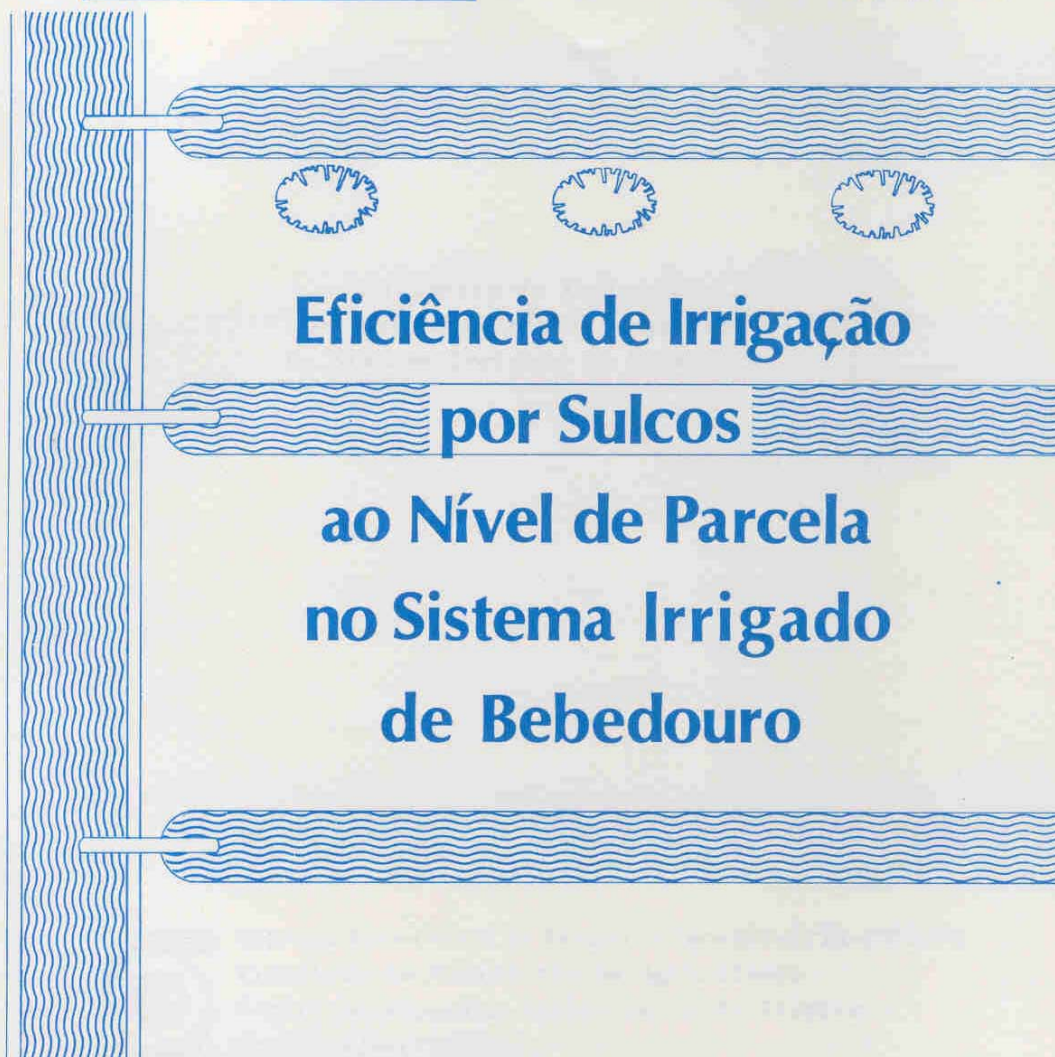


Circular Técnica

Número 18

ISSN 0100-6169

outubro, 1988



Eficiência de Irrigação

por Sulcos

**ao Nível de Parcela
no Sistema Irrigado
de Bebedouro**

 **EMBRAPA-CPATSA**

PAPP-SUDENE

CIRCULAR TÉCNICA Nº 18

ISSN 0100-6169

outubro, 1988

**Eficiência de Irrigação
por sulcos ao nível de parcela
no Sistema Irrigado de Bebedouro**

Hugo O. Carvalho Guerra

José Monteiro Soares



Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária-EMBRAPA
Vinculada ao Ministério da Agricultura
Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico
Semi-Árido-CPATSA
Petrolina, PE

© EMBRAPA, 1988
EMBRAPA-CAPTSA

Exemplares desta publicação podem ser solicitados ao:

Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico

Semi-Árido-CPATSA

BR 428 Km 152

Telefone: (081) 961-4411

Telex: 810016

Caixa Postal 23

56300 Petrolina, PE

Tiragem: 2.000 exemplares

Comitê de Publicações:

Terezinha Padilha Charles - Presidente

Aderaldo de Souza Silva

Clementino Marcos Batista de Faria

Clóvis Guimarães Filho

Eduardo Assis de Menezes

Marco Antônio Drumond

Paulo César Fernandes Lima

Francisco Lopes Filho

Luiza Teixeira de Lima Brito

Severino Gonzaga de Albuquerque

Carvalho Guerra, Hugo O.

Eficiência de irrigação por sulcos ao nível de parcela no sistema irrigado de Bebedouro, por Hugo O. Carvalho Guerra e José Monteiro Soares. Petrolina, PE, EMBRAPA-CPATSA, 1988.

33p. ilustr. (EMBRAPA-CPATSA. Circular Técnica, 18).

1. Irrigação-Sulco-Eficiência-Brasil-Pernambuco-Petrolina-Bebedouro. I. Soares, José Monteiro, colab. II. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semi-Árido, Petrolina, PE, ed. III. Título IV. Série. CDD - 631.7

SUMÁRIO

RESUMO	5
ABSTRACT	6
INTRODUÇÃO	7
MATERIAL E MÉTODOS	8
RESULTADOS E DISCUSSÃO	11
CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	31
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	33

**EFICIÊNCIA DE IRRIGAÇÃO POR SULCOS
AO NÍVEL DE PARCELA NO SISTEMA IRRIGADO DE BEBEDOURO**

Hugo Orlando Carvalho Guerra¹

José Monteiro Soares²

RESUMO - Este trabalho foi conduzido no Perímetro Irrigado de Bebedouro, Petrolina, PE, no período de setembro/dezembro de 1983. O trabalho constou da avaliação do manejo de água em três lotes distintos de colonos. Cada lote foi aleatoriamente distribuído dentro de uma mesma mancha de solo, de modo a contemplar as unidades 37 AA, 37 AB e 37 BB de solo do tipo Latossolo Vermelho-amarelo. Selecionou-se a cultura do feijão caupi (*Vigna sinensis*) por ser uma cultura base neste período. Em cada lote, fez-se três coletas de dados ao longo do ciclo fenológico do feijão, assim discriminadas: a primeira, em outubro (durante o estágio inicial de feijão) a segunda, em novembro (início de floração) e a terceira, em dezembro (final do ciclo). Constatou-se que as vazões médias obtidas nas unidades 37 AA e 37 BB foram em geral maiores que as máximas não erosivas, porém menores que a máxima não erosiva na unidade 37 AB. As declividades dos sulcos variam de 0,33 a 1,30%. A maior eficiência de aplicação (53,52%) foi alcançada na unidade 37 AB com 0,33% de declividade. Na unidade 37 BB com declividades de 0,9 e 1,3%, as eficiências de aplicação foram de 33,10 e 25,68%, respectivamente.

¹Eng. Agr., Ph.D., Especialista em Irrigação. Contrato IICA/EMBRAPA-Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semi-Árido (CPATSA), Caixa Postal 23, 56300 Petrolina, PE. Endereço Atual: Rua Antônio Monteiro Gomes de Oliveira, nº 184 - Manaira-JOÃO PESSOA-PB.

²Eng. Agr., M.Sc. em Irrigação e Drenagem, EMBRAPA-CPATSA.

A maioria dos colonos suspendem a irrigação quando o avanço alcança o final do sulco. Nos lotes com declividades de sulcos relativamente elevadas, as lâminas aplicadas foram inferiores às necessárias.

Termos de indexação: irrigação por sulcos, eficiência da irrigação, perda de água, Projeto Bebedouro, Vale do São Francisco.

FURROWS IRRIGATION EFFICIENCY TO PARCEL LEVEL AT BEBEDOURO IRRIGATION SYSTEM

ABSTRACT - The study was conducted at the Bebedouro Irrigation Station at Petrolina, PE from September to December 1983. It was evaluated the water management on three different areas, each one of these selected at random on identical soil strips, in a way to include the 37 AA, 37 AB and 37 BB yellow-red latossolic soil unities. Caupi bean (*Vigna sinensis*) was selected for the study because this is the basic crop established on this time of the year. Considering the long fenologic cycle of the bean, three collection of data were performed. The first in October (initial stage), the second in November (beginning of the floration stage) and the last one in December (end of cycle). It was observed that on the 37 AA and 37 BB soil unities, the water flows used, in general, were greater than the maximum noo-erosive ones, being smaller on the 37 AB soil unity. The soil slopes varied from 0,33 to 1,30%. The highest application efficiency (53,52%) was obtained at the 37 AB soil unity with the smallest slope (0,33%). At the 37 BB unity, the 0,9 and 1,3% slopes had application efficiencies of 33,10 and 25,68%, respectively. Most of the irrigants stop the irrigation when the water front reaches the end

of the furrows. On the high slope parcels, the water depths applied were smaller than the necessities.

Index terms: furrow irrigation, irrigation efficiency, water losses, Bebedouro irrigation perimeter, São Francisco Valley.

INTRODUÇÃO

Embora a irrigação por sulcos seja um método bastante antigo e um dos mais usados no mundo inteiro, é ainda um método pouco eficiente. Bernardo (1978) reporta que no Brasil, a eficiência de irrigação por sulcos é menor que 44%. Esta baixa eficiência resulta das perdas de água por infiltração nos canais, percolação profunda abaixo da zona radicular, evaporação e escoamento superficial no final do sulco.

Para se aplicar uma lâmina de irrigação adequada na zona das raízes de uma determinada cultura, é necessário que a água fique em contato com o solo durante um certo período de tempo. Como esta lâmina deve ser aplicada no final do sulco, dependendo da vazão aplicada por sulco, pode-se ter bastante problema no manejo de água devido ao tempo de avanço d'água ao longo do sulco. Quando a vazão aplicada é relativamente menor do que o valor médio aceitável (função do comprimento e declividade do sulco e da erodibilidade do solo), tem-se perdas excessivas por percolação no trecho inicial do solo. Quando a vazão é maior que o valor aceitável, têm-se perdas excessivas por escoamento superficial no final do sulco. De qualquer modo essas perdas de água resultam em problemas de drenagem e de salinidade, devido à elevação do lençol freático.

A tecnologia tem aumentado consideravelmente a produção por unidade de água através do melhoramento das

variedades, controle de pragas e doenças, fertilização e outras práticas agronômicas; no entanto, a melhoria da eficiência de irrigação por método de irrigação por sulcos, é de extrema prioridade para o Nordeste, em razão da sua escassez de recursos hídricos.

O objetivo do presente trabalho foi determinar, ao nível de parcela, a eficiência de irrigação por sulcos.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido no Perímetro Irrigado de Bebedouro, Petrolina, PE, no período de setembro a dezembro de 1983.

Segundo a classificação climática de Köppen, o clima da região corresponde a um BSh'm, semi-árido quente, com temperatura média de 26°C, precipitação anual de 443 mm, umidade relativa de 60% e velocidade do vento de 3 m/s.

O trabalho constou da avaliação da eficiência de irrigação em três lotes distintos (pertencentes a colonos distintos). Cada lote foi aleatoriamente distribuído dentro de uma mesma mancha do solo, de modo a contemplar as unidades 37 AA, 37 AB e 37 BB. Algumas propriedades físico-hídricas destes solos são apresentadas na Tabela 1.

TABELA 1: Características físico-hídricas dos solos das unidades 37 AA, 37 AB, 37 BB.

Unidade de Solo	Profundidade (cm)	Capacidade de Campo(%)	Ponto de Murchamento (%)	Densidade Global (g/cm ³)	Argila (%)	Água Disponível (%)
37 AA	0-30	8,87	2,22	1,59	7,58	6,65
	30-60	9,12	2,88	1,55	11,82	6,24
	60-90	9,86	3,49	1,54	14,18	6,37
37 AB	0-30	9,00	2,44	1,56	8,00	6,65
	30-60	9,48	3,71	1,52	14,08	5,77
	60-90	10,30	3,89	1,53	23,40	6,41
37 BB	0-30	10,26	3,72	1,49	7,3	6,54
	30-60	11,41	4,60	1,50	20,6	6,81
	60-90	11,28	4,89	1,51	34,0	6,39

Esses lotes não sofreram a mínima interferência da pesquisa, ou seja, os lotes foram totalmente manejados pelos colonos. Selecionou-se a cultura do feijão caupi (**Vigna sinensis**) por ser uma das culturas mais exploradas no período da realização do trabalho. Em cada um desses lotes, foram feitas três coletas de dados durante o ciclo fenológico do feijão, assim discriminadas: a primeira, em outubro/83, durante o estágio inicial do feijão, em que a zona radicular da planta ainda não atingia 15cm de profundidade; a segunda, em novembro/83, durante o estágio de desenvolvimento do feijão, com uma profundidade média de raízes de 30cm; e a terceira, em dezembro/83, durante a fase de colheita.

Durante os testes de campo foram feitas as seguintes medições:

- a) vazão de entrada e saída de água no sulco;
- b) curva de avanço e recessão;
- c) testes de infiltração;
- d) distribuição de umidade no solo antes e após 24 horas de irrigação, feita através do método gravimétrico com amostragem a intervalos de 15 cm até atingir a profundidade de 60 cm;
- e) área molhada do sulco;
- f) profundidade do sistema radicular do feijão.

Para determinação das vazões utilizaram-se calhas WSC-Flume tipo A, instaladas no mesmo sulco. Os testes de infiltração foram feitos pelo método de entrada-saída, recomendado por Bernardo (1977) para a irrigação por sulco.

A partir dos testes de infiltração, determinou-se a equação de infiltração acumulada e as lâminas infiltradas ao longo do sulco. Com estes dados construiu-se o perfil de distribuição da água no solo, o que permitiu determinar graficamente, as perdas de água por percolação

profunda, além da zona radicular e por escoamento superficial no final do sulco. A Figura 1 apresenta um esquema demonstrativo da irrigação por sulco, indicando as perdas da água por percolação profunda e por escoamento superficial.

Com os valores das lâminas infiltradas no início e final do sulco e conhecida a lâmina média aplicada, determinaram-se a eficiência de distribuição (E_d) e a eficiência de aplicação (E_a) através das metodologias descritas por Bernardo (1978).

$$E_d = \frac{D_f}{(D_o + D_f)/2} \times 100$$

$$E_a = \frac{D_f}{LM} \times 100$$

onde:

D_f = lâmina infiltrada no final do sulco (mm)

D_o = lâmina infiltrante no início do sulco (mm)

LM = lâmina média aplicada no sulco (mm)

As vazões máximas não erosivas foram calculadas através da equação de Gardner e Lauritzen (1946).

$$q = \alpha S^\beta$$

onde:

q = vazão máxima não erosiva (l/s)

α e β = parâmetros que dependem do tipo de solo

S = declividade do sulco (decimal)

Para os solos da área em estudo, os valores de α e β utilizados foram os valores indicados por Gardner, de 0,613 e 0,733, respectivamente.

A água perdida por percolação profunda foi considerada como aquela lâmina de água aplicada, além da lâmina ne

cessaria. A lâmina de água necessária foi calculada ba
seando-se em dados obtidos para cada solo da Tabela 1, e
no teor de umidade do solo antes da irrigação.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A tabela 2 apresenta as vazões máximas não erosivas, calculadas através da equação de Gardner e Lauritzen (1946) para as declividades dos sulcos dos lotes estudados. Observou-se que as vazões usadas nas unidades 37 AA e 37 BB foram em geral maiores que as máximas não erosivas, o que ocasionou um grande efeito erosivo nos sulcos, evidenciado pelo arraste de material do fundo do sulco e pelo desmoronamento das paredes deste, principalmente nos primeiros vinte metros. Já no solo 37 AB, com vazões menores que as máximas erosivas, a erosão foi menor, embora ainda presente.

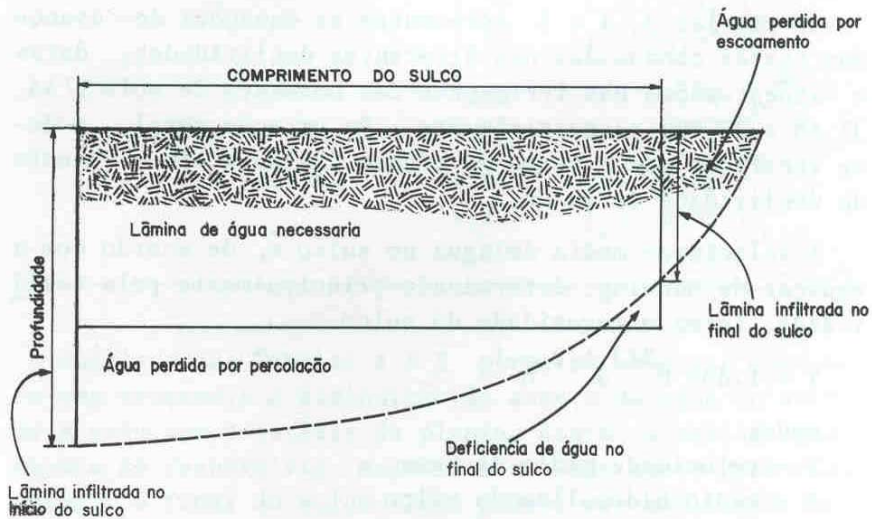


FIG. 1. Esquema demonstrativo da irrigação por sulco.

TABELA 2: Vazões máximas não erosivas calculadas pela equação de Gardner e Lauritzen (1946)* para as declividades estudadas.

Solo	Declividade (%)	Vazão Máxima não Erosiva (l/s)	Vazões Usadas (l/s)
37 AB	0,33	1,39	0,49-0,99
37 AA	0,40	1,20	0,75-1,85
37 AA	0,50	1,02	0,96-1,76
37 BB	0,90	0,66	0,67-1,03
37 BB	1,30	0,51	0,71-0,84

*Para os solos em questão, os valores dos coeficientes α e β foram de 0,613 l/s e -0,733, respectivamente.

As tabelas 3, 4 e 5 apresentam as equações de avanço dos testes conduzidos nas diferentes declividades, datas e vazões usadas nas irrigações das unidades de solo 37 AA, 37 AB e 37 BB, respectivamente. De um modo geral, pode-se verificar que o tempo de avanço diminuiu com o aumento da declividade do sulco.

A velocidade média da água no sulco é, de acordo com a equação de Manning, determinada principalmente pela declividade, forma e rugosidade do sulco.

$$V = 1.486 R^{2/3} S^{1/2} n^{-1}$$

onde:

V = velocidade média da água

R = rádio hidráulico do sulco

S = declividade do sulco

n = coeficiente da rugosidade do sulco

TABELA 3: Equações de avanço para as diferentes declividades, datas e vazões da irrigação dos testes no solo 37 AA.

Declividade (%)	Data	Vazão (l/s)	Equação de Avanço (m)
0,40	out/83	1,33	$L = 10,81 T^{0,43}$
		1,58	$L = 11,20 T^{0,45}$
		1,49	$L = 10,99 T^{0,45}$
	nov/83	1,17	$L = 5,99 T^{0,63}$
		0,75	$L = 6,22 T^{0,64}$
		0,81	$L = 5,78 T^{0,65}$
	dez/83	1,85	$L = 10,40 T^{0,70}$
		1,28	$L = 12,27 T^{0,60}$
	0,50	out/83	1,45
1,76			$L = 7,47 T^{0,68}$
1,59			$L = 5,95 T^{0,77}$
nov/83		1,09	$L = 6,84 T^{0,67}$
		0,96	$L = 6,27 T^{0,75}$
dez/83		1,21	$L = 11,69 T^{0,51}$
		1,23	$L = 9,87 T^{0,61}$
		1,30	$L = 9,93 T^{0,65}$

Análises das Tabelas 4 e 5 permitem observar que houve uma tendência a diminuição do avanço da água no sulco, de acordo com o estágio da planta. Assim, a medida que a planta se desenvolvia, maior foi o tempo gasto para a água atingir o final do sulco. Isto poderá ser explicado pelo aumento de material vegetativo dentro do sulco, o qual contribuiria para aumentar a rugosidade destes.

TABELA 4: Equações de avanço para as diferentes declividades, datas e vazões da irrigação dos testes no solo 37 AB.

Declividade (%)	Data	Vazão (l/s)	Equação de Avanço (m)
0,33	dez/83	0,68	L = 6,79 T ^{0,72}
		0,83	L = 6,50 T ^{0,76}
		0,78	L = 5,95 T ^{0,74}
	nov/83	0,99	L = 6,48 T ^{0,66}
		0,97	L = 7,63 T ^{0,63}
		0,66	L = 4,89 T ^{0,65}
	dez/83	0,68	L = 5,93 T ^{0,61}
		0,71	L = 5,09 T ^{0,62}
		0,49	L = 7,04 T ^{0,63}

TABELA 5: Equação de avanço para as diferentes declividades, datas e vazões da irrigação dos testes no solo 37 BB.

Declividade (%)	Data	Vazão (l/s)	Equação de Avanço (m)	
0,90	out/83	0,77	L = 9,74 T ^{0,72}	
		1,03	L = 10,12 T ^{0,90}	
		0,85	L = 11,15 T ^{0,87}	
	nov/83	0,77	L = 6,20 T ^{0,79}	
		1,08	L = 9,86 T ^{0,75}	
	dez/83	0,67	L = 8,16 T ^{0,68}	
		0,98	L = 7,95 T ^{0,79}	
	1,30	out/83	0,71	L = 8,46 T ^{0,81}
			0,84	L = 8,18 T ^{0,80}
0,77			L = 8,18 T ^{0,76}	

De acordo com a formula de Manning, quanto maior o coe ficiente de rugosidade do sulco. menor a velocidade da água dentro deste.

No solo 37 AA não foi observada esta tendência devido as vazões usadas nos diferentes estádios do feijão que foram muito diferentes; e assim, o efeito do estágio pode ter sido mascarado pelo efeito da vazão. Nos testes condu zidos em outubro/83 (primeira irrigação), a irrigação foi feita sobre um sulco recém preparado, com uma umidade mui to baixa, contribuindo assim para a obtenção de um tempo de avanço muito grande.

Neste perímetro, é comum, os colonos suspenderem o for necimento de água ao sulco, quando a água atinge o final do sulco. Outros suspendem esse fornecimento de água, 5 a 10 minutos após a água alcançar o final do sulco. Isto as sociado ao uso de vazões acima do valor máximo não erosi vo (tempo de avanço muito curto), proporciona a aplicação de pequenas lâminas de água ao longo do sulco.

A redução do tempo de avanço, verificado ao longo do ciclo do feijão caupi, condicionou a redução do tempo de oportunidade no trecho final do sulco, e consequentemente, a redução da lâmina infiltrada no solo.

As tabelas 6, 7 e 8 apresentam as equações de infiltração acumulada para as diferentes declividades, datas, vazões e lâminas de irrigação para as unidades de solo 37 AA, 37 AB e 37 BB, respectivamente. Análises dos resultados nos so los 37 AA e 37 BB indicaram que a velocidade de infiltração aumentou com o desenvolvimento da cultura.

Isto deve-se ao aumento da porosidade do solo pelas raízes, bem como pelo aumento do bulbo molhado ocasionado pelo represamento da água ao longo do sulco, devido a par te aérea da planta.

TABELA 6: Equações de infiltração para as diferentes declividades, datas, vazões e lâminas dos testes no solo 37 AA.

Declividade (%)	Data	Vazão (ℓ/s)	Lâmina (mm)	Infiltração Acumulada (mm)
0,40	out/83	1,33	154,00	D = 4,04 T ^{0,69}
		1,58	153,70	D = 1,99 T ^{0,87}
		1,49	142,40	D = 1,12 T ^{0,97}
	nov/83	1,17	60,06	D = 1,05 T ^{0,82}
		0,75	38,73	D = 1,05 T ^{0,82}
		0,81	41,58	D = 1,26 T ^{0,78}
	dez/83	1,85	51,80	D = 1,53 T ^{0,87}
		1,28	35,84	D = 1,43 T ^{0,80}
	0,50	out/83	1,45	73,82
1,76			58,79	D = 1,66 T ^{0,89}
1,59			53,00	D = 1,48 T ^{0,89}
nov/83		1,09	50,87	D = 1,21 T ^{0,86}
		0,96	47,36	D = 1,47 T ^{0,74}
dez/83		1,21	41,95	D = 1,25 T ^{0,86}
		1,23	42,64	D = 1,26 T ^{0,87}
		1,30	52,58	D = 1,37 T ^{0,86}

TABELA 07: Equações de infiltração para as diferentes declividades, datas, vazões e lâminas de irrigação dos testes no solo 37 AB.

Declividade (%)	Data	Vazão (ℓ/s)	Lâmina (mm)	Infiltração Acumulada (mm)
0,33	out/83	0,68	26,66	D = 0,92 T ^{0,79}
		0,83	32,73	D = 1,20 T ^{0,77}
		0,78	36,65	D = 0,79 T ^{0,88}
	nov/83	0,99	46,62	D = 0,90 T ^{0,86}
		0,97	46,07	D = 0,91 T ^{0,89}
		0,66	45,36	D = 1,36 T ^{0,73}
	dez/83	0,68	48,00	D = 0,95 T ^{0,82}
		0,71	56,63	D = 0,51 T ^{0,97}
		0,49	48,74	D = 1,70 T ^{0,63}

TABELA 8: Equações de infiltração para as diferentes declividades, datas, vazões e lâminas de irrigação dos testes no solo 37 BB.

Declividade (%)	Data	Vazão (ℓ/s)	Lâmina (mm)	Infiltração Acumulada (mm)	
0,90	out/83	0,77	12,60	D = 1,38 T ^{0,46}	
		1,03	8,46	D = 0,12 T ^{1,24}	
		0,85	8,79	D = 0,32 T ^{0,79}	
	nov/83	0,77	17,52	D = 0,74 T ^{0,84}	
		1,08	15,64	D = 0,30 T ^{1,09}	
	dez/83	0,67	28,65	D = 1,40 T ^{0,65}	
		0,98	16,90	D = 0,90 T ^{0,86}	
	1,30	out/86	0,71	7,75	D = 0,26 T ^{1,00}
		nov/83	0,84	12,17	D = 1,15 T ^{0,63}
		0,77	11,68	D = 0,41 T ^{0,92}	

Na unidade de solo 37 AB, com a menor declividade (0,33%), embora o avanço tenha diminuído com o desenvolvimento da planta, seu efeito não foi importante na infiltração da água do solo.

A Tabela 9 apresenta as equações de avanço e de infiltração acumulada para as diversas unidades de solos estudados. As equações são médias gerais das diferentes declividades, vazões, lâminas de irrigação e épocas dos testes. É bastante difícil analisar o efeito das características dos solos sobre os parâmetros das equações de avanço e infiltração acumulada, em decorrência das diferentes declividades e vazões. Considerando a similaridade das características físicas da primeira camada (0-30 cm) das três unidades de solo, é muito provável que o fator declividade e/ou vazão desempenharam um papel mais importante que o tipo do solo. Por exemplo, os elevados valores dos parâmetros da equação na unidade 37 BB, atribuem-se principalmente à elevada declividade dos sulcos (média de 1,15%) e não a alguma característica específica do solo. Já as equações de avanço para as unidades 37 AA e 37 AB com declividades menores e semelhantes não manifestaram muita diferença entre si.

Analisando as equações de infiltração, observou-se que as áreas com maiores declividades (0,9 e 1,3%), apresentaram uma menor infiltração.

TABELA 9: Equação de avanço e infiltração acumulada para as diferentes unidades de solo avaliadas.

Unidade de Solo	Equação de Avanço (m)	Equação da Infiltração Acumulada (m)
37 AA	$L = 8,92 T^{0,64}$	$D = 1,35 T^{0,85}$
37 AB	$L = 6,26 T^{0,67}$	$D = 1,03 T^{0,82}$
37 BB	$L = 8,80 T^{0,79}$	$D = 0,79 T^{0,83}$

No entanto, a unidade de solo 37 AB com a menor declividade (0,33%) apresentou velocidade de infiltração menor que a unidade 37 AA com declividades maiores (0,4 e 0,5%). Isto contradiz a afirmação anterior. Mas, Gavande (1972) e Eric (1960) afirmam que a velocidade de infiltração depende do conteúdo de umidade no solo na ocasião da irrigação. Azevedo (1975) estudando o efeito do conteúdo inicial de água no solo sobre os parâmetros "n" e "k" da equação de infiltração, em latossolos unidade 37 AB, constatou uma redução no valor de "k" com o aumento da umidade na camada superficial do solo. Entretanto, o valor de "n" não foi afetado.

Tabelas 10, 11 e 12 apresentam as perdas de água por percolação profunda e por escoamento superficial ao final do sulco, e as eficiências da distribuição e aplicação da água para as diferentes declividades, vazões e lâminas de irrigação, para as unidades de solo 37 AA, 37 AB e 37 BB, respectivamente.

As grandes perdas de água por percolação observadas nas unidades de solos 37 AA e 37 AB devem-se principalmente ao excessivo tempo de avanço necessário para que a água atingisse o final do sulco.

Na unidade de solo 37 BB, a situação foi totalmente diferente. A figura 2 mostra que as lâminas de água aplicadas pelas irrigações foram insuficientes para satisfazer as lâminas recomendadas, e conseqüentemente as perdas de água por percolação foram muito pequenas ou mesmo iguais a zero. Isto deve-se ao uso de vazões bem acima dos valores máximos permissíveis para as declividades de sulcos utilizados, bem como a interrupção do fornecimento de água ao sulco imediatamente quando o avanço alcançava o final do sulco. Isto também proporcionará a infiltração de pequenas lâminas de água no solo.

TABELA 10: Perdas de água por percolação e escoamento superficial, eficiências de distribuição e aplicação de água para diferentes vazões, lâminas e declividade do solo 37 AA.

Data	Vazão (l/s)	Lâmina (mm)	Perdas de Água (%)		Eficiência (%)	
			Percolação	Escoamento	Distrb.	Aplicação
Declividade = 0,40						
out/83	1,33	154,00	91,36	2,78	36,94	20,73
	1,58	153,70	92,23	1,16	40,70	25,05
	1,49	142,40	91,17	1,96	23,92	13,00
nov/83	1,17	60,06	70,03	9,28	37,31	23,04
	0,75	38,73	54,12	14,44	54,74	35,45
	0,81	41,58	46,85	21,11	56,07	34,96
dez/83	1,85	51,80	37,21	48,87	86,86	51,80
	1,28	35,84	21,79	22,41	82,58	55,80
Média	-	84,76	63,10	15,25	52,39	32,48
Declividade = 0,50%						
out/83	1,48	73,82	69,61	12,80	43,35	25,93
	1,76	58,79	75,69	7,26	51,88	33,30
	1,59	53,00	73,22	7,88	55,07	34,75
nov/83	1,09	50,87	66,84	13,38	53,97	33,95
	0,96	47,36	52,36	25,54	80,70	50,76
dez/83	1,21	41,95	35,57	16,75	63,18	41,14
	1,23	42,64	36,91	16,19	63,79	42,64
	1,30	52,58	40,74	21,27	73,63	45,40
Média	-	52,62	56,37	15,13	60,70	38,48
Média Total-	-	68,70	59,73	15,19	56,54	35,48

TABELA 11: Perdas de água por percolação e escoamento superficial e eficiências de distribuição e aplicação de água para diferentes declividades, dados, vazões e lâminas dos testes no solo 37 AB.

Data	Vazão (%/s)	Lâmina (mm)	Perdas de Água (%)		Eficiência (%)	
			Percolação	Escoamento	Distrib.	Aplicação
Declividade = 0,33%						
out/83	0,68	26,66	45,43	17,06	86,29	65,64
	0,83	32,73	51,18	18,27	88,53	67,22
	0,78	36,65	62,50	10,21	71,73	53,23
	0,58	27,31	50,21	13,17	58,17	39,36
	0,73	36,86	53,97	18,90	75,90	51,00
nov/83	0,99	46,62	45,52	25,98	63,13	35,11
	0,70	32,97	33,49	15,82	60,09	39,73
	0,89	60,86	66,79	15,96	80,69	61,47
	0,66	45,36	61,72	13,88	67,76	50,84
dez/83	0,68	48,00	66,61	13,17	87,56	77,46
	0,49	48,74	65,83	11,37	77,78	62,70
	0,71	56,63	51,89	12,79	53,48	35,32
Média	-	41,61	54,60	15,55	72,60	53,26

TABELA 12: Perdas de água por percolação e escoamento superficial e eficiências de distribuição e aplicação de água para diferentes declividades, vazões e lâminas dos testes no solo 37 BB.

Data	Vazão (l/s)	Lâmina (mm)	Perdas de Água (%)		Eficiência (%)	
			Percolação	Escoamento	Distrib.	Aplicação
Declividade = 0,9%						
out/83	0,77	12,60	0	6,55	75,95	30,08
	1,03	8,46	0	28,00	88,94	24,70
	0,85	8,79	0	26,28	91,67	26,28
nov/83	0,77	17,52	0	7,55	52,59	25,51
	1,80	15,64	0	15,98	74,39	31,39
dez/83	0,67	28,56	34,68	26,34	81,82	49,49
	0,98	16,90	0	11,88	68,56	44,26
Média	-	15,50	4,95	17,51	76,27	33,10
Declividade = 1,3%						
out/83	0,71	7,75	0	12,95	75,08	32,36
nov/83	0,84	12,17	24,03	9,05	62,15	29,01
	0,77	11,68	10,04	9,00	41,22	15,67
Média	-	10,53	11,36	9,97	59,48	25,68
Média Total-	-	14,07	6,88	15,36	71,24	30,88

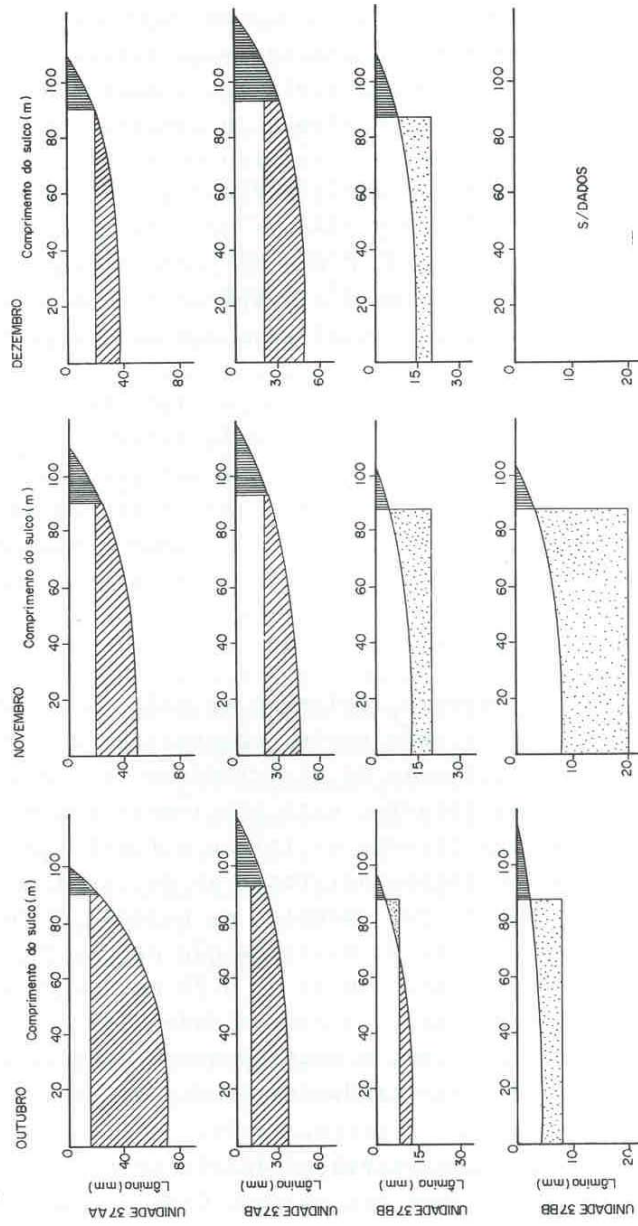


FIG. 2. Esquemas ilustrativos da irrigação conduzida nas diferentes unidades de solo e estágios de crescimento das culturas.

O uso de vazoes bem acima das maximas nao erosivas fez com que as perdas de água por escoamento superficial fossem maiores que aquelas, devido a percolação. O manejo da irrigação desta forma, além dos problemas de conservação de solo, poderá ocasionar um déficit hídrico antes do reinício da irrigação. Dependendo do estágio fenológico e da sensibilidade da cultura, esta deficiência de água poderá trazer riscos sérios à produção. O uso de irrigações mais frequentes (com as mesmas lâminas) elevará os custos de produção. Talvez a solução mais viável seja diminuir a declividade dos sulcos.

Embora, aparentemente o avanço e a infiltração da água no solo mostraram ser afetados pelo estágio de desenvolvimento da planta, as perdas de água por percolação e escoamento superficial não mostraram uma tendência definida. Isto foi também, dificultado pela grande variação de condições sob as quais foram conduzidos os testes, ou seja, variação da vazão e de tempo de irrigação entre as irrigações realizadas.

Com exceção da primeira irrigação no solo da unidade 37 AA, em que os sulcos eram novos, constataram-se bons resultados para a eficiência da distribuição de água ao longo do sulco. No entanto, esta eficiência somente relaciona as lâminas infiltradas ao início e final do sulco, sem considerar se estas satisfazem as necessidades de irrigação ou não. Assim, por exemplo, na unidade 37 BB a obtenção de uma eficiência de distribuição de 91,67%, condicionou a aplicação de uma lâmina de 9,79 mm, sendo esta insuficiente para satisfazer as necessidades da cultura no período considerado. Isto significa que a determinação de parâmetros isolados não traduz as condições reais de manejo de irrigação.

Não constatou-se grande variação da eficiência de distribuição com a declividade dos sulcos. Como o manejo da

irrigação é similar nos três lotes (fornecimento de água é cortado geralmente quando a água atinge o final do sulco) a relação entre as lâminas infiltradas no início e no final do sulco se mantém.

A eficiência de distribuição é função da vazão aplicada, do tempo de avanço e do tempo de irrigação. O uso de vazões abaixo do valor referente à vazão máxima não erosiva, condiciona o aumento do tempo de avanço.

Se o fornecimento de água no sulco for mantido por um tempo suficiente para aplicar-se a lâmina de irrigação desejada no final do sulco, certamente obter-se-ão altos valores para a eficiência de distribuição. Caso o fornecimento de água ao sulco seja interrompido quando o avanço alcança o final do sulco (prática comum no perímetro irrigado de Bebedouro), obter-se-ão baixos valores para a eficiência de distribuição (Tabela 10).

Pode-se verificar pelas Tabelas 10 a 12 que a eficiência de aplicação diminuiu com o aumento da declividade do sulco. A maior eficiência de aplicação média (53,26%), foi obtida na unidade de solo 37 AB, onde a declividade do sulco era de 0,33% enquanto que as menores eficiências (33,10 e 25,68%) foram obtidas na unidade de solo 37 BB com declividades de 0,9 e 1,3%, respectivamente. A eficiência de aplicação média na unidade de solo 37 AA foi de 35,48%, enquanto as perdas médias de água por percolação e por escoamento superficial foram de 59,73 e 15,19%, respectivamente.

Na unidade 37 AB, onde se obteve maior eficiência de aplicação, poderia ter havido valores ainda maiores, se a vazão usada por sulco tivesse se aproximado mais da vazão não erosiva permissível (Tabelas 2 e 11), ou seja, por percolação (54,60%) e por escoamento superficial (15,55%)

poderiam ter sido reduzidas, em benefício do aumento da eficiência de aplicação.

Na unidade 37 BB, a obtenção dos menores valores de eficiência de aplicação (30,88%) e de percolação (6,88%) deveu-se ao uso de vazões bem acima dos valores de vazão máxima não erosiva (Tabelas 2 e 12).

Observou-se que na unidade de solo 37 AB, com a maior eficiência de aplicação, as lâminas de irrigação no início do sulco foram 4 vezes superiores às lâminas necessárias. Isto, fez com que as perdas de água por percolação fossem muito altas (média de 54,6%) o que ressalta que uma irrigação mais eficiente deixa ainda muito a desejar. Esta alta lâmina de irrigação pode provocar sérios problemas de drenagem (elevação do lençol freático), lavagem de nutrientes e salinidade. Semelhantes considerações são também válidas para a unidade de solo 37 AA.

Na unidade de solo 37 BB, com insuficientes lâminas de irrigação no final do sulco, a eficiência de aplicação (29,39%) foi a menor. Praticamente não houve perdas de água por percolação e a água avançou tão rápida no sulco não dando oportunidade para se infiltrar ao longo deste. As perdas de água nesta área foram principalmente devido ao escoamento superficial no final do sulco. Ao contrário das outras duas unidades de solos, na 37 BB faltou água. O colono acostumado a suspender a irrigação quando a água atinge o final do sulco, não considera que a excessiva declividade dos sulcos não dá oportunidade para a água infiltrar-se no solo, principalmente no trecho ao final do sulco. Para evitar os problemas originados por esta excessiva declividade recomenda-se locar os sulcos de forma a diminuir a declividade, se possível a valores de 0,3-0,5%. A vazão aplicada deverá também ser ajustada. Constatou-se

em alguns lotes, que os colonos modificaram a declividade original dos sulcos. Assim, talvez voltando ao projeto original estes problemas possam ser solucionados.

Com exceção das áreas com a menor e maior declividade, a eficiência de aplicação aumentou com o desenvolvimento da cultura. A unidade de solo 37 AB, com a menor declividade, não mostrou este efeito. Como nestes sulcos, a água circula suficientemente lenta, a rugosidade do sulco não teve efeito significativo. Semelhante explanação é apresentada para o caso da declividade 1,3% na unidade de solo 37 BB, na qual também o estágio de desenvolvimento da cultura não afetou a eficiência de aplicação. Neste caso, a velocidade da água era muito alta para ser afetada pela rugosidade do sulco.

A Tabela 13 mostra as perdas médias de água por percolação e por escoamento superficial e as eficiências médias de distribuição e de aplicação do sistema de Irrigação Bebedouro.

Verifica-se pela Tabela 13 que a perda média de água por percolação e por escoamento superficial do Sistema de Irrigação Bebedouro foi da ordem de 40,07 e 15,36%, respectivamente. Enquanto isso, as eficiências médias de distribuição e de aplicação foram de 66,46 e 39,97% respectivamente. Os baixos valores obtidos revelam que o manejo de água neste sistema de irrigação é realizado de maneira bastante deficiente.

Leal (1979) avaliando o manejo de água do Sistema de Irrigação de Bebedouro, obteve resultados bastante similares para perdas de água por percolação (36,00%) e por escoamento superficial (31,00%) e eficiência de distribuição (48,23%) e de aplicação (33,00%).

TABELA 13: Perdas médias de água por percolação e por escoamento superficial e eficiências médias de distribuição e aplicação do Sistema de Irrigação Bebedouro.

Unidade de Solo	Perda de água (%)		Eficiência (%)	
	Percolação	Esc. superf.	Distrib.	Aplicação
37 AA	59,73	15,19	56,54	35,48
37 AB	54,60	15,55	72,60	53,26
37 BB	6,88	15,36	71,24	30,88
Média	40,07	15,36	66,46	39,87

Segundo Israelsen e Hansen (1965), a eficiência de aplicação em sistemas de irrigação por sulcos oscila em torno de 60%.

A Figura 3 apresenta os conteúdos de água de solo (% base solo seco) antes e 24 horas após a irrigação para as três unidades de solos e declividades usadas. Pode-se observar pela Figura 3. que o comportamento do conteúdo de umidade no solo apresentou-se bastante diversificado dentro de uma mesma unidade de solo, ao longo do ciclo da cultura, bem como dentre as unidades de solo. Na unidade de solo 37 AA, verificou-se que o teor de umidade do solo antes da irrigação, na camada 0-30 cm, encontrava-se muito próximo do valor do ponto de murcha. Observou-se também, que a 50 cm de profundidade a umidade manteve-se constante em torno de capacidade de campo, ao longo de todo o ciclo da cultura. Isto significa, que mesmo antes do início das irrigações, os lotes desta unidade de solo já mostravam a presença do lençol freático.

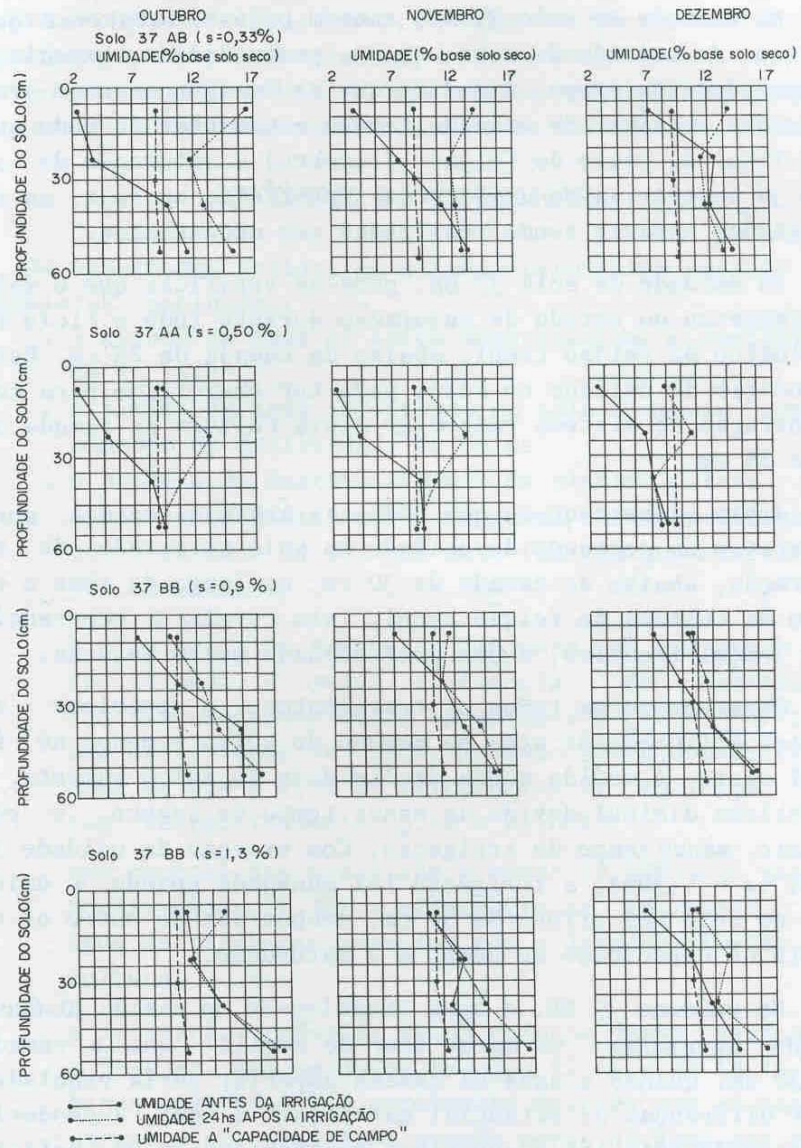


FIG. 3. Variação do teor de umidade no solo antes e 24 horas após a irrigação.

Na unidade de solo 37 AB, também pode-se observar que o teor de umidade do solo a 50cm de profundidade, excedia à capacidade de campo. À medida que as irrigações eram realizadas, o nível de umidade tendeu a aumentar de modo que no final do ciclo do feijão (dezembro) a saturação do solo já encontrava-se a 15 cm da superfície, ou seja, as irrigações estavam sendo realizadas sem necessidade.

Na unidade de solo 37 BB, pode-se verificar que o solo permaneceu no estado de saturação durante todo o ciclo fenológico do feijão caupi, abaixo da camada de 25 cm. Esta condição de umidade no solo, pode ter concorrido para concentração do sistema radicular desta cultura na camada de 0 a 25 cm.

Assim, constatou-se que todas as áreas estudadas apresentavam um conteúdo de umidade no solo no estado de saturação, abaixo da camada de 30 cm, ao longo de todo o ciclo da cultura do feijão caupi. Isto revela a ocorrência do lençol freático, a uma profundidade muito pequena.

Observou-se em todos os tratamentos, o problema de maior aplicação de água no começo do sulco e menor no final deste. À medida que a declividade do sulco aumenta, o problema diminui devido ao menor tempo de avanço, e portanto, menor tempo de irrigação. Com exceção da unidade 37 BB, ($s = 1,30\%$), a irrigação foi manejada quando a umidade do solo nos primeiros 30 cm, encontrava-se entre os níveis de capacidade de campo e a saturação.

Na unidade 37 BB, a água acumulou-se na camada 30-60cm, onde apresenta um maior teor de argila que a camada 0-30 cm. Quando a água na camada superior seria esgotada, por diferenças de potencial matricial, a água ascenderia da camada inferior a superior, evitando assim um déficit de água. Isto não ocorre nos solos 37 AA e 37 AB onde o excesso de água é imediatamente percolado através do hori-

zonte uniforme arenoso. Assim, observou-se que as perdas de água por percolação no solo 37 BB foram praticamente nulas. Isto foi aumentado pela alta declividade destes solos, o que fez com que a água escorresse rapidamente para fora do sulco.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Os resultados obtidos no estudo permitiram extrair as seguintes conclusões:

- . o avanço da água no sulco aumentou com a declividade do sulco;
- . a lâmina de água infiltrada no solo diminuiu com o aumento da declividade do sulco;
- . o estágio de desenvolvimento da planta influiu no avanço e na infiltração. Em geral, o avanço diminuiu com o estágio da planta. Isto fez com que a infiltração aumentasse;
- . a eficiência de aplicação diminuiu com o aumento da declividade. A maior eficiência de aplicação (53,52%) foi encontrada na unidade de solo 37 AB com uma declividade de 0,33%. No solo 37 BB com declividade de 0,9 e 1,3% as eficiências de aplicação foram respectivamente 33,10 e 25,68%;
- . com exceção das áreas com a menor (0,33%) e a maior declividades (1,3%), a eficiência de aplicação da água de irrigação aumentou com o desenvolvimento da cultura;
- . a irrigação conduzida pelos colonos deixa bastante a desejar. Nas unidades de solos 37 AA e 37 AB as lâminas aplicadas são geralmente maiores que as necessárias, o que significa grande perda de água por percolação e/ou escoamento superficial. Na unidade de solo 37 BB, devido a alta declividade dos sulcos.

as lâminas aplicadas são menores, e na maioria das vezes menores que as necessárias, o que fez com que a perda de água por percolação seja praticamente igual a zero.

visando a redução da perda excessiva de água por percolação e por escoamento superficial como também evitar possíveis déficits hídricos, recomenda-se:

- a) na unidade de solo 37 AA, em alguns lotes, reduzir o tempo de irrigação e em outros as vazões aplicadas;
- b) na unidade de solo 37 AB, reduzir a perda de água por escoamento através do uso de sulcos parcialmente fechados;
- c) na unidade de solo 37 BB mudar o traçado dos sulcos de forma a diminuir a excessiva declividade encontrada;
- d) treinar e orientar os colonos quanto ao manejo da água ao nível de parcela, visando o aumento da eficiência de aplicação e das produtividades do Sistema de Irrigação Bebedouro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AZEVEDO, H.M. **Características da infiltração em sulcos abertos e fechados.** Campina Grande, Universidade Federal da Paraíba, 1975. 62p. Tese Mestrado.
- BERNARDO, S. **Medição de água para irrigação.** Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1977. 25p.
- BERNARDO, S. Determinação da perda d'água por percolação e por "runoff" em irrigação por sulcos. **Revista Ceres**, **25**(138):169-78, mar/abr. 1978.
- ERIE. L.J. **Evaluation of infiltration measurements.** Tennessee, American Society of Agricultural Engineers, 1960. 12p. (ASAE. Paper, 60-700).
- GARDNER, W., & LAURITZEN, C.W. Erosion as function of the eroding surface. **Soil Science**, **62**: 233-42, 1946.
- GAVANDE, S.A. **Física de suelos: principios e aplicaciones.** México, Agencia para el Desarrollo International, 1972. 351p.
- ISRAELSEN, O.W. & HANSEN, V.E. **Principios y aplicaciones del riego.** 2.ed. Barcelona, Reverté, 1965. 396p.
- LEAL, M.V.P. **Determinação da eficiência de irrigação, a nível de parcela, no Projeto de Irrigação Bebedouro-Petrolina, Pernambuco.** Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 1979. 94p. Tese Mestrado.

Revisão Editorial: Maria do Socorro Amorim Gomes
Composição: Ana Maria Vasconcelos Mendes
Arte-final: José Clétis Bezerra
Normatização bibliográfica: SID/CPATSA.