

**PROCEDIMENTO DE CÁLCULO PARA
DIMENSIONAMENTO DE PROJETO DE
IRRIGAÇÃO POR SULCO CONVENCIONAL
(SEM REDUÇÃO DE VAZÃO OU REÚSO)**

Titico de Souza

DADOS NECESSÁRIOS

- Infiltração - primeira irrigação: a , k , f_0
- Infiltração - posteriores irrigações: a_1 , k_1 , f_{0_1}
- Comprimento do campo – L
- Largura do campo – W
- Declividade do campo – S_0
- Rugosidade – η
- Espaçamento entre sulcos – w_f
- Forma do sulco - ρ_1 e ρ_2
- Velocidade máxima não-erosiva – $v_{\text{máx}}$
- Vazão e tempo disponíveis – Q_t e T_t

ETAPAS DE CÁLCULO

- Vazão máxima não-erosiva

$$Q_{m\acute{a}x} = \left[V_{\max}^{\rho_2} \frac{\eta}{60\rho_1 S_0^{0,5}} \right]^{1/(\rho_2-1)}$$

- Número mínimo de sulcos por lote

$$N_{SL} = \frac{Q_T}{Q_{\max}}$$

ETAPAS DE CÁLCULO

- Cálculo do número de sulcos total

$$N_{ST} = \frac{W}{w_f}$$

- ✓ Se N_{SL} for maior que N_{ST} , então $N_{SL} = N_{ST}$, sendo:

$$Q_S = \frac{Q_T}{N_{SL}}$$

- ✓ Onde Q_S é a vazão por sulco ($m^3 \text{ min}^{-1}$).

- Número de lotes

$$N_L = \frac{N_{ST}}{N_{SL}}$$

ETAPAS DE CÁLCULO

- Alternativas de Layout - São obtidas por processo iterativo, do seguinte modo:
 - a. Estabelecer um valor de N_L ;
 - b. Calcular novo N_{SL} a partir da equação:

$$N_{SL} = \frac{N_{ST}}{N_L}$$

- c. Calcular novo valor de Q_S a partir da equação:

$$Q_S = \frac{Q_{ST}}{S_L}$$

- ✓ Se $NL > 1$, retornar ao item a.

ETAPAS DE CÁLCULO

- Cálculo do tempo de avanço - T_L

$$Q_0 T_L = S_Y A_0 X + S_Z k T_L^a X + \frac{f_0 T_L X}{(1+r)}$$

- Cálculo do tempo de infiltração da lâmina requerida

$$Z_r = k T_r^a + f_0 T_r$$

- Cálculo do tempo de irrigação

$$T_{CO} = T_r + T_L$$

- Cálculo da Eficiência de irrigação

$$Ea = \frac{Z_r L}{Q_S T_{CO}} \Rightarrow$$

Esta equação é aplicada para todos os valores calculados de Q_S em função das diferentes alternativas de Layout nas duas condições de infiltração, para a escolha da Ea_{max} .

EXEMPLO – PROJETO DE SULCOS CONVENCIONAIS

- Seja o caso de projetar um sistema de irrigação por sulcos para dois hectares (200 m x 100 m). Uma vazão de 30 L s^{-1} é alocada por 48 horas a cada 10 dias. O solo é do tipo franco-argiloso com declividade de 0,1 % na direção dos 100 metros e 0,8 % na direção dos 200 metros. O espaçamento entre sulcos é de 0,5 metro com 200 metros de comprimento. A forma dos sulcos tem uma secção hidráulica onde ρ_1 é igual a 0,57 e ρ_2 igual a 1,267. Durante a avaliação as características de infiltração foram divididas em duas equações, cujos parâmetros são:
 - 1ª irrigação – $a = 0,388$, $k = 0,00346$ e $f_o = 0,000057$
 - 2ª irrigação – $a_1 = 0,327$, $k_1 = 0,0038$ e $f_{o_1} = 0,000037$
- O coeficiente de Manning usado na avaliação foi de 0,04. A partir dos dados climáticos foi determinado um requerimento igual a 8 cm.

1. DADOS NECESSÁRIOS

1.1. Infiltração:

- 1ª irrigação – $a = 0,388$, $k = 0,00346$ e $f_0 = 0,000057$
- 2ª irrigação – $a_1 = 0,327$, $k_1 = 0,0038$ e $f_{o_1} = 0,000037$

1.2. Comprimento do campo (L) = 200 m

1.3. Largura do campo (W) = 100 m

1.4. Declividade do campo: 100 m: $S_0 = 0,1\%$ e 200 m: $S_0 = 0,8\%$

1.5. Rugosidade (η) = 0,04

1.6. Espaçamento entre sulcos (w_f) = 0,5 m

1.7. Forma do sulco: $\rho_1 = 0,57$ e $\rho_2 = 1,367$

1.8. Velocidade máxima não-erosiva ($v_{m\acute{a}x}$) = 13 m min⁻¹

1.9. Vazão disponível (Q_t) = 30 L s⁻¹

1.10. Tempo disponível (T_t) = 48 h

2. PROCEDIMENTO DE CÁLCULO

2.1. Cálculo da vazão máxima não-erosiva

- Aplicando a [Equação Correspondente](#):

$$Q_{\max} = 0,1169 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1}$$

2.2. Número mínimo de sulcos por lote

- Aplicando a [Equação Correspondente](#):

$$N_{\text{SL}} = 15,39 \text{ sulcos}$$

- ✓ Como o valor de N_{SL} não é inteiro, deve-se estabelecer:

$$N_{\text{SL}} = 20 \text{ sulcos}$$

2. PROCEDIMENTO DE CÁLCULO

2.3. Cálculo do número total de sulcos

- Aplicando a *Equação Correspondente*:

$$N_{ST} = 200 \text{ sulcos}$$

2.4. Cálculo do Q_S

- Aplicando a *Equação Correspondente*:

$$Q_S = 0,09 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1}$$

2.5. Cálculo do número de lotes

- Aplicando a *Equação Correspondente*:

$$N_L = 10 \text{ lotes}$$

2. PROCEDIMENTO DE CÁLCULO

2.6. Layout - Processo iterativo

- Aplicando as *Equações Correspondentes*:

N_L	N_{SL}	Q_S (m ³ min ⁻¹)
10	20	0,091
8	25	0,072
5	40	0,045
4	50	0,036
2	100	0,018
1	200	0,009

2. PROCEDIMENTO DE CÁLCULO

Temos, então, seis opções de Layout do campo, com os extremos:

- Dividir o campo em 10 lotes com 20 sulcos cada com cada sulco sendo irrigado com $Q_S = 0,091 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1}$;
- Fazer um único lote de 200 sulcos irrigando com $Q_S = 0,009 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1}$

Quais os possíveis problemas:

- Não podemos dizer qual é a melhor das seis opções: em que caso a E_a será maximizada?
- O avanço será completado em um tempo ótimo para todos os valores de Q_S ?

2. PROCEDIMENTO DE CÁLCULO

- Da equação da Ea

$$Ea = \frac{Z_r L}{Q_s T_{CO}}$$

- ✓ Conhecemos $Z_r = Z_n \cdot w_f = 0,08 \text{ m} \cdot 0,5 \text{ m} = 0,04 \text{ m}^3 \text{ m}^{-1}$;
- ✓ Conhecemos, também, os valores de Q_s (Tabela anterior);
- ✓ É preciso, então, calcular:
 - Os valores de T_L ;
 - Os valores de T_r ; e,
 - Os valores correspondentes de T_{CO} .

2. PROCEDIMENTO DE CÁLCULO

- Digamos que exista um procedimento de cálculo que permita determinar os valores de T_L , para cada Q_S , em cada situação de infiltração, pela equação abaixo:

$$Q_0 T_L = S_Y A_0 X + S_Z k T_L^a X + \frac{f_0 T_L X}{(1+r)}$$

- Este procedimento de cálculo é um pouco complexo. Além do mais, existe um procedimento de cálculo, também um pouco complexo, para determinar o tempo de infiltração da lâmina requerida (T_r), para cada situação de infiltração, pela equação abaixo:

$$Z_r = k T_r^a + f_0 T_r$$

2. PROCEDIMENTO DE CÁLCULO

2.7. Cálculo do tempo de avanço

- Existe o procedimento de cálculo de T_L referido anteriormente, mas iremos apenas supor, neste momento, que ele foi utilizado para a equação do balanço de volume, gerando a seguinte informação:

N_L	Q_S (m ³ min ⁻¹)	T_{L_1} (min ⁻¹)	T_{L_2} (min ⁻¹)
10	0,091	58,0	*
8	0,072	72,6	*
5	0,045	130,8	101,4
4	0,036	184,2	132,6
2	0,018	847,8	379,2
1	0,009	*	2.390,4

2. PROCEDIMENTO DE CÁLCULO

2.8. Cálculo do tempo de infiltração da lâmina requerida

- Usando a equação de Kostiaikov-Lewis para os dois casos de infiltração:
 - 1ª irrigação - $T_r = 214$ min
 - 2ª irrigação - $T_r = 371$ min
- Cálculo do tempo de irrigação ou tempo de corte

$$T_{CO} = T_r + T_L$$

- ✓ *Usando a equação acima obtêm-se os valores de T_{CO} para cada layout (para cada vazão).*

2. PROCEDIMENTO DE CÁLCULO

2.8. Cálculo do tempo de infiltração da lâmina requerida

N_L	Q_S (m ³ min ⁻¹)	T_{CO_1} (min ⁻¹)	T_{CO_2} (min ⁻¹)
10	0,091	272,0	*
8	0,072	286,6	*
5	0,045	344,8	472,4
4	0,036	398,2	506,3
2	0,018	1,061,8	750,2
1	0,009	*	2.761,4

2. PROCEDIMENTO DE CÁLCULO

2.9. Cálculo da eficiência de irrigação

- Usando a equação da eficiência de irrigação:

$$Ea = \frac{Z_r L}{Q_s T_{CO}}$$

- ✓ *Para cada valor de T_{CO} e Q_s da tabela anterior e, fazendo o comprimento do sulco igual a 200 metros e $Z_r = 0,04 \text{ m}^3 \text{ m}^{-1}$. Os resultados de Ea estão na tabela seguinte:*

2. PROCEDIMENTO DE CÁLCULO

2.9. Cálculo da eficiência de irrigação

N_L	Q_S (m ³ min ⁻¹)	T_{CO_1} (min ⁻¹)	T_{CO_2} (min ⁻¹)	Ea_1 (%)	Ea_p (%)
10	0,091	272,0	*	32,6	*
8	0,072	286,6	*	38,7	*
5	0,045	344,8	472,4	51,5	37,6
4	0,036	398,2	506,3	55,8	44,1
2	0,018	1.061,8	750,2	41,8	59,2
1	0,009	*	2.761,4	*	32,2

3. CONCLUSÕES

- Há cinco configurações possíveis para o layout nas condições da primeira irrigação e quatro para as posteriores;
- A eficiência máxima é de 55,8 % para a primeira irrigação e 59,9 % para as posteriores ([Tabela de eficiência de irrigação](#));
- As opções de manejo para a maximização da eficiência serão:
 - 1ª irrigação - Dividir o campo em quatro lotes de 50 sulcos irrigando-os com uma vazão de $0,036 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1}$ durante um tempo de, aproximadamente, 400 minutos (6 h e 40 min);
 - Irrigações posteriores - Irrigar dois lotes de 100 sulcos com vazão de $0,018 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1}$ durante um tempo de 750 minutos (12 h e 30 min).

Obrigado!