

An aerial photograph showing a furrow irrigation system. A blue canal runs along the right side of the frame, with several parallel furrows branching off to the left. The furrows are filled with water, and the surrounding field is covered with green crops. The sky is clear and blue.

# IRRIGAÇÃO POR SULCOS

Patricia Angélica Alves Marques

# 1. DEFINIÇÃO

A irrigação por sulcos é um método que consiste na distribuição de água através de pequenos canais (**os sulcos**), paralelos às fileiras de plantas.

Considera-se que:

O tempo em que a água escoar e infiltra deve ser suficiente para umedecer a zona do perfil do solo onde estão as raízes da espécie cultivada.

## 2. CARACTERÍSTICAS DO MÉTODO

- Utilizado para irrigar espécies plantadas em linha;
- Não molha toda a superfície do solo (30 - 80%) → reduz as perdas por evaporação;
- Necessita mais mão de obra por unidade de área que outros métodos;



**A ÁGUA DEVE SER DERIVADA INDIVIDUALMENTE  
A CADA SULCO NO MANEJO TRADICIONAL**

## 2. CARACTERÍSTICAS DO MÉTODO

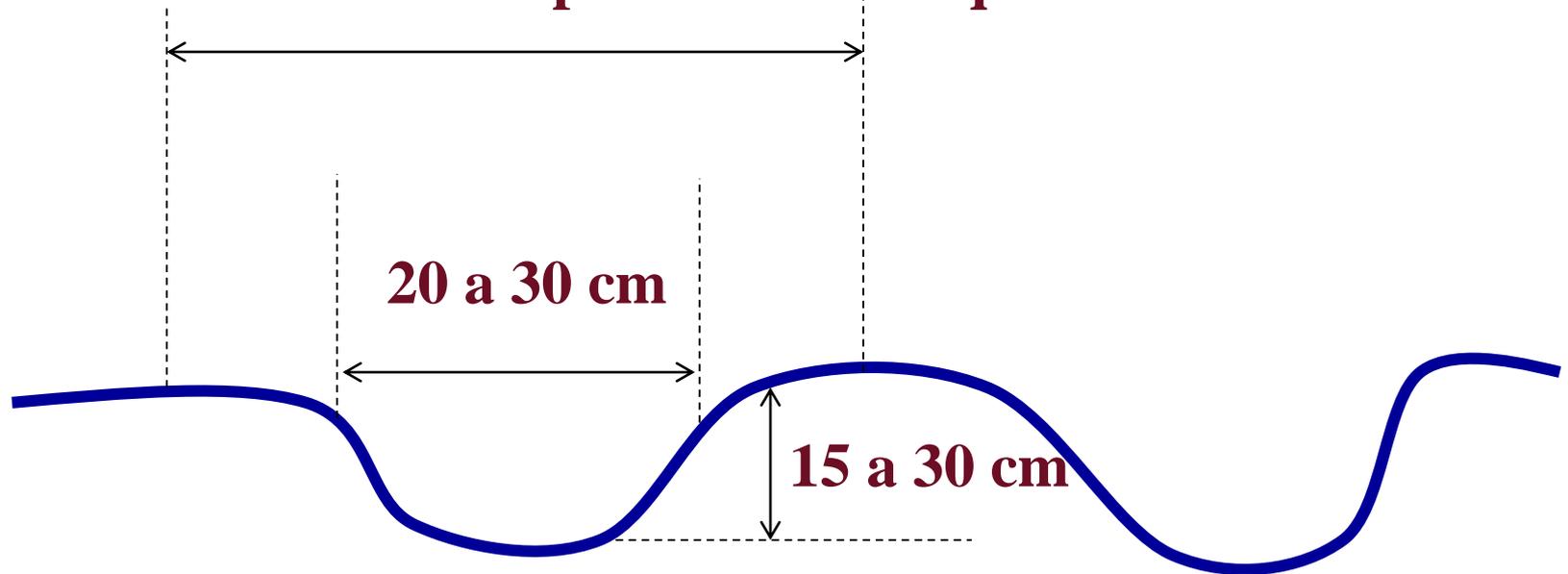
- Experiência dos irrigantes para derivar água do canal aos sulcos e para controlar a vazão durante a irrigação;
- Requer pequenas declividades e relevo da superfície uniforme;
- Se o terreno não exigir sistematização, é o método de menor custo (US\$ 400 a 800/ha);

## 2. CARACTERÍSTICAS DO MÉTODO

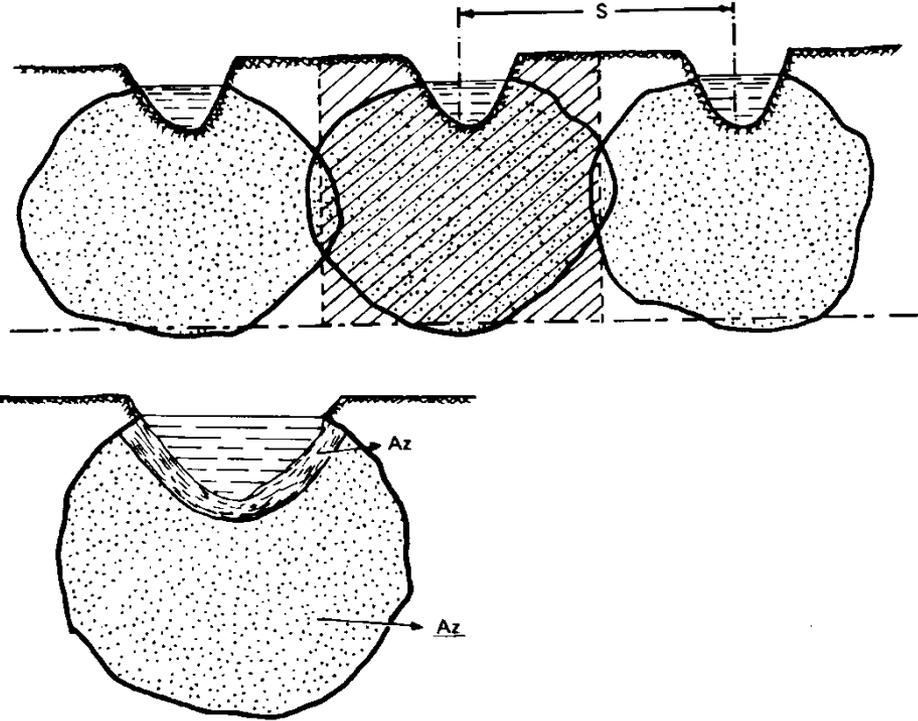
- O solo deve ser homogêneo ao longo do comprimento do sulco (textura);
- Necessita grandes vazões para evitar desuniformidade na lâmina de irrigação aplicada ao longo do sulco;
- Não exige água limpa;
- Não é afetado pelo vento;

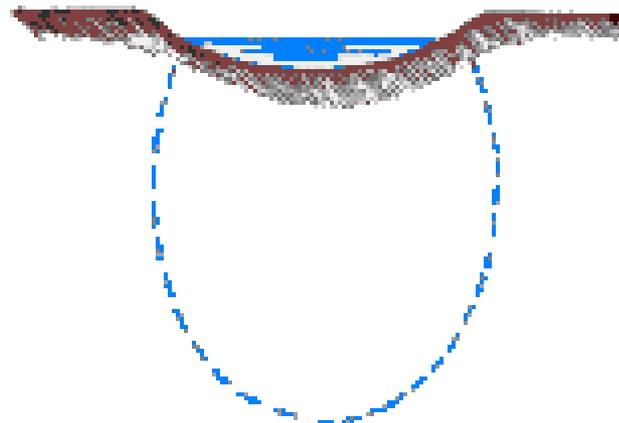
### 3. FORMA DO SULCO: DIMENSÕES E ESPAÇAMENTO

**75 a 100 cm** é função do espaçamento entre linhas,  
tipo de solo e maquinário

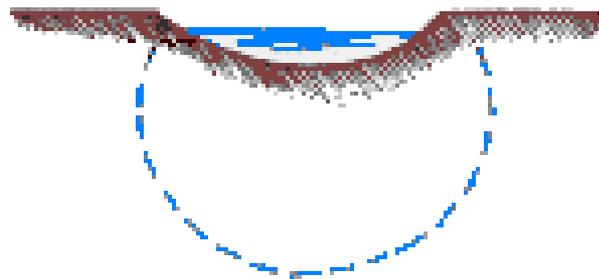


# Espaçamento entre sulcos.

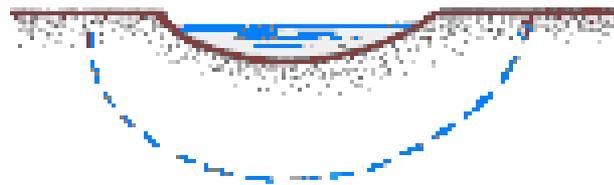




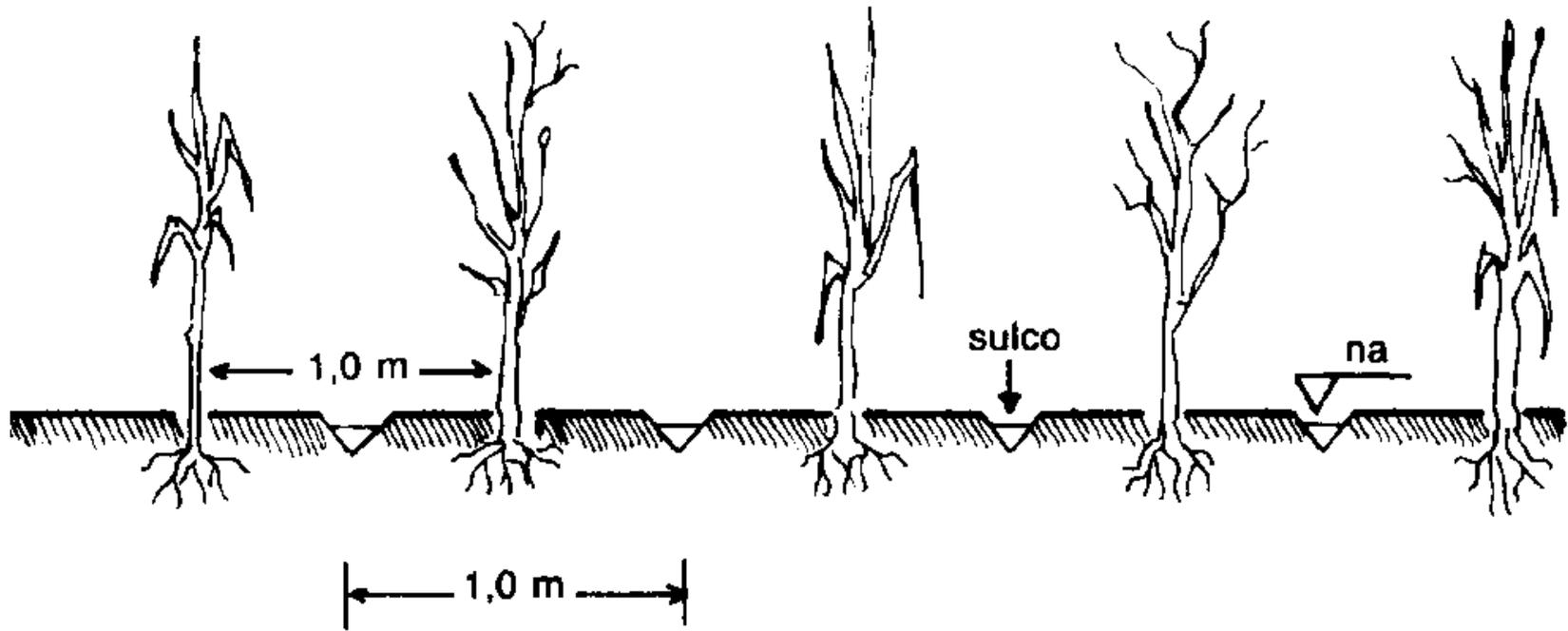
Arenoso

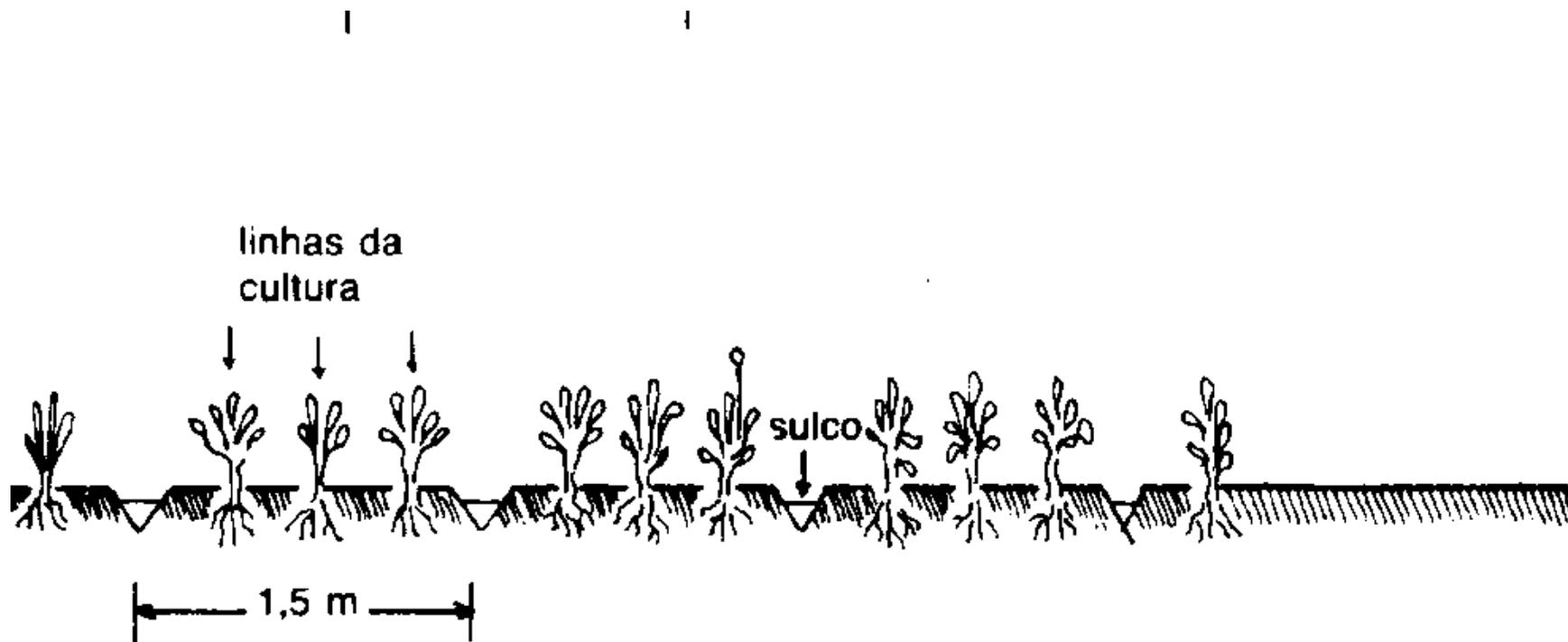


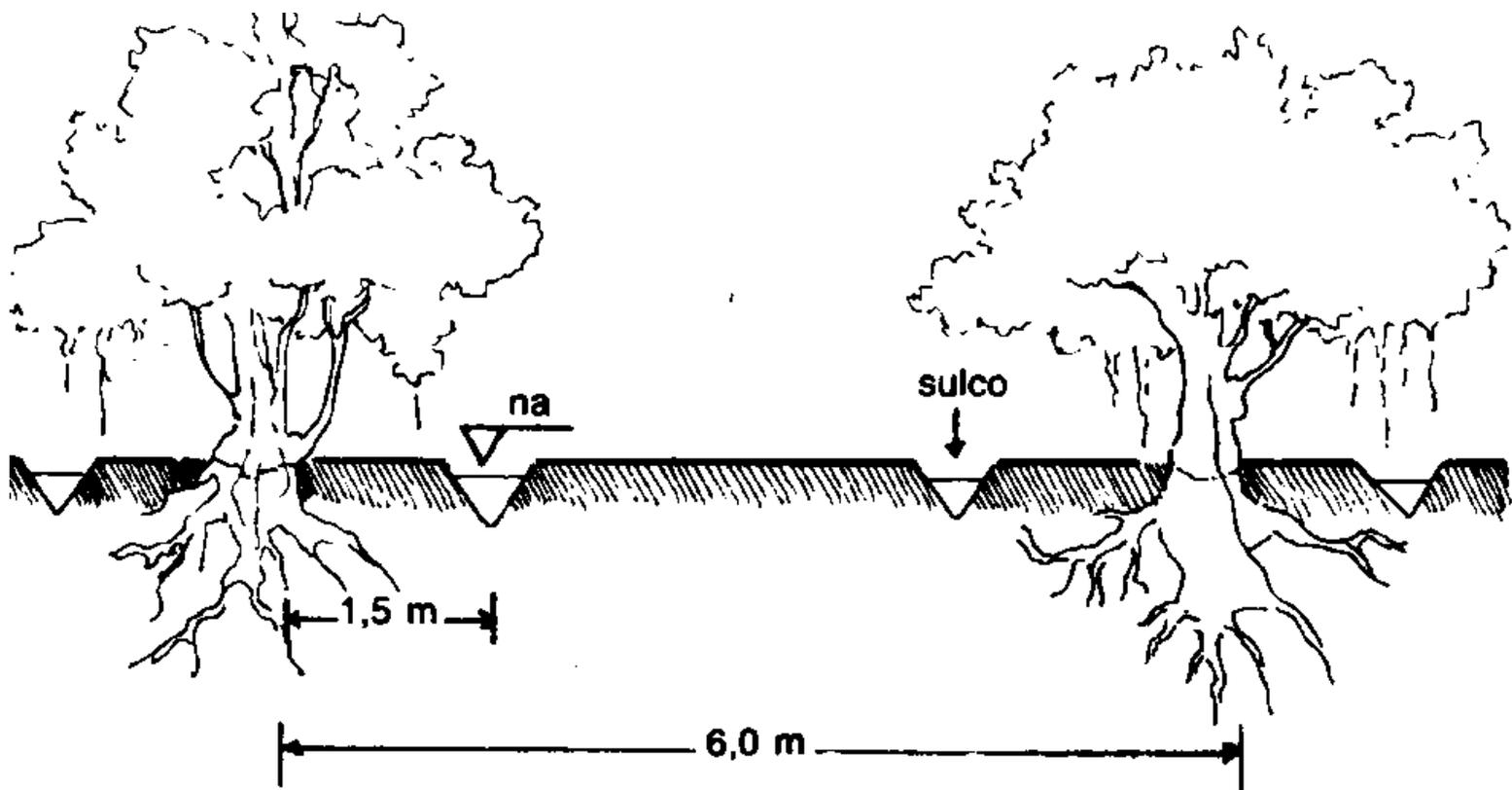
Médio



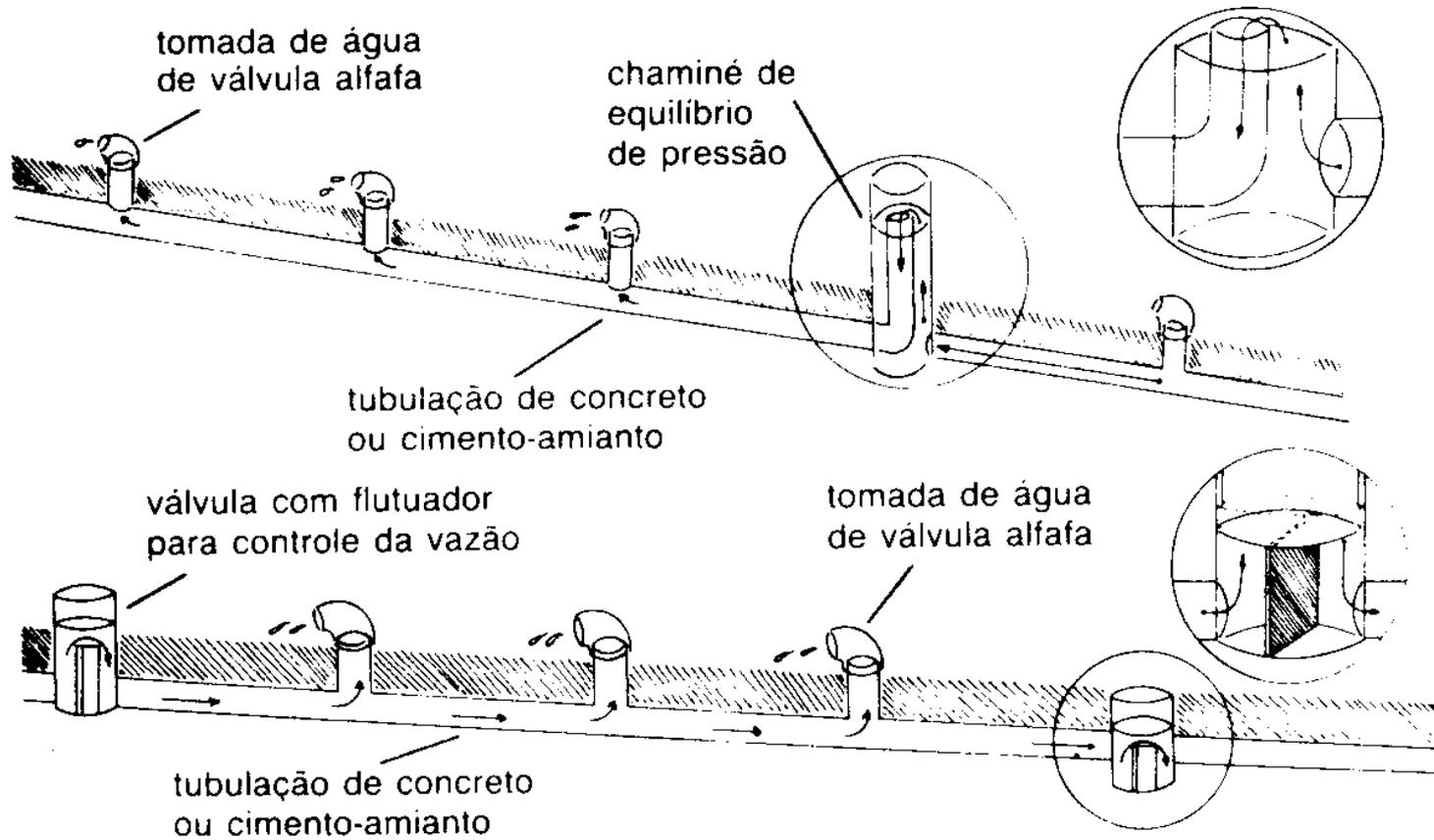
Argiloso







- Distribuição de água:







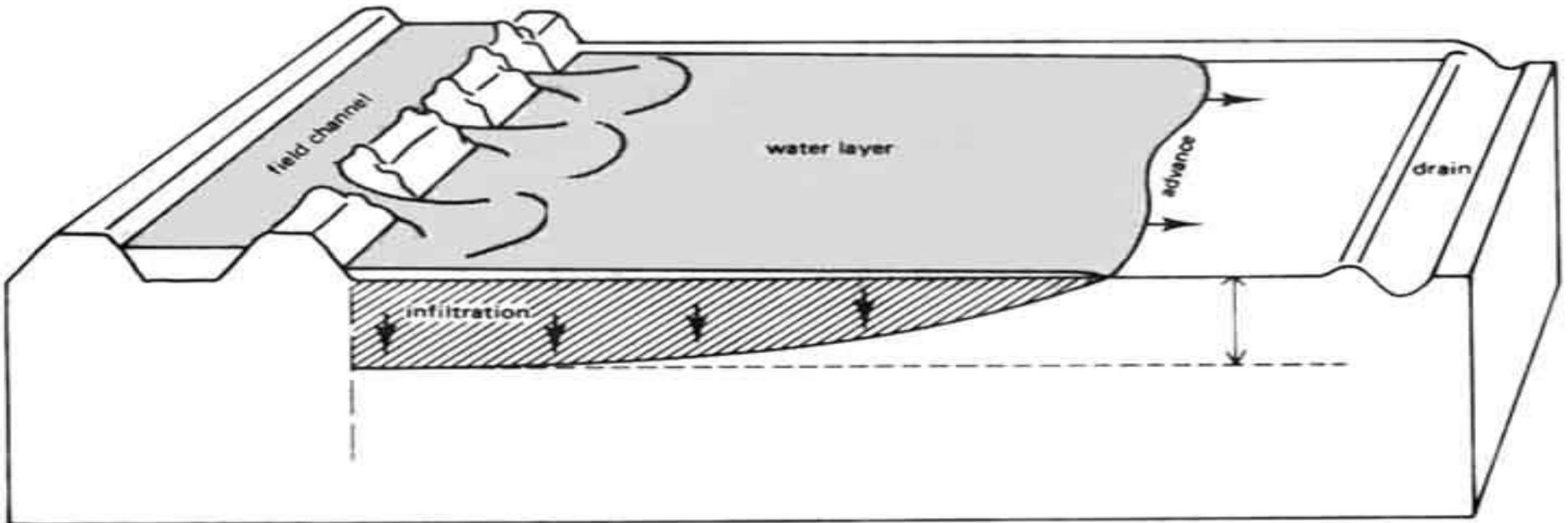
## 4. FASES DA IRRIGAÇÃO POR SULCOS

**FASE DE AVANÇO:** Esta fase começa com a entrada de água no início do sulco e termina quando a água chega ao final do sulco.

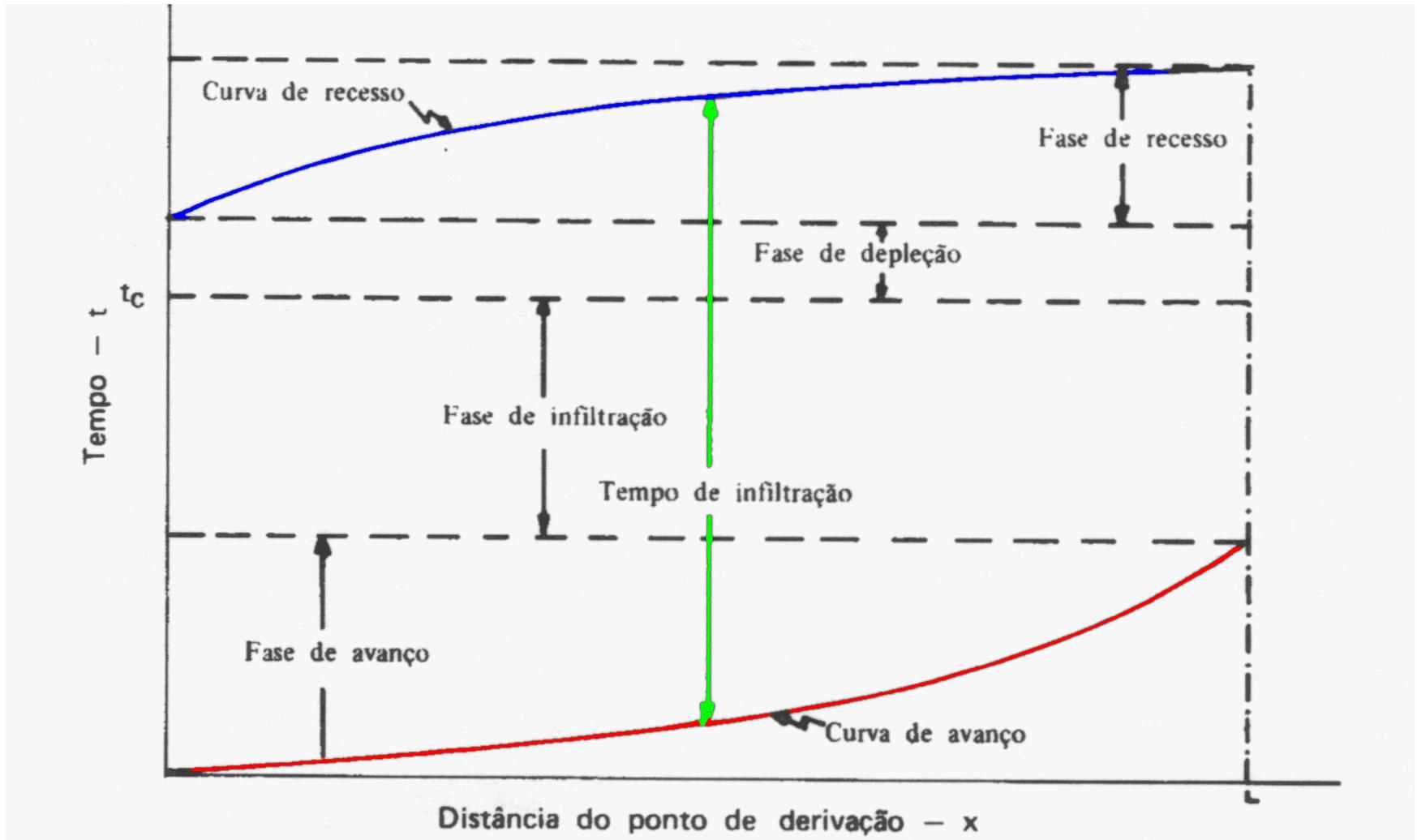
**FASE DE REPOSIÇÃO OU DE INFLITRAÇÃO:** Depois que o espelho d'água está totalmente formado (final do tempo de avanço), e termina quando se interrompe a aplicação de água.

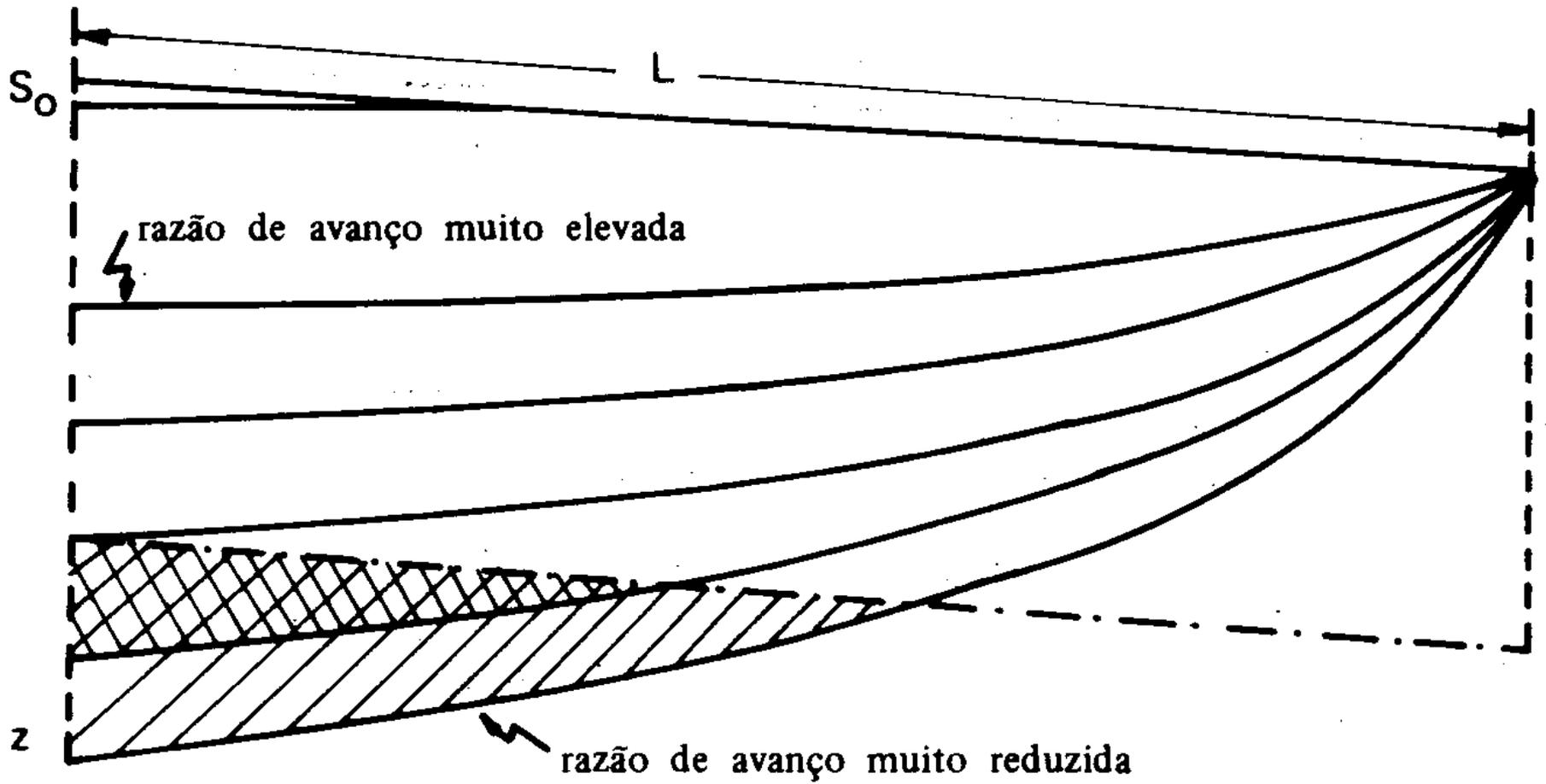
**FASE DE RECESSO:** Após interromper a aplicação de água até cessar todo o escoamento ao final do sulcos.

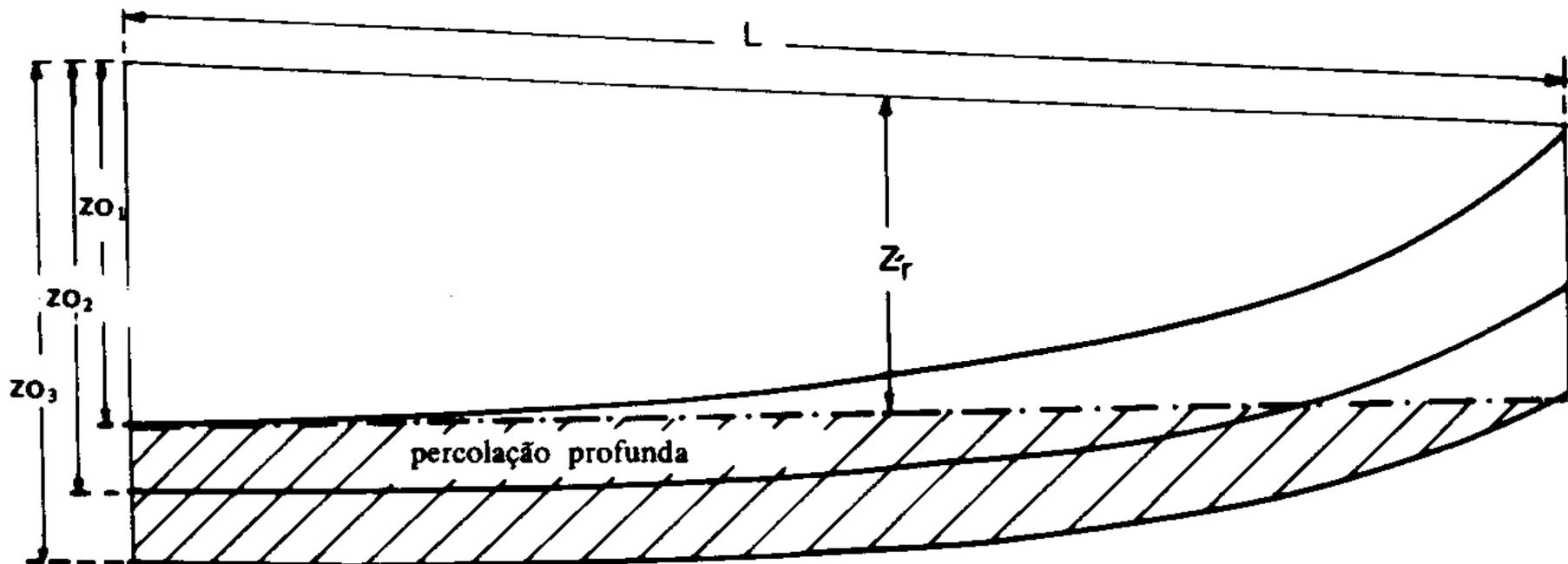
## 4. FASES DA IRRIGAÇÃO POR SULCOS

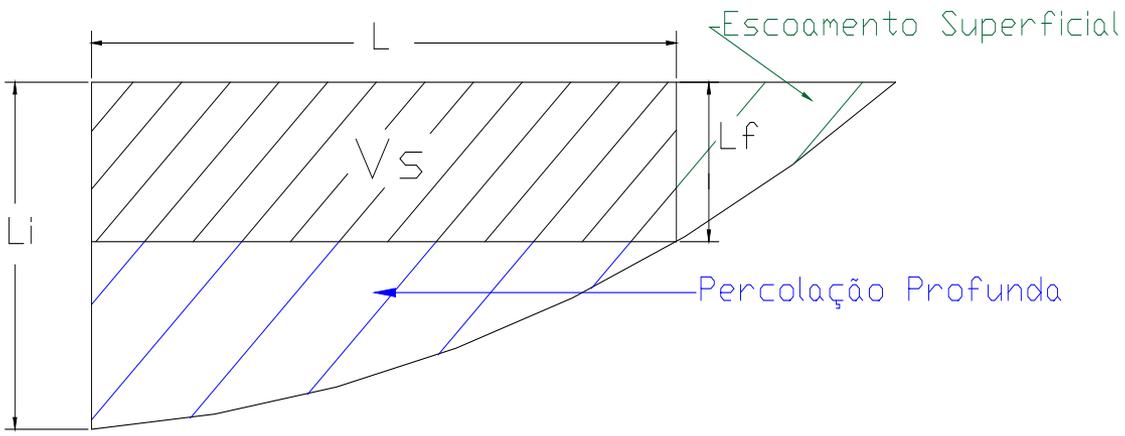
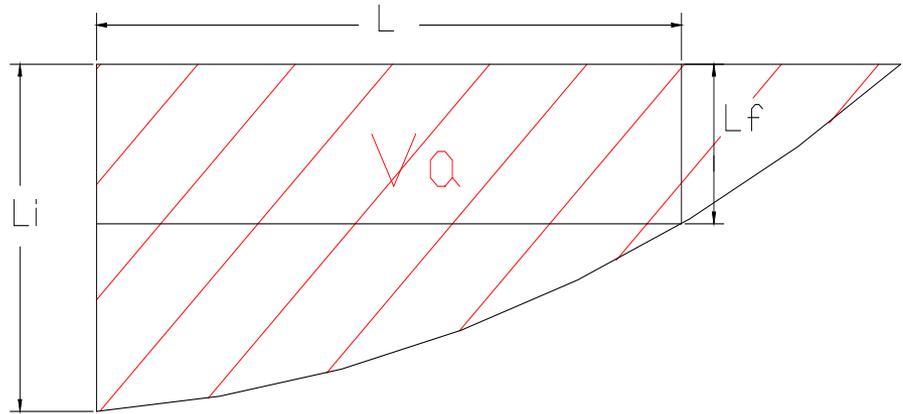


# 4. FASES DA IRRIGAÇÃO POR SULCOS











## 5. DECLIVIDADE DO SULCO

**Frequentemente inferior a 2%**

**Valores práticos: Solos argilosos → 0,5 a 2,0%**

**Solos arenosos → 0,2 a 0,5%**

**EXCESSO → EROSÃO**

**FALTA → ESTAGNAÇÃO**

## 6. VAZÃO DERIVADA A CADA SULCO

**QMAX → NÃO EROSIVA**

**0,2 a 2,0 L/s → comum 1,0 L/s**

$$Q_{m\acute{a}x} = \frac{C}{S^a}$$

Textura	C	a
Muito fina	0,892	0,937
Fina	0,988	0,550
Média	0,613	0,733
Grossa	0,644	0,704
Muito grossa	0,665	0,548

## 6. VAZÃO DERIVADA A CADA SULCO

Prática:

$$Q_{m\acute{a}x} = \frac{0,631}{S}$$

Recomendável uso de vazão reduzida.

## 7. COMPRIMENTO DOS SULCOS

Fatores a considerar:

- Tamanho e forma da área
- Tipo de solo
- Vazão
- Declividade do solo
- Mão-de-obra
- Perda de área de cultivo
- Dificuldades de mecanização
- Perdas por percolação e escoamento.

## 7. COMPRIMENTO DOS SULCOS

### *Sulcos longos:*

- Perda por percolação profunda → menor uniformidade de irrigação
- Possibilidade de acumulação da água das chuvas causando erosão.

### **Sulcos curtos:**

- **Mais trabalhoso (maior número de sulcos);**
- **Canais de condução → custo de manutenção e maior perda de área de cultivo;**
- **Dificulta a mecanização da área.**

## 7. COMPRIMENTO DOS SULCOS

O comprimento do sulco deve ser tal que o tempo para a frente de escoamento (ou frente de avanço) atingir o final do sulco seja igual a  $\frac{1}{4}$  do tempo necessário para infiltrar a lâmina de irrigação real necessária na extremidade final.

$T_a = \frac{1}{4} T_o \rightarrow$  define o L máximo

## 8. DETERMINAÇÃO DAS CURVAS DE AVANÇO E DE INFILTRAÇÃO

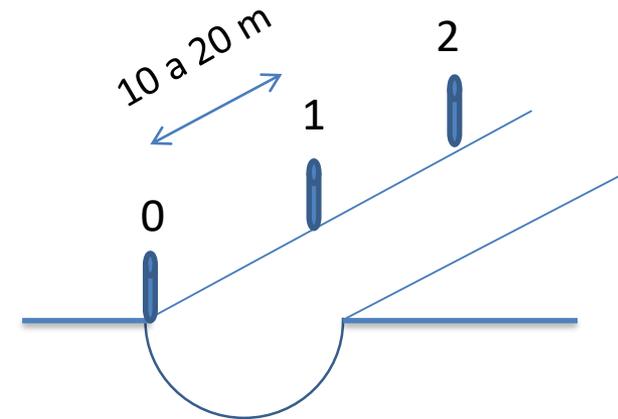
Obtidas no campo antes do projeto.

Permite estimar a uniformidade e eficiência do sistema.

# Curva de Avanço

Determinação da equação de avanço:

Estaca	Distância em metros (L)	Tempo de avanço em minutos T
0	0	0
1	20	2
2	40	5
3	60	9
4	80	14
5	100	21
6	120	30
7	140	40
8	160	53
9	180	69
10	200	93



$Q = 1 \text{ L/s}$

Espaçamento entre sulcos = 1m

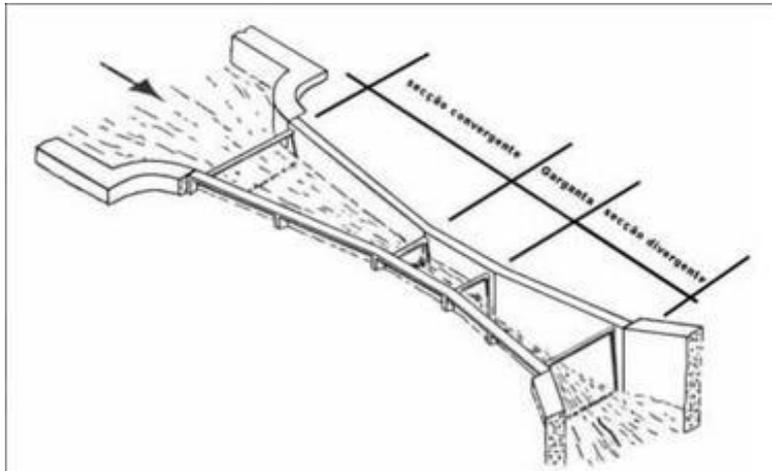
Estaca	L	T	$x = \log T$	$y = \log L$	$x \cdot y$	$x^2$
0	0	0	-	-	-	-
1	20	2	0,30	1,30	0,39	0,09
2	40	5	0,70	1,60	1,12	0,49
3	60	9	0,95	1,78	1,70	0,91
4	80	14	1,15	1,90	2,18	1,31
5	100	21	1,32	2,00	2,64	1,75
6	120	30	1,48	2,08	3,07	2,18
7	140	40	1,60	2,15	3,44	2,57
8	160	53	1,72	2,20	3,80	2,97
9	180	69	1,84	2,26	4,15	3,38
10	200	93	1,97	2,30	4,53	3,87
		Soma	13,03	19,57	27,02	19,53
		média	1,30	1,96	2,70	1,95

Obtêm-se então:  $n = 0,59$ ;  $A = 1,18$  e  $K = 15,16$

$$L = 15,16T^{0,59}$$

# CURVA DE INFILTRAÇÃO

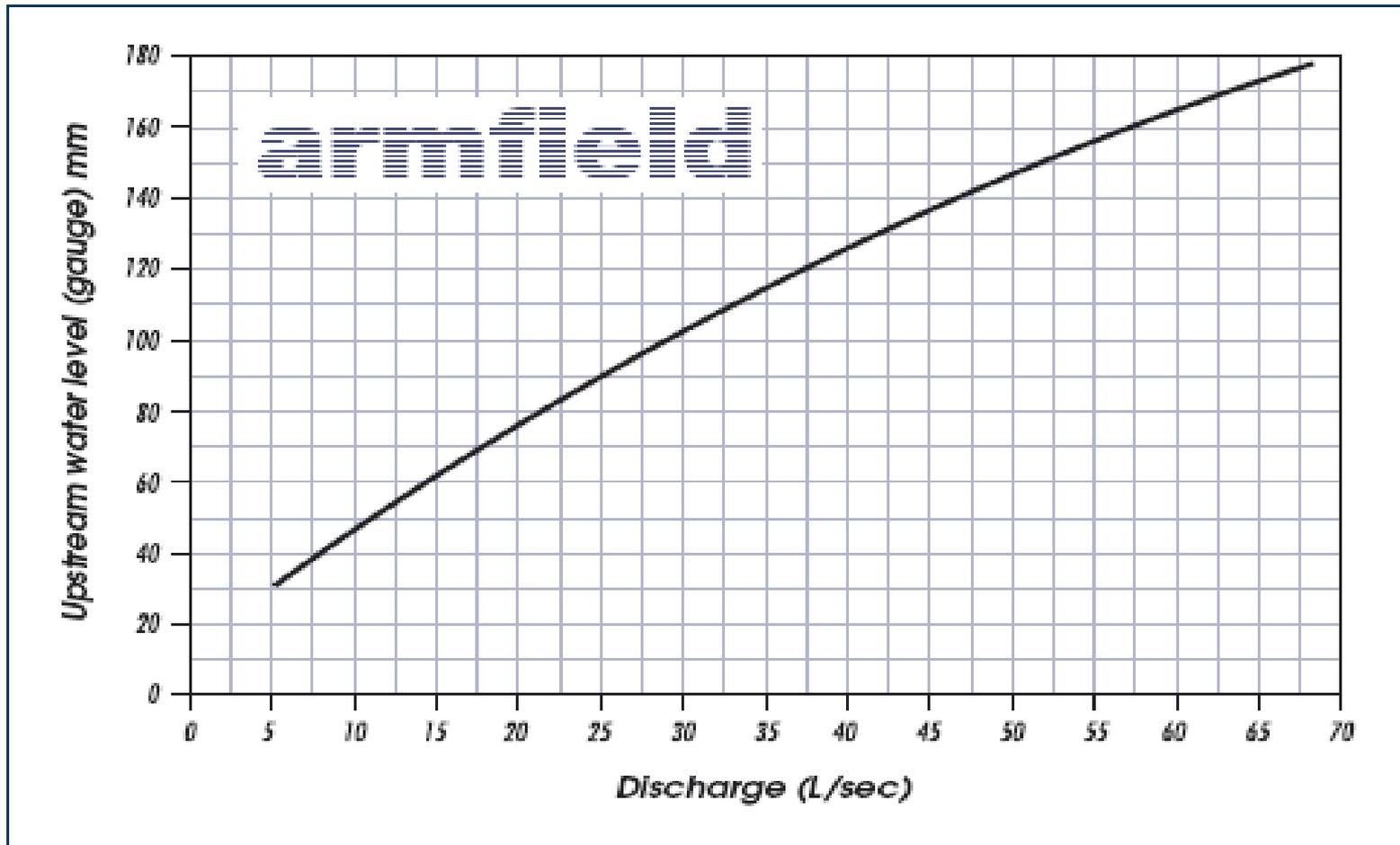
Equação de infiltração: Método da entrada e saída



$Q = 1 \text{ L/s}$

Espaçamento entre sulcos = 1m

# CURVA DO MEDIDOR WSC



*Calibration curve for a typical WSC flume*

# EXEMPLO

## Equação de infiltração: Método da entrada e saída

Tempo (min)	Vazão (L/s) 100 m		Infiltração	
	Estaca 0	Estaca 5	L/s.100m	mm/h
0	1	0	-	-
2	1	0,19	0,81	29,2
9	1	0,50	0,50	18,0
19	1	0,63	0,37	13,3
29	1	0,66	0,34	12,2
49	1	0,71	0,29	10,4
64	1	0,73	0,27	9,7
79	1	0,75	0,25	9,0
89	1	0,76	0,24	8,6
101	1	0,77	0,23	8,3
119	1	0,78	0,22	7,9
149	1	0,78	0,22	7,9

Obtêm-se então:

$$n = -0,32;$$

$$A = 1,546 \text{ e}$$

$$K = 35,23$$

$$VI = 35,23T^{-0,32}$$

$$I = \frac{35,23}{(-0,31+1) * 60} T^{(-0,32+1)} =$$

$$I = 0,85T^{0,68}$$

# 9 Parâmetros da avaliação da irrigação por sulcos

**Lâmina média aplicada.**

$$y_a = \frac{TC \cdot q_o \cdot 60}{L \cdot E}$$

- $y_a$  = lâmina média aplicada em cada sulco (mm);
- TC = tempo de total aplicação de água no sulco (minutos)
- $q_o$  = vazão aplicada no sulco (L/s);
- L = comprimento do sulco (m);
- E = espaçamento entre sulcos (m).

# Parâmetros da avaliação da irrigação por sulcos

**Lâmina média aplicada com redução de vazão.**

$$y_a = \frac{(T_a \cdot q_o + T_i \cdot q_r) \cdot 60}{L \cdot E}$$

- $y_a$  = lâmina média aplicada em cada sulco (mm);
- $T_a$  = tempo avanço (minutos);
- $T_i$  = tempo de oportunidade para aplicar a LL (minutos)
- $q_o$  = vazão aplicada no sulco (L/s);
- $q_r$  = vazão reduzida aplicada no sulco (L/s).

# Parâmetros da avaliação da irrigação por sulcos

**Lâmina média infiltrada.**

$$y_m = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n} = \frac{y_i + y_f}{2}$$

- $y_m$  = lâmina média infiltrada no sulco (mm);
- $i$  = estaca de 10 em 10;
- $n$  = total de estacas;
- $y_i$  = lâmina infiltrada na estaca  $i$  (mm);
- $y_f$  = lâmina aplicada no final do sulco (mm);
- $y_i$  = lâmina aplicada no início do sulco (mm).

# Parâmetros da avaliação da irrigação por sulcos

**Uniformidade de Distribuição.**

$$UD = \frac{Y_{mínima}}{ym} \cdot 100$$

# Parâmetros da avaliação da irrigação por sulcos

## Eficiência de condução.

- tubulações as perdas são praticamente nulas e a eficiência 100%.
- Canais ocorrem perdas por infiltração

$$EC = \left( \frac{V_a}{V_d} \right) \times 100$$

# Parâmetros da avaliação da irrigação por sulcos

## Eficiência de aplicação

Ideal quando  $\geq 75\%$  e aceitável quando  $\geq 60\%$ .

$$Ea = \frac{LL}{ya} \cdot 100$$

- $Ea$  = Eficiência de Aplicação (%);
- $LL$  = Lâmina Líquida necessária (mm).

100% -  $Ea$  = perdas por percolação profunda e por escoamento superficial

# Parâmetros da avaliação da irrigação por sulcos

**Perdas por percolação profunda:**

$$P_p = \frac{y_m - LL}{y_a} \cdot 100$$

**Perdas por escoamento superficial:**

$$P_e = \frac{y_a - y_m}{y_a} \cdot 100$$

# 10 PROJETO

Área da parcela = 16 ha (400 x 400m)

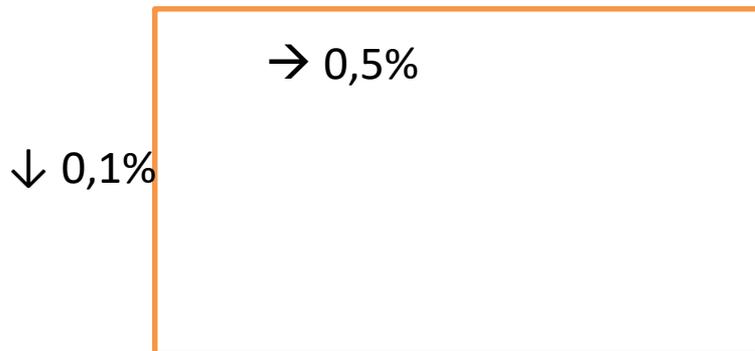
Milho: espaçamento de 1m; z = 50cm; f = 0,5 e Etm = 4,2 mm/dia

Solo: Ucc = 28%; Upmp = 17%; ds = 1,4 g/cm<sup>3</sup>; VIB = 9,0 mm/h

Q utilizada = 1 L/s (coeficiente C = 0,631 e a = 1)

Equação de avanço: T (min) = 0,0019 L (m)<sup>1,96</sup>

Equação de velocidade de infiltração: VI(mm/h) = 36 T(min)<sup>-0,32</sup>



# Principais causas de desempenho insatisfatório

- **Problemas de uniformidade**
- Os problemas de uniformidade de distribuição resultam de variações da quantidade de água infiltrada na área irrigada. Inúmeras causas podem ser apontadas:
  - dimensionamento inadequado (comprimento excessivo, vazão muito reduzida, tempo de aplicação muito reduzido, etc.) ;
  - sistematização grosseira (variação acentuada do gradiente de declive);

# Principais causas de desempenho insatisfatório

- **Problemas de uniformidade**

- variação do solo (textura, estrutura, condição superficial, teor de água, etc.);
- compactação diferencial (natural ou provocada pela passagem de veículos, máquinas, implementos, equipamentos etc.);
- variação da seção de escoamento superficial (erosão ou tratos culturais mecanizados ou manuais);

# Principais causas de desempenho insatisfatório

- **Problemas de uniformidade**

- ocorrência de erosão superficial (decorrência da própria irrigação ou chuvas);

- variação da resistência ao escoamento superficial (desenvolvimento de plantas na superfície de escoamento ou tratos culturais).

# Principais causas de desempenho insatisfatório

- **Problemas de eficiência**

- dimensionamento inadequado (comprimento muito reduzido ou muito longo, vazão muito reduzida ou muito elevada, tempo de aplicação muito reduzido ou muito elevado etc.) ;
- variação das características de infiltração (atribuída ao desenvolvimento normal das irrigações, ou provocada pelos fatores descritos nos problemas de uniformidade);
- operação inadequada do sistema.

# Principais Práticas de Manejo

- **Para aumentar a uniformidade de distribuição**
    - aumentar a vazão;
    - aumentar o tempo de aplicação;
    - reduzir o comprimento das parcelas;
    - aumentar o gradiente de declive;
    - construir diques para contenção de água no final das parcelas;
    - adotar um sistema de fluxo pulsante ("pulse" ou "surge flow").
- A aplicação de água à parcela em períodos curtos e alternados.

# Principais Práticas de Manejo

- **Para aumentar a eficiência de aplicação**
- Perdas por percolação profunda:
  - aumentar a vazão (para aumentar a razão de avanço);
  - reduzir o tempo de aplicação (para reduzir o tempo de infiltração);
  - reduzir o comprimento das parcelas;
  - aumentar o gradiente de declive;
  - reduzir a razão de infiltração (através de compactação da superfície de escoamento);
  - reduzir o perímetro molhado da seção de escoamento (modificando a forma da seção transversal dos sulcos).

# Principais Práticas de Manejo

- **Para aumentar a eficiência de aplicação**
- Perdas por escoamento superficial:
  - reduzir a vazão, após a água atingir o final da parcela;
  - reduzir o tempo de aplicação de água;
  - aumentar o comprimento das parcelas;
  - reduzir o gradiente de declive;
  - aumentar a razão de infiltração ( incorporação de m.o. ou revolvimento da superfície do solo);
  - aumentar o perímetro molhado da seção de escoamento;
  - contenção de água no final das parcelas;
  - reutilização da água excedente de deflúvio.

# Principais Práticas de Manejo

- **Para aumentar a eficiência de armazenamento**

apenas a deficiência de água disponível no solo (não é sensível às perdas envolvidas no processo de aplicação):

- reduzir a vazão (para reduzir a razão de avanço) ;
- aumentar o tempo de aplicação (aumentar o tempo de infiltração);
- reduzir o comprimento das parcelas;
- reduzir o gradiente de declive;
- aumentar a razão de infiltração;
- aumentar o perímetro molhado da seção de escoamento;
- contenção de água no final das parcelas.

# EXEMPLO

- Lâmina necessária =  $y_r = 30$  m
- Comprimento do sulco = 200 m
- Espaçamento entre sulcos = 1 m
- Vazão = 1 L/s
- Tempo de avanço = 60 minutos
- Tempo de infiltração = 140 minutos
- Tempo total de irrigação = 200 minutos

**Lâmina média aplicada:**

$$y_a = \frac{TC \cdot q_o \cdot 60}{L \cdot E} = \frac{200 \text{ min} \cdot 1 \text{ L/s} \cdot 60}{200 \text{ m} \cdot 1 \text{ m}} = 60 \text{ mm}$$

**Lâmina média aplicada:**

$$y_a = \frac{TC \cdot q_o \cdot 60}{L \cdot E} = \frac{200 \text{ min} \cdot 1 \text{ L/s} \cdot 60}{200 \text{ m} \cdot 1 \text{ m}} = 60 \text{ mm}$$

**Lâmina aplicada no final do sulco =  $y_r = 37,8 \text{ mm}$**

**Lâmina média aplicada:**

$$y_a = \frac{TC \cdot q_0 \cdot 60}{L \cdot E} = \frac{200 \text{ min} \cdot 1 \text{ L/s} \cdot 60}{200 \text{ m} \cdot 1 \text{ m}} = 60 \text{ mm}$$

**Lâmina aplicada no final do sulco =  $y_r = 37,8 \text{ mm}$**

**Lâmina aplicada no início do sulco:**

$$I = 0,85 T^{0,68} = 0,85 \cdot 200^{0,68} = 31,2 \text{ mm}$$

**Lâmina média aplicada:**

$$y_a = \frac{TC \cdot q_o \cdot 60}{L \cdot E} = \frac{200 \text{ min} \cdot 1 \text{ L/s} \cdot 60}{200 \text{ m} \cdot 1 \text{ m}} = 60 \text{ mm}$$

**Lâmina aplicada no final do sulco =  $y_r = 37,8 \text{ mm}$**

**Lâmina aplicada no início do sulco:**  $I = 0,85T^{0,68} = 0,85 \cdot 200^{0,68} = 31,2 \text{ mm}$

**Lâmina média infiltrada:**

$$y_m = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n} = \frac{y_i + y_f}{2} = \frac{31,2 - 30}{2} = 30,6 \text{ mm}$$

# Parâmetros da avaliação da irrigação por sulcos

**Uniformidade de Distribuição.**

$$UD = \frac{Y_{\text{mínima}}}{y_m} \cdot 100 = \frac{30,0}{30,6} \cdot 100 = 98\% \quad (> 80\% \text{ OK})$$

**Eficiência de aplicação:** Ideal quando  $\geq 75\%$  e aceitável quando  $\geq 60\%$ .

$$Ea = \frac{LL}{ya} \cdot 100 = \frac{30}{60} \cdot 100 = 50\% \quad (\text{inaceitável})$$

100% - Ea = 50% perdas

# Parâmetros da avaliação da irrigação por sulcos

**Perdas por percolação profunda:**

$$P_p = \frac{y_m - LL}{y_a} \cdot 100 = \frac{30,6 - 30}{60} \cdot 100 = 1\% \text{ (até 15\% aceitável)}$$

**Perdas por escoamento superficial:**

$$P_e = \frac{y_a - y_m}{y_a} \cdot 100 = \frac{60 - 30,6}{60} \cdot 100 = 49\% \text{ (até 10\%)}$$

# Parâmetros da avaliação da irrigação por sulcos

Devido as altas perdas por escoamento superficial pode-se sugerir a redução de vazão:

$$Q_r = 1,1 \frac{f_o \cdot L \cdot E}{3600} = \frac{7,9 \cdot 200 \cdot 1}{3600} = 0,44 L / s$$

$$y_a = \frac{(T_L \cdot q_o + T_i \cdot q_r) \cdot 60}{L \cdot E} = \frac{(60 \cdot 1 + 140 \cdot 0,44) \cdot 60}{200 \cdot 1} = 36,48 mm$$

# Parâmetros da avaliação da irrigação por sulcos

$$Ea = \frac{LL}{ya} \cdot 100 = \frac{30}{36,5} \cdot 100 = 82,2\%$$

$$Pp = \frac{ym - LL}{ya} \cdot 100 = \frac{30,6 - 30}{36,5} \cdot 100 = 1,6\%$$

$$Pe = \frac{ya - ym}{ya} \cdot 100 = \frac{36,5 - 30,6}{36,5} \cdot 100 = 16,2\%$$