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

JOSÉ EDUARDO BORELLA

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
Abril - 1986

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, GIÁCOMO e JÚLIA, e
aos meus irmãos, Maria Eugenia, Paulo Henrique
Julio Cesar e Marcio Luis,

DEDICO.

À minha esposa ROSE,
pela colaboração, compreensão, incentivo,
e amor sempre dedicados,

OFEREÇO,

AGRADECIMENTOS

À Companhia de Desenvolvimento do Vale do São Francisco - CODEVASF - pela liberação em tempo integral para realização do curso em Irrigação e Drenagem.

À Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", por intermédio do Departamento de Engenharia Rural, pelo apoio dispensado para a realização deste trabalho.

Ao Prof. DÉCIO EUGÊNIO CRUCIANI, pela orientação, amizade e apoio recebidos durante o curso e na execução deste Trabalho.

Aos Professores Francisco José Krug e Valter de Paula Lima pela contribuição na análise química das águas de irrigação.

Ao Prof. Tácito Silva, Assessor da Diretoria Técnica da Embrapa, pela colaboração na análise estatística e interpretação dos resultados.

Aos demais professores, colegas de curso e funcionários do Departamento de Engenharia Rural pelas sugestões e demonstração de amizade.

Emfim, a todos que, direta ou indiretamente, colaboraram para o êxito deste trabalho.

ÍNDICE

RESUMO.....	viii
SUMMARY.....	xi
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1. Água para Irrigação.....	3
2.1.1. Classificação de água para irrigação.....	3
2.1.2. Salinidade de água de irrigação.....	5
2.2. Irrigação com Água Salina e Lixiviação.....	6
2.2.1. Método e manejo da irrigação.....	6
2.2.2. Efeito sobre a cultura.....	7
2.2.2.1. Germinação e emergência.....	7
2.2.2.2. Produção.....	8
2.2.2.3. Consumo de água.....	11
2.2.3. Efeito sobre o solo.....	13
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	15
3.1. Materiais.....	15
3.1.1. Local do trabalho.....	15
3.1.2. Características climáticas.....	16
3.1.3. Solo.....	16
3.1.3.1. Tipo.....	16
3.1.3.2. Características físicas e químicas.....	16
3.1.4. Água de irrigação.....	17
3.1.4.1. Origem.....	17
3.1.4.2. Sais para salinização da água.....	17
3.1.5. Cultura.....	18
3.2. Métodos.....	18
3.2.1. Preparo do solo.....	18
3.2.2. Salinização da água de irrigação.....	19

3.2.2.1. Elementos e proporções.....	19
3.2.2.2. Soluções concentradas.....	19
3.2.2.3. Concentrações salinas.....	23
3.2.2.4. Classificação para irrigação....	24
3.2.3. Plantio.....	24
3.2.4. Irrigação.....	25
3.2.4.1. Evapotranspiração real.....	25
3.2.4.2. Lixiviação.....	29
3.2.4.3. Aplicação.....	29
3.2.5. Colheita.....	30
3.2.6. Tratamentos.....	30
3.2.7. Delineamento experimental.....	33
3.2.8. Coleta de dados e análises estatísticas	34
3.2.8.1. Dados coletados.....	34
3.2.8.2. Parâmetros analisados.....	35
3.2.8.3. Análises estatísticas efetuadas.	36
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	37
4.1. Efeito dos Tratamentos sobre a cultura.....	37
4.1.1. Número total de vagens.....	37
4.1.2. Número total de grãos.....	38
4.1.3. Produção total de grãos.....	38
4.1.4. Peso médio dos grãos.....	46
4.1.5. Evapotranspiração real acumulada.....	51
4.1.6. Consumo de água por peso de grão	51
4.1.7. Altura de planta no início da floração...	52
4.1.8. Percentagem de queda da produção.....	57
4.2. Efeito dos tratamentos sobre o solo.....	61
4.3. Condutividade elétrica.....	66
4.4. Recuperação de um solo salino	68
5. CONCLUSÕES.....	71
6. LITERATURA CITADA.....	75

LISTA DE TABELA

TABELA	1. Características físicas do solo.....	17
TABELA	2. Características químicas do solo.....	17
TABELA	3. Proporção dos sais para salinização das águas de irrigação.....	26
TABELA	4. Análise química das águas aplicadas nas irri gações.....	27
TABELA	5. Valores médios do número total de vagens (NTV), número total de grãos (NTG), produção total de grãos (PTG), peso médio dos grãos (PMG), altu ra de planta no início da floração (AIF), por centagem de queda de produção (PQP), evapotrans piração real acumulada (ETA), consumo de água por peso de grão (CAP) e condutividade elétrica do extrato 1:1 do solo ($CEE_{1:1}$).....	39
TABELA	6. Quadrado médio (QM) e coeficiente de variação (CV) relativos ao número total de vagens (NTV) e ao número total de grãos (NTG).....	40
TABELA	7. Mostra os resultados obtidos por O'LEARY(1975).	41
TABELA	8. Quadrado médio (QM) e coeficiente de variação (CV) relativos à produção total de grãos (PTG) e ao peso médio dos grãos (PMG).....	47
TABELA	9. Quadrado médio (QM) e coeficiente de variação (CV) relativos à evapotranspiração real acumulada (ETA) e ao consumo de água por peso de grão(CAP)...	53

TABELA 10. Quadrado médio (QM) e coeficiente de variação (CV) relativos à altura de planta no início da floração (AIF) e à porcentagem de queda da produção (PQP).....	58
--	----

TABELA 11. Quadrado médio (QM) e coeficiente de variação (CV) relativo à condutividade elétrica do <u>ex</u> trato 1:1 do solo após a safra ($CEE_{1;1}$).....	65
--	----

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. Esquema do vaso com tensiômetro.....	20
FIGURA 2. Relação entre o número total de vagens (NTV) e a condutividade elétrica da água de irriga ção (CE).....	42
FIGURA 3. Relação entre o número total de grãos (NTG) e a condutividade elétrica da água de irriga ção (CE).....	43
FIGURA 4. Relação entre o número total de grãos (NTG) e a lâmina da lixiviação (L).....	44
FIGURA 5. Relação entre a produção total de grãos (PTG) e a condutividade elétrica da água de irriga ção (CE).....	48
FIGURA 6. Relação entre o peso médio dos grãos (PMG) e a condutividade elétrica da água de irriga ção (CE).....	49
FIGURA 7. Relação entre o peso médio dos grãos (PMG) e a lâmina de lixiviação (L).....	50
FIGURA 8. Relação entre evapotranspiração real acumulada (ETA) e a condutividade elétrica da água de irrigação (CE).....	54
FIGURA 9. Relação entre o consumo de água por peso de grãos (CAP) e a condutividade elétrica da água de irrigação (CE).....	55
FIGURA 10. Relação entre o consumo de água por peso de	

grãos (CAP) e a lâmina de lixiviação (L).....	56
FIGURA 11. Relação entre a altura de planta no início da floração (AIF) e a condutividade elétrica da água de irrigação (CE).....	59
FIGURA 12. Relação entre a porcentagem de queda da produ- ção (PQP) e a condutividade elétrica da água de irrigação (CE).....	60
FIGURA 13. Relação entre as condutividades elétricas do extrato 1:1 do solo ($CEE_{1:1}$) e da água de irriga- ção (CE).....	63
FIGURA 14. Relação entre a condutividade elétrica do ex- trato 1:1 do solo ($CEE_{1:1}$) e a lâmina de lixiv- iação (L).....	64
FIGURA 15. Relação entre as condutividades elétricas dos extratos 1:1 ($CEE_{1:1}$) e de saturação (CE_e) do solo.....	67

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

José Eduardo Borella

Décio Eugenio Cruciani - Orientador

RESUMO

No Departamento de Engenharia Rural da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", município de Piracicaba-SP, estudaram-se os efeitos da qualidade da água de irrigação e da lâmina de lixiviação na produção de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) e na salinização do solo.

O experimento foi conduzido sob uma cobertura de plástico transparente em vasos de 50cm de altura e diâmetro de 20 cm, preenchidos com solo dos primeiros 30cm de profundidade do perfil natural do Latossolo Vermelho Amarelo-Fase Arenosa Série Sertãozinho, com condutividade elétrica do extrato 1:1 de 185 micromhos/cm à 25°C.

A um litro de água natural, com 250 micromhos/cm à 25°C e denominada de C_0 , foram adicionados 360, 720 e 1080 mg de mistura de sais, constituindo respectivamente as águas, C_1 , C_2 e C_3 , com condutividades elétricas de 945, 1670 e

2450 micromhos/cm à 25°C. Os sais utilizados foram cloreto de cálcio, sulfato de magnésio e bicarbonato de sódio nas proporções em peso de 5,0:3,0:2,0, respectivamente.

Aplicaram-se adicionais de 0, 7, 14 e 21% da evapotranspiração observada nos vasos irrigados com água C_0 como lâmina de lixiviação de manutenção denominados respectivamente de L_0 , L_1 , L_2 e L_3 .

O delineamento experimental foi totalmente casualizado. Cada tratamento resultou da combinação entre as variáveis qualidade da água (C) e lixiviação (L), perfazendo doze tratamentos mais a testemunha, com quatro repetições, sendo cada uma correspondente a um vaso com três plantas.

Foram analisados os seguintes parâmetros relativos à cultura: produção total de grãos, porcentagem de queda da produção, número total de grãos, número total de vagens, peso médio dos grãos, evapotranspiração acumulada, consumo de água por peso de grão e altura de planta no início da floração. Com relação ao solo foi analisada a condutividade elétrica do extrato 1:1 após a colheita.

Os resultados mostraram que o aumento da concentração de sais na água provocou um decréscimo significativo, com efeito linear, dos parâmetros: produção total de grãos, números totais de vagens e grãos, peso médio dos grãos, evapotranspiração acumulada e altura de planta no início da floração. A produção de grãos foi de 18,15;13,01;

9,93 e 5,75 g e a evapotranspiração de 867,85; 829,55; 730,62 e 626,57 mm respectivamente para a testemunha e para os tratamentos irrigados com C_1 , C_2 e C_3 . Por outro lado ocasionou incremento da porcentagem de queda da produção, com efeito linear, e do consumo de água por peso de grão, com efeito quadrático. A queda da produção foi de 28,5; 45,2 e 68,3% e o consumo de 64,58; 74,48 e 114,94 mm/grama respectivamente para as águas C_1 , C_2 e C_3 .

A salinidade do solo cresceu de 185 micromhos/cm à 25°C para 595,7; 821,4 e 1.055,9 micromhos/cm à 25°C respectivamente para as águas C_1 , C_2 , C_3 . Este efeito foi linear e significativo ao nível de 1% de probabilidade.

O aumento da lâmina de lixiviação proporcionou um incremento do número total de grãos e do consumo de água por peso de grão e uma redução do peso médio dos grãos. O consumo observado foi de 75,41; 81,90; 91,86 e 88,71 mm / grama respectivamente para as lâminas de lixiviação L_0 , L_1 , L_2 e L_3 . Nos demais parâmetros da cultura a lixiviação não interferiu significativamente nos resultados.

Com relação ao solo a condutividade elétrica do extrato 1:1 ficou em 953,1; 824,3; 761,0 e 706,9 micromhos/cm à 25°C respectivamente quando aplicadas as lâminas L_0 , L_1 , L_2 , e L_3 . Este efeito foi linear e significativo ao nível de 1% de probabilidade.

EFFECT OF THE IRRIGATION AND LEACHING REQUIREMENTS WITH
SALINE WATER ON THE PRODUCTION OF BEANS (*Phaseolus vulgaris* L.)
AND ON THE SALINIZATION OF THE SOIL.

José Eduardo Borella

Prof. Dr. Décio Eugenio Cruciani

Adviser

SUMMARY

The effects of irrigation water quality and leaching requirements on the yield of beans (*Phaseolus vulgaris* L.) and the residual soil salinization were studied at the Rural Engineering Department of the Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", in Piracicaba-São Paulo, Brazil.

The experiment was conducted using a transparent plastic sheet to protect 52 pots against the rainfall. Each pot, 50 cm high and 20 cm in diameter, was filled with soil from the first 30 cm depth of the natural sandy soil: Red Yellow Latossols - Sertãozinho Series, with an electrical conductivity of the extract 1:1 of 185 micromhos/cm at 25°C.

In one liter of natural water, designated as C_0 , with 230 micromhos/cm at 25°C. were added 360, 720 and 1080 mg

of a mixture of salts, representing respectively the irrigation waters, C_1 , C_2 , and C_3 , with electrical conductivity of 945, 1,670 and 2,450 micromhos/cm at 25°C. The salts used were calcium chloride, magnesium sulphate and sodium bicarbonate at the ratio of 5:3:2, respectively.

The leaching depths designated as L_0 , L_1 , L_2 and L_3 applied to the irrigated pots were equivalent to 0, 7, 14 and 21% of the evapotranspiration observed with the control.

The experimental outline was randomly set. Each treatment was a result of the combination between of the two variables: the water quality (C) and leaching (L), totalizing twelve treatments plus the control, with four replications each one corresponding to a pot with three plants.

The crop growth was analysed according to the following parameters: total production of grains, percentage of the decrease in production, total amount of grains, total amount of pods, average weight of grains, cumulative evapotranspiration, water consumption per weight of grain and the plant height at the beginning of flowering. With relation to the soil, the electrical conductivity of the extract 1:1 was taken after harvesting.

The experiment results indicated that the increase of concentration of salts in water caused a significant linear decrease of the following parameters: total production of grains, total amount of pods and grains,

average weight of grains, cumulative evapotranspiration and the height of the plants at the start of their flowering. The production of grains reached 18.15; 13.01; 9.93 and 5.75 g and the evapotranspiration 867.85; 829.55; 730.62; and 626.57 mm respectively for the control and for the treatments irrigated with C_1 , C_2 and C_3 . On the other hand the experiment showed that there was an increment in the percentage of decrease in production, with a linear effect, and a quadratic effect in the water consumption per weight of grain.

The decrease of production reached 28.5; 45.2 and 68.3% and the water consumption per weight of grains was 64.58; 74.48 and 114.94 mm/g respectively for the waters C_1 , C_2 and C_3 .

The soil salinity increased from 185 micro mhos/cm at 25°C to 595.7; 821.4 and 1055.9 micromhos/cm at 25°C respectively when the waters C_1 , C_2 and C_3 were used. This effect was linear and significant to the level of probability of 1%.

Increasing the leaching depth caused an increase of the amount of grains and an increase of the water consumption per weight of grain and the decrease of the average weight of grains. The consumption observed was 74.41; 81.90; 91.86 and 88.71 respectively for the leaching depths L_0 , L_1 , L_2 and L_3 . The leaching depths did not affect significantly the results of the other crop

parameters.

In relation to the soil, the electrical conductivity of the extrat 1:1 was 953.1; 824.3; 761.0 and 706.9 micromhos/cm at 25°C respectively when the leaching depths L_0 , L_1 , L_2 and L_3 were applied. This effect was linear and significant to the level 1% of probability.

1 INTRODUÇÃO

O crescimento populacional fez com que o homem aumentasse a produção de alimentos, quer seja pelo incremento da produtividade com aplicação de novas técnicas, quer seja através da expansão das fronteiras agrícolas.

Por intermédio de melhoramento genético, adubação, controle de pragas e doenças, mecanização e irrigação, entre muitos outros, a produtividade das culturas tem sido incrementada, no entanto este crescimento tem seu limite.

A expansão das fronteiras agrícolas como agente de aumento da produção também tem seu limite, mas ainda permite fazê-lo por muitos anos, considerando as disponibilidades edáficas e climáticas.

Muitas áreas para serem incorporadas no processo produtivo dependem de tecnologia, não para de início

garantirem rendimentos máximos e sim para permitir tanto uma produtividade normal como a conservação dos recursos naturais, principalmente o solo.

As regiões semi-áridas são consideradas áreas potenciais para exploração de agricultura irrigada, entretanto seus mananciais, superficiais ou subterrâneos, normalmente possuem águas com elevados teores de sais.

Irrigação com estas águas incorpora significativas quantidades de sais e para evitar a progressiva salinização do solo, é indispensável aplicação de lâminas de lixiviação de manutenção ou recuperação.

Altas taxas de evapotranspiração normalmente ocorrem nestas regiões e fazem com que sejam removidas da zona radicular das culturas grandes quantidades de água, concentrando assim a solução do solo o que prejudica o desenvolvimento da cultura.

O manejo da irrigação com aplicação de lâmina de lixiviação de manutenção é imprescindível para permitir bom desenvolvimento da cultura e controle da salinidade do solo.

Definiu-se então o objetivo deste trabalho como sendo estudar quantitativamente os efeitos da salinidade da água de irrigação e da lâmina de lixiviação na produção do feijão e na salinização do solo.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Água para Irrigação

2.1.1. Classificação de água para irrigação

HILGARD em 1906 (apud WILCOX e DURUM 1967) foi um dos primeiros a reconhecer a importância da qualidade da água para irrigação e propôs uma classificação baseada no total de sais solúveis.

Procurando ampliar os elementos classificatórios, o Serviço de Extensão Agrícola da Universidade da Califórnia, em 1931, introduziu o primeiro esquema baseado na condutividade elétrica em mmhos/cm à 25°C e nas concentrações de boro, sódio, cloreto e sulfato (SOUZA, 1971). Logo após, TAYLOR et alii em 1935 (apud WILCOX e DURUM, 1967) propuseram uma equação empírica conhecida como "índice de sal".

Um diagrama para classificação da água com ba

se na condutividade elétrica e na porcentagem de sódio foi apresentado por WILCOX (1948), depois modificado por THORNE e THORNE (1951).

DONNEN em 1954 (apud WILCOX e DURUM 1967) classificava em base à salinidade efetiva. Este termo foi definido como sendo o total de sais dissolvidos exceto o sulfato de cálcio e os bicarbonatos de cálcio e magnésio, pois, admitiu que estes sais precipitam e não contribuem para a salinidade do solo. Ênfatizava, também, que a salinidade efetiva é somente um dos muitos fatores que devem ser considerados e indicava que o sódio, bicarbonatos, boro e outros constituintes tóxicos devem ser avaliados.

Com base na condutividade elétrica e na relação de adsorção de sódio, o U.S. SALINITY LABORATORY (1954) apresentou diagrama com dezesseis classes de água, as quais contemplam separadamente os perigos de salinização e sodificação.

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

RHOADES (1972) afirma que é impossível se definir um padrão de ampla aplicação para a qualidade de água de irrigação e que a classificação deve ser feita, para cada condição específica, considerando a cultura, as propriedades do solo, o método e o manejo da irrigação, as práticas culturais e o clima.

O guia apresentado por AYERS (1977) considera quatro grandes grupos de problemas (salinidade, permeabilidade, toxicidade e micelânea) e três níveis (sem problema, problema crescente e problema severo). Merece destaque dentro da micelânea a inclusão da aspersão relacionada com teores de sódio, cloro e bicarbonato.

2.1.2. Salinidade de água de irrigação

Segundo SOUZA FRANCISCO (1959) cerca de 35% das águas dos açudes e rios do nordeste brasileiro são classificadas de duvidosas e más para a irrigação.

Águas com elevado conteúdo de sal, cita LUNIN em 1960 (apud WILCOX e DURUM, 1967), podem ser utilizadas na irrigação complementar em regiões úmidas.

Mais da metade das águas de irrigação em uso no oeste dos Estados Unidos tem condutividade elétrica menor que 750 micromhos/cm à 25°C e menos de 10% de todas águas tem maior do que 2.250 micromhos/cm à 25°C, de acordo com WILCOX e DURUM (1967). Afirmam ainda que pouquíssimas águas com condutividade elétrica superior à 5.000 micromhos/cm à 25°C estão sendo usadas com sucesso.

As águas de irrigação normalmente possuem centenas, e em casos extremos milhares, de mg de sal por litro, em contraste com aproximadamente 10mg/l usualmente encontrado na água das chuvas (BERNSTEIN, 1974).

Na região do cristalino no Estado de Pernambu

co, as águas subterrâneas possuem altos teores de sais, geralmente superiores à 2.000 ppm de resíduo seco (MATSUI, 1978). Com condutividade elétrica de 700 a 4.000 micromhos/cm à 25°C e baixa relação de adsorção de sódio, podem ser encontradas águas subterrâneas na região do Plateau de Irecê-BA. (CODEVASF, 1983).

2.2. Irrigação com Água Salina e Lixiviação.

2.2.1. Método e manejo da irrigação

Controlando a irrigação do feijão em três níveis, quando fossem consumidos 40-50, 60-65 e 90-100% da água disponível, WADLEIGH e AYERS (1945) observaram que a matéria seca decresceu, respectivamente, em 16 e 38% em relação ao primeiro.

Embora a irrigação por aspersão propicie aplicação e infiltração uniformes contribuindo para se obter melhor eficiência no uso d'água e no controle da lixiviação, ALLISON (1964) cita também que o molhamento das folhas com águas salinas causa sérios danos devido a absorção folhar em excesso de sódio e cloro, e classifica os citrus como sensíveis e o morango e o abacate como resistentes.

BERNARDO et alii (1970) conseguiram a máxima produtividade do feijoeiro aplicando irrigação quando o potencial matricial da água no solo atingisse no máximo 0,5

atmosfera à 10 cm de profundidade. Resultados semelhantes foram encontrados por FORSYTHE e LEGARDA (1978): 0,6 bar e 15 cm de profundidade.

De acordo com RAWLINS (1973) o manejo da irrigação de alta frequência deve fundamentar-se no controle da quantidade de água que passa pela zona radicular para evitar o aumento da salinidade ao invés da questão de quando se irrigar, sendo mais importante, assim, qualquer estimativa do fluxo de percolação profunda do que medidas do potencial matricial da água no solo.

Utilizando água com 1,22 milimhos/cm a 25°C e dois tratamentos, irrigar quando o potencial matricial da água no solo estivesse a -0,2 atmosfera (úmido) e -0,6 atmosfera (seco), SAMMIS et alii (1979) estudando a influência dos métodos de irrigação, aspersão, gotejamento e sulco, no acúmulo de sais no solo, verificaram que no gotejamento seco ocorreu a menor lixiviação e somente na aspersão seca houve estatisticamente um crescimento da salinidade do solo.

2.2.2. Efeito sobre a cultura

2.2.2.1. Germinação e emergência

Muitas culturas são especialmente sensíveis à salinidade durante certos estágios de desenvolvimento e tolerantes em outros (BERNSTEIN e HAYWARD, 1958).

PEARSON e AYERS (1958) verificaram que o arroz pode germinar em condições de salinidade de 10 a 15

mmhos/cm à 25°C, mas normalmente morre se em salinidade superior à 5 ou 6 mmhos/cm à 25°C durante o estágio de plântula. Além deste estágio, PEARSON e BERNSTEIN (1959) acrescentam a época da floração como altamente sensível.

O feijão, observaram LUNIN et alii (1961-a), é mais sensível à salinidade nos estágios iniciais de desenvolvimento do que nos estágios posteriores de crescimento.

ALLISON (1964) cita que o milho é mais tolerante durante a germinação do que nos estágios de crescimento. Por outro lado a beterraba açucareira mostra-se sensível ao nível de salinidade de 4 mmhos/cm à 25°C no extrato de saturação durante a germinação e pode facilmente tolerar um nível de sal três vezes maior após a plântula estar bem estabelecida.

2.2.2.2. Produção

GAUCH e WADLEIGH (1942) cultivando feijão em soluções salinas com 0,5; 1,5; 2,5; 3,5 e 4,5 atmosferas de pressão osmótica, produzidas por NaCl e CaCl₂ separadamente, verificaram, nos dois casos, relação linear entre o aumento da redução de peso e a pressão osmótica.

Decréscimos de 30, 50 e 82% na matéria seca do feijão foram observados por WADLEIGH e AYERS (1945) quando adicionados ao solo, respectivamente 0,1; 0,2; e 0,4% de cloreto de sódio.

Segundo o U.S. SALINITY LABORATORY STAFF (1954) o requerimento de lixiviação é diretamente proporcional à

condutividade elétrica de água de irrigação e inversamente proporcional à salinidade máxima da solução do solo tolerável pela cultura, sendo representado pela fórmula:

$$LR = \frac{CE_{iw}}{CE_{dw}}$$

onde: LR = requerimento de lixiviação;

CE_{iw} = condutividade elétrica da água de irrigação (mmhos/cm à 25°C)

CE_{dw} = condutividade elétrica máxima tolerável pela cultura na zona radicular drenada (mmhos/cm à 25°C).

Segundo AYERS (1977) CE_{dw} foi determinado experimentalmente para várias culturas. Para o feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) o seu valor é de 13,0 milimhos/cm a 25°C.

A premissa de validade da equação acima, para o cálculo do requerimento de lixiviação (LR) está claramente evidenciado num boletim técnico mais recente do U.S. Department of Agriculture (1963).

Assim, o balanço de sais é a relação entre a quantidade de sais dissolvidos e introduzidos no solos pela água de irrigação e a quantidade de sais removidos pela água de drenagem:

$$BS = V_{dw} \cdot C_{dw} - V_{iw} \cdot C_{iw}$$

sendo, BS = balanço de sais;

V_{dw} = volume de água de drenagem, removido;

V_{iw} = volume de água de irrigação, introduzido;

C_{dw} = concentração salina da água de drenagem;

C_{iw} = concentração salina da água de irrigação.

Um balanço exato de sais entre entrada e saída raramente ocorre, pois exige condições de "steady-state" ou de fluxo de água permanente através da camada do solo.

Entretanto, supondo que isso ocorra, resulta:

$$BS = 0 \text{ (zero) ou } V_{dw} \cdot C_{dw} - V_{iw} \cdot C_{iw} = 0$$

Substituindo a concentração salina C pela condutividade elétrica CE resulta:

$$\frac{V_{dw}}{V_{iw}} = \frac{CE_{iw}}{CE_{dw}}$$

A relação entre os volumes de entrada e saída é o requerimento de lixiviação ou a fração de água que entra no solo e que deve percolar através da zona radicular para manter um balanço de sais favorável.

$$LR = \frac{CE_{iw}}{CE_{dw}}$$

Estudando o efeito da salinidade em três estágios de desenvolvimento do arroz, germinação, plântula e formação de panículas, PEARSON e BERNSTEIN (1959) chegaram a seguinte equação.

$$w = 44,2 + 10,0x - 2,89x^2 - 5,95y + 0,359y^2 + 2,21z - 0,31z^2$$

onde: w representa o peso seco total e x, y e z a condutividade elétrica média do extrato de saturação do solo, respectivamente, nos períodos de germinação, plântula e maturação.

Segundo LUNIN et alii (1961), com base em experimento com feijão comparando salinização em uma irrigação com salinização gradual durante o desenvolvimento da cultura, a redução da produção é maior no segundo caso e atribuíram este resultado ao maior período que as plantas foram submetidas à salinidade.

*BERNSTEIN e FRANCOIS (1973-a) observaram que a produtividade da alfafa decresceu em $10,3 \pm 1,3\%$ em virtude do incremento da salinidade da água de irrigação de 1 para 2 milimhos/cm à 25°C e quando passou de 0,4 para 1 milimhos/cm à 25°C a produtividade se manteve.

*O' LEARY (1975) pesquisando o comportamento da cultura do feijão em soluções salinas de 0 à 9800 ppm de NaCl, em casa de vegetação, verificou que o número de vagens foi mais proporcional aos níveis de salinidade do que à redução do crescimento vegetativo. Observou também que a produção e o número de grãos reduziram com o aumento dos níveis de NaCl, mas os pesos médios dos grãos dos tratamentos salinos foram maiores, e com grãos de melhor qualidade, do que aqueles produzidos nos tratamentos não salinos.

Cultivando alfafa em lisímetro, INGVALSON et

alii (1976) verificaram que a produtividade correlacionou melhor com a salinidade da solução do solo integrado com o período de crescimento do que com a salinidade efetiva.

A produtividade do feijão tem início de queda quando irrigado com água de 0,7 milimhos/cm à 25°C (AYERS, 1977) ou quando o extrato de saturação do solo é de 1 milimhos/cm à 25°C (MAAS e HOFFMAN, 1977).

Correlação entre a condutividade elétrica da água de drenagem por ocasião da colheita e a produtividade do trigo foi o melhor resultado encontrado por JURY et alii (1978) em experimento que conduziram utilizando três qualidades de água e baixa lâmina de lixiviação.

HOFFMAN et alii (1979) irrigando trigo, sorgo e alface com água contendo 1.350mg de sais por litro e seis lâminas de lixiviação, observaram que as máximas produtividades são conseguidas com lixiviação de 8,0; 8,0 e 26,0% respectivamente.

Irrigando sorgo durante três anos com águas de condutividade elétrica de 3.200, 1.600 e 550 micromhos/cm à 25°C, ALAWI et alii (1980) encontraram correlação entre a condutividade elétrica do extrato de saturação do solo após a colheita e produção. O valor negativo do coeficiente de correlação demonstra o efeito perigoso de salinidade na cultura do sorgo.

2.2.2.3. Consumo de água

A taxa de evapotranspiração do feijão, de acordo com LUNIN et alii (1961), é inversamente proporcional ao nível de salinidade do solo por ocasião da colheita e não é significativamente afetada pelo estágio de crescimento no qual foi submetida à salinização.

BERNSTEIN (1961) cita que a capacidade de absorção de água pelas culturas é, relativamente, inafetada pela salinidade. A redução do crescimento vegetal associada ao "stress" osmótico é atribuído ao processo de aumento da pressão osmótica intra-celular visando manter o turgor à medida que cresce a pressão osmótica na solução do solo na zona radicular.

LUNIN e GALLATIN (1965) citam o decréscimo no requerimento de água do tomate, mas não do milho, com salinização zonal.

A evapotranspiração reduzida proporcionalmente ao aumento da salinidade foi verificado por MEIRI e POLJAKOFF - MAYBER (1970) em experimento conduzido com feijão em soluções salinas.

* Utilizando água salinizada e dividindo o sistema radicular em três partes, BINGHAM e GARBER (1970) observaram que a água consumida pelo milho foi inversamente proporcional à percentagem do sistema radicular sob salinização, decrescendo de 4.800 para 2.122 gramas por planta.

O consumo de água pela alfafa não diferiu para águas com 1 e 2 milimhos/cm à 25°C em experimento conduzido por BERNSTEIN e FRANCOIS (1973-a). Observaram também que a percentagem de lixiviação não afetou o requerimento de água, exceto no primeiro ano quando a lixiviação foi 50% maior que nos anos subsequentes.

A produtividade da alfafa, e presumivelmente de outras culturas, é relativamente pouco afetada quando a cultura concentra a solução do solo para próximo de seu limite de tolerância, maior eficiência do uso da água pode ser conseguido sem significativa redução da produção (BERNSTEIN e FRANCOIS, 1973).

Irrigando arroz com águas possuindo 2.000, 4.000, 6.000 e 8.000 ppm de sais, OLIVEIRA (1983) verificou que a evapotranspiração reduziu 36, 63, 76, 78% respectivamente, e a eficiência de consumo da água foi de 98, 74, 51 e 43% respectivamente.

2.2.3. Efeito sobre o solo

Utilizando águas salinizadas artificialmente com 1.500, 3.000 e 4.500 ppm, à base de NaCl e CaCl_2 , e natural com 900 ppm, GAUSMAN et alii (1954) verificaram que após onze irrigações a condutividade elétrica do extrato de saturação do solo ficou, respectivamente, em 6,9; 10,9; 13,2

e 3,8 milimhos/cm à 25°C e concluíram pela necessidade de lixiviação.

A salinidade do solo não é somente função do conteúdo de sais na água de irrigação, mas também da evapotranspiração e da taxa de drenagem interna (U.S. SALINITY LABORATORY STAFF, 1954).

KADDAH (1963) irrigando arroz com águas de condutividade elétricas de 0,4; 0,8; 1,6; 2,3 e 3,1 milimhos/cm à 25°C, obteve aumento na condutividade elétrica do extrato do solo da ordem de 1,7; 2,9; 3,9; 5,3; e 6,5 milimhos/cm à 25°C, respectivamente.

Usando seis águas salinizadas, com RAS entre 3,9 e 19,9, e lâminas de lixiviação de 10, 20, 30 e 40% da evapotranspiração, BOWER et alii (1968) verificaram que para cada água o grau de acúmulo de sais no solo foi inversamente proporcional à lâmina de lixiviação.

BOWER et alii (1969) cultivando alfafa em lisímetro irrigado com água salina observaram que exceto os tratamentos envolvendo água com baixa salinidade e elevada lâmina de lixiviação, a salinidade do solo cresceu com a profundidade e, para uma mesma água de irrigação, a salinidade na superfície foi uniforme crescendo com a profundidade e com a redução da lâmina de lixiviação.

Segundo RHOADES (1972), com a lixiviação, aplicada junto ao método de irrigação, o total de sal na solução do solo pode ser diminuído mas não eliminado. Afiru

ma também que água de irrigação pode conter de 0,1 à 4 toneladas de sal por mil metros cúbicos e geralmente são aplicados de 10 à 15 mil metros cúbicos por hectare por ano, assim, de 1 à 60 toneladas de sal podem ser adicionados no solo anualmente.

Solos normais podem se tornar improdutivos se receberem sais solúveis em excesso devido a irrigações mal conduzidas com águas salinas. Mesmo com um bom controle da qualidade da água de irrigação (o que raramente é feito na prática) há um contínuo resíduo de sais no solo. Como a correção é feita com a lixiviação do solo, o êxito dessa operação depende essencialmente da existência de um sistema de drenagem eficiente que remova a água lixiviada (CRUCIANI, 1983).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Materiais

3.1.1. Local do Trabalho

O trabalho foi desenvolvido em vasos (Figura 1) sob um abrigo com cobertura de plástico transparente, construído na área do Departamento de Engenharia Rural da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", da Universidade de São Paulo, Piracicaba, Estado de São Paulo, Brasil, cujas coordenadas geográficas são as seguintes:

- . Latitude: $22^{\circ}42'30''S$
- . Longitude: $47^{\circ}38'00''W$
- . Altitude: 576 m

3.1.2. Características climáticas

No período de execução do experimento foram registrados pelo Departamento de Física e Meteorologia da ESALQ os seguintes parâmetros médios: insolação 8,6 h/dia com variação de 1,1 à 12,2 h/dia; umidade relativa 71,6% com oscilação de 56,8 à 94,3%; temperatura 26,4°C variando entre 20,1 e 29,3°C e as temperaturas máxima e mínima variaram de 25,4 à 36,9°C e de 17,2 à 22,2°C respectivamente.

Pela classificação de WILHIEM em KOEPPEN (SETZER, 1966) o clima do local é do tipo Cwa, ou seja, mesotérmico úmido sub tropical com inverno seco.

3.1.3. Solo

3.1.3.1. Tipo

O solo utilizado foi coletado nos primeiros 30 cm de profundidade do perfil natural do Latossolo Vermelho Amarelo Fase Arenosa Série Sertãozinho.

3.1.3.2. Características físicas e químicas

O solo coletado e seco ao ar, foi homogeneizado e teve amostras tiradas para as análises físicas e químicas, cujos resultados encontram-se nas Tabelas 1 e 2 respectivamente.

TABELA 1 - Características físicas do solo

Areias %			Silte %	Argila %	Dens. partículas g/cm ³
grossa	fina	total			
21	51	72	7	21	2,69

TABELA 2 - Características químicas do solo

C %	P ppm	N ppm	meq/100g				pH em água	CEE 1:1 μmhos/cm à 25°C
			Ca	Mg	AL	H		
0,44	4	87	0,72	0,32	0,27	3,19	5,1	185

*CEE_{1:1} - Condutividade elétrica do extrato 1:1 do solo

3.1.4. Água de irrigação

3.1.4.1. Origem

Utilizou-se água natural de mina perene, denominada C₀, com condutividade elétrica de 230 micromhos/cm à 25°C, os demais resultados da análise química são apresentados na Tabela 4.

3.1.4.2. Sais para salinização da água

Os sais utilizados, quimicamente puros e solúveis em água, foram: cloreto de cálcio hidratado (CaCl₂ · 2H₂O),

sulfato de magnésio hidratado ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) e bicarbonato de sódio anidro (NaHCO_3).

3.1.5. Cultura

O feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) variedade goiano precoce foi a cultura usada no experimento. Antes da semeadura procedeu-se teste de germinação das sementes de acordo com os procedimentos prescritos nas Regras para Análise de Sementes do Ministério da Agricultura (1976), com exceção do número de sementes que foi de 50. Os resultados indicaram que apenas 1% representavam sementes mortas.

3.2. Métodos

3.2.1. Preparo do solo

Todo solo coletado foi passado por peneira de 2mm, homogeneizado e dividido em quantidades iguais de 16kg. Cada parte foi adubada com 5,3g de sulfato de amonío $[(\text{NH}_4)_2 \text{SO}_4]$, 1,5g de cloreto de potássio (KCl) e 12g de super fosfato simples, e posta em vaso plástico de PVC, com 20cm de diâmetro e 50cm de altura. No processo de colocação do solo no vaso, realizado em camadas, procurou-se acomodalo em volumes iguais, de forma a ser obter densidades semelhantes nos vasos. O fundo do vaso, contendo uma camada de 2cm de pedrisco e uma tela de nylon, foi furado e conectado.

do, através de mangueira plástica, com uma garrafa para se coletar a água de drenagem (vide Figura 1).

3.2.2. Salinização da água de irrigação

A água C_0 , utilizada para irrigação da teste munha, foi salinizada artificialmente com três níveis de concentração, chamadas de C_1 , C_2 e C_3 , para irrigação dos demais tratamentos.

3.2.2.1. Elementos e proporções

Na escolha dos elementos químicos para a sali nização da água de irrigação, procurou-se seguir as propor ções entre as concentrações em meq/l de Ca^{++} ; Mg^{++} e Na^+ da média das águas de dezesseis poços da região de Irecê-BA, por se tratar de região altamente produtora de feijão e que apresenta longos períodos de estiagem.

Os sais utilizados, quimicamente puros e solú veis em água, foram cloreto de cálcio hidratado ($CaCl_2 \cdot 2H_2O$), sulfato de magnésio hidratado ($MgSO_4 \cdot 7H_2O$) e bicarbonato de sódio anidro ($NaHCO_3$), nas percentagens em peso, res pectivamente, de 44,83; 41,63 e 13,54%, que corresponderam à adição das proporções em meq/l desejadas de 3,66:2:1, de Ca^{++} , Mg^{++} e Na^+ respectivamente (Tabela 3).

3.2.2.2. Soluções concentradas

Foram preparadas, separadamente, soluções dos sais quimicamente puros, com concentrações calculadas para,

FIGURA 1. Esquema do vaso com tensiômetro.

usando volumes iguais de cada solução na salinização da água natural, obterem-se as proporções de Ca^{++} , Mg^{++} e Na^+ .

Tal procedimento foi adotado para se evitar muitas pesagens de quantidades e qualidades de sais diferentes e por não ser possível a preparação de uma só solução concentrada com os três sais devido à formação de precipitado.

As concentrações das soluções de cloreto de cálcio (CaCl_2), sulfato de magnésio (MgSO_4) e bicarbonato de sódio (NaHCO_3) utilizadas, foram, respectivamente, de 83.333, 50.000 e 33.333 ppm. As definições destas concentrações foram baseadas na solubilidade em água fria dos sais utilizados.

3.2.2.3. Concentrações Salinas

Segundo AYERS (1977) a produtividade do feijão não se reduz quando irrigado com água de condutividade elétrica de 700 micromhos/cm à 25°C desde que aplicada lixiviação de 6% do uso consuntivo, e se reduz à metade quando com água de 2.400 micromhos/cm, mesmo aplicando-se 19% a mais do uso consuntivo para lixiviação dos sais.

Procurou-se por tentativas, adicionando as soluções salinas na água natural, compor três águas com condutividade elétrica na faixa de 900 à 2.400 micromhos/cm à 25°C.

As águas salinizadas, denominadas de C_1 , C_2 , e C_3 , foram preparadas conforme descrito à seguir:

C_1 - adicionaram-se 360 mg de sais através de 2,16 mililitros de cada solução concentrada para um litro de água natural.

C_2 - foram adicionados 720 mg de sais à água natural, através de 4,32 mililitros de cada solução concentrada para cada litro.

C_3 - 1.080 mg de sais foram adicionados à água natural, através de 6,48 mililitros de cada solução concentrada para cada litro de água.

Para a água natural, denominada de C_0 , e para aquelas salinizadas foram determinados os elementos químicos Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , K^+ , NO_3^- , SO_4^{--} , Cl^- e HCO_3^- , bem como o pH, a condutividade elétrica e a razão de adsorção de sôdio normal e ajustado, cujos resultados encontram-se na Tabela 4.

3.2.2.4. Classificação para irrigação

As águas C_0 , C_1 , C_2 e C_3 , foram classificadas, respectivamente, como C1S1, C3S1, C3S1 e C4S1, todas com baixo risco de sodificação e perigo crescente de salinização, de C_0 para C_4 , de acordo com o U.S. SALINITY LABORATORY STAFF (1954) dos Estados Unidos.

3.2.3. Plantio

Cinco dias apos a semeadura, que foi realizada dia 06.01.84 colocando-se dez sementes por vaso, ocorreu

a emergência e dia 17.01.84, portanto 11 dias após o plantio, procedeu-se o desbaste deixando três plantas por vaso.

Do plantio ao desbaste os vasos foram irrigados com quantidades iguais de água, mas com as qualidades correspondentes. Neste período foram aplicados 3.500 mililitros em cada vaso, equivalentes a uma lâmina de 111,4 mm.

O espaçamento de 0,5m entre os centros dos vasos correspondeu à densidade de doze plantas por metro quadrado de espaço aéreo e de uma planta por cem centímetros quadrados de superfície de solo do vaso.

O estado fito-sanitário da cultura, durante todo o ciclo, foi bom não tendo ocorrido incidência de pragas ou doenças.

3.2.4. Irrigação

3.2.4.1. Evapotranspiração real

A água, como qualquer outro insumo agrícola, deve ser dosada e controlada principalmente quanto à quantidade.

A utilização de tanque classe A, de lisímetro e de fórmulas empíricas são métodos consagrados na determinação da evapotranspiração de referência.

A demanda evapotranspirativa da cultura, para o cálculo das lâminas de irrigação, foi determinada nos vasos irrigados com água C_0 , operados como lisímetro de

TABELA 3 - Proporção dos sais para salinização das águas de irrigação.

ÁGUA	UNIDADE	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺
Irecê	meq/l	11,10	6,70	3,17
Irecê	proporção dos elementos em relação ao Na ⁺	3,50	2,11	1,00
Utilizada	% peso dos sais puros	50	30	20
Utilizada	proporção dos elementos em relação ao Na ⁺	3,66	2,00	1,00

TABELA 4 - Análise química das águas aplicadas nas irrigações.

ELEMENTO	UNIDADE	QUANTIDADE			
		C ₀	C ₁	C ₂	C ₃
Ca ⁺⁺	meq/l	1,550	4,500	7,750	11,400
Mg ⁺⁺	meq/l	0,500	2,333	4,583	6,500
Na ⁺	meq/l	0,304	1,043	1,957	3,043
K ⁺	meq/l	0,061	0,059	0,062	0,072
NO ₃ ⁻	meq/l	0,003	0,005	0,005	0,005
SO ₄ ⁻	meq/l	0,042	1,842	3,642	5,442
Cl ⁻	meq/l	0,292	3,535	6,778	10,022
HCO ₃ ⁻	meq/l	1,903	2,535	3,313	4,265
pH		7,00	7,00	7,75	7,95
CE	micromhos/cm à 25°C	230	945	1.670	2.450
SAR	(meq/l) ^{1/2}	0,300	0,564	0,788	1,017
SAR (AJUST)	(meq/l) ^{1/2}	0,459	1,157	1,884	2,695

diferença de volumes.

Bernardo et alii (1970), trabalhando com feijão irrigado e controle da irrigação através do potencial matricial da água no solo, verificaram que o limite do potencial matricial (Ψ_m) de reposição da água no solo era de -0,5 atm para não haver queda de produtividade.

Verificou-se no presente experimento que uma frequência de irrigação de três dias, nos vasos irrigados com água normal, o potencial matricial da água no solo não atingia -0,5 atmosfera razão pela qual adotou-se esta frequência de irrigação.

Assim sendo no início do controle, ocorrido após o desbaste e tendo como base os vasos irrigados com água C_0 , saturou-se o solo e três dias após esta operação o vaso foi irrigado com um volume de água conhecido e suficiente para assegurar que houvesse drenagem. Vinte e quatro horas após a irrigação e tendo cessado toda drenagem mediu-se o volume drenado e, por diferença, foi determinado o consumo por vaso. A média do consumo das quatro repetições, considerada como a evapotranspiração real, foi utilizada como a base para o cálculo das lâminas aplicadas nos vasos tratados com as águas salinizadas C_1 , C_2 , C_3 . A cada três dias, a partir da operação de se irrigar com um volume conhecido, reutilizando a água drenada, o processo repetiu-se até a colheita. O procedimento de se reutilizar a água drenada na testemunha foi adotado uma vez que o exces

so intencional de água poderia prejudicar o desenvolvimento da cultura pela lixiviação dos adubos.

Ao contrário do procedimento adotado para os vasos irrigados com água normal, reutilizando-se a água drenada, nos vasos tratados com as águas salinizadas a água drenada teve seu volume medido e foi descartado.

Os volumes drenados foram medidos com provetta de 100 mililitros graduada de um em um mililitro.

3.2.4.2. Lixiviação

O uso de água salina na irrigação, quando associada a técnicas de manejo d'água, propicia melhores resultados. Para a cultura do feijão, segundo AYERS (1977), a condutividade elétrica máxima da água drenada da zona radicular tolerável é de 13.000 micromhos/cm à 25°C e aplicando-se a fórmula (pág. 9) recomendada pelo U.S. SALINITY LABORATORY STAFF (1954) para as águas C_0 , C_1 , C_2 e C_3 , as lixiviações requeridas são de, respectivamente, 1,7; 7,3; 12,8 e 18,8%, da lâmina de irrigação tendo sido, então utilizados neste trabalho 0; 7; 14 e 21% denominados de L_0 , L_1 , L_2 e L_3 , respectivamente.

Estes valores foram adotados, pois, apresentavam uma sequência linear e permitiram aplicar, para cada água, lixiviações maiores e menores das recomendadas pela fórmula.

3.2.4.3. Aplicação

Uma vez determinada a evapotranspiração real, foram calculadas as lâminas totais necessárias

para a irrigação, compostas da demanda mais as lixiviações.

A frequência da irrigação, para os vasos irrigados com águas salinizadas, foi a mesma utilizada na testemunha.

Prepararam-se as quantidades de água requeridas, os volumes foram medidos em provetas de 1.000 mililitros graduada de dez em dez mililitros e colocados em garrafas plásticas para a aplicação nos vasos.

Despejando a água diretamente sobre o solo foi tomado o cuidado para não formar lâmina na superfície e, por conseguinte, fluxo preferencial na interface solo/vaso.

As irrigações foram realizadas sempre às quinze horas.

3.2.5. Colheita

Realizada quando no mínimo setenta por cento das vagens se mostraram maduras, foi efetuada em todos tratamentos no dia 01.03.84, portanto 54 dias após o plantio.

3.2.6. Tratamentos

O déficit hídrico mensal médio na região de Irecê-BA, na estação chuvosa varia entre 70 e 100mm, mas considerando o coeficiente de variação das precipitações mensais que é de 95%, este déficit pode chegar aos níveis da estação seca quando são observados déficit entre 150 e 200mm. Estes são alguns dos resultados de análise elabora

da pela CODEVASF (1983) com uma série de dados de 38 anos.

As qualidades de água e as lixiviações, técnica de manejo de irrigação com água salina, definiram os tratamentos descritos a seguir:

$C_0 L_0$ - CONTROLE OU TESTEMUNHA - refere-se aos vasos que foram irrigados com água natural (C_0) e com as quantidades requeridas pela cultura, considerada sem adicional para lixiviação (L_0);

$C_1 L_0$ - refere-se aos vasos que foram irrigados com água salinizada C_1 e com quantidade da evapotranspiração do CONTROLE, sem adicional para lixiviação (L_0);

$C_1 L_1$ - refere-se aos vasos que foram irrigados com água salinizada C_1 e com quantidade correspondente à evapotranspiração do CONTROLE mais a lixiviação (L_1) de 7%;

$C_1 L_2$ - refere-se aos vasos que foram irrigados com água salinizada C_1 e com quantidade correspondente à evapotranspiração do CONTROLE mais a lixiviação (L_2) de 14%;

$C_1 L_3$ - refere-se aos vasos que foram irriga

dos com água salinizada C_1 e com quantidade correspondente à evapotranspiração do CONTROLE mais a lixiviação (L_3) de 21%;

$C_2 L_0$ - refere-se aos vasos que foram irrigados com água salinizada C_2 e com quantidade da evapotranspiração do CONTROLE, sem adicional para lixiviação (L_0);

$C_2 L_1$ - refere-se aos vasos que foram irrigados com água salinizada C_2 e com quantidade correspondente à evapotranspiração do CONTROLE mais a lixiviação (L_1) de 7%;

$C_2 L_2$ - refere-se aos vasos que foram irrigados com água salinizada C_2 e com quantidade correspondente à evapotranspiração do CONTROLE mais a lixiviação (L_2) de 14%;

$C_2 L_3$ - refere-se aos vasos que foram irrigados com água salinizada C_2 e com quantidade correspondente à evapotranspiração do CONTROLE mais a lixiviação (L_3) de 21%;

$C_3 L_0$ - refere-se aos vasos que foram irrigados com água salinizada C_3 e com quan

tidade da evapotranspiração do CONTRO
LE; sem adicional para lixiviação
(L_0);

$C_3 L_1$ - refere-se aos vasos que foram irrigados
com água salinizada C_3 e com quantidade
correspondente à evapotranspiração
do CONTROLE mais a lixiviação
(L_1) de 7%;

$C_3 L_2$ - refere-se aos vasos que foram irrigados
com água salinizada C_3 e com quantidade
correspondente à evapotranspiração
do CONTROLE mais lixiviação
(L_2) de 14%;

$C_3 L_3$ - refere-se aos vasos que foram irrigados
com água salinizada C_3 e com quantidade
correspondente à evapotranspiração
do CONTROLE mais a lixiviação
(L_3) de 21%.

3.2.7. Delineamento experimental

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado com quatro repetições, sendo cada parcela representada por um vaso de PVC de 20 cm de diâmetro por 50cm de altura com três plantas.

3.2.8. Coleta de dados e análises estatísticas

3.2.8.1. Dados coletados

Durante o desenvolvimento da cultura foram anotadas as lâminas aplicadas nas irrigações e os volumes drenados e, diariamente, tomaram-se leituras dos tensiômetros instalados à 20 e 30 cm de profundidade em uma repetição de cada tratamento.

Após a colheita procedeu-se a secagem dos grãos a peso constante em estufa à 75°C, os quais foram pesados e contados. O número de vagens com grão foi anotado.

A salinidade do solo é medida segundo padrões do U.S. SALINITY LABORATORY STAFF (1954) que podem ser expressos como Condutividade Elétrica do Extrato da Saturação do Solo (CE_e) ou como Condutividade Elétrica do extrato 1:1 do solo, ambas usualmente em milimhos/cm, a 25°C.

Como o objetivo deste trabalho era estabelecer comparações entre as salinidades inicial e final do solo nos vários tratamentos, optou-se pela utilização do extrato 1:1, de agora em diante denominado $CEE_{1:1}$, por ser este método de mais fácil preparo e independer de equipamento auxiliar (bomba de vácuo).

Assim os vasos foram desmontados, retirando-se amostras das camadas de 0 a 5, de 20 a 25 e de 40 a 45 centímetros. A umidade foi determinada e após secagem do ar foram preparados os extratos 1:1.

Além disso, em um vaso de cada tratamento e nas mesmas três camadas anteriormente descritas, determinou-se a condutividade elétrica do extrato de saturação, a fim de determinar a correlação entre CE_e e $CEE_{1:1}$.

Por ocasião da floração mediu-se as alturas das plantas e tirou-se a média por vaso.

3.2.8.2. Parâmetros analisados

Foram preparados para análise os seguintes resultados diretos ou compilados:

- . PTG - produção total de grãos por vaso com três plantas, em gramas;
- . NTG - número total de grãos por vaso com três plantas;
- . NTV - número total de vagem por vaso com três plantas;
- . PMG - peso médio dos grãos, definido pela relação PTG/NTG, em grama;
- . AIF - altura das plantas no início da floração, média por vaso com três plantas, em cm;
- . PQP - porcentagem de queda de produção, definida como:

$$1 - \left(\frac{\text{PTG do tratamento}}{\text{PTG da testemunha}} \right) \times 100, \text{ em } \%;$$

- . ETA - evapotranspiração real acumulada, calculada pela diferença entre as lâminas de irrigação e drenagem e subtraído o teor de água no vaso após a colheita, em mm;

- . CAP - consumo de água por peso de grão, definido pela relação ETA/PTG, em mm de água/grama de grão;
- . CEE_{1:1} - condutividade elétrica do extrato 1:1 do solo, representada pela média dos resultados das três camadas por vaso, micromhos/cm à 25°C.

3.2.8.3. Análises estatísticas efetuadas

Procedeu-se à análise de variância de todos os parâmetros e foram ajustadas equações de regressão dos meses às condutividades elétricas das águas de irrigação e às lâminas de lixiviação quando significativo ao nível de 1% de probabilidade. Utilizou-se nas regressões 48 (quarenta e oito) pares de dados oriundos das 4 (quatro) repetições de cada um dos 12 (doze) tratamentos.

Ajustou-se, também, equação de regressão da condutividade elétrica do extrato 1:1 à condutividade elétrica do extrato de saturação do solo.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Efeito dos Tratamentos sobre a Cultura

4.1.1. Número total de vagens

Houve uma diferença significativa entre os resultados da testemunha e da média dos tratamentos, tendo sido observado maior valor no primeiro.

Embora não tenha sido afetado pela lâmina de lixiviação o número de vagens decresceu com o aumento da salinidade da água de irrigação, como mostram os resultados nas Tabelas 5 e 6.

A análise estatística (Tabela 6) mostra que a redução do número total da vagens com o aumento da salinidade teve um efeito linear significativo ao nível de 1% de probabilidade. A equação de regressão e o coeficiente de correlação estão apresentados na Figura 2. Resultados

semelhantes foram obtidos por O'LEARY (1975), como mostra a Tabela 7.

4.1.2. Número total de grãos

Diferença significativa foi observada entre os resultados da testemunha e da média dos tratamentos e as duas variáveis, concentração salina da água de irrigação e lâmina de lixiviação, influenciaram separada e significativamente no número de grãos produzidos, como pode ser verificado nos resultados, apresentados na Tabela 5, e na análise estatística (Tabela 6).

Com o aumento da concentração salina da água de irrigação houve uma diminuição, com efeito linear, do número de grãos. A equação de regressão e o coeficiente de correlação da reta são apresentados na Figura 3. O'LEARY (1975) obteve resultados com mesma tendência, como pode ser observado nos seus resultados apresentados na Tabela 7.

O número de grãos, por outro lado, aumentou linearmente com o incremento da lâmina de lixiviação. A Figura 4 mostra a equação de regressão e o coeficiente de correlação. Este resultado demonstra que a lixiviação é de fundamental importância não só para o solo, mas também para a cultura.

4.1.3. Produção total de grãos

Representando o resultado mais importante

Tabela 5 - Valores médios do número total de vagens (NTV), número total de grãos (NTG), produção total de grãos (PTG), peso médio dos grãos (PMG), altura da planta no início da floração (AIF); porcentagem de queda da produção (PQP), evapotranspiração real acumulada (ETA), consumo de água por peso de grão (CAP), condutividade elétrica do extrato 1:1 do solo ($CEE_{1:1}$) e condutividade elétrica do extrato de saturação do solo (CE_e).

TRATAMENTO	PARÂMETROS ANALISADOS									
	NTV	NTG	PTG (grama)	PMG (grama)	AIF (cm)	PQP (%)	ETA (mm)	CAP (mm/grama)	$CEE_{1:1}$ (umbos/cm)	CE_e (umbos/cm) a 25°C
CONTROLE	29,50	65,00	18,15	0,277	28,75	0,00	867,85	49,241	225,50	557
C ₁ L ₀	17,75	28,00	11,95	0,429	20,75	34,19	810,74	68,180	787,00	2494
C ₁ L ₁	20,00	33,25	12,49	0,382	22,38	31,17	836,49	67,257	573,92	1769
C ₁ L ₂	24,25	41,50	14,35	0,347	21,25	21,04	836,81	59,267	580,92	1783
C ₁ L ₃	24,25	42,50	13,28	0,317	22,88	26,85	834,17	63,565	441,08	1301
C ₂ L ₀	18,75	29,50	10,08	0,343	20,00	44,46	710,41	70,503	897,92	2877
C ₂ L ₁	19,75	34,75	10,56	0,313	20,38	41,83	752,08	72,636	814,08	2588
C ₂ L ₂	21,67	40,67	10,56	0,262	21,00	41,82	736,71	70,344	794,11	2519
C ₂ L ₃	19,75	37,25	8,71	0,235	20,50	52,02	724,77	83,363	772,83	2445
C ₃ L ₀	18,75	29,50	7,33	0,251	18,88	59,64	634,66	87,533	1.174,25	3830
C ₃ L ₁	14,50	26,00	5,99	0,230	13,13	67,03	631,83	105,835	1.139,08	3709
C ₃ L ₂	13,50	25,50	4,57	0,177	17,25	74,83	611,10	140,625	916,33	2940
C ₃ L ₃	13,33	29,33	4,94	0,167	17,00	72,80	629,40	129,357	973,78	3138
d.m.s. (1%)	6,656	16,61	4,897	0,107	6,747	19,14	73,18	36,38	337,43	-
d.m.s. (5%)	5,648	14,10	4,155	0,080	5,725	16,24	62,10	30,84	286,31	-

d.m.s. = diferença mínima significativa pelo teste de Tukey.

* calculada pela equação da Figura 15.

TABELA 6 Quadrado médio (QM) e coeficiente de variação (CV) relativos ao número total de vagens (NTV) e ao número total de grãos (NTG).

Causa da Variação	G.L.	QM	
		NTV	NTG
Test. vs Fatorial	1	417,5567**	3747,9577**
Efeito Linear CON.	1	330,6106**	609,7684**
Efeito Quadrático CON.	1	28,4914*	132,3215*
Efeito Linear LIX.	1	7,6491	377,1856**
Efeito Quadrático LIX.	1	0,4361	12,1499
Efeito Cúbico LIX.	1	1,4139	31,4494
Resíduo	34	5,0226	31,2966
CV %		11,3417	15,7056

* - Significativo ao nível de 5% de probabilidade

** - Significativo ao nível de 1% de probabilidade

TABELA 7 - Mostra os resultados obtidos por O'LEARY (1975) (resultados representam média de 12 plantas).

Tratamento ppm de NaCl	Número de vagens	Número de grãos	Peso seco dos grãos (g)	Peso Médio dos grãos (g)
0	24,9	33,6	7,2	0,20
5.600	6,1	16,8	6,7	0,36
7.000	5,3	15,8	5,7	0,31
8.400	3,2	8,4	2,8	0,32
9.800	2,8	6,6	1,9	0,23

Figura 2 Relação entre o número total de vagens (NTV) e a condutividade elétrica da água de irrigação (CE). (Os pontos são médias dos tratamentos).

Figura 3 Relação entre o número total de grãos (NTG) e a condutividade elétrica da água de irrigação (CE) (Os pontos são médias dos tratamentos).

Figura 4 Relação entre o número total de grãos (NTG) e a lâmina de lixiviação (L).
(Os pontos são médias dos tratamentos).

quando se trata de cultura de grãos, a produtividade foi maior na testemunha do que nos demais tratamentos.

Não foi verificado diferença significativa nos resultados quando analisado o efeito da lixiviação na produção separadamente, como mostram os resultados nas Tabelas 5 e 8. Embora estatisticamente os resultados não tenham mostrado diferenças, pode-se observar para as águas C_1 e C_2 uma tendência de aumento da produtividade com a lixiviação até um máximo e depois um decréscimo. Possivelmente tal fato pode ser explicado pela contribuição favorável da lixiviação no controle da salinidade até certos limites e depois passa a agir desfavoravelmente, inclusive com a redução da fertilidade do solo pela lixiviação excessiva.

A concentração salina foi a única responsável pelas diferenças nos resultados, onde se observou o decréscimo de produtividade com o aumento da condutividade elétrica da água de irrigação, concordando com os resultados obtidos por O'LEARY (1975) (Tabela 7). A análise estatística mostra a linearidade do efeito (Tabela 8), cuja equação de regressão com seu coeficiente de correlação é apresentada na Figura 5.

Tal fato pode ser explicado pela redução do potencial total da água no solo, causado principalmente pela componente osmótica, já que o potencial matricial ficou sempre acima de 0,5 atm.

4.1.4. Peso médio dos grãos

Não foi verificada diferença entre o peso médio dos grãos do controle e o da média dos tratamentos. No entanto observou-se que nos tratamentos irrigados com C_1 e C_2 o peso médio dos grãos foi superior ao do controle, concordando com os resultados obtidos por O'LEARY (1975) que mostram a mesma tendência. (Tabela 7).

Este parâmetro foi afetado por ambas variáveis em questão, como mostram os resultados nas Tabelas 5 e 8.

O incremento na lixiviação induziu a uma redução no peso dos grãos. A análise estatística mostra a linearidade desta relação, cuja equação de regressão com coeficiente de correlação é apresentado na Figura 7.

A concentração salina também comportou-se da mesma forma, reduzindo o peso dos grãos com o seu aumento. A relação foi linear, como mostra a análise estatística (Tabela 8). A Figura 6 ilustra a reta, bem como apresenta a equação de regressão com o coeficiente de correlação.

O valor médio do peso dos grãos dos tratamentos irrigados com as águas C_1 e C_2 foi maior do que o do controle, devido possivelmente à que o número de grãos foi afetado mais acentuadamente do que a produção total. Esta mesma tendência foi observada por O'LEARY (1975) como pode ser verificado nos seus resultados apresentados na Tabela 7.

TABELA 8 Quadrado médio (QM) e coeficiente de variação (CV) relativos à produção total de grãos (PTG) e ao peso médio dos grãos (PMG).

Causa da Variação	G.L.	QM	
		PTG	PMG
Test. vs Fatorial	1	272,2752**	0,000449
Efeito Linear CON.	1	412,8848**	0,200306**
Efeito Quadrático CON.	1	3,7937	0,000000
Efeito Linear LIX.	1	3,4142	0,067939**
Efeito Quadrático LIX.	1	1,6564	0,000366
Efeito Cúbico LIX,	1	2,9162	0,008623*
Resíduo	34	2,7189	0,001286
CV %		15,9724	12,3750

* - Significativo ao nível de 5% de probabilidade

** - Significativo ao nível de 1% de probabilidade

Figura 5 Relação entre a produção total de grãos(PTG) e a condutividade elétrica da água de irrigação (CE). (Os pontos são médias dos tratamentos).

Figura 6 Relação entre o peso médio dos grãos (PMG) e a condutividade elétrica da água de irrigação (CE). (Os pontos são médias dos tratamentos).

Figura 7 Relação entre o peso médio dos grãos (PMG) e a lâmina de lixiviação (L).
(Os pontos são médias dos tratamentos).

4.1.5. Evapotranspiração Real Acumulada

O conhecimento da demanda evapotranspirativa da cultura em um processo produtivo irrigado é indispensável para um bom dimensionamento do sistema, bem como para uma operação racional e eficiente.

O consumo da testemunha foi maior que o dos demais tratamentos e entre estes a lixiviação não afetou o consumo de água da cultura (Tabelas 5 e 9), concordando com BERNSTEIN e FRANCOIS (1973-a).

Somente a qualidade da água interferiu na demanda. Com o aumento da condutividade elétrica da água de irrigação houve um decréscimo no consumo obedecendo uma função linear, conforme análise estatística (Tabela 9). A equação de regressão com o coeficiente de correlação é apresentada na Figura 8.

Estes resultados concordam com os obtidos por LUNIN et alii (1961), MEIRI e POLJAKOFF-MAYBER (1970) para a cultura do feijão e com os encontrados por LUNIN e GALLATIN (1965) para o tomate. Uma explicação seria que o elevado potencial total da água no solo, atribuído principalmente à componente osmótica já que o potencial matricial era baixo, causou um desequilíbrio entre a demanda e o consumo efetivo.

4.1.6. Consumo de água por peso de grão

Definida como a quantidade de água necessá

ria para a produção de um peso de grãos, se torna um parâmetro muito importante uma vez que, associando a produção ao consumo, tem-se idéia da real exigência da cultura em água.

Verificou-se diferença entre as exigências de água pelos tratamentos em relação à testemunha, tendo esta consumido menos água por peso de grão produzido (Tabelas 5 e 9).

Os resultados indicaram o aumento da quantidade de água necessária para produzir um mesmo peso de grãos com a elevação do teor de sais na água de irrigação. A análise estatística (Tabela 9) mostrou que este efeito foi quadrático. A Figura 9 apresenta a equação de regressão da curva e o seu coeficiente de correlação. OLIVEIRA (1983) obteve, para o arroz, resultados semelhantes, ou seja, a água gasta por grama de matéria seca aumentou com a salinidade.

O incremento da lâmina de lixiviação, embora não tenha afetado a evapotranspiração, aumentou o consumo de água por peso de grão. Estatisticamente a relação observada foi linear, como mostram os dados da Tabela 9. A equação de regressão, bem como o coeficiente de correlação, são apresentados na Figura 10.

4.1.7. Altura de plantas no início da floração

Procedeu-se medida de altura das plantas no início da floração, época em que atinge o máximo do desen

TABELA 9 Quadrado médio (QM) e coeficiente de variação (CV) relativos à evapotranspi-
ração real acumulada (ETA) e ao consumo de água por peso de grão (CAP).

Causa da Variação	G.L.	QM	
		ETA	CAP
Test. vs Fatorial	1	71.066,6747**	4.668,3813**
Efeito Linear CON.	1	315.265,4238**	20.449,3735**
Efeito Quadrático CON.	1	47,9520	2.637,7687**
Efeito Linear LIX.	1	211,5770	1.992,1901**
Efeito Quadrático LIX.	1	1.076,5389	37,7128
Efeito Cúbico LIX.	1	957,5205	178,9331
Resíduo	34	607,3589	150,0403
CV %		3,3204	15,0447

* - Significativo ao nível de 5% de probabilidade

** - Significativo ao nível de 1% de probabilidade

Figura 8 Relação entre a evapotranspiração real acumulada (ETA) e a condutividade elétrica da água de irrigação (CE). (Os pontos são a média dos tratamentos).

Figura 9 Relação entre o consumo de água por peso de grão (CAP) e a condutividade elétrica da água de irrigação (CE). (Os pontos são a média dos tratamentos).

Figura 10 Relação entre o consumo de água por peso de grãos (CAP) e a lâmina de lixiviação (L).
(Os pontos são a média dos tratamentos).

volvimento vegetativo.

Houve diferença significativa entre a teste munha e a média dos tratamentos e entre estes somente a concentração de sais na água de irrigação interfiriu na resposta.

As plantas reduziram de tamanho com o aumen to da salinidade da água de irrigação, este efeito foi li near como mostram os resultados e a análise estatística nas Tabelas 5 e 10, respectivamente. A equação de regres são e o seu coeficiente de correlação estão apresentados na Figura 11.

Segundo BERNSTEIN (1961) a redução do cresci mento vegetal associada ao stress osmótico é atribuído ao processo de aumento da pressão osmótica intra celular vi sando manter o turgor.

4.1.8. Porcentagem de queda da produção

Verificou-se diferença significativa entre a testemunha e os tratamentos e entre estes somente a con centração afetou os resultados, mostrados nas Tabelas 5 e 10.

A porcentagem de queda da produção aumentou com a elevação da condutividade elétrica da água de irriga ção. A análise estatística mostrou que esta relação teve efeito linear, cujas equação de regressão e coeficiente de correlação são apresentados na Figura 12.

TABELA 10 Quadrado médio (QM) e coeficiente de variação (CV) relativos à altura de planta no início da floração (AIF) e à porcentagem de queda da produção (PQP)

Causa da Variação	QM		
	G.L.	AIF	PQP
Test. vs Fatorial	1	279,0212**	8244,3216**
Efeito Linear CON.	1	123,4315**	12496,1724**
Efeito Quadrático CON.	1	4,8309	115,7770
Efeito Linear LIX.	1	0,0427	98,9353
Efeito Quadrático LIX.	1	0,1037	49,1761
Efeito Cúbico LIX.	1	0,1817	85,1351
Resíduo	34	5,1613	41,5444
CV %		10,9381	14,9488

* - Significativo ao nível de 5% de probabilidade

** - Significativo ao nível de 1% de probabilidade

Figura - 11 Relação entre a altura das plantas no início da floração (AIF) e a condutividade elétrica da água de irrigação (CE).
(Os pontos são a média dos tratamentos).

Figura - 12. Relação entre a porcentagem de queda de produção (PQP) e a condutividade elétrica da água de irrigação (CE).
(Os pontos são a média dos tratamentos).

As porcentagens de queda de produção, para as águas utilizadas, previstas conforme AYERS (1977) são aproximadamente de 10, 25 e 50% e foram encontrados, respectivamente 31, 42 e 73%. Esta diferença provavelmente se deve ao fato do experimento ter sido conduzido em vaso, com geometria restrita.

4.2. Efeito dos Tratamentos sobre o Solo

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

As duas variáveis mostraram resultados significativos, como pode ser observado nas Tabelas 5 e 11.

A concentração de sais no solo após a colheita se elevou, em relação a inicial, com o aumento da condutividade elétrica de água de irrigação. A análise estatística mostrou que o efeito foi linear, estando a equação de regressão e o coeficiente de correlação apresentados na Figura 13. Resultados com mesma tendência foram obtidos por GAUSMAN et alii (1954), KADDAH (1963), BOWER et alii (1969) e OLIVEIRA (1983).

O incremento na lixiviação contribuiu para diminuir o aumento dos sais no solo, mas não os impediu de acumular. Estatisticamente a esta relação inversamente pro

porcional teve efeito linear. A equação de regressão e o coeficiente de correlação são apresentados na Figura 14. Resultados semelhantes foram obtidos por BOWER et alii (1968) e BOWER et alii (1969).

Os valores finais da condutividade elétrica do extrato de saturação, calculados a partir do extrato 1:1 e com auxílio da equação da Figura 15, foram de aproximadamente 1.800; 2.600 e 3.400 micromhos/cm à 25°C, respectivamente nos tratamentos irrigados com C_1 , C_2 e C_3 , indicando a necessidade de lixiviação de recuperação antes do início de nova safra.

Figura - 13 Relação entre as condutividades elétricas do extrato 1:1 do solo ($CEE_{1:1}$) e da água de irrigação (CE).

Figura - 14. Relação entre a Condutividade elétrica do extrato 1:1 do solo (CEE_{1:1}) e a lâmina de lixiviação (L). (Os pontos são a média dos tratamentos).

TABELA 11 Quadrado médio (QM) e coeficiente de variação (CV) relativos à condutividade de elétrica do extrato 1:1 do solo após a safra (CEE_{1:1}).

Causa da Variação	QM	
	G.L.	----- C.E. Extrato 1:1 do Solo
Test. vs Fatorial	1	1.308.235,0179**
Efeito Linear CON.	1	1.564.519,8576**
Efeito Quadrático CON.	1	8,0079
Efeito Linear LIX.	1	325.655,6061**
Efeito Quadrático LIX.	1	13.131,4069
Efeito Cúbico LIX.	1	15.608,2690
Resíduo	34	12.907,9327
CV %		14,7185

* - Significativo ao nível de 5% de probabilidade

** - Significativo ao nível de 1% de probabilidade

4.3. Condutividade Elétrica

A utilização da medida da condutividade elétrica da solução do solo para correlacionar com a produtividade e outros parâmetros é meramente indicativo uma vez que seu valor real é dinâmico, alterado pelo teor de água no solo.

O extrato de saturação é de difícil preparo, exige equipamentos específicos (bomba de vácuo) e demora do de realizar.

Em áreas onde o problema de salinidade exige acompanhamentos frequentes, quer seja devido à água de irrigação, quer seja do próprio solo, pode-se utilizar o extrato 1:1, todavia se a condutividade elétrica do extrato de saturação for indispensável para comparação dos padrões existentes, pode-se, antecipadamente determinar a correlação entre este extrato e o 1:1 e depois somente executar o 1:1, que é de mais fácil e rápido preparo. Esta correlação deve ser feita para cada caso em particular, não podendo-se extrapolar.

Com este intuito procedeu-se análises que permitisse esta correlação tendo sido encontrado uma equação linear com coeficiente de determinação de 0,9774, significativo ao nível de 1% de probabilidade (Figura 15).

Figura - 15 Relação entre as condutividades elétricas dos ex-
tratos 1:1 ($CEE_{1:1}$) e de saturação (CE_e) do solo.

4.4. Recuperação de um solo salino

A lâmina de lixiviação de recuperação, conforme REEVE et alii (1955), referindo-se ao uso de água de boa qualidade e em condição de "steady-state", pode ser calculada pela fórmula:

$$\frac{D_1}{D_s} = \frac{CE_i}{5 \cdot CE_f} + 0,15$$

onde: D_s = espessura de solo a ser lixiviado

D_1 = lâmina de água (m) a ser aplicada

CE_i = CE_e inicial (mmhos/cm) a 25°C) do solo salino

CE_f = CE_e final (mmhos/cm a 25°C) desejada.

Com o intuito de se observar o comportamento desta fórmula utilizando-se água salina, aplicou-se lixiviações de recuperação de 10, 15 e 20 litros de água C_3 e 10 litros de água C_0 em oito vasos irrigados conforme tratamento C_3L_0 .

Os resultados foram oriundos de duas repetições, não permitindo análises estatísticas, e são aqui apresentados como dados complementares e indicativos pois estão além dos objetivos específicos deste trabalho.

Convém notar que na equação de REEVE os valores da condutividade elétrica são do extrato de saturação do solo, CE_e . Assim, para o cálculo correto da lâmina de lixiviação de recuperação, foram usados os seguintes valores:

CE_e inicial = 3.829 μ mhos,

CE_e final = 1.000 μ mhos, sendo esse valor final desejado porque corresponde ao limite de tolerância do feijão.

D_s = 0,50 m, a camada do solo.

Dos cálculos resulta D_g = 0,458 m de água.

Como os vasos tinham uma área de 0,0314 m² resultou um volume de 0,0144 m³ ou aproximadamente 15 litros.

Assim, foram aplicados 10, 15 e 20 litros da água de irrigação com salinidade C_3 para observar os efeitos produzidos em doses diferentes e em contraste com 10 litros de água de concentração C_0 .

Os vasos foram desmontados, determinando-se a condutividade elétrica do extrato do solo como valor médio de cada perfil.

Os resultados mostraram que houve reduções da salinidade inicial de 3.829 μ mhos/cm para os valores de 421; 1359; 1293 e 1073 μ mhos/cm a 25°C, respectivamente quando aplicados 10 litros de água C_0 e 10, 15, 20 litros de água C_3 .

Esses resultados permitem observar que a equação de REEVE é adequada e permite calcular a lâmina de lixiviação para uma água de boa qualidade ou de baixa concentração para um perfil de solo sem impedimentos. Por outro lado, fica evidente que é possível recuperar um solo salinizado mesmo utilizando água salina, rebaixando significativamente o nível inicial, desde que a lixiviação seja efetiva e o solo possua uma

drenagem eficiente no perfil.

Isso demonstra mais uma vez a importância fundamental da drenagem efetiva como medida de controle da salinidade dos solos irrigados.

5. CONCLUSÕES

Considerando as condições em que a pesquisa foi desenvolvida e, com base nos resultados obtidos, analisado sempre ao nível de incerteza de 1% de probabilidade, pode-se concluir:

5.1. Efeitos dos tratamentos sobre a cultura

5.1.1. Efeito da qualidade da água

A salinidade da água de irrigação agiu desfavoravelmente na planta em relação a todos os parâmetros de produção medidos.

Com destaque observou-se que a produção total de grãos (PTG) decresceu linearmente com o acréscimo da condutividade elétrica da água.

tividade elétrica da água de irrigação. Em relação ao controle as produtividades foram de 71,7; 54,7 e 31,7% quando irrigados respectivamente, com as águas C_1 , C_2 e C_3 .

A evapotranspiração real acumulada (ETA) foi respectivamente de 868; 829; 731 e 627 mm, para o controle e para as médias dos tratamentos irrigados com as águas C_1 , C_2 e C_3 , com efeito linear.

O consumo de água por peso de grãos (CAP) aumentou, com distribuição quadrática, e sob efeito da salinidade da água, de respectivamente 49,2; 64,6; 74,5 e 114,9 mm de água/grama para o controle, irrigado com C_0 , e para as médias dos tratamentos irrigados com C_1 , C_2 e C_3 .

5.1.2. Efeito da lâmina de lixiviação

Não houve diferença significativa de produção nos vários tratamentos utilizando diferentes taxas de lixiviação de manutenção. Isso se deveu, provavelmente, ao fato de que os valores de evapotranspiração real dos tratamentos terem sido menores que o do controle, o que assegurou uma lixiviação efetiva mesmo nos tratamentos onde ela não deveria ocorrer (L_0).

O consumo de água por peso de grãos (CAP) aumentou linear e diretamente com a lâmina de lixiviação aplicada. Os aumentos foram respectivamente de 53,1; 66,3; 82,9 e

87,0% em relação à testemunha, que consumiu em média 49,2 mm/grama.

5.2. Efeitos dos tratamentos na salinização do solo

5.2.1. Efeito da qualidade da água

Em todos os casos de irrigação com água salina houve um aumento da salinidade residual do solo, linear e diretamente proporcional à condutividade elétrica da água de irrigação aplicada. A condutividade elétrica do extrato de saturação (CE_e) passou de 417 micromhos/cm, a 25°C, para respectivamente 1839; 2604 e 3426 micromhos/cm, a 25°C, após a safra, quando utilizadas as águas C_1 , C_2 e C_3 .

5.2.2. Efeito da lâmina de lixiviação

A salinidade residual no solo, após a colheita resultou linear e inversamente proporcional à lâmina de lixiviação aplicada, tendo sido observadas as condutividades elétricas do extrato de saturação 3019; 2735; 2452 e 2168 micromhos/cm, a 25°C, respectivamente quando aplicadas lixiviações de 0; 7; 14 e 21%.

Isso evidenciou a importância da existência de condições de drenagem eficiente no solo para o manejo de irrigação com água salina.

6. LITERATURA CITADA

- ALAWI, B.J., J.L. STROEHLEIN, E.A. HANLON JR. e F. TURNER JR., 1980. Quality of irrigation water and effects of sulfuric acid and gypsum on soil properties and sudan grass yields. Soil Sci., Baltimore, 129 (5): 315 - 319.
- ALLISON, L.E., 1964. Salinity in relation to irrigation. Adv. Agron., New York, 16: 139 - 178.
- AYERS, R.S., 1977. Quality of water for irrigation. Jour. of the Irr. and Drain. Div., ASCE. 103(IR2): 135 - 154.
- BERNARDO, S., J.D. GALVÃO, H.GUERINIE e J.B. de CARVALHO, 1970. Efeito dos níveis de água no solo sobre a produção do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) SEIVA, Vicososa, 30: 7 - 13.

BERNSTEIN, L., 1961. Osmotic adjustment of plant to saline media. I. Steady state. Am. J. Bot., Lancaster, 48: 909 - 918.

BERNSTEIN, L., 1974. Crops growth and salinity. In: SCHILFGARDE, J. Van, ed. Drainage for Agriculture. Madison, American Society of Agronomy. p. 39-99 (Agronomy, 17).

BERNSTEIN, L. e H.E. HAYWARD, 1958. Physiology of salt tolerance. A. Rev. Pl. Physiol., Palo Alto, 9: 25-46.

BERNSTEIN, L. e L.E. FRANCOIS, 1973. Comparisons of drip, furrow and sprinkler irrigation. Soil Sci. Baltimore, 115: 73 - 86.

BERNSTEIN, L. e L.E. FRANCOIS; 1973-a. Leaching requeriment studies: Sensitivity of alfalfa to salinity of irrigation and drainage waters. Soil Sci. Soc. Am. Proc., Madison, 37: 931 - 943.

BINGHAM, F.T. e M. J. GARBER, 1970. Zonal salinization of the root system with NaCl and boron in relation to growth and water uptake of corn plants. Soil Sci. Soc. Am. Proc., Madison, 34: 122 - 126.

BOWER, C.A., G. OGATA e J.M. TUCKER, 1968. Sodium hazard

of irrigation waters as influenced by leaching fraction and by precipitation or solution of calcium carbonate. Soil Sci., Baltimore, 106(1): 29 - 34.

BOWER, C.A., G. OGATA e J.M. TUKER, 1969. Rootzone salt profiles and alfalfa growth as influenced by irrigation water salinity and leaching fraction. Agron. J., Madison, 61: 783 - 785.

BRASIL. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, 1976. Regras para análise de sementes. Portaria nº 532, 188p.

CODEVASF, 1983. Aproveitamento dos recursos de água subterrânea na Região do Plateau de Irecê-Bahia. ENCO, Brasília, 4v.

CRUCIANI, D.E., 1983. A drenagem na agricultura. São Paulo, Livraria Nobel, 337p., 2^a ed.

FORSYTHE, W.M. e L. LEGARDA, 1978. Soil water and aeration and bean red production. I. Mean maximum soil moisture suction. Turrialba, 28(1): 81 - 86.

GAUCH, B.G. e C.H. WADLEIGH, 1942. The influence of saline substrates upon the absorption of nutrients by bean plants. Am. Soc. Hort. Sci. Proc., Geneva, 14:365 - 369.

- GAUSMAN, H.W., W.R. COWLEY e J.H. BARTON, 1954. Reaction of some grasses to artificial salinization. Agron. J., Madison, 46: 412 - 414.
- HOFFMAN, G.J., S.L. RAWLINS, J.D. OSTER, J.A. JOBES e S.D. MERRILL, 1979. Leaching requirement for salinity control. I. Wheat, sorghum and lettuce. Agricultural water management, Amsterdam, 2: 177 - 192.
- INGVALSON, R.D., J.D. RHOADES e A.L. PAGE, 1976. Correlation of alfalfa yield with various index of salinity. Soil Sci., Baltimore, 122(3): 145 - 153.
- JURY, W.A., H. FRENKEL, H. FLUBLER, D. DEVITTE e L.H. STOLZY, 1978. Use of saline irrigation waters and minimal leaching for crop production. Hilgardia, Berkeley, 46: 169 - 191.
- KADDAH, M.T., 1963. Salinity effects on growth of rice at the seedling and inflorescence stages of development. Soil Sci., Baltimore, 96: 105-111.
- LUNIN, J., M.H. GALLATIN, e A.R. BATCHELDER, 1961. 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 saliniza

tion. Soil Sci., Baltimore, 92: 194 - 201.

LUNIN, J., M.H. GALLATIN e A.R. BATCHELDER, 1961(a). Effect of stage of growth at time of salinization on growth and chemical composition of beans: I Soil Sci., Baltimore, 91: 194 - 202.

LUNIN, J. e M.H. GALLATIN, 1965. Zonal salinization of the root system in relation to plant growth. Soil Sci. Soc. Am. Proc., Madison, 29: 608 - 612.

MAAS, E.V. e G.J. HOFFMAN, 1977. Crop salt Tolerance - Current assessment. Jour. of the Irr. and Drain. Div., ASCE. 103 (IR2): 115 - 133.

MATSUI, E., 1978. Origem e dinâmica de classificação da água do Nordeste brasileiro, Bacia do Rio Pajeú, PE. Piracicaba, ESALQ/USP, 64 p. (Tese de Doutorado).

MEIRI, A. e A. POLJAKOFF - MAYBER, 1970. Effect of various salinity regimes on growth, leaf expansion and transpiration rate of beans plants. Soil Sci., Baltimore, 109(1): 26 - 34.

O'LEARY, J.W., 1975. Short communication, High humidity overcomes lethal levels of salinity hidroponically grown

salt-sensitive plant. pl. Soil., The Hague, 42:717-721.

~~OLIVEIRA~~, F.A., 1983. Efeito da água de irrigação sobre algumas características do solo e da cultura do arroz. Piracicaba, ESALQ/USP, 193 p. (Tese de Doutorado).

PEARSON, G.A. e L. BERNSTEIN, 1959. Salinity effects at several growth stages of rice. Agron. J., Madison, 51:654-657.

RAWLINS, S.L., 1973. Principles of managing high frequency irrigation. Soil. Sci. Soc. Am. Proc., Madison, 37:626-629.

REEVE, R.C., A.F. PILLSBURY e L.V. WILCOX, 1955. Reclamation of a saline and high boron soil in the Coachilla Valley of California. Hilgardia, Berkeley, 24: 69 - 91.

RHOADES, J.D., 1972. Quality of water for irrigation. Soil Sci., Baltimore, 113(4): 277 - 284.

SAMMIS, T.W., D.L. WEEKS e E.G. HANSON, 1979. Influence of irrigation methods on salt accumulation in row crops. Trans. Am. Soc. Agric. Engers., St. Joseph, 22(4):791-796.

SETZER, J., 1966. Atlas climático e ecológico do Estado de São Paulo, Comissão Interestadual da Bacia do Rio Paraná-Paraguaio, São Paulo, p. 1-61.

SOUSA FRANCISCO, F.E., de, 1959. Recuperação de solos sal-
gados no Nordeste. Rio de Janeiro, DNOCS, v.19 p. 86-99.
(Boletim nº 3).

SOUZA, R.A, 1971. Qualidade da água de irrigação controle
da salinidade do solo e sua reabilitação. Recife, MINTER-
GEIDA/SUDENE, 66 p.

THORNE, J.P. e D.W. THORNE, 1951. Irrigation waters of Utah.
Utah agric. Exp. Sta., Logan, 63p. (Bull. 346).

U.S. DEPT. OF AGRICULTURE, 1963. Salt balance and leaching
requirements in irrigated lands. Technical bulletin
nº 1290. Washington, D.C.

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

WADLEIGH, C.H. e A.D. AYERS, 1945. Growth and biochemical
composition of bean plants as conditioned by soil mois
ture tension and salt concentration. Pl. Physiol.,
Lancaster, 20: 106 - 132.

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

WILCOX, L.V. e W.H. DURUM, 1967. Quality of irrigation water.
In: HAGAN, R.M. et alii, eds. Irrigations of Agricultural Land. Madison, American Society of Agronomy, 104-122.
(Agronomy, 11).