

# ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE O USO DE VAZÃO CONSTANTE E REDUÇÃO DA VAZÃO INICIAL E SEU EFEITO NA EFICIENCIA DE IRRIGAÇÃO POR SULCO\*/

JOSE MONTEIRO SOARES\*\*  
SALASSIER BERNARDO\*\*\*  
RICARDO A. LOPES BRITO\*\*  
PAULO AFONSO FERREIRA\*\*\*

## Abstract

*A comparison study was made between two kinds of furrow irrigation with short furrows. One consisted of the application of constant flow on the furrow, by means of siphons, for R values of 0.26, 1.0, and 2.0. The other was characterized by a semi-automatic reduction of the initial flow at the end of the advanced time, utilizing "spiles" to reduce the flow to half, for R equal to 1.0. It was observed that percolation losses tended to decrease whereas efficiencies of application and distribution increased, together with runoff losses, for the case of constant flow, when the value of R went up. When reduction of flow occurred runoff losses were reduced to half, for R equal to 1.0. Additional observations were made regarding the suitability of empirical equations to estimate runoff; a good correlation was found.*

## Introdução

A maioria dos usuários do método de irrigação por sulcos interrompe o fornecimento de água ao sulco, quando a frente de avanço atinge a sua extremidade final, por ter em mente que o escoamento superficial no final do sulco ("runoff") representa uma perda desnecessária de água. Outros usuários aplicam água em excesso, proporcionando perdas consideráveis de água por "runoff".

A interrupção da irrigação, quando a frente de avanço atinge a extremidade final dos sulcos, ou após um período insuficiente para aplicar-se a lâmina de irrigação desejada, resulta na infiltração de pequenas lâminas de água no final do sulco, reduzindo assim, a disponibilidade de água para as plantas, o que pode concorrer para um menor desenvolvimento destas, especialmente no trecho final do sulco.

As baixas eficiências de aplicação e de distribuição de água nos sulcos, normalmente alcançadas nos perímetros irrigados do Nordeste brasileiro, constituem um dos fatores que pode concorrer para o obtenção das baixas produtividades das culturas. Por outro lado, as perdas de água por percolação e por "runoff", não se destacam apenas como um desperdício de água, mas também de energia, principalmente, quando as estações de bombeamento estão localizadas a grandes diferenças de nível e/ou grandes distâncias, em relação as áreas irrigadas. Este problema tende a agravar-se em virtude da limitada disponibilidade de recursos hídricos da região semi-árida do Nordeste e da elevação das tarifas de energia elétrica e dos combustíveis.

Um dos fatores responsáveis pelas baixas eficiências de irrigação alcançadas nos perímetros irrigados por sulcos, no Nordeste, é a deficiência de mão-de-obra qualificada para o manejo de água e solo. Além do uso de vazões constantes e inadequadas às características físicas do solo e da interrupção do fornecimento de água, quando a frente de avanço atinge a extremidade final dos sulcos, os irrigantes deparam-se com grandes obstáculos para controlar o manejo de água na exploração das culturas. Tais obstáculos são: dificuldade de uniformizar a carga hidráulica entre sifões durante as irrigações, variação da declividade dos sulcos entre setores ou mesmo durante as rotações de culturas, falta de padronização de sifões,

\* Recebido para publicação el 6 de Julho de 1981. Trabalho baseado em tese de Mestrado apresentado pelo primeiro autor ao Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, em dezembro de 1980.

\*\* Pesquisadores em Irrigação e Drenagem, da EMBRAPA, Petrolina-PE, Brasil.

\*\*\* Professores do Departamento de Engenharia Agrícola da UFV, Viçosa-MG, Brasil.

ausência de controle de umidade no solo para irrigação e o manejo inadequado da dotação de água por colono.

O sistema de irrigação por sulco com redução semi-automática da vazão inicial, apresenta-se com grande potencial, diante das condições atuais das áreas irrigadas no Nordeste. Entretanto, tal sistema necessita de informações que caracterize sua viabilidade e eficiência por ser quase totalmente desconhecido no Brasil.

### Materiais e métodos

Este trabalho foi realizado no Campo Experimental pertencente ao Perímetro Irrigado de Bebedouro, Petrolina-PE, num solo da classe oxissol, unidade 37 BB, cuja profundidade média é de 1.50 m, com textura variando de arenosa na superfície e barro-argilo-arenosa, a partir de 0.50 m, com presença de mosqueado abaixo desta profundidade (11).

Os testes foram constituídos das análises das eficiências de aplicação e de distribuição, bem como das perdas de água por percolação e por "runoff". Utilizou-se um sistema de irrigação com sifão, e um sistema de irrigação com redução semi-automática da vazão inicial através de "spiles". Com excessão do sistema com "spiles" que foi analisado apenas para o valor da relação entre o tempo de oportunidade e o tempo de avanço (R) igual a 1, o outro sistema foi conduzido para valores de R iguais a 0.26; 1.0 e 2.0. Todos os testes foram repetidos quatro vezes.

O sistema de irrigação com sifão consistiu da aplicação de uma vazão constante, aproximadamente igual a máxima não erosiva, durante todo o tempo de irrigação, utilizando-se três sulcos por repetição. O sistema de irrigação com redução semi-automática da vazão inicial, consistiu de um canal parcelar com uma série de setores em nível. Em cada setor foram instalados tubos de PVC rígidos, não necessariamente em nível, denominados "spiles", com 40 mm de diâmetro e 75 cm de comprimento, sendo uma das extremidades cortadas em bisel, num ângulo de 45°, transversalmente à parede do canal (Figura 1). A diferença de elevação entre dois setores consecutivos é igual à diferença de carga hidráulica requerida nos "spiles"

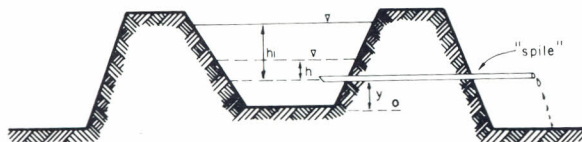


Fig. 1. Seção transversal do canal parcelar c/spile.

para transformar a vazão inicial em reduzida. Cada setor era constituído de dez sulcos, onde três sulcos por setor foram selecionados para medições periódicas da vazão de "runoff". O manejo da irrigação consistiu da aplicação de uma vazão inicial aproximadamente igual à máxima não erosiva, durante o tempo de avanço, tendo sido reduzido à metade automaticamente e permanecendo assim durante o tempo de oportunidade, pelo abaixamento sequencial do nível da água acima dos "spiles". (Figura 2).

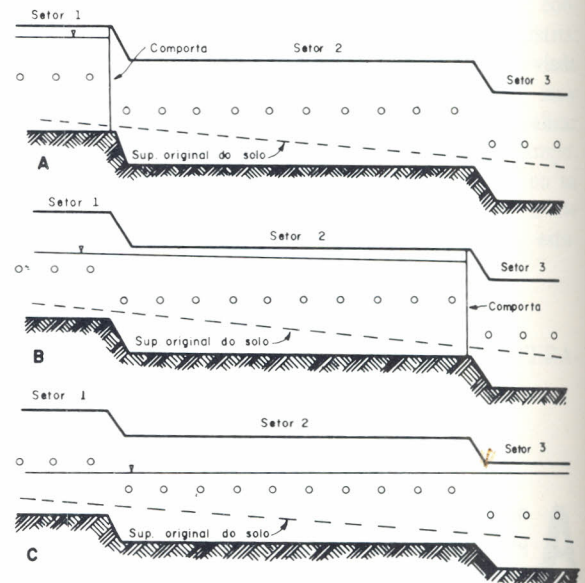


Fig. 2. Esquema funcional do sistema de irrigação com redução semi-automática da vazão inicial.

A avaliação dos sistemas de irrigação estudados, compreendeu as análises das perdas de água e das eficiências de distribuição e de aplicação, tendo como base a infiltração acumulada aproximada. Os cálculos desses parâmetros obedeceram a metodologia recomendada por Bernardo *et al.* (1), enquanto o manejo de água no sistema de irrigação com redução da vazão inicial seguiu a metodologia apresentada por Garton *et al.* (4) e Humpherys (7).

### Resultados e discussão

#### — Parâmetros de Irrigação

Os sulcos usados tinham as seguintes dimensões: 45 cm de largura, 9.5 cm de profundidade, 90 m de comprimento e uma declividade média de 0.27%.



A Figura 3 mostra as curvas de avanço obtidas para uma declividade média dos sulcos de 0.27% e vazão de 1.23; 1.60 e 1.94 l/s.

A vazão máxima não erosiva teórica de 1.60 l/s, obtida pela equação citada por Hamad e Stringham (5), causou uma erosão muito pequena ao longo dos sulcos. Para esta mesma declividade, a vazão máxima não erosiva teórica, calculada pela equação apresentada por Criddle *et al.* (3), seria 2.34 l/s, o que superestima a vazão tomada como referência.

Como a água de "runoff" apresentava-se praticamente limpa, foi usado o critério visual para a identificação da vazão máxima não erosiva real. Com a finalidade de minimizar-se os efeitos da erosão, foi escolhida a vazão de 1.52 l/s como a máxima não erosiva real.

A grande aproximação entre a vazão máxima não erosiva teórica, calculada através da equação citada por Hamad e Stringham (5) e a vazão máxima não erosiva real, é causada pela inclusão de um coeficiente relativo ao tipo de solo, além do fator declividade do sulco.

O interrelacionamento entre a vazão de entrada e o avanço da água no sulco causa o decréscimo da lâmina infiltrada a partir do início dos sulcos.

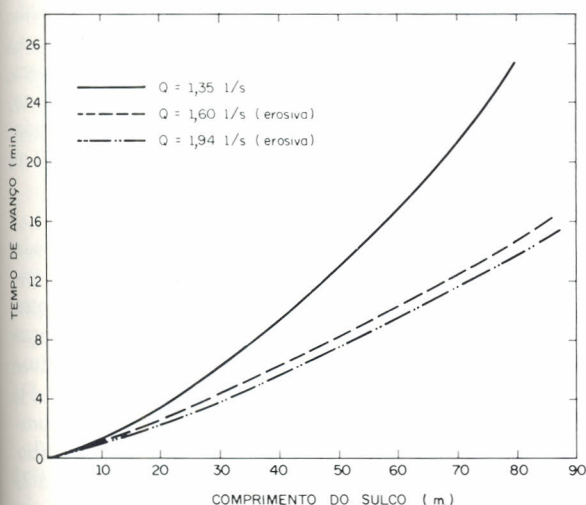


Fig. 3. Curvas de avanço para as vazões de 1.35; 1.60 e 1.84 l/s para uma declividade de sulco de 0.27% para um oxissol unidade 37 BB.

### - Infiltração

Utilizou-se, no experimento, três alternativas para a vazão; vazão máxima não erosiva, vazão inicial

reduzida à metade quando a frente de avanço alcança o final do sulco e vazão reduzida. Os valores das vazões, bem como as equações de infiltração acumulada e de velocidade de infiltração encontram-se no Quadro 1. As equações foram obtidas através do método de entrada-saída, recomendada para o método de irrigação por sulcos (2).

Quadro 1. Equações de infiltração acumulada (D), velocidade de infiltração (VI) e respectivos coeficientes de determinação ( $r^2$ ), para diferentes vazões.

Vazões (l/s)	Infiltração acumulada (mm)	Velocidade de infiltração (mm/h)	Coefficiente de determinação ( $r^2$ )
1.52	$D = 5.29 T^{0.52}$	$VI = 180.92 T^{-0.43}$	0.98
1.52 (inicial)	$D^* = 6.83 T^{0.40}$	$VI = 163.92 T^{-0.60}$	0.99
reduzida à	$D^{**} = 6.46 T^{0.44}$	$VI = 170.54 T^{-0.54}$	0.98
0.76)	$D = 2.56 T^{0.64}$	$VI = 98.30 T^{-0.34}$	0.99

\* Para o início do sulco.

\*\* Para o final do sulco.

Durante a realização de testes de infiltração, para determinação da equação de infiltração acumulada, correspondente à redução de vazão inicial, deve-se fazer uma leitura no instante da redução de vazão e esperar um determinado período para o reinício das leituras, em virtude da superioridade da vazão de recessão na calha de saída em relação à calha de entrada. Sugere-se tomar a vazão média do período acima mencionado para o cálculo da infiltração no intervalo.

### - Perdas de Água e Eficiência de Irrigação

Como se trata de diferentes sistemas de irrigação por sulcos, as análises das eficiências de irrigação foram feitas em separado. Inicialmente, avaliou-se o sistema de irrigação com sifão, manejado de maneira tradicional. Em seguida analisou-se outra modificação do sistema de irrigação por sulcos.

### - Sistema de Irrigação com Sifão

O Quadro 2 apresenta os resultados dos cálculos obtidos com o emprego da metodologia recomendada por Bernardo *et al.* (1), tendo como base a

equação de infiltração acumulada  $D = 5.29 T^{0.57}$ , para um valor de R igual a 1. Para o cálculo da lâmina média aplicada no sulco, levou-se em consideração a vazão constante de 1.52 l/s e uma faixa umedecida de 0.80 m por sulco, ajustada em função das perdas reais de "runoff".

Quadro 2. Perdas de água por percolação profunda ( $P_p$ ) e por "runoff" ( $P_r$ ) e eficiências de distribuição ( $E_d$ ) e de aplicação ( $E_a$ ) para R igual a 1.

Repetição	$P_p$ (%)	$P_r$ (%)	$E_d$ (%)	$E_a$ (%)
1	13.94	28.44	80.52	57.62
2	14.25	26.88	80.50	58.78
3	13.94	28.44	80.52	57.62
4	13.94	28.44	80.52	57.62
Média	14.02	28.05	80.52	57.93

A Figura 4 foi construída com base nos dados obtidos em condições de campo (Quadro 2 e valores de R iguais a 0.26 e 2) e com dados simulados para valores de R iguais a 3 e 4.

Observa-se pela Figura 4, que as perdas por percolação tendem a decrescer quando o valor de R aumenta, em virtude ao aumento da lâmina infiltrada no final do sulco. Por outro lado, as perdas por "runoff" tendem a crescer como o valor R, para um mesmo comprimento de sulco, devido à diminuição da velocidade de infiltração do solo com o aumento do tempo de irrigação.

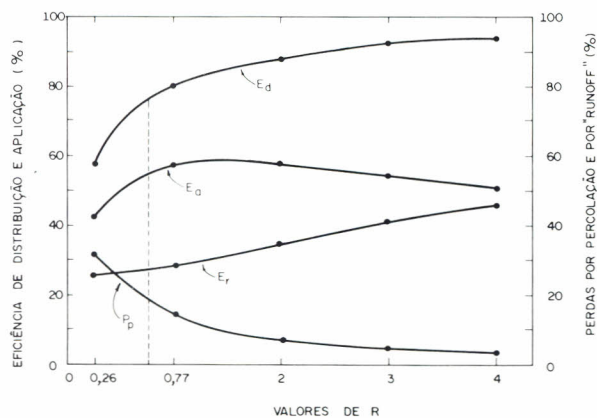


Fig. 4. Curvas de perdas de água por percolação ( $P_p$ ) e por "runoff" ( $P_r$ ) e eficiências de distribuição ( $E_d$ ) e de aplicação ( $E_a$ ) em função de R.

Verifica-se também que a eficiência de distribuição aumentou bruscamente para valores de R entre 0.26 e 1, e tendeu a crescer como valor de R, acima de 1, porém de modo menos acentuado.

Pode-se observar ainda, que a eficiência de aplicação aumentou rapidamente para valores de R entre 0.26 e 1, manteve-se praticamente constante para valores de R entre 1 e 2, quando então passou a decrescer.

Portanto, para se aumentar a eficiência de uso da água através de redução das perdas por "runoff", torna-se necessário a adoção de um sistema de irrigação que possibilite a redução da vazão inicial, ou que permita a reutilização da água de "runoff" para valores de R iguais ou maiores que 1. A adoção destas práticas terá um efeito ainda maior, na medida em que a textura do solo passa de arenosa para argilosa, devido ao aumento da vazão máxima não erosiva, redução da velocidade de infiltração e aumento da capacidade de retenção de umidade e do tempo de irrigação, o que concorre para o aumento das perdas por "runoff".

As perdas médias de água por percolação e por "runoff" e as eficiências médias de distribuição e de aplicação, para unidades de solo 37 BB da classe oxissol, encontradas por Leal (8) para a área irrigada de Bebedouro, Petrolina-PE, assumindo uma faixa de umedecimento por sulco de 1.00 m, foi de 32.72%. Tal resultado retrata um manejo deficiente de água, mesmo quando comparado com os resultados para  $R = 0.26$ , ou seja, para um tempo de oportunidade no final do sulco de apenas 5 minutos, e considerando que a faixa de umedecimento por sulco foi de 0.80 m (Figura 4).

Relacionando-se o acréscimo da lâmina infiltrada no início, com a infiltrada no final do sulco, em termos de porcentagem, verifica-se diferenças bastantes altas para valores de R inferiores a 1. Essas diferenças tendem a decrescer, embora de modo menos acentuado, para valores de R maiores do que 1 (Figura 5). Merriam *et al.* (9) encontraram uma diferença aproximada de 50% entre as lâminas infiltradas no início e no final dos sulcos para um valor de R igual a 2. Esta diferença pode ser devida ao tipo de solo e/ou as condições iniciais de umidade no solo e ao comprimento do sulco.

O uso de vazões inferiores à máxima não erosiva, provavelmente implicará na obtenção de um gráfico com variação ainda mais brusca que na Figura 5, o que significa um manejo de água cada vez mais eficiente.



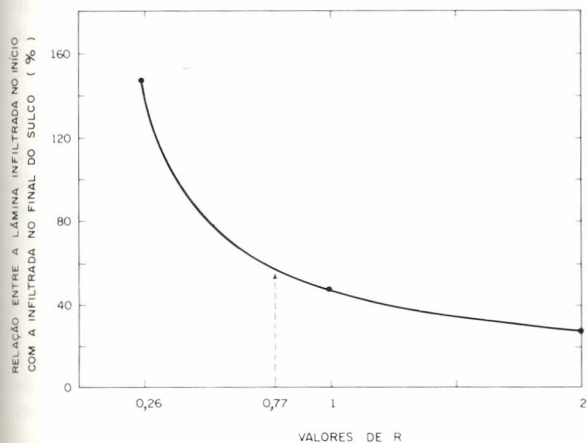


Fig. 5. Variação da lâmina infiltrada no início com a infiltrada no final do sulco versus valores de R.

O efeito do acréscimo entre a lâmina infiltrada no início em relação a infiltrada no final do sulco, acentua-se ainda mais, se for considerada a redistribuição de umidade no perfil do solo até a condição de equilíbrio dinâmico. Segundo Nielsen *et al.* (11), quanto menor o teor inicial de umidade no solo e quanto menor a lâmina infiltrada, maior é o efeito de redistribuição de umidade no perfil, reduzindo assim a disponibilidade de água para as plantas e consequentemente a sua produtividade.

A defasagem de aproximadamente 10 minutos entre o tempo de interrupção do fornecimento de água ao sulco e o tempo necessário para que toda a água remanescente no leito do sulco desapareça, (tempo de recessão) proporcionou um aumento marcante para o tempo de oportunidade ao longo do sulco, especialmente para valores de R inferiores a 1 (Figura 5). Isto significa que o uso de sulcos com declividade ligeiramente inferiores a 0.27% tenderão a amenizar as diferenças das lâminas infiltradas no início, em relação a infiltrada no final do sulco — principalmente para a condição em que a irrigação é manejada com pequeno tempo de oportunidade no final do sulco — devido ao aumento do tempo de recessão.

Levando em consideração o tempo de oportunidade ao longo do sulco, (incluindo o tempo de recessão), verificou-se que o valor de R = 0.26 passou para R = 0.77, correspondendo a um aumento de 196% e a eficiência real de aplicação passou de 43 para 55% (Figura 5). Pode-se constatar ainda através da Figura 5, uma redução marcante das diferenças entre as lâminas infiltradas no início e no final dos sulcos, quando comparados com os valores obtidos pela equação ( $D = 5.29 T^{0.57}$ ). Porém, para valores de R superiores a 1, essas tendem a tornar-se bastante pequenas.

Portanto, torna-se necessário determinar para que tipo de solo, vazão, comprimento e declividade do sulco e valor de R, em que é realmente desprezível, o tempo de recessão.

A Figura 6, mostra as curvas das percentagens médias acumuladas de "runoff" em função do tempo. Verifica-se que a percentagem acumulada de "runoff" aumenta progressivamente com o valor de R. Verifica-se também, que as perdas de água por "runoff", mesmo após a interrupção do fornecimento de água ao sulco, são consideráveis, pelo menos para sulcos de declividades em torno de 0.27%.

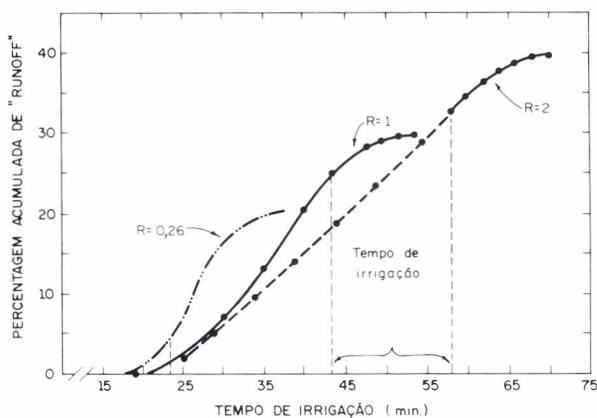


Fig. 6. Percentagem média acumulada de "runoff", em relação ao tempo de irrigação, para o sistema de irrigação com sifão, para R iguais a 0.26; 1 e 2.

A Figura 7, ilustra a influência da componente "C" (largura da faixa umedecida por sulco) no cálculo da lâmina média aplicada, calculada de acordo com Bernardo *et al.*, (1) sobre os parâmetros que são utilizados para a avaliação do sistema de irrigação por sulcos, uma vez que na maioria das vezes "C" tem seu valor assumido, ao invés de ser determinado. Pode-se constatar que a eficiência de aplicação e as perdas por percolação aumentaram com o valor da largura da faixa umedecida pelo sulco, enquanto as perdas por "runoff" diminuíram. Constatou-se também, que a superestimação do valor de "C" concorreu para a obtenção de "runoff" negativo.

Portanto, verifica-se que é de extrema importância a determinação da largura da faixa umedecida pelo sulco, em condições de campo, para que a avaliação do manejo de água no sistema de irrigação por sulcos, seja a mais real possível. A largura da faixa umedecida por sulco poderá ser obtida pela medição da largura do bulbo molhado, em trincheiras abertas em vários pontos ao longo do sulco, logo após a irrigação ou por meio de ajustamento em função da percentagem total de "runoff",

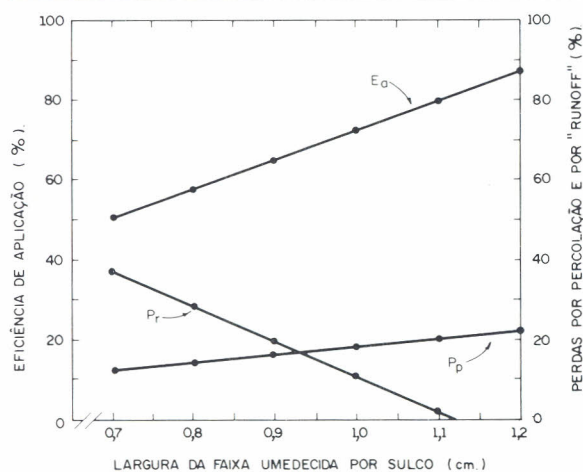


Fig. 7. Influência da largura da faixa umedecida por sulco sobre a eficiência de aplicação ( $E_a$ ), perdas por percolação ( $P_p$ ) e por "runoff" ( $P_r$ ), no sistema de irrigação com sifão para  $R$  igual a 1.

medido diretamente no final do sulco, em relação ao volume total aplicado de água.

Uma limitação marcante do uso de sifão, no sistema de irrigação por sulcos, é a grande variação da carga hidráulica entre sifões, normalmente verificada em condições de campo, o que proporciona a aplicação de lâminas de água bastante diferente entre sulcos de um mesmo setor e/ou entre irrigações, principalmente quando os canais parcelares são muito declivosos. Para minimizar estas variações, é recomendável a construção de canais com ressaltos, nos terrenos com declividades além de 0.50%, na ocasião de instalação dos projetos.

Um outro fator que condiciona o irrigante ao uso de pequeno tempo de oportunidade no final dos sulcos, nos perímetros de irrigação, ou seja, valores de  $R$  inferiores a 1, é a distribuição de água por tempo pré-estabelecido e não por demanda.

#### — Sistema de Irrigação com Redução da Vazão

As análises das perdas de água e das eficiências de distribuição e de aplicação seguiram a mesma metodologia empregada para avaliação do sistema de irrigação com sifão.

O Quadro 3, apresenta os resultados obtidos com o emprego das equações de infiltração acumulada  $D = 6.83 T^{0.40}$  e  $D = 6.46 T^{0.44}$  para o cálculo das lâminas infiltradas no início e no final do sulco, respectivamente. Para o cálculo da lâmina média aplicada no sulco, levou-se em consideração a vazão

inicial constante de 1.52 l/s durante o tempo de avanço, quando então foi reduzida à metade, utilizando-se uma faixa de umedecimento de 0.80 m por sulco.

O Quadro 4 mostra os resultados obtidos com o emprego das equações de infiltração acumulada  $D = 5.29 T^{0.57}$  e  $D = 2.56 T^{0.64}$  para o cálculo das lâminas infiltradas durante os tempos de avanço e de oportunidade, respectivamente, conforme propuseram Bernardo *et al.* (1).

Quadro 3. Perdas de água por percolação profunda ( $P_p$ ) e por "runoff" ( $P_r$ ) e eficiência de distribuição ( $E_d$ ) e de aplicação ( $E_a$ ) para  $R$  igual a 1, com redução da vazão inicial, para as equações  $D = 6.83 T^{0.40}$  e  $D = 6.46 T^{0.44}$ .

Repetição	$P_p$ (%)	$P_r$ (%)	$E_d$ (%)	$E_a$ (%)
1	8.37	24.76	88.90	66.87
2	7.17	32.33	89.39	60.50
3	7.32	31.60	89.29	61.08
4	6.84	28.26	90.44	64.89
Média	7.42	29.24	89.50	63.34

Comparando-se os resultados do Quadro 3 obtidos com o emprego das equações  $D = 6.83 T^{0.40}$  (início do sulco) e  $D = 6.46 T^{0.44}$  (final do sulco) com o Quadro 4, obtidos pela metodologia apresentada por Bernardo *et al.* (1) para um valor de  $R$  igual a 1, verifica-se que esta super e subestima as lâminas infiltrada no início e no final do sulco, respectivamente. A subestimação da lâmina infiltrada no final do sulco, associada à superestimação da lâmina infiltrada no início, ocasiona uma distorção no esquema do perfil

Quadro 4. Perdas de água por percolação profunda ( $P_p$ ) e por "runoff" ( $P_r$ ) e eficiência de distribuição ( $E_d$ ) e de aplicação ( $E_a$ ) para  $R$  igual a 1, com redução da vazão inicial, para as equações  $D = 5.29 T^{0.57}$  e  $D = 2.56 T^{0.64}$ .

Repetição	$P_p$ (%)	$P_r$ (%)	$E_d$ (%)	$E_a$ (%)
1	28.95	24.37	67.72	46.68
2	25.89	29.07	63.50	45.04
3	28.73	26.21	61.08	45.06
4	29.73	24.81	60.94	45.82
Média	28.32	26.12	61.81	45.65



de infiltração, provocando um aumento teórico das perdas por percolação, assim como uma redução das eficiências de distribuição e de aplicação.

Portanto, verifica-se que para uma avaliação mais precisa do sistema de irrigação por sulcos com redução de vazão inicial, deve-se utilizar equações de infiltração acumulada obtidas em teste de infiltração usando às duas vazões em seqüência.

O incremento da lâmina infiltrada no início do sulco com relação à infiltrada no final do sulco, em termos de percentagem, para R igual a 1, é de 23.40% (comparados a 48% no sistema com sifão e vazão constante). Verifica-se, portanto, que a redução da vazão inicial apresentou uma melhor uniformidade das lâminas infiltradas ao longo do sulco, quando comparado com o sistema de irrigação com sifão, utilizando vazão constante para o mesmo valor de R.

O sistema de irrigação com redução da vazão inicial, por meio do "spiles", para um valor de R igual a 1, condiciona uma redução da lâmina infiltrada no final do sulco, quando comparado com o sistema de irrigação com sifão utilizando vazão constante. Assim, por exemplo, para infiltrar-se uma lâmina de irrigação de 30 mm, adotando-se a redução de vazão inicial, seria necessário um tempo de oportunidade, no final do sulco, de 33 minutos, comparados a 21 minutos necessários na irrigação com sifões. Isso equivale a um valor de R igual a 1.65, ou seja, 1.65 vezes o tempo de oportunidade para aplicar-se esta mesma lâmina, utilizando-se vazão constante.

Quando se considera a recessão de aproximadamente 10 minutos como parte de tempo real de oportunidade no final do sulco, esse tempo de oportunidade, proporcionou a infiltração de uma lâmina de aproximadamente 29 mm, bem como uma redução das perdas de água e, conseqüentemente, um aumento acentuado das eficiências de distribuição e de aplicação, que passaram de 89 a 63% para 94 e 73%, respectivamente (12).

O sistema de irrigação com redução semi-automática da vazão inicial, por meio de "spiles", para R igual a 1, em sulcos de cerca de 90 m de comprimento, para culturas com sistema radicular além de 35 cm de profundidade, requererá uma maior frequência de irrigação, uma vez que trabalha com uma lâmina de reposição limitada. Sugere-se ainda uma modificação no manejo de água deste sistema, de modo que o tempo de oportunidade possa ser aumentado, pelo retardamento na redução da vazão inicial, por algum tempo além do tempo de avanço. Para isto, é necessário que a obtenção das equações de infiltração acumulada seja compatível com a condição escolhida.

Uma outra alternativa, seria o uso de obstáculos instalados no final do sulco, que permita a drenagem do excesso de água e que condicione um maior acúmulo de água no trecho final do sulco, de modo a proporcionar uma maior uniformidade de distribuição, e conseqüentemente uma redução ainda maior das perdas de água por "runoff".

Dependendo da topografia do terreno, o sistema de irrigação com redução semi-automática da vazão inicial poderá ser projetado para uma redução gradual da vazão de entrada, para valores de R iguais a 2, 3 ou 4, o que concorre para um manejo mais adequado da água de irrigação (9). Porém, parece não ser muito prático reduzir a vazão inicial mais de uma vez.

O sistema de irrigação com redução semi-automática da vazão inicial por "spiles", quando bem instalado, apresenta a vantagem de uniformizar a lâmina d'água aplicada entre sulcos de um mesmo setor durante uma irrigação ou mesmo entre irrigações, devido à redução da variação de carga hidráulica entre "spiles" num mesmo setor. Além disso, reduz a necessidade de mão-de-obra, bem como de sua qualificação (6).

Apesar dos "spiles" com diâmetro igual ou maior do que 50 mm apresentarem-se bastante sensíveis ao nível de instalação, (6), eles parecem tornar-se mais viáveis, por exigir canais de paredes mais baixas e portanto mais resistentes ao desmoramento. Para estas condições, o comprimento dos "spiles" podem variar de 80 a 100 cm.

O sistema de derivação de água do canal para sulcos de irrigação por meio de "spiles", poderá permitir uma interrupção automática ou semi-automática do fornecimento de água ao sulco, pelo simples abaixamento do nível da água no canal para abaixo das aberturas do "spiles", ou mesmo manualmente, pelo simples fechamento das aberturas dos "spiles" que ainda se encontram submersos após o segundo abaixamento do nível da água no canal referente a um setor específico, para o caso de R igual a 1.

### Conclusões

Nas condições em que os testes foram realizados, os resultados deste trabalho proporcionaram as seguintes conclusões:

A vazão máxima não erosiva teórica calculada pela equação citada por Hamad e Stringham (5) apresentou uma melhor aproximação da vazão máxima não erosiva real.

As perdas por percolação tenderam a decrescer e as perdas por "runoff" a crescer quando o valor de R aumenta, para um mesmo comprimento de sulco, sob condições de vazão constante.

A eficiência de distribuição aumentou bruscamente para valores de R entre 0.26 e 1, e tendeu a crescer com o valor de R, acima de 1, porém de modo menos acentuado, sob condições de vazão constante. A eficiência de aplicação aumentou rapidamente para valores de R entre 0.26 e 1, manteve-se praticamente constante entre 1 e 2, quando então passou a decrescer.

Verificou-se que as perdas de água por "runoff" obtidas por equações empíricas são praticamente iguais às perdas determinadas por medição direta em condições de campo, tanto para vazão constante quanto para vazão inicial reduzida. O volume total acumulado de "runoff" por sulco, obtido no sistema de irrigação manejado sob vazão constante é praticamente o dobro de volume acumulado obtido no sistema de irrigação em que a vazão inicial foi reduzida à metade, para R igual a 1.

### Resumo

Foi feito um estudo comparativo entre dois tipos de irrigação por sulcos. Um dos tipos constou da aplicação de uma vazão constante através de sifões, para valores de R iguais a 0.26; 1.0 e 2.0. O outro tipo consistia na redução semi-automática da vazão inicial no final do tempo de avanço, usando-se "spiles", que reduziam a vazão à metade, para R igual a 1.0.

Observou-se que as perdas por percolação tenderam a decrescer, enquanto as eficiências de aplicação e distribuição aumentarem, juntamente com as perdas por "runoff", no caso da vazão constante, quando o valor de R aumentou. No caso em que houve redução de vazão, as perdas por "runoff" foram reduzidas à metade, para R igual a 1.0.

Outras observações complementares foram feitas quanto à adequabilidade das equações empíricas para estimar perdas por "runoff", obtendo-se correlação satisfatória com as medições diretas.

### Literatura citada

1. BERNARDO, S.; RESENDE, M. e ARAUJO, J. J. Eficiência de irrigação em sulco com redução da vazão inicial. *Revista Ceres*, Viçosa, 24(133):261-277. 1977.
2. BERNARDO, S. Água no solo. Viçosa, U. F. V., 1977. 23 p. Boletim de Extensão, 1.
3. CRIDDLE, W. D.; DAVIS, S.; PAIR, C. H. e SHOCKLEY, D. G. Methods for evaluating irrigation systems. Washington D. C., USDA, 1969. 24 p. Agriculture Handbook, 82.
4. GARTON, E. J.; BRASLEY, R. P. e BAREFOOT, A. D. Automation of cutback furrow irrigation. *Agricultural Engineering*. 328-329. 1964.
5. HAMAD, S. e STRINGHAM, G. E. Maximum nonerosive furrow irrigation stream size. *Journal of the Irrigation and Drainage Division*. New York, 104 IR 3:275-281. 1978.
6. HART, N. E. Irrigation reuse systems (A proposed new ASAE engineering practice). ASAE, St. Joseph. Paper. N<sup>o</sup> 75-2542. 1975. 24 p.
7. HUMPHERYS, A. S. Automatic furrow irrigation systems. *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, 14(3):466-470. 1971.
8. LEAL, M. V. P. Determinação da eficiência de irrigação a nível de parcela no Projeto de Irrigação Bebedouro - Petrolina, Pernambuco, Viçosa, Imprensa Universitária, 1974. 94 p. (Tese M. S.).
9. MERRIAM, J. L.; KELLER, J. e ALFARO, J. F. Irrigation system evaluation and improvement. Logan, Utah State University, 1973. (pag. irreg.).
10. NICOLAESCU, I., e KRUSE, E. G. Automatic cutback furrow irrigation systems design. *Journal of the Irrigation and Drainage Division*, New York. 97 IR 3:343-353. 1971.
11. NIELSEN, D. R.; BIGGAR, J. W. e ERB, K. To spatial variability of field-measured soil-water properties. *Hilgardia*. 42(7):214-259. 1973.
12. PEREIRA, J. M. A. e SOUZA, R. A. Mapeamento detalhado da área de Bebedouro, Petrolina, PE. Recife, MINTER/SUDENE, 1967. 57 p. (Relatório).
13. WU, I. P. Recession flow in surface irrigation. *Journal of the Irrigation and Drainage Division*, New York. 98 IR 1:77-90. 1972.