

479

FOL 07169

EFICIÊNCIA DE IRRIGAÇÃO POR SULCO COM E SEM REUTILIZAÇÃO DA ÁGUA DE IRRIGAÇÃO^{1/}

José Monteiro Soares²
Salassier Bernardo³
Ricardo A. Lopes Brito⁴
Paulo Afonso Ferreira³

¹Trabalho baseado em Tese de Mestrado apresentado pelo primeiro autor ao Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, em Dezembro de 1980.

²M.S. Pesquisador em Irrigação e Drenagem, da EMBRAPA, Petrolina PE-Brasil.

³PhD, Professor do Departamento de Engenharia Agrícola da UFV, Viçosa - MG, Brasil.

⁴PhD, Pesquisador em Irrigação e Drenagem, da EMBRAPA/EMPARN, Natal-RN, Brasil.

~~Eficiência de irrigação por~~

~~FL-08017~~



32473 - 1

RESUMO

Foi feito um estudo comparativo entre dois sistemas de irrigação por sulcos. Um deles 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 sistema constou da reutilização da água de "runoff" para valores de R iguais a 0,5; 1,0 e 2,0.

Observou-se que as perdas por percolação tenderam a decrescer, enquanto as eficiências de aplicação e de distribuição aumentaram, juntamente com as perdas por "runoff", em ambos sistemas de irrigação, quando o valor de R aumentou. A eficiência de irrigação tendeu a crescer quando se fez o reuso da água de irrigação quando o valor de R aumentou, ocorrendo o contrário quando não se reutilizou a água de irrigação.

Observações complementares foram feitas quanto a determinação das perdas de água por "runoff", visando o dimensionamento de sistemas de irrigação com reutilização ^{da} a água de irrigação. X

1 - INTRODUÇÃO

A maioria dos irrigantes interrompem a aplicação de água nos sulcos, quando a frente de avanço alcança a sua extremidade final, por conceberem que o escoamento superficial no final do sulco ("runoff"), representa uma perda desnecessária de água. Outros irrigantes aplicam água em excesso, condicionando perdas consideráveis de água por "runoff".

A interrupção da irrigação, quando a frente de avanço alcança a extremidade final dos sulcos, ou após um intervalo de tempo insuficiente para aplicar-se a lâmina de água desejada, resulta na infiltração de pequenas lâminas de água no trecho final do sulco, o que pode concorrer para a redução da produtividade das plantas nesse trecho do sulco.

As perdas de água por "runoff" não se destacam apenas como um desperdício de água, mas também de energia, principalmente quando as estações de bombeamento estão situadas a grandes diferenças de nível e/ou grandes distâncias, em relação às áreas irrigadas. Este problema tende a agravar-se, decorrente da escassez de recursos hídricos e da elevação das tarifas de energia elétrica e dos combustíveis.

A redução de vazão é uma das técnicas recomendadas para minimizar as perdas de água por "runoff", em sistemas de irrigação por sulcos. Porém, essa técnica ainda apresenta um baixíssimo índice de adoção, nas áreas irrigadas do Nordeste.

O sistema de reutilização de água de irrigação apresenta-se com grande potencial, diante das condições atuais de disponibilidade e de manejo de água. Entretanto, tal sistema necessita de informações sobre sua viabilidade e eficiência, por ser quase totalmente desconhecido no Brasil.

2 - MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho foi conduzido no Campo Experimental pertencente ao Perímetro Irrigação 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, à barro-argilo-arenosa, a partir de 0,50 m, com presença de mosqueado abaixo desta profundidade (10).

Os testes compreenderam dois sistemas de irrigação por sulcos, assim denominados: Sistema de Irrigação por Sifão (SIS) e Sistema de Reutilização de Água de Irrigação (SRAI). O primeiro foi analisado para valores da relação entre o tempo de oportunidade e o tempo de avanço (R) iguais a 0,26; 1 e 2, enquanto o segundo foi analisado apenas para valores de R iguais a 0,5; 1 e 2. Dentre os parâmetros utilizados para avaliar esses sistemas de irrigação, destacam-se: Eficiência de aplicação, de distribuição e de irrigação e perdas de água por percolação e por "runoff", tendo como base a infiltração acumulada.

O SIS foi constituído de três sulcos por repetição e consistia da aplicação de uma vazão constante, aproximadamente igual à máxima não erosiva, durante todo o tempo de irrigação. O SRAI consistiu de seis setores, onde o primeiro era constituído por três sulcos; do segundo ao quinto, por quatro sulcos e o sexto por apenas um sulco. A vazão aplicada ao sulco era aproximadamente igual a máxima não erosiva, durante todo o tempo de irrigação. O primeiro setor foi irrigado somente pela vazão proveniente da fonte primária de suprimento e o sexto irrigado somente pela vazão proveniente do rebombeamento contínuo da água de "runoff". Do segundo ao quinto setores, a vazão disponível no canal era composta pelas vazões provenientes da fonte primária de suprimento e do rebombeamento da água de "runoff". A vazão da motobomba para recircular a água de "runoff" foi calibrada, em função da vazão de "runoff" produzido por sulco, tendo como base o SIS (Figura 1).

A vazão de "runoff" foi determinada por calhas WSC flume tipo A, instaladas no final de cada sulco, em ambos sistemas de irrigação.

A determinação dos parâmetros (eficiências de aplicação e de distribuição e perdas de água por percolação e por "runoff") obedeceram a metodologia apresentada por BERNARDO et al. (1), enquanto a determinação da eficiência de irrigação seguiu FOK e BISHOP (4).

A eficiência de aplicação pode ser calculada pela relação entre a lâmina infiltrada no final do sulco e a lâmina média aplicada ao longo do sulco.

$$E_a = \frac{D_f}{D_m} \times 100 \quad \text{eq (1)}$$

Onde:

E_a = Eficiência de aplicação, em %

D_f = Lâmina infiltrada no final do sulco, em mm

D_m = Lâmina média aplicada ao longo do sulco, em mm

Para a condição de vazão constante, a lâmina média será o produto da vazão pelo tempo de aplicação d'água no início do sulco, dividida pela área molhada ao longo do sulco.

$$D_m = \frac{T_i \times q}{L \times C} \times 3600 \quad \text{eq (2)}$$

Onde:

D_m = Lâmina média aplicada em cada sulco, em mm

T_i = Tempo de aplicação d'água no início do sulco, em hr

q = Vazão aplicada, em l/s

L = Comprimento do sulco, em m

C = Largura da faixa de umedecimento sob ação do sulco, em m

A eficiência de distribuição d'água, ao longo do sulco, é definida pela relação entre a lâmina infiltrada no final do sulco e a média das lâminas infiltradas no início e no final do sulco.

$$E_d = \frac{D_f}{(D_i + D_f)/2} \times 100 \quad \text{eq (3)}$$

Onde:

E_d = Eficiência de distribuição, em %

D_i = Lâmina infiltrada no início do sulco, em mm

D_f = Lâmina infiltrada no final do sulco, em mm

A eficiência de irrigação pode ser expressa pela fórmula seguinte, que relaciona a água armazenada na zona radicular c a água aplicada no sulco (4).

$$E_i = \frac{(b + 2)R^{n+1}}{F(R + 1)^{b+b+1}} \quad \text{eq (4)}$$

em que:

E_i = Eficiência de irrigação, em %

n = Constante que depende das características físicas do solo

R = Relação entre o tempo de oportunidade e o tempo de avanço

$$F = b(n+2) \left(\frac{1}{b} + \frac{(n+1)n}{2(b+2)} \dots \dots \dots \right)$$

Quando a água de "runoff" pode ser reusada em terras abaixo daquelas que estão sendo irrigadas ou armazenadas para uso posterior, a eficiência de irrigação pode ser expresso, por (4):

$$E_i = \frac{(n+2) R^{n+1}}{(R+1)^{n+2} - R^{n+2}} \quad \text{eq (5)}$$

em que:

E_i = Eficiência de irrigação, em %

n = Constante que depende das características físicas do solo

As perdas de água por percolação, abaixo da profundidade efetiva das raízes, são dadas pelas seguintes equações:

$$D_p = \frac{D_i + D_f}{2} - D_f \quad \text{eq (6)}$$

$$P_p = \frac{D_p}{D_m} \times 100 \quad \text{eq (7)}$$

em que:

D_p = Lâmina de água perdida por percolação, em mm

P_p = Percentagem de água perdida por percolação

Do total de água aplicada no sulco, parte é armazenada na zona radicular, parte se perde por percolação profunda e o restante se perde por "runoff".

$$D_r = D_m - D_f - D_p \quad \text{eq (8)}$$

$$P_r = \frac{D_r}{D_m} \times 100 \quad \text{eq (9)}$$

Onde:

D_r = Lâmina de "runoff", em mm

P_r = Percentagem de água perdida por "runoff"

A determinação do volume acumulado de "runoff", por setor, obedeceu a metodologia apresentada por HART (7).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

CARACTERÍSTICAS DOS SULCOS

Os sulcos apresentaram as seguintes características: 45 cm de largura; 9,5 cm de profundidade; 90 m de comprimento e uma declividade média de 0,27%.

VAZÃO MÁXIMA NÃO EROSIVA, CURVAS DE AVANÇO E DE INFILTRAÇÃO

A Figura 2 mostra as curvas de avanço obtidas para as vazões de 1,35; 1,60 e 1,84 l/s.

Constatou-se que a vazão máxima não erosiva, de 1,60 l/s, obtida pela equação citada por HAMAD e STRINGHAM (6), causou uma erosão muito pequena ao longo dos sulcos. Como a água de "runoff" apresentava-se praticamente limpa, foi utilizado o critério visual para se identificar a vazão máxima não erosiva real. Com o objetivo de reduzir os efeitos devido a erosão, foi escolhida a vazão de 1,52 l/s, como a vazão máxima não erosiva real.

A grande aproximação entre a vazão máxima não erosiva teórica, calculada através de equação citada por HAMAD e STRINGHAM (6) e a vazão máxima não erosiva real, é explicada pela inclusão de um coeficiente relativo ao tipo de solo, além do fator declividade do sulco. A equação de avanço obtida para a vazão de 1,60 l/s é dada por:

$$L = 8,72 T^{0,81} \quad r^2 = 0,99 \quad \text{eq (10)}$$

em que:

L = Comprimento do sulco no tempo de avanço, em m;

T = Tempo de avanço, em min.

O interrelacionamento entre a vazão de entrada e o avanço da água no sulco concorre para a infiltração de lâminas de água decrescentes, a partir do início para a extremidade final dos sulcos, principalmente quando o irrigante tem o hábito

de interromper a irrigação, quando a frente de avanço alcança a extremidade final dos sulcos. A equação de infiltração acumulada, obtida para a vazão máxima não erosiva real (1,52 l/s) é dada por:

$$D = 5,29 T^{0,57} \quad r^2 = 0,99 \quad \text{eq (11)}$$

em que:

D = Lâmina infiltrada no tempo de irrigação, em mm

T = Tempo de irrigação, em min.

SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR SIFÃO (SIS)

A Figura 3 apresenta os resultados dos cálculos obtidos com o emprego das equações 1, 3, 7 e 9, tendo como base a equação de infiltração acumulada, eq (11), para os valores de R iguais a 0,26; 1 e 2, obtidos em condições de campo, e com dados simulados para valores de R iguais a 3 e 4. Para o cálculo da lâmina média aplicada no sulco, calculada por meio da equação 2, levou-se em consideração a vazão constante de 1,52 l/s e uma faixa umedecida de 0,80 m por sulco.

Observa-se, pela Figura 3, que as perdas por percolação tendem a decrescer quando o valor de R aumenta, em virtude do aumento da lâmina infiltrada no final do sulco. Por outro lado, as perdas por "runoff" tendem a crescer com 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.

Verifica-se também que 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. 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.

Todos esses resultados foram obtidos com o valor do parâmetro "C" da eq (2) ajustado em função das perdas reais de "runoff" (12).

Portanto, para se aumentar a eficiência de uso de água, mediante redução das perdas por "runoff", torna-se necessário a adoção de um sistema de irrigação que possibilite a redução da

vazão inicial, ou que permitiu a reutilização da água de "runoff" para valores de R igual ou maior 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". Estudos sobre redução da vazão inicial foram conduzidos anteriormente pelos autores, para a mesma área do presente trabalho (12).

As perdas médias de água, por percolação e por "runoff", e as eficiências médias de distribuição e de aplicação, para a unidade de solo 37 BB da classe oxissol, encontradas por LEAL (8) para a área irrigada de Bebedouro, Petrolina-PE, assumindo uma faixa de umedecimento de 1,00 m por sulco, foram de 32,72; 42,08; 44,92 e 25,92%, respectivamente.

Relacionando-se a diferença da lâmina infiltrada no início, com a infiltrada no final dos sulcos, em termos de percentagem, verificou-se que essas diferenças tenderam a decrescer, porém de modo pouco acentuado, para valores de R maiores do que 1 (Figura 4). 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 às condições iniciais de umidade do solo. O uso de vazões inferiores à máxima não erosiva, provavelmente implicará na obtenção de um diferenciamento percentual entre as lâminas infiltradas no início e no final do sulco ainda mais acentuado, o que significa um manejo de água cada vez mais deficiente.

A Figura 5 mostra as curvas das percentagens médias acumuladas de "runoff" em função do tempo. Verificou-se, pela Figura 5, que a percentagem acumulada de "runoff" aumentou progressivamente com o valor de R. Verificou-se também, que as perdas de água por "runoff", após a interrupção do fornecimento de água ao sulco, são bastante razoáveis, especialmente para sulcos de declividade que oscilam em torno de 0,27%.

Um outro fator que condiciona o irrigante nos perímetros de irrigação ao uso de pequeno tempo de oportunidade no final dos sulcos, ou seja, valores de R inferiores a 1,0, é a distribuição de água por tempo pré-estabelecido e não por demanda.

SISTEMA DE RECIRCULAÇÃO DE ÁGUA DE IRRIGAÇÃO (SRAI)

Como a relação entre a vazão aplicada por sulco (1,52 l/s) e a vazão de "runoff" resultante oscilava em torno de 3:1 para R igual a 1, adotou-se essa relação para o manejo do sistema de recirculação da água de "runoff". Ou seja, o "runoff" resultante de três sulcos irrigados no primeiro setor, com vazão proveniente da fonte primária de suprimento, seria suficiente para a irrigação de um sulco a mais, a partir do segundo setor.

A disponibilidade de "runoff" por setor, para uma série de seis setores e para R igual a 1, foi determinada pelo somatório do produto do intervalo de tempo pela vazão média de "runoff" no respectivo intervalo. Com esses dados, foram construídas as Figuras 6, 7 e 8, que ilustram as flutuações das hidrógrafas, em termos de vazão no final de cada setor e em termos de volume disponível no reservatório, em função do tempo, no sistema de recirculação de "runoff" com bombeamento contínuo, para valores de R iguais a 0,50; 1 e 2.

Pode-se constatar pelas Figuras 6, 7 e 8, que as hidrógrafas de "runoff" são descontínuas e se repetem periodicamente, apresentando formas semelhantes para todos os valores de R. Verifica-se também, que a frequência das hidrógrafas individuais tende a aumentar com a redução do valor de R, em decorrência da redução do tempo de irrigação por setor. As vazões máximas de "runoff" para hidrógrafas individuais, ocorrem imediatamente após o término da aplicação de água no sulco em cada setor, devido à redução gradual da velocidade de infiltração da água no sulco.

Observa-se ainda através dessas Figuras, que os picos de máximas possuem valores semelhantes, a partir da hidrógrafa do segundo setor, para qualquer valor de R. A inferioridade do pico de máxima da hidrógrafa do setor 1, deve-se ao menor número de sulcos irrigados neste setor. POPE e BAREFOOT (11) mencionam que a obtenção da hidrógrafa de "runoff" por setor é de interesse, quando se considera viável o sistema de reuso de "runoff".

A vazão aplicada por sulco (1,52 l/s) foi mantida constante durante todo o tempo de irrigação, enquanto as vazões médias de "runoff" oscilaram em torno de 0,54; 0,63 e 0,61 l/s, respectivamente para valores de R iguais a 0,50; 1 e 2. Estas perdas representaram em média 21,95% para R igual a 0,50; 27,86% para R

igual a 1 e 32,27% para R igual a 2. HART (7) verificou, para R igual a 1, que a vazão máxima de "runoff" era igual a 2/3 da vazão aplicada.

Observa-se pela Figura 9, que a flutuação do volume de "runoff" disponível no reservatório, assemelha-se às flutuações das hidrógrafas no final de uma série de setores (Figuras 6, 7 e 8), ou seja, tende a diminuir quando o valor de R cresce, decorrente da redução da velocidade de infiltração e do aumento do tempo de irrigação por setor.

A vazão de rebombeamento da água de "runoff" era de aproximadamente 0,51 l/s por sulco. Apesar da vazão de rebombeamento ser ligeiramente inferior às vazões médias de "runoff" por setor, observa-se, pela Figura 9, que os pontos de mínima nas hidrógrafas do reservatório diferem bastante em valor absoluto. O valor de R igual a 0,50 somente permitiu a irrigação do sexto e último setor, porque o reservatório apresentava uma disponibilidade de 3600 l antes do início da irrigação. Caso contrário, teria sido necessário o desligamento da motobomba por algum tempo, devido à indisponibilidade de água no reservatório.

Quando os pontos de mínima ocorriam para R igual a 2, o volume de "runoff" disponível no reservatório estava sempre acima da metade da capacidade deste. Observa-se também, para R igual a 2, que houve perdas razoáveis de água por transbordamento do reservatório, uma vez que este apresentava uma capacidade de armazenamento de 4800 l.

O rebombeamento da água de "runoff" permitiu que as perdas de água por "runoff" fossem reduzidas de 27,86 para 4,10% e de 32,27 para 9,6% em relação ao volume total de água proveniente da fonte primária de suprimento, para valores de R iguais a 1 e 2, respectivamente. Portanto, verifica-se que a reutilização de água de irrigação por recirculação, poderá ser iniciada a partir do valor de R igual a 0,50, desde que a vazão de rebombeamento seja ajustada à vazão média de "runoff", mesmo para um solo relativamente arenoso.

Para o dimensionamento de um sistema de irrigação, em que a água de "runoff" deve ser reutilizada imediatamente, a vazão média de "runoff" por sulco e a hidrógrafa da disponibilidade de água no reservatório, obtida em condições de campo para uma série de pelo menos cinco setores, apresentam-se como um mé

todo bastante confiável. Porém, existem soluções analíticas que são utilizadas para a determinação de "runoff". Dentre elas destacam-se a metodologia desenvolvida por STRINGHAM e HAMAD (13), para ser empregada no sistema de recirculação de água de irrigação com bombeamento contínuo; a metodologia apresentada por BONDURANT (2), para ser usada no sistema de recirculação de água de irrigação com bombeamento cíclico ou intermitente; e a metodologia desenvolvida por MERRIAM et al. (9), que pode ser utilizada numa condição qualquer do sistema de irrigação por sulcos.

As curvas de eficiência de irrigação, com e sem reuso da água de "runoff", mostradas na Figura 10, foram obtidas pelas equações 8 e 9, para valores de R iguais a 0,5, 1 e 2, para dados obtidos em condições de campo, e simulado para valores de R iguais a 3 e 4. Observa-se através desta Figura 10, que a eficiência de irrigação sem o reuso de "runoff", apresenta um valor máximo de 46% para um valor de R igual a 0,50 e tendeu a decrescer com aumento de valor de R, enquanto a eficiência de irrigação, com o reuso de "runoff", tendeu a 100% com o aumento de R. FISCHBACH e SOMEHALDER (3) constataram que a eficiência de irrigação sem e com o reuso de "runoff", foi de 65 e 92%, respectivamente. STRINGHAM e HAMAD (13), analisando o sistema de recirculação da água de irrigação, sob condições de bombeamento contínuo, constataram que a reutilização do "runoff", além de aumentar a eficiência de irrigação de 47 para 80%, proporcionou uma redução significativa do tempo total de irrigação do projeto, assim como a redução do volume da água requerida da fonte primária de suprimento.

Nas áreas irrigadas que apresentam problemas de drenagem, devido principalmente a condições topográficas, o sistema de recirculação da água de irrigação pode destacar-se como uma das alternativas, visando a redução das necessidades de drenagem. Por outro lado, se a água utilizada na irrigação é de boa qualidade e os solos apresentam problema de salinidade, a mistura da água de "runoff" com a água de irrigação, poderá trazer efeitos benéficos para a estrutura do solo, decorrente das interações existentes entre a concentração da solução do solo e a carga elétrica das partículas de argila.

Como o primeiro setor era constituído por três sulcos e a vazão aplicada por sulco era de 1,52 l/s, a vazão total proveniente da fonte primária era de 4,56 l/s. Dividindo-se a va

ção aplicada (1,52 l/s) pelo quociente da relação obtida entre a vazão proveniente da fonte primária de suprimento (4,56 l/s) e o número de sulcos irrigados por setor (quatro), obteve-se uma eficiência global de uso de água de 133%, com sistema de recirculação de irrigação. Isso significa que houve uma melhoria de 33% na utilização da água da fonte primária.

Nos perímetros irrigados da CODEVASF, o custo atual do metro cúbico de água é de Cr\$ 0,60 (preço tomado em novembro/80). Mas a adoção de um sistema de irrigação com reutilização de água de "runoff" permitiria a redução do custo de água, ou seja, dividindo-se Cr\$ 0,60 pela eficiência de uso de água (133%), obtém-se o preço de Cr\$ 0,45 por metro cúbico de água. Isso sem a inclusão dos custos de instalação dos sistemas de captação e de rebombamento do "runoff".

Dependendo da topografia da área, a água de "runoff" poderá ser reutilizada imediatamente, em campos situados mais abaixo, por meio de "sistema de sequência de uso", em que a reutilização da água de "runoff" é total e dispensa a construção de reservatórios, assim como o uso de conjunto motobomba. Ou ainda, a água de "runoff" poderá ser reutilizada imediata ou posteriormente, por meio de "sistema de reservatórios", em que a reutilização da água de "runoff" é total, podendo dispensar o uso de conjunto de bombeamento (2).

A água de "runoff" também poderá ser reusada no mesmo campo, por meio de sistema de recirculação com bombeamento intermitente, em que a vazão inicial é reduzida automaticamente, pelo simples desligamento do sistema de bombeamento da água de "runoff", quando a frente de avanço atinge o final do sulco (11). Assim, a vazão de 4,56 l/s, disponível no canal, seria suficiente para irrigar cinco sulcos, ao invés de quatro a partir do segundo setor. Porém, esta opção necessita de reservatórios de maior capacidade e de conjunto motobomba de maior potência (2 e 11), e ainda aumentaria o tempo de irrigação por setor.

Os sistemas de recirculação de água de irrigação com reuso total ou parcial de "runoff", exige uma certa prática, por parte do irrigante, para que seja alcançado um manejo eficiente de água. Assim, o sistema de recirculação de água de irrigação, com bombeamento intermitente durante o tempo de irrigação, parece adaptar-se melhor às condições dos irrigantes no caso do Brasil.

Dentre as modalidades de sistemas de irrigação por sulcos, com reutilização da água de "runoff", o sistema de "retorno de fluxo" e o "sistema de reservatórios", necessitam da construção de reservatórios e da instalação de conjuntos de bombeamento, dentro ou nas proximidades da área a ser irrigada. Porém, a capacidade de armazenamento desses reservatórios, a potência do conjunto motobomba, assim como a escolha do local para a sua instalação, irá depender do sistema principal de irrigação, das características topográficas da área e das práticas de irrigação adotadas pelo agricultor (2).

O uso de sistema de recirculação de água de irrigação parece ser mais indicado para as regiões onde a disponibilidade de água é precária, como a região semi-árida do Nordeste, que além de ser afetada por secas intensas e frequentes, apresenta o problema de redução do volume de água armazenado pela evaporação, que é de aproximadamente 20 cm/mês, no período de julho a dezembro (5). Este sistema também poderá ser usado nas áreas cujo custo de bombeamento é elevado. Portanto, o valor econômico da água de "runoff", poderá ser um dos fatores de decisão para a instalação de um sistema de reutilização da água de "runoff" (2).

A produção agrícola obtida sob irrigação, especialmente no Nordeste brasileiro, terá de optar por alternativas que venham minimizar o desperdício, principalmente de água e de energia, diante dos efeitos da inflação sempre crescente, de modo a viabilizar a agricultura irrigada.

LITERATURA CITADA

1. BERNARDO, S.; RESENDE, M. & ARAÚJO, J.J. Eficiência de irrigação em sulco com redução da vazão inicial. Revista Ceres, Viçosa, 24 (133):261. 1977.
2. BONDURANT, J.A. Design of recirculating irrigation systems. Transactions of the ASAE, St. Joseph, 12 (2):195-201. 1969.
3. FISCHBACH, P.E. e SOMERHALDER, B.R. Efficiencies of an automated surface irrigation system with and without a runoff reuse system. Transactions of the ASAE, St. Joseph, 14 (4):717-718. 1971.
4. FOK, Yu-Si e BISHOP, A.A. Expressing irrigation efficiency in terms of applications time, intake and water advance constants. Transactions of the ASAE, St. Joseph, 12 (4):438-422. 1969.
5. GUERRA, P.B. Evolução e problemas de irrigação no Nordeste. Fortaleza, DNOCS. 1970.
6. 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.
7. HART, N.E. Irrigation reuse systems (A proposed new ASAE engineering practice). ASAE, St. Joseph. Paper nº 75-2542. 1975. 24 p.
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 evaluations and improvement. Logan, Utah State University, 1973 (pag. irreg.).

10. PEREIRA, J.M.A. e SOUZA, R.R. Mapeamento detalhado da área de Bebedouro, Petrolina, PE. Recife, MINTER/SUDENE, 1967. 57 p. (Relatório).
11. POPE, D.L. e BAREFOOT, A.D. Re-uso of "runoff" from furrow irrigation. Transactions of the American Society of Agricultural Engineers. 16 (6):1088-1091. 1973.
12. SOARES, J.M.; BERNARDO, S.; BRITO, R.A.L. e FERREIRA, PLA. Análise comparativa entre o uso de vazão constante e redução da vazão inicial e seu efeito na eficiência de irrigação por sulco. Turrialba, 31 (4):343-350. 1981.
13. STRINGHAM, G.E. e HAMAD, S.N. Design of irrigation "runoff" recovery systems. Journal of the Irrigation and Drainage Division. 101 (IR 3):209-218. 1975.

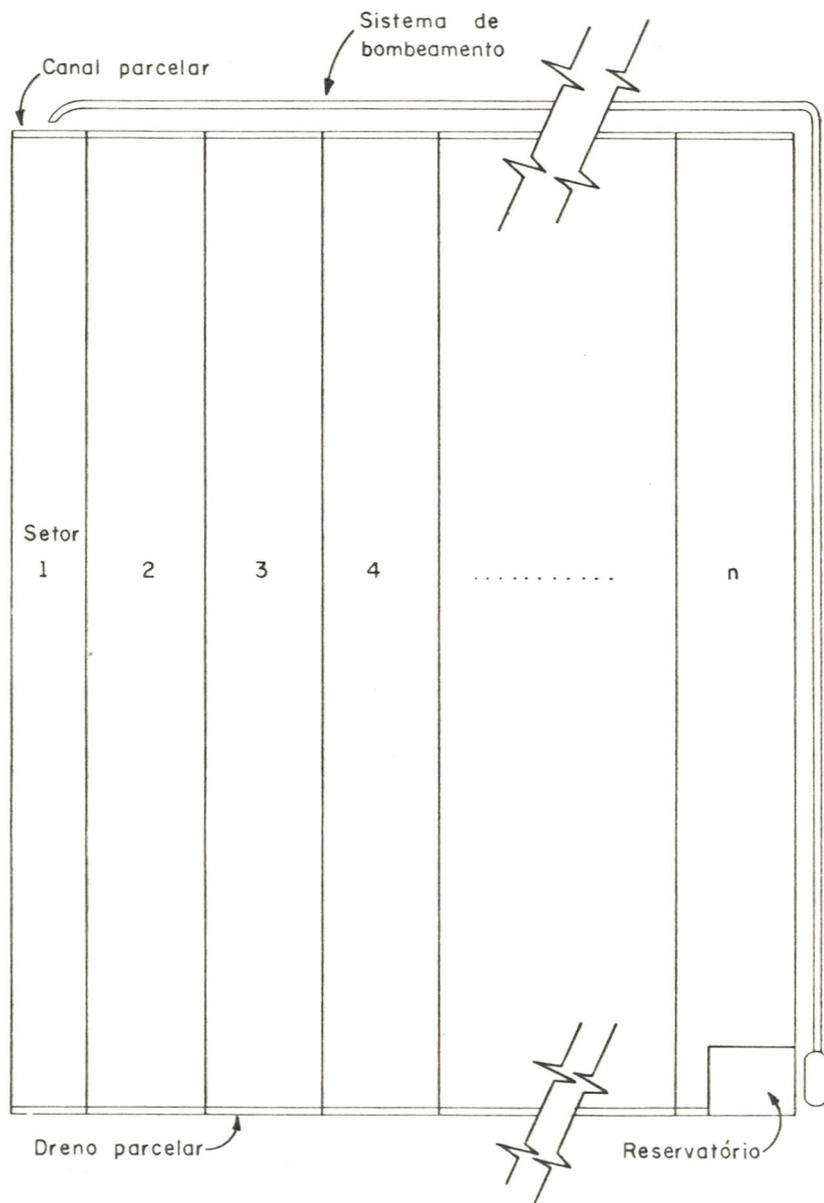


FIGURA 1 . Diagrama esquemático de um sistema de recirculação de irrigação típico.

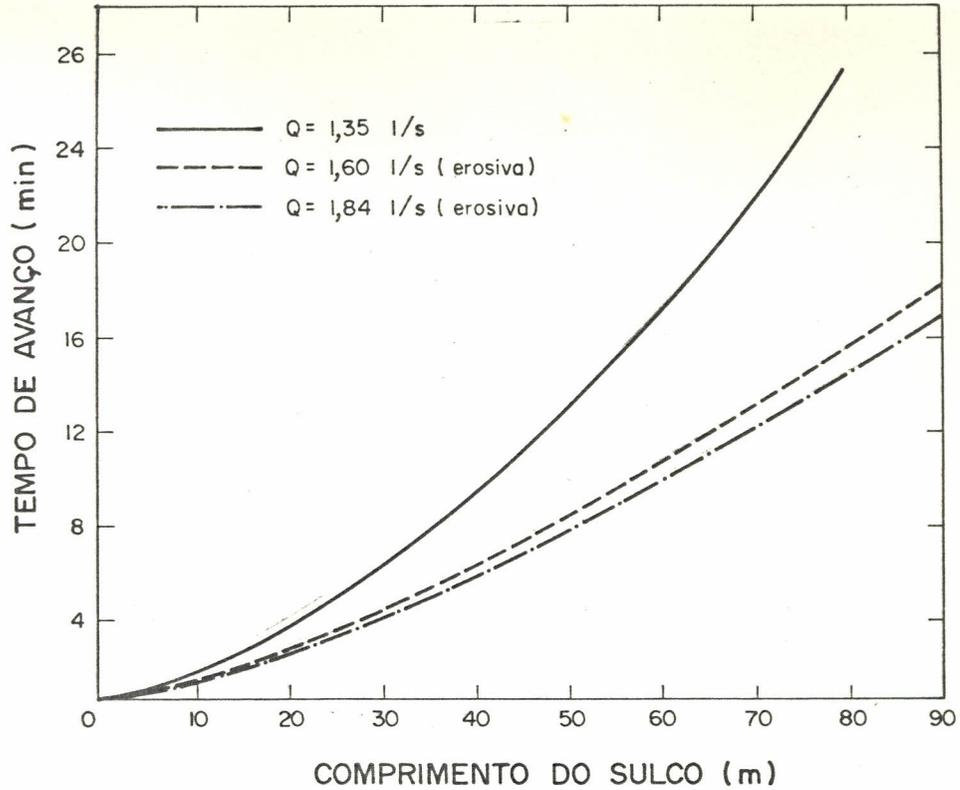


FIGURA 2. Curvas de avanço para as vazões de 1,35, 1,60 e 1,84 l/s para uma declividade de sulco de 0,27% para um oxissol unidade 37BB.

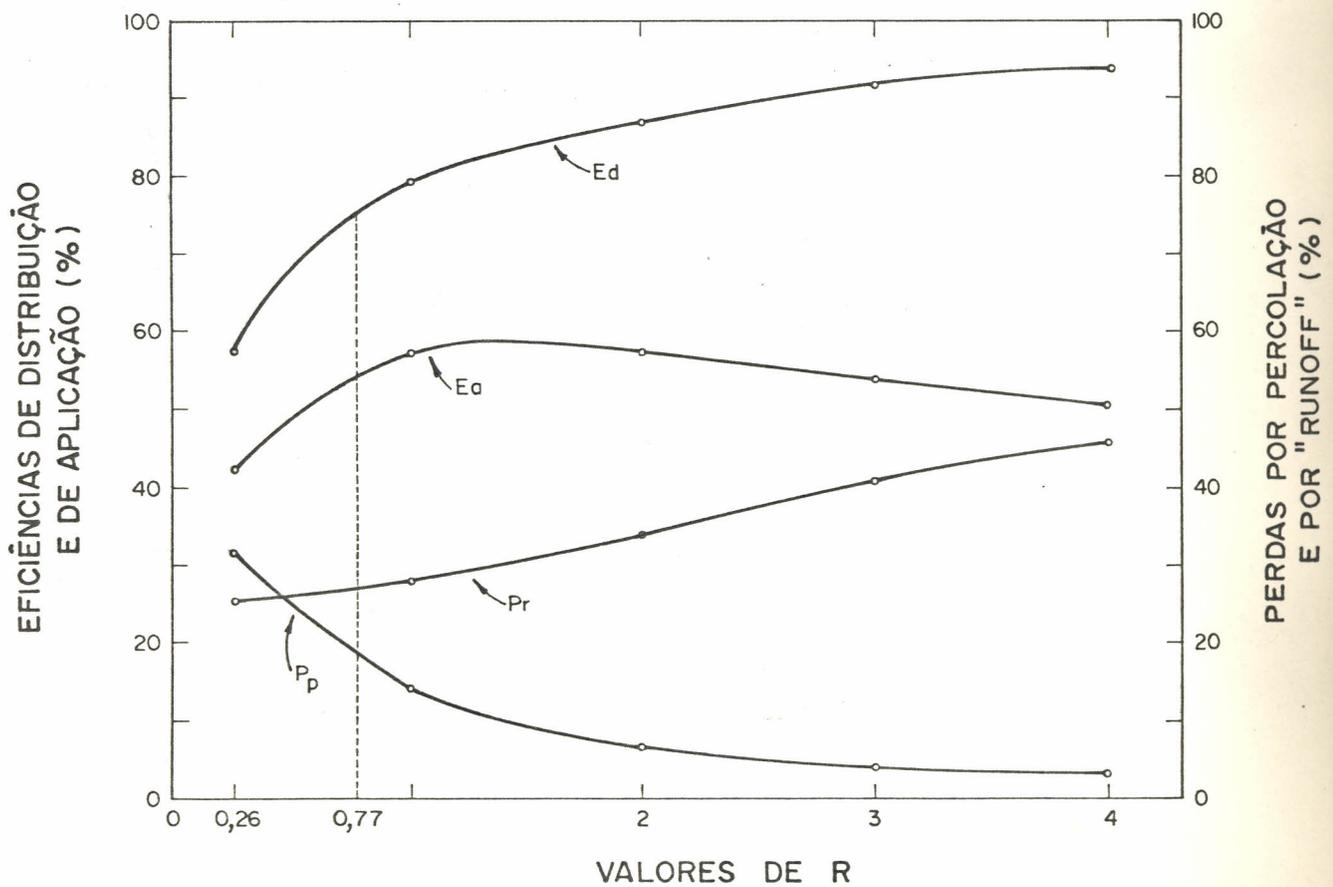


FIGURA 3. Curvas de perdas de água por percolação (P_p) e por "runoff" (P_r) e eficiências de distribuição (E_d) e de aplicação (E_a) em função de R.

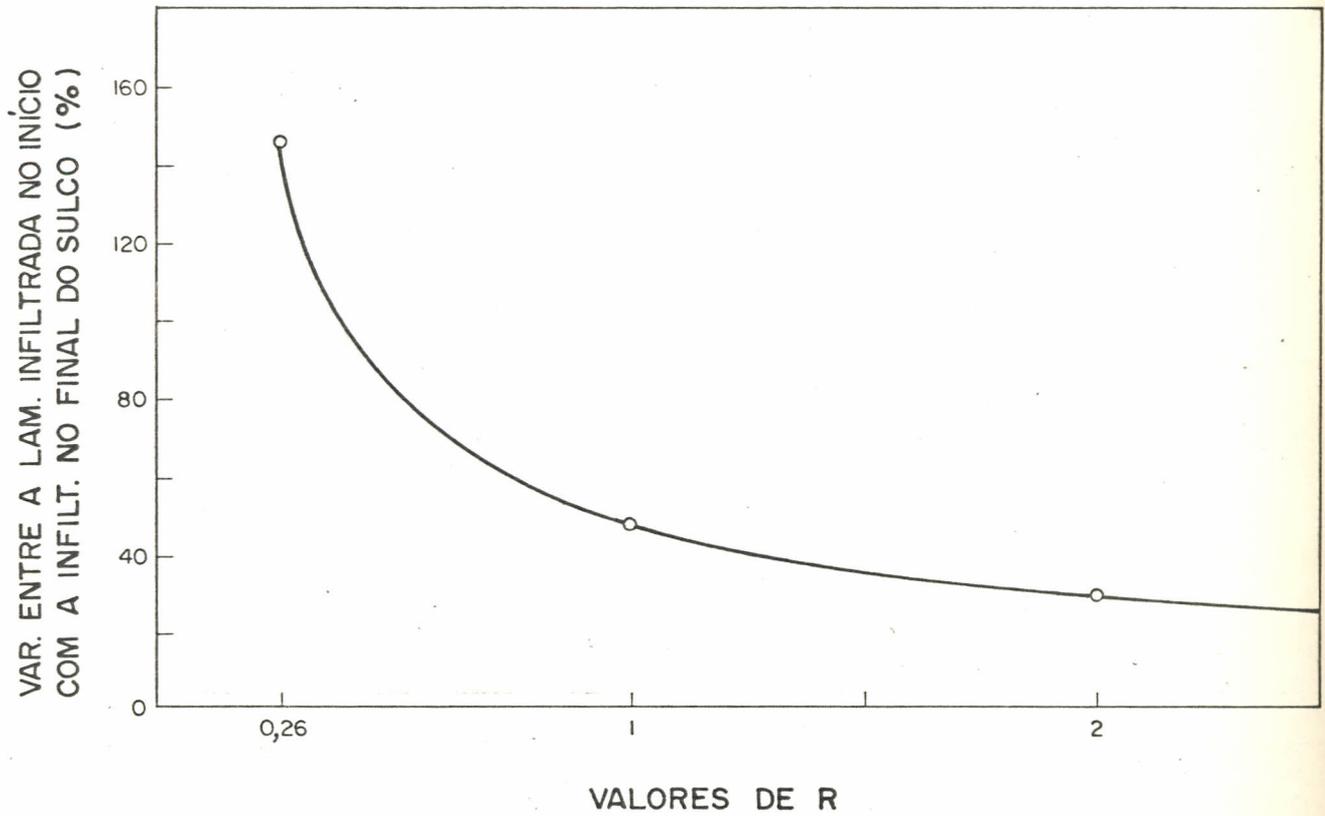


FIGURA 4. Variação da lâmina infiltrada no início com a infiltrada no final do sulco, versus valores de R.

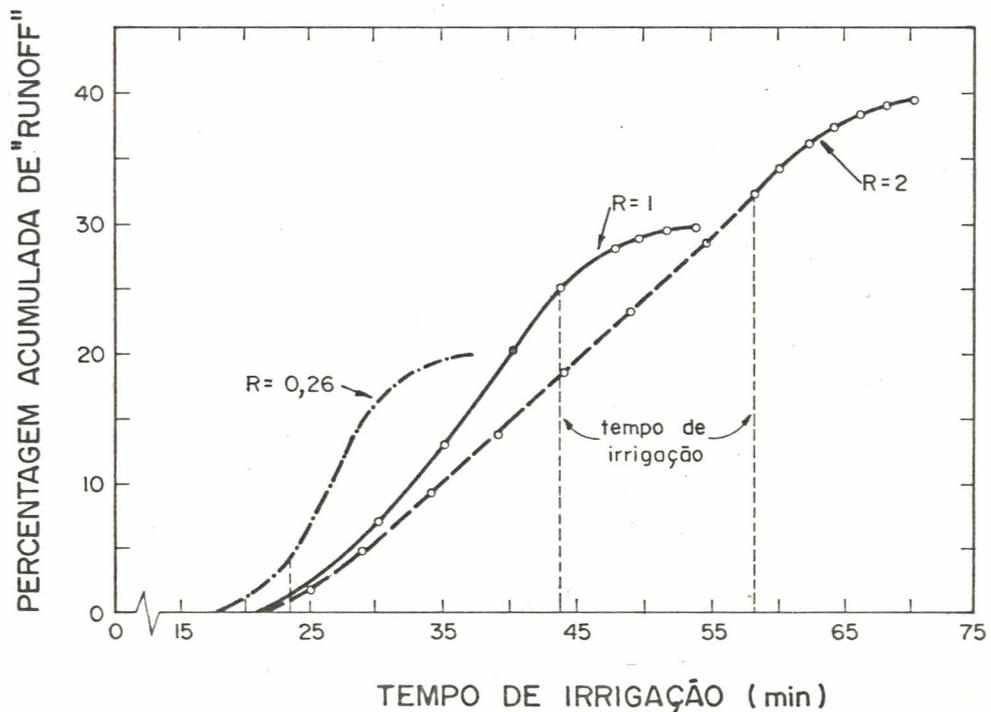


FIGURA 5. Percentagem média acumulada de "runoff", em relação ao tempo de irrigação para o sistema de irrigação com sifão, para R iguais a 0,26; 1 e 2.

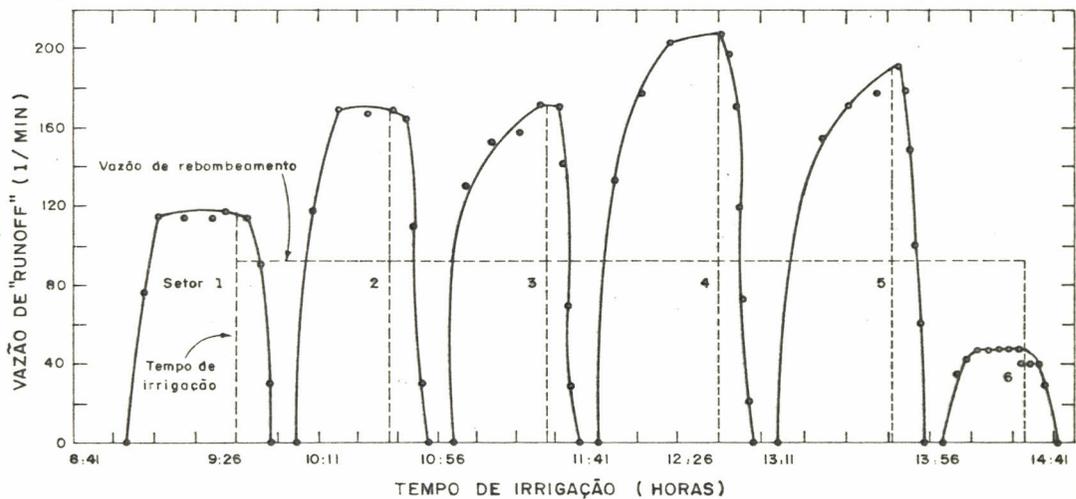


FIGURA 8. Hidrógrafas da vazão de "runoff" por setor no sistema de recirculação de água de irrigação com bombeamento contínuo e para R igual a 2.

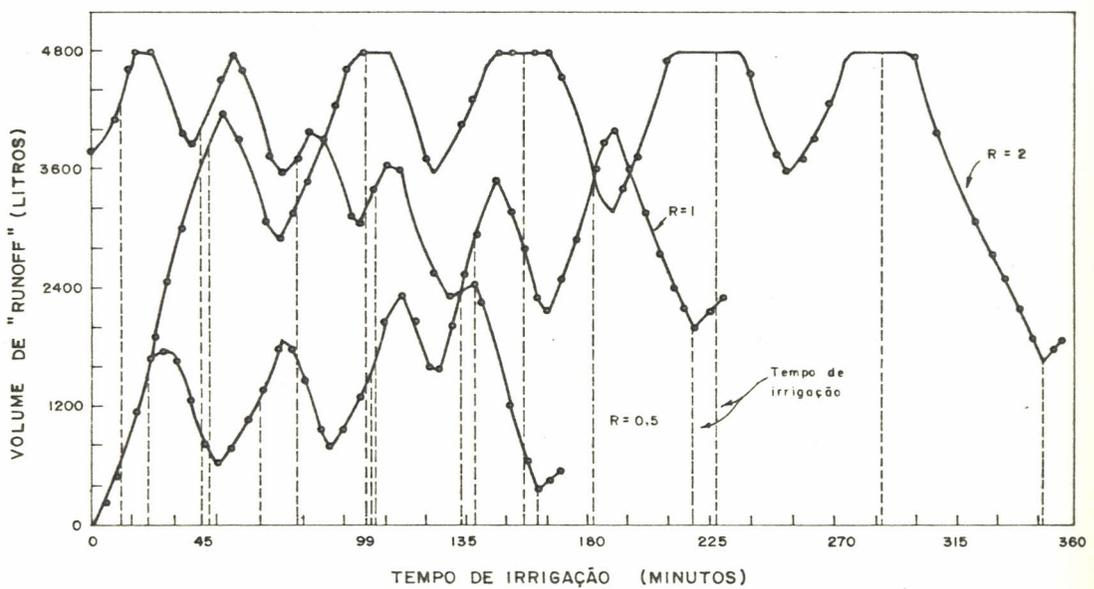


FIGURA 9. Hidrógrafas do volume de "runoff" disponível no reservatório no sistema de recirculação de água de irrigação com bombeamento contínuo para valores de R = 0,5; 1 e 2.

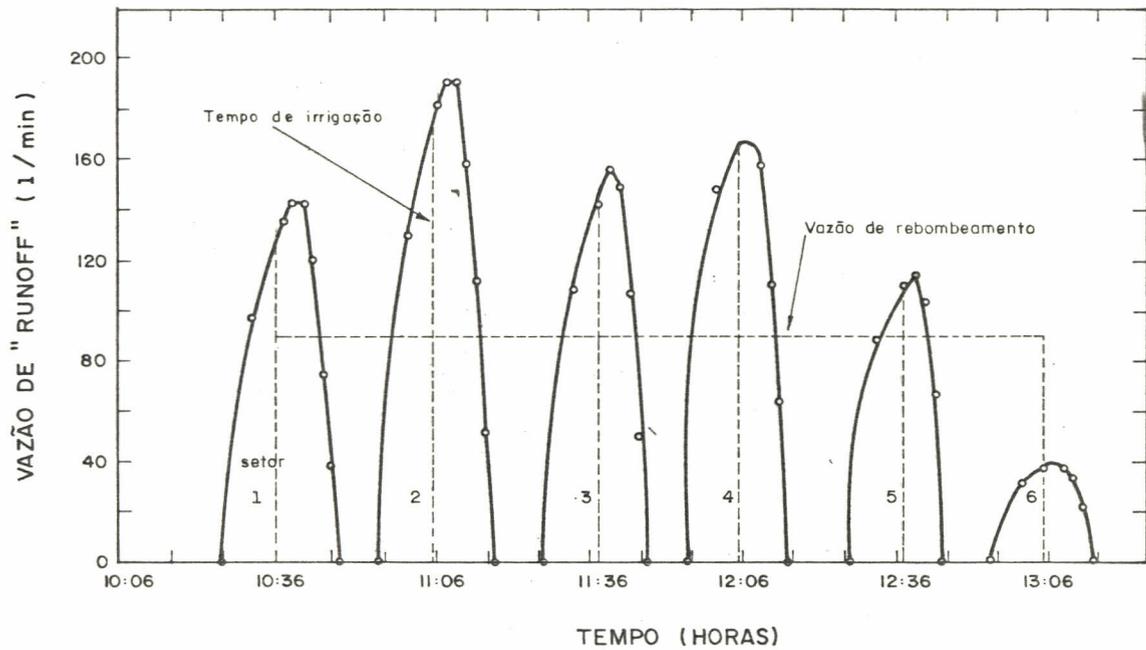


FIGURA 6. Hidrógrafas da vazão de "runoff" por setor no sistema de recirculação de água de irrigação com bombeamento contínuo para R igual a 0,50.

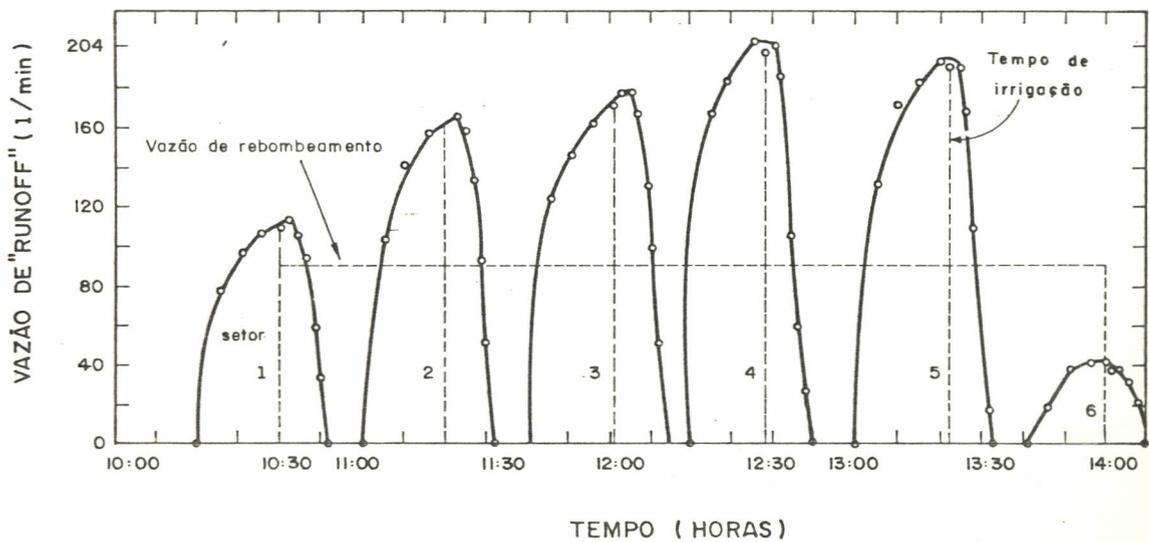


FIGURA 7. Hidrógrafas da vazão de "runoff" por setor no sistema de recirculação de água de irrigação com bombeamento contínuo para R igual a 1.

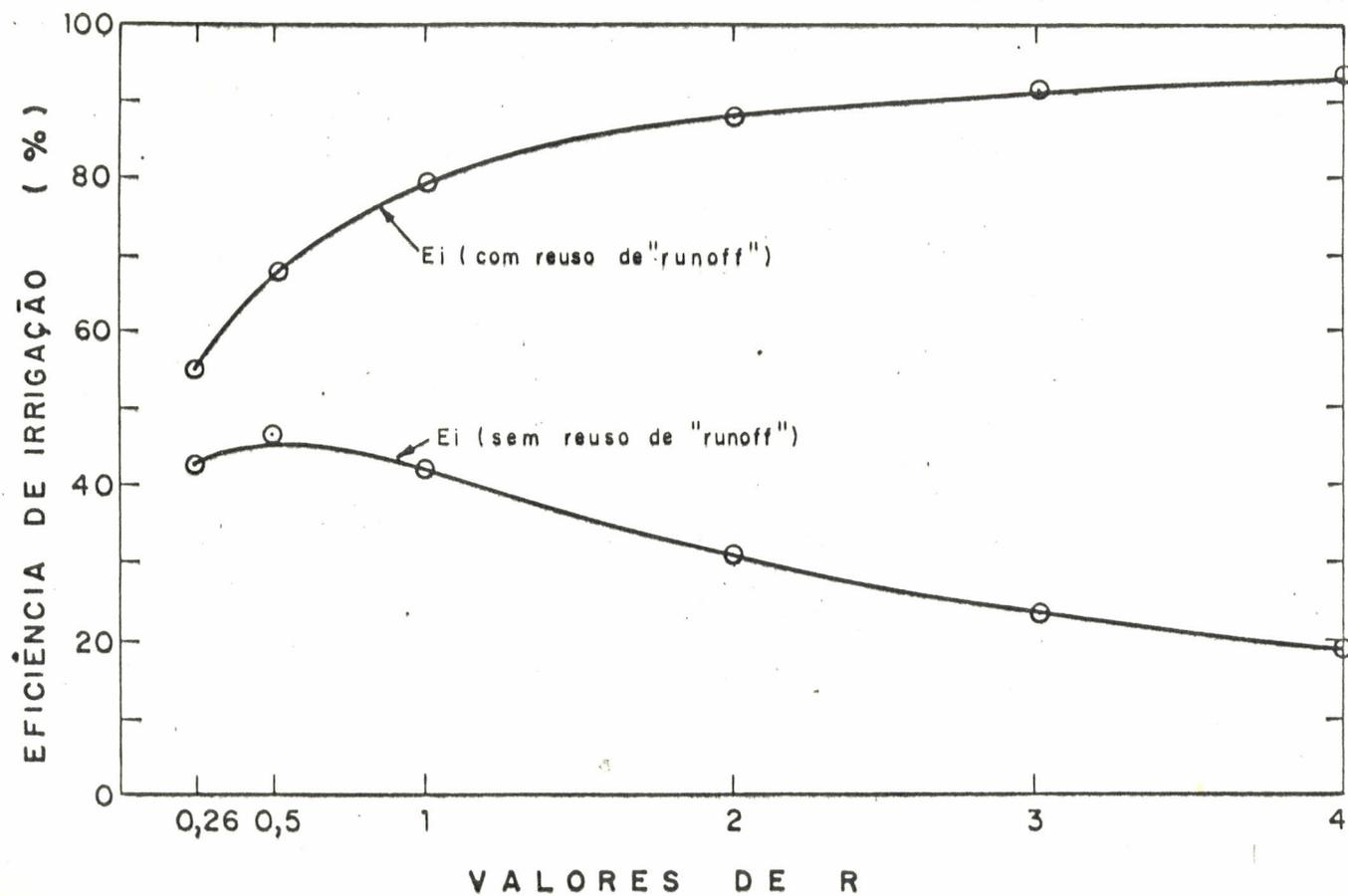


FIGURA 10 - Eficiência de irrigação com e sem reuso da água de "runoff" versus valores de R.