados e concluiu que, apesar do acréscimo da densidade provocar uma diminuição do conteúdo de umidade retido no perfil do solo deformado, os volumes de água requeridos para movimentar os solutos foram aproximadamente os mesmos para as duas condições.

A temperatura do solo, geralmente pouco considerada nos estudos de lixiviação, é um importante fator de influência na absorção de nutrientes pelas plantas e nos processos de desnitrificação e mineralização do nitrogênio do solo. Estes processos contribuem para elevar ou diminuir o teor de nitrato do solo e, portanto, para as maiores ou menores disponibilidades de perdas deste nutriente por lixiviação (Carvalho, 1971).

Concentração dos íons - Este efeito é reportado em trabalhos de Volk (1940), McIntyre et alii (1943) e Pearson (1952), quando afirmaram que a lixiviação do potássio foi maior para altas taxas de aplicação deste fertilizante. As altas taxas de aplicação de um elemento aumentam a sua concentração na solução do solo (c.f. Terry e McCants, 1968).

Natureza do material fertilizante - A solubilidade do material fertilizante é de grande importância na lixiviação dos íons da solução do solo. A escala do grau de solubilidade dos íons sujeitos a percolação na água do solo, conforme a sua maior importância, pode ser descrita como:  $\text{NO}_3 > \text{Cl} > \text{K} > \text{NH}_4 > \text{SO}_4 > \text{Mg}$  (Terry e McCants, 1968). Assim, os sulfatos não são facilmente lixiviados e estão normalmente presentes no solo, devido à aplicação dos fertilizantes e à mineralização dos componentes sulfurosos. Os fosfatos são fixados fortemente pelo solo e formam sais insolúveis com materiais orgânicos do mesmo, o que faz com que não sejam lixiviados. Os cloretos e os nitratos não são fixados pelas partículas do solo e sofrem livremente lixiviação pelas águas de percolação (Drover, 1963).

Taxa e frequência de aplicação de água - Bates e Tisdale (1957) indicam que, já em 1912, Stewart e Graves determinaram que as concentrações de íons no solo, variavam de acordo com a quan

tidade de água aplicada. Posteriormente, Keller e Alfaro (1975) afirmam que, efetivamente, o movimento de solutos no solo depende da taxa de aplicação de água. O efeito da frequência desta aplicação de água também tem sido estudado por vários cientistas (Biggar e Nielsen, 1973; Carvallo e Cassel, 1973 e Keller e Alfaro, 1965). Todos eles indicam que a frequência de irrigação controla a lixiviação, aumentando ou diminuindo as águas de percolação. Bates e Tisdale (1957) demonstraram que a adição de água a solos secos produzia uma lixiviação diferente quando aplicada a solos úmidos.

A água aplicada ao solo por meio de chuvas e xerce sobre o solo e sobre a lixiviação, os mesmos efeitos que a água aplicada por irrigação. Later e Wiley em 1895 já haviam comprovado que fortes chuvas provocaram lixiviação de nitratos e outros íons em certos tipos de solos dos Estados Unidos (c.f. Terry e McCants, 1968).

Natureza do cultivo - Drover (1963) demonstrou a influência do tipo de cultura na lixiviação de certos íons do solo. Os seus resultados evidenciaram que estas perdas estão relacionadas com a aproveitabilidade de nutrientes pelas plantas, imposta pelas suas necessidades. Os cultivos de maior exigência estão sujeitos a produzirem maiores perdas dos íons por lixiviação, porquanto requerem altas taxas de aplicação dos fertilizantes.

Evapotranspiração - Cassel (1971) indica que a falta de chuvas aumenta as necessidades hídricas dos cultivos em decorrência da intensificação da evapotranspiração. Para uma maior produtividade da planta, este processo requer maiores quantidades de água, aplicadas com frequências de irrigação mais intensas, com conseqüente aumento da lixiviação de íons do solo. Por outro lado, quando se faz um controle eficiente da aplicação de água, a evapotranspiração torna-se um controlador da quantidade e direção do movimento da solução no perfil dos solos (Sandoval e Benz, 1966; Cassel, 1971; Carvallo e Cassel 1973 e Keller e Alfaro, 1965). Griffith et alii em 1950 e 1951,

trabalhando em Uganda, encontraram durante a estação de seca acumulações de nitrato no topo dos solos. Crowther (1952) sugeriu que tal fenômeno era causado pelo movimento ascendente da solução do solo, transportando o nitrato dissolvido na água e depositando-o na superfície. Este movimento ascendente era devido à evaporação do solo e à transpiração dos cultivos (c.f. Stephens, 1962). Stephens em 1962 estudou o movimento de nitrato em parcelas de campo e concluiu que realmente, na estação de secas, existe movimento ascendente para a superfície dos solos. Quando isso ocorre, poderá dar origem a acumulações de  $\text{NO}_3$  na superfície dos terrenos. A quantidade de nitratos torna-se novamente pequena, caso sofra nova lixiviação pelas águas de irrigação ou de chuvas.

## 2 - Lixiviação de Nitratos.

Numerosos estudos têm demonstrado que o nitrato é lixiviado no perfil dos solos pelas águas de percolação. Russel já em 1913, estudou o movimento de nitratos usando colunas de solo. Após obter os resultados, desenvolveu um relatório indicando a distribuição de nitrato no perfil dos solos com diferentes quantidades de água aplicada e conteúdo de água presente no solo. Posteriormente, Russel e Richards (1920) afirmaram que a quantidade de nitrato presente na água de drenagem estava diretamente relacionada com a quantidade de chuvas intensas e outros fatores (c.f. Bates e Tisdale, 1957).

Bates e Tisdale (1957) conduziram no laboratório, estudos de lixiviação de nitratos em colunas cheias com solos de textura grossa, concluindo que é possível se prever o movimento de nitrato, com razoável grau de precisão, quando certos fatores do solo e do ambiente são conhecidos. As equações usadas em seu trabalho, estão limitadas às condições em que foram desenvolvidas e, antes que a sua aplicabilidade possa ser estendida, elas deverão ser testadas sobre uma gama maior de condições texturais e estruturais de solo. Allison (1965)

afirma que, apesar da maior parte dos estudos envolvendo lixiviação de nitratos, terem sido feitos em lisímetros, eles não são adequados para se determinar a magnitude da lixiviação em condições de campo (c.f. Bates e Tisdale, 1957).

Cassel (1970) fez experimentos nas condições naturais de campo, a fim de estudar o efeito da evaporação na lixiviação de nitratos no perfil dos solos. Em seu trabalho concluiu que existe movimento ascendente de nitrato para a superfície do solo, e que uma irrigação de 60 cm de água produziu uma significativa lixiviação deste elemento no perfil do solo. É no entanto necessário, salientou ele, que se realizem estudos além de 1,524 m de profundidade, quando o movimento de nitrato se dá mais lentamente.

Nos estudos de lixiviação de nitrato e, ainda mais, quando se trata de avaliar um balanço deste elemento no perfil do solo, é preciso considerar os fenômenos de nitrificação, desnitrificação e mineralização que modificam o teor de nitrato do solo (Stanford et alii, 1970). A desnitrificação ocorre quando o teor de umidade é alto porque essa condição favorece a um grande desenvolvimento dos microorganismos desnitrificadores (Wagner e Smith, 1957). Lewis em 1961 indicou que a desnitrificação pode ocorrer na solução do solo, apenas por algumas horas se as condições bacterioestáticas são mantidas. Afirmam que pode ocorrer diminuição de nitrato em análises, no momento em que se adiciona água ao extrato de solo (c.f. Wagner, 1965). Sandhu e Moraghan (1972) demonstraram que o nitrato é rapidamente desnitrificado sob condições anaeróbias e com o decorrer do tempo, este processo diminui gradativamente. A mineralização deverá também ser considerada no decorrer dos experimentos (Stanford et alii, 1970). Este fenômeno requer um adequado teor de oxigênio e, portanto, realiza-se principalmente em solos bem aerados (Tisdale e Nelson, 1966).

Cassel (1971) discute ainda o problema da transformação do nitrogênio da forma imóvel ( $\text{NH}_4$ ) para a for

ma móvel ( $\text{NO}_3$ ), no momento das análises deste elemento. Ele informa que o nitrogênio pode ser transformado para a forma imóvel ( $\text{NH}_4$ ) pelos microorganismos. Diz ainda que o nitrogênio imóvel na forma de amônia, sob certas condições de temperatura e umidade favoráveis à nitrificação, pode ser convertido para a forma móvel ( $\text{NO}_3$ ) e, em seguida, sofrer lixiviação pelas águas de percolação.

## CAPÍTULO III

### MATERIAL E MÉTODOS

A presente pesquisa foi conduzida no Centro de Ciências e Tecnologia (CCT) da Universidade Federal da Paraíba, em Campina Grande. As análises químicas foram efetuadas no Centro de Estudos de Solo da Secretaria de Agricultura do Estado da Paraíba, sediado no Núcleo de Ciências Agrárias do CCT (ex-Escola de Agronomia do Nordeste da UFPb) na cidade de Areia.

Com o objetivo de se estudar o efeito da frequência de irrigação na lixiviação de nitrato, utilizaram-se solos provenientes de três projetos de irrigação e colonização da 3ª Diretoria Regional do Departamento Nacional de Obras Contra as Secas, localizados todos no Estado da Paraíba. Algumas características físicas e as classificações pedológicas dos referidos solos, são apresentadas nas tabelas A, B e C do Apêndice.

#### 1 - Equipamentos Experimentais.

Para se obter as amostras de solo não deformado (in situ) usaram-se colunas de plásticos leve (PVC-Rígido) de 97 centímetros de comprimento e 20 centímetros de diâmetro externo. As colunas foram introduzidas no solo golpeando-se a sua parte superior com um martelo metálico. Nessa ocasião, teve-se o cuidado de proteger a parte superior das colunas com um disco de madeira.

A fim de simular as condições naturais de extração de água do solo pelas plantas, adaptou-se na parte inferior de cada coluna de solo uma cápsula porosa<sup>1/</sup>. Esta cápsula se encontrava comunicada através de uma tubulação de plás

tico, a um erlenmeyer que recolhia a água extraída do solo. A sucção foi produzida por uma bomba de vácuo rotativa "Primar" Modelo 161<sup>2/</sup>, submetida a uma sucção de aproximadamente 10 mm de Hg.

Para se evitar saída de água na parte inferior das colunas, colocamo-las sobre uma lâmina de borracha de 0,5 cm de espessura. A lâmina de borracha e as colunas de solo ficaram localizadas sobre uma plataforma de madeira de 20 centímetros de altura.

Com o objetivo de se determinar a distribuição de nitrato e de água no perfil dos solos, foram feitos orifícios de 1 cm de diâmetro nas colunas, às profundidades de 15, 30, 45 e 60 cm (Ver figura 1). As amostras a 5 cm de profundidade foram obtidas diretamente da superfície do solo. Todas as amostras foram obtidas com auxílio de um trado de alumínio.

## 2 - Tratamentos.

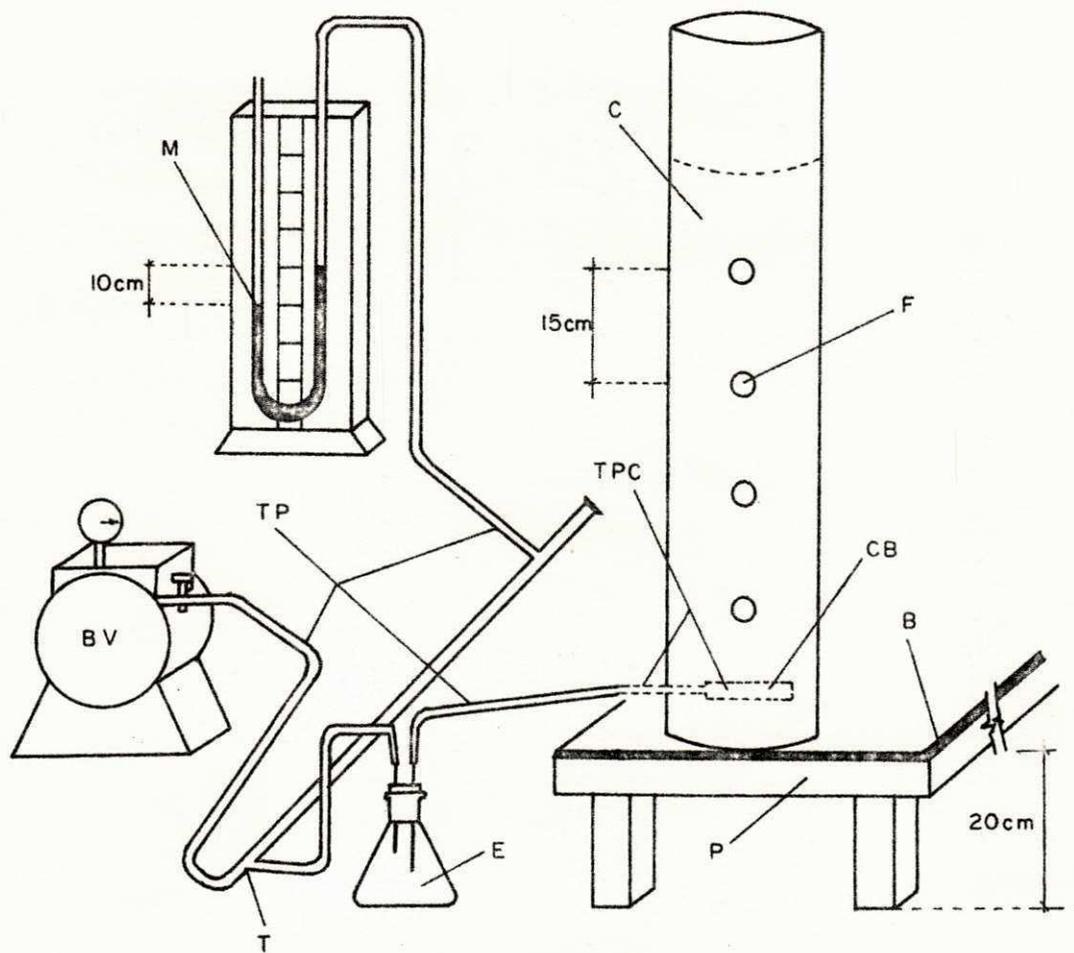
Como tratamentos, foram considerados os seguintes solos:

- I - Solo proveniente do projeto de irrigação de Sumê (Setor I) situado no sertão dos Carirís Velhos, no município de Sumê.
- II - Solo proveniente do projeto de irrigação Engenheiro Arcoverde (Perfil I) situado na área fisiográfica do sertão de Piranhas, no município de Condado.
- III - Solo proveniente do projeto de irrigação de São Gonçalo (setor de pesquisas) situado na cidade de Sousa.

---

1/ - Helens Ceramics 2552 Cottage Way, Sacramento, Califórnia, USA.

2/ - Industria Metálica "Primar" Rua Porto Seguro 296/314, São Paulo, Brasil



**LEGENDA:**

M = Manômetro de Hg

C = Coluna de Solo

F = Orifícios

P = Plataforma

E = Erlenmeyers

T P C = Tubulações de Plástico e de Cobre

B V = Bomba de Vácuo

T P = Tubulações de Plástico

C P = Cápsula Porosa

T = Tês de Cobre

B = Cobertura de Borracha

**FIGURA 1 - Equipamentos Montados no Laboratório.**

Para se avaliar o efeito da frequência de irrigação sobre a lixiviação de nitratos, testaram-se três regimes de aplicação de água (subtratamento) a saber:

- A - Aplicação de uma lâmina de 2 cm de água a cada 3,5 dias
- B - Aplicação de uma lâmina de 4 cm de água a cada 7 dias
- C - Aplicação de uma lâmina de 8 cm de água a cada 14 dias

Desta forma, todos os tratamentos receberam no final de 14 dias (duas semanas) exatamente a mesma quantidade de água.

Duas colunas de solo foram usadas para cada frequência de irrigação. As nomenclaturas designadas para cada uma delas são apresentadas na tabela 1.

TABELA 1 - Nomenclatura das colunas usadas no experimento.

SOLO	FREQUÊNCIA DE IRRIGAÇÃO					
	A		B		C	
I	IA1	IA2	IB1	IB2	IC1	IC2
II	IIA1	IIA2	IIB1	IIB2	IIC1	IIC2*
III	IIIA1	IIIA2	IIIB1	IIIB2	IIIC1	IIIC2

\* - Coluna inutilizada durante a amostragem em campo.

### 3 - Pretratamento.

A fim de dar início ao experimento sob condições de solo mais ou menos estáveis, todas as colunas receberam inicialmente 22,3 cm de água, aplicados em um período de 45 dias.

Após receberem este tratamento de água, aplicou-se a cada uma delas uma alta dose de nitrato (400 kg/ha), na forma de nitrato de potássio. Este material químico foi

dissolvido e aplicado na primeira dotação de água do experimento. Teve-se o cuidado, no entanto, de se determinar os teores iniciais de nitrato e o conteúdo de umidade no perfil dos solos, antes da aplicação do nitrato.

#### 4 - Procedimento.

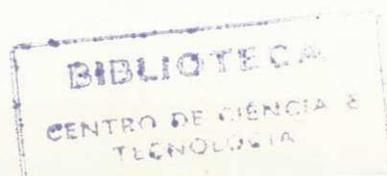
Depois de completada cada aplicação de 8cm de água a todos os tratamentos (14 dias), obtiveram-se amostras de solo para cada uma das profundidades do perfil das colunas. Para tais amostras (0,5 - 2 gramas de solo), foram determinados os conteúdos de água e o teor de nitrato. Ao mesmo tempo se coletou a drenagem obtida através das cápsulas porosas, e este material foi também submetido a análise do nitrato.

A determinação do conteúdo de água do solo foi feita gravimetricamente e expressada em relação ao solo seco. Na análise do teor de nitrato utilizou-se o método Orange I para as duas primeiras amostragens (Middleton 1957 e 1959). Posteriormente, empregou-se o método do Electrodo Específico (Øien e Selmer-Olsen, 1969; Myers e Paul, 1968 e Potterton e Schults, 1967). O método do Electrodo Específico é mais simples e mais reprodutível que o método Orange I. Nas análises do método do Electrodo Específico utilizou-se o aparelho "Corning, Model 101, Digital Electrometer" e um eletrodo específico para a determinação do 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>3/</sup>.

O procedimento para a determinação do nitrato consistiu em se adicionar 5 ml de água destilada a uma amostra

---

3/ - Technical Information - Coning Scientific Instruments  
(Midfield Massachusetes, 05052)



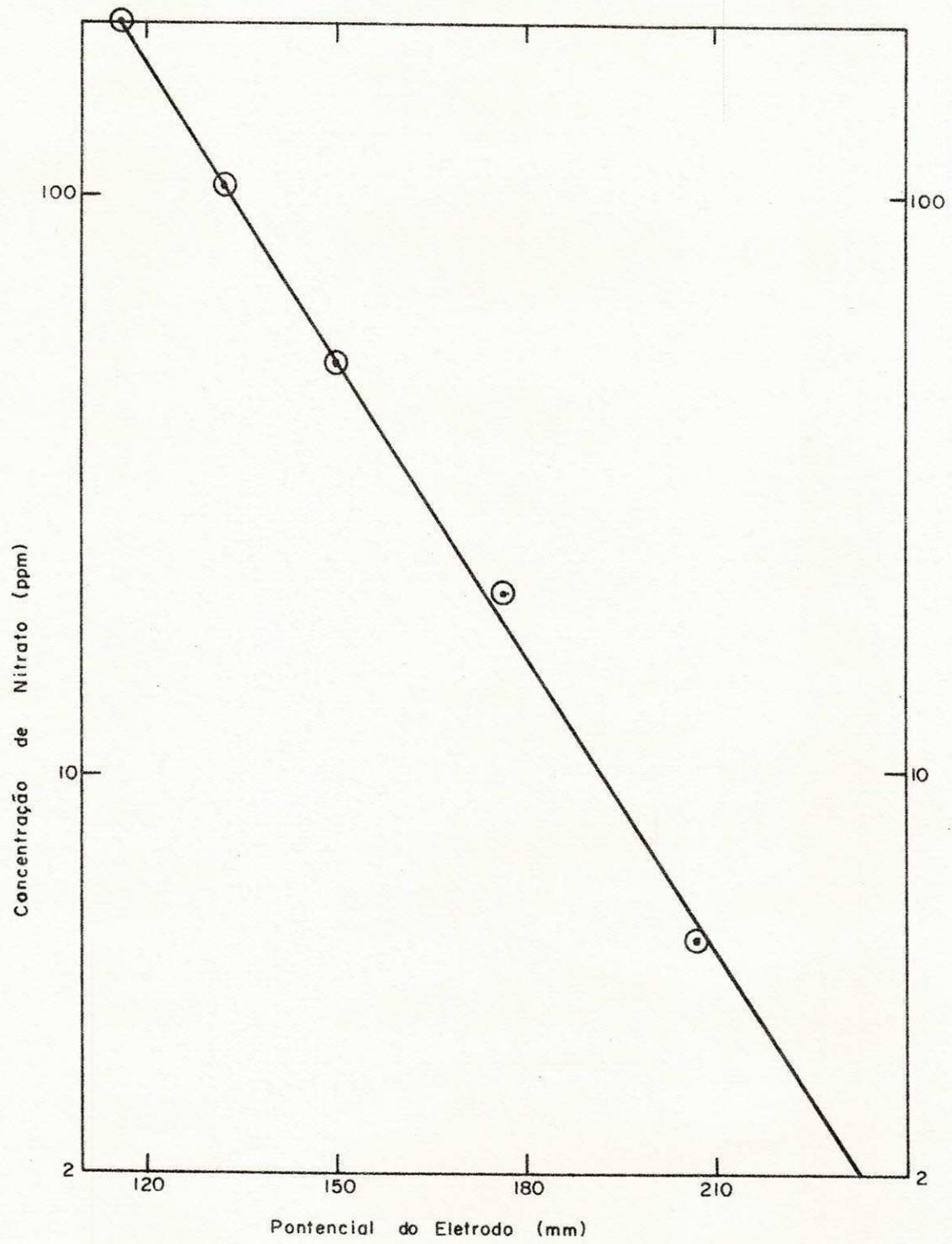


FIGURA 2 - Curva de Calibração do Eletrodo Específico.

tra de 0,5 a 2 gramas de solo e se agitar por 15 minutos. Deixou-se decantar por um período de aproximadamente meia hora, transferiu-se o sobrenadante a beakers de 50 ml e se determinou, no potenciômetro, a concentração de nitrato. Para a água de drenagem, o teor de nitrato foi determinado diretamente das amostras de água obtidas nos erlenmeyers.

A curva de calibração foi efetuada usando-se seis soluções preparadas com o reagente  $\text{KNO}_3$ , cujas concentrações continham 1, 5, 20, 50, 100, e 200 ppm de  $\text{NO}_3\text{-N}$ . Os valores medidos em milivolt foram plotados em escala milimetrada versus as concentrações de nitrato-nitrogênio plotadas em escala logarítmica. A curva de calibração assim obtida é apresentada na figura 2.

O aparelho foi calibrado antes e durante o período das análises de nitrato. Desta forma foram minimizados os erros devidos tanto às variações eletrônicas como às de experimentação.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS E DISCUSSÃO

Apresentam-se os resultados independentemente para cada um dos solos estudados, a fim de se obter uma melhor organização dos assuntos discutidos.

TRATAMENTO I - Solo proveniente do Perímetro de Irrigação e Colonização de Sumé.

Os resultados dos subtratamentos IA, IB e IC, não estão incluídos no texto devido às dificuldades experimentais surgidas durante o período de amostragem em campo e em laboratório.

No início, a falta de material adequado para a obtenção das amostras inalteradas, em condições naturais de campo, fizeram com que algumas colunas fossem danificadas, resultando amostras defeituosas. Anteriormente, indicou-se no Capítulo III (Material e Métodos) que as colunas usadas foram de canos plásticos, PVC-Rígido. O presente estudo demonstra que, para trabalhos desta natureza, as colunas de PVC não são adequadas quando o solo é muito pedregoso e apresenta um baixo conteúdo de água. O solo de Sumé possuía pedras em seu perfil (as análises granulométricas evidenciaram uma alta porcentagem de pedregulhos com diâmetro maior que 2 cm) e, no momento das amostragens, este solo estava quase seco.

Enquanto se esperava iniciar o estudo com todos os solos ao mesmo tempo, as colunas foram deixadas no laboratório, por vinte dias, sem receber aplicações de água. Neste período o solo perdeu mais umidade e sofreu retração, deixando espaços vazios entre o seu perfil e as paredes das colunas. Posteriormente as aplicações sucessivas de água ao solo, não fizeram o perfil voltar ao seu estado original, o

que provocou perdas de quase todo o nitrato agregado a superfície das colunas. Estas perdas ocorreram através dos espaços vazios, impedindo que o nitrato percolasse pelo perfil do solo. Assim, observa-se que, com a aplicação de 16 cm de água, quase todo o nitrato agregado, desapareceu das colunas. Portanto, a ocorrência de uma lixiviação como esta é praticamente impossível.

TRATAMENTO II - Solo proveniente do Perímetro de Irrigação e Colonização Engenheiro Arcoverde.

Conteúdo de água - A figura 3 apresenta os conteúdos de água ( $\text{cm}^3/\text{cm}^3$ ) no perfil do solo dos subtratamentos IIA, IIB e IIC, após a aplicação de 16, 24, 32, 48, 56 e 64 cm de água de irrigação. As análises desta figura permitem observar que, com excessão dos gráficos correspondentes à aplicação dos 32 cm, os conteúdos de água, no perfil dos diversos subtratamentos, aumentaram no decorrer do experimento. O maior conteúdo médio de água ( $\bar{\theta}$ ), durante todo o experimento, foi encontrado no subtratamento IIB, onde se usou a frequência de irrigação média (4 cm de água aplicados a cada 7 dias). O subtratamento IIA que possuía a maior frequência de irrigação, apresentou um conteúdo médio de água menor que o IIB porém maior que IIC. O conteúdo médio de água ( $\bar{\theta}$ ) foi calculado mediante integração da função definida pela curva. Pode-se explicar que o subtratamento IIC apresentou o menor conteúdo médio de água do solo, pelo fato das colunas, submetidas a irrigação menos frequentes (cada duas semanas), terem apresentado a maior parte do tempo, a superfície do solo quase seca e com um baixo potencial de água. Este gradiente de potencial eventualmente produziu um movimento ascendente de água para a superfície do solo, ao qual se seguiu uma posterior evaporação. Deve-se ainda notar que, no subtratamento IIC, a diferença de potencial de água, decresce uniformemente das camadas inferiores do perfil para a superfície do solo, demonstrando a direção do fluxo de água. Estudando-se a intensidade destes valores, verifi

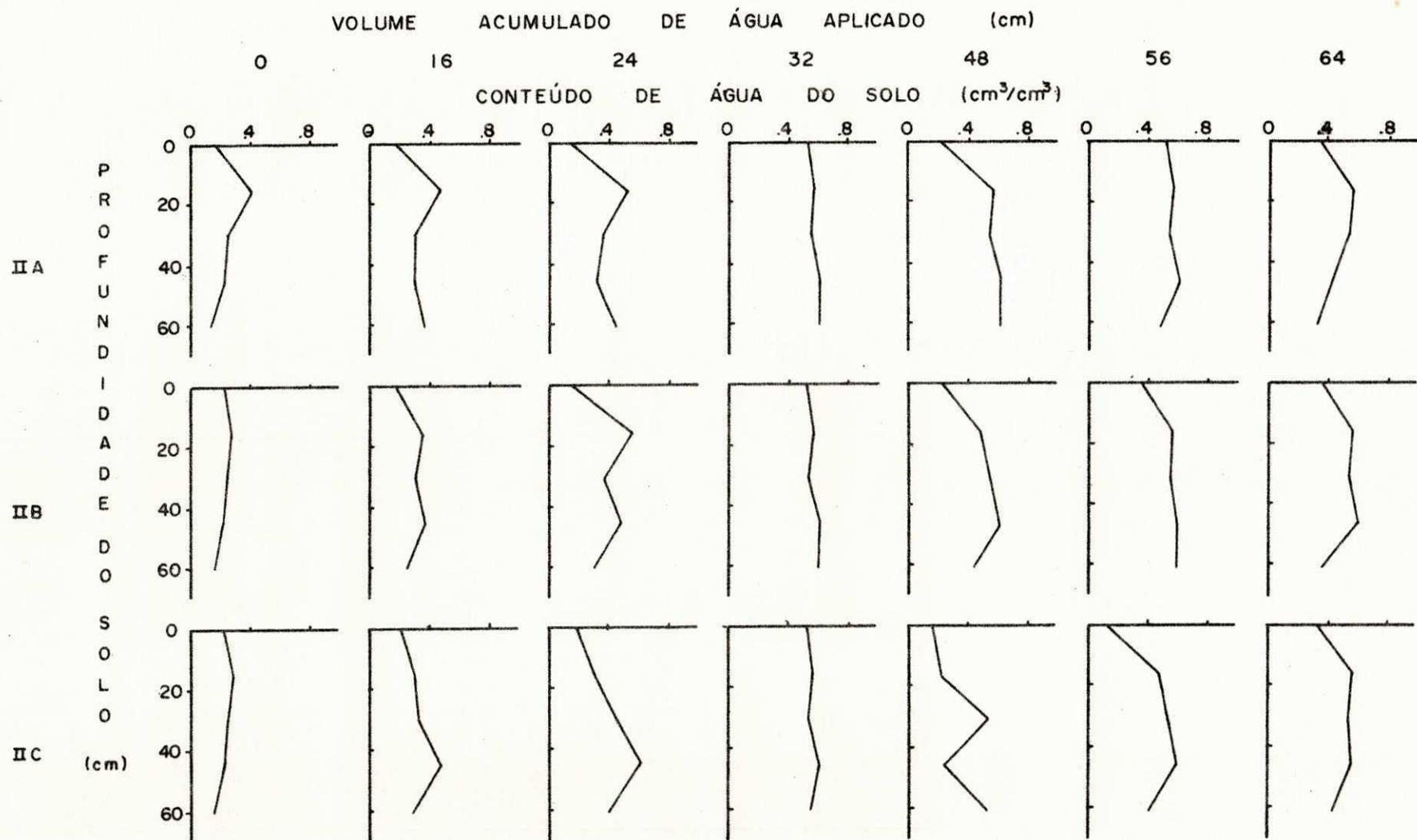


FIGURA 3 - Distribuição do conteúdo de água no perfil do solo de acordo com as quantidades de água e método de aplicação (II A, II B e II C)

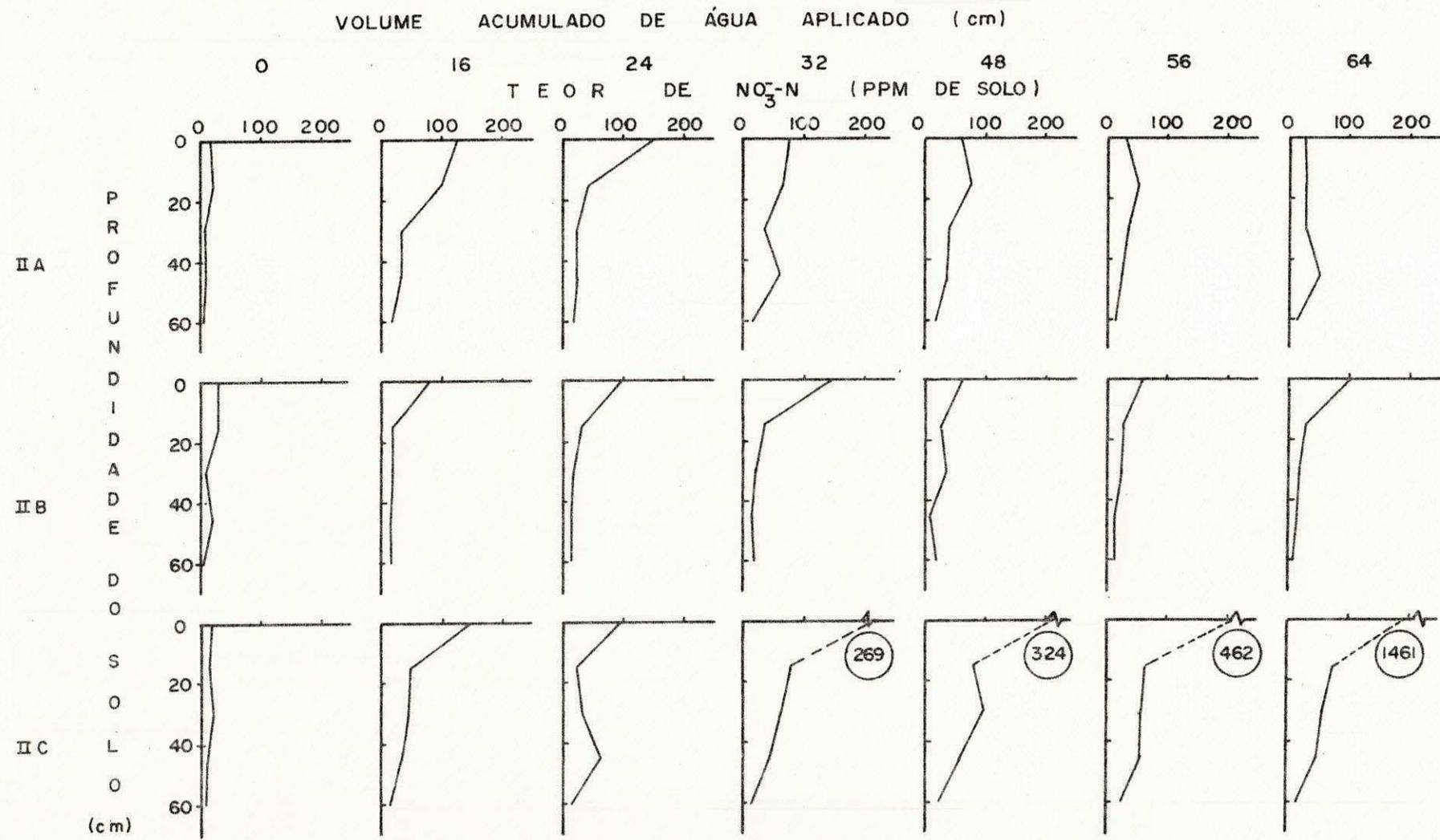


FIGURA 4 - Distribuição de nitrato no perfil do solo de acordo com as quantidades acumuladas de água e método de aplicação (II A, II B e II C). Os números situados dentro dos círculos representam um valor que ultrapassou a escala horizontal.

ca-se que esta diferença de potencial é mais grave para o subtratamento IIC que para os IIB e IIA respectivamente.

Nitrato - A figura 4 mostra a distribuição do nitrato (ppm) no perfil do solo dos subtratamentos IIA, IIB e IIC após a aplicação de 16, 24, 32, 48, 56 e 64 cm de água de irrigação.

Depois da aplicação inicial de 400 kg de nitrato por hectare, a quantidade de soluto das camadas inferiores do subtratamento IIA, começou a aumentar no decorrer das aplicações de água, demonstrando que o nitrato estava sendo lixiviado pelas águas de percolação. Após a aplicação dos 64 cm, ainda, uma pequena parte do nitrato agregado permaneceu no perfil do solo.

No subtratamento IIB, os teores de nitrato da superfície do solo, no decorrer das aplicações de água, demonstraram que a ascensão de nitrato no solo era seguida de uma lavagem deste elemento, quando se realizava uma nova dotação de água. Citações semelhantes a esta, foram feitas por Stephens (1972). Ainda neste subtratamento, após a aplicação de 48 cm de água, a concentração de  $\text{NO}_3^-$ -N que permaneceu no perfil do solo foi similar aos teores iniciais do experimento. A concentração da superfície aumentou na amostragem seguinte (aplicação dos 56 cm).

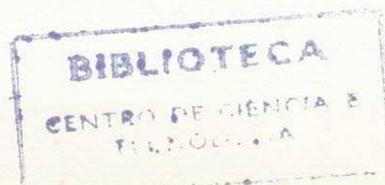
No subtratamento IIC a concentração de nitrato, perto da superfície do solo, foi diminuído até a aplicação dos 24 cm de água e, logo depois, aumentando consideravelmente após a lâmina dos 32 cm. Finalmente, com a aplicação de 64 cm de água, obteve-se, na superfície do solo, uma concentração de 1.461 ppm. Embora tenha-se verificado, neste último valor, um erro de análise, é possível se observar que o nitrato, presente no solo, continuou localizado perto da superfície do solo no decorrer das aplicações de 48 e 56 cm de água. Uma explicação desse fenômeno pode ser encontrada na análise da figura 3. Nesta figura, observa-se que as colunas do subtratamento IIC apresentaram, na maior parte do tempo, a sua superfície quase seca e as camadas inferiores do perfil

com um maior conteúdo de água. Partindo-se destas considerações, deduzem-se que houve um movimento ascendente de água, elevando o nitrato nela dissolvido. Posteriormente, a evaporação desta água depositou o nitrato na superfície do solo. Assim, o estudo demonstra que a evaporação retarda a lixiviação de nitratos, indicação já estabelecida por Cassel (1970).

TRATAMENTO III - Solo proveniente do Perímetro de Irrigação e Colonização de São Gonçalo.

Conteúdo de água - A figura 5 apresenta os conteúdos de água ( $\text{cm}^3/\text{cm}^3$ ) no perfil do solo para cada subtratamento (IIIA, IIIB e IIIC) após a aplicação de 16, 24, 32, 48, 56 e 64 cm de água de irrigação. As análises desta figura permitem observar que, após a aplicação de 32 cm de água, os perfis dos diferentes subtratamentos estiveram saturados até o final do experimento. A razão para esta ocorrência pode ser devida a duas causas: O solo de São Gonçalo, por alguma razão, apresentou o seu perfil compactado e a sua alta densidade aparente produziu obstáculo a drenagem da água. Por outro lado, é possível que uma só cápsula porosa, introduzida na parte inferior das colunas, não tenha sido suficiente para extrair a água de drenagem acumulada na base destas colunas de solo. Se duas cápsulas fossem usadas, melhor condição de drenagem teria sido estabelecida. Cassel et alii (1974) dão informação que, em seu experimento, usaram 4 cápsulas porosas, na base de colunas com 30 cm de diâmetro, para prever a drenagem da água. As dificuldades de importação desse material impossibilitou o uso de um maior número de cápsulas.

Por fim, é possível se observar que os conteúdos médios de água ( $\bar{\theta}$ ) foram aproximadamente o mesmo para os três subtratamentos. Após a aplicação dos 32 cm, os conteúdos de água, para todos os subtratamentos, permaneceram constantes devido as condições de saturação das colunas. Os conteúdos de água, neste caso, dependem da porosidade total, densidade real e densidade aparente do solo.



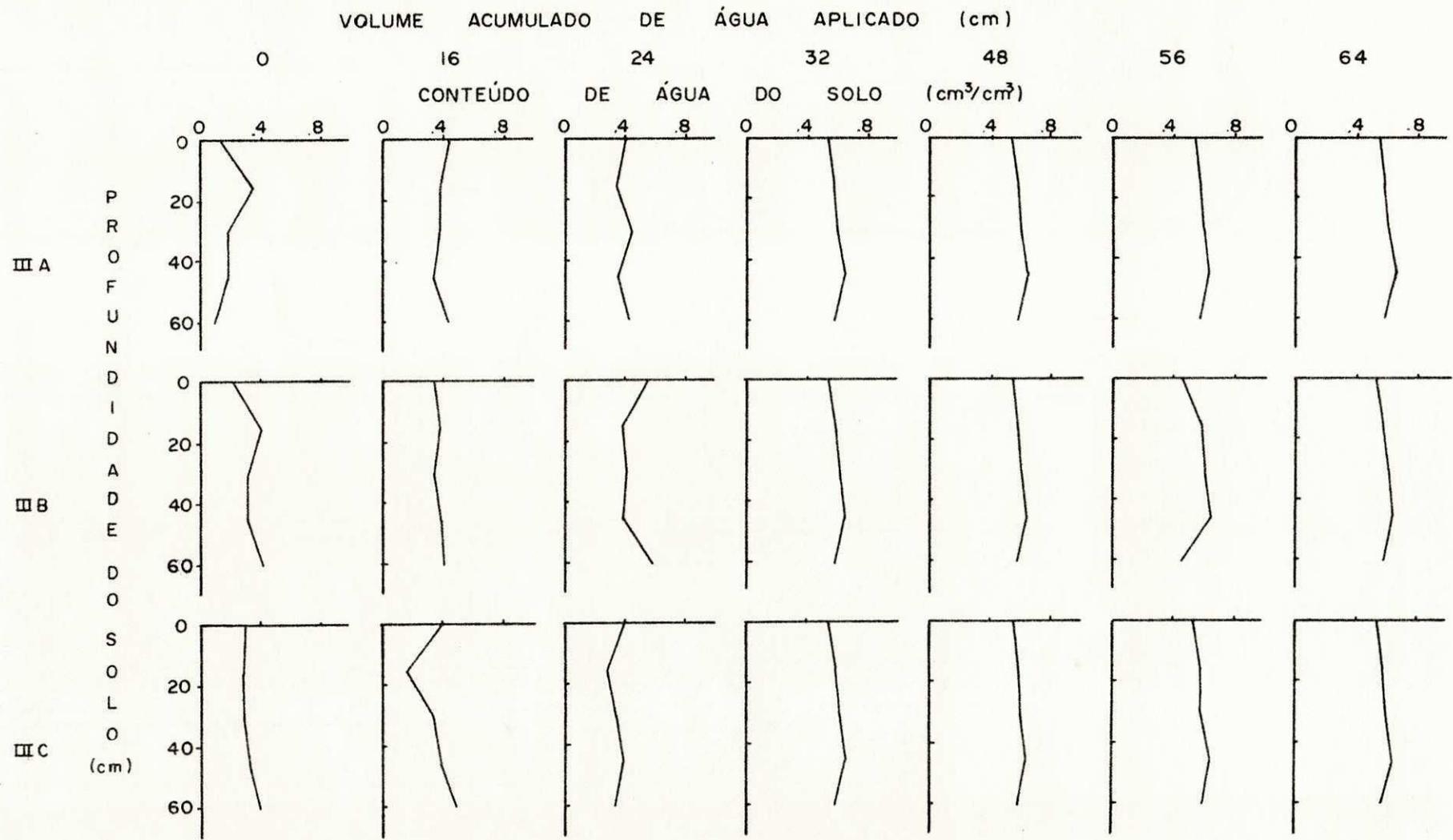


FIGURA 5 - Distribuição do conteúdo de água do perfil de acordo com as quantidades acumuladas de água e método de aplicação (III A, III B e III C).

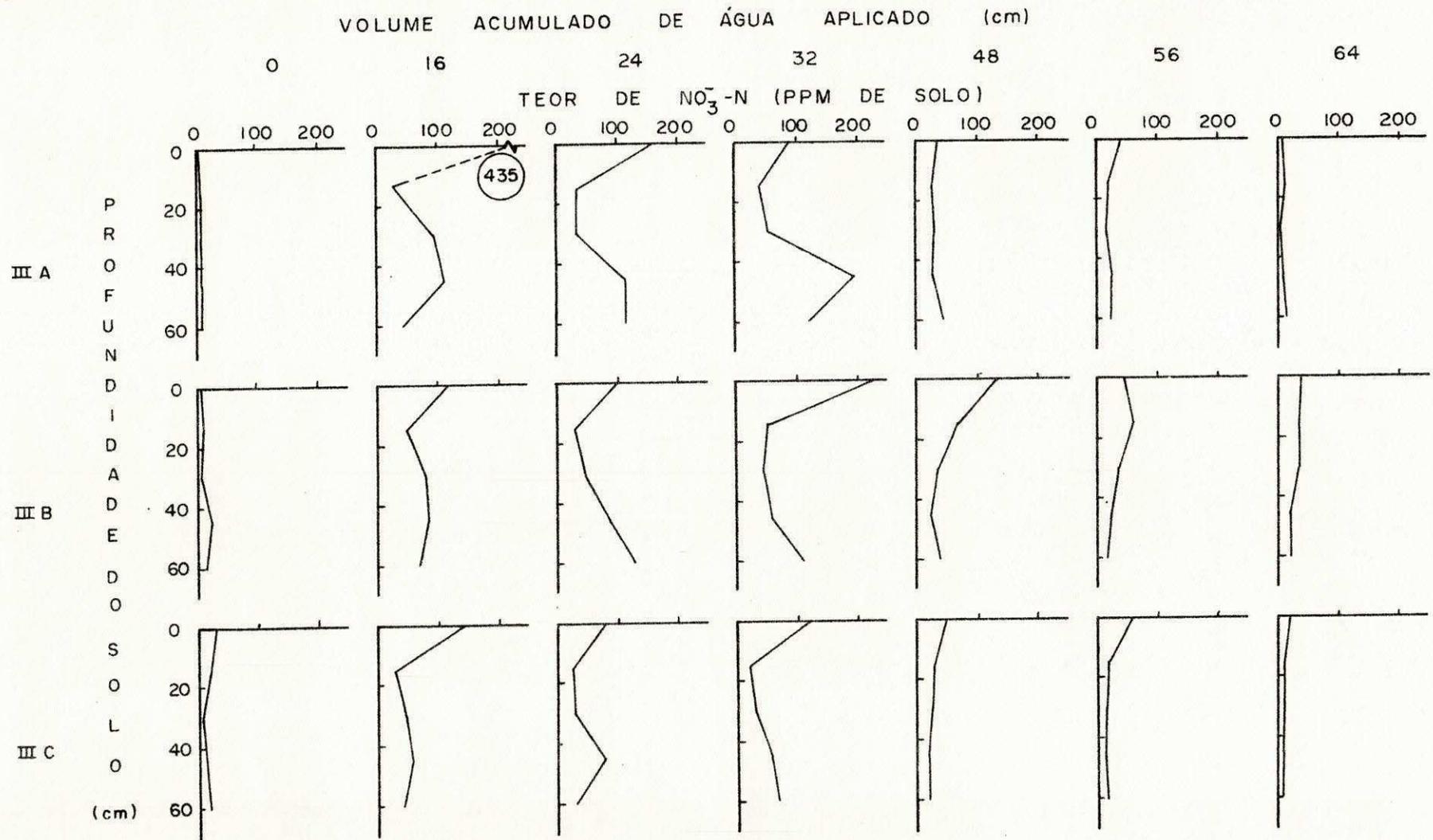


FIGURA 6 - Distribuição de nitrato no perfil de acordo com as quantidades acumuladas de água e método de aplicação (III A, III B e III C). O número situado dentro do círculo representa um valor que ultrapassou a escala horizontal.

Nitrato - A figura 6 mostra as concentrações de nitrato (ppm) no perfil do solo, para as profundidades de 0, 15, 30, 45 e 60 cm, dos subtratamentos IIIA, IIIB e IIIC. Estes gráficos dão informações dos teores de nitrato iniciais e após a aplicação de 16, 24, 32, 48, 56 e 64 cm de água de irrigação.

Como foi explicado anteriormente, todos os subtratamentos, do solo do perímetro de São Gonçalo, apresentaram os seus perfis saturados, após a aplicação dos 32 cm, e uma lâmina de água, de aproximadamente 4 cm, manteve-se constante sobre a superfície do solo. Desta forma, o efeito de qualquer frequência de irrigação não modificava a lixiviação dos subtratamentos. Portanto, após a aplicação dos 64 cm, todos os subtratamentos lixiviaram aproximadamente a mesma quantidade de nitratos. As diferentes frequências de irrigação, testadas neste experimento, não apresentaram muita diferença em seus efeitos.

Com o intuito de informar o grau de lixiviação de cada uma das frequências de irrigação, considerou-se o experimento até a aplicação dos 24 centímetros de água. Através desta consideração, deduz-se que os subtratamentos que lixiviaram maior quantidade de nitratos foram IIIB e IIIC respectivamente. Neste período considerado, as frequências de irrigação, usadas nesses dois subtratamentos, mantiveram os maiores conteúdos médios de água ( $\bar{\theta}$ ) no perfil das colunas. Ainda que esses resultados tenham pouco valor, devido o seu curto período experimental, eles indicam as mesmas informações discutidas no tratamento II. Tais analogias, no comportamento da lixiviação de nitratos, já eram esperadas devido as similaridades físicas dos solos estudados.

**BALANÇO DO NITRATO** - Quando se faz referência ao comportamento do nitrato, deve-se considerar muitos fatores relacionados com este elemento no solo. Até agora, se assumiu que todo o nitrato, desaparecido no perfil do solo, foi decorrente do efeito da percolação da água. Na realidade, não é possível

atribuir todas as perdas de  $\text{NO}_3^-$ -N, no perfil do solo, a lixiviação. Isto porque, não se sabe exatamente quais os rumos tomados pelo nitrato durante a experimentação.

Foi mencionado (Brand et alii, 1964; Stanfor et alii, 1970 e outros) que o nitrogênio do solo pode sofrer muitas transformações envolvendo compostos orgânicos, inorgânicos e voláteis. A ocorrência da maior parte destas transformações químicas é dependente da microbiologia do solo. Assim, a quantidade de  $\text{NO}_3^-$ -N, presente no solo, pode aumentar por nitrificação ( $\text{NH}_4^+ \rightarrow \text{NO}_3^-$ ) e mineralização da matéria orgânica e, pode decrecer através da imobilização (N- inorgânico  $\rightarrow$  N - orgânico) e desnitrificação ( $\text{NO}_3^- \rightarrow \text{N}_2 + \text{N}_2\text{O}$ ). Ainda mais, o nitrato é usado pelas plantas e microorganismos, o que faz diminuir o teor deste elemento no solo. Neste trabalho, despreza-se o consumo de nitratos pelas plantas, porque não se usou cultivos dentro do experimento.

Sabe-se que a desnitrificação é um processo anaeróbico mesmo que apreciáveis perdas de nitrogênio possam ocorrer em solos bem aerados (Brand et alii, 1964). No presente estudo, a desnitrificação ocorreu em ambos tratamentos (II e III). O tratamento III manteve sempre o perfil do solo saturado, durante a maior parte do experimento. Alto conteúdo de água, condições anaeróbicas e altas temperaturas provavelmente produziram um meio favorável para os microorganismos reduzirem o  $\text{NO}_3^-$  à  $\text{NO}_2^-$  e  $\text{N}_2$ . Se isto realmente ocorreu, justifica-se os baixos valores de nitratos determinados neste último tratamento.

Como anteriormente foi demonstrado, os teores de nitrato foram avaliados através de amostragens direta nas colunas de solo e dos excessos de drenagem da água recolhidos em Erlenmeyers. Quando se pretende obter informações dos rumos tomados pelo nitrato, dentro do perfil do solo, deve-se instalar, nas colunas, tubos finos nas profundidades a serem estudadas. Através dos gases coletados nesses tubos, pode-se

analisar as amostras gasosas e, os teores de  $N_2O$  determinados. No entanto, a falta de material adequado à instalação destes instrumentos impediu a apreciação da desnitrificação do processo.

Utilizando-se os resultados dos teores de nitrato, do perfil das colunas de solo, e as drenagens recolhidas nos Erlenmeyers, foi possível estimar um balanço para os subtratamentos IIA, IIB e IIC. Os resultados obtidos neste balanço são apresentados na Tabela 2.

TABELA 2 - Balanço do Nitrato para o Tratamento II

SUBTRAT.	(1) $NO_3^-$ -N Inicial g	(2) $NO_3^-$ -N Aplicado g	(3) $NO_3^-$ -N Final g	(4) $\Delta NO_3^-$ -N (1+2)-3 g	(5) $NO_3^-$ -N Lixiviado g	(6) $NO_3^-$ -N Outras perdas (g)
IIA	.331	1.257	1.188	.400	.125	.275
IIB	.594	1.257	.749	1.120	.338	.774
IIC	.566	1.257	3.101	-1.278	.019	-1.259

A aplicação de nitrato (2) foi igual para todos os subtratamentos. O conteúdo de nitrato, no perfil do solo, foi calculado mediante integração da função definida pela curva dos gráficos anteriormente apresentados (Figura 4). Os valores iniciais de nitrato (1) resultaram das concentrações de  $NO_3^-$ -N, no perfil do solo, antes da aplicação de 400 kg/ha do nitrato de potássio e, os teores finais (3) foram obtidos das observações após a aplicação de 64 cm de água de irrigação. As diferenças das lixiviações de  $NO_3^-$ -N (5), recolhidas nos Erlenmeyers, com os valores da coluna 4, deste balanço, foram atribuídas como "outras perdas" (6) deste elemento no solo. Estas perdas ou ganhos de nitrato são identificadas como mineralização, nitrificação, desnitrificação e imobilização.

ção

As análises dos valores obtidos na tabela 2, demonstram exatamente o que já foi discutido na figura 4. A maior lixiviação obteve-se no subtratamento IIB, cuja frequência de irrigação manteve o maior conteúdo médio de água ( $\bar{\theta}$ ) durante o experimento.

Na coluna 6 do balanço do Nitrato, observa-se que os valores positivos, dos subtratamentos IIB e IIA, indicam perdas de nitrato no solo. Como a lixiviação do  $\text{NO}_3^-$ -N foi a única perda deste elemento, determinada no desenvolvimento do trabalho, é impossível se afirmar que estas "outras perdas" decorreram de erros de análises, ou se realmente representam os teores desnitrificados e imobilizados nos subtratamentos IIA e IIB. A determinação desses gases, durante a experimentação, responderia a esta indagação.

Por outro lado, no subtratamento IIC o valor das "outras perdas" é negativo, indicando que houve ganho deste elemento no solo. Como foi anteriormente explicado, as camadas superiores do perfil do solo, deste subtratamento, estiveram secas na maior parte do período experimental. Isto deverá ter concorrido para a nitrificação do nitrogênio orgânico do solo. Não se dispõe de suficientes dados para se explicar o alto teor de  $\text{NO}_3^-$ -N nitrificado.

Considerando-se que a aplicação de nitrato foi excessivamente alta (400 kg/ha) e que o solo era arenoso, os valores da lixiviação nos subtratamentos IIA e IIC, estão situados abaixo dos limites da contaminação das águas subterrâneas do Departamento de Saúde dos Estados Unidos. Portanto, o balanço de nitrato, estabelecido neste trabalho, indica que os teores de  $\text{NO}_3^-$ -N lixiviados, nestes dois subtratamentos, foram insignificantes para a poluição das águas (sic).

No subtratamento IIB, a lixiviação de nitratos foi aproximadamente 26%. Este alto valor deverá aumentar consideravelmente o teor de nitrato das águas subterrâneas. Como o estudo não faz referência a lixiviação abaixo de 75 cm

de profundidade do solo, não é possível se afirmar que todo este nitrato alcançará o lençol freático das camadas subterrâneas.

Deve-se considerar, ainda, que a lixiviação de nitratos em solos cultivados, deverá ser menor que a lixiviação em solos não cultivados. Cincoenta a oitenta por cento do nitrato aplicado ao solo é aproveitado pelas plantas (Potash Institute of America, 1973).

ção das águas subterrâneas (sic).

- 5 - Recomenda-se, para estudos como este, o uso de colunas mais resistentes (Ex.: Aço Galvanizado) para se obter a mostras inalteradas de solo, em condições naturais de campo. Esta recomendação deve ser observada principalmente em solos pedregosos e com baixo conteúdo de água.
- 6 - Para se lograr uma melhor drenagem artificial, recomenda-se o uso de um adequado sistema de sucção na base das colunas. No presuposto uso de cápsulas porosas, recomenda-se mais de uma destas cápsulas, em colunas cujo diâmetro sejam semelhantes, ao da coluna usada neste trabalho. Desta forma, evita-se as condições de saturação, especialmente em solos pesados. Duas cápsulas porosas proporcionam provavelmente uma adequada condição de drenagem.
- 7 - Futuros estudos, relacionados com o movimento de nitratos e afetados por diferentes regimes de irrigação, deverão incluir informações detalhadas das fontes de nitrato e os rumos tomados por este elemento no solo. Recomenda-se, para novos experimentos, o uso de idêntico solos e frequências de irrigação. Porém, deve-se determinar as transformações microbiológicas do nitrogenio, através de equipamentos adequados.

## CAPÍTULO V

### CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Do presente trabalho podem-se extrair as seguintes conclusões e recomendações:

- 1 - Para o solo proveniente do Perímetro de Irrigação Engenheiro Arcoverde (TRATAMENTO II), a maior lixiviação de nitratos ocorreu no subtratamento IIB (aplicar 4 cm de água semanalmente) que apresentou o maior conteúdo médio de água ( $\bar{\theta}$ ) durante o experimento. A máxima lixiviação de nitratos, provavelmente, deve-se as maiores quantidades de água disponível a serem percoladas. Este comportamento do  $\text{NO}_3^-$ -N, foi confirmado mediante a avaliação do balanço do nitrogênio no solo.
- 2 - A evaporação da água na superfície do solo, retardou a lixiviação de nitratos. Isto se deveu a redução do conteúdo de água sujeito a percolação e a um provável movimento ascendente de nitratos para a superfície do solo.
- 3 - Análise da lixiviação, do solo do Perímetro de Irrigação de São Gonçalo (TRATAMENTO III), demonstraram que, durante o período inicial do experimento, as maiores lixiviações evidenciaram-se nos subtratamentos que apresentaram os maiores conteúdos médios de água ( $\bar{\theta}$ ), confirmando as conclusões estabelecidas para o solo do Tratamento II.
- 4 - Os resultados da lixiviação e do balanço de nitrato, obtidos com as diferentes frequências de irrigação do Tratamento II, indicaram remotas possibilidades de contamina

ção das águas subterrâneas (sic).

- 5 - Recomenda-se, para estudos como este, o uso de colunas mais resistentes (Ex.: Aço Galvanizado) para se obter a mostras inalteradas de solo, em condições naturais de campo. Esta recomendação deve ser observada principalmente em solos pedregosos e com baixo conteúdo de água.
- 6 - Para se lograr uma melhor drenagem artificial, recomenda-se o uso de um adequado sistema de sucção na base das colunas. No presuposto uso de cápsulas porosas, recomenda-se mais de uma destas cápsulas, em colunas cujo diâmetro sejam semelhantes, ao da coluna usada neste trabalho. Desta forma, evita-se as condições de saturação, especialmente em solos pesados. Duas cápsulas porosas proporcionarão provavelmente uma adequada condição de drenagem.
- 7 - Futuros estudos, relacionados com o movimento de nitratos e afetados por diferentes regimes de irrigação, deverão incluir informações detalhadas das fontes de nitrato e os rumos tomados por este elemento no solo. Recomenda-se, para novos experimentos, o uso de idêntico solos e frequências de irrigação. Porém, deve-se determinar as transformações microbiológicas do nitrogenio, através de equipamentos adequados.

## B I B L I O G R A F I A

- Aylmore, L.A. & Karin. (s.d.). Leaching of fertilizer ions in soil columns. Department of Soil Science and Plant Nutrition. University Western Australia. 143-152.
- Bates, Thomas E. & Samuelsen L. Tisdale. 1957. The movement of nitrate-nitrogen through columns of coarse-textured soil materials. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 21:495-498.
- Biggar, J.W. & D.R. Nielsen. 1962. Miscible displacement. II Behavior of tracers. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 26:125-128.
- 
- \_\_\_\_\_. 1963. Miscible displacement. V. Exchange Processes. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 27:623-627.
- Borges, Pompeu A. 1975. Conferências e debates no Rio de Janeiro. Jornal Opinião. 11:9.
- Brandt, G.H. et alii. 1964. Nitrogen transformation in soil as related to structure, moisture, and oxygen diffusion rate. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 28:71-75.
- Carvallo, Hugo O. 1971. Effect of cover and irrigation frequency upon nitrate and chloride behavior in undisturbed columns of hecla, fine sandy loam. Published Masters Thesis, Soils Dept. North Dakota State University.
- Carvallo, Hugo O. & D.K. Cassel. 1973. The effect of surface cover and irrigation frequency upon nitrate and chloride behavior in sandy soils. Agricultural Experiment Station. North Dakota State University. Research Report nº 46.
- Cassel, D.K. 1970. Solute movement in soil. I. leaching of nitrate in irrigated follow soil. North Dakota Farm Research. 28:15-18.
- Cassel D.K. et alii. 1971. Soil nitrogen movement. North Dakota Farm Research. 28:49-52.
- Cassel D.K. et alii. 1974. Solute movement through disturbed and undisturbed soil cores. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 38:36-40.

- Drover, D.P. 1963. Losses of nitrogen and other soil constituents from two soils in filled-in lysimeters. Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry. 3:105-113.
- Hillel, Daniel. 1970. Solo e água. Fenômenos e princípios físicos. Departamento de Solos da Universidade do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 114-129.
- Holt, Robert F. et alii. 1970. Accumulation of phosphates in water. Agr. Food Chem. 18:781-784.
- Keller, Jack & José Alfaro. 1965. Effect of water application rate on leaching. Utah State University Soil Science. 102:107-114.
- Middleton, K.R. Colorimetric determination of nitrate in water as Orange I. Chemistry and industry. 1147-1148. August 1957.
- Middleton, K.R. 1959. The use of the Orange I method for determining soil nitrates and comparison with the phenoldisulfonic acid method for certain soil of Northern Nigeria. J. Sci. Fd. Agric. 10:218-224.
- Miller, David E. 1960. Effect of profile stratification and other factors on water infiltration. Dissertation Abstract. 20:2461.
- Myers, R.J.K. & E.A. Paul. 1968. Nitrate ion electrode method for soil nitrate-nitrogen determination. Department of Soil Science, University of Saskatchewan. 48:369-391.
- Nielsen, D.R. & J.W. Biggar. 1961. Miscible displacement in soils. I. Experimental Information. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 25:1-5.
- Øien, A. & A.R. Selmer-Olsen. 1969. Nitrate determination in soil extracts with the nitrate electrode. Soil Sci. Am. Proc. 94:888-894.
- Olsen, R.J. et alii. 1970. Fertilizer Nitrogen and Crop Rotation in Relation to Movement of Nitrogen Through Soil Profiles. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 34:448-452.

- Potterton, Suann S.S. & W.D. Schuts. 1967. An evaluation of the performance of the nitrate-selective electrode. *Analytical Letters*. 1:1-6.
- Power, J.F. 1967. Leaching of nitrate-nitrogen under dryland agriculture in the northern great plains. Relationship of Agriculture to Soil and Water Pollution. Cornell University, Ithaca N.Y.
- Potash Institute of America. 1973. Facts From our Enviroment.
- Prakash, Mathew. (s.d.). How much to fertilizers contribute to enviromental polution? (Not Published).
- Sandhu, M.S. & J.T. Moraghan. 1972. Influence of three chemicals on soil biological activity. *Comm. in Soil Sci. and Plant Analysis*. 3:439-443.
- Smith, G.E. 1962. How much is agriculture to blame? Polution problems. *Agricultural Nitrogen News*. 32-40.
- Sandoval, F.M. and L.Z. Benz. 1966. Effect of bare fallow, barley and grass on salinity of a soil over a saline water table. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 30:392-396.
- Stanford, G. et alii. 1970. Fertilizer use and water quality. Agricultural Research Service, United State Department of Agriculture, 41-169.
- Stephens, D. 1962. Upward movement of nitrate in a bare soil in Uganda. *Journal of Soil Science*. 13:53-59.
- Terry, D.L. & C.B. McCants. 1968. The leaching of ions in soils. North Caroline Agricultural Experiment Station Tech. Bul. n<sup>o</sup> 184.
- Tisdale, Samuelson L. & Werner L. Nelson. 1966. Soil fertility and fertilizers. The McMillan Company / Collier-McMillan Limited. London. Second Edition, pp. 126.
- U.S.D.A. United State Department of Agriculture. 1970. Agriculture and the enviroment. Agricultural Research Service. Information Division, Washington, DC.
- Viets Jr. Frank C. 1957. Soil use and water quality. A look into the future. *J. Agr. Food Chem.* 18:789-792.

Wagner, George H. 1965. Changes in nitrate-N in filled plot profiles as measured by porous cup technique. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 100:397-402.

Wagner, G.H. & G.E. Smith. 1957. Nitrogen losses from soils fertilized with different carriers. University of Missouri Soil Science. 85:105-109.

APÉNDICE

TABELA A

CLASSIFICAÇÃO PEDOLÓGICA E ALGUMAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DO SOLO I (Perímetro de Sumê)

Classificação Pedológica - Associação de: BRUNO NÃO CÁLCICO fase pedregosa caatinga hiperxerófila relevo suave ondulado e SOLOS LITÓLICOS EUTRÓFICOS com A fraco textura arenosa e/ou média fase pedregosa e rochosa caatinga hiperxerófila relevo ondulado gnaisse e granito.

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	UNID.	PERFIL DO SOLO (PROFUNDIDADES)				
		0-15	15-30	30-45	45-60	60-75
Densidade aparente	g/cm <sup>3</sup>	1.7	1.46	1.5	1.73	1.59
Densidade Real	g/cm <sup>3</sup>	2.45	2.37	2.36	2.54	2.54
Porosidade	-	.27	.39	.36	.32	.38
Pedregulho	%	1	4	4	3	6
Areia Grossa	%	21	24	30	24	24
Areia Fina	%	51	42	42	49	44
Areia	%	72	66	72	73	68
Silte	%	10	12	8	9	11
Argila	%	18	22	20	18	21
TEXTURA	-	FA	FAA	FAA	FA	FAA

Obs.: AREIA = Areia grossa + Areia fina

POROSIDADE =  $1 - D_a/D_r$

FAA - Textura Franco Argilo Arenosa

FA - Textura Franco Arenosa

TABELA B

CLASSIFICAÇÃO PEDOLÓGICA E ALGUMAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DO SOLO II (Perímetro Engenheiro Arcoverde)

Classificação Pedológica - Associação de: BRUNO NÃO CÁLCICO v<sub>er</sub>tico fase pedregosa pedregosa caatinga hiperxerófila relevo suave ondulado e SOLOS LITÓLICOS EUTRÓFICOS com A fraco textura arenosa e/ou média fase pedregosa e rochosa caatinga hiperxerófila relevo suave ondulado substrato gnaisse e granito e BRUNO NÃO CÁLCICO fase pedregosa caatinga hiperxerófila relevo suave ondulado.

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	UNID.	PERFIL DO SOLO (PROFUNDIDADE)				
		0-15	15-30	30-45	45-60	60-75
Densidade Aparente	g/cm <sup>3</sup>	1.33	1.68	1.60	1.56	1.57
Densidade Real	g/cm <sup>3</sup>	2.19	2.50	2.42	2.57	2.56
Porosidade	-	.39	.33	.34	.39	.39
Pedregulho	%	2	3	2	9	14
Areia Grossa	%	28	28	23	61	70
Areia Fina	%	49	52	47	23	10
Areia	%	77	80	70	84	80
Silte	%	9	6	14	5	1
Argila	%	14	14	16	11	19
Textura	-	FA	FA	FA	AF	FA

Obs.: AREIA = Areia grossa + Areia fina

POROSIDADE =  $1 - D_a/D_r$

FA - Textura Franco Arenosa

AF - Textura Areia Franca

TABELA C

CLASSIFICAÇÃO PEDOLÓGICA E ALGUMAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DO SOLO III (Perímetro de São Gonçalo).

Classificação Pedológica - Associação de: VERTISOL fase caatinga hiperxerófila relevo plano e SOLONETZ SOLODIZADO textura indiscriminada fase caatinga hiperxerófila relevo plano e SOLOS LITÓLICOS EUTRÓFICOS com Afraco textura indiscriminada fase pedregosa e rochosa caatinga hiperxerófila relevo plano e suave ondulado substrato arenenito e folheto e SOLOS ALUVIAIS EUTRÓFICOS textura indiscriminada fase caatinga hiperxerófila relevo plano.

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	UNID.	PERFIL DO SOLO (PROFUNDIDADE)				
		0-15	15-30	30-45	45-60	60-75
Densidade Aparente	g/cm <sup>3</sup>	1.45	1.51	1.45	1.33	1.56
Densidade Real	g/cm <sup>3</sup>	2.35	2.48	2.55	2.59	2.55
Porosidade	-	.38	.39	.43	.49	.39
Pedregulho	%	2	2	-	-	-
Areia Grossa	%	28	29	26	22	6
Areia Fina	%	49	52	60	54	60
Areia	%	77	81	86	76	66
Silte	%	9	6	5	10	14
Argila	%	14	13	9	14	20
Textura	-	FA	FA	AF	FA	FAA

Obs.: AREI = Areia grossa + Areia fina

POROSIDADE =  $1 - D_a/D_r$

FAA - Textura Franco Argilo Arenosa

AF - Textura Areia

FA - Textura Franco Arenoso

Franca