



# 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

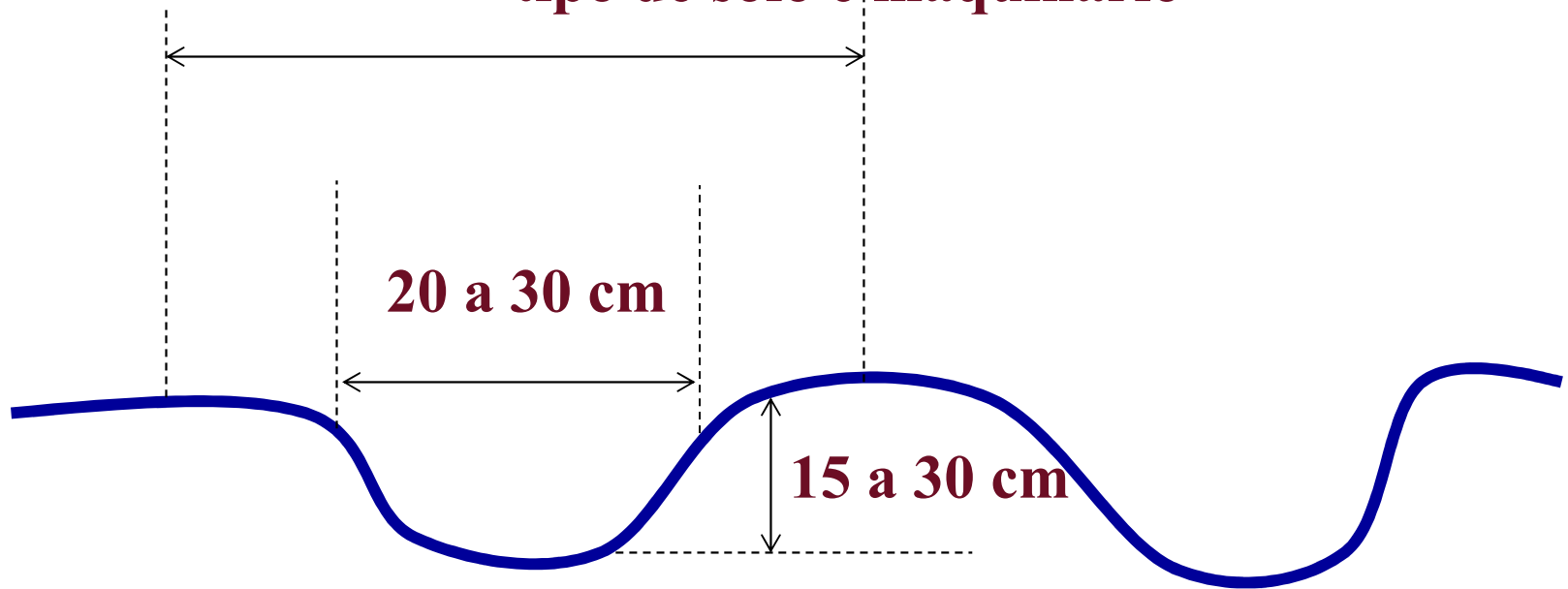
- Experiência dos irrigantes para derivar água do canal aos sulcos e para controlar a vazão durante a irrigação;
- Requer pequenas declividades e relevo da superfície uniforme;
- Se o terreno não exigir sistematização, é o método de menor custo (US\$ 400 a 800/ha);

## 2. CARACTERÍSTICAS DO MÉTODO

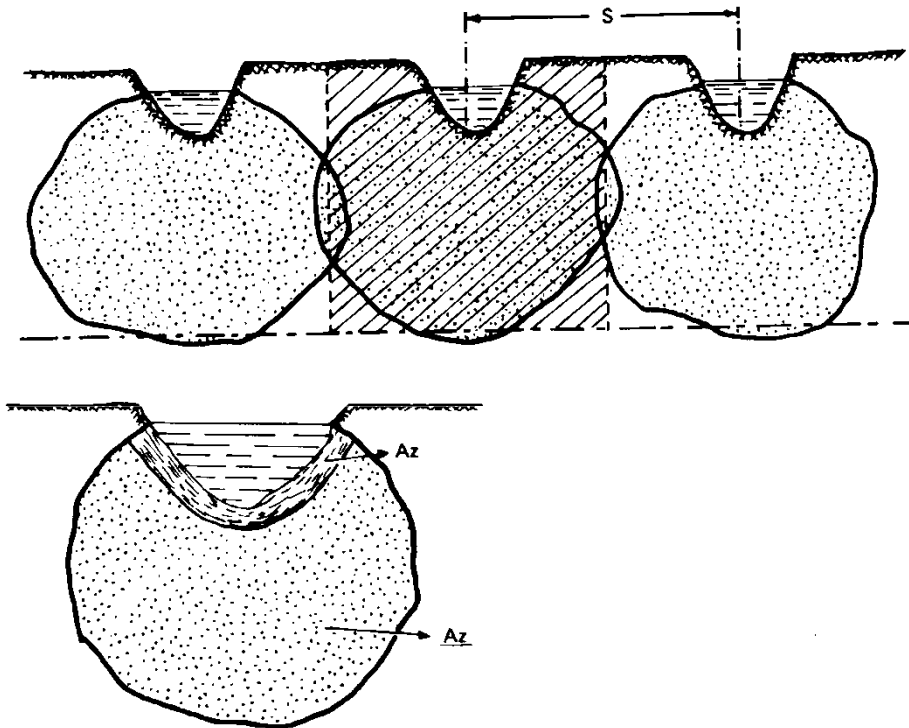
- O solo deve ser homogêneo ao longo do comprimento do sulco (textura);
- Necessita grandes vazões para evitar desuniformidade na lâmina de irrigação aplicada ao longo do sulco;
- Não exige água limpa;
- Não é afetado pelo vento;

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

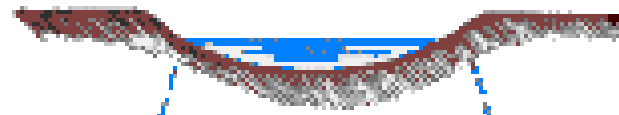
**75 a 100 cm** é função do espaçamento entre linhas,  
tipo de solo e maquinário



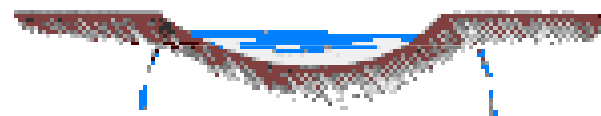
# Espaçamento entre sulcos.



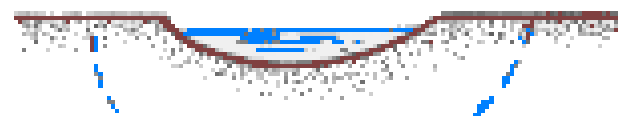




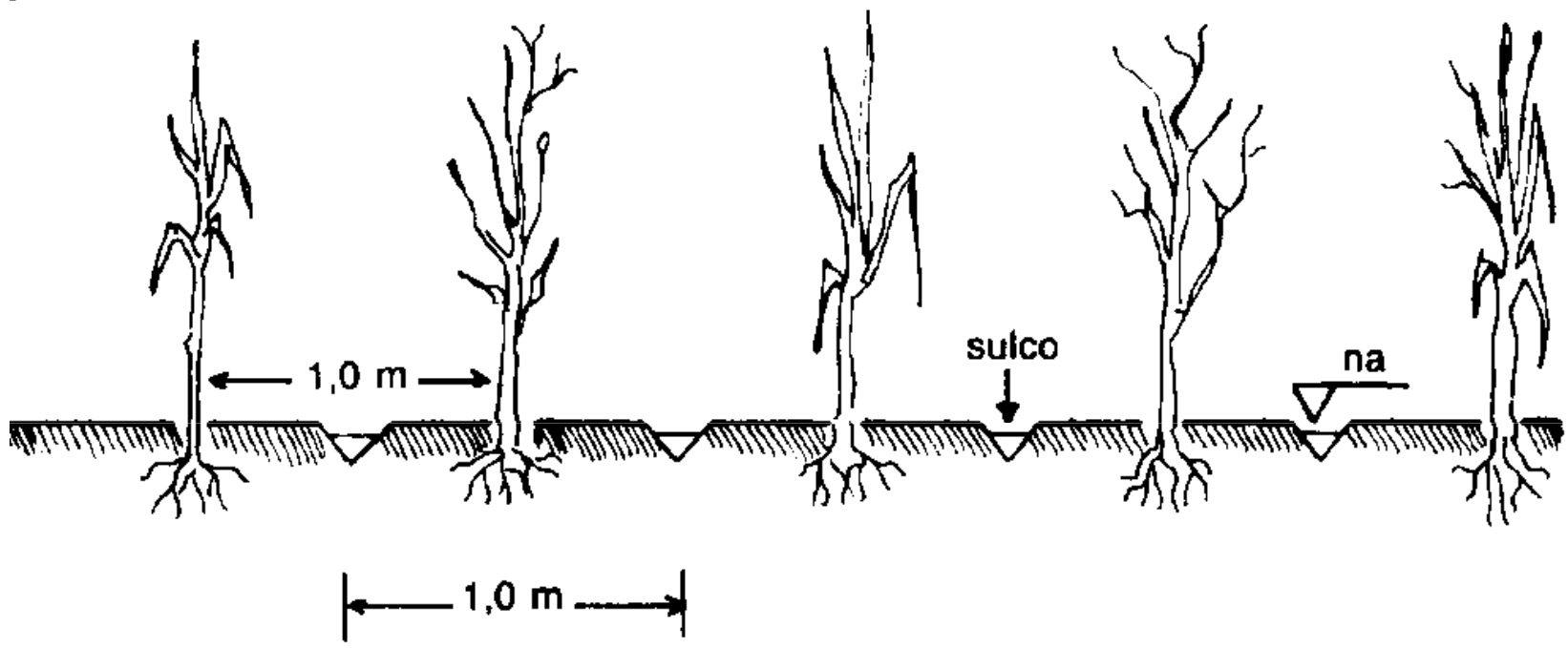
Arenoso

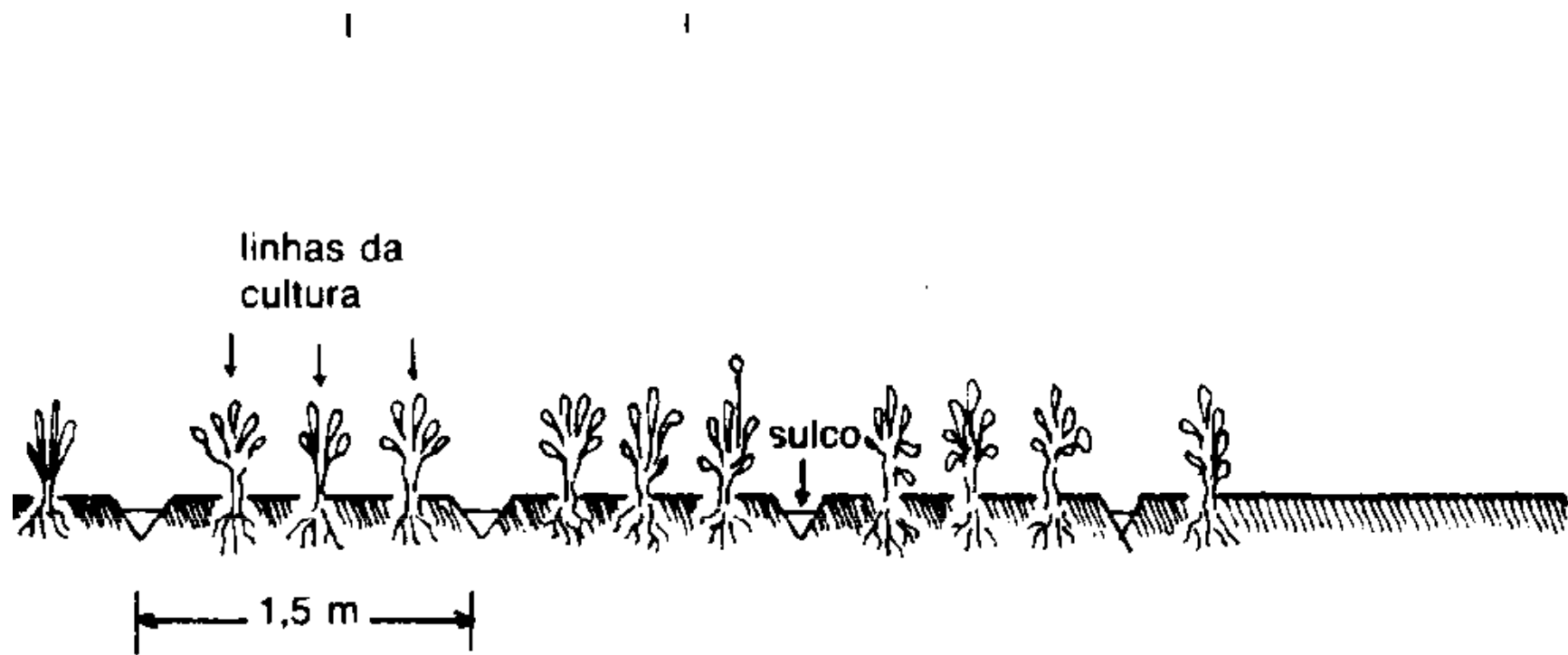


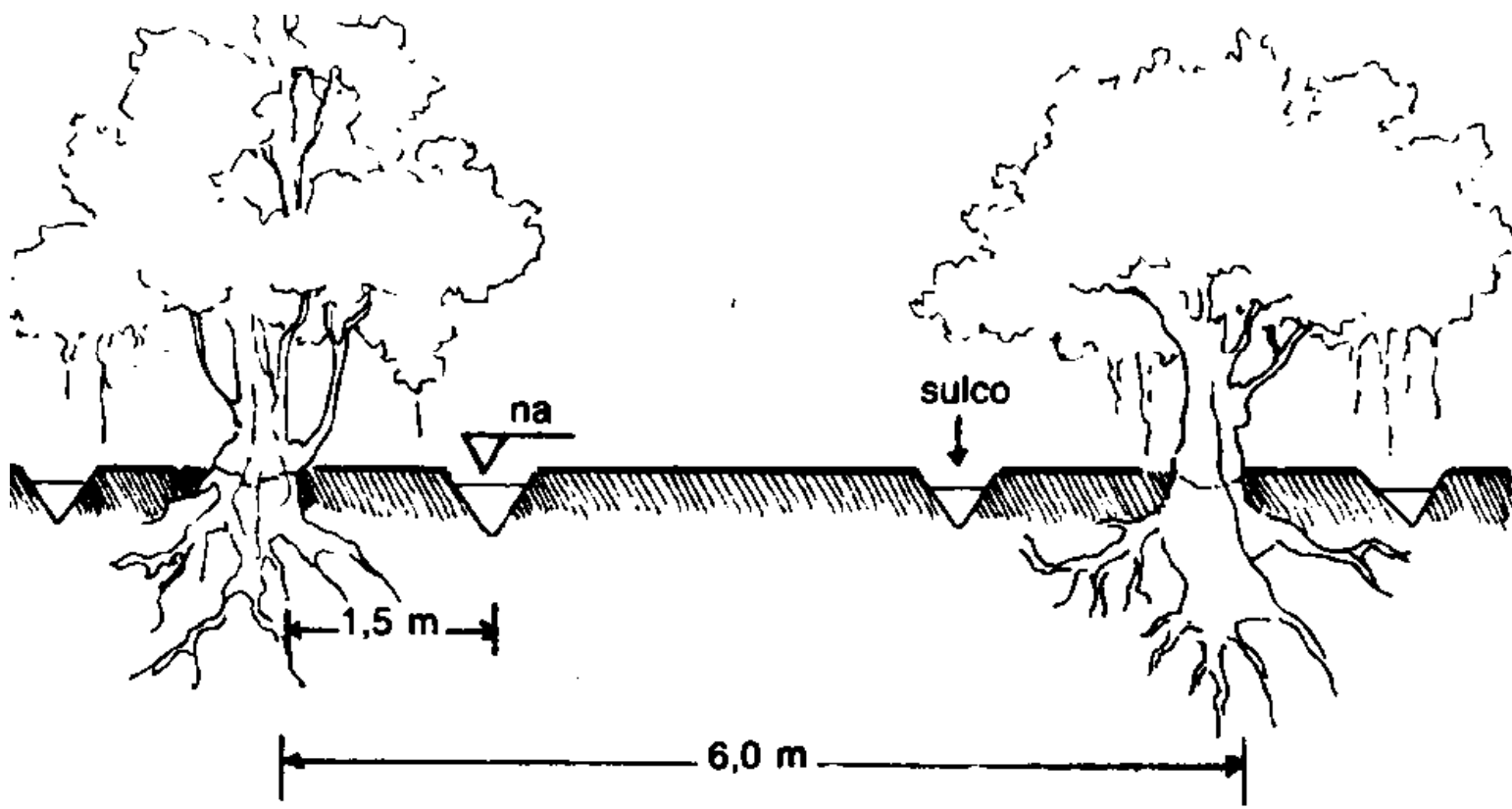
Médio



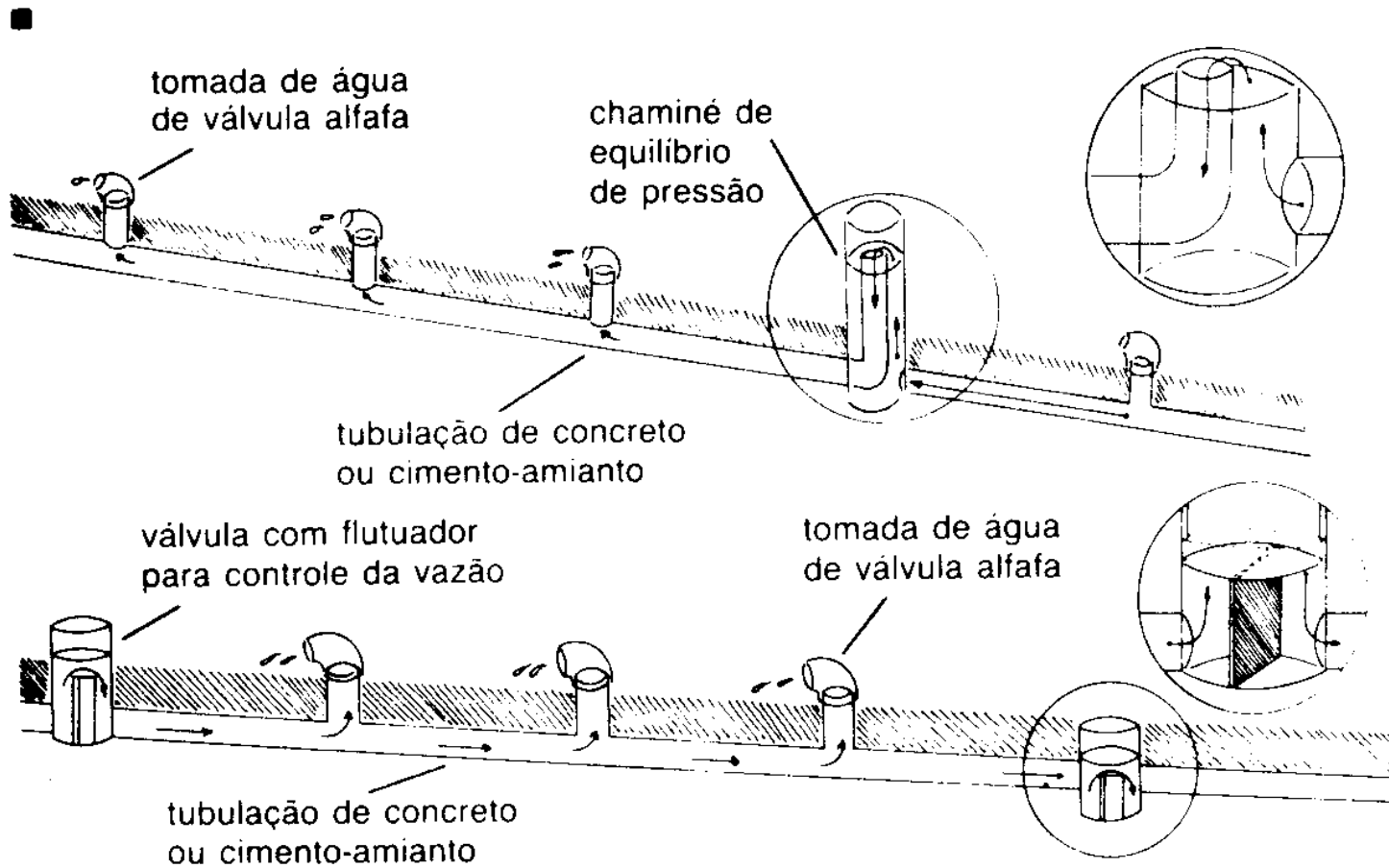
Argiloso







- Distribuição de água:







## 4. FASES DA IRRIGAÇÃO POR SULCOS

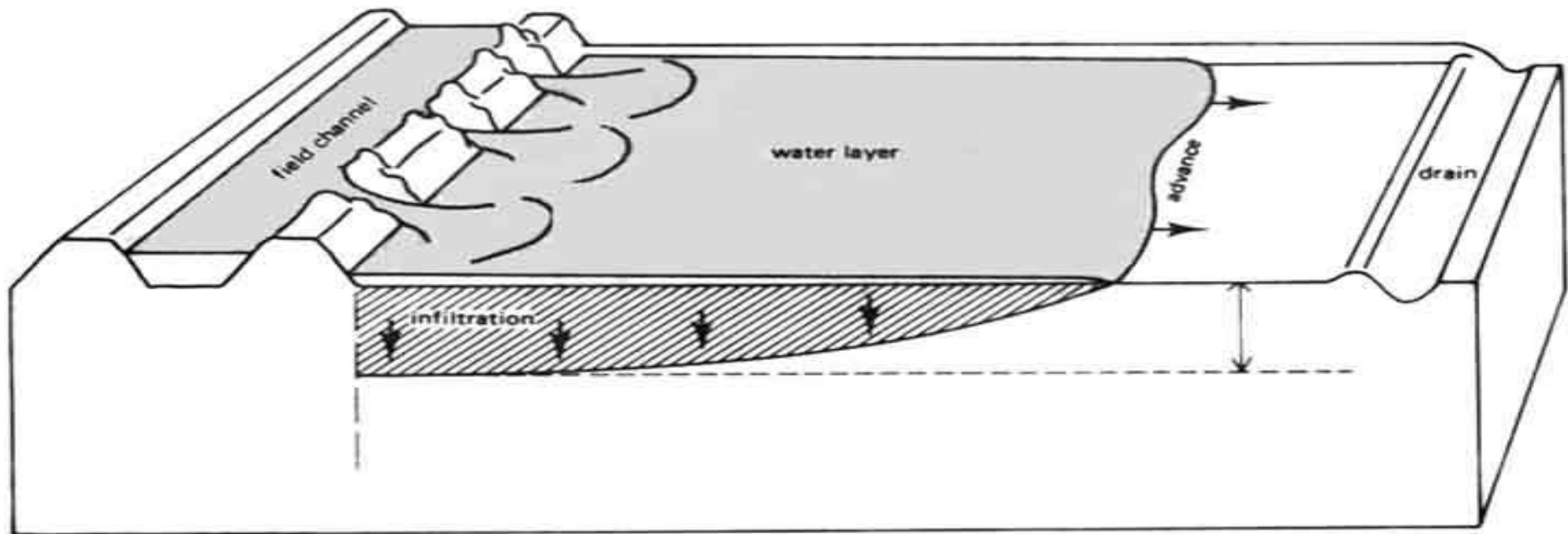
**FASE DE AVANÇO:** Esta fase começa com a entrada de água no início do sulco e termina quando a água chega ao final do sulco.

**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.

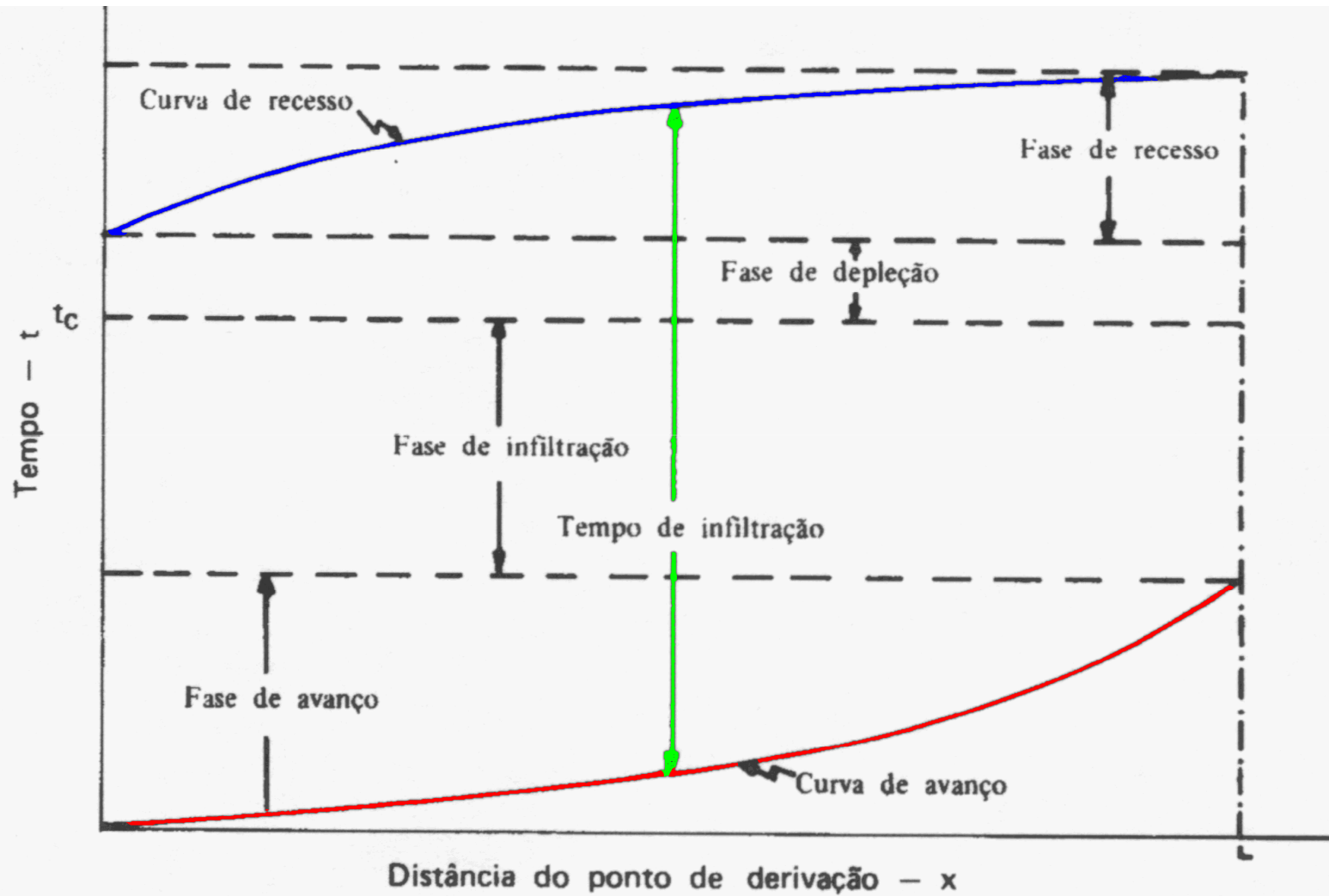
**FASE DE RECESSO:** Após interromper a aplicação de água até cessar todo o escoamento ao final do sulcos.

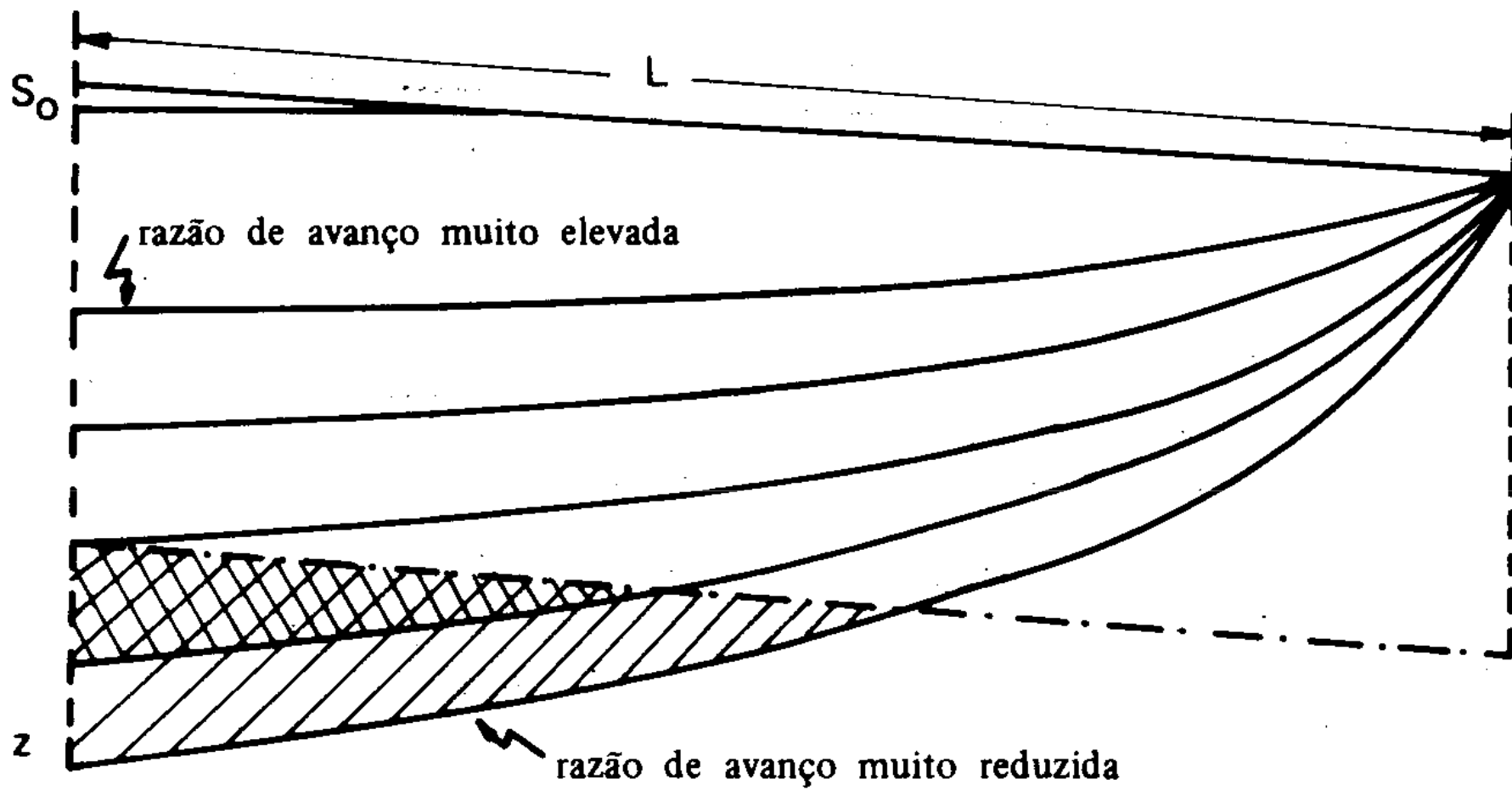


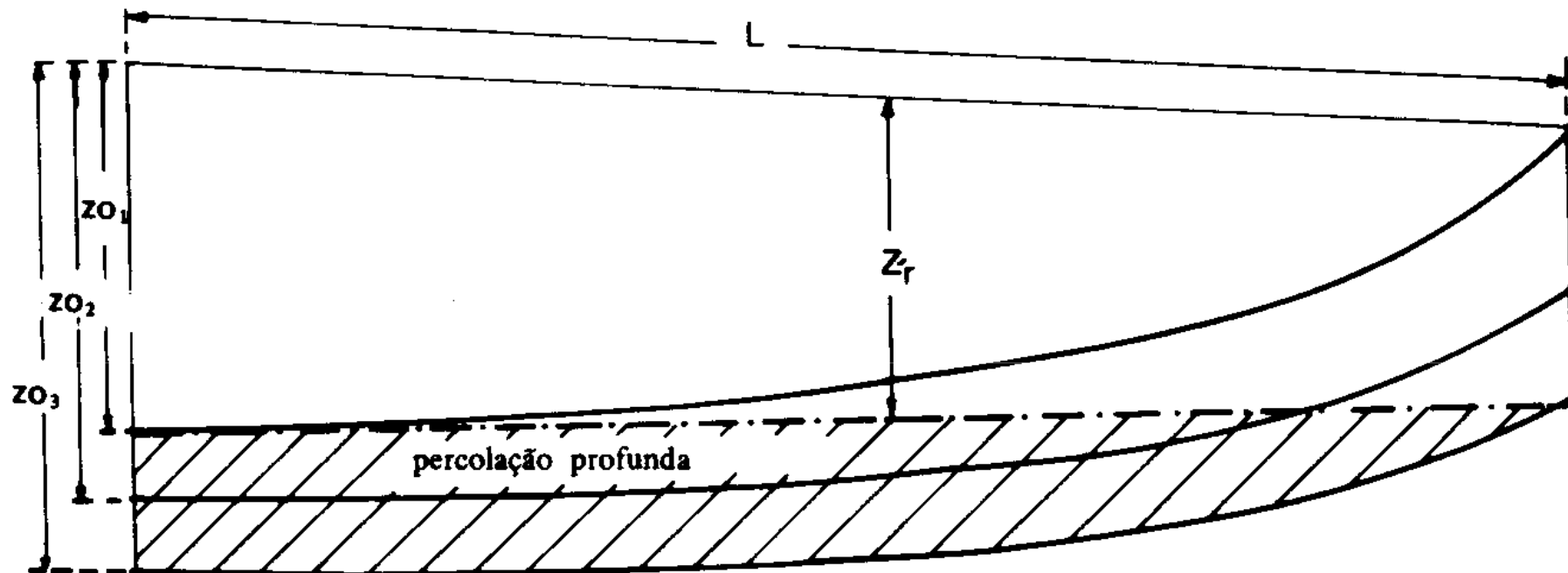
## 4. FASES DA IRRIGAÇÃO POR SULCOS

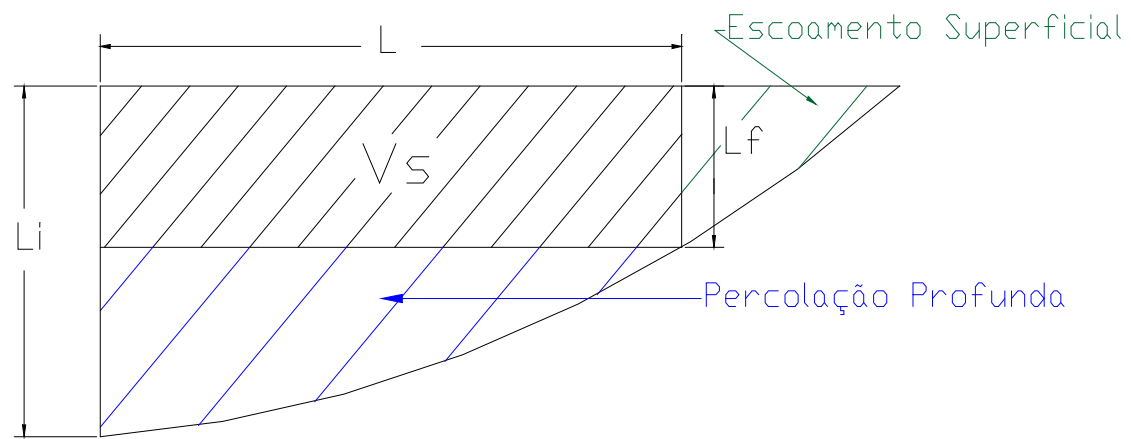
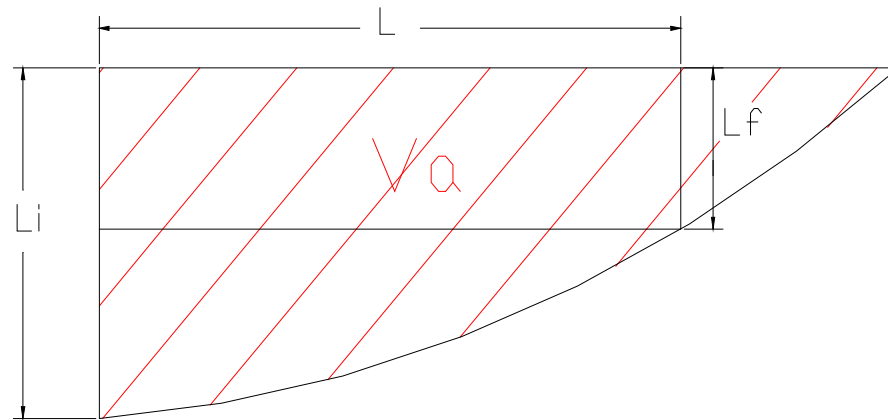


## 4. FASES DA IRRIGAÇÃO POR SULCOS











## 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 → EROSIÃO**

**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:

$$Q_{máx} = \frac{0,631}{S}$$

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

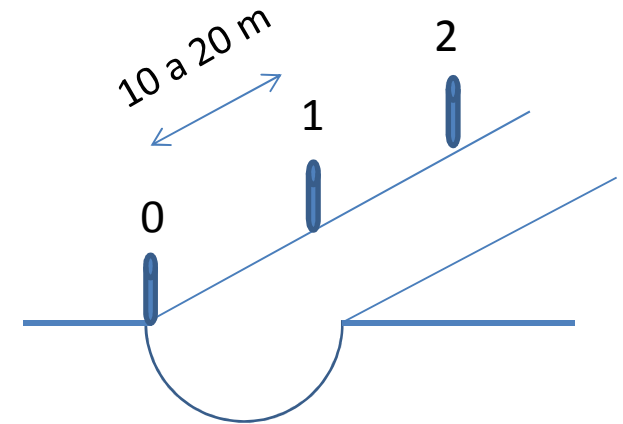
Obtidas no campo antes do projeto.

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

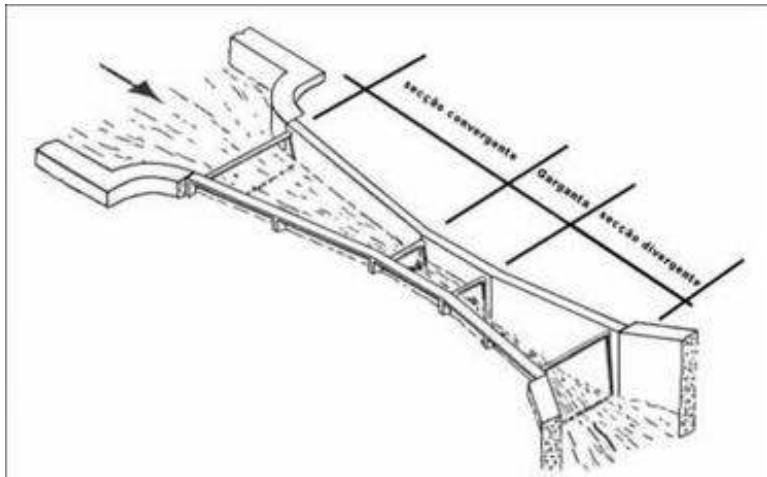
Estaca	L	T	$x = \log T$	$y = \log L$	$x \cdot y$	$x^2$
0	0	0	-	-	-	-
1	20	2	0,30	1,30	0,39	0,09
2	40	5	0,70	1,60	1,12	0,49
3	60	9	0,95	1,78	1,70	0,91
4	80	14	1,15	1,90	2,18	1,31
5	100	21	1,32	2,00	2,64	1,75
6	120	30	1,48	2,08	3,07	2,18
7	140	40	1,60	2,15	3,44	2,57
8	160	53	1,72	2,20	3,80	2,97
9	180	69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

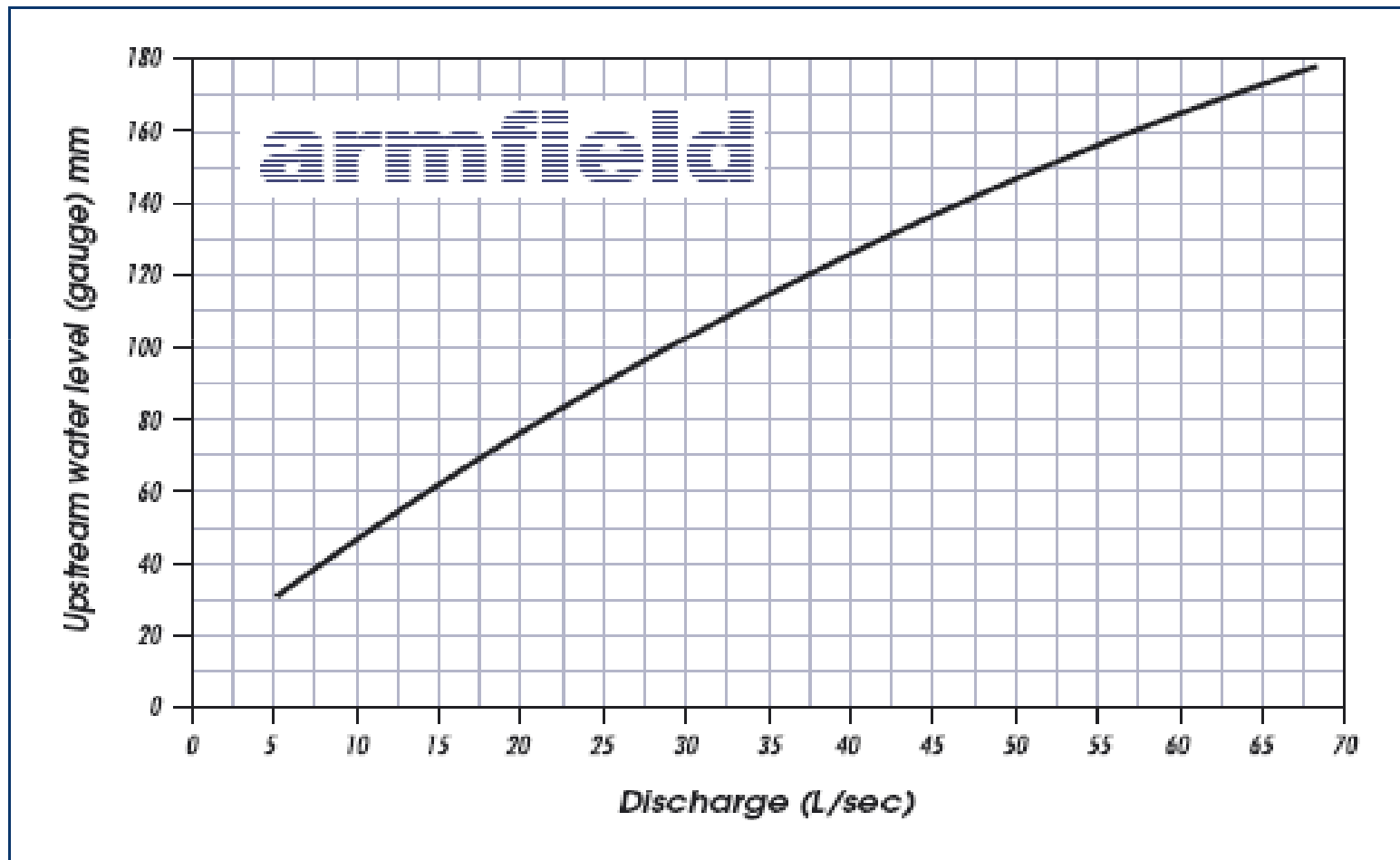


$Q = 1 \text{ L/s}$

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:

$$n = -0,32;$$

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

$$K = 35,23$$

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

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

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

# 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 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.**

$$UD = \frac{Y_{\text{mínima}}}{y_m} \cdot 100$$

# 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)

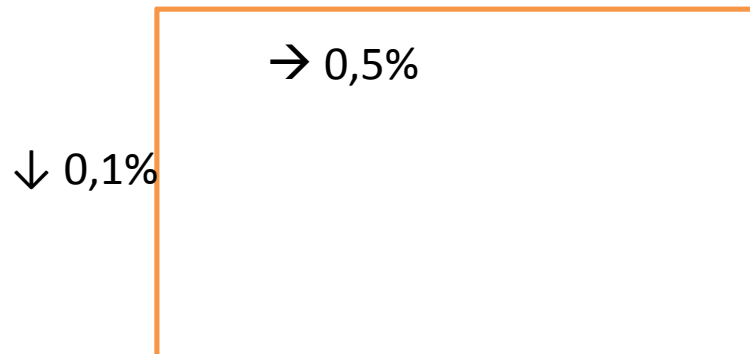
Milho: espaçamento de 1m; z = 50cm; f = 0,5 e  $E_{tm} = 4,2$  mm/dia

Solo:  $U_{cc} = 28\%$ ;  $U_{pmp} = 17\%$ ;  $d_s = 1,4$  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:**  $I = 0,85T^{0,68} = 0,85 \cdot 200^{0,68} = 31,2 \text{ mm}$

**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:

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

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

# Parâmetros da avaliação da irrigação por sulcos

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

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

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