

03506

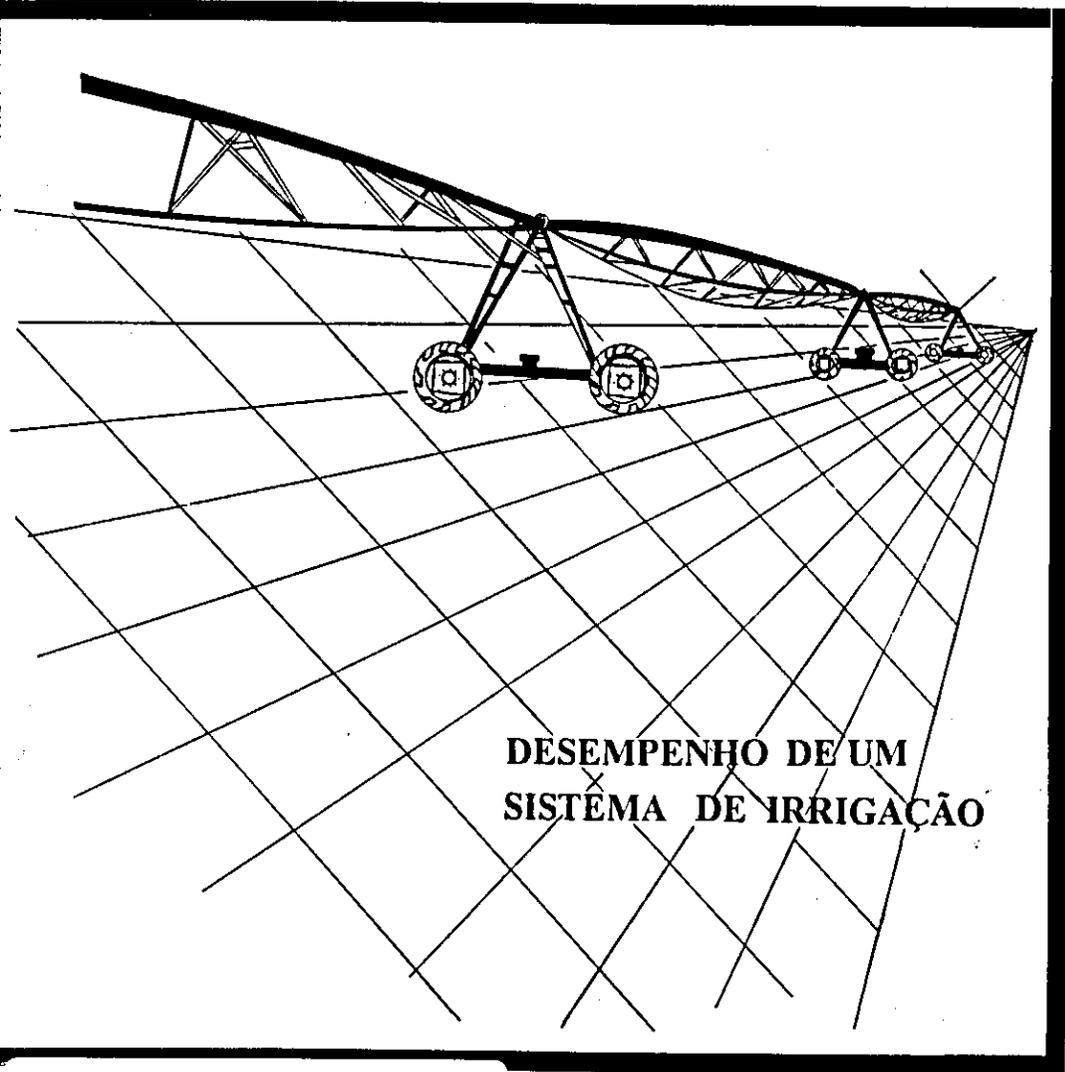
CPAC

1992

FL-03506

ISSN 0102-0021

Dezembro, 1992



## DESEMPENHO DE UM SISTEMA DE IRRIGAÇÃO

Desempenho de um sistema de  
1992 FL-03506

DESENVOLVIMENTO E DA REFORMA AGRÁRIA

Empresa - EMBRAPA  
Institutos - CPAC



29310-1

ISSN 0102-0021

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, DO ABASTECIMENTO E DA REFORMA AGRÁRIA



Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA  
Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados - CPAC

# **DESEMPENHO DE UM SISTEMA DE IRRIGAÇÃO**

Euzebio Medrado da Silva

Planaltina, DF  
1992

Copyright © EMBRAPA-1992

EMBRAPA-CPAC. Documentos, 48

Exemplares desta publicação podem ser solicitados ao:

**CENTRO DE PESQUISA AGROPECUÁRIA DOS CERRADOS - CPAC**

BR 020 - km 18 - Rodovia Brasília/Fortaleza CEP 73301/970

Caixa Postal 08223 Telex: (061) 1621

Telefone: (061) 389-1171 FAX: (061) 389-2953

Tiragem: 200 exemplares

Editor: Comitê de Publicações

Ariovaldo Luchiarini Júnior (Presidente), Carlos Roberto Spchar, Dauí Antunes Correa, Juscelino Antonio de Azevedo, Lúcio Vivaldi (Secretário-Executivo), Regina de Almeida Moura, Vânia de Cássia Arantes Hugo e Wilson Vieira Soares.

Normalização, revisão gramatical, composição, desenho e arte-final:

Área de Transferência de Tecnologia - ATT

Capa: Chaile Cherne S. Evangelista

**SILVA, E.M. da. Desempenho de um sistema de irrigação. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1992. 16p. (EMBRAPA-CPAC. Documentos, 48).**

1. Irrigação - Sistema - Desempenho. I. EMBRAPA. Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados (Planaltina, DF). II. Título. III. Série.

CDD 631.7

# SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	5
2. PARÂMETROS DE AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO .....	5
2.1 Uniformidade de aplicação .....	8
2.1.1 Coeficiente de uniformidade de Christiansen (UC) .....	8
2.1.2 Coeficiente de uniformidade de distribuição (UD) .....	9
2.2 Medidas de eficiência .....	11
2.2.1 Eficiência de aplicação .....	11
2.2.2 Adequação da irrigação .....	13
2.2.3 Perdas por escoamento .....	14
2.2.4 Eficiência de condução .....	14
2.2.5 Eficiência de irrigação .....	15
3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	16

# DESEMPENHO DE UM SISTEMA DE IRRIGAÇÃO<sup>1</sup>

Euzebio Medrado da Silva<sup>2</sup>

## 1. INTRODUÇÃO

Os sistemas de irrigação são normalmente projetados e operados visando atender, sem desperdício da água aplicada, os requerimentos de água de cada área irrigada de uma propriedade. As perdas de água, inerentes a um sistema de irrigação, ocorrem durante a condução e distribuição da água para a área a ser irrigada. Estas perdas são praticamente inevitáveis, contudo, ao se projetar e manejar o sistema de irrigação deve-se fazê-lo de modo que essas perdas sejam minimizadas.

O desempenho de qualquer sistema de irrigação pode ser determinado através do levantamento de parâmetros de eficiência com que a água é conduzida, distribuída e aplicada, bem como, de parâmetros relativos à adequacidade e a uniformidade de aplicação, em cada área da propriedade. Ao nível da parcela irrigada, são necessários apenas três índices de eficiência e um de uniformidade para definir o desempenho da irrigação. Ao nível do sistema de irrigação, necessita-se de índices adicionais de eficiência, como por exemplo, a eficiência de condução da água do ponto de captação até a área irrigada.

## 2. PARÂMETROS DE AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO

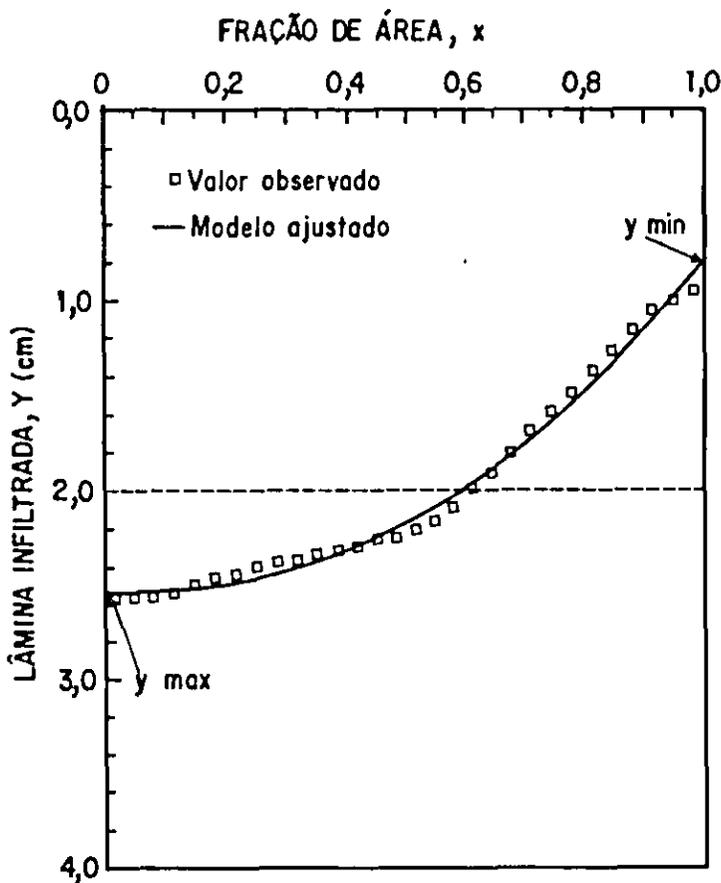
Para uma melhor compreensão, dos parâmetros envolvidos na avaliação do desempenho de um sistema de irrigação, considere a distribuição de lâminas de água infiltrada apresentada na Fig. 1. Nesta figura, as lâminas de água infiltrada foram ordenadas de forma decrescente, em função da fração de área que cada uma representa. Para que seja entendido o que

---

<sup>1</sup> Documento produzido para o Curso sobre Métodos de Irrigação, realizado no período de 21 a 25/10/91, EMBRAPA/CPAC.

<sup>2</sup> Eng.-Agr., Ph.D., EMBRAPA - Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados (CPAC), Caixa Postal 08223 CEP 73301/910 Planaltina - DF.

significa cada fração de área, considere a ilustração dada pela Fig. 2. Nesta figura, a área irrigada foi subdividida em 20 subáreas, de tal forma que, cada subárea está associada a uma determinada lâmina de água infiltrada ( $y$ ). Assim sendo, ao se ordenar, de forma decrescente, as lâminas de água infiltrada, relativas a cada subárea, em função de cada valor cumulativo da fração  $1/20$  avos, obtém-se um gráfico semelhante ao da Fig. 1.



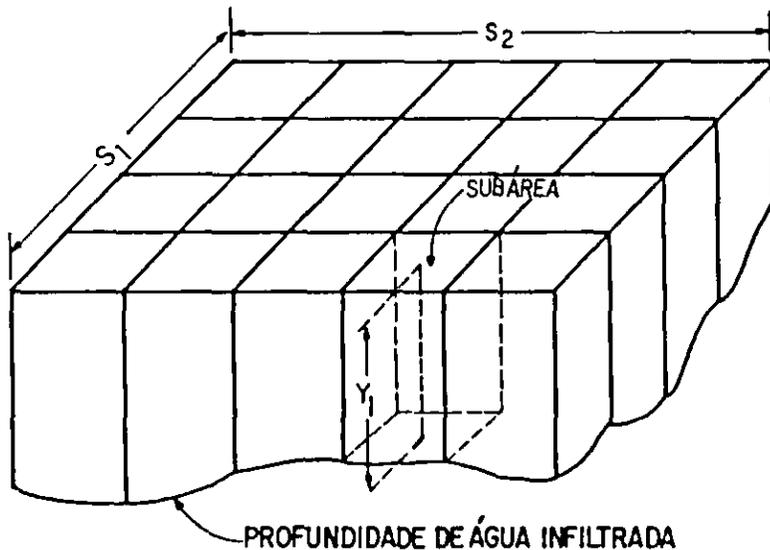


FIG. 2. Exemplo ilustrativo da subdivisão de uma área irrigada, para o levantamento de dados sobre as lâminas de água infiltrada ( $y$ ) após uma irrigação.  
 Fonte: Hart et al. (1972), adaptada pelo autor.

Na Fig. 1, a linha horizontal tracejada indica o valor de água desejado para atender as necessidades de água da planta. A área delimitada, entre a linha tracejada e o eixo das abscissas, corresponde ao volume de água a ser usado benéficamente pela cultura. O perfil representado pela linha cheia, que está ajustada aos pontos observados de lâmina de água infiltrada, delimita a área correspondente ao volume de água que foi realmente aplicado. Este perfil de água ultrapassa a lâmina requerida, em uma porção de área correspondente ao volume de água, representativo das perdas por percolação profunda ( $\nabla_p$ ). Observe também, que existe uma área em que a lâmina infiltrada foi insuficiente para suprir a lâmina requerida produzindo um volume deficitário ( $\nabla_d$ ). O volume de água que ficou realmente armazenado, dentro da área delimitada pela linha tracejada, pode ser representado por  $\nabla_u$ , ou seja, a soma dos volumes ( $\nabla_p$ ) e ( $\nabla_u$ ) representa todo o volume de água infiltrada no solo ( $\nabla_a$ ).

Os procedimentos para obtenção dos dados necessários e os métodos de análise utilizados, para avaliação de desempenho dos principais métodos de irrigação, podem ser encontrados em manuais e normas técnicas como o publicado por Hahn (1989). A seguir são apresentadas definições de parâmetros, comumente utilizados, para se estabelecer o grau de desempenho de um sistema de irrigação.

## 2.1 Uniformidade de aplicação

Este parâmetro de desempenho reflete o grau de variação da água aplicada em uma dada irrigação. Voltando-se ao caso da distribuição de água infiltrada, representada pela Fig. 1, o parâmetro uniformidade, refletirá o grau de variação das lâminas infiltradas, em relação a um valor médio. Existem dois índices, freqüentemente usados, para expressar a uniformidade de aplicação de água: o coeficiente de uniformidade de Christiansen (UC) e o coeficiente conhecido como uniformidade de distribuição (UD).

### 2.1.1 Coeficiente de uniformidade de Christiansen (UC)

Este coeficiente de uniformidade, definido em termos percentuais, pode ser expresso da seguinte forma (Christiansen 1942):

$$UC = 100 \left[ 1,0 - \frac{\left( \sum_{i=1}^n |X_i - \bar{X}| \right) / n}{\bar{X}} \right] \quad (1)$$

onde

$n$  = número de observações;

$X_i$  = lâmina aplicada, volume aplicado ou lâmina infiltrada por cada observação  $i$ ;

$\bar{X}$  = média de lâmina aplicada, de volume aplicado ou de lâmina infiltrada.

Cada observação  $i$  da equação (1) representa a água aplicada em subáreas iguais.

No caso do sistema de irrigação por pivô central, no qual os valores de água aplicada são tomados ao longo de uma linha radial, cada observação

representa subáreas de tamanhos crescentes a partir do ponto pivô. Neste caso, a determinação de UC é mais apropriada utilizando-se uma formulação ponderada, no qual, cada observação é ponderada de acordo com a distância que ela está em relação ao ponto pivô.

Esta formulação pode ser expressa da seguinte forma (Heermann & Hein 1968):

$$UC = 100 \left[ 1,0 - \frac{\left( \frac{\sum_{i=1}^n S_i \left| X_i - \frac{\sum_{i=1}^n X_i S_i}{\sum_{i=1}^n S_i} \right|}{\sum_{i=1}^n X_i S_i} \right) \right] \quad (2)$$

onde

$S_i$  = distância de cada observação em relação ao ponto pivô;

$n$  = número de observações;

$X_i$  = valor de cada observação.

### 2.1.2 Coeficiente de uniformidade de distribuição (UD)

Este índice de uniformidade é mais restritivo do que UC e expressa a relação entre a média da água aplicada, em um quarto da área que recebeu as menores aplicações e a média geral. Este coeficiente, expresso em termos percentuais, é definido como (Davis 1966):

$$UD = 100 \left( \frac{\bar{X}_{qm}}{\bar{X}} \right) \quad (3)$$

onde

$\bar{X}_{qm}$  = a média da lâmina de água aplicada, do volume aplicado ou da lâmina infiltrada, em um quarto da área que recebeu as menores aplicações;

$\bar{X}$  = média geral da lâmina aplicada, do volume aplicado ou da lâmina infiltrada.

**Exercício 1.** Calcule os coeficientes de uniformidade UC e UD de uma irrigação cuja área recebeu as seguintes lâminas de infiltração (cm) (James 1988):

4,0	3,5	3,4	3,7
3,9	3,3	3,4	3,5
2,6	2,8	2,7	3,2
3,7	3,0	2,8	2,6
4,0	3,5	3,2	4,3

**Solução:** Em primeiro lugar calcula-se a média geral, que corresponde a  $\bar{X} = 3,36$  cm. A seguir, determina-se a soma dos valores absolutos dos desvios que cada observação apresenta, em relação à média geral, representada neste caso por:

$$\sum_{i=1}^{20} |X_i - \bar{X}| = |4,0 - 3,36| + |3,5 - 3,36| + \dots + |4,3 - 3,36| = 7,3 \text{ cm}$$

Desta forma, o valor de UC fica assim determinado:

$$UC = 100 \left( 1 - \frac{7,3/20}{3,36} \right) = 89,1\%$$

No caso do coeficiente de uniformidade (UD) precisa-se determinar a média das menores observações, que ocorreram em um quarto da área. Neste caso, um quarto da área equivale a um número de 5 observações de um total de 20, das quais, as menores são 2,6; 2,6; 2,7; 2,8 e 2,8 cm. Assim sendo, calcula-se UD da seguinte forma:

$$\bar{X}_{qm} = (2,6 + 2,6 + 2,7 + 2,8 + 2,8) / 5 = 2,70$$

$$UD = 100 \left( \frac{2,7}{3,36} \right) = 80,4\%$$

## 2.2 Medidas de eficiência

Enquanto as medidas de uniformidade expressam a capacidade do método, ou equipamento de irrigação, em distribuir a água uniformemente sobre a área irrigada, as medidas de eficiência, a nível da parcela irrigada, expressam a capacidade que tem uma dada irrigação em atender os requerimentos de consumo de água da cultura. Desta forma, pode-se dizer que, a eficiência de irrigação, aglutina os efeitos da distribuição de água decorrentes do método, em si, com as particularidades do manejo da irrigação. Os índices de eficiência, ao nível da parcela irrigada, são no máximo três: eficiência de aplicação, adequação da irrigação e perdas por escoamento (Hart et al. 1979).

### 2.2.1 Eficiência de aplicação

A eficiência de aplicação de água ( $E_a$ ), em uma área irrigada, expressa a relação, em percentual, entre o volume de água colocado realmente à disposição da planta, em seu sistema radicular, e o volume total de água aplicado pela irrigação. Esta medida de eficiência pode ser representada pela seguinte equação:

$$E_a = 100 \left( \frac{\nabla_u}{\nabla_a} \right) \quad (4)$$

onde

$\nabla_u$  = volume ou lâmina de água aplicada utilizável pela planta;

$\nabla_a$  = volume ou lâmina de água aplicado na área irrigada;

$E_a$  = eficiência de aplicação em percentual.

**Exercício 2.** Considere que em uma área irrigada por sulcos, irriga-se, durante 4 horas, 0,6 ha de milho e 1,0 ha de alfafa, para atender as necessidades de água de 4 e 6 cm, respectivamente, para cada cultura. O milho é irrigado com 26 sulcos, cada um com uma vazão de 60 l/min. A alfafa é irrigada com 50 sulcos, cada um tendo uma vazão de 75 l/min. Determine a eficiência de aplicação para o milho e para a alfafa, bem como, para a combinação das duas áreas irrigadas (James 1988).

## Solução:

### a. Milho

$$V_u = (0,6 \text{ ha}) (4 \text{ cm}) \left( \frac{1 \text{ m}}{100 \text{ cm}} \right) \left( \frac{10000 \text{ m}^2}{\text{ha}} \right) = 240 \text{ m}^3$$

$$V_a = (26 \text{ sulcos}) \left( \frac{60 \text{ l / min}}{\text{sulco}} \right) (4 \text{ h}) \left( \frac{60 \text{ min}}{\text{h}} \right) \left( \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ l}} \right) = 374,4 \text{ m}^3$$

$$E_a = 100 \left( \frac{240}{374,4} \right) = 64,1\%$$

### b. Alfafa

$$V_u = (1,0 \text{ ha}) (6 \text{ cm}) \left( \frac{1 \text{ m}}{100 \text{ cm}} \right) \left( \frac{10000 \text{ m}^2}{\text{ha}} \right) = 600 \text{ m}^3$$

$$V_a = (50 \text{ sulcos}) \left( \frac{75 \text{ l / min}}{\text{sulco}} \right) (4 \text{ h}) \left( \frac{60 \text{ min}}{\text{h}} \right) \left( \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ l}} \right) = 900 \text{ m}^3$$

$$E_a = 100 \left( \frac{600}{900} \right) = 66,7\%$$

### c. Milho e alfafa (as duas áreas combinadas)

$$E_a = 100 \left( \frac{240 + 600}{374,4 + 900} \right) = 65,9\%$$

### 2.2.2 Adequação da irrigação

Uma irrigação pode ser 100% eficiente, no que diz respeito a sua eficiência de aplicação, contudo, seu desempenho, em atender os requerimentos de água da cultura, pode não ser satisfatório em nenhuma parte da área irrigada. A Fig. 3 ilustra uma situação deste tipo.

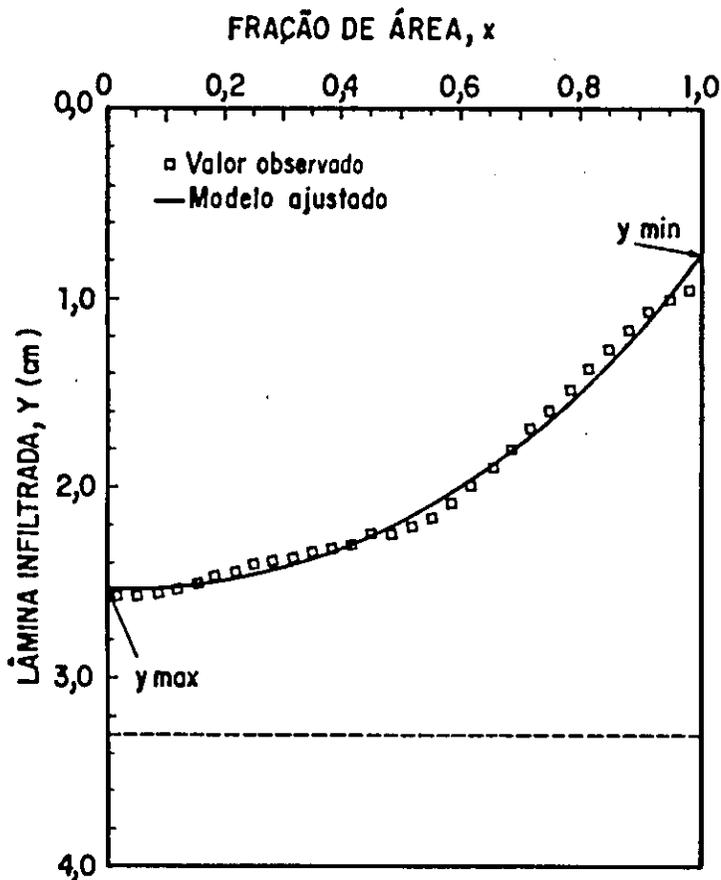


FIG. 3. Exemplo ilustrativo da distribuição de lâminas de água infiltrada em uma irrigação inadequada.

Observe que o perfil de água aplicada foi menor do que a lâmina requerida para qualquer valor de fração de área. Isto significa dizer que o índice de eficiência de aplicação, por si só, não é suficiente para se estabelecer o desempenho de uma irrigação. Por isso, faz-se necessário a inclusão de um outro índice que expresse o grau de adequação de uma dada irrigação em suprir a lâmina de água pretendida.

Um dos índices, comumente utilizados, para esta finalidade, baseia-se na indicação do percentual da área irrigada que recebeu água suficiente para atender os requerimentos da cultura. Este índice é denominado adequação da irrigação. O perfil de distribuição de água, apresentado na Fig. 1, ilustra um caso em que cerca de 60% da área irrigada recebeu água suficiente para atender os requerimentos da cultura, representados pela linha horizontal tracejada. O desempenho da irrigação, neste caso, a nível da parcela irrigada, não fica determinado pela eficiência de aplicação e será menor do que 100%.

### 2.2.3 Perdas por escoamento

Este é um parâmetro importante, na análise de desempenho da irrigação, quando o método de aplicação de água produz escoamento superficial durante a irrigação. Este é o caso dos métodos de irrigação por superfície (sulcos, faixas, etc), onde o escoamento de água no final da parcela se perde, quando não existe instalações para o reúso da água. O índice indicativo dessas perdas pode ser definido pela seguinte expressão:

$$P_e = 100 \left( \frac{V_e}{V_a} \right) \quad (5)$$

onde

$V_e$  = volume de água escoada da área irrigada e não reusado;  
 $P_e$  = percentagem de água perdida por escoamento.

### 2.2.4 Eficiência de condução

Este parâmetro diz respeito ao desempenho do sistema de condução da água, desde a captação até a parcela a ser irrigada, e é definido como sendo a relação percentual entre a quantidade de água que chega ao final do

sistema de condução, e a quantidade de água que é introduzida no seu início. Em termos matemáticos, a eficiência de condução pode ser expressa da seguinte maneira:

$$E_c = 100 \left( \frac{V_{ce}}{V_{cs}} \right) \quad (6)$$

onde

$V_{ce}$  = volume de água introduzido no início do sistema de condução.

$V_{cs}$  = volume de água que sai do sistema de condução e chega a parcela a ser irrigada.

**Exercício 3.** Um canal de terra recebe uma vazão de 100 l/seg para irrigar, durante 8 horas, 26 sulcos com uma vazão de 1 l/seg cada um, e 50 sulcos com uma vazão de 75 l/min cada um. Determine a eficiência de condução deste canal no período de funcionamento.

**Solução:**

$$V_{ce} = \left( \frac{100 \text{ l}}{\text{seg}} \right) \left( \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ l}} \right) \left( \frac{3600 \text{ seg}}{1 \text{ h}} \right) (8 \text{ h}) = 2880 \text{ m}^3$$

$$V_{cs} = \left[ (26) \left( \frac{60 \text{ l/min}}{\text{sulco}} \right) + (50) \left( \frac{75 \text{ l/min}}{\text{sulco}} \right) \right] (8 \text{ h}) \left( \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} \right) \left( \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ l}} \right)$$

$$= 2548,8 \text{ m}^3$$

$$E_c = 100 \left( \frac{2548,8}{2880} \right) = 88,5\%$$

### 2.2.5 Eficiência de irrigação

A eficiência de uma irrigação é um índice de desempenho que combina os efeitos das eficiências individuais consideradas. Por exemplo, para o caso de uma irrigação em que foram levantadas as eficiências de condução ( $E_c$ ) e de aplicação ( $E_a$ ) e as perdas por escoamento ( $P_e$ ), a eficiência de irrigação ( $E_i$ ) pode ser calculada pela seguinte expressão:

$$E_i = (100) \left( \frac{E_c}{100} \right) \left( \frac{E_a}{100} \right) \left( \frac{P_e}{100} \right) \quad (7)$$

### 3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CHRISTIANSEN, E. J. *Irrigation by sprinkler*. Berkeley: University of California, 1942. 142 p. (Bulletin, 670).
- DAVIS, J.R. Measuring water distribution from sprinklers. *Trans. of the ASAE*, v. 9, n.1, p. 94-97, 1966.
- HAHN, R. H. *ASAE standards 1989*. 36. ed. St. Joseph: ASAE, 1989. p.578.
- HART, W.E.; PERI, G.; SKOGERBOE, G.V. Irrigation performance: an Evaluation. *Journal of the Irrigation and Drainage Division*, v.105, n.3, p.275-87, 1979.
- HEERMANN, D. F.; HEIN, P. R. Performance characteristics of self-propelled center-pivot sprinkler irrigation system. *Trans. of the ASAE*, v. 11, n.1, p.11-15, 1968.
- JAMES, L. G. *Principles of farm irrigation*. New York: John Wiley, 1988, 543p.