

EFEITO DA IRRIGAÇÃO COM ÁGUA SALINA E DA  
LÂMINA DE LIXIVIAÇÃO NA SALINIZAÇÃO DO  
SOLO E NA PRODUÇÃO DO FEIJÃO  
*(Phaseolus vulgaris L.)*

SEGUNDO TOMAS VILLA  
Engenheiro Agrônomo

Orientador: Prof.Dr. DECIO EUGENIO CRUCIANI

Dissertação apresentada à Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", da Universidade de São Paulo, para a obtenção do título de Mestre em Irrigação e Drenagem.

PIRACICABA  
Estado de São Paulo - Brasil  
Junho - 1989

EFEITO DA IRRIGAÇÃO COM ÁGUA SALINA E DA  
LÂMINA DE LIXIVIAÇÃO NA SALINIZAÇÃO DO  
SOLO E NA PRODUÇÃO DO FEIJÃO  
(*Phaseolus vulgaris* L.)

SEGUNDO TOMAS VILLA

Aprovado em: 03.07.1989

Comissão julgadora:

Prof. Dr. Decio Eugenio Cruciani	ESALQ/USP
Prof. Dr. Nilson Augusto Villa Nova	ESALQ/USP
Prof. Dr. Toshiaki Kinjo	ESALQ/USP



Prof. Dr. DECIO EUGENIO CRUCIANI  
Orientador

A minha querida Família, pelo  
valoroso apoio recebido duran-  
te estes anos,

**DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

Ao Professor DECIO CRUCIANI, pela orientação e conhecimentos recebidos.

Aos Professores HUMBERTO DE CAMPOS e NILSON VILLA NOVA, pela inestimável ajuda e amizade.

Aos Professores do CPG de Irrigação e Drenagem, pelos conhecimentos adquiridos.

A Heloisa Cabrini e Maria Villagra, pela grande ajuda recebida para a concretização do trabalho e sincera amizade.

Aos companheiros de curso, pelos momentos compartilhados durante estes anos.

Ao CONSEJO PROFESIONAL DE AGRIMENSORES E INGENIEROS DE JUJUY, pela ajuda econômica recebida.

A CAPES, pela concessão da bolsa de estudos.

Ao GOBIERNO DE LA PROVINCIA DE JUJUY, pela possibilidade de realizar este curso.

ÍNDICE

	Página
RESUMO.....	xi
SUMMARY .....	xiv
1. INTRODUÇÃO .....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA .....	4
2.1. Classificação da água de irrigação ....	5
2.2. Salinidade da água de irrigação .....	7
2.2.1. Efeito sobre o solo .....	7
2.2.1.1. Acúmulo de sais no solo	7
2.2.1.2. Lixiviação de sais ....	14
2.2.2. Efeito sobre a cultura .....	19
3. MATERIAL E MÉTODOS .....	25
3.1. Local, clima e solo .....	25
3.2. Determinação dos parâmetros do solo ...	26
3.2.1. Análise física .....	26
3.2.2. Curva de retenção de água dispo- nível .....	26
3.3. Água de irrigação .....	27
3.3.1. Origem .....	27
3.3.2. Salinização da água de irrigação	28
3.4. Instalação do experimento .....	29
3.4.1. Construção das parcelas .....	29
3.4.2. Instrumentos .....	31
3.4.2.1. Tensiômetros .....	31
3.4.2.2. Extratores de solução..	34

	Página
3.4.3. Manejo de irrigação .....	35
3.4.3.1. Controle e aplicação da água de irrigação..	37
3.5. Delineamento experimental .....	37
3.6. Cultura .....	38
3.6.1. Delineamento experimental .....	39
3.7. Coleta de dados e análises estatísti- cas .....	39
3.7.1. Dados coletados .....	39
3.7.2. Parâmetros analisados .....	40
3.7.2.1. Solo .....	40
3.7.2.2. Cultura .....	41
3.7.3. Análises estatísticas efetuadas	42
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	43
4.1. Efeito da salinidade sobre o solo ....	43
4.1.1. Efeito dos tratamentos.....	43
4.1.2. Efeito das épocas de amostra- gens no solo .....	46
4.1.3. Efeito das profundidades no per- fil do solo .....	49
4.1.4. Efeito das interações duplas...	50
4.1.4.1. Efeito da interação das épocas de amostra- gens com as profundida- des .....	50

	Página
4.1.4.2. Efeito da interação dos tratamentos com as épocas de amostragens do solo .....	57
4.1.4.3. Efeito da interação das épocas de amostragens com os tratamentos .....	58
4.1.5. Efeito das interações triplas.	60
4.1.5.1. Efeito da interação das épocas de amostragens com os tratamentos para a primeira profundidade .....	60
4.1.5.2. Efeito da interação das épocas de amostragens com os tratamentos para a segunda profundidade .....	63
4.1.5.3. Efeito da interação das épocas de amostragens com os tratamentos para a terceira profundidade .....	65
4.2. Efeito da lâmina de lixiviação na salinização do solo .....	66

	Página
4.3. Efeito da salinidade sobre a cultura..	68
5. CONCLUSÕES .....	72
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	74
APÊNDICE .....	85

LISTA DE TABELAS

	Página
1 - Granulometria, classe textural e densidade global .....	26
2 - Análise química da água comum, $C_1$ ; $C_2$ e $C_3$	28
3 - Proporção dos sais por litro de água comum	29
4 - Quadrado médio (Q.M.) relativo a tratamentos, amostragens e profundidades, com os respectivos coeficientes de variação (C.V.).....	44
5 - Valores médios da condutividade elétrica do extrato de saturação para tratamentos, profundidades e amostragens, expressos em milimhos/cm a $25^{\circ}\text{C}$ .....	45
6 - Determinação do gradiente total de água no solo e sentido do fluxo, nos tensiômetros instalados a 15 ( $T_{15}$ ), 45 ( $T_{45}$ ) e 75 ( $T_{75}$ ) cm de profundidade entre duas irrigações consecutivas.....	56
7 - Valores médios da condutividade elétrica do extrato de saturação em função dos tratamentos e épocas de amostragens, expressados em milimhos/cm a $25^{\circ}\text{C}$ .....	57
8 - Relação entre a condutividade elétrica do extrato de saturação esperados e observados .....	66

9 - Valores médios de altura das plantas no início da floração (AIF), produção total de grãos (PTG), número total de grãos (NTG) , número de grãos por vagem (NGV), número de vagem por planta (NVP), peso médio dos grãos (PMG) e porcentagem de queda da produção ( $\Delta P$ ).....	69
---	----

LISTA DE FIGURAS

	Página
1 - Curva característica da água no solo .....	30
2 - Colocação do filme plástico .....	31
3 - Parcelas com cobertura plástica .....	32
4 - Parcelas com tensiômetros e extratores de solução .....	32
5 - Esquema do extrator de solução .....	34
6 - Visão geral do experimento .....	35
7 - Relação entre a condutividade elétrica do extrato de saturação (C.E.e.) e a condutivi- dade elétrica de água de irrigação (C.E.iw).	47
8 - Relação entre a condutividade elétrica do extrato de saturação (C.E.e.) com as amos- tragens. ....	48
9 - Relação entre a condutividade elétrica do extrato de saturação (C.E.e.) com as profun- didades no perfil do solo. ....	51
10 - Relação da condutividade elétrica do extrato de saturação (C.E.e.) com a interação das amostragens com as profundidades.....	53
11 - Variação do perfil de umidade entre duas ir- rigações consecutivas .....	55
12 - Relação da condutividade elétrica do extrato de saturação (C.E.e.) com a interação dos tratamentos com as amostragens.....	59

13 - Relação da condutividade elétrica do extrato de saturação (C.E.e.) com a interação das amostragens com os tratamentos.....	61
14 - Relação da condutividade elétrica do extrato de saturação (C.E.e.) com a interação das amostragens com os tratamentos para a primeira profundidade.....	62
15 - Relação da condutividade elétrica do extrato de saturação (C.E.e.) com a interação das amostragens com os tratamentos para a segunda profundidade.....	64

EFEITO DA IRRIGAÇÃO COM ÁGUA SALINA E DA  
LÂMINA DE LIXIVIAÇÃO NA SALINIZAÇÃO DO  
SOLO E NA PRODUÇÃO DO FEIJÃO

*(Phaseolus vulgaris L.)*

Autor: SEGUNDO TOMAS VILLA

Orientador: Prof. Dr. DECIO EUGENIO CRUCIANI

RESUMO

Na área experimental do Departamento de Engenharia Rural da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", no Município de Piracicaba, S.P., estudaram-se os efeitos da qualidade da água de irrigação e da lâmina de lixiviação na salinização do solo e na produção de feijão (Phaseolus vulgaris L.) .

O experimento foi conduzido em dezoito parcelas de 2,0 m de largura e 2,5 m de comprimento, em solo de Terra Roxa Estruturada (Oxic Paleudalf). Nas parcelas foram instalados tensiômetros e extratores de solução do solo, tendo sido cada uma isolada das vizinhas através de um lençol plástico colocado até um metro de profundidade para evitar contaminação dos sais de uma para outra.

Os tratamentos foram definidos pela aplicação da água de irrigação com três concentrações salinas  $C_1$ ,  $C_2$  e  $C_3$  de condutividade elétrica respectivamente de

750, 1500 e 2250 micromhos/cm ( $\text{dS/m} \times 10^{-3}$ ) a  $25^{\circ}\text{C}$ . Para isso foi preparada uma mistura dos sais solúveis bicarbonato de sódio, cloreto de cálcio e cloreto de magnésio na proporção de 470, 1140 e 1840 mg da mistura em um litro de água comum.

O controle da irrigação foi feita pelo tensiômetro instalado a 15 cm de profundidade, e as parcelas foram irrigadas quando o potencial matricial atingiu  $-0,5$  atm. A lâmina de irrigação foi composta pela demanda da cultura mais a lâmina de lixiviação calculada para cada tratamento. Por ocasião das precipitações as parcelas foram protegidas por uma cobertura plástica.

Para conhecer a variação da concentração dos sais solúveis no perfil do solo, tanto espacial como temporal, foram realizadas amostragens da solução do solo nos intervalos de profundidades de 0-15, 15-30 e 30-60 cm, no início do experimento, antes e após a floração e na época da colheita.

A análise estatística experimental foi inteiramente casualizada com parcelas sub-subdivididas com três tratamentos e seis repetições.

Os resultados obtidos mostraram um aumento da salinidade no perfil do solo de forma proporcional aos

crecentes níveis de concentração salina da água de irrigação. O acúmulo de sais no perfil foi maior na primeira camada estudada, onde a condutividade elétrica do extrato de saturação ao final do experimento passou de um valor inicial médio de 0,187 mmhos/cm para respectivamente 0,544 ; 0,822 e 1,115 mmhos/cm para as águas C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub> e C<sub>3</sub>. Analogamente, na segunda camada, a salinidade aumentou de 0,149 mmhos/cm para 0,191; 0,318 e 0,424 mmhos/cm e na terceira camada aumentou de 0,125 mmhos/cm para 0,130; 0,157 e 0,170 mmhos/cm sempre para as três qualidades da água de irrigação.

Em relação à cultura os resultados mostraram que os parâmetros de produção e altura das plantas medida no início da floração, não foram afetados de maneira significativa pelas diferentes concentrações salinas da água de irrigação.

As lâminas de lixiviação sempre foram calculadas, para cada tratamento, em função da tolerância da cultura e da qualidade da água aplicada. Elas se mostraram eficientes ao impedir prejuízos na produção. Por outro lado elas impediram que a salinidade no perfil atingisse níveis iguais aos das águas de irrigação.

EFFECT OF THE IRRIGATION AND LEACHING REQUIREMENTS  
WITH SALINE WATER ON THE SALIZATION OF THE SOIL  
AND ON THE PRODUCTION OF BEANS

*(Phaseolus vulgaris L.)*

Candidat: SEGUNDO TOMAS VILLA

Adviser: Prof.Dr. DECIO EUGENIO CRUCIANI

SUMMARY

At the experimental field of the Department of Rural Engeneering, at ESALQ (Piracicaba, SP) a work was set to quantify the effects of irrigation water quality and leachings on soil salinization and beans yield.

The experiment was carried on 18 plots of 2,0 m x 2,5 m size on soil classified as Terra Roxa Estruturada (Oxic Paleudalf). Tensiometers and soil water extractor were installed in each plot that was isolated from neighboring plots by a plastic sheet 1 m deep to avoid salt contamination from each other.

Treatments were defined by salt concentration of water  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$  of respectively 750, 1500 and 2250 mmhos/cm (dS/m), 25°C prepared by a composed solution of  $\text{NaHCO}_3$ ,  $\text{CaCl}_2$  and  $\text{MgCl}_2$ . Each water concentration had respectively 470, 1140 and 1840 mg of salt per litre of tap water.

Irrigation control was done by the selected tensiometer at 15 cm depth and the plots were irrigated when matric potential reached - 0,5 bar.

The irrigation depth included the water crop requirement plus the leaching fraction calculated for each treatment. To avoid rain influence the plots were covered by a removable plastic sheet.

To check the spatial and time variability of salt concentration through soil profile, samples of soil solution were extracted from soil layers at 0-15 , 15-30 and 30-60 cm depth, at the beginning of the experiment, just before and after flowering and at harvesting.

Statistical set was completely randomized with sub-subdivided plots, three treatments and six replications.

Results showed an increasing salinity in the soil profile proportional to the increasing concentration in the irrigation water. Increments of salt were greater in the first soil layer where the electric conductivity of soil saturated extract (E.C.e) increased from 0,187 mmhos/cm to 0,544; 0,822 and 1,115 mmhos/cm for the irrigation water  $C_1$ ,  $C_2$  and  $C_3$  respectively similarly, at the second soil layer the E.C.e increased from 0,149 to

0,191; 0,318 and 0,424 mmhos/cm, for the same treatment and at the deeper layer the growth of salt concentration was from 0,125 to 0,130; 0,157 and 0,170 mmhos/cm respectively.

Crop yield and plants height responses to the treatments were statistically not significant.

Leaching requirements were always calculated for each treatment by the relationship between salt water content and crop tolerance level. They were efficient to avoid crop yield reduction. On the other hand they allowed an increase of salt concentration in the soil profile at levels always below the irrigation water concentration.

## 1. INTRODUÇÃO

O contínuo crescimento demográfico tem feito com que o homem se preocupasse cada vez mais em aumentar a produção de alimentos, através de novas técnicas agronômicas, visando a um maior rendimento por área.

Para a maximização da produtividade o manejo eficiente da irrigação vem sobressaindo como uma das técnicas mais importantes na agricultura mundial, sendo praticada em larga escala, principalmente em zonas áridas e semi-áridas e, em menor grau, em regiões semi-úmidas, onde vem atuando como um meio suplementar.

Os benefícios advindos do uso da irrigação como recurso indispensável ao desenvolvimento agrícola e sócio-econômico daquelas regiões, são evidentes; atualmente, mais da metade da população mundial depende de alimentos que são produzidos somente em decorrência da prática da irrigação. Entretanto, a qualidade da água para uso na irrigação pode ser um fator limitante de produtividade nas culturas irrigadas, principalmente quando ela é caracterizada pela concentração de sais solúveis. Neste sentido,

as águas salinas têm acarretado sérios problemas pela salinização e alterações das propriedades físico-químicas dos solos, além de atingir níveis prejudiciais às plantas.

O estudo da salinização dos solos é, pois, uma questão de relevada importância, que necessita de respostas concretas que busquem a descoberta de novas formas de se contornar o problema - haja visto que, no mundo, existem  $954.832 \times 10^6$  ha de solos afetados pelos sais, sendo que destes,  $129.163 \times 10^6$  ha (13,5%) pertencem a América do Sul (SZABOLCS, 1986).

Os sais que se encontram dissolvidos na água de irrigação e que contribuem para tornar o solo gradativamente salino são constituídos basicamente por cátions de cálcio, magnésio e sódio e dos ânions cloreto, sulfato, bicarbonato e, algumas vezes, carbonatos.

Embora seja de grande interesse o conhecimento do conteúdo e composição de sais na água de irrigação, é necessário levarmos em consideração que tal concentração e composição podem variar na solução do solo resultante, segundo as condições climáticas, propriedades físico-químicas do solo e facilidade de drenagem.

Tais parâmetros implicam no fato de que as tentativas de classificação das água de irrigação não podem ser feitas de uma forma isolada, mas levando-se em con-

ta os possíveis efeitos de sua aplicação na permeabilidade do solo e na produtividade da cultura. O manejo da irrigação sempre deve considerar a tolerância da planta.

Em regiões áridas e semi-áridas, com elevadas taxas de evapotranspiração, os sais introduzidos pela água de irrigação tendem a aumentar sua concentração na solução do solo, diminuindo a absorção da água pelas plantas e, conseqüentemente, promovendo uma diminuição na produção, sendo então necessário aplicar água em excesso para propiciar sua lixiviação.

Portanto, o manejo da irrigação com a aplicação de uma lâmina de lixiviação, associada a um sistema de drenagem eficiente é imprescindível para permitir um bom desenvolvimento da cultura e controle da salinização do solo.

Com base nas considerações acima referidas foram definidos os objetivos do presente trabalho, como sendo quantificar os efeitos da salinidade da água de irrigação e da lâmina de lixiviação na salinização do solo e na produção de feijoeiro (Phaseolus vulgaris L.).

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. Classificação da água de irrigação

WILCOX (1948), apresentou um diagrama de classificação com cinco classes de água para irrigação baseado na condutividade elétrica em milimhos/cm a 25<sup>0</sup>C, concentração de sais em meq/l e porcentagem de sódio.

THORNE & THORNE (1951) em forma de diagrama estabeleceram dezenove classes de água com base na condutividade elétrica e porcentagem de sódio. Posteriormente o U.S. SALINITY LABORATORY (1954) apresentou um diagrama semilogarítmico de classificação com base na condutividade elétrica e na relação da adsorção de sódio, estabelecendo dezesseis classes de água.

DONEEN (1954) sugeriu um esquema de classificação baseado no termo "salinidade efetiva", definida como a salinidade total exceto carbonatos e bicarbonatos de cálcio e magnésio e sulfato de cálcio. Pois esses sais em solução tem solubilidade relativamente baixa e precipitam no solo quando suas concentrações alcançam os limites

de solubilidade. Na classificação considerou três classes de água combinando a salinidade efetiva em meq/l e condições de drenagem do solo.

Wilcox<sup>1</sup>, em 1958, citado por CHRISTINIENSEN et alii (1977), considerou quatro fatores que afetam a qualidade da água para irrigação: salinidade, sódio, boro e carbonato de sódio, onde os limites da condutividade elétrica são os mesmos que a classificação do U.S.S.L.(1954), mas diferem em relação ao perigo de sódio.

WILCOX & DURUM (1967), afirmam que a concentração total de sais é, provavelmente o mais importante critério para avaliar a qualidade da água de irrigação.

RHOADES (1972) afirma que a qualidade da água tem que ser avaliada com base em critérios indicativos de seu potencial para produzir no solo condições perigosas para o crescimento das culturas e que a classificação deve ser feita em condições específicas onde será usada, incluindo a cultura, propriedades do solo, manejo de irrigação, práticas culturais e clima.

A avaliação da qualidade deve ser feita le-

---

<sup>1</sup>WILCOX, L.V. Water quality from the stand point of irrigation. Journal of the american waterworks association . 1958 (5).

vando-se em conta seus efeitos no solo e cultura, os quais são afetados diferentemente pelos distintos tipos sais dissolvidos na água, afirma AYERS (1977). Com base nestas considerações apresentou uma classificação com quatro grandes grupos de problemas: salinidade, permeabilidade, toxicidade específica e problemas variados.

Segundo CHRISTIANSEN et alii(1977) na classificação da água para irrigação devem ser considerados sete fatores que afetam a qualidade: condutividade elétrica, porcentagem de sódio, relação de adsorção de sódio, salinidade efetiva e concentrações de carbonato de sódio, cloreto e boro.

SHAINBERG & OSTER (1978) afirmam que a qualidade da água de irrigação é determinada pela concentração total de sais solúveis, concentração de sódio em relação a outros cátions, concentração de ânions, especialmente carbonatos e bicarbonatos e concentração de boro e outros elementos tóxicos para o crescimento das plantas.

A relação entre as propriedades físico-químicas da água de irrigação e do solo, é um parâmetro importante na avaliação da adaptabilidade da água para irrigação, afirma FRENKEL (1984).

AYERS & WESCOT (1985) introduziram modifi-

cações na classificação feita por AYERS (1977), afirmando que no problema de permeabilidade, a sodicidade calculada através da fórmula de relação de adsorção de sódio ajustada (SAR adj.) superestima o perigo do sódio em relação ao cálcio e magnésio; assim sugerem uma nova forma de se determinar o valor do cálcio em função da relação  $\text{HCO}_3/\text{Ca}$  e da salinidade da água de irrigação. Desta forma se consegue avaliar melhor os problemas potenciais da água na infiltração. Mencionam, também, os efeitos de traços de elementos pesados da água de irrigação, os quais são fixados e acumulados no solo, alcançando concentrações que podem exceder os requerimentos das plantas, contaminando o solo.

## 2.2. Salinidade da água de irrigação

### 2.2.1. Efeito sobre o solo

#### 2.2.1.1. Acúmulo de sais no solo.

NIELSEN & BIGGAR (1961) estudando o deslocamento dos sais em colunas de solo com diferentes texturas em condições saturada e insaturada, constataram que na mistura da água com a solução do solo o deslocamento dos sais foi mais eficiente sob condições de fluxo não saturada, e que a distribuição dos sais no solo depende do fluxo nos microporos, da adsorção e da taxa de difusão.

Estudando em colunas de solo os efeitos dos

gradientes de concentração de sais (0,0 a 2% de NaCl e  $\text{CaCl}_2$ ) na evaporação da superfície do solo, QAYYUM & KEMPER (1962) verificaram que a maior evaporação ocorreu em solos com baixo nível de sais em relação ao controle, e em solos com elevado conteúdo de sais formou-se uma crosta branca produzindo a menor taxa de evaporação.

RHOADES (1972) afirma que a água de irrigação pode conter de 0,1 a 4 toneladas de sais por mil metros cúbicos; geralmente são aplicados no solo, anualmente, de 10 a 15 metros cúbicos por hectare, podendo ser adicionados de 1 a 60 toneladas/ano de sais.

SHALHEVET & YARON (1973) estudando a distribuição dos sais no solo plantado com tomate irrigado com água salina, constataram que a maior acumulação de sais estava concentrada na camada superior. Segundo os autores, esta distribuição dos sais era esperada devido ao curto período de irrigação durante o ciclo da cultura.

Irrigando laranja durante oito anos com águas com condutividade elétrica de 0,5; 1,3 e 2,5 milimhos/cm, BINGHAM et alii (1974) verificaram para cada classe de água que o máximo acúmulo de sais solúveis foi na zona radicular (2,5; 4,5 e 5,8 milimhos/cm) e que para a profundidade de três metros sua quantidade diminuiu (1,2; 2 e 2 milimhos/cm).

Segundo RAATS (1975) a distribuição dos sais na zona radicular depende do método, da frequência e da quantidade de irrigação; da evaporação na superfície do solo e da água absorvida pela cultura. Por outro lado, verificou que a variação da tensão dos tensiômetros instalados na zona radicular podem dar como resultado um fluxo da água no solo em sentido ascendente ou descendente.

BLIESNER et alii (1977) irrigando alfafa com três qualidades de água salina (0,98; 2,22 e 2,80 milimhos/cm) para estudar a distribuição dos sais no perfil do solo, constataram maior aumento da salinidade na zona radicular em função dos tratamentos e época de amostragem; e em camadas mais profundas a concentração salina foi semelhante para todos os tratamentos e época de extração da solução do solo, em consequência da precipitação dos sais.

Pesquisando o movimento de sais em lisímetros plantados com trigo, usando água salina com 2200, 3900 e 7100 micromhos/cm de condutividade elétrica, JURY et alii (1977) verificaram maior concentração de sais nos primeiros 20 cm de profundidade e que a extração de água pela cultura não altera o movimento de água e sais, mas o conteúdo e concentração podem ser grandemente afetados.

FRENKEL et alii (1978) afirmam que a quantidade e distribuição de sais precipitadas na zona radicu-

lar dependem da composição da água de irrigação, da fração de lixiviação e da distribuição de  $\text{CO}_2$ . Elevados valores de condutividade elétrica estão associados com concentrações de sódio e cloreto altamente solúveis.

JURY et alii (1978) estudando a acumulação de sais em lisímetros com rotações de trigo e sorgo irrigados com água salina, constataram maior concentração de sais na camada superior e em maiores profundidades é relativamente constante, por causa da uniformidade do potencial de água na zona radicular.

Estudando o transporte de solutos em colunas de solo de diferentes texturas e conteúdo iniciais de umidade, DAHIYA et alii (1980) observaram que havia maior concentração salina nos primeiros 17 cm de profundidade, independente das condições de fluxo e tipo de solo. Resultados semelhantes foram encontrados por EVANS & LEVIN (1969); DAHIYA & ABROL (1974) e WILD & BABIKER (1976).

YADAV & GIRDHAR (1980) irrigando trigo com água de 20 e 80 meq/l de concentração eletrolítica, em dois tipos de solos, constataram aumento da salinidade do solo com o incremento da concentração da água de irrigação, sendo de maior magnitude no solo argiloso. Observaram, também, maior acumulação de sais na camada superficial nos dois solos.

FRANCOIS (1981) pesquisando em casa de vegetação a distribuição dos sais no perfil do solo irrigado com água de condutividade elétrica de 1 milimhos/cm, durante o ciclo da cultura de alfafa, verificou um aumento da salinidade com a profundidade, e que para uma mesma profundidade não houve grandes variações da concentração salina.

Irrigando arroz com água possuindo 2000, 4000, 6000 e 8000 ppm de sais, OLIVEIRA (1983) verificou que o acúmulo de sais solúveis no solo aumentou em função das crescentes salinidades da água de irrigação. Observou, também, maior concentração de sais nos primeiros 15 cm superficiais, atribuindo estes resultados devido a maior evapotranspiração e volume radicular nessa camada.

Em regiões irrigadas a salinização natural dos solos pode ocorrer devido ao lençol pouco profundo e do movimento ascendente de água e sais por evaporação e secamento da superfície do solo (BIGGAR et alii, 1984).

KUMAR & OSWAL (1984) estudando a dinâmica dos sais em colunas de solo a diferentes profundidades durante seis irrigações com água salina, constataram aumento da salinidade com a profundidade em função do número de irrigações. Observaram, também, que nas duas primeiras irrigações houve maior acúmulo de sais na camada superior, uniformizando-se na terceira aplicação; posteriormente ob-

servou-se que a maior concentração salina ocorreu nas camadas inferiores, atribuindo-se estes resultados a presença dos fluxos ascendente e descendente, sendo que este último teve maior predominância na distribuição dos sais.

Segundo OSTER et alii (1984) a distribuição dos sais na zona radicular é influenciada pelo "padrão" de extração de água da cultura. Irrigando festuca (Tall fescue) e alfafa com água salina de 4 milimhos/cm de condutividade elétrica e 20% de lâmina de lixiviação, constataram que maior extração ocorreu, aproximadamente a 120 e 60 cm de profundidade para alfafa e festuca, respectivamente. Para festuca a maior acumulação de sais foi acima da mencionada profundidade.

Os principais efeitos da salinidade nas propriedades do solo são: expansão de argilas, dispersão das partículas finas, formação de crostas na superfície e diminuição na capacidade de transmissão de água (ROLSTON et alii, 1984).

Segundo SHAINBERG & SHALHEVET (1984) o ciclo de crescimento da maioria das culturas anuais varia de 90 a 150 dias e geralmente são aplicadas de 4 a 10 irrigações, sendo este um período curto de tempo para alcançar condições de uniformidade na distribuição de sais no perfil do solo, exceto quando são aplicadas altas taxas de lixiviação.

Pesquisando a distribuição dos sais no solo plantado com soja e feijão, que durante quatro anos foi irrigado por sulcos usando águas com condutividade elétrica de 1,5 e 12 milimhos/cm e três níveis de potencial matricial, a saber: alto (-0,2 MP), médio (-0,6 MP) e baixo (-1,5 MP), ZARTMAN & GICHURU (1984) verificaram um aumento da salinidade em todos os tratamentos em relação ao controle. A condutividade elétrica aumentou de 0,4 (controle) para 3,7 e 6,0 milimhos/cm, quando foram usadas os dois tipos de água acima citados e elevada frequência de irrigação.

BAJWA et alii (1986) estudando durante dez anos a distribuição de sais no perfil do solo em rotações de arroz-trigo e milho-trigo, irrigando com água de 3,2 milimhos/cm de condutividade elétrica, constataram que na zona radicular (0-90 cm) a salinidade média aumentou rapidamente nos primeiros dois anos, mas posteriormente não variou apreciavelmente e os valores médios da condutividade elétrica de extrato de saturação foram semelhantes ao da água de irrigação. Observaram, também, que a máxima acumulação dos sais se concentrou nos 30 cm iniciais, como era esperado, devido a elevada evaporação no momento da amostragem.

BORELLA (1986) estudando o acúmulo de sais em vasos plantados com feijão usando água salina com 250, 945, 1670 e 2450 micromhos/cm de condutividade elétrica e

lâmina de lixiviação de 7, 14 e 21%, constatou que houve um aumento da salinidade residual do solo em forma diretamente proporcional com a concentração da água de irrigação.

Os problemas de salinização diferem nas várias regiões climáticas em relação à química de acumulação dos sais. A metade dos sistemas de irrigação existentes no mundo estão mais ou menos influenciadas pela salinização secundária e alcalinização. Segundo estimativas da F.A.O. e U.N.E.S.C.O, anualmente são abandonadas 10.000.000 de ha de terras irrigadas, em consequência dos efeitos adversos da irrigação (SZABOLCS, 1986).

#### 2.2.1.2. Lixiviação de sais

Segundo o U.S. SALINITY LABORATORY (U.S.S.L.) (1954) a necessidade de lixiviação de sais (L.R.) é conveniente quando a relação entre a umidade disponível para as plantas e a pressão osmótica é o aspecto mais importante. Define, assim, o L.R. como sendo a relação entre a concentração de sais presentes na água de irrigação e a máxima concentração de solução do solo tolerável pela cultura, sendo representado pela fórmula:

$$L.R. = CE_{iw}/CE_{dw} \times 100$$

L.R. = requerimento de lixiviação, em %

CEiw = condutividade elétrica da água de irrigação (milimhos/cm a 25°C)

CEdw = máxima salinidade permitível da água de drenagem na zona inferior radicular (milimhos/cm a 25°C)

Em solos que tem alguma drenagem interna inicial, embora limitada, os sais solúveis inicialmente presente são lixiviados pela água de irrigação e influenciam menos na condutividade elétrica final da solução do solo (PEARSON, 1959).

Segundo KELLEY (1963) a quantidade de lixiviação requerida é muito variável e depende da concentração salina da água de irrigação, do método de aplicação, da precipitação e das peculiaridades do solo.

SHALHEVET & REINIGER (1964) estudando o efeito de vários regimes de lixiviação em culturas de cevada, algodão e beterraba, usando água salina com condutividade elétrica de 900 e 3900 micromhos/cm, verificaram que com taxas elevadas de lixiviação houve um leve aumento da salinidade com a profundidade e com baixa lixiviação ocorreu uma acentuada acumulação de sais na zona intermediária radicular. Concluíram que o R.L. definido pelo U.S. S.L. (1954) se aplica razoavelmente em condições de altas taxas de lixiviação e que em curtos períodos de irrigação

com baixa porcentagem de lixiviação e equação da estimativas muito elevadas.

BOWER et alii (1968) utilizando seis classes de água salinas e lâminas de lixiviação de 0,1, 0,2 , 0,3 e 0,4, em lisímetros com alfafa, constataram que para cada tipo de água o grau de acumulação de sais no solo tem relação inversa com a lâmina de lixiviação.

Cultivando alfafa em lisímetro irrigado com solução de  $\text{CaCl}_2$  e  $\text{MgCl}_2$ , com condutividade elétrica variando de 0,5 a 9 milimhos/cm e diferentes incrementos de lâminas de lixiviação (0,12 a 0,66), BOWER et alii (1969) verificaram que os primeiros incrementos foram mais efetivos na prevenção de acumulação de sais no solo.

De acordo com RHOADES (1972) a concentração de sais solúveis no solo aumenta quando uma grande porção da água aplicada é removida pela evapotranspiração. Sem lâmina de lixiviação os sais se acumulam até alcançar o limite de solubilidade, mas com lixiviação a acumulação diminui porém não é eliminada.

Segundo Meiri e Shalhevet <sup>1</sup> em 1973, citado

---

<sup>1</sup> MEIRI, A; SHALHEVET, J. Peper plant response to irrigation water quality and timing of leaching. In: HADAS, A. et alii, ed. Physical aspects of soil water and salts in ecosystems. Berlin, Springer Verlag, 1973. p. 421-9. (Ecological Studies, 4).

por SHAINBERG & SHALHEVET (1984), afirmam que a lixiviação intermitente aumentou a quantidade de sais removida por unidade de volume de água de drenagem, em comparação com a lixiviação a cada irrigação.

Estudando a composição da água de drenagem em lisímetro com alfafa, usando oito classes de água e três frações de lixiviação, RHOADES et alii (1973) verificaram que a concentração dos constituintes solúveis e conteúdo total de solutos tem relação inversa com as lâminas de lixiviação.

VAN DER MOLEN (1973) e VAN HOORN (1984) introduziram uma modificação na determinação do requerimento de lixiviação, considerando que somente uma porção da lâmina de lixiviação elimina sais na zona radicular, determinando um fator de eficiência de lixiviação, cujo valor depende da textura do solo e do método de aplicação de água.

Segundo RHOADES (1974) o crescimento das culturas estão relacionado com a salinidade média da zona radicular, e baseado nesta consideração propôs uma forma alternativa para calcular a condutividade elétrica da água de drenagem (CE<sub>dw</sub>) na fórmula de L.R. definida pelo U.S.S.L. (1954), de acordo com a seguinte expressão:

$$CE_{dw} = 5 C_{Ee} - C_{Eiw}$$

CE<sub>dw</sub> = condutividade elétrica da água de drenagem fora da zona radicular.

CE<sub>e</sub> = condutividade elétrica do extrato de saturação, fornecido em tabelas de tolerância das culturas à salinidade, para redução da produção de 10%, em milimhos/cm.

CE<sub>iw</sub> = condutividade elétrica da água de irrigação, em milimhos/cm.

Portanto, a fórmula modificada para determinar o requerimento de lixiviação (L.R.), é a seguinte:

$$L.R. = \frac{C_{iw}}{5 C_{Ee} - C_{Eiw}} \times 100$$

Segundo AYERS (1977) foi calculada a máxima concentração da solução do solo tolerável pelas culturas (C.E.dw), sendo que para o feijão seu valor é de 13 milimhos/cm a 25°C.

BIGGAR et alii (1984) chegaram a conclusão de que o movimento de água através do perfil é necessário para remover o excesso de sais solúveis na zona radicular, mas é indesejável quando dissolve sais precipitados. Portanto se deve minimizar o fluxo de água para reduzir a

dissolução de minerais do solo e promover a precipitação de carbonatos e sulfatos levemente solúveis no solo.

Para prevenir a salinização, juntamente com o requerimento de lixiviação se devem considerar a taxa de infiltração e o sistema de drenagem para lixiviar os sais e impedir a ascensão do lençol freático (OSTER et alii , 1984).

### 2.2.2. Efeito sobre a cultura

AYERS et alii (1943) estudando o comportamento do feijão irrigado com água salina contendo 1.000 ; 2.000 e 4.000 ppm de NaCl e três níveis de tensão: 0,25 ; 0,75 atm e próxima ao ponto de murcha, constataram uma diminuição de rendimento de: 55, 75 e 90%; 59, 80 e 97%; 70, 87 e 95%, respectivamente, para cada aumento de salinidade e umidade. Observaram, ainda, que o crescimento foi maior com o aumento da frequência de irrigação nos tratamentos com igual conteúdo de sais. Resultados semelhantes foram obtidos por WADLEIGH & AYERS (1945), concluindo que a cultura pode tolerar altos níveis de salinidade em condições de baixo stress matricial.

Estudando o efeito do regime de salinização em feijão, LUNIN et alii (1961) verificaram que a produção foi menor com múltiplas irrigações em relação à salinização de uma aplicação, atribuindo que no primeiro caso as

plantas foram submetidas à salinidade por maior período de tempo.

SHALHEVET & REINEGER (1964) constataram que as produções de cevada, algodão e beterraba não foram afetadas quando irrigadas com água salina e várias taxas de lixiviação, explicando que estes resultados foram obtidos porque os valores da salinidade média na zona radicular ficaram abaixo do nível de tolerância das culturas.

Pesquisando o crescimento de milho e tomate em casa de vegetação e dividindo o sistema radicular em três partes com aplicação de água salina, LUNIN & GALLATIN (1965) observaram que o crescimento não foi afetado quando 1/3 do sistema radicular foi salinizado e os rendimentos decresceram levemente quando 2/3 da raiz foram salinizados. Observaram também, que a absorção e uso de água por unidade de peso seco decresceu como resultado da salinização zonal. Respostas semelhantes foram obtidas por BINGHAM & GARBER (1970), concluindo que as plantas podem tolerar excessivos níveis de salinidade quando uma das porções do sistema radicular está relativamente livre de sais.

Flutuações naturais no regime de salinidade sob condições normais de campo podem afetar o crescimento

e a transpiração de forma semelhante, embora menos severa, do que as determinadas experimentalmente com níveis constantes de salinidade (MEIRI et alii, 1970).

LAHAYE & EPSTEIN (1971), estudando o crescimento do sistema radicular do feijão em solução nutritiva de Na Cl (5,0 mM) com variações da concentração de cálcio, constataram que com inadequadas concentrações deste, houve a formação de raízes pouco desenvolvidas; já com baixas concentrações melhoraram grandemente sua aparência e capacidade para conviver em condições salinas. Respostas semelhantes foram obtidas para ervilha e milho em trabalhos de SOROKIN & SOMMER (1940) e BONDS & O'KELLEY (1969).

Os efeitos dos sais no crescimento das culturas estão mais relacionados com a salinidade total do que as concentrações individuais de algum constituinte específico. As culturas mostram geralmente uma diminuição progressiva na taxa de crescimento com o aumento da salinidade (RHOADES, 1972).

BERNSTEIN & FRANCOIS (1973), estudando o crescimento de alfafa em lisímetros irrigados com água de 1 e 2 mmhos/cm de condutividade elétrica e três lâminas de lixiviação, concluíram que a produtividade está mais relacionada com a salinidade média do sistema radicular do que com a concentração da água de drenagem.

Estudando a produtividade em laranja irrigada com água salina, BINGHAM et alii (1974) constataram uma diminuição na qualidade e quantidade de frutos com o aumento da salinidade.

ACEVES et alii (1975), estudando o crescimento de trigo com diferentes níveis de potencial osmótico produzido por mistura de Na Cl e Ca Cl<sub>2</sub>, verificaram que elevados níveis de salinidade na zona média radicular diminuem as taxas de crescimento, de transpiração e a produção de grãos. Tais modificações ocorrem em consequência de alterações na atividade metabólica das paredes celulares por acúmulo de materiais, os quais limitam o alongamento e reduzem a pressão de turgor.

A redução da produtividade esperada para o feijão quando irrigado com água de 0,75; 1,5 e 2,25 milimhos/cm a 25<sup>o</sup>C de condutividade elétrica e 6, 11 e 17% de requerimento de lixiviação, com 100% de eficiência de lixiviação, são: 2, 25 e 46%, respectivamente (AYERS,1977).

Segundo MASS & HOFFMAN (1977), a máxima salinidade permissível no extrato de saturação para que não ocorra redução na produção do feijão é de 1 milimhos/cm a 25<sup>o</sup>C.

A redução de crescimento e rendimento das

culturas depende da tolerância ao cloreto, ao sódio e da diminuição do potencial osmótico (FRENKEL et alii, 1978).

HOFFMAN & JOBES (1978) estudando as interações da salinidade e umidade relativa ambiente (H.R.) no crescimento de cevada, milho e trigo, constataram que aumentando a H.R. aumentou a tolerância a sais nas duas primeiras culturas, mas o trigo não foi afetado, concluindo que dentre os componentes de stress de água, a H.R. é um fator importante nas respostas das culturas sensíveis à salinidade. Observaram, também, que incrementando a H.R. houve um decréscimo na transpiração de aproximadamente 15%.

Irrigando trigo com água salina com concentrações de 20 e 80 meq/l YADAV & GIRDHAR (1980) verificaram significativas reduções no rendimento de grãos e matéria seca com o aumento da concentração eletrolítica.

As tolerâncias a salinidade das culturas fornecidas nas tabelas, são estimativas não muito seguras; a produtividade dependerá dentre outras condições, da fertilidade, do clima, do tipo de solo, do stress de água, das doenças e das pragas (MASS, 1984).

RHOADES (1984) irrigando trigo, beterraba e melão alternando duas qualidades de água salina, de 900 e 3.500 meq/l de total de sais dissolvidos, verificou que não

houve diminuição de rendimento quando se utilizou água com alta concentração, depois de estabelecidas as plantas.

Irrigando feijão com água salina e várias lâminas de lixiviação, BORELLA (1986) constatou reduções significativas na produção de grãos, números de vagens e grãos e altura das plantas no início da floração com o aumento da concentração salina da água de irrigação. A queda de produção em relação a testemunha foi de 28,5; 45,2 e 68,3% para as águas com condutividade elétrica de 945 , 1670 e 2450 micromhos/cm a 25<sup>0</sup>C, respectivamente.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1. Local, clima e solo

O experimento foi conduzido na área experimental do Departamento de Engenharia Rural da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" - U.S.P., em Piracicaba - S.P., a uma latitude de  $22^{\circ}42'30''$  sul, longitude de  $47^{\circ}38'00''$  oeste e altitude de 576 m.

O clima da região é o Cwa, pela classificação climática de KOPPEN, ou seja, sub-tropical úmido com estiagem no inverno, com temperatura média do mês mais frio inferior a  $18^{\circ}\text{C}$  e a do mês mais quente superior a  $32^{\circ}\text{C}$ .

O solo do local foi descrito e classificado por RANZANI et alii (1966) como terra roxa estruturada, série Luiz de Queiroz, cujo material de origem são rochas básicas. Pela classificação americana (E.U.A., 1975) é um "OXIC PALEUDALF".

### 3.2. Determinação dos parâmetros do solo

#### 3.2.1. Análise física

A análise granulométrica e densidade global das amostras representativas nas profundidades de 0-20 , 20-40 e 40-60 cm foram determinadas no laboratório de Física de Solos do Departamento de Engenharia Rural da E.S. A. "Luiz de Queiroz". Tabela 1.

Tabela 1. Granulometria, classe textural e densidade global

Profundidade cm	Argila %	Silte %	Areia %	Classe textural	Dens. global gr . cm <sup>-3</sup>
0 - 20	47,56	11,59	40,85	argila	1,56
20 - 40	61,28	8,17	30,56	argila	1,44
40 - 60	68,36	7,45	24,19	argila	1,40

#### 3.2.2. Curva de retenção de água disponível

Para conhecer a capacidade de retenção da água do solo foi determinada a curva característica em amostras do solo indeformadas nas profundidades de 15, 45 e 75 cm, respectivamente, de acordo com a metodologia estabelecida por RICHARDS (1947) e com auxílio de placas de pressão nos pontos 0,1; 0,3; 1; 6 e 15 atm.. (Figura 1) . Os limites superior e inferior de água disponível foram 0,35 e 0,25 cm<sup>3</sup> de água/cm<sup>3</sup> de solo, referentes as tensões de 0,1 e 10 atm., respectivamente para a curva de 15 cm de profundidade.

### 3.3. Água de irrigação

#### 3.3.1. Origem

Utilizou-se água comum de torneira com condutividade elétrica de 180 micromhos/cm a 25<sup>0</sup>C, classificada como C<sub>1</sub>S<sub>1</sub>, cuja análise química é apresentada na Tabela 2.

#### 3.3.2. Salinização da água de irrigação

A água comum foi salinizada artificialmente com três níveis de concentração, chamadas C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub> e C<sub>3</sub> para irrigação dos tratamentos com condutividade elétrica 750; 1500 e 2250 micromhos/cm a 25<sup>0</sup>C, respectivamente. Os sais utilizados quimicamente puros e solúveis em água foram: bicarbonato de sódio anidro (NaCO<sub>3</sub>H), cloreto de cálcio hidratado (CaCl<sub>2</sub> . 2H<sub>2</sub>O) e cloreto de magnésio hidratado (Mg Cl<sub>2</sub> . 6H<sub>2</sub>O). As águas salinizadas foram preparadas adicionando-se 470; 1140 e 1840 mg de sais, respectivamente, para um litro de água comum, cujas proporções encontram-se na Tabela 3.

Foram realizadas análises químicas periódicas de água comum durante o experimento, com o objetivo de determinar as mudanças dos constituintes químicos e agregar as quantidades corretas de sais para obter as correspondentes condutividades elétricas dos tratamentos.

As águas denominadas  $C_1$ ,  $C_2$  e  $C_3$  foram classificadas como  $C_2S_1$ ,  $C_3S_1$  e  $C_3S_1$ , respectivamente, todas com baixo risco de sodificação e perigo crescente de salinização segundo o diagrama de classificação de U.S.S.L. - (1954), cujas análises químicas são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2. Análise química da água comum,  $C_1$ ;  $C_2$  e  $C_3$

Elemento	Unidade	Q U A N T I D A D E			
		Comum	$C_1$	$C_2$	$C_3$
$Ca^{+2}$	meq/l	0,820	4,240	6,888	10,634
$Mg^{+2}$	meq/l	0,190	1,162	2,267	4,956
$Na^+$	meq/l	0,240	1,110	5,000	7,200
$HCO_3^-$	meq/l	0,789	2,025	3,800	4,525
$Cl^-$	meq/l	0,065	4,475	10,625	17,250
$SO_4^{-2}$	meq/l	0,330	0,333	0,335	0,336
pH		7,12	8,50	8,07	7,45
CE	$\mu\text{mhos/cm a } 25^{\circ}\text{C}$	180	750	1500	2250
SAR	mmol/l	0,338	0,675	2,337	2,579
SAR (ajust.)	mmol/l	0,291	1,289	5,469	6,680
Classificação		$C_1S_1$	$C_2S_1$	$C_3S_1$	$C_3S_1$

Tabela 3. Proporção dos sais por litro de água comum.

SAIS	UNIDADE	Q U A N T I D A D E		
		C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>
NaCO <sub>3</sub> H	mg/l	200	400	600
CaCl <sub>2</sub> · 2H <sub>2</sub> O	mg/l	160	520	910
MgCl <sub>2</sub> · 6H <sub>2</sub> O	mg/l	110	220	330

### 3.4. Instalação do experimento

#### 3.4.1. Construção das parcelas

Após o preparo inicial da área experimental com aração, gradagem e regularização com enxada rotativa foram demarcadas preliminarmente 18 parcelas com 2,0 m de largura e 2,50 m de comprimento separadas a uma distância de 1,0 m. As parcelas foram isoladas entre si através de um filme plástico na profundidade de 1,0 m para evitar contaminação de uma para outra; método também adotado por BAJWA et alii (1986). (Figura 2).

Cada parcela tinha 3 sulcos espaçados de 50 cm e 20 cm de profundidade, e foram construídos em nível com auxílio de um sulcador manual. Construiu-se um canal interceptor de 50 cm de profundidade a uma distância de 7,0 m das parcelas para conter a enxurrada, com auxílio de um sulcador tracionado por trator. Para prevenir a lixivia-

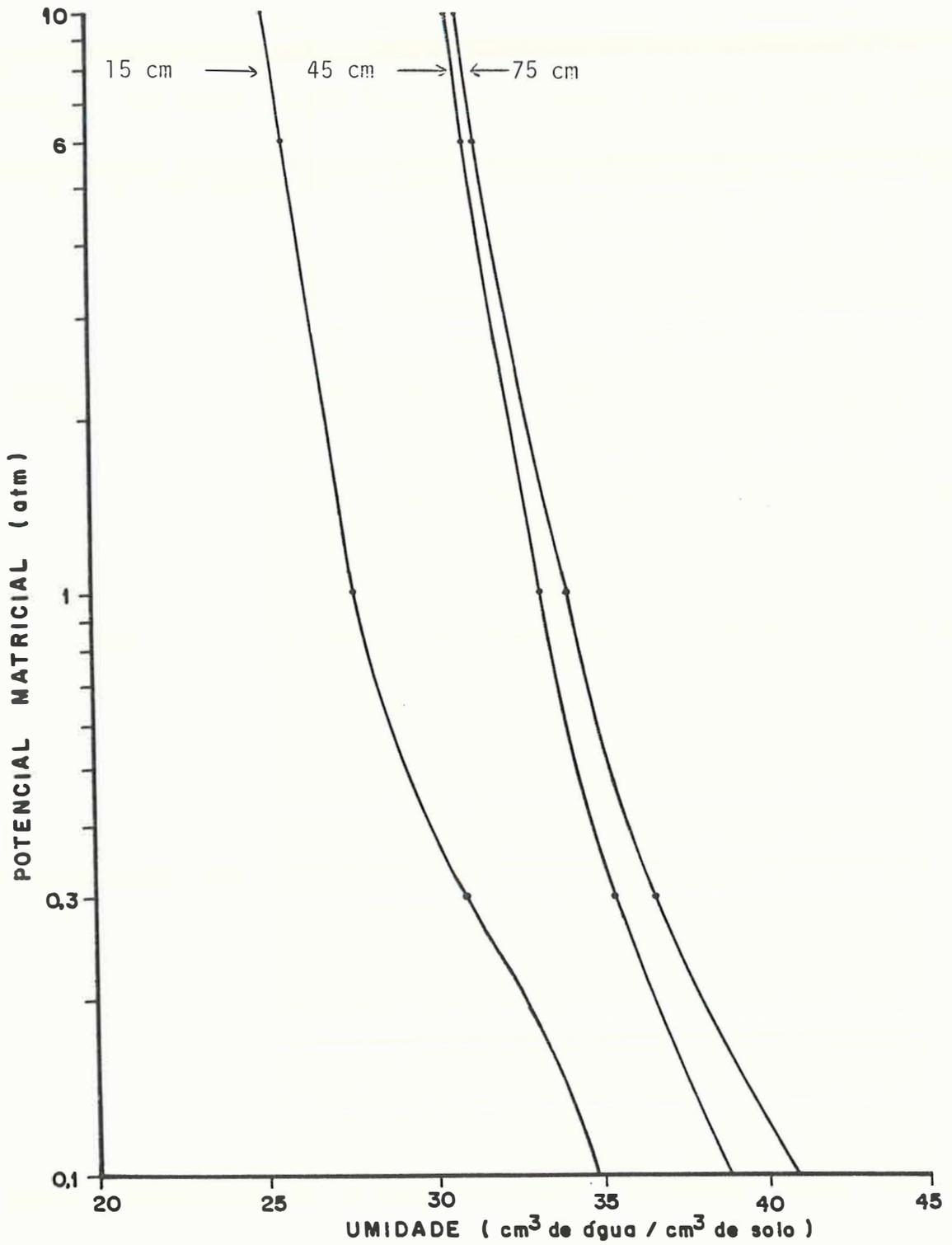


Figura 1. Curva característica da água no solo.



Figura 2. Colocação do filme plástico.

ção de sais pelas chuvas, as parcelas foram cobertas com plástico com uma das partes fixa e a outra móvel, segundo o método adotado por HOFFMAN & JOBES (1983). (Figura 3).

### 3.4.2. Instrumentos

#### 3.4.2.1. Tensiômetros

No sulco central de cada parcela foram instalados 5 tensiômetros nas seguintes profundidades: 15 (1); 45 (2) e 75 (2) cm, respectivamente, para conhecer o potencial matricial da água no solo durante o ciclo da cultura e estabelecer quando uma determinada parcela devia



Figura 3. Parcelas com cobertura plástica.

ser irrigada. As leituras foram realizadas diariamente às 8 horas. (Figura 4).



Figura 4. Parcelas com tensiômetros e extratores de solução.

#### 3.4.2.2. Extratores de solução

No sulco central de cada parcela foram instalados 3 extratores de solução nas seguintes profundidades: 15, 30 e 60 cm, respectivamente, para acompanhar as variações da salinidade na solução do solo durante o ciclo da cultura (Figura 4).

Para sua construção utilizou-se cápsulas de cerâmica porosa com condutância hidráulica uniforme, tubo capilar de nylon, tubo de plástico P.V.C., tubo de ensaio para coletar a solução do solo, como é apresentado esquematicamente na Figura 5.

A extração da solução do solo foi realizada no dia seguinte ao da irrigação, aplicando-se vácuo com uma bomba de 0,8 atm. de sucção, durante 2 a 3 horas em cada extrator, sendo que a quantidade da solução extraída não foi suficiente para realizar as análises químicas; isto provavelmente ocorreu porque a condutância hidráulica das cápsulas porosas não foi suficientemente elevada. Portanto procedeu-se a coleta de amostras do solo nos seguintes intervalos de profundidades: 0-15; 15-30 e 30-60m, respectivamente. Foram feitas 4 amostragens durante o ciclo da cultura, nas seguintes épocas: no início do experimento; antes da floração; depois da floração e na colheita.

A Figura 6 mostra uma visão geral do experimento.

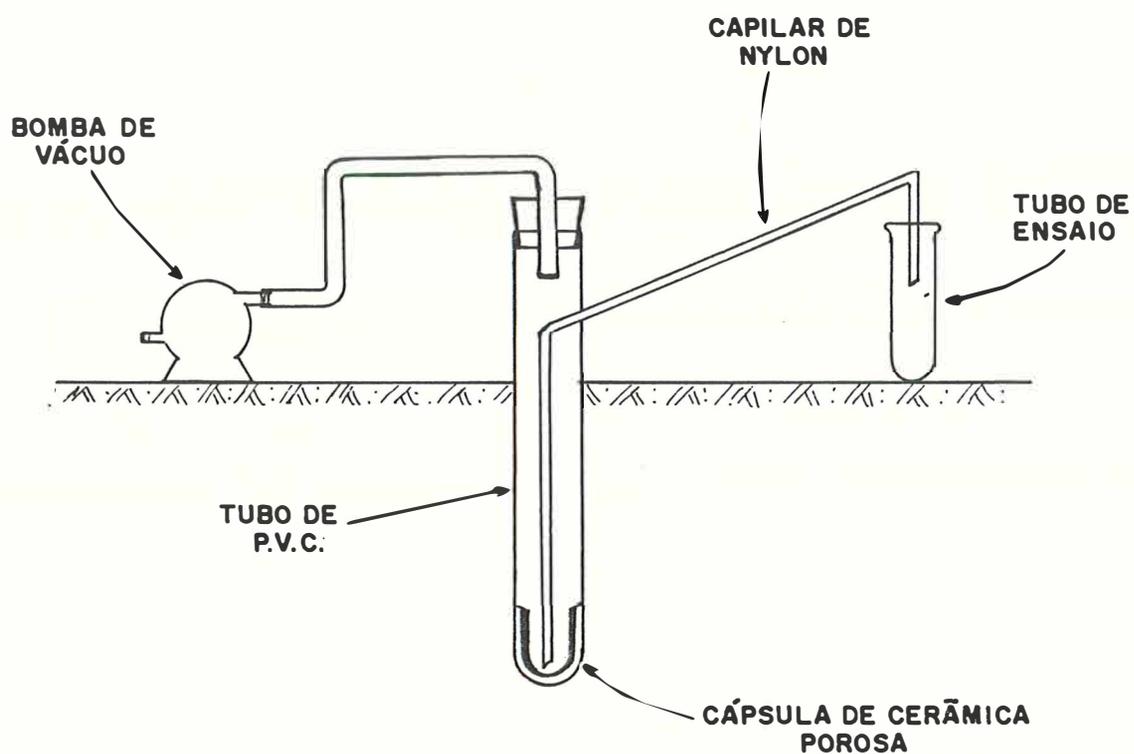


Figura 5. Esquema do extrator de solução.



Figura 6. Visão geral do experimento.

#### 3.4.3. Manejo da irrigação

Baseando-se nas características físicas do solo, determinou-se a lâmina líquida a ser aplicada, a partir da seguinte expressão:

$$h = \frac{A.D. \times H \cdot \gamma_s}{10 \times E_a}$$

$h$  = altura da água a ser aplicada, em mm.

AD = intervalo de água considerado a ser aplicado, em %

H = profundidade do solo considerada, em cm.

$\gamma_s$  = densidade global do solo, em  $\text{gr/cm}^3$

Ea = eficiência de aplicação

O requerimento de lixiviação segundo a fórmula recomendada pelo U.S.S.L. (1954) e com eficiência de lixiviação de 70% para as águas denominadas C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub> e C<sub>3</sub> foram: 8, 16 e 24 por cento, respectivamente, da lâmina de irrigação.

O requerimento de lixiviação para cada tratamento, são os seguintes:

$$\text{L.R.} = \frac{\text{C.E. iw}}{\text{C.E. dw} \times \text{Ef. Lix.}} \times 100$$

$$\text{Tratamento 1: L.R.} = \frac{750 \text{ } \mu\text{mhos/cm} \times 100}{13000 \text{ } \mu\text{mhos/cm} \times 0,70} = 8\%$$

$$\text{Tratamento 2: L.R.} = \frac{1500 \text{ } \mu\text{mhos/cm}}{13000 \text{ } \mu\text{mhos/cm} \times 0,70} \times 100 = 16\%$$

$$\text{Tratamento 3: L.R.} = \frac{2250 \text{ } \mu\text{mhos/cm} \times 100}{13000 \text{ } \mu\text{mhos/cm} \times 0,70} = 24\%$$

Durante o ciclo da cultura foram extraídas plantas para determinar o crescimento da raiz e aplicar a lâmina de irrigação correspondente a essa profundidade radicular.

#### 3.4.3.1. Controle e aplicação da água de irrigação.

O controle da irrigação foi feito pelo tensiômetro instalado na profundidade de 15 cm em cada parcela e foi feita a irrigação quando o potencial matricial da água no solo atingiu - 0,5 atm.. A lâmina de irrigação é composta da demanda da cultura mais a lâmina de lixiviação correspondente a cada tratamento.

A lâmina de irrigação de cada parcela foi transformada em volume e foi preparada em tanques de 200 litros e aplicada em cada sulco com baldes de plástico através de sifões.

### 3.5. Delineamento experimental

No experimento foram considerados três tratamentos representados pelos três níveis de água salinizada com seis repetições, totalizando dezoito parcelas. Os três tratamentos estão descritos abaixo:

Tratamento I: água  $C_1$ , com condutividade elétrica de 750 micromhos/cm a  $25^{\circ}\text{C}$  e lâmina de lixiviação de 8%.

Tratamento II: água  $C_2$ , com condutividade elétrica de

1500 micromhos/cm a 25<sup>0</sup>C e lâmina de lixiviação de 16%.

Tratamento III: água C<sub>3</sub>, com condutividade elétrica de 2250 micromhos/cm a 25<sup>0</sup>C e lâmina de lixiviação de 24%.

O sulco central de cada parcela foi utilizado para a avaliação e os outros dois foram considerados bordaduras.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado com parcelas sub-subdivididas.

### 3.6. Cultura

A cultura usada no experimento foi o feijão (Phaseolus vulgaris L.) variedade goiano precoce. A semeadura foi realizada no dia 26/11/87, colocando-se 3 sementes por cova, espaçadas mais ou menos 0,10 m e o desbaste foi realizado no dia 06/12/87, portanto 10 dias após o plantio, deixando-se uma planta por cova, equivalendo a uma densidade de 240.000 plantas por hectare.

Da semeadura ao desbaste as parcelas foram irrigadas com água comum, utilizando-se um aspersor e iniciando-se a salinização uma vez estabelecida a cultura, mē-

todo recomendado pelo U.S.S.L. (1954), devido ao fato de que no período da germinação a sensibilidade aos sais é maior.

A adubação fosfatada foi feita na base de 80 kg/ha de difosfato de amonio (DAP).

Ao longo de todo o período experimental foram efetuadas capinas manuais para controle de ervas daninhas e uma aplicação de inseticida (dimetoato) para controle da mosca branca (Bermisia tabaci) e vaquinha verde e amarela (Diabrotica speciosa).

A colheita foi efetuada em todas as parcelas no dia 26/01/88, portanto, 61 dias após o plantio. Para a avaliação foram utilizadas as 10 plantas da parte central do sulco do meio, ficando as extremidades como bordaduras.

#### 3.6.1. Delineamento experimental

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado com 6 repetições.

### 3.7. Coleta de dados e análises estatísticas

#### 3.7.1. Dados coletados

Durante o desenvolvimento da cultura foram anotadas as lâminas aplicadas nas irrigações, tomaram-se leituras diárias dos tensiômetros, e dados das precipitações e temperaturas ocorridas durante o experimento. (Tabela 9 do Apêndice).

Como o objetivo deste trabalho era estabelecer a variação da salinidade durante o ciclo da cultura, retiraram-se em cada parcela amostras de solo nas épocas e profundidades mencionadas anteriormente (pág. 34), determinando-se a condutividade elétrica do extrato de saturação (C.E.e.s.) expressa em milimhos/cm a 25<sup>0</sup>C e valores de pH da pasta saturada, segundo padrões do U.S.S.L. (1954).

Para determinar o efeito da salinização na produção de feijão, após a colheita procedeu-se a secagem dos grãos a peso constante em estufa a 60-70<sup>0</sup>C, os quais foram pesados e contados. Foram anotados o número de grãos por planta, número de vagem por planta e número de grãos por vagem. Na época da floração mediu-se a altura das plantas.

### 3.7.2. Parâmetros analisados

#### 3.7.2.1. Solo

- Variação da condutividade elétrica do extrato de saturação entre tratamentos, profundidades e época de extração.

- Variação da condutividade elétrica do extrato de saturação dentro dos tratamentos, profundidades e época de extração.

- Reação do solo (pH) entre tratamentos.

- Efeito da lâmina de lixiviação entre tratamentos.

#### 3.7.2.2. Cultura

- Produção total de grãos (P.T.G.) por parcela com 10 plantas, em gramas.

- Número total de grãos (N.T.G.) por parcela com 10 plantas.

- Número total de vagem por parcela com 10 plantas.

- Peso médio dos grãos (P.M.G.), definido pela relação PTG/NTG, em gramas.

- Altura das plantas no início da floração (A.I.F.), média por parcela com 10 plantas, em centímetros.

- Porcentagem de queda de produção ( $\Delta P$ ), definida como:

$$\Delta P = 1 - \frac{(\text{P.T.G. do tratamento 2 e 3})}{\text{P.T.G. do tratamento 1}} \times 100; \text{ em } \%$$

### 3.7.3. Análises estatísticas efetuadas

Procedeu-se a análise da variância de todos os parâmetros e foram ajustadas equações de regressão dos mesmos quando significativo ao nível de 1% e 5% de probabilidade.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Efeito da salinidade sobre o solo

Pretendeu-se verificar quantitativamente a influência da qualidade da água de irrigação sobre o aumento da salinidade num solo normal irrigado durante uma safra de feijão.

A análise estatística referente ao acúmulo de sais, tanto espacial e temporalmente, causados pelos diferentes tratamentos são apresentados na tabela 4.

Através da análise de variância, observou-se conforme era de se esperar que houve diferença significativa ao nível de 1% para tratamentos, épocas de amostragens do solo e profundidades no perfil do solo, e para todas as interações duplas e para as interações triplas.

#### 4.1.1. Efeito dos tratamentos

---

Na Tabela 5 estão os resultados relativos a distribuição dos sais solúveis no perfil do solo para os

Tabela 4 . Quadrado médio (Q.M.) relativo a tratamentos, amostragens e profundidades, com os respectivos coeficiente de variação (C.V.)

Causa da Variação	G.L.	Q.M.
Tratamentos	2	0,3408113**
Resíduo (A)	15	0,0381902
Parcelas	17	
Amostragens	3	0,8041990**
Trat. x Amost.	6	0,0643441**
Resíduo (B)	45	0,0078353
Subparcelas	71	
Profundidades	2	2,0019765**
Trat. x Profund.	4	0,1415277**
Profund. x Amost.	6	0,3402230**
Trat. x Profund. x Amost.	12	0,0224861**
Resíduo (C)	120	0,0049418
Total	215	

\*\* Significativo ao nível de 1% de probabilidade

C.V. (A) tratamentos: 22,05%

C.V. (B) Amostragens: 19,98%

C.V. (C) Profundidades: 27,48%

Tabela 5 . Valores médios da condutividade elétrica do extrato de saturação para tratamentos, profundidades e amostragens, expressos em milimhos/cm a 25<sup>o</sup>C.

Profundidade (cm)	ÉPOCA DE AMOSTRAGENS			
	Primeira	Segunda	Terceira	Quarta
0-15 (T <sub>1</sub> )*	0,185	0,202	0,226	0,544
0-15 (T <sub>2</sub> )*	0,187	0,308	0,460	0,822
0-15 (T <sub>3</sub> )*	0,190	0,448	0,646	1,115
15-30 (T <sub>1</sub> )	0,142	0,153	0,109	0,191
15-30 (T <sub>2</sub> )	0,149	0,156	0,205	0,318
15-30 (T <sub>3</sub> )	0,155	0,141	0,196	0,424
30-60 (T <sub>1</sub> )	0,118	0,109	0,096	0,130
30-60 (T <sub>2</sub> )	0,125	0,125	0,143	0,157
30-60 (T <sub>3</sub> )	0,132	0,111	0,121	0,170

Os valores correspondem as médias das repetições

\* Tratamento 1, Tratamento 2 e Tratamento 3.

três níveis de tratamentos em função das épocas de amostragens e profundidades durante a safra da cultura do feijão. Através da análise estatística (Tabela 1 do Apêndice) conforme era esperado a concentração dos sais solúveis no solo aumentou em função dos crescentes níveis de sais usados na água de irrigação. A equação de regressão e coeficiente de determinação mostram que a salinidade do solo cresceu significativamente numa relação linear em função da condutividade elétrica da água de irrigação. Figura 7.

Resultados semelhantes foram obtidos por YADAV & GIRDHAR (1980) no cultivo de trigo, ZARTMAN & GICHURU (1984) nas culturas de soja e feijão e BORELLA (1986) no cultivo de feijão.

#### 4.1.2. Efeito das épocas de amostragens no solo

Os resultados concernentes ao acúmulo de sais no solo para os quatro níveis de amostragens em função dos tratamentos e profundidades, realizadas durante o ciclo da cultura figuram em Tabela 5. A análise de variância verificou que houve efeito significativo ao nível de 1% de probabilidade. Tabela 2 do Apêndice.

A equação de regressão e coeficiente de determinação mostram que o acúmulo de sais solúveis no solo tem um efeito quadrático em função dos níveis de sais usados na água de irrigação e diferentes profundidades. Figura 8.

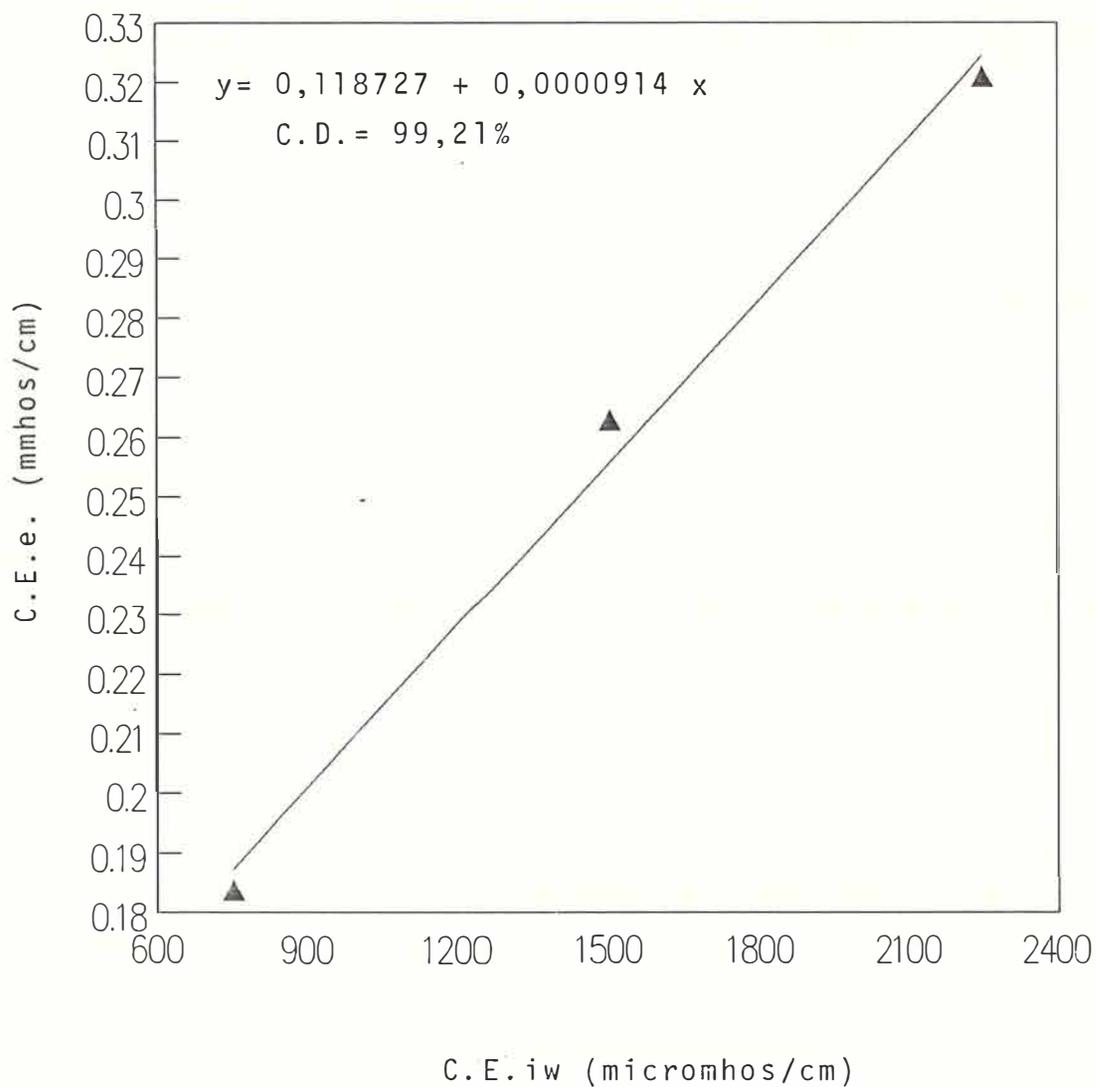


Figura 7- Relação entre a condutividade elétrica do extrato de saturação (C.E.e.) e a condutividade elétrica de água de irrigação (C.E.iw). (Os pontos são a média dos tratamentos).

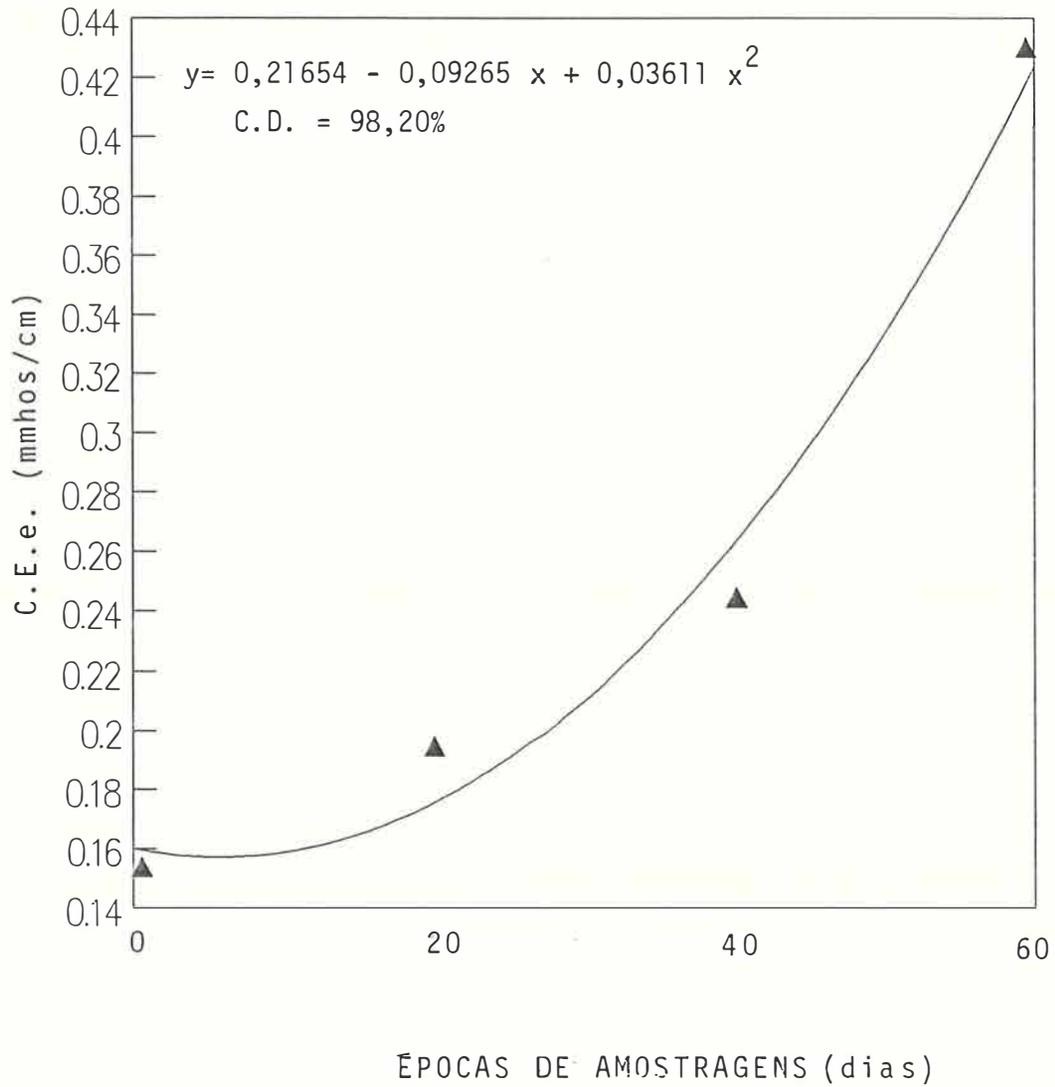


Figura 8. Relação entre a condutividade elétrica do extrato de saturação (C.E.e.) com as amostragens (Os pontos são a média das épocas de amostragens do solo).

O efeito quadrático pode ser atribuído possivelmente a que durante as duas primeiras amostragens do solo houve ligeiro aumento da salinidade, sendo mais pronunciado na terceira e quarta amostragens, isto, provavelmente, é devido a que o solo inicialmente é normal e o processo de salinização não é imediato. Contudo, o efeito quadrático obtido teve a participação da componente linear em 86,52% (Tabela 2 do Apêndice).

Resultados semelhantes demonstrando a mesma tendência foram obtidos por BLIESNER et alii (1977) no cultivo de alfafa, JURY et alii (1978) no cultivo de trigo e KUMAR & OSWAL (1984) em estudos de colunas de solos.

O ajustamento dos resultados a uma função quadrática discorda do trabalho de FRANCOIS (1981) no cultivo de alfafa conduzido em casa de vegetação, quando obteve efeito linear entre a salinidade média da solução do solo com as épocas de amostragem. Isto pode ser atribuído possivelmente as diferentes condições no desenvolvimento dos experimentos.

#### 4.1.3. Efeito das profundidades no perfil do solo

Os resultados referentes a distribuição dos sais nos três intervalos de profundidade em função dos tratamentos e épocas de amostragens observados durante o

ciclo da cultura, estão apresentados na Tabela 5. A análise estatística mostrou que houve diferença significativa ao nível de 1% de probabilidade. Tabela 3 do Apêndice. A equação de regressão e coeficiente de determinação mostram que a distribuição dos sais no perfil do solo tem um efeito quadrático em função dos níveis dos tratamentos e épocas de amostragens. A figura 9 mostra que o aumento da salinidade no solo tem relação inversa com o aumento da profundidade. O efeito quadrático obtido teve a participação da componente linear em 76,01% (Tabela 3 do Apêndice) .

Resultados semelhantes foram obtidos por JURY et alii (1977) no cultivo de trigo, JURY et alii (1978) no cultivo de trigo e sorgo e YADAV & GIRDHAR (1980) no cultivo de trigo.

#### 4.1.4. Efeito das interações duplas.

##### 4.1.4.1. Efeito da interação das épocas de amostragens com as profundidades.

A análise estatística da interação das amostragens no solo em função das profundidades quando apresentaram diferenças significativas é apresentada na Tabela 4 do Apêndice.

---

Para o primeiro e segundo intervalo de profundidade as equações de regressão e coeficiente de deter-

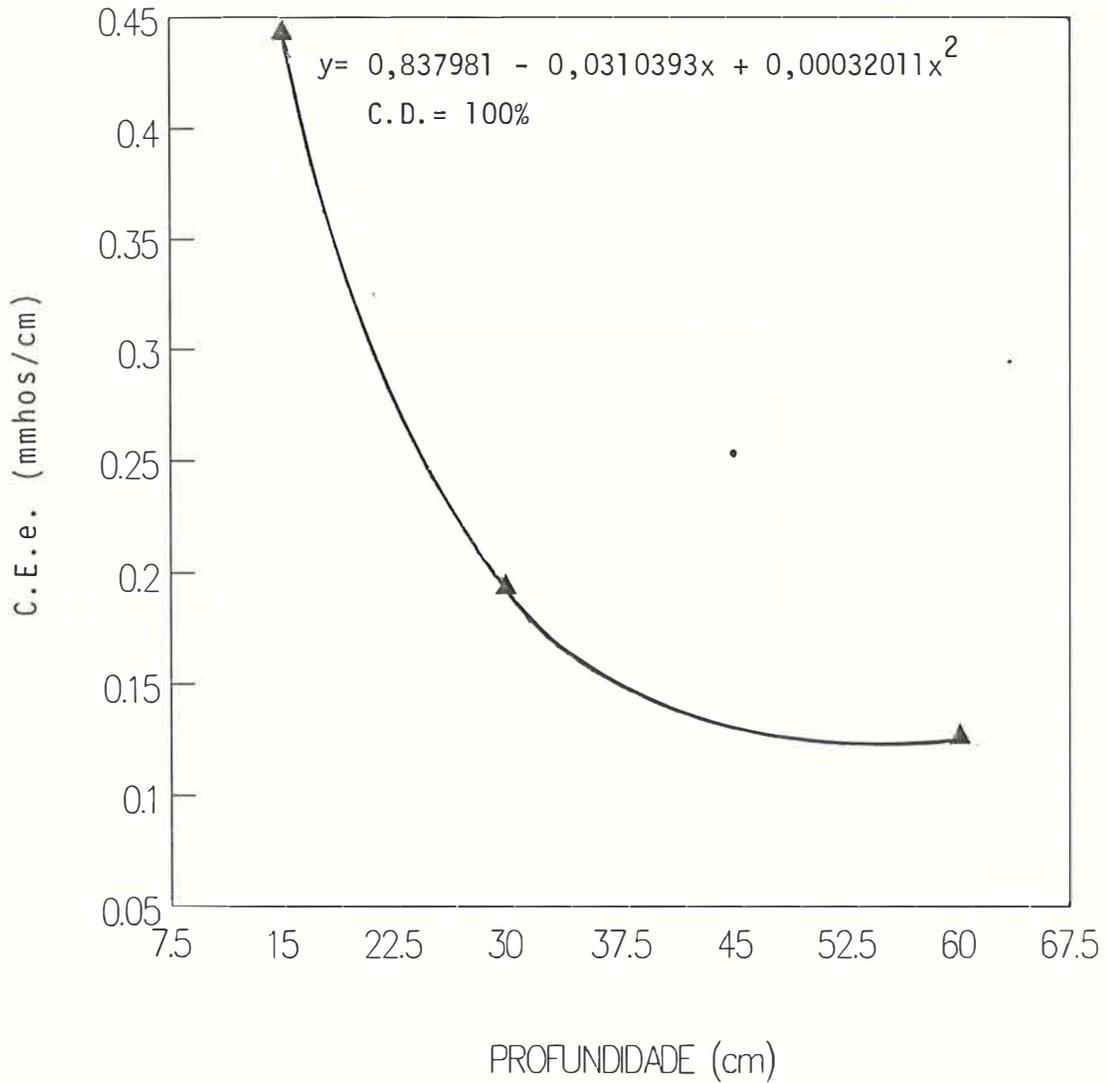


Figura 9. Relação entre a conduividade elétrica do extrato de saturação (C.E.e.) com as profundidades no perfil do solo (os pontos são a média das profundidades).

minação demonstram que as interações tem um efeito quadrático para todos os tratamentos. Figura 10. No terceiro intervalo de profundidade não foi verificada diferença estatística significativa.

O efeito quadrático pode possivelmente ser atribuído a que durante as duas primeiras amostragens houve um aumento da salinidade em forma gradual e na terceira e quarta amostragens observou-se também um pronunciado aumento. Contudo, o efeito quadrático obtido teve a participação do componente linear em 91,55% e 70,46% para as duas profundidades (Tabela 4 do Apêndice). Porém, os resultados mostram que houve uma clara evidência de maior acumulação de sais na primeira camada superficial. Esse aumento da concentração salina provavelmente esteja relacionado com a maior concentração das raízes onde a perda de água pela evapotranspiração da cultura é maior, aumentando o fluxo ascendente e conseqüentemente concentrando os sais nessa região. Considerações nesse sentido foram feitas por diversos pesquisadores, entre eles: RHOADES (1972); DAHIYA et alii (1980); OLIVEIRA (1983) e BAJWA et alii (1986).

No segundo intervalo de profundidade a diminuição da salinidade poderia ser explicado possivelmente pela análise do gradiente de potencial da água no solo entre duas irrigações consecutivas, através das leituras dos tensiômetros instalados a 15 e 45 cm de profundidade. Ob-

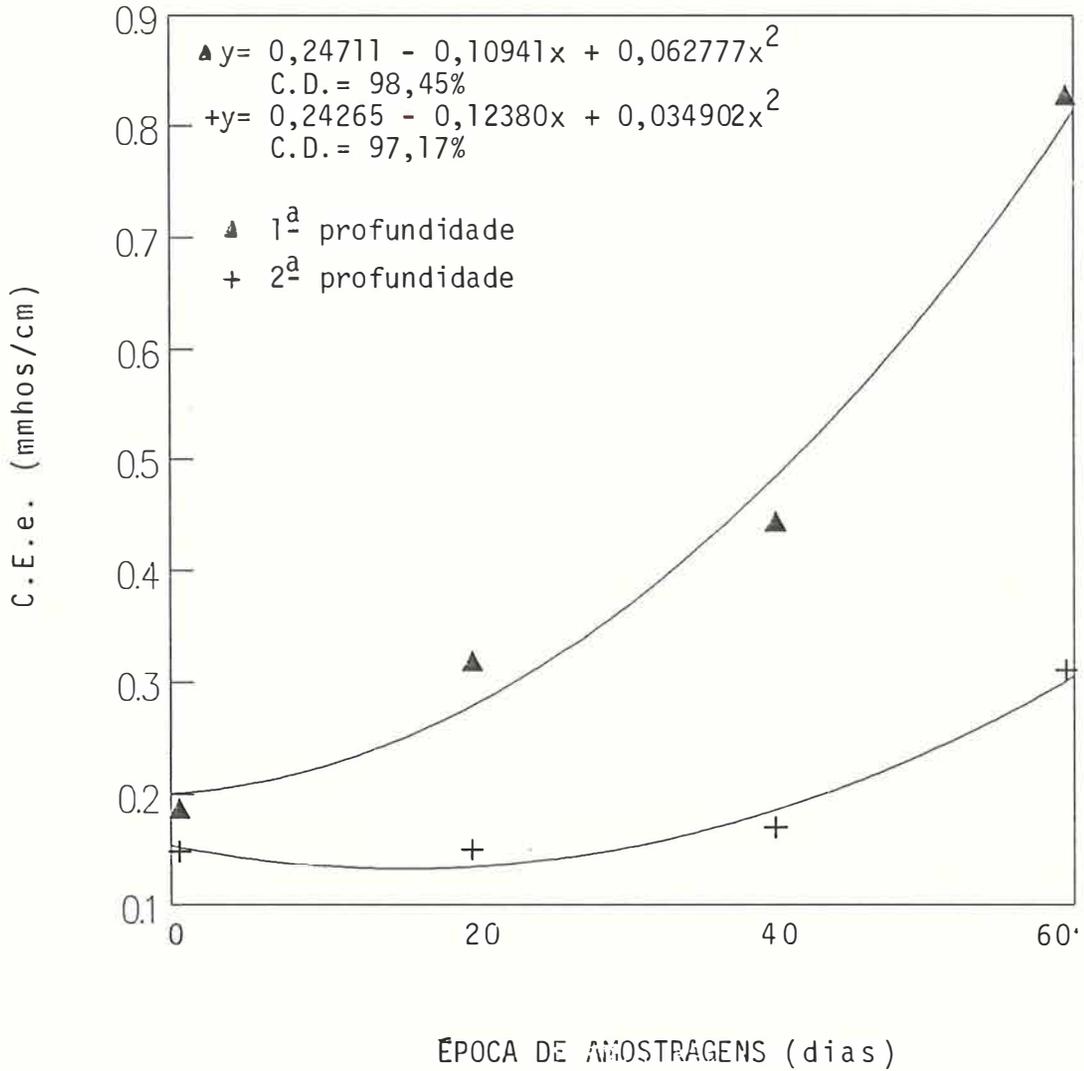


Figura 10. Relação da condutividade elétrica do extrato de saturação (C.E.e.) com a interação das amostragens com as profundidades. (Os pontos são a média do primeiro e segundo intervalo de profundidade para cada amostragem).

servou-se nessa região que houve um fluxo descendente da água após da irrigação por um período médio de 2-3 dias, e um fluxo ascendente durante 4-5 dias, restantes, ou seja, provavelmente essa camada do perfil do solo seja uma região de transmissão.

RAATS (1975) afirma que a variação da tensão dos tensiômetros pode produzir movimento da água, tanto para cima como para baixo da zona radicular. Estudando a dinâmica dos sais em colunas de solos, KUMAR & OSWAL (1984), verificaram movimento dos sais em sentido ascendente e descendente.

No terceiro intervalo de profundidade foi feito a mesma análise anterior, entre os tensiômetros instalados a 45 e 75 cm de profundidade observando-se sempre um fluxo descendente, onde o potencial matricial foi mais ou menos uniforme durante todo o experimento e, possivelmente diluindo os sais da solução do solo. Resultados semelhantes foram obtidos por CRUCIANI (1980), estudando o fluxo de água que ultrapassa a zona radicular do milho usando tensiômetros, obtendo um contínuo fluxo descendente de água através da referida camada. Na tabela 6 é apresentado o gradiente de potencial total da água no solo e sentido do fluxo de água na parcela central do experimento, entre os tensiômetros instalados a 15, 45 e 75 cm de profundidade entre duas irrigações consecutivas. Na Figura 11 esta re-

presentada a variação da distribuição de umidade no perfil do solo da referida parcela.

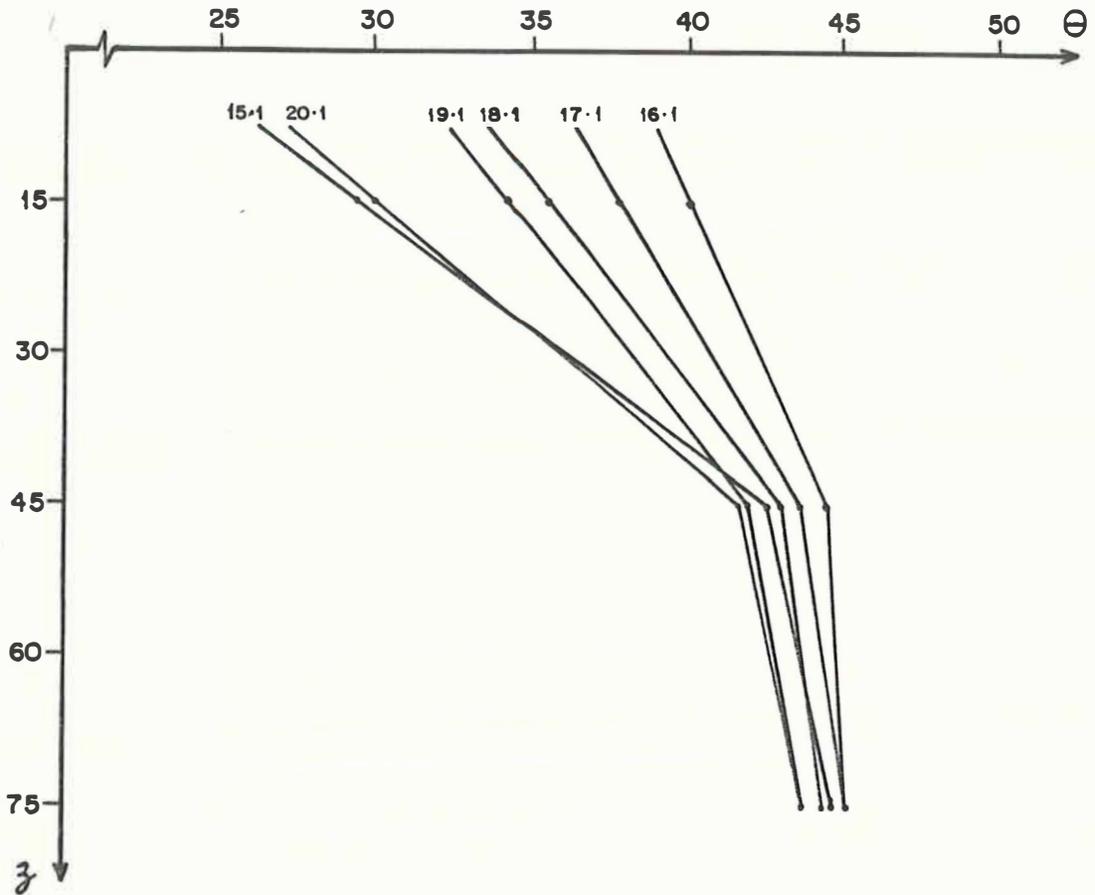


Figura 11. Variação do perfil de umidade entre duas irrigações consecutivas.

Tabela 6. Determinação do gradiente total de água no solo e sentido do fluxo, nos tensiômetros instalados a 15 ( $T_{15}$ ), 45( $T_{45}$ ) e 75( $T_{75}$ ) cm de profundidade entre duas irrigações consecutivas.

DATA	Leit.tens. cm Hg	$\psi_m$ cm H <sub>2</sub> O	Grad. $\psi_m$ cm/cm	Grad. $\psi_g$ cm/cm	Grad. $\psi_T$ cm/cm	Sentido do fluxo			
15.01	$T_{15}=40,4$	-474,0	-14,103	1	-13,103				
	$T_{45}= 9,2$	- 50,9					- 0,033	1	+ 0,967
	$T_{75}=11,5$	- 49,9							
16.01	$T_{15}= 6,7$	- 49,4	- 0,537	1	+ 0,463				
	$T_{45}= 7,8$	- 33,3					0,343	1	+ 1,343
	$T_{75}=11,0$	- 43,6							
17.01	$T_{15}= 8,4$	- 70,8	- 0,957	1	+ 0,043				
	$T_{45}= 8,5$	- 42,1					0,303	1	+ 1,303
	$T_{75}=11,6$	- 51,2							
18.01	$T_{15}=10,2$	- 93,5	- 1,503	1	- 0,503				
	$T_{45}= 9,0$	- 48,4					0,217	1	+ 1,217
	$T_{75}=11,9$	- 54,9							
19.01	$T_{15}=13,2$	-131,3	- 2,387	1	- 1,387				
	$T_{45}= 9,9$	- 59,7					0,010	1	+ 1,010
	$T_{75}=12,3$	- 60,0							
20.01	$T_{15}=33,2$	-383,3	-10,660	1	- 9,660				
	$T_{45}=10,2$	- 63,5					- 0,117	1	+ 0,883
	$T_{75}=12,3$	- 60,0							

#### 4.1.4.2. Efeito da interação dos tratamentos com as épocas de amostragens do solo.

A análise estatística demonstrou que não houve diferença significativa durante a primeira e segunda amostragens em função dos tratamentos, para todas as profundidades.

Conforme era esperado não houve diferença significativa na primeira amostragem, que corresponde ao início do experimento, devido que é um perfil de solo não salino. Na segunda amostragem, embora estas diferenças não sejam significativas desde o ponto de vista estatístico, os resultados mostram que houve incremento da salinidade em função da concentração salina da água de irrigação (Tabela 7).

Tabela 7. Valores médios da condutividade elétrica do extrato de saturação em função dos tratamentos e épocas de amostragens, expressados em milimhos/cm a 25<sup>o</sup>C.

TRATAMENTOS	ÉPOCAS DE AMOSTRAGENS			
	1 <sup>o</sup>	2 <sup>o</sup>	3 <sup>o</sup>	4 <sup>o</sup>
1	0,1483	0,1546	0,1438	0,2884
2	0,1536	0,1963	0,2690	0,4324
3	0,1590	0,2333	0,3211	0,5696

A Tabela 5 do Apêndice, apresenta o quadro de variância mostrando que houve diferença estatística significativa nos níveis de 5% e 1% de probabilidade para a terceira e quarta amostragens em função dos crescentes níveis de sais usados na água de irrigação para todas as profundidades.

As equações de regressão e coeficiente de determinação demonstram que nas terceira e quarta amostragens a salinidade do perfil do solo cresceu numa relação linear com o aumento da condutividade elétrica da água de irrigação. Figura 12.

Resultados semelhantes mostrando a mesma tendência foram encontrados por JURY et alii (1978) no cultivo de trigo e sorgo, atribuindo isto a que no início do experimento o perfil do solo não era salino.

#### 4.1.4.3. Efeito da interação das épocas de amostragens com os tratamentos.

A análise de variância demonstrou que houve diferenças significativas dos diferentes tratamentos em função das épocas de amostragens realizadas ao longo do experimento. Tabela 6 do Apêndice.

As equações de regressão e coeficiente de

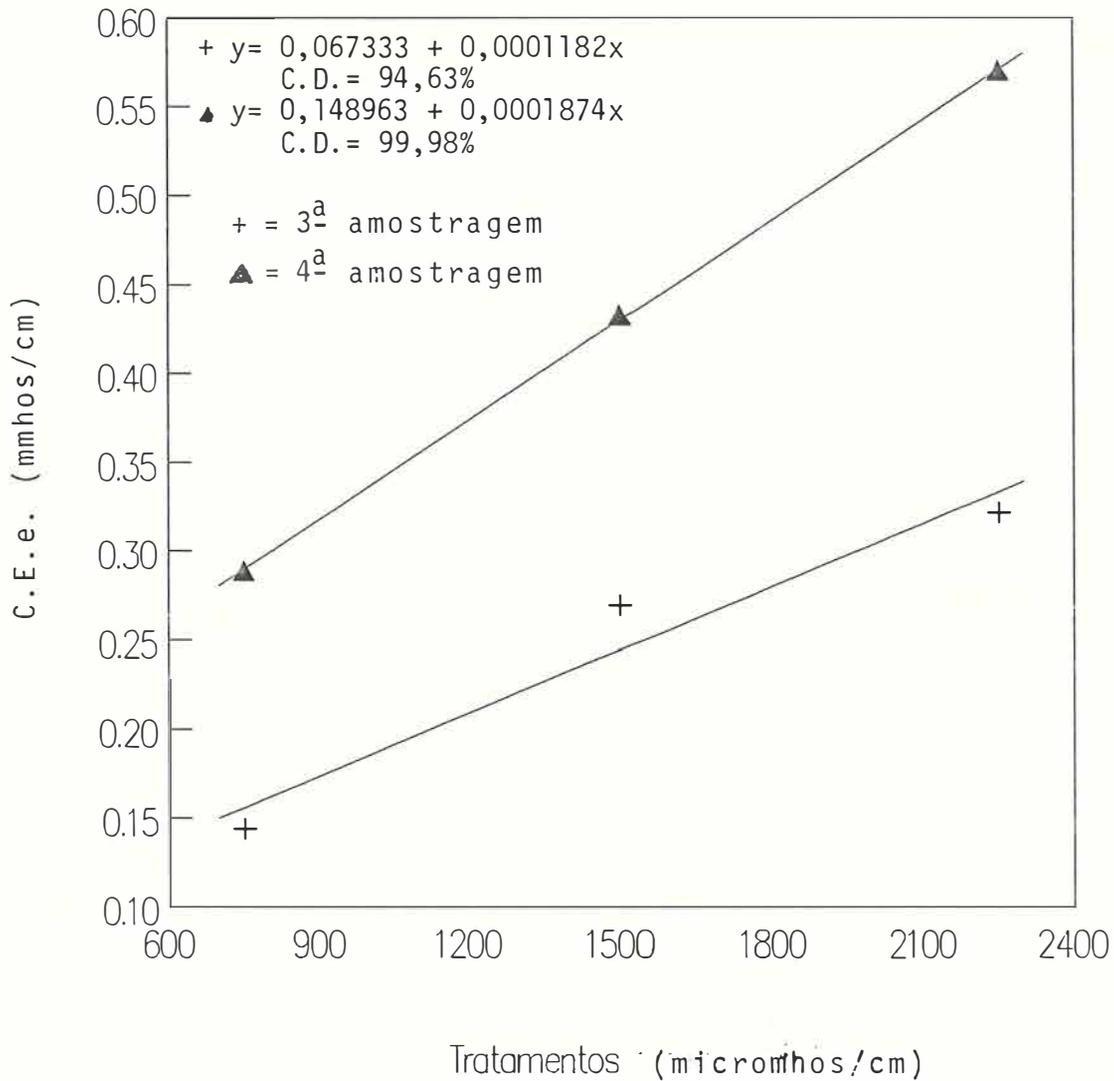


Figura 12. Relação da condutividade elétrica do extrato de saturação (C.E.e.) com a interação dos tratamentos com as amostragens. (Os pontos são a média das terceira e quarta amostragens para cada tratamento).

determinação mostram que em cada tratamento a salinidade do solo aumentou numa relação de natureza quadrática em função das diferentes épocas de amostragens. Figura 13. O efeito quadrático pode ser explicado possivelmente, pelo fato que na primeira e segunda época de amostragens não houve diferença significativa em todos os tratamentos, para posteriormente aumentar linearmente na terceira e quarta amostragens, (Ítem 4.1.4.2.). Contudo, o efeito quadrático obtido teve a participação da componente linear em 57,25%, 91,51% e 90,93% para o primeiro, segundo e terceiro tratamento respectivamente (Tabela 6 do Apêndice).

#### 4.1.5. Efeito das interações triplas

##### 4.1.5.1. Efeito da interação das épocas de amostragens com os tratamentos para a primeira profundidade.

Na Tabela 7 do Apêndice estão apresentado o quadro de análise de variância mostrando que houve diferença significativa na primeira profundidade para todos os tratamentos em função das épocas de amostragens.

As equações de regressão e coeficiente de determinação demonstram que a acumulação dos sais na camada superior tem um efeito quadrático para todos os tratamentos em relação as épocas de amostragens. Figura 14.

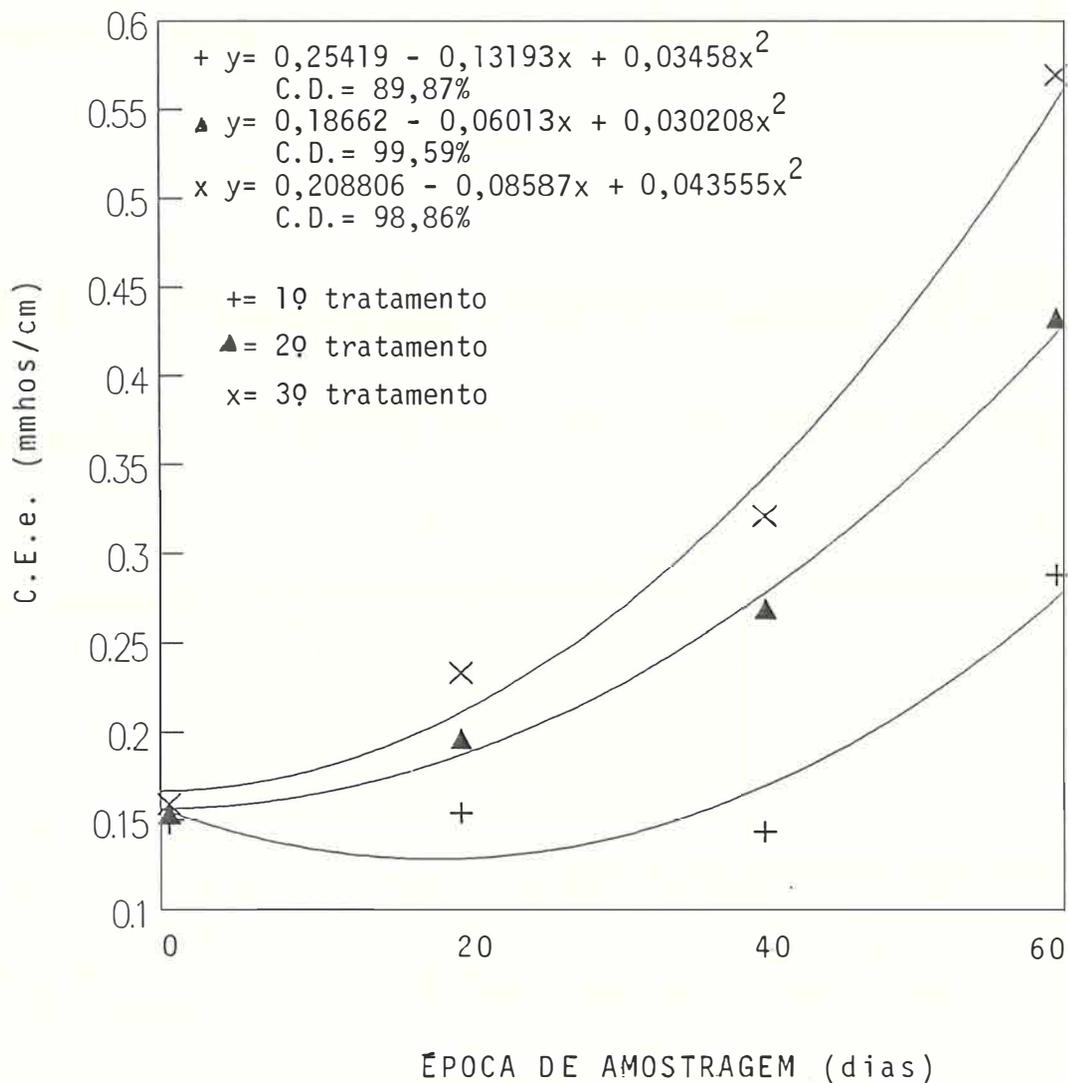


Figura 13. Relação da condutividade elétrica do extrato de saturação (C.E.e.) com a interação das amostragens com os tratamentos. (Os pontos são a média dos tratamentos para cada amostragem).

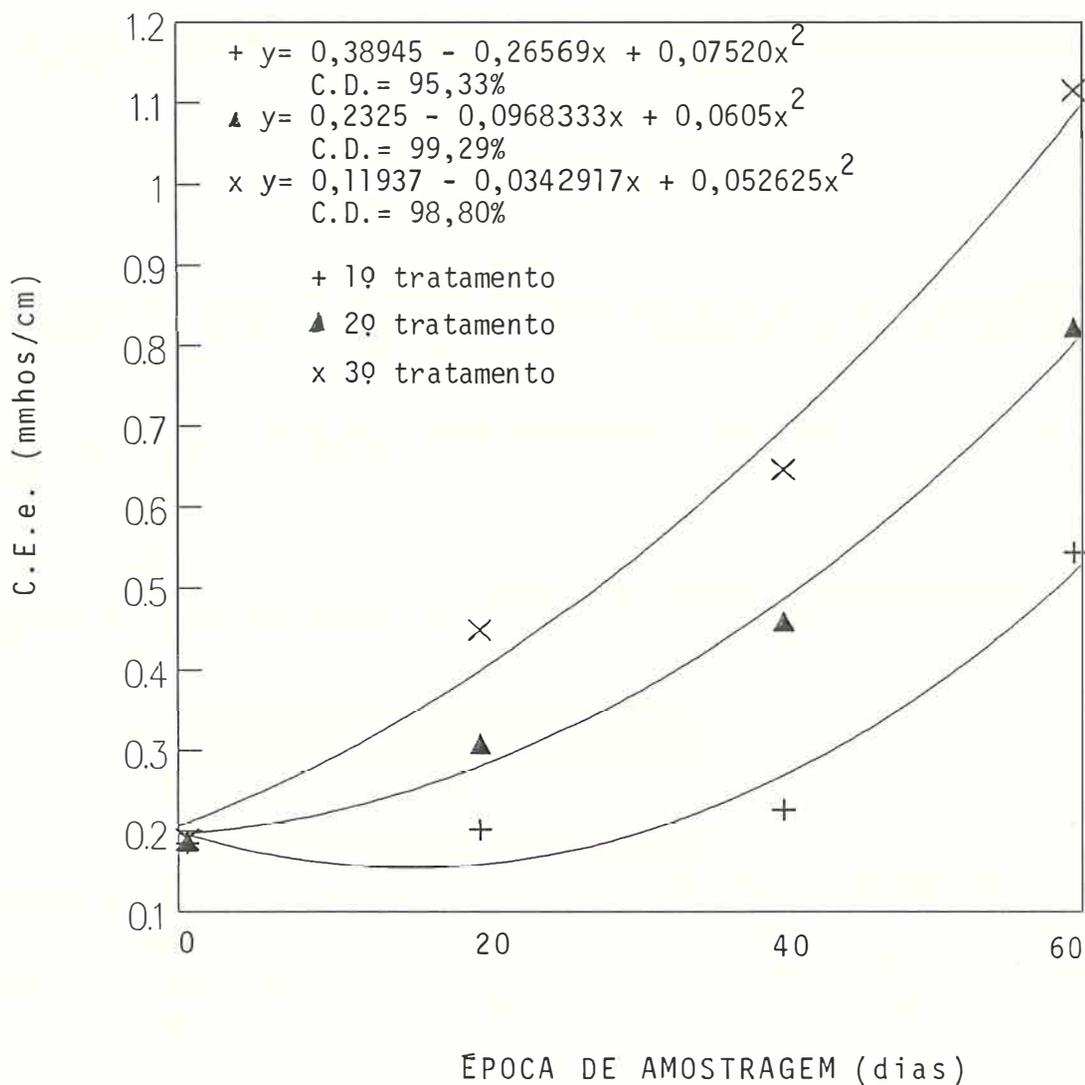


Figura 14 . Relação da condutividade elétrica do extrato de saturação (C.E.e.) com a interação das amostragens com os tratamentos para a primeira profundidade. (Os pontos são a média dos tratamentos para cada amostragem).

O efeito quadrático provavelmente pode ser explicado através das considerações feitas para a interação dos tratamentos com as épocas de amostragem do solo.

O efeito quadrático teve a participação da componente linear em 69,50%, 92,86% e 96,38% para cada um dos tratamentos, (Tabela 7 do Apêndice), ou seja possivelmente há tendência a linearidade em função da concentração salina da água de irrigação.

#### 4.1.5.2. Efeito da interação das épocas de amostragens com os tratamentos para a segunda profundidade.

A análise de variância demonstrou que houve diferença estatística significativa para o segundo e terceiro tratamento no intervalo de profundidade de 15 a 30 cm em relação as épocas de amostragens. Tabela 8 do Apêndice.

Pelas equações de regressão e coeficiente de determinação observou-se que a acumulação dos sais solúveis no solo cresceu numa relação quadrática para o segundo e terceiro tratamento. Figura 15. O efeito quadrático provavelmente poderia ser explicado através das considerações feitas no item 4.1.4.1. O efeito quadrático teve a participação da componente linear em 84,59% e 70,94% pa-

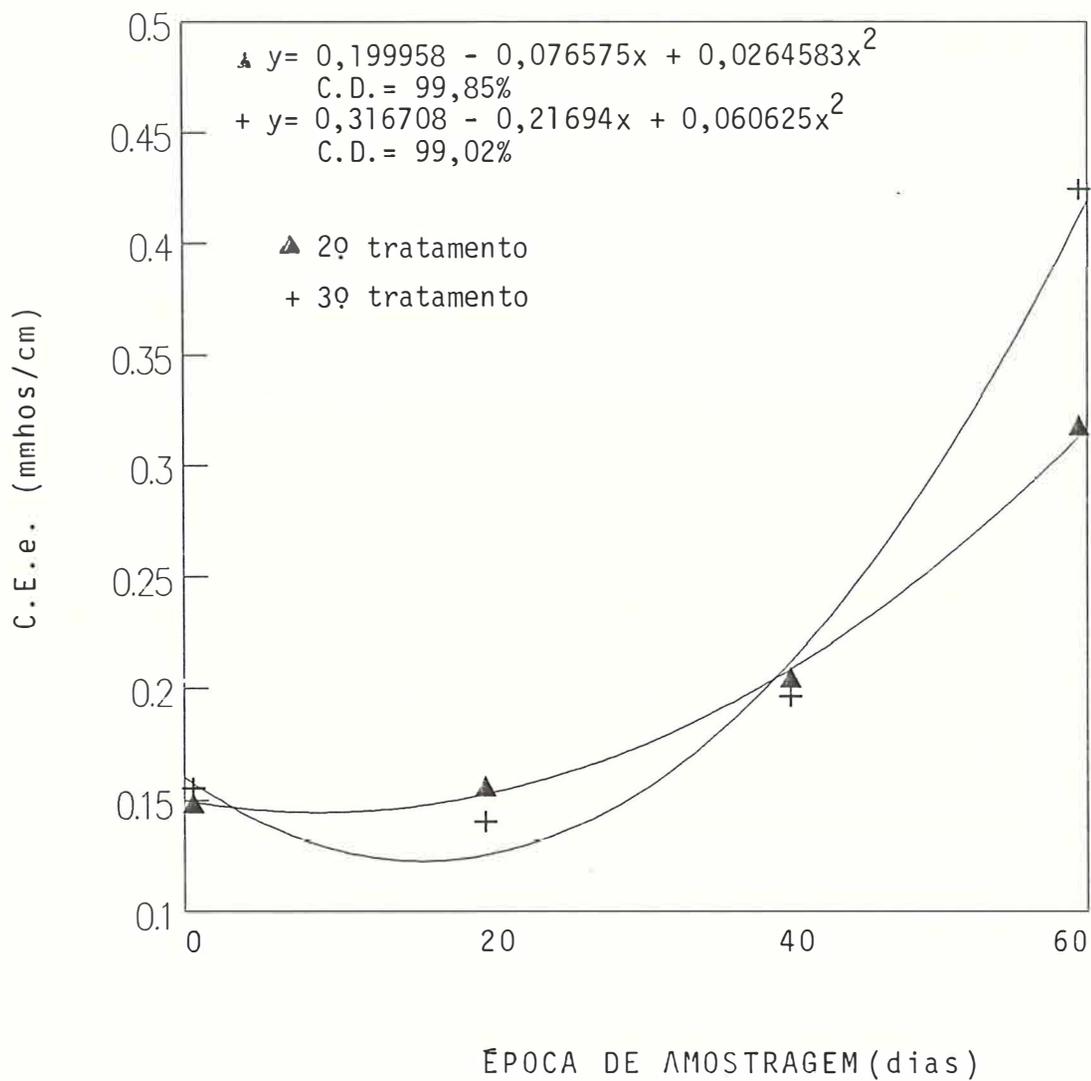


Figura 15. Relação da condutividade elétrica do extrato de saturação (C.E.e.) com a interação das amostragens com os tratamentos para a segunda profundidade. (Os pontos são a média dos tratamentos 2 e tratamento 3 para cada amostragem).

ra o segundo e terceiro tratamento (Tabela 8 do Apêndice). No primeiro tratamento não houve diferença significativa possivelmente pela menor condutividade elétrica da água de irrigação.

#### 4.1.5.3. Efeito da interação das épocas de amostragens com os tratamentos para a terceira profundidade.

A análise estatística demonstrou que não houve diferença significativa na acumulação dos sais nessa profundidade para os três tratamentos.

Este fato poderia ser atribuído possivelmente a que essa camada sempre teve um conteúdo elevado de umidade; dando por resultado uma baixa concentração salina.

Segundo a análise feita neste item, observou-se que na distribuição dos sais no perfil do solo houve maior acumulação salina no primeiro intervalo de profundidade em todos os tratamentos. Estes resultados possivelmente poderiam ser explicados a consequência do curto período de irrigação durante o crescimento do feijão para alcançar condições de uniformidade na distribuição de sais no solo. Considerações nesse sentido foram feitas por SHALHEVET & YARON (1973) e SHAINBERG & SHALHEVET (1984).

#### 4.2. Efeito da lâmina de lixiviação na salinização do solo

A consequência das condições do experimento não foi possível verificar o efeito direto da lâmina de lixiviação na salinização do solo e poderia ser estimada através da fórmula de requerimento de lixiviação de RHOADES (1974) em relação aos valores determinados no experimento e cujos resultados são apresentados na Tabela 8.

Tabela 8. Relação entre a condutividade elétrica do extrato de saturação esperados e observados.

TRATAMENTO	L.R. %	C.E.e(1) milimhos/cm	C.E.e(2) milimhos/cm	Efic. Lix. %
1	8	2,025	0,544	73
2	16	2,175	0,822	62
3	24	2,325	1,115	52

(1) Condutividade elétrica do ext. sat. esperada (RHOADES, 1974)

(2) Condutividade elétrica do ext. sat. observada

Estes valores médios foram analisados através do teste de TUKEY e resultaram estatisticamente diferentes ao nível de probabilidade de 1% e 5% ou seja pertencem a populações diferentes. Significando isto que não podem ser comparados entre si, por ter concentração salina

e lâmina de lixiviação diferentes. Para que estes valores fossem comparados, teria que ter-se repetido para cada tratamento as três lâminas de lixiviação.

As diferenças entre as condutividades elétricas do extrato de saturação esperadas e observadas em cada tratamento, provavelmente poderia ser devido ao efeito da lâmina de lixiviação. Apesar de que o experimento foi protegido por cobertura plástica, a efetividade desta não foi total, podendo-se pensar que houve uma lixiviação de sais a consequência das precipitações pluviométricas que não foi quantificada.

Os menores valores de condutividade elétrica do extrato de saturação observadas, poderia explicar-se, também, pela precipitação de sais de  $\text{CO}_3\text{Ca}$ , baseada nas análises químicas de água de irrigação. Nas mesmas os íons predominantes foram  $\text{Ca}^{++}$  e  $\text{HCO}_3^-$ .

A reação do solo (pH) foi determinada e os resultados mostraram que não houve variação significativa entre o valor inicial e final nos tratamentos.

Neste experimento a campo não foi possível estabelecer uma correlação entre o acréscimo da salinidade no perfil do solo e a taxa de lixiviação aplicada, devido ao problema de que necessitaria de no mínimo o triplo de

parcelas. Para isso, para cada concentração salina da água de irrigação deveriam ser aplicadas diferentes taxas de lixiviação, correlacionando estas com os níveis finais de salinidade em cada camada de solo. Entendemos que essas informações são importantes para estabelecer qual a lixiviação mais efetiva para impedir a salinização do solo, independente da qualidade da água aplicada. Contudo, percebe-se que as lixiviações calculadas com base na sensibilidade da cultura, mesmo não impedindo acúmulo de sais no solo, pelo menos atenuaram o valor final impedindo a igualdade com a salinidade da água aplicada. É desejável em outro experimento dar ênfase a esses problemas.

#### 4.3. Efeito da salinidade sobre a cultura

Os dados relativos a altura das planta no início da floração e parâmetros de rendimento: produção total de grãos por 10 plantas, número total de grãos por 10 plantas, número de grãos por vagem, número de vagem por planta, peso médio dos grãos e porcentagem de queda da produção são apresentados na Tabela 9.

Estes dados, exceto a porcentagem de queda da produção ( $\Delta P$ ) foram submetidos a análise estatística inteiramente casualizados e analisados através de regressão polinomial e teste de TUKEY para médias dos tratamentos.

Tabela 9. Valores médios de altura das plantas no início da floração (AIF), produção total de grãos (PTG), número total de grãos (NTG), número de grãos por vagem (NGV), número de vagem por planta (NVP), peso médio dos grãos (PMG) e porcentagem de queda da produção ( $\Delta P$ ).

TRATAMENTO	AIF (cm)	PTG (gramas)	NTG	NGV	NVP	PMG (gramas)	$\Delta P$ %
1	25,2	28,08	148,83	2,50	5,67	0,19	0,0
2	27,2	26,08	140,50	2,50	6,00	0,19	7,12
3	27,0	23,03	120,50	2,33	5,00	0,19	17,27

Os resultados da análise de variância demonstraram que não houve diferença estatística significativa entre os diferentes tratamentos para todos os parâmetros analisados.

Provavelmente, os resultados encontrados podem ser justificados devido ao fato de que a salinidade média na zona radicular no final do ciclo de crescimento foi menor do nível de tolerância da cultura (1 milimhos / cm) e foram os seguintes: 0,544; 0,822 e 1,115 milimhos / cm na primeira profundidade e 0,191; 0,318 e 0,422 milimhos/cm na segunda camada, respectivamente, para o primeiro, segundo e terceiro tratamento. Possivelmente, outra explicação, seria de que o processo de salinização iniciou-

se quando as plantas estavam já estabelecidas. Considerações neste sentido foram feitas por diversos pesquisadores; entre eles: SHALHEVET & REINEGER (1964), LUNIN & GALLATIN (1965); BINGHAM & GARBER (1970) e RHOADES (1984). Resultados contraditórios foram verificados por BORELLA (1986) na cultura de feijão, em trabalho conduzido em vasos, onde os parâmetros de produção decresceram linearmente com o aumento da concentração salina. Isto pode ser atribuído, possivelmente, as diferentes condições experimentais.

Em relação à porcentagem de queda na produção ( $\Delta P$ ), os resultados apresentados na Tabela 8 foram determinados em função do primeiro tratamento. Fazendo-se a mesma análise, estes valores discordam dos encontrados por BORELLA (1986), cujos resultados foram; 15,45 e 60,45%, respectivamente, para as águas de irrigação com condutividade elétrica de 1670 e 2450 micromhos/cm. Estas diferenças provavelmente se deve as diferentes condições experimentais.

Os valores de rendimento potencial das culturas fornecidas na tabela de tolerância aos sais de MASS & HOFFMAN (1977) foram testados, aplicando-se a fórmula de requerimento de lixiviação de RHOADES (1974); os resultados revelaram que é necessária uma condutividade elétrica do extrato de saturação em média de 2,2 milimhos/

cm para obter as lâminas de lixiviação usadas no experimento. Este valor de condutividade no extrato representaria uma queda na produção de aproximadamente 25%. Esta discrepância entre os resultados encontrados na tabela e os observados no experimento, onde não houve diminuição na produção, pode ser explicado como sendo consequência de fatores como diferentes condições climáticas, classe de solo, tipo de sais, fertilidade. Considerações neste sentido foram feitas por MASS (1984).

## 5. CONCLUSÕES

Com base nas análises e interpretações dos resultados obtidos na presente pesquisa e, considerando as condições em que a mesma foi conduzida, chegou-se as seguintes conclusões:

1. A salinidade do solo aumentou de forma linear com a concentração salina da água de irrigação, até 60 cm de profundidade.
2. O acúmulo de sais solúveis para os três tratamentos e nas três camadas de solo estudadas, foi decrescente a partir da superfície, com respectivamente 194%, 339% e 487% para a primeira camada; 34%, 113% e 173% para a segunda camada e 10%, 26% e 29% para a terceira camada.
3. Apesar dos níveis anteriormente descritos, ao final do experimento e em cada camada com seus três tratamentos, a condutividade elétrica do extrato de saturação foi sempre menor que a condutividade elétrica da água de irrigação.

4. Não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos  $C_1$ ,  $C_2$  e  $C_3$  com respectivamente 750, 1500 e 2250 micromhos/cm, para os parâmetros de produção e altura de plantas do feijoeiro.
  
5. As taxas de lixiviação aplicadas em cada irrigação em função dos tratamentos, calculados pela equação do USSL (1954), mostraram-se eficientes para impedir um prejuízo na produção da cultura como era desejado. Provavelmente isso explica a conclusão anterior.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACEVES, N.E.; STOLZY, L.H.; MEHUYS, G.R. Effects of soil osmotic potential produced with two salt species on plant water potential, growth, and grain yield of wheat. Plant and Soil, Dordrecht, 42: 619-27, 1975.

AYERS, A.D.; WADLEIGH, C.H.; MAGISTAD, O.C. The interrelationships of salt concentration and soil moisture content with the growth of beans. Journal of the American Society of Agronomy, Washington, 35: 796-810, 1943.

AYERS, R.S. Quality of water for irrigation. Journal of the Irrigation and Drainage Division, New York, 103: 135-54, Jun: 1977.

AYERS, R.S. & WESTCOT, D.W. Water quality for agriculture. Rome, FAO, 1985. 174 p. (FAO. Irrigation and drainage paper, 29, rev. 1).

~~BAJAWA, M.S.; JOSAN, A.S.; HIRA, G.S.; SINGH, N.T. Effect of sustained saline irrigation on soil salinity and~~

crop yields. Irrigation Science, New York, 7: 27-35 , 1986.

BERNSTEIN, L. & FRANCOIS, L.E. Leaching requirement studies: sensitivity of alfalfa to salinity of irrigation and drainage waters. Soil Science Society of America. Proceedings , Madison, 37: 931-43, 1973.

BIGGAR, J.W.; ROLSTON, D.E.; NIELSEN, D.R. Transport of salts by water. California Agriculture, Berkeley, 38 (10): 10-1, Oct. 1984.

BINGHAM, F.T. & GARBER, M.J. Zonal salinization of the root system with NaCl and boron in relation to growth and water uptake of corn plants. Soil Science Society of America. Proceedings, Madison, 34: 122-6, 1970.

BINGHAM, F.T.; MAHLER, R.J.; PARRA, J.; STOLZY, L.H. Long-term effects of irrigation-salinity management on a valencia orange orchard. Soil Science, Baltimore, 117 (6): 369-77, 1974.

BLIESNER, R.D.; HANKS, R.J.; KING, L.G.; WILLARDSON, L.S. Effects of irrigation management on the quality of irrigation return flow in Ashley Valley, Utah. Soil Science Society of America. Journal, Madison, 41:424-8, 1977.

- BONDS, E. & O'KELLEY, J.C. Effects of Ca and Sr on Zea mays seedling primary root growth. American Journal of Botany, Columbus, 56:271-4, 1969.
- BORELLA, J.E. Efeito da irrigação com água salina e da lâmina de lixiviação na produção de feijão (Phaseolus vulgaris, L.) e na salinização do solo. Piracicaba, 1986. 82 p. (Mestrado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP).
- BOWER, C.A.; OGATA, G.; TUCKER, J.M. Rootzone salt profiles and alfalfa growth as influenced by irrigation water salinity and leaching fraction. Agronomy Journal, Madison, 61: 783-5, Sept./Oct., 1969.
- BOWER, C.A.; OGATA, G. TUCKER, J.M. Sodium hazard of irrigation waters as influenced by leaching fraction and by precipitation or solution of calcium carbonate. Soil Science, Baltimore, 106(1): 29-34, 1968.
- CHRISTIANSEN, J.E.; OLSEN, E.C.; WILLARDSON, L.S. Irrigation water quality evaluation. Journal of the irrigation and Drainage Division, New York, 103: 155-69, Jun.1977.
- CRUCIANI, D.E. Perdas de água por drenagem profunda em cultura de milho irrigado (Zea mays L.). O Solo, Piracicaba, 72(2): 10-8, jul/dez. 1980.

- DAHIYA, I.S. & ABROL, I.P. The redistribution of surface salts by transient and steady infiltration of water into dry soils. J. Ind. Soc. Soil Science, 22:209-16, 1974.
- DAHIYA, I.S.; SINGH, M.; SINGH, M.; HAJRASULIHA, S. Simultaneous transport of surface-applied salts and water through unsaturated soils as affected by infiltration, redistribution, and evaporation. Soil Science Society of America. Journal, Madison, 44(2): 223-8, Mar./Apr. 1980.
- DONEEN, L.D. Salinization of soils by salts in the irrigation water. Transactions American Geophysical Union, Washington, 35: 943-56, 1954.
- EVANS, G.N. & LEVIN, I. The distribution of salts by infiltration of water into dry soils and sand. Aust.J. Soil Science, 7: 21-7, 1969.
- FRANCOIS, L.E. Alfalfa management under saline conditions with zero leaching. Agronomy Journal, Madison, 73 ( ): 1042-6, Nov./Dec. 1981.
- FRENKEL, H. Reassessment of water quality criteria for irrigation. In: SHAINBERG, I. & SHALHEVET, J., ed. Soil salinity under irrigation, processes and management.

Berlin, Springer-Verlag, 1984. p. 143-67. (Ecological studies, 51).

FRENKEL, H.; HADAS, A.; JURY, W.A. The effect of salt precipitation and high sodium concentrations on soil hydraulic conductivity and water retention. Water Resources Research, Washington, 14(2) : 217 - 22, 1978.

HOFFMAN, G.J. & JOBES, J.A. Growth and water relations of cereal crops as influenced by salinity and relative humidity. Agronomy Journal, Madison, 70:765-9, Sept/Oct. 1978.

HOFFMAN, G.J. & JOBES, J.A. Leaching requirement for salinity-control. III. Barley, cowpea, and celery. Agricultural Water Management, Amsterdam, 6: 1-14, 1983.

JURY, W.A.; FLUHLER, H.; STOLZY, L.H. Influence of soil properties, leaching fraction, and plant water uptake on solute concentration distribution. Water Resources Research, Washington, 13(3): 645-50, Jun. 1977.

JURY, W.A.; FRENKEL, H.; DEVITT, D.; STOLZY, L.H. Transient changes in the soil-water system from irrigation with saline water. II. Analysis of experimental data. Soil Science Society of America. Journal, Madison, 42: 585-90, 1978.

- KELLEY, W.P. Use of saline irrigation water. Soil Science, Baltimore, 95(6): 385-91, 1963.
- KUMAR, N.M. & OSWAL, M.C. Tests on one-dimensional models for predicting salt dynamics in soils. Soil Science, Baltimore, 137(6):408-14, Jun. 1984.
- LAHAYE, P.A. & EPSTEIN, E. Calcium and salt toleration by bean plants. Physiologia Plantarum, Copenhagen, 25:213-8, 1971.
- LUNIN, J. & GALLATIN, M.H. Zonal salinization of the root system in relation to plant growth. Soil Science Society of America. Proceedings, Madison, 29:608-12, 1965.
- LUNIN, J.; GALLATIN, M.H.; BATCHELDER, A.R. Effect of stage of growth at time of salinization on the growth and chemical composition of beans. II. Salinization in one irrigation compared with gradual salinization. Soil Science, Baltimore, 92: 194-201, 1961.
- MAAS, E.V. Crop tolerance. California Agriculture, Berkeley, 38(10). 20-1, Oct. 1984.
- MAAS, E.V. & HOFFMAN, G.J. Crop salt tolerance - current assessment. Journal of the Irrigation and Drainage Division, New York, 103: 115-34, Jun. 1977.

- MEIRI, A. & POLJAKOFF-MAYBER, A. Effect of various salinity regimes on growth, leaf expansion and transpiration rate of bean plants. Soil Science, Baltimore, 109 (1): 26-34, 1970.
- NIELSEN, D.R. & BIGGAR, J.W. Miscible displacement in soils. I. Experimental information. Soil Science Society of America. Proceedings, Madison, 25(1): 1-5, Jan. / Feb. 1961.
- OLIVEIRA, F.A. de. Efeito da salinidade da água de irrigação sobre algumas características do solo e da cultura do arroz (Oryza sativa, L.). Piracicaba, 1983. 139 p. (Doutorado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP).
- OSTER, J.D.; HOFFMAN, G.J.; ROBINSON, F.E. Management alternatives: crop, water, and soil. California Agriculture, Berkeley, 38(10): 29-32, Oct. 1984.
- PEARSON, G.A. Factors influencing salinity of submerged soil and growth of caloro rice. Soil Science, Baltimore, 87: 198-206, 1959.
- QAYYUM, M.A. & KEMPER, W.D. Salt-concentration gradients in soils and their effects on moisture movement and evaporation. Soil Science, Baltimore, 93: 333-42, 1962.

- RAATS, P.A.C. Distribution of salts in the root zone. Journal of Hydrology, Amsterdam, 27: 237-48, 1975.
- RANZANI, G.; FREIRE, O.; KINJO, T. Carta de solos do município de Piracicaba. Piracicaba, ESALQ/Centro de Estudos de Solos, 1966. 85 p.
- RHOADES, J.D. Drainage for salinity control. In: VAN SCHILFGAARDE, J., ed. Drainage for agriculture. Madison, American Society of Agronomy, 1974. p. 433-62 (Agronomy, 17).
- RHOADES, J.D. Quality of water for irrigation. Soil Science, Baltimore, 113 (4): 277-84, 1972.
- RHOADES, J.D. Use of saline water for irrigation. California Agriculture, Berkeley, 38(10): 42-3, Oct. 1984.
- RHOADES, J.D.; INGVALSON, R.D.; TUCKER, J.M.; CLARK, M. Salts in irrigation drainage waters. I. Effects of irrigation water composition, leaching fraction, and time of year on the salt compositions of irrigation drainage waters. Soil Science Society of America. Proceedings, Madison, 37: 770-4, 1973.
- RICHARDS, L.A. Pressure-membrance apparatus, construction and use. Agricultural Engineering, St. Joseph, 28:451-4, 1947.

- ROLSTON, D.E.; BIGGAR, J.W.; NIELSEN, D.R. Effect of salt on soils. California Agriculture, Berkeley, 38(10): 11-3, Oct. 1984.
- SHAINBERG, I. & OSTER, J.D. Quality of Irrigation Water. Bet Dagan, International Irrigation Information Center, 1978. 65 p. (IIIC publication, 2).
- SHALHEVET, J. Management of irrigation with Brackish water. SHALHEVET, J., ed. Soil salinity under irrigation, processes and management. Berlin, Springer-Verlag, 1984. p. 298-318. (Ecological studies, 51).
- SHALHEVET, J. & REINIGER, P. The development of salinity profiles following irrigation of field crops with saline water. Israel Journal of Agriculture Research, Renvot, 14(4): 187-96, Dec. 1964.
- SHALHEVET, J. & YARON, B. Effect of soil and water salinity on tomato growth. Plant and Soil, Dordrecht, 39: 285-9, 1973.
- SOROKIN, H. & SOMMER, A.L. Effects of calcium deficiency upon the roots of Pisum sativum. America Journal of Botany, Columbus, 27: 308-18, 1940.
- SZABOLCS, I. Agronomical and ecological impact of irriga-

tion on soil and water salinity. Advances in Soil Science. New York, 4: 189-218, 1986.

THORNE, J.P. & THORNE, D.W. Irrigation waters of Utah. Logan, Utah Agricultural Experiment Station, 1951 . 63 p. (Bulletin, 346).

U.S. SALINITY LABORATORY STAFF. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. Washington, USDA, 1954 . 160 p. (Handbook, 60).

VAN der MOLEN, W.H. Salt balance and leaching requirement. In: \_\_\_\_\_ Drainage principles and applications . Wageningen, ILRI, 1973. v.2 , p.59 - 102: (ILRI, 16).

VAN HOORN, J.W. Salt movement, leaching efficiency, and leaching requirement. Agricultural Water Management , Amsterdam, 4: 409-28, 1981.

WADLEIGH, C.H. & AYERS, A.D. Growth and biochemical composition of bean plants as conditioned by soil moisture tension and salt concentration. Plant Physiology, Rockville, 20: 106-32, 1945.

WILCOX, L.V. The quality of water for irrigation use. Washington, USDA, 1948. 40 p. (Bulletin Technical, 962).

- WILCOX, L.V. & DURUM, W.H. Quality of irrigation water. .  
In: HAGAN, R. M. et alii, ed. Irrigations of agricultural land. Madison, American Society of Agronomy, 1967. p. 104-22. (Agronomy, 11).
- WILD, A. & BABIKER, I.A. The asymmetric leaching pattern of nitrate and chloride in a loamy sand under field conditions. Journal of Soil Science, Oxford, 27:460-6, 1976.
- YADAV, J.S.P. & GIRDHAR, I.K. Effect of varying Mg/Ca ratio and electrolyte concentration in the irrigation water on the soil properties and growth of wheat. Plant and Soil, Dordrecht, 56 (3): 413-27, 1980.
- ZARTMAN, R.E. & GICHURU, M. Saline irrigation water ; effects on soil chemical and physical properties. Soil Science, Baltimore, 138(6): 417-22, Dec. 1984.

## APĚNDICE

Tabela 1 . Quadrado médio (Q.M.) relativo aos níveis de tratamentos, com os respectivos coeficientes de determinação ( $R_L^2$  e  $R_Q^2$ )

Causa da variação	G.L.	Q.M.
Regressão linear	1	0,6762311**
Regressão quadrática	1	0,0053904
Resíduo	15	0,0381902
$R_L^2$		0,9921
$R_Q^2$		1,0000

\*\* Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

Tabela 2 . Quadrado médio (Q.M.) relativo aos níveis das amostragens , com os respectivos coeficientes de determinação ( $R_L^2$ ;  $R_Q^2$  e  $R_C^2$ ).

Causa da variação	G.L.	Q.M.
Regressão linear	1	2,0874481**
Regressão quadrática	1	0,2817387**
Regressão cúbica	1	0,0434086*
Resíduo	45	0,0078353
$R_L^2$		0,8652
$R_Q^2$		0,9820
$R_C^2$		1,0000

\*\* Significativo ao nível de 1% de probabilidade

\* Significativo ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 3 . Quadrado médio (Q.M.) relativo aos níveis de profundidade, com os respectivos coeficientes de determinação ( $R_L^2$  e  $R_Q^2$ ).

Causa da variação	G.L.	Q.M.
Regressão linear	1	3,0434924**
Regressão quadrática	1	0,9604593**
Resíduo	120	0,0049418
$R_L^2$		0,7601
$R_Q^2$		1,0000

\*\* Significativo ao nível de 1% de probabilidade

Tabela 4 . Quadrado médio (Q.M.) relativo a interação das amostras com as profundidades, com os respectivos coeficientes de determinação ( $R_L^2$ ;  $R_Q^2$  e  $R_C^2$ )

Causa da variação	G.L.	Q.M.	
		0-15 cm	15-30 cm
Regressão linear	1	3,7630030**	0,2313948**
Regressão quadrática	1	0,2837552**	0,0877107**
Regressão cúbica	1	0,0637868**	0,0092923
Resíduo	45	0,0078353	0,0078353
$R_L^2$		0,9155	0,7046
$R_Q^2$		0,9845	0,9717
$R_C^2$		1,0000	1,0000

\*\* Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

Tabela 5 . Quadrado médio (Q.M.) Relativo a interação dos tratamentos com as amostragens, com os respectivos coeficientes de determinação ( $R_L^2$ ;  $R_Q^2$ ).

Causa da variação	G.L.	Q.M.	
		Terceira Ext.	Quarta Ext.
Regressão linear	1	0,2828467*	0,7114921**
Regressão quadrática	1	0,0160601	0,0001447
Resíduo	15	0,0381902	0,0381902
$R_L^2$		0,9463	0,9998
$R_Q^2$		1,0000	1,0000

\*\* Significativo ao nível de 1% de probabilidade

\* Significativo ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 6 . Quadrado médio (Q.M.) relativo a interação das amostragens com os tratamentos, com os respectivos coeficiente de determinação ( $R_L^2$ ;  $R_Q^2$  e  $R_C^2$ ).

Causa da variação	G.L.	Q.M.		
		TRAT. 1	TRAT. 2	TRAT. 3
Regressão linear	1	0,1511259**	0,7437439**	1,5657843**
Regressão quadrática	1	0,0861125**	0,0657032**	0,1365902**
Regressão cúbica	1	0,0267289	0,0033063	0,0195659
Resíduo	45	0,0078353	0,0078353	0,0078353
$R_L^2$		0,5725	0,9151	0,9093
$R_Q^2$		0,8987	0,9959	0,9886
$R_C^2$		1,0000	1,0000	1,0000

\*\* Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

Tabela 7. Quadrado médio (Q.M.) relativo a interação das amostragens com os tratamentos para a primeira profundidade, com os respectivos coeficientes de determinação ( $R_L^2$ ,  $R_Q^2$  e  $R_C^2$ ).

Causa da variação	G.L.	Q.M.		
		TRAT. 1	TRAT. 2	TRAT. 3
Regressão linear	1	0,3653137**	1,2689634**	2,6537001**
Regressão quadrática	1	0,1357511**	0,0878460**	0,0664654**
Regressão cúbica	1	0,0245674	0,0097200	0,0331669*
Resíduo	45	0,0078353	0,0078353	0,0078353
$R_L^2$		0,6950	0,9286	0,9638
$R_Q^2$		0,9533	0,9929	0,9880
$R_C^2$		1,0000	1,0000	1,0000

\*\* Significativo ao nível de 1% de probabilidade

\* Significativo ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 8 . Quadrado médio (Q.M.) relativo a interação das amostragens com os tratamentos para a segunda profundidade, com os respectivos coeficientes de determinação ( $R_L^2$ ,  $R_Q^2$  e  $R_C^2$ ).

Causa da variação	G.L.	Q.M.	
		TRAT. 2	TRAT. 3
Regressão linear	1	0,0931304**	0,2228270**
Regressão quadrática	1	0,0168010**	0,0882094**
Regressão cúbica	1	0,0001657	0,0030704
Resíduo	45	0,0078353	0,0078353
$R_L^2$		0,8459	0,7094
$R_Q^2$		0,9985	0,9902
$R_C^2$		1,0000	1,0000

\*\* Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

Tabela 9. Dados climáticos apresentados no experimento.

MÊS	PRECIPITAÇÃO mm	TEMPERATURA °C		
		Max.	Mín.	Média
Dez/87	190,5	30,6	18,6	24,6
Jan/88	185,3	32,4	20,0	26,2