



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS - ICA**

RESUMO DAS AULAS

DISCIPLINA: IRRIGAÇÃO E DRENAGEM



Prof. Dr. Rodrigo Otávio Rodrigues de Melo Souza

Março/2010
Belém-PA

SUMÁRIO

DISCIPLINA: Objetivo, conteúdo, avaliações e bibliografia	05
1 INTRODUÇÃO	07
2 ÁGUA NO SOLO	13
3 INFILTRAÇÃO DA ÁGUA NO SOLO	27
4 DEMANDA HÍDRICA	35
5 IRRIGAÇÃO POR SUPERFÍCIE	41
6 IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO	57
7 IRRIGAÇÃO LOCALIZADA	97
8 DRENAGEM AGRÍCOLA	113
ANEXOS	139
1ª LISTA DE EXERCÍCIOS	141
2ª LISTA DE EXERCÍCIOS	145
EXERCÍCIO: Projeto de aspersão convencional	151

DISCIPLINA: Irrigação e Drenagem
Prof. Rodrigo Otávio Rodrigues de Melo Souza

OBJETIVOS:

- Capacitar os participantes a manejar a água em agroecossistemas, visando beneficiar a produção vegetal;
- Habilitar os participantes a elaborar projetos de drenagem e de irrigação e avaliar a eficiência de projetos em operação.

CONTEÚDO:

- 1.INTRODUÇÃO
- 2.ÁGUA NO SOLO
- 3.INFILTRAÇÃO D'ÁGUA NO SOLO
- 4.NECESSIDADE DE IRRIGAÇÃO
- 5 IRRIGAÇÃO POR SUPERFÍCIE
- 6 IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO
- 7 IRRIGAÇÃO LOCALIZADA
- 8 DRENAGEM AGRÍCOLA

AVALIAÇÕES

Avaliações			
	A	B	C
1/1 NAP 1º NPC	19/04	28/04	20/04
2/1 NAP 2º NPC	07/06	09/06	08/06
2 NAP	17/05	19/05	18/05
	60% -Projeto em sala 30% - Projeto no campo 10% - Exercícios		

LEMBRETES

- Frequência mínima a 75% das aulas;
- Respeito ao horário de início e término das aulas;
- Não perturbar o ambiente;
- Respeitar datas de entrega de exercícios e relatórios;
- Perder avaliação implica em ficar com nota zero;
- Desligar celulares.

BIBLIOGRAFIA:

- Manual de Irrigação, Salassier Bernardo
- Os Métodos de Irrigação, F. L. Olitta
- Drenagem na Agricultura, D. E. Crucciane
- Irrigação, Vol. 1 e 2. SBEA.

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

Prof. Rodrigo Souza

1 INTRODUÇÃO

1.1 Conceitos

- Irrigação é uma técnica que consiste em aplicar a quantidade de água necessária ao solo nos momentos adequados, para que a espécie vegetal cultivada possa expressar todo seu potencial produtivo;
- Drenagem é uma técnica que permite controlar o excesso de água eventualmente presente no solo, para permitir o processo de aeração, a movimentação de máquinas e evitar a salinização.

1.2 Importância da irrigação

- Área irrigada: 4,8%
- Responsável por 16% da produção agrícola total
- O que representa 35% do valor da produção
- O Brasil tem potencial para irrigar 30 milhões de hectares

1.3 Vantagens e limitações da irrigação

- Vantagens:

Garantia de produção - com a instalação de um sistema de irrigação adequado, você não ficará mais na dependência das chuvas.

Diminuição dos riscos - após todos os investimentos na preparação do solo, na compra de sementes, na aplicação de corretivos e adubos, você não correrá o risco de ver tudo perdido por falta de água.

Colheita na entressafra - a irrigação possibilita obter colheitas fora de época de safra, o que resulta em remuneração extra e abastecimento regular do mercado consumidor.

Aumento de Produtividade - com todos os fatores do processo produtivo devidamente equilibrados, o uso da irrigação, além de garantir a produção, possibilitará, também um aumento dos rendimentos.

Fertirrigação - possibilita a aplicação de adubo por meio da água de irrigação, substituindo a adubação convencional por meio de tratores, reduzindo o consumo de óleo, desgaste de máquina e o emprego de mão de obra.

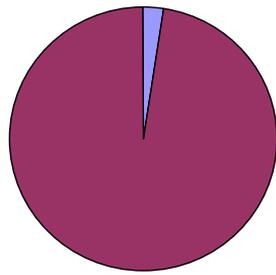
- Limitações:

Alto custo inicial

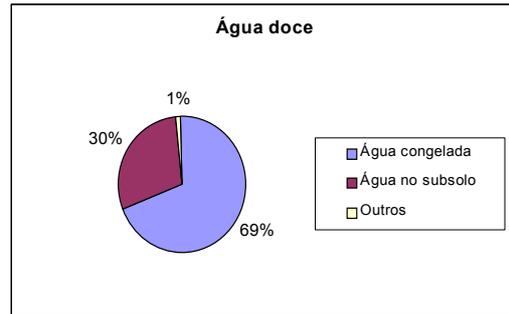
Falta de mão de obra especializada, o agricultor deve ser orientado para saber a diferença entre irrigar e molhar.

1.4 Recursos Hídricos

2,5% de Água doce

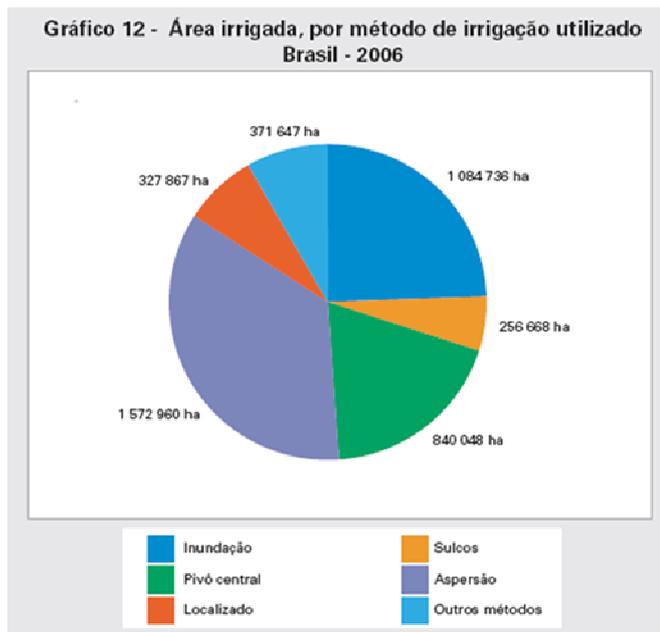


97,5% de água salgada



APENAS 0,3% SÃO RIOS, RESERVATÓRIOS E LAGOS

1.5 Área irrigada



Fonte: IBGE, Censo Agropecuário 2006.

NORTE – 107.789 ha

NORDESTE - 985.348 ha

SUDESTE – 1.586.744 ha

SUL - 1.224.578 ha

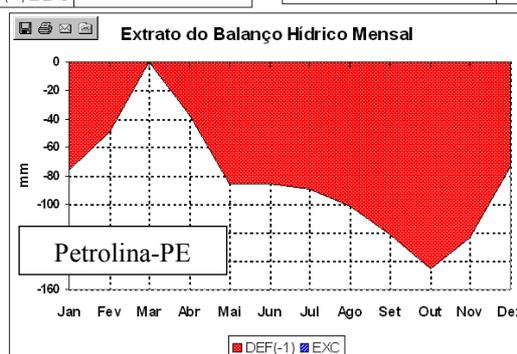
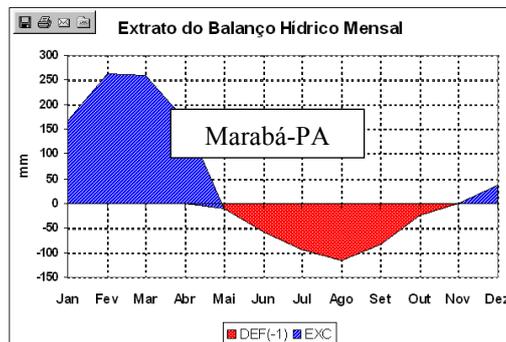
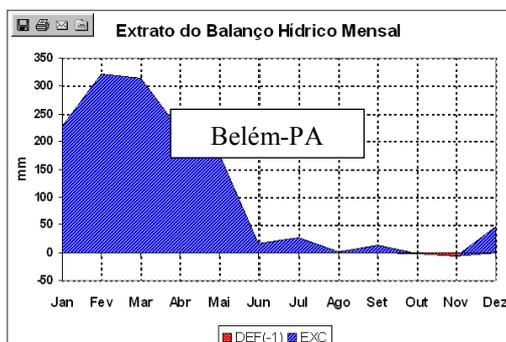
**CENTRO-OESTE
- 549.466 ha**

TOTAL – 4.453.925 ha

Censo Agropecuário 2006.

Grandes Regiões e Unidades da Federação	Total (1)	
	Estabele- cimentos	Área (ha)
Brasil	329 066	4 453 925
Norte	11 733	107 789
Rondônia	2 700	14 130
Acre	644	1 454
Amazonas	1 366	6 133
Roraima	369	12 996
Pará	4 804	29 333
Amapá	251	2 404
Tocantins	1 599	41 340

1.6 Onde irrigar?



1.7 Métodos de Irrigação



1.7.1 Irrigação por Aspersão



1.7.2 Irrigação por Superfície



1.7.3 Irrigação Localizada



1.8 Drenagem Agrícola





CAPÍTULO 2

ÁGUA NO SOLO

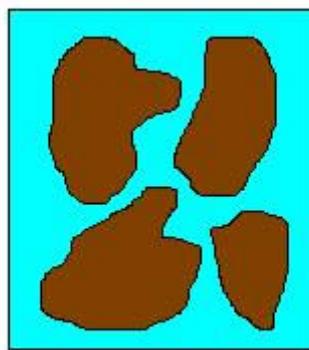
Prof. Rodrigo Souza

2 ÁGUA NO SOLO

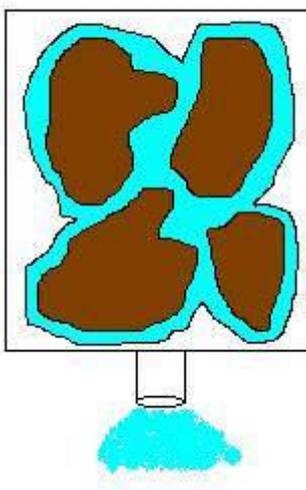
2.1 Retenção da água pelos solos

- Matriz do solo: Parte sólida que consiste principalmente de partículas minerais e substâncias orgânicas
- Poros do solo: Parte não ocupada pela matriz

Solo Saturado



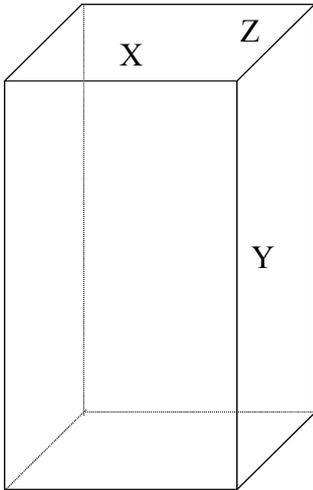
Solo não saturado



- Dois processos explicam a retenção de água pelos solos:
 - Capilaridade: a retenção de água ocorre nos microporos dos agregados

- Adsorção: a retenção ocorre nas superfícies dos sólidos do solo como filmes
- Forças mátricas: força capilar + forças de adsorção

2.2 Cálculo da água o solo



$$V = x.y.z$$

$$V = V_s + V_p$$

V_s – volume de sólidos

V_p – volume de poros

$$V_p = V_a + V_{ar}$$

V_a – volume de água

V_{ar} – volume de ar

$$V = V_s + V_a + V_{ar}$$

Da mesma forma:

$$m = m_s + m_a + m_{ar}$$

m – massa

Desprezando-se m_{ar} :

$$m = m_s + m_a$$

2.2.1 Densidade dos sólidos

$$\rho_s = \frac{m_s}{V_s}$$

Unidades: kg/m^3 ou g/cm^3

Solo mineral médio : 2650 kg/m^3

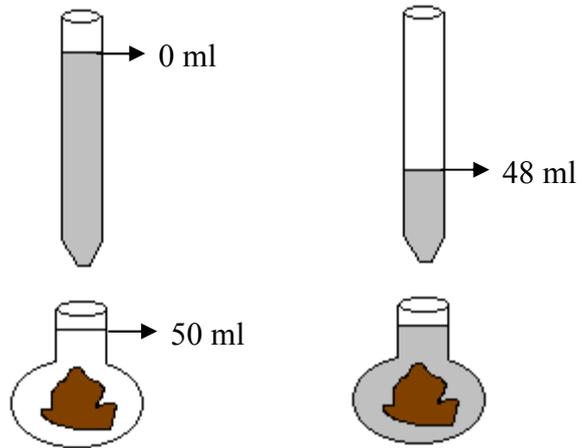
Exemplo: Determinar ρ_s (método do álcool):

Volume da bureta = $50 \text{ ml} = 50 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$

Volume do balão volumétrico = $50 \text{ ml} = 50 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$

$m_s = 5,4\text{g} = 5,4 \cdot 10^{-3} \text{ kg}$

Leitura da bureta = $48 \text{ ml} = 48 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$



$$\rho_s = \frac{m_s}{V_s} = \frac{5,4 \cdot 10^{-3}}{(50 - 48) \cdot 10^{-6}} = 2700 \text{ kg/m}^3$$

2.2.2 Densidade do solo

$$\rho = \frac{m_s}{V}$$

Unidades: kg/m^3 ou g/cm^3

Exemplo: Coletou-se uma amostra indeformada de solo num anel volumétrico c/ 7,5 cm de diâmetro e 7,5 cm de altura. Após a coleta a amostra foi colocada numa estufa à 105°C. Posteriormente verificou-se que a massa da amostra permaneceu constante e igual a 0,458 kg. Qual é o valor da densidade do solo?

Resposta: $\rho = 1384 \text{ kg/m}^3$

2.2.3 Porosidade do solo (α)

$$\alpha = \frac{V_p}{V} = \frac{V_a + V_{ar}}{V} = \frac{V - V_s}{V}$$

$$\alpha(\%) = \left(\frac{V - V_s}{V} \right) \cdot 100$$

$$\alpha(\%) = \left(1 - \frac{\rho}{\rho_s} \right) \cdot 100 \implies \text{DEDUZIR PARA CASA}$$

2.2.4 Porosidade de aeração (Porosidade drenável)

$$\alpha_a = \frac{V_{ar}}{V}$$

- Muito utilizada na drenagem
- Corresponde ao volume de água drenado e ao rebaixamento do lençol freático

2.2.5 Umidade do solo (à base de massa)

$$U = \frac{m_a}{m_s} = \frac{m - m_s}{m_s}$$

- Unidades: kg/kg, g/g ou %

$$U(\%) = \left(\frac{m - m_s}{m_s} \right) \cdot 100$$

2.2.6 Umidade do solo (à base de volume)

$$\theta = \frac{V_a}{V}$$

- Unidades: m³/m³, cm³/cm³ ou %

$$\theta(\%) = \frac{V_a}{V} \cdot 100$$

$$\theta(\%) = \frac{m - m_s}{\rho_a \cdot V} \cdot 100$$

$$\theta = \frac{\rho}{\rho_a} \cdot U \Rightarrow \rho_{relativa} = \frac{\theta}{U} \Rightarrow \text{DEDUZIR PARA CASA}$$

Exemplo:

- *anel volumétrico: 2.10⁻⁴ m³*

- *m = 0,322 kg*

- *m_s = 0,281 kg*

- $\rho_s = 2700 \text{ kg/m}^3$

- **Determinar: Densidade do solo, umidade com base em massa e umidade com base em volume.**

Resposta: $\rho = 1405 \text{ kg/m}^3$; $U=14,5\%$; $\theta=20,5\%$

Exemplo:

- **Anel metálico: diâmetro = 5cm e altura = 5 cm**

- **massa do anel = 82,5 g**

- **Anel + solo úmido = 224,85g**

- **Anel + solo seco = 193,55g**

- **Determinar: Densidade do solo, umidade com base em massa e umidade com base em volume.**

Resposta: $\rho = 1,13 \text{ g/cm}^3$; $U=28\%$; $\theta=31\%$

2.2.7 Métodos de Determinação da umidade do solo

A determinação da umidade atual do solo é de fundamental importância no manejo da irrigação. Muitos são os métodos disponíveis para esta determinação, cada qual com suas vantagens e desvantagens. A escolha de qual método utilizar, dependerá da finalidade da determinação (pesquisa ou prática), disponibilidade financeira, grau de instrução da mão de obra disponível, grandeza do empreendimento, precisão desejada, tempo de resposta necessário, sensibilidade da cultura ao déficit hídrico etc.

Os principais métodos podem ser separados diretos e indiretos.

- Método direto: - Método gravimétrico
- Métodos indiretos: - Método dos blocos de resistência elétrica
 - Método do tensiômetro
 - Método da moderação de nêutrons
 - Reflectometria no domínio do tempo

Método gravimétrico (padrão)

- Bastante preciso
- Exige balança e estufa
- Só fornece o resultado 24 horas depois

Procedimento:

- Retirar a amostra da profundidade desejada
- Colocar em recipiente fechado
- Determinar a massa do conjunto (amostra + recipiente)
- Abrir o recipiente e lavá-lo para a estufa (105°C) durante 24 horas
- Pesar o conjunto com a amostra seca



Exemplo:

- massa recipiente + amostra úmida = 230 g
- massa recipiente + amostra seca = 205 g
- massa recipiente = 110 g
- **Determinar a umidade com base em massa (U).**

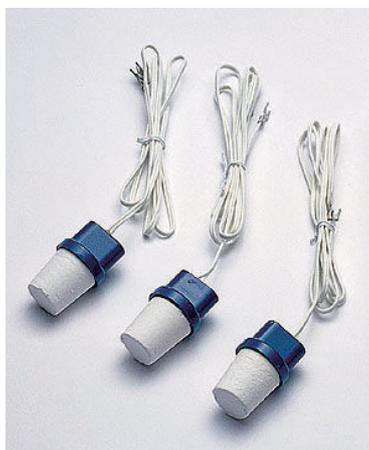
Resposta: $U = 26,32\%$

Método dos blocos de resistência elétrica

- Baseado na medida da resistência elétrica do solo
- Praticidade e rapidez
- Bloco de gesso, nylon ou fibra de vidro
- A resistência elétrica do solo varia com o seu conteúdo de água

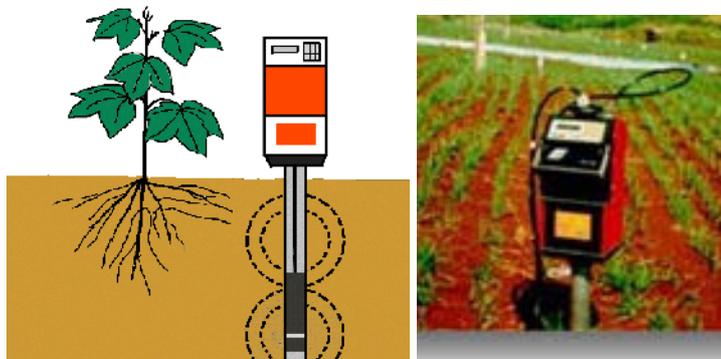
\uparrow úmido \Rightarrow \downarrow Resistência

- A solução no interior do bloco entra em equilíbrio com a solução do solo
- Necessita de calibração



Método da moderação de nêutrons

- Os nêutrons emitidos por uma fonte são moderados pela água do solo
- Moderação de nêutrons: redução da energia, nêutrons rápidos para nêutrons lentos
- O átomo de hidrogênio da água tem capacidade de atenuar a energia cinética dos nêutrons rápidos
- Equipamento utilizado: sonda de nêutrons (fonte, detector de nêutrons e medidor portátil)
- Deve ser instalado em um tubo de alumínio ou aço no solo
- Introduz-se a sonda até a profundidade desejada
- Nêutrons rápidos são emitidos, colidem com átomos de hidrogênio e são reduzidos p/ nêutrons moderados, os quais são detectados pela sonda
- Quanto mais úmido o solo maior a contagem de nêutrons moderados
- Existe uma relação entre a umidade do solo e a contagem de nêutrons moderados, portanto é necessário a calibração para cada condição
- Custo elevado



TDR – Reflectometria no domínio do tempo

- Método não destrutivo
- Rápido e preciso
- A velocidade de propagação de uma onda de energia em hastes paralelas inseridas no solo é dependente do conteúdo de água no mesmo
- O equipamento mede o tempo para um pulso ir do começo ao final de uma haste inserida no solo
- Com o osciloscópio faz-se a medida do tempo
- Necessita de calibração local
- Custo elevado



Técnicas Tensiométricas

- Tensiômetros são equipamentos que medem a tensão ("força") com que a água é retida pelo solo, a qual afeta diretamente a absorção de água pelas plantas. São disponíveis com manômetro metálico ou de mercúrio. Os metálicos são de mais fácil instalação e manutenção e mais seguros do ponto de vista ambiental. As unidades de medida podem ser em kPa, cbar, mmHg e cmH₂O
- O tensiômetro consiste em um tubo, geralmente de PVC, cheio de água, uma cápsula porosa na base, rolha para vedação da ponta superior do tubo e um elemento sensível, indicador do vácuo existente dentro do aparelho. O elemento sensível pode ser um vacuômetro metálico, de mercúrio ou tensímetro
- A medida que o solo vai perdendo umidade, vai succionando água do tensiômetro por meio da cápsula porosa formando-se vácuo no interior do aparelho, que é registrado pelo elemento sensível indicador do vácuo. Quanto mais água ele perde para o solo, maior o vácuo aumentando a leitura. Por outro lado, quando a umidade do solo aumenta, em virtude de chuva ou irrigação, o fluxo da água via cápsula porosa inverte ou seja, ela passa a ser succionada do solo, caindo a leitura
- Os tensiômetros operam bem até uma tensão de 0,8 atm (bar). Nas tensões maiores ocorre penetração de ar do solo através da cápsula, eliminando o vácuo, inutilizando a instalação.
- Número e local de instalação:
 - a) escolher um local vegetado com a cultura de interesse, de fácil acesso e representativo da área;
 - b) instalar os aparelhos nas entrelinhas de culturas de porte baixo ou na projeção da copa de árvores;
 - c) instalar pelo menos uma "bateria" (preferencialmente duas) em cada área que difere na textura e profundidade do solo, tipo de cultura, declividade ou método de irrigação. Denomina-se "bateria" a instalação de mais de um aparelho no mesmo local, porém, a diferentes profundidades.
- O número de aparelhos por "bateria":
 - a) em plantas jovens instala-se o tensiômetro superficialmente a aprofunda-se o equipamento à medida que se observa o desenvolvimento das raízes;

- b) geralmente utiliza-se apenas um tensiômetro na metade da profundidade efetiva das raízes de plantas com sistemas radicular de até 0,40 m;
- c) para plantas com raízes mais profundas (0,50 - 1,30 m), recomenda-se instalar um aparelho a 1/4 da profundidade efetiva das raízes e outro a 3/4 deste valor. A leitura obtida no primeiro tensiômetro indica o momento oportuno da irrigação e a mais profunda indica as condições de penetração de água.



- Leitura da tensão:

- O tensiômetro com coluna de mercúrio: Neste modelo de tensiômetro a leitura da tensão é realizada através da altura da coluna de mercúrio levando-se em consideração a distância do centro da cápsula porosa até a superfície do solo e também a distância no nível do mercúrio na cuba até a superfície do solo. O valor da tensão pode ser obtido pela expressão 1.

$$P_m = -12,6h + h_1 + h_2 \quad (1)$$

Em que:

h = altura da coluna de mercúrio (cm).

h_1 = distância nível do mercúrio na cuba até a superfície do solo (cm).

h_2 = distância do centro da cápsula até a superfície do solo (cm).

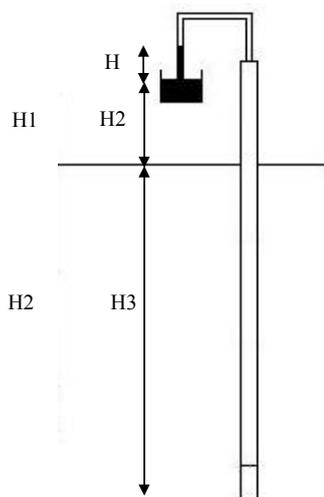
- O tensiômetro com vacuômetro metálico: Neste modelo de tensiômetro a leitura é realizada no ponteiro do vacuômetro, estando geralmente disponível em cmHg ou em kpa. O valor da tensão pode ser obtido pela expressão 2.

$$P_m = -l + 0,098c \quad (2)$$

Em que:

l = leitura em kPa

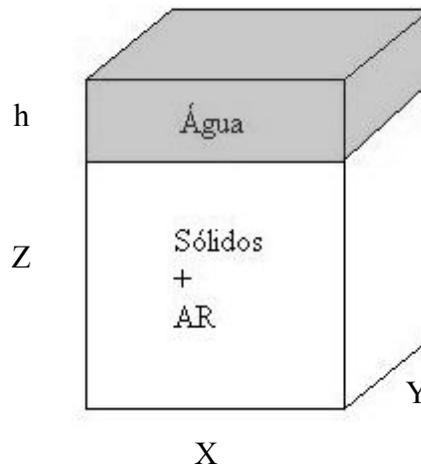
c = distância do centro da cápsula até o vacuômetro (cm)



Exemplo: Determine o potencial matricial com base na leitura do tensiômetro de mercúrio. $H = 20$ cmhg; $H_1 = 5$ cm e $H_2 = 30$ cm.

Resposta: -217 cmca

2.2.8 Armazenamento de água no solo



$$V_a = X \cdot Y \cdot h$$

$$h = \frac{V_a}{X \cdot Y} \text{ (m}^3 \text{ de água) / (m}^2 \text{ de solo)}$$

Lembrando que:

$$\theta = V_a/V = (X \cdot Y \cdot h)/(X \cdot Y \cdot Z) = h/Z$$

Portanto:

$$h = \theta \cdot Z \text{ (m, cm, mm)}$$

Lembrete: $\theta = 0,4 \text{ cm}^3/\text{cm}^3 \quad \Rightarrow \quad 0,4 \text{ cm de água / cm de solo}$

Altura de água armazenada no solo \Rightarrow Lâmina armazenada

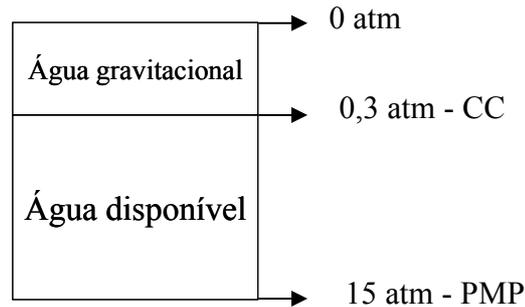
$$h = 1 \text{ mm} = 1 \text{ L/m}^2 = 0,001 \text{ m}^3/\text{m}^2 = 0,001 \text{ m} = 1 \text{ mm}$$

Exemplo: Que altura de água ($\rho_a = 1000 \text{ kg/m}^3$) contém um solo até a profundidade de 1,8 m, se o valor da umidade de todo o perfil é de 0,2 kg/kg e o valor da densidade do solo é de 1500 kg/m³?
Resposta: h = 540 mm

2.2.9 Disponibilidade de água no solo

- Água disponível: quantidade de água que um solo pode armazenar entre a “Capacidade de campo” e o “Ponto de murcha permanente”

TENSÃO NO SOLO



- **Capacidade de campo:** Quantidade de água retida pelo solo depois que o excesso tenha sido drenado e a taxa de movimento descendente tenha decrescido acentuadamente.
- **Ponto de Murcha Permanente:** Conteúdo de água de um determinado solo quando uma planta indicadora, crescendo neste solo, murcha e não se recupera quando colocada em uma câmara úmida (limite inferior de água no solo)

2.2.10 Cálculo de água disponível

- **Disponibilidade total de água (DTA)**

$$DTA = \frac{U_{cc} - U_{pmp}}{10} \cdot \rho$$

Em que:

DTA – mm / cm de solo

U_{cc} – umidade de capacidade de campo com base em massa (%)

U_{pmp} - umidade de ponto de murcha permanente com base em massa (%)

ρ - g/cm^3

- **Capacidade total de água no solo (CTA)**

$$CTA = DTA \cdot Z$$

Em que:

Z – Profundidade efetiva do sistema radicular (cm)

CTA - mm

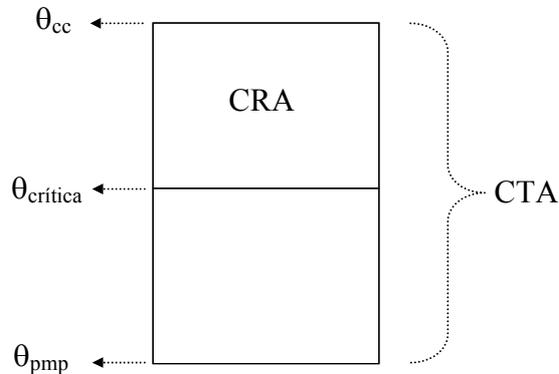
- **Capacidade real de água no solo (CRA)**

$$CRA = CTA \cdot f$$

Em que:

f – fator de disponibilidade (decimal)

CRA - mm



Lembretes: $0 < f < 1$; Quanto menor o “f” mais sensível é a planta a falta de água; $f = 0,35$ significa que utilizaremos apenas 35% da CTA no manejo da irrigação.

Exemplo:

$\theta_{cc} = 35\%$

$\theta_{pmp} = 20\%$

$f = 0,4$

Qual é a umidade crítica? Quanto devo aplicar de água (mm) para elevar a umidade do $\theta_{crítica}$ para o θ_{cc} , considerando um $Z = 60$ cm?

Resposta: $\theta_{crítica} = 29\%$; $h = 36$ mm

- **Irrigação real necessária (IRN)**

Casos $\left\{ \begin{array}{l} \rightarrow \text{Sem considerar chuva: } IRN \leq CRA \\ \rightarrow \text{Considerando a chuva: } IRN \leq CRA - Pe \end{array} \right.$

Pe - Precipitação efetiva (quantidade de água que chegou na zona radicular)

- **Irrigação total necessária (ITN)**

$$ITN = \frac{IRN}{E_a}$$

Em que:

E_a – Eficiência de aplicação de água (decimal)

ITN - mm

Exemplo:

$$U_{cc} = 34\%$$

$$U_{pmp} = 20\%$$

$$f = 0,5$$

$$\rho = 1,25 \text{ g/cm}^3$$

$$Z = 0,5 \text{ m}$$

$$Ea = 75\%$$

S/ chuva

Determine: DTA, CTA, CRA, IRN, ITN

Resposta: 1,75 mm/cm; 87,5 mm; 43,75 mm; 43,75; 58,3 mm

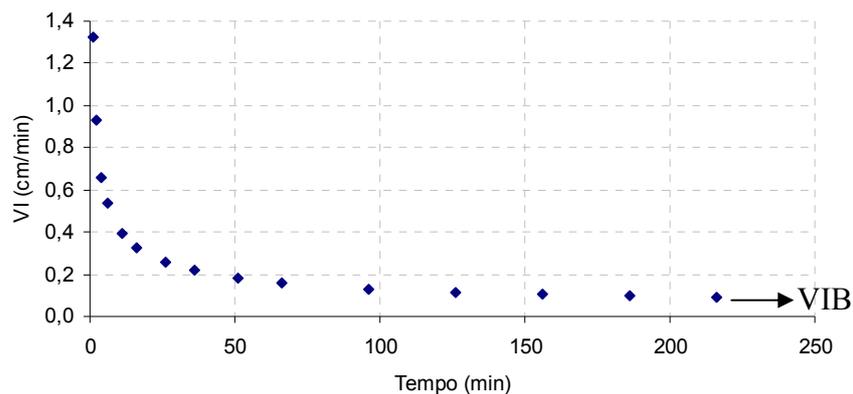
CAPÍTULO 3

INFILTRAÇÃO DA ÁGUA NO SOLO

Prof. Rodrigo Souza

3 INFILTRAÇÃO DA ÁGUA NO SOLO

- **Infiltração:** Entrada de água no solo através da superfície do solo
- **Velocidade de infiltração:** quantidade de água que atravessa a unidade de área da superfície do solo por unidade de tempo (mm/h, cm/h)
- **Infiltração acumulada:** quantidade total de água infiltrada durante um determinado intervalo de tempo (mm ou cm)
- **Velocidade de infiltração X Tempo**



VIB – velocidade de infiltração básica

Classificação da VIB segundo Bernardo (2005):

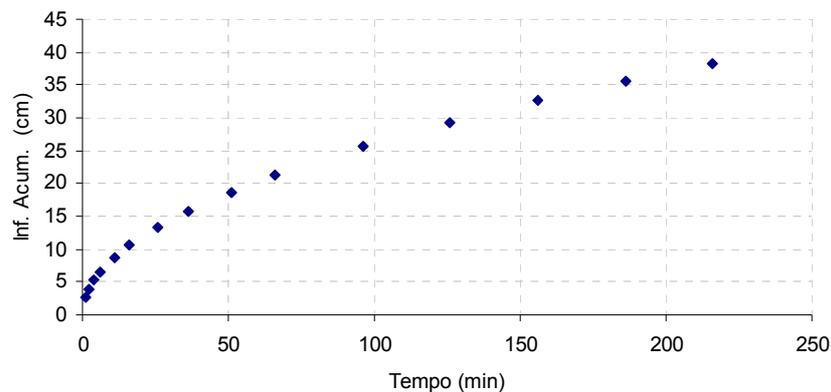
VIB muito alta: > 3,0 cm/h

VIB alta: 1,5 - 3,0 cm/h

VIB média: 0,5 – 1,5 cm/h

VIB baixa: < 0,5 cm/h

- **Infiltração acumulada X Tempo**



3.1 Equações que descrevem a infiltração

3.1.1 Equação potencial

$$I = a \cdot T^n$$

Em que:

a, n – constantes que dependem do solo;

T – tempo de infiltração (min);

I – infiltração acumulada (cm)

- Velocidade de infiltração em um instante qualquer:

$$VI = \frac{dI}{dT} = a \cdot n \cdot T^{n-1}$$

- Problemas com essa equação:

$$VI = a \cdot n \cdot T^{n-1} = a \cdot n \cdot \frac{T^n}{T}$$

Logo:

Quando $T \rightarrow \infty \therefore VI \rightarrow 0$

Na verdade, quando $T \rightarrow \infty \therefore VI \rightarrow VIB$

- **Forma para determinação dos parâmetros da equação da infiltração:**

- Regressão Linear

$$I = a \cdot T^n$$

$$\text{Log}I = \text{Log}(a \cdot T^n)$$

$$\text{Log}I = \text{Log}a + \text{Log}T^n$$

$$\text{Log}I = \text{Log}a + n \cdot \text{Log}T$$

$$Y = A + B \cdot X$$

$$Y = \text{Log} I$$

$$A = \text{Log} a$$

$$B = n$$

$$X = \text{Log} T$$

$$B = \frac{\sum X \cdot Y - \frac{\sum X \cdot \sum Y}{N}}{\sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{N}}$$

N – número de leituras realizadas

$$A = \bar{Y} - B \cdot \bar{X}$$

DADOS:

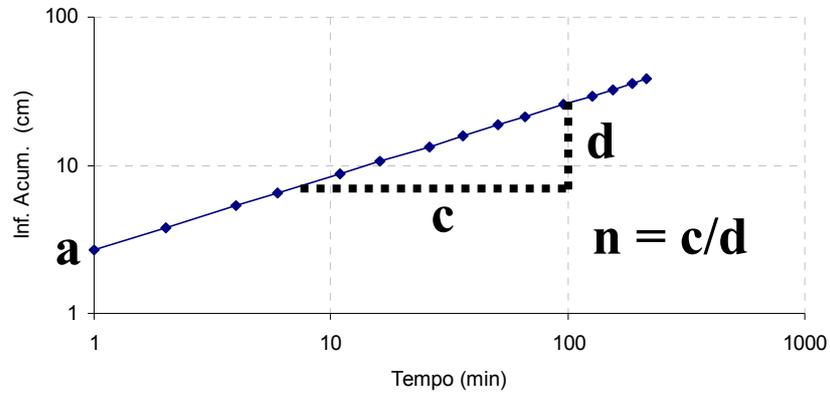
I	T	X	Y	X.Y	X ²
.
.
.
		ΣX	ΣY	ΣXY	ΣX ²

$$n = B$$

$$a = \text{antLog} A$$

$$I = a \cdot T^n$$

- Papel Log-Log (Di-Log)



3.2.1 Equação de Kostiakov-Lewis

$$I = a \cdot T^n + k \cdot T$$

k – velocidade de infiltração básica

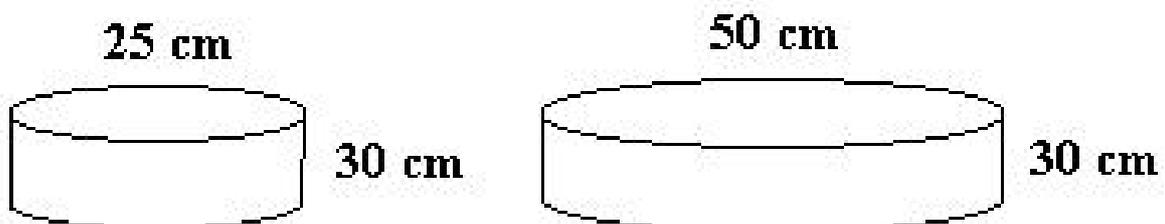
$$VI = a \cdot n \cdot T^{n-1} + k$$

Quando $T \rightarrow \text{infinito} \Rightarrow VI \rightarrow K = VIB$

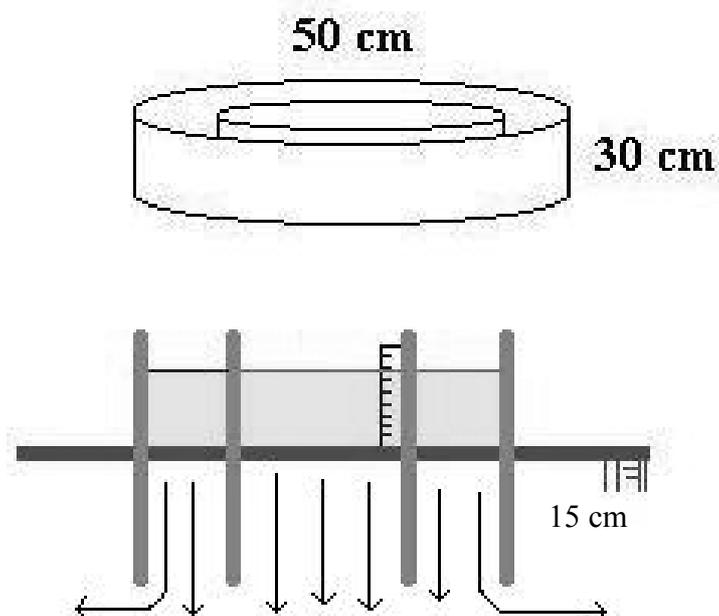
3.2 Métodos de determinação da infiltração

3.2.1 Infiltrômetro de anel

- Dois anéis metálicos:



- Os anéis devem ser enterrados até 15 cm



- Fixar régua
- Anel externo evita infiltração lateral
- Adicionar água simultaneamente nos dois anéis
- Realizar leituras
- A altura da lâmina d'água nos anéis deve ser de 10 cm com uma variação máxima de 5cm
- Intervalo entre leituras:
 - No início: 1 a 5 min
 - No final: 20 a 60 min

Exemplo: Teste de infiltração com os anéis infiltrômetros.

Hora	Intervalo de tempo (min)	Tempo acumulado (min)	Leitura (cm)	Reposição (cm)	Infiltração (cm)	Infiltração acumulada (cm)
07:00	0	0	10,0		-	0
07:01	1	1	8,5		1,5	1,5
07:02	1	2	7,0		1,5	3,0
07:04	2	4	6,0		1,0	4,0
07:06	2	6	5,0	10,5	1,0	5,0
07:11	3	11	9,5		1,0	6,0

Exercício: Determinar a equação da infiltração e da velocidade de infiltração.

**DADOS OBTIDOS EM UM ENSAIO PARA DETERMINAÇÃO DA INFILTRAÇÃO DE
ÁGUA NO SOLO PELO MÉTODO DO INFILTRÔMETRO DE ANEL**

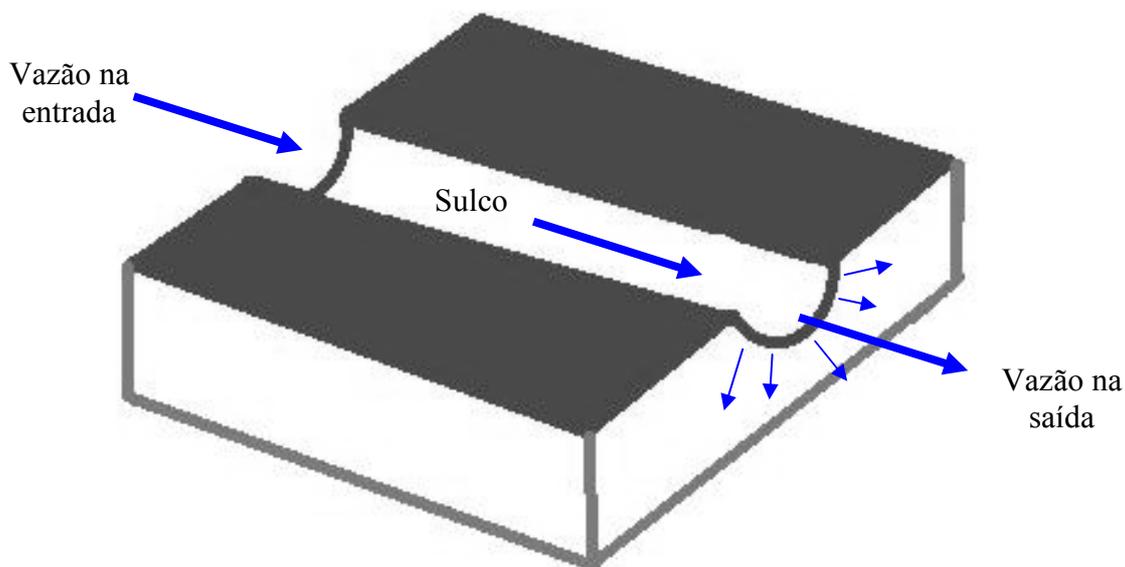
Hora	Tempo (min) *	Tempo Acumulado (min)	Leitura da régua (cm)	Reposição (cm)	Infiltração (cm)	Infiltração acumulada (cm)
08:00			10,5			
08:01			7,9			
08:02			6,4			
08:04			5,3	10,7		
08:06			9,9			
08:11			7,3	10,5		
08:16			8,0			
08:26			5,3	10,6		
08:36			8,7			
08:51			6,2	10,4		
09:06			7,4	10,5		
09:36			6,1	10,4		
10:06			6,1	10,6		
10:36			7,9			
11:06			5,3	10,7		
11:36			7,5			

* Intervalo de tempo entre as leituras

VALORES DE X, Y, XY E X², DO ENSAIO DE INFILTRAÇÃO

Tempo Acumulado	X	Y	X.Y	X ²
Soma				
Média				

3.2.2 Método da entrada e saída de água no sulco.



- Para de determinar a velocidade de infiltração da água, basta medir a diferença entre a vazão na entrada e a vazão na saída do sulco.
- Para medir a vazão no sulco podem ser utilizados vertedores e calhas.

Exemplo: Determinação da velocidade de infiltração em sulco com 40 m de comprimento.

Hora	Tempo acumulado (min)	Estaca A Vazão (L/min)	Estaca B Vazão (L/min)	Velocidade de Infiltração (L/min)	
				40 m	10 m
8:27	0	30	13	17	4,2
8:33	6	31	15,5	14,5	3,6
8:38	11	28	17,5	12,5	3,1
...

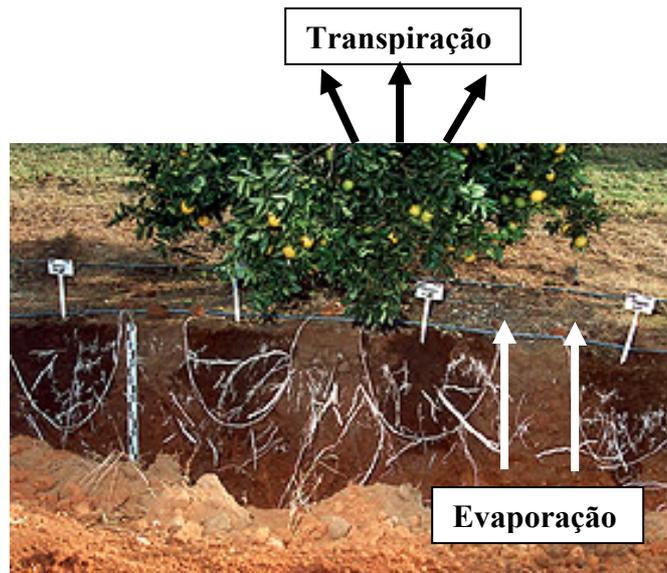
Média = 30 L/min

CAPÍTULO 4

DEMANDA HÍDRICA

Prof. Rodrigo Souza

4 DEMANDA HÍDRICA DAS CULTURAS

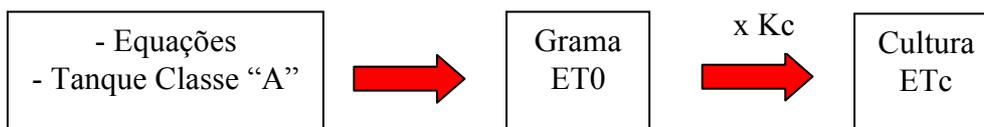


$$\text{EVAPORAÇÃO} + \text{TRANPIRAÇÃO} = \text{EVAPOTRANSPIRAÇÃO}$$

- Importância da determinação da necessidade hídrica:
 - Projeto hidráulico: estimativa da demanda hídrica máxima
 - Manejo da irrigação: realizar a irrigação conforme a necessidade da cultura

4.1 Evapotranspiração de Referência (ET_0)

- É a taxa de evapotranspiração de uma superfície coberta com grama (8 a 15 cm), em fase de crescimento ativo, com o teor de umidade no solo próximo à capacidade de campo



- Determinação é feita indiretamente por intermédio de:

- Equações:
 - Penman
 - Thorthwaite
 - Blaney Cridle

- Tanque Classe “A”
 - $ET_0 = E_v \cdot K_p$
 - em que:
 - E_v – evaporação do tanque
 - K_p – coeficiente do tanque

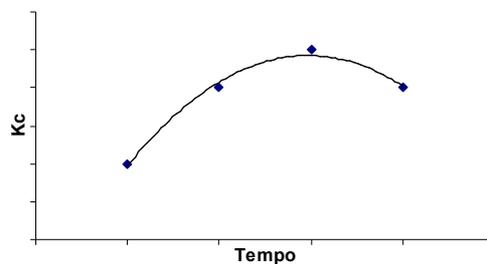
4.2 Evapotranspiração da cultura (Etc)

- Quantidade de água consumida em um intervalo de tempo pela cultura em plena atividade vegetativa, livre de enfermidades com o teor de umidade no solo próximo à capacidade de campo

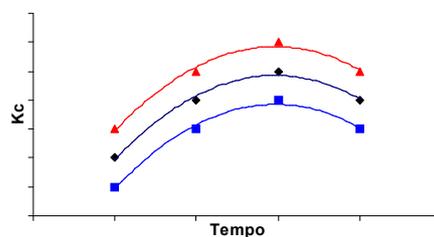
$$E_{tc} = ET_0 \times K_c$$

K_c – coeficiente de cultivo

- O valor de K_c varia:
 - Para uma mesma cultura, durante as diversas fases de desenvolvimento



- De cultura para cultura:



Para casa: Resumir artigo científico que tenha como tema a determinação do k_c

4.3 Manejo da irrigação com tensiômetro



Tensiômetros instalados no campo



Tensiômetro com medidor de vácuo analógico



Tensiômetro com tensímetro (medidor de vácuo digital)

- **Exemplo:**

Dados:

- Solo:
 Textura média
 Massa seca = 125 g
 Volume do cilindro = 100 cm³
 $\rho = ?$

$$\rho = 125 / 100 = 1,25 \text{ g/cm}^3$$

- Curva Característica:

Tensão (- cm.c.a)	60	80	100	330	1000	5000	15000
U (g/g)	0,40	0,36	0,32	0,28	0,24	0,16	0,12
θ (cm ³ /cm ³)	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30	0,20	0,15

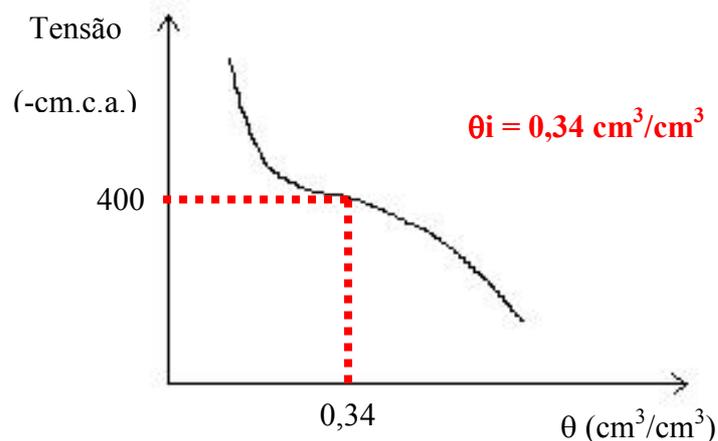
- Cultura:
 Mamão

Z = 30 cm

Tensão máxima: - 40 kPa (-400 cm.c.a.)

- Área: 3 ha
- PMP → -15000 cm.c.a. → $\theta_{pmp} = 0,15 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$
- CC → Solo Arenoso → -60 cm.c.a.
→ Solo Text. Média → -100 cm.c.a. → $\theta_{cc} = 0,40 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$
→ Solo Argiloso → -330 cm.c.a.
- Qual é o valor de da umidade (θ_i) para a tensão crítica (-400 cm.c.a.)?

Determina-se a umidade com base nos dados da curva característica



- Qual a lâmina e qual o volume de água necessários para elevar o teor de umidade do solo de θ_i para θ_{cc} ?

$$\text{Lâmina Líquida} = (\theta_{cc} - \theta_i) \cdot Z = 1,8 \text{ cm} = 18 \text{ mm}$$

Considerando uma eficiência de 70%

$$\text{Lâmina Bruta} = 18 / 0,7 = 25,7 \text{ mm}$$

$$\text{Volume} = 257 \text{ m}^3/\text{ha} \times 3 \text{ ha} = 771 \text{ m}^3$$

4.4 Manejo da irrigação com o tanque classe “A”

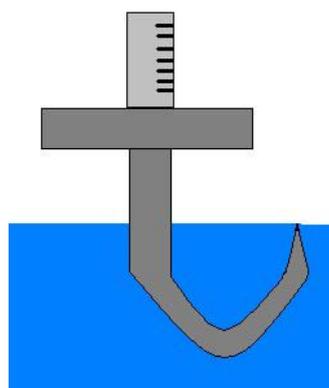
- Tanque Classe “A”
 - Material: aço inoxidável ou chapa galvanizada;
 - Diâmetro interno: 121 cm
 - Profundidade: 25,5 cm
 - Estrado de madeira: Altura = 15 cm



Tanque Classe “A” na estação meteorológica

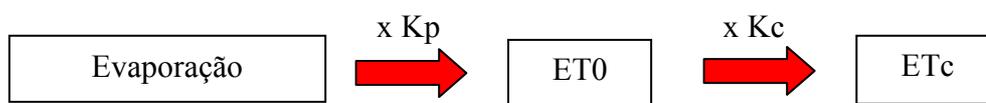


- Equipamento para medição
 - Micrômetro de gancho
 - Régua graduada



Micrômetro

- Determinação da evapotranspiração:



Exemplo:

- Dados:

$$\theta_{cc} = 32\%$$

$$\theta_{mp} = 18\%$$

$$K_c = 1,1$$

$$Z = 40 \text{ cm}$$

$$f = 0,5$$

$$K_p = 0,7$$

$$E_a = 80\%$$

$$\text{CTA} = (0,32 - 0,18) \cdot 400 = 56 \text{ mm}$$

$$\text{CRA} = 56 \cdot 0,5 = 28 \text{ mm}$$

Partindo do solo na capacidade de campo

Data	CTA mm	CRA mm	Ev mm/dia	Kp	ET0 mm/dia	Kc	Etc mm/dia	Lâm. Arm. mm	Prec. mm	IRN mm	ITN mm
....	....	....	....	....	....	....	....	56,00	....	....	....
15/03	56	28	5,25	0,7		1,1			-		
16/03	56	28	4,40	0,7		1,1			-		
17/03	56	28	6,87	0,7		1,1			5,00		
18/03	56	28	6,94	0,7		1,1			-		
19/03	56	28	9,90	0,7		1,1			-		
20/03	56	28	9,00	0,7		1,1			-		
21/03	56	28	8,00	0,7		1,1			-		
....

Sabendo que o aspersor utilizado no espaçamento de 12 x 12 m, tem uma taxa de precipitação de 10 mm/h, determine o tempo de irrigação.

CAPÍTULO 5

IRRIGAÇÃO POR SUPERFÍCIE

Prof. Rodrigo Souza

5 IRRIGAÇÃO POR SUPERFÍCIE

5.1 Introdução

Os sistemas de irrigação por superfície caracterizam-se por utilizar a superfície do solo para distribuir a água;

A inundação da superfície pode ser temporária, o suficiente para infiltrar a quantidade de água requerida ao solo, ou prolongada, procurando manter uma lâmina líquida superficial, durante a maior parte da estação de irrigação;

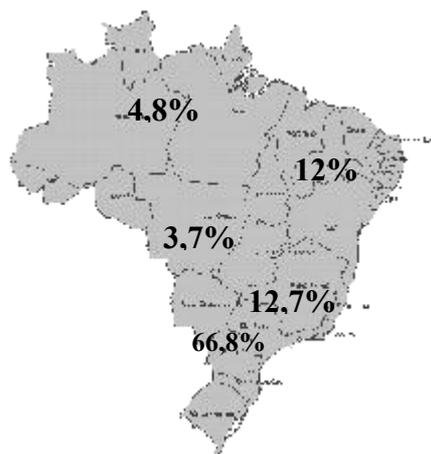
Raramente a condição original das terras cultivadas apresentam condições favoráveis à distribuição uniforme da água aplicada, por conseguinte, quase sempre, haverá necessidade de se proceder uma sistematização da superfície;

A irrigação por superfície prevalece em 70% das áreas irrigadas do mundo;



Irrigação por superfície

A distribuição de áreas irrigadas por superfície no Brasil pode ser vista na figura a seguir:



Fonte: Cristofidis

No Brasil é utilizada a irrigação por superfície em 1.729.834 ha (Cristofidis).

5.2 Vantagens e Limitações

VANTAGENS:

Baixo custo

Em alguns casos, pode ser realizada irrigação sem energia elétrica

Menor dependência da qualidade física e biológica da água

LIMITAÇÕES:

Acentuada dependência da topografia (sistematização)

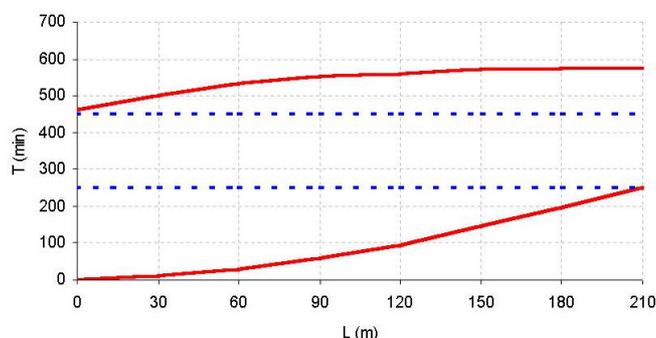
Inadequados aos solos excessivamente permeáveis

Dificuldades para operação noturna e automação

Tende a ter uma eficiência menor

- *Por que a baixa eficiência?*

A irrigação por superfície tende a ter uma eficiência menor em função dos diferentes lâminas aplicadas. No início o sulco ou em contato com a água durante um tempo maior do que no final do sulco. No final, aplica-se a lâmina necessária, portanto, o maior tempo de aplicação no início implica em perda de água.



Tempo de infiltração em cada posição do sulco

5.3 Classificação

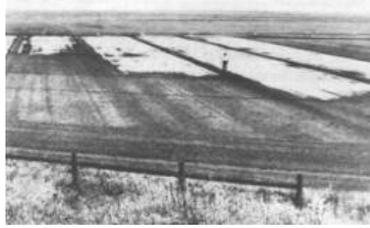
Dentre os principais sistemas utilizados na irrigação por superfície pode-se citar:

- Irrigação por sulcos



Exemplo de irrigação por sulcos

- Irrigação por faixas



Exemplo da irrigação por faixas

- 4. Irrigação por inundação



Exemplo da irrigação por inundação

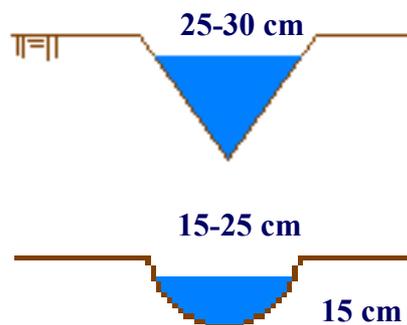
5.4 Irrigação por sulcos

- Este tipo de irrigação se adapta à maioria das culturas (principalmente as cultivadas em fileiras);
- Consiste na condução da água em pequenos canais paralelos durante o tempo necessário para que a água, infiltrada ao longo do sulco, seja suficiente para umedecer o solo.

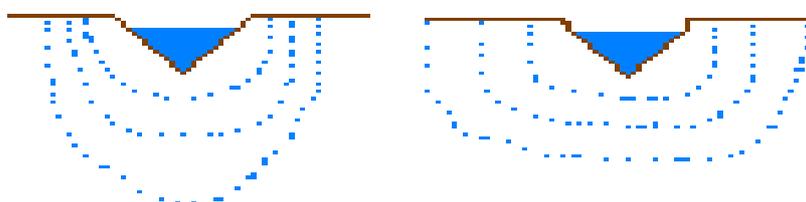


Irrigação por sulcos

5.4.1 Forma do sulco



5.4.2 Infiltração



Prof

Solo Arenoso

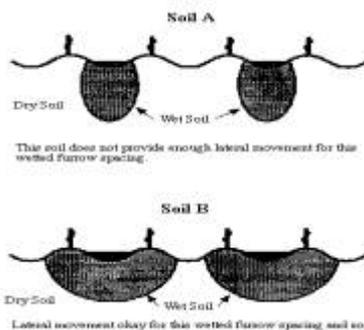
Solo Argiloso

CA

43

5.4.3 Espaçamento

O espaçamento entre sulcos deve considerar que o movimento lateral da água entre sulcos adjacentes deve umedecer toda a zona radicular antes de umedecer regiões abaixo dela. Na maioria das vezes o espaçamento é definido pelo espaçamento da cultura.



Infiltração em diferentes tipos de solos

5.4.4 Declividade

O sulco deve possuir um declive que proporcione a máxima velocidade sem provocar erosão. Normalmente a declividade do sulco fica entre 0,5 e 2%.

5.4.5 Vazão do sulco

Aplica-se inicialmente a maior vazão que o sulco pode conduzir sem que ocorra transbordamento ou erosão (vazão máxima não erosiva). Na prática, recomenda-se uma vazão inicial (não-erosiva) e posteriormente uma vazão reduzida (manter o sulco com água).



Sulcos abastecidos com sifão

5.4.6 Fórmulas para determinação da vazão não-erosiva

- Gardner:

$$Q = \frac{C}{i^a}$$

Em que:

Q – vazão máxima não-erosiva (L/s);

i – declividade do sulco (%);

“C” e “a” - constantes que dependem do solo.

Tabela. Valores de “C” e “a” (Bernardo, 1995)

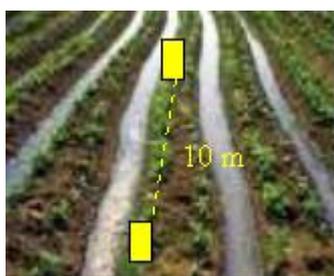
<i>Textura</i>	<i>C</i>	<i>a</i>
Muito fina	0,892	0,937
Fina	0,988	0,550
Média	0,613	0,733
Grossa	0,644	0,704
Muito Grossa	0,665	0,548

- Criddle (não leva em consideração o tipo de solo):

$$Q = \frac{0,631}{i}$$

5.4.7 Tempo de avanço

A determinação do tempo de avanço dever ser feita na área em que será realizada a irrigação. Medir o tempo que a água leva para alcançar as estacas espaçadas de 10 m.



Estacas a cada 10 m

Exemplo:

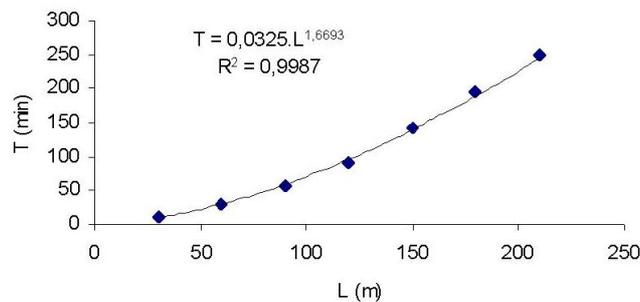
Dist.(m)	T(min)	Dist.(m)	T(min)
0	0	120	92
30	10	150	143
60	29	180	195
90	57	210	250

5. Os dados podem ser ajustados a três tipos de equações:

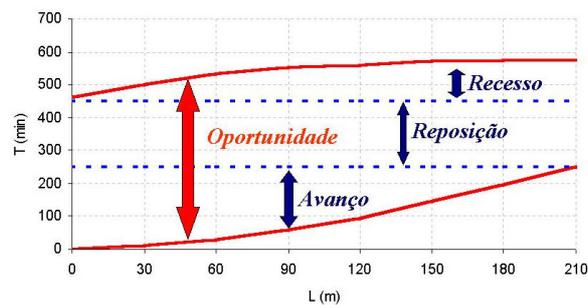
Eq. Potencial: $T = a.L^b$

Eq. Exponencial: $T = a.(e^{bL} - 1)$

Eq. Quadrática: $T = a.L + b.L^2$



5.4.8 Fases da irrigação por sulcos



Fases da irrigação por sulcos

Avanço: deslocamento da água até o final do sulco;

Reposição: tempo necessário para infiltrar a lâmina de irrigação no final do sulco;

Recesso: tempo em que a água permanece no sulco após ser encerrado o abastecimento de água;

Tempo de oportunidade: tempo total de infiltração em cada posição do sulco.

5.4.9 Comprimento do sulco

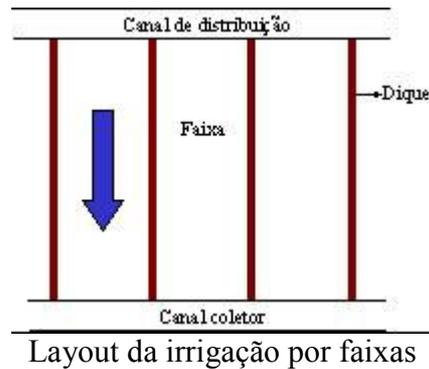
Nas vezes em que o comprimento do sulco não é limitado pelas dimensões da área utiliza-se o método de Criddle para a sua determinação.

Método de Criddle: O tempo para a frente de avanço chegar ao final do sulco deve ser igual a 1/4 do tempo necessário para aplicar a lâmina de irrigação.

5.5 Irrigação por faixas

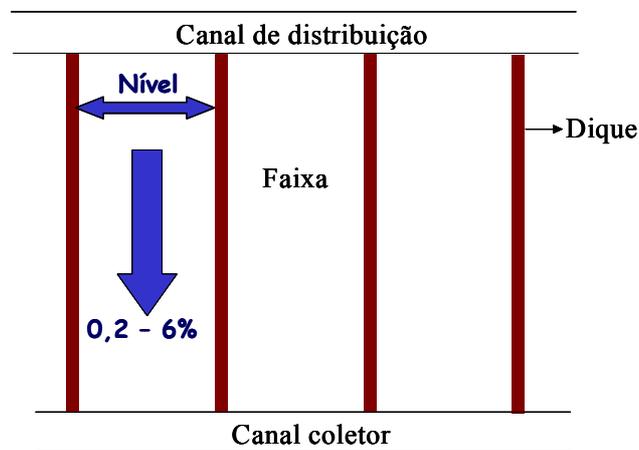
A aplicação de água é feita através de faixas. Esse sistema se adapta às culturas cultivadas com pequeno espaçamento entre plantas (arroz, trigo, pastagens).





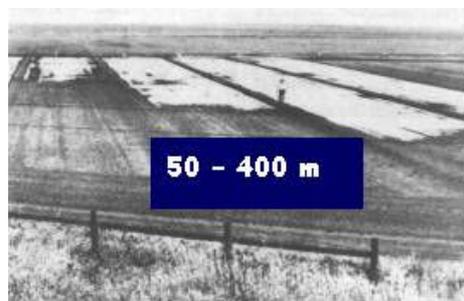
5.5.1 Declividade

A declividade da faixa está diretamente relacionada com o tipo de solo e a velocidade de escoamento da água. As mesmas considerações realizadas sobre a irrigação por sulcos valem para a irrigação por faixas.



5.5.2 Comprimento da faixa

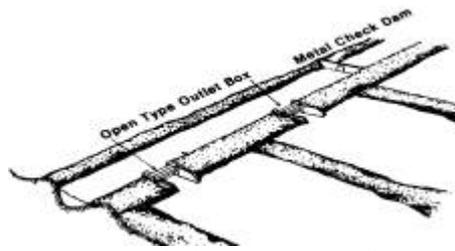
O comprimento da faixa deve ser inversamente proporcional à capacidade de infiltração do solo. Quanto menor a capacidade de infiltração maior deve ser o comprimento. O comprimento da faixa varia entre 50 e 400 m.



Comprimento da faixa

5.5.3 Manejo

Para evitar excesso de escoamento no final da faixa, a vazão aplicada deve ser cortada quando frente de avanço atinge 2/3 a 3/4 do comprimento da faixa.



Esquema da irrigação por faixas

5.6 Irrigação por inundação

Nessa irrigação a aplicação de água é feita por meio de bacias ou tabuleiros. A irrigação por inundação é o sistema mais utilizado no Brasil e no Mundo.



Irrigação por inundação

5.6.1 Tabuleiros

O tamanho dos tabuleiros pode variar desde 1 m² até 5 ha. A irrigação dos tabuleiros pode ser intermitente ou inundação contínua. Na irrigação intermitente a cultura permanece inundada durante um determinado período, que seja suficiente para infiltrar a lâmina de irrigação. Na inundação contínua a cultura permanece permanentemente inundada (arroz inundado).



Irrigação por inundação

Os tabuleiros podem ser retangulares ou em contorno.



Tabuleiro retangular



Tabuleiro em contorno

5.7 Exemplos de dimensionamento (Irrigação por sulcos)

5.7.1 Exemplo 1

- Dados:

$U_{cc} = 30\%$
 $U_{pmp} = 10\%$
 $\rho = 1,2 \text{ g/cm}^3$
Profundidade do sistema radicular (Z) = 40 cm
Fator de disponibilidade (f) = 0,5
Jornada de trabalho = 12 h/dia
Vazão disponível = 50 L/s
Declive do terreno (i) = 0,73%
Evapotranspiração da cultura (Etc) = 4 mm/dia
Espaçamento entre sulcos = 0,5 m
Sem considerar a chuva

- Dados de Campo:

Vazão não erosiva = 0,6 L/s
Equação de infiltração: $I \text{ (mm)} = 14,2708 \cdot T^{0,356} \text{ (min)}$
Equação de avanço: $L \text{ (m)} = 12,4516 \cdot T^{0,6336} \text{ (min)}$

- Passos:

Sistematização do terreno
Determinação da vazão não erosiva
Determinação da equação de infiltração
Determinação da equação de avanço
Cálculos

- Cálculos:

a) Irrigação total necessária (ITN)

$$CTA = \frac{(30 - 10)}{10} \cdot 40 \cdot 1,2 = 96 \text{ mm}$$

$$CRA = CTA \cdot f = 96 \cdot 0,5 = 48 \text{ mm}$$

$$IRN = CRA$$

$$ITN = IRN / E_a = 48 / 0,4 = 120 \text{ mm}$$

b) Comprimento do sulco

Equação de infiltração p/ sulcos espaçados de 1 m:

$$I \text{ (mm)} = 14,2708 \cdot T^{0,356} \text{ (min)}$$

Tempo necessário para infiltrar a lâmina de 48 mm:

$$48 = 14,2708 \cdot T^{0,356}$$

$$T = 30,2 \text{ min}$$

Método de Criddle: O tempo de avanço (Ta) deve ser $\frac{1}{4}$ do tempo necessário para infiltrar a lâmina de irrigação:

$$T_a = 30,2 / 4 = 7,6 \text{ min}$$

Comprimento do sulco para o Ta de 7,6 min:

$$L = 12,4516 \cdot (7,6)^{0,6336}$$

$$L = 45 \text{ m}$$

c) N° de sulcos por hectare

$$A_{\text{sulco}} = 45 \text{ m} \cdot 0,5 \text{ m} = 22,5 \text{ m}^2$$

$$\text{N° de sulcos/ha} = 10.000 \text{ m}^2 / 22,5 \text{ m}^2/\text{sulcos} = 444 \text{ sulcos}$$

d) Volume de água a ser aplicado por sulco e tempo de aplicação

$$\text{Tempo de aplicação} = 30,2 + 7,6 = 37,8 \text{ min}$$

$$\text{Volume} = 0,6 \text{ L/s} \cdot 37,8 \text{ min} \cdot 60 \text{ s/min} = 1.360,8 \text{ L}$$

e) Turno de Rega (TR)

- Turno de Rega: intervalo de tempo entre duas irrigações sucessivas no mesmo lugar

$$TR = \frac{CRA}{ETc}$$

$$TR = \frac{48\text{mm}}{4\text{mm/dia}} = 12\text{dias}$$

$$TR = 12 \text{ dias}$$

f) N° sulcos irrigados por vez

$$\frac{50\text{L/s}}{0,6\text{L/s}} = 83\text{sulcos}$$

g) Area irrigada por dia

$$\text{Jornada} = 12 \text{ h} = 720 \text{ min}$$

37.8 min – 1 irrigação
720 min – x
x = 19 irrigações por dia

1 sulco – 22,5 m²
83 sulcos - x
x = 1.867,5 m²

1 irrigação – 1967,5 m²
19 irrigações – x
x = 35.482,5 m²

Área irrigada por dia = 3,55 ha

5.7.2 Exemplo 2 (BERNARDO, 1995)

DADOS:

A = 10,8 ha

Cultura: milho

Espaçamento entre plantas: 20 cm

Espaçamento entre fileiras: 90 cm

Profundidade efetiva do sistema radicular: 50 cm

Máxima demanda de irrigação:

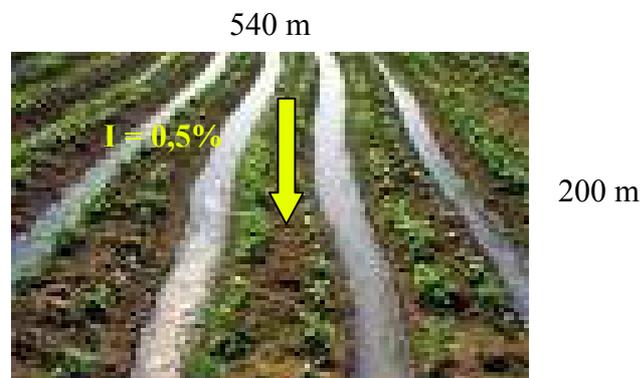
Período: 2º quinzena de janeiro

ET₀ = 6,4 mm/dia

ET_c = 7,0 mm/dia (k_c = 1,1)

Precipitação provável: 3,0 mm/dia

Demanda: 7,0 – 3,0 = 4,0 mm/dia



Solo com Textura argilosa

U_{cc} = 30,5%

U_{pmp} = 18%

Densidade do solo = 1,12 g/cm³

Fator de disponibilidade: f = 0,6

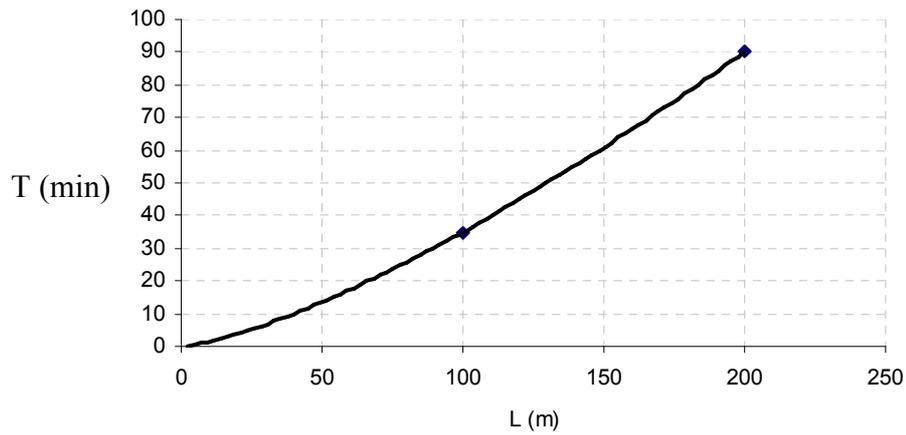
COM BASE NOS TESTES DE CAMPO

VAZÃO NÃO EROSIVA = 1 L/s

I = 2,547.T^{0,554} (L por metro de sulco)

VI = 1,411.T^{-0,446} (L/min por metro de sulco)

Teste de avanço:



CAPACIDADE REAL DE ARMAZENAMENTO (CRA)

$$CRA = \frac{(30,5 - 18)}{10} \times 1,12 \times 50 \times 0,6 = 42 \text{ mm}$$

TURNO DE REGA (TR)

$$TR = \frac{42 \text{ mm}}{4 \text{ mm/dia}} = 10,5 \text{ dias}$$

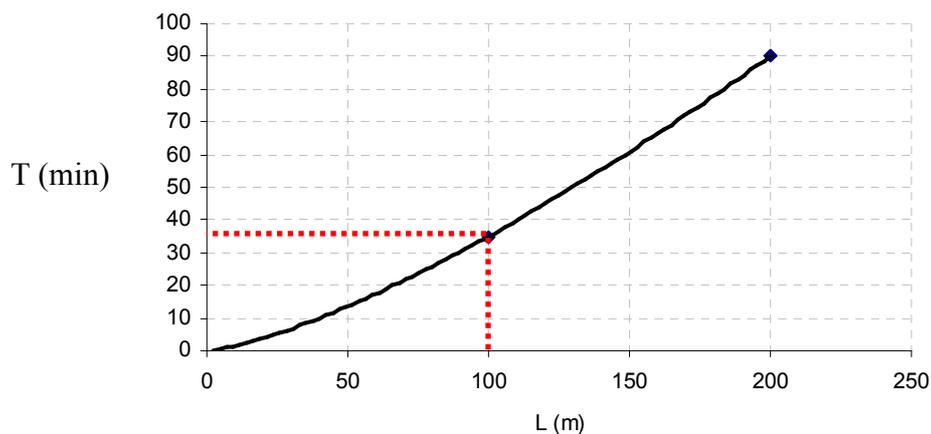
$$TR = 10 \text{ dias}$$

COMPRIMENTO DO SULCO

PELA FIGURA: 100 ou 200 m

SULCO COM 100 m

TEMPO DE AVANÇO = 35 min



Tempo de Infiltração:

$$I = 2,547 \cdot T^{0,554} \text{ (L por metro de sulco)}$$

$$I = \frac{2,34.T^{0,554}}{0,9}$$

$$I = 2,83.T^{0,554} \text{ (mm por metro de sulco)}$$

$$P/ \text{ Infiltrar } 42 \text{ mm} \rightarrow T = 130 \text{ min}$$

$$\text{Tempo de oportunidade (To)} = T_{\text{avanço}} + T_{\text{infiltração}}$$

$$T_o = T_a + T_i$$

$$T_o = 35 + 130 = 165 \text{ min}$$

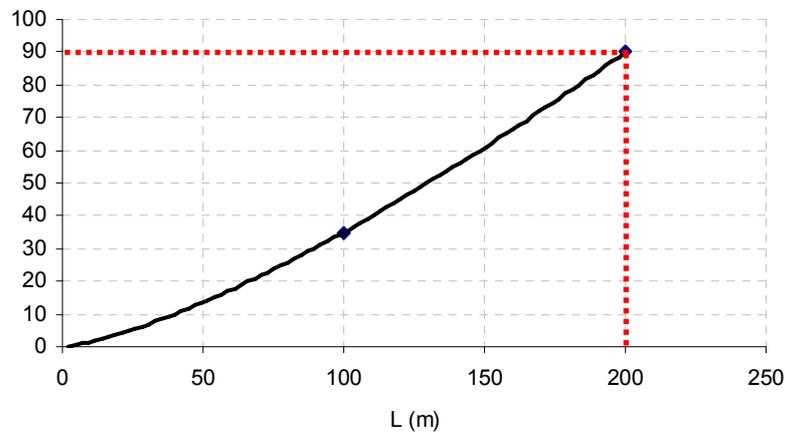
Eficiência (Ea)

$$\text{Lâmina aplicada} = \frac{1,0L/s.165 \text{ min}.60s/\text{min}}{100m.0,9m} = 110\text{mm}$$

$$Ea = \frac{42}{110} \cdot 100 = 38\%$$

SULCO COM 200 m

TEMPO DE AVANÇO = 90 min



Tempo de Infiltração:

$$I = 2,83.T^{0,554} \text{ (mm por metro de sulco)}$$

$$P/ \text{ Infiltrar } 42 \text{ mm} \rightarrow T = 130 \text{ min}$$

$$\text{Tempo de oportunidade (To)} = T_{\text{avanço}} + T_{\text{infiltração}}$$

$$T_o = T_a + T_i$$

$$T_o = 90 + 130 = 220 \text{ min}$$

Eficiência (Ea)

$$\text{Lâmina aplicada} = \frac{1,0\text{L/s} \cdot 220\text{min} \cdot 60\text{s/min}}{200\text{m} \cdot 0,9\text{m}} = 73\text{mm}$$

$$Ea = \frac{42}{73} \cdot 100 = 57\%$$

SEM REDUÇÃO DE VAZÃO:

$$L = 200 \text{ m}$$

$$T_o = 220 \text{ min}$$

$$\text{LÂMINA APLICADA} = 73 \text{ mm}$$

$$Ea = 57 \%$$

COM REDUÇÃO DE VAZÃO:

- Para facilitar o manejo deve-se reduzir a vazão na metade do tempo de aplicação de água (110 min)

- Pelo cálculo das infiltrações parciais: $Q_{\text{reduzida}} = 0,75 \text{ L/s}$

Dist.(m)	Ta(min)	T(min)*	Velocidade de Infiltração		
			L/min por m	Média/m	Média/20m
0	0	110	0,173		
20	5	105	0,177	0,175	3,50
40	9	101	0,180	0,179	3,57
.....
180	79	31	0,305	0,285	5,69
200	90	20	0,371	0,338	6,76
			Total infiltrado	44,81 L/min 0,75 L/s	

* Tempo com vazão não-erosiva

Eficiência (Ea)

$$\text{Lâmina aplicada} = \frac{[(110 \times 1,0) + (110 \times 0,75)] \cdot 60}{200\text{m} \cdot 0,9\text{m}} = 64\text{mm}$$

$$Ea = \frac{42}{64} \cdot 100 = 66\%$$

NÚMERO DE SULCOS IRRIGADOS POR VEZ

$$\text{N}^\circ \text{ total de sulcos} = 540 / 0,9 = 600 \text{ sulcos}$$

$$\text{N}^\circ \text{ de sulcos irrigados por dia} = 600 \text{ sulcos} / 10 \text{ dias} = 60 \text{ sulcos}$$

$$\text{Jornada de trabalho} = 12 \text{ h/dia}$$

$$\text{N}^\circ \text{ _parcelas} = \frac{12\text{h/dia} \cdot 60\text{min/h}}{220\text{min}} = 3,27\text{parcelas}$$

$$\text{N}^\circ \text{ de parcelas} = 3 \text{ parcelas}$$

$$\text{N}^\circ \text{ de sulcos em cada parcela} = 60 / 3 = 20 \text{ sulcos}$$

VAZÃO NECESSÁRIA

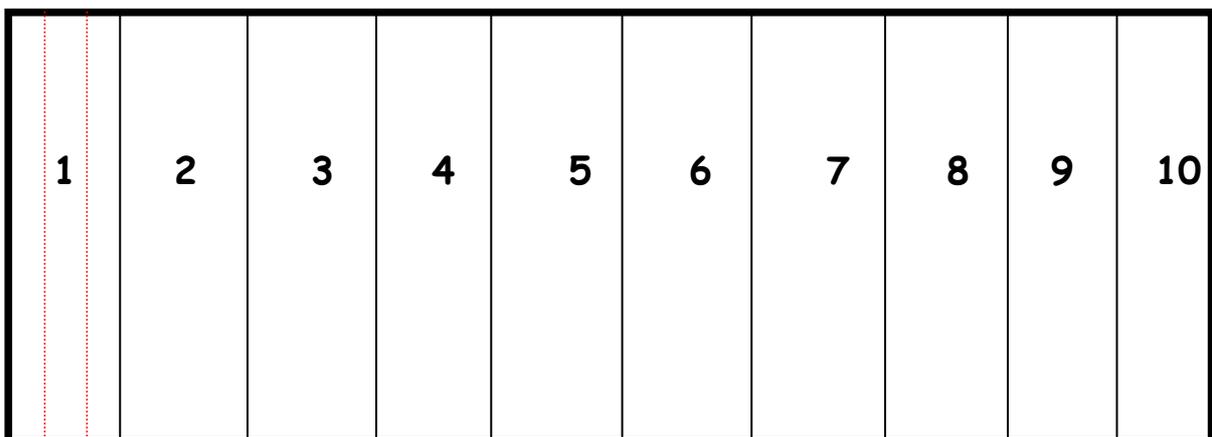
110 min iniciais:

$$Q = 1 \text{ L/s} \cdot 20 \text{ sulcos} = 20 \text{ L/s}$$

110 min finais:

$$Q = 0,75 \text{ L/s} \cdot 33 \text{ sulcos} = 15 \text{ L/s}$$

LAYOUT



CAPÍTULO 6

IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO

Prof. Rodrigo Souza

6 IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO

Definição: a água é aspergida sobre a cultura por meio de dispositivos especiais chamados aspersores. O jato ao chocar-se com o ar, pulveriza-se em gotas caindo sobre a cultura em forma de chuva artificial.

6.1 Vantagens e limitações

- Vantagens:
 - Adapta-se em diversas condições de solo e cultura
 - Comumente apresenta maior eficiência do que a irrigação por superfície
 - Facilidade de manejo
 - Quimigação

- Limitações

- Alto custo

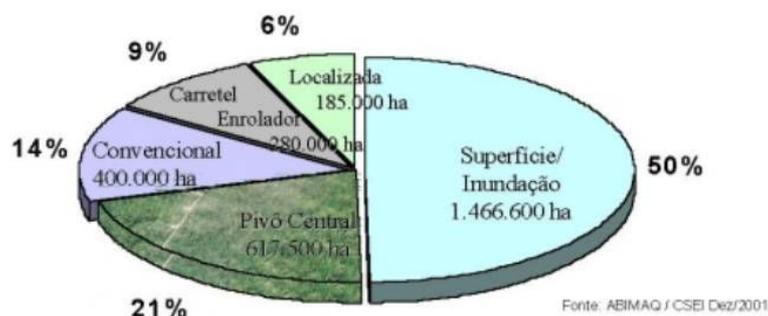
Sistema	R\$/ha
Aspersão convencional	1.200,00
Auto-propelido	1.200,00 – 1.500,00
Pivô	1.500,00
Localizada	2.000,00 – 6.000,00

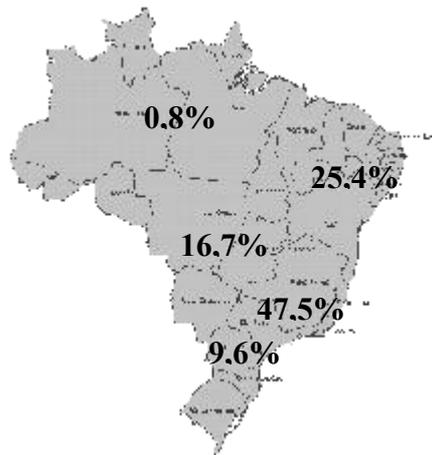
- Limitações climáticas: vento e evaporação

6.2 Aspersão no Brasil

Área irrigada no Brasil

Área total cultivada no Brasil:
38,3 milhões de hectares
2,95 milhões de hectares irrigados Brasil.
Isto corresponde à 7,7% da área cultivada.
Importante: 7,7% da área representa 35% da produção agrícola nacional.
Ou seja, sem irrigação o Brasil passaria fome.



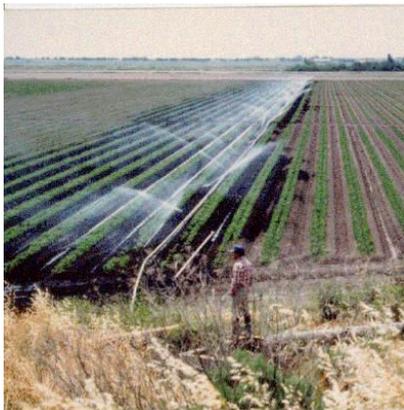


Fonte: Cristofidis

6.3 Tipos de sistemas

- **Sistemas convencionais:**

- Portátil
- Semi-portátil
- Fixo



Aspersão convencional portátil



Aspersão convencional fixa

- **Sistemas mecanizados:**

- Auto-propelido
- Pivô-central
- Lateral móvel



Auto-propelido



Lateral móvel



Pivô-central

6.4 Componentes do sistema

- **Componentes:**
 - Motobomba
 - Tubulações
 - Aspersores
 - Acessórios

6.4.1 Motobomba

No Brasil as bombas mais utilizadas para a irrigação são as centrífugas de eixo horizontal com acionamento elétrico ou à diesel.



Bomba Centrífuga



Motobomba



Sistema de bombeamento

6.4.2 Tubulações

As tubulações utilizadas na irrigação por aspersão podem ser de:

- Alumínio: pressões até 120 mca
- Aço zincado: pressões até 150 mca
- Aço galvanizado: pressões até 200 mca
- PVC: pressões até 80 mca

Essas tubulações são fabricadas em comprimentos padrões de 6 m. O tubo de PVC é o mais utilizado em função da facilidade de manuseio e baixo o custo. Porém quando são necessárias altas pressões devemos utilizar tubos mais resistentes.

A conexão entre os tubos de PVC pode ser:

- **Soldável:** tubulação fixa



- **Junta elástica:** tubulação fixa e enterrada



- **Com rosca:** tubulação móvel



6.4.3 Aspersores

Os aspersores são utilizados para pulverizar o jato d'água. Os mesmos devem assegurar uma distribuição adequada da precipitação que cai sobre a superfície do terreno.

6.4.3.1 Classificação

a) Quanto ao porte:

- **Aspersor pequeno:**

- Pressão: < 20 mca
- Baixa rotação (3 a 6 rpm)
- Vazão: < 1 m³/h
- Espaçamento: < 15m
- Utilização: pomar, jardim e estufas



Aspersor sub-copa

- **Aspersor médio:**

- Pressão: 20 - 40 mca
- Baixa rotação < 3 rpm
- Vazão: 1 - 6 m³/h
- Espaçamento: 12 – 36 m
- Utilização: feijão, soja, batata, alho,



Aspersor médio

- **Aspersor grande (canhão):**

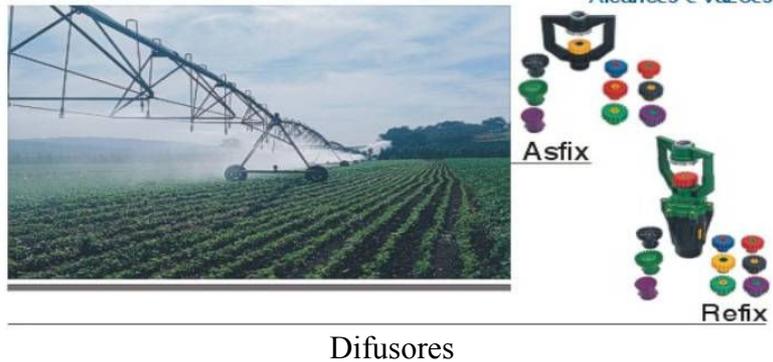
- Pressão: > 40 mca
- Baixa rotação
- Vazão: > 6 m³/h
- Alcance: > 30 m
- Utilização: culturas resistentes ao impacto de gotas (cana, capim, milho)



Canhão

b) **Quanto ao funcionamento:**

- *Estático*: não existem peças móveis



Difusores

- *Dinâmico*: Existem aspersores dinâmicos com movimentação no eixo horizontal e emergentes



Eixo horizontal



Emergente

c) **Quanto ao ângulo de funcionamento:**

- Sub-copa: 7 – 9°



Aspersor sub-copa

- Normal: 20 – 30°



Aspersor normal

d) **Quanto ao material de fabricação:**

- *Aço galvanizado*
- *Bronze*
- *Alumínio*
- *Aço inox*
- *Termoplástico*

6.5 Seleção do aspersor

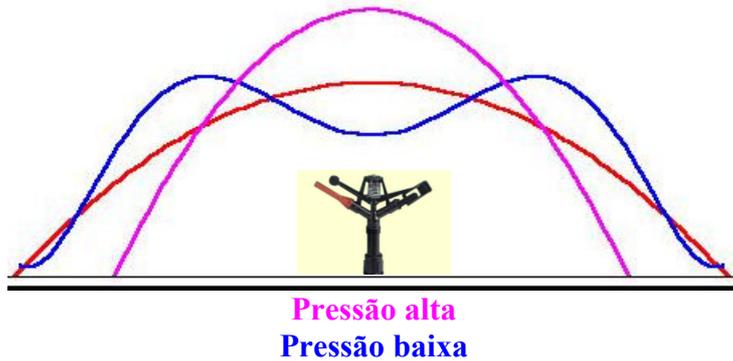
Para a correta seleção do aspersor é necessário o conhecimento de suas características de funcionamento, bem como um espaçamento correto no campo.

➤ **Fatores que afetam o desempenho do aspersor:**

a) **Diâmetro do bocal**

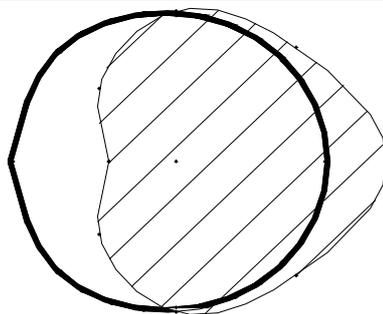
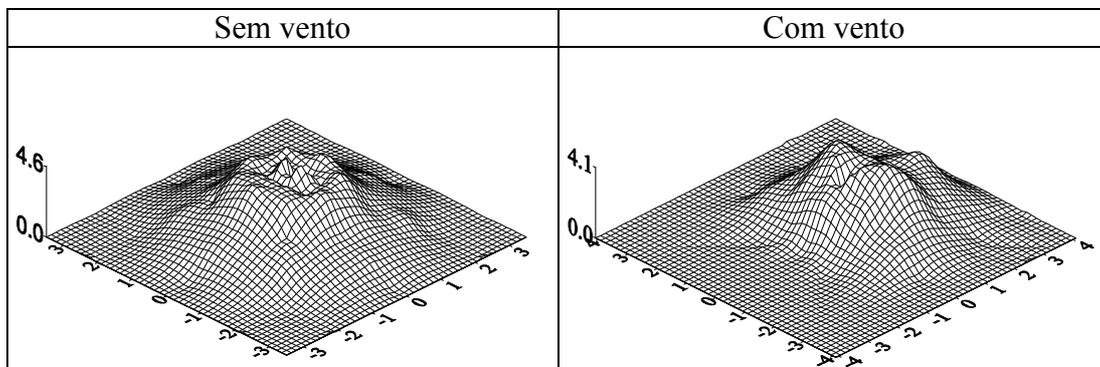
b) **Pressão**

- Pressão excessiva: provoca a pulverização excessiva com deposição de água próximo ao aspersor
- Pressão baixa: provoca uma inadequada pulverização proporcionando uma maior deposição da água na extremidade



Pressão satisfatória

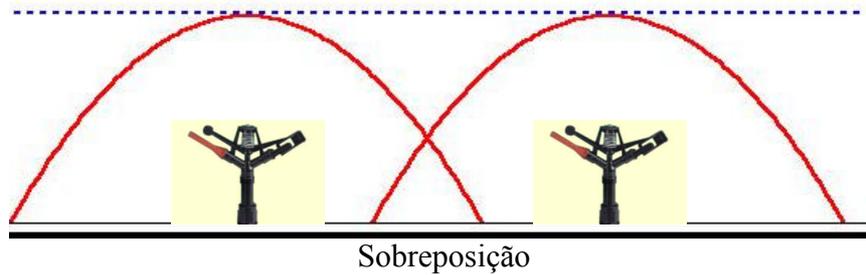
c) **Vento**: O vento altera o perfil distribuição do aspersor



Efeito do vento

d) **Espacamento entre aspersores**

Para a obtenção de uma boa uniformidade de aplicação os aspersores devem ser espaçados de modo que se obtenha uma sobreposição entre os perfis de distribuição (12x12, 12x18, 18x18, 18x24,, 30x30).



e) **Intensidade de aplicação**

A intensidade de aplicação de água deve ser menor do que a capacidade de infiltração do solo.

$$I = \frac{Q \cdot 3600}{E1 \cdot E2}$$

Em que:

I – intensidade de aplicação (mm/h)

Q – vazão do aspersor (L/s)

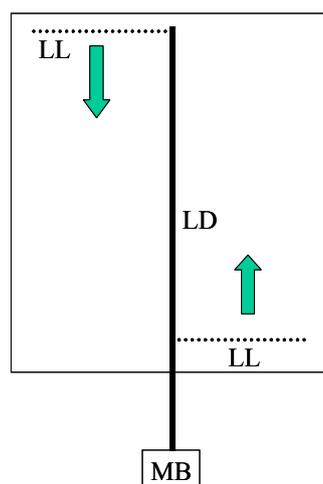
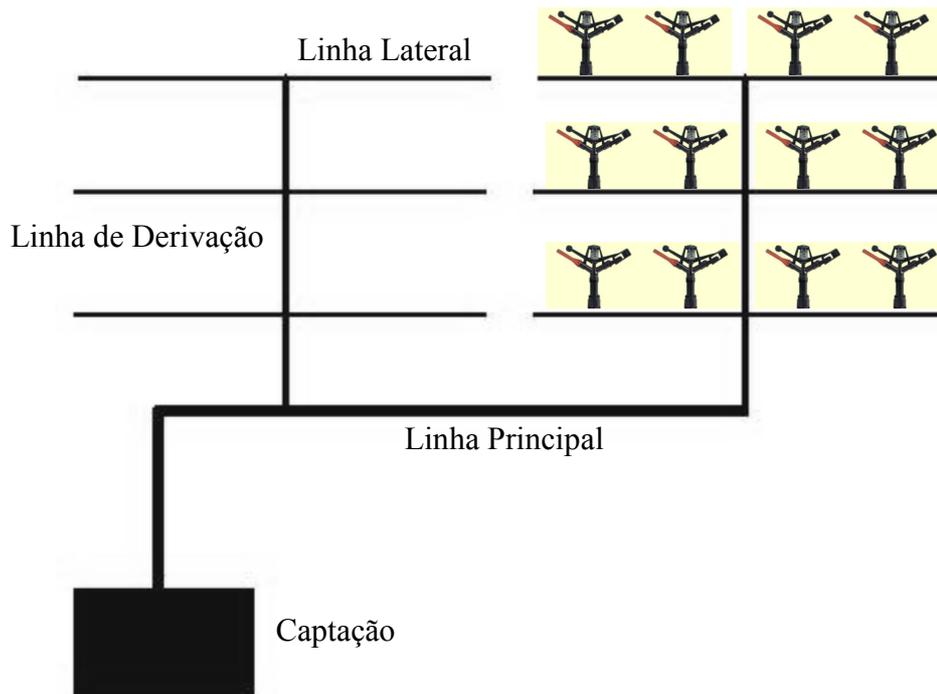
E1 – espaçamento entre aspersores (m)

E2 – espaçamento entre linhas laterais

6.6 Aspersão convencional

6.6.1 Descrição do sistema

A aspersão convencional consiste na aplicação de água através de aspersores, esses aspersores estão conectados as linhas laterais (tubulação que conduz a água até o aspersor) que por sua vez recebe água da linha de derivação (tubulação que conduz a água até as linhas laterais). Dependendo do tamanho do sistema pode-se ter a linha principal.



Esquema da Aspersão convencional

6.6.2 Levantamento de dados

- *Disponibilidade hídrica*

- Quantidade
- Qualidade: salinidade, toxidez das plantas, microorganismos, sólidos suspensos
- **Disponibilidade de energia**
 - elétrica
 - Diesel
- **Parâmetros do solo**
 - Velocidade de infiltração básica - VIB
 - Capacidade de Campo - CC
 - Ponto de murcha permanente - PMP
 - Densidade do solo
- **Parâmetros sobre a cultura**
 - Profundidade efetiva do sistema radicular
 - Evapotranspiração (Etc, Kc)
- **Topografia da área**

6.6.3 Disposição do sistema no campo

- **Localização da fonte de água**
 - O sistema deve ficar o mais próximo possível da fonte de água
- **Tamanho e forma da área**
 - Áreas muito grandes devem ser subdivididas para baratear o projeto
 - A área deve ter forma quadrada ou retangular para facilitar o transporte das linhas laterais
- **Direção e comprimento das linhas laterais**
 - As linhas laterais devem ser instaladas perpendicularmente à maior declividade do terreno
 - O comprimento da linha lateral é limitado pela dimensão da área e pelo limite de perda de carga (20% da pressão de serviço do aspersor)

“O comprimento da linha lateral deve ser definido de forma que a perda de carga na linha lateral seja no máximo 20% da pressão de serviço do aspersor, o que proporciona uma variação de aproximadamente 10% de vazão entre os aspersores da linha lateral”

- **Linha de derivação**
 - A linha de derivação deve ser instalada na direção da declividade do terreno

6.6.4 Quantidade de água requerida

- a) Disponibilidade total de água (DTA)

$$DTA = \frac{(U_{cc} - U_{pmp})}{10} \cdot \rho$$

em que:

U_{cc} – umidade na capacidade de campo (% em peso)

U_{pmp} - umidade no ponto de murcha permanente (% em peso)

ρ - densidade do solo (g/cm^3)

DTA – mm / cm de solo

b) Capacidade total de água no solo (CTA)

$$CTA = DTA \cdot Z$$

Z – profundidade efetiva do sistema radicular (cm)

CRA - mm

Exemplo:

Banana – 50 cm, ; Alface – 20 cm; Feijão – 30 cm; Milho – 50 cm

c) Capacidade Real de água no solo (CRA)

$$CRA = CTA \cdot f$$

f – fator de disponibilidade

d) Irrigação real necessária (IRN)

- Sem chuva: $IRN = CRA$

- Com chuva: $IRN = CRA - P_e$

P_e – precipitação efetiva

e) Turno de rega (TR)

- Intervalo, em dias, entre duas irrigações sucessivas em um mesmo local

$$- TR = \frac{CRA}{ET_c}$$

ET_c – Evapotranspiração potencial da cultura

f) Irrigação total necessária (ITN)

$$ITN = \frac{IRN}{E_a}$$

E_a – eficiência de aplicação de água (decimal)

g) Intensidade de aplicação de água (I_a)

- $I_a < VIB$

$$- I_a(\text{mm/h}) = \frac{Q(\text{L/s}) \cdot 3600}{E1 \cdot E2}$$

Q - vazão do aspersor

E1 – espaçamento entre aspersores

E2 – espaçamento entre linhas laterais

h) Tempo por posição

$$T_i(\text{h}) = \frac{ITN(\text{mm})}{I_a(\text{mm/h})}$$

OBS: acrescentar o tempo para a troca de posição

i) Nº de horas de funcionamento por dia (NH)

- Quanto maior o nº de horas, menor será a ociosidade do sistema
- Quando possível utilizar 18-20 horas

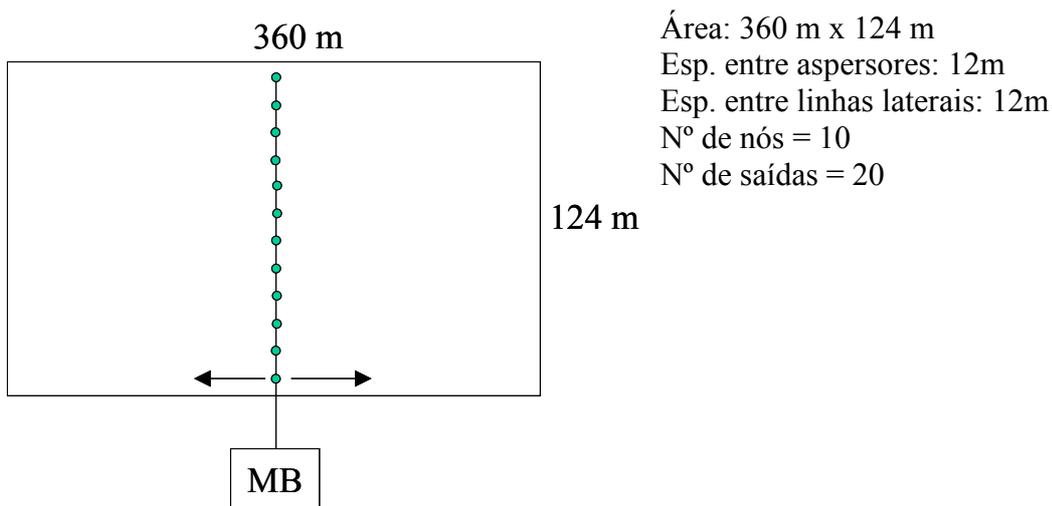
j) Nº de posições por dia (Np)

$$N_p = NH / T_i$$

Exercício para entregar:

Dados: $U_{cc} = 30\%$, $U_{pmp} = 15\%$, $\rho = 1,2 \text{ g/cm}^3$, $Z = 50 \text{ cm}$, $f = 0,6$, $E_a = 80\%$, *S/ chuva*
Calcular: DTA, CTA, CRA, IRN, ITN

k) Nº total de posições de laterais (N)



l) Nº de posições irrigadas por dia (ND)

$$ND = N / P_i$$

Pi - Período de Irrigação

Exemplo: TR = 9 dias, Pi = 9 – 1 (dia p/ manutenção) = 8 dias

m) Nº de linhas laterais (NL)

$$NL = ND / Np$$

n) Vazão necessária (Qnec)

$$Qnec(L/h) = \frac{A(m^2) \cdot ITN(mm)}{Pi(dias) \cdot NH(h/dia)}$$

ou

$$Qnec = \text{Vazão da linha lateral} \cdot \text{Nº de linhas laterais}$$

6.6.5 Dimensionamento das linhas laterais

- O diâmetro e o comprimento da linha lateral devem ser tais, que a maior diferença de vazão na linha não exceda 10% ou 20% da pressão de serviço do aspersor
- No dimensionamento deve-se considerar que a pressão no aspersor no meio da linha lateral deve ser igual a pressão de serviço (no início da linha teremos uma pressão maior, no final uma pressão menor e na média teremos a pressão de serviço)
- A relação entre a Pressão no início da linha lateral e a Pressão no meio é determinada por:

$$P_{in} = PS + \frac{3}{4} HF \pm 0,5 \Delta Z + Aa$$

Em que:

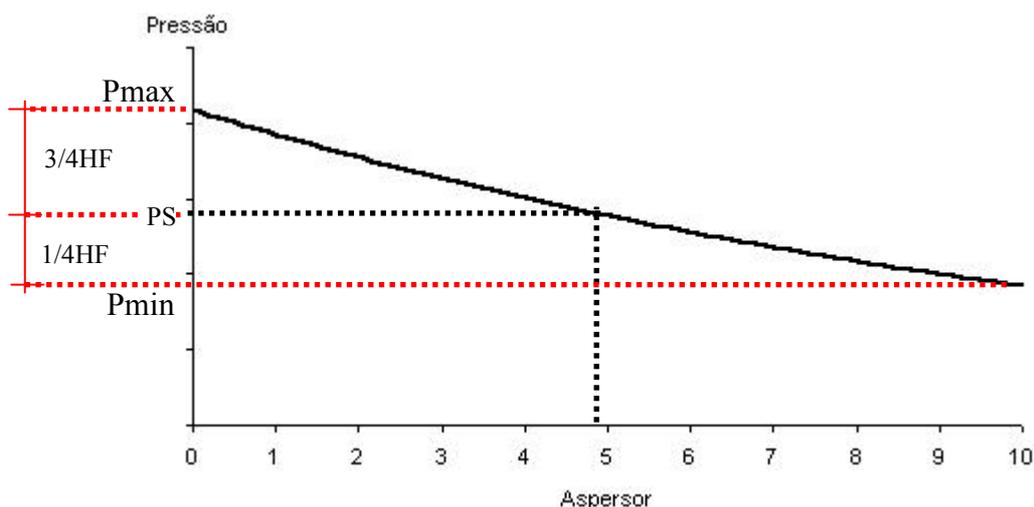
P_{in} – pressão no início da linha lateral

PS – pressão de serviço do aspersor

HF – perda de carga na linha lateral

ΔZ – desnível entre o início e o final da linha lateral

Aa – altura do aspersor



6.6.5.1 Perda de carga em tubulações com múltiplas saídas

$$HF = HF' \times F$$

Em que:

HF – perda de carga em tubulações com múltiplas saídas

HF' - perda de carga se não existisse saída intermediária

F – fator de múltiplas saídas (tabela ou fórmula)

FÓRMULA

$$F = \frac{1}{m+1} + \frac{1}{2N} + \frac{\sqrt{m-1}}{6.N^2}$$

Em que:

N – número de saídas ao longo da tubulação

m – coeficiente que depende do expoente da velocidade na equação de utilizada para o cálculo da perda de carga

Hazen Willians: $m=1,85$

Darcy-Weisbach: $m=2,00$

6.6.5.2 Linha lateral em nível

- Selecionar aspersor:
 - Pressão de serviço (PS)
 - Espaçamento

Características Operacionais do aspersor Agropolo NY 30

BOCAIS DIÂMETRO NOMINAL (mm)	CÓDIGO	PRESSÃO (mca)	DIÂMETRO ALCANCE (m)	ALTURA MÁXIMA DO JATO (m)	VAZÃO (m³/h)	ESPAÇAMENTO ENTRE ASPERSORES (m)				
						6X12	12X12	12X18	18X18	18X24
 Tampa Preta	3027 - ER	30	21,20	2,20	1,25	17,36				
	4491 - ERL	35	21,20	2,30	1,35	18,75				
		40	21,20	2,40	1,44	20,00				
		45	21,00	2,40	1,53	21,25				
 Curto Vermelho		20	26,80	3,50	1,79	12,43				
	4488 - ER	25	27,00	3,70	2,00	13,89				
	4503 - ERL	30	27,20	3,90	2,19	15,21				
		35	27,60	4,10	2,34	16,25				
		40	28,00	4,30	2,53	17,57				
 Longo Verde		45	28,00	4,40	2,68	18,61				
		20	29,40	3,50	2,17	15,07			10,05	
	2822 - ER	25	31,00	3,70	2,43	16,88			11,25 7,50	
	2851 - ERL	30	31,80	4,00	2,66	18,47			12,31 8,21	
		35	32,40	4,10	2,87	19,93			13,29 8,86	
		40	32,40	4,30	3,07	21,32			14,21 9,48	
	45	32,40	4,40	3,26	22,64			15,09 10,06		

Catálogo do aspersor

- A pressão média na linha lateral deve ser igual a PS do aspersor
- A perda de carga na linha lateral deve ser menor que 20% da PS

$$HF = 0,2 \cdot PS$$

$$HF' = \frac{0,2 \cdot PS}{F}$$

$$Q_{LL} = n^{\circ} \text{ aspersores} \cdot Q_{asp}$$

Q_{LL} – vazão da linha lateral

Q_{asp} – vazão do aspersor

Para determinar o Diâmetro utilizo a fórmula de Hazen Willians:

$$HF'(mca) = 10,643 \cdot \frac{L(m)}{D^{4,87}(m)} \left(\frac{Q(m^3/s)}{C} \right)^{1,852}$$

HF' – perda de carga;

L – comprimento do tubo;

D – diâmetro do tubo;

Q – vazão;

C – coeficiente de HW

$$D^{4,87} = 10,643 \cdot \frac{L}{HF'} \left(\frac{Q}{C} \right)^{1,852}$$

Obs: Com o diâmetro escolhido, determino o HF com HW

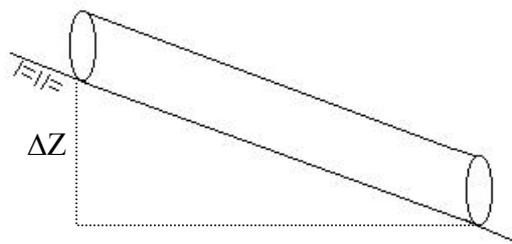
Para determinar a pressão necessária no início da linha lateral utiliza-se a fórmula abaixo:

$$P_{in} = PS + \frac{3}{4} HF \pm 0,5 \Delta Z + Aa$$

Como $\Delta Z = 0$

$$P_{in} = PS + \frac{3}{4} HF + Aa$$

6.6.5.3 Linha lateral em Declive



$$HF = 0,2 \cdot PS + \Delta Z$$

$$HF' = \frac{0,2 \cdot PS}{F}$$

$$Q_{LL} = n^{\circ} \text{ aspersores} \cdot Q_{asp}$$

Q_{LL} – vazão da linha lateral

Q_{asp} – vazão do aspersor

Para determinar o Diâmetro utilizo a fórmula de Hazen Willians:

$$HF'(mca) = 10,643 \cdot \frac{L(m)}{D^{4,87}(m)} \left(\frac{Q(m^3/s)}{C} \right)^{1,852}$$

HF' – perda de carga;

L – comprimento do tubo;

D – diâmetro do tubo;

Q – vazão;

C – coeficiente de HW

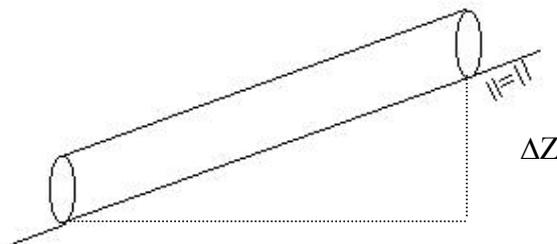
$$D^{4,87} = 10,643 \cdot \frac{L}{HF'} \left(\frac{Q}{C} \right)^{1,852}$$

Obs: Com o diâmetro escolhido, determino o HF com HW

Para determinar a pressão necessária no início da linha lateral utiliza-se a fórmula abaixo:

$$P_{in} = PS + \frac{3}{4} HF - 0,5 \Delta Z + Aa$$

6.6.5.4 Linha lateral em Active



$$HF = 0,2 \cdot PS - \Delta Z$$

$$HF' = \frac{0,2 \cdot PS}{F}$$

$$Q_{LL} = n^{\circ} \text{aspersores} \cdot Q_{asp}$$

Q_{LL} – vazão da linha lateral

Q_{asp} – vazão do aspersor

Para determinar o Diâmetro utilizo a fórmula de Hazen Willians:

$$HF'(mca) = 10,643 \cdot \frac{L(m)}{D^{4,87}(m)} \left(\frac{Q(m^3/s)}{C} \right)^{1,852}$$

HF' – perda de carga;

L – comprimento do tubo;

D – diâmetro do tubo;

Q – vazão;

C – coeficiente de HW

$$D^{4,87} = 10,643 \cdot \frac{L}{HF'} \left(\frac{Q}{C} \right)^{1,852}$$

Obs: Com o diâmetro escolhido, determino o HF com HW

Para determinar a pressão necessária no início da linha lateral utiliza-se a fórmula abaixo:

$$P_{in} = PS + \frac{3}{4} HF + 0,5 \Delta Z + Aa$$

Exercício:

Dimensionar a linha lateral, em nível, com declive de 1% e aclive de 1%, utilizando os dados abaixo:

$$L = 180m$$

$$PVC - C = 140$$

Aspersor:

- **Espaçamento: 18 x 24 m**
- **PS = 30 mca**
- **Q = 3 m³/h**

$$H_f \text{ permitida} = 20\% \text{ da PS}$$

$$\text{Altura do aspersor} = 1 \text{ m}$$

Determine:

- **Nº de aspersores por linha lateral**
- **F de múltiplas saídas**
- **HF permitida**
- **HF'**
- **Q início da LL**
- **Diâmetro da LL**
- **Pressão no início da LL**

6.6.6 Dimensionamento de linhas principais e secundárias

- **Critério da velocidade média:** Determinar o diâmetro dos diferentes trechos de modo que a velocidade média da água em cada trecho fique entre 1,0 e 2,5 m/s

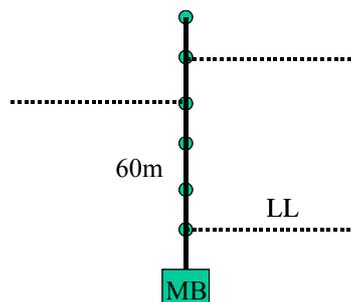
Exercício: Dimensionar a linha principal.

Dados:

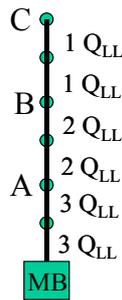
$$Q_{LL} = 6,5 \text{ L/s}$$

$$\text{Pressão no início da LL} = 35 \text{ mca}$$

Terreno plano



Resolução:



Trechos	Comprimento (m)	Vazão (L/s)
MB – A	120	19,5
A- B	120	13
B - C	120	6,5

Trecho MB - A

D (mm)	A (m ²)	V (m/s)
150	0,01767	1,10
125	0,01227	1,59
100	0,00785	2,48

$$HF = 10,643 \cdot \frac{120}{0,125^{4,87}} \left(\frac{0,0195}{140} \right)^{1,852} = 2,3 \text{ mca}$$

Trecho A - B

D (mm)	A (m ²)	V (m/s)
125	0,01227	1,06
100	0,00785	1,65
75	0,00441	2,94

$$HF = 10,643 \cdot \frac{120}{0,1^{4,87}} \left(\frac{0,013}{140} \right)^{1,852} = 3,22 \text{ mca}$$

Trecho B - C

D (mm)	A (m ²)	V (m/s)
100	0,00785	0,83
75	0,00441	1,47
50	0,00196	3,31

$$HF = 10,643 \cdot \frac{120}{0,075^{4,87}} \left(\frac{0,0065}{140} \right)^{1,852} = 3,63 \text{mca}$$

6.6.7 Seleção do Conjunto Moto-bomba

- A seleção do conjunto moto-bomba é realizada com base na vazão e na altura manométrica do sistema (Hman)

$$\text{Pot(cv)} = \frac{1000 \cdot Q(\text{m}^3/\text{s}) \cdot \text{Hman(mca)}}{75 \cdot \text{rendimento}}$$

$$\mathbf{Hman = Hs + Hr + HFp + HFloc + Pin + Hfsuc}$$

Hs – altura geométrica da sucção

Hr – altura geométrica do recalque

HFp – perda de carga (linha principal e secundária)

Hfloc – perda de carga localizada

Pin – Pressão no início da LL

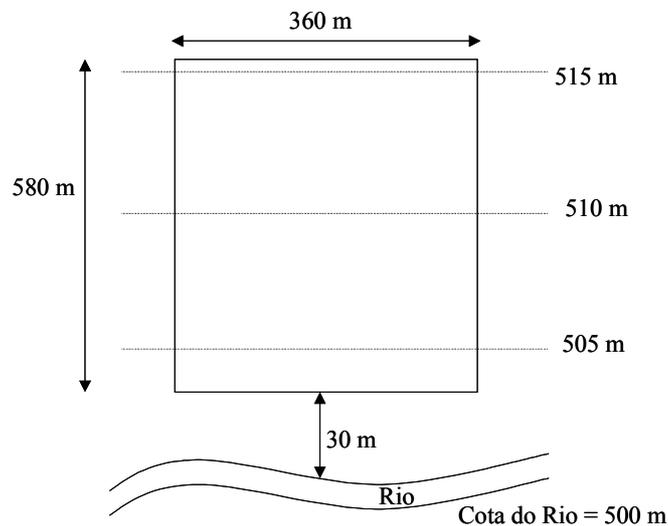
Hfsuc – perda de carga na sucção

6.6.8 Exemplo de dimensionamento (Aspersão convencional)

- Dados iniciais:

- Cultura: Milho
- Prof. Efetiva do sistema radicular = 50 cm
- Período de máxima demanda : $ET_0 = 6 \text{ mm/dia}$, $K_c = 1,1$
- S/ considerar chuva
- Fator de disponibilidade = 0,5
- $U_{cc} = 35\%$
- $U_{pmp} = 18 \%$
- Densidade do solo = $1,2 \text{ g/cm}^3$
- $VIB = 10 \text{ mm/h}$
- Eficiência de aplicação de água = 85%
- Jornada de trabalho = 16 h/dia
- Altura do aspersor = $1,8 \text{ m}$

- Planta Topográfica



- Água disponível

$$DTA = \frac{35-18}{10} \cdot 1,2 = 2,04 \text{ mm / cm}$$

$$CTA = 2,04 \cdot 50 = 102 \text{ mm}$$

$$CRA = 102 \cdot 0,5 = 51 \text{ mm}$$

$$IRN \leq 51 \text{ mm}$$

$$ITN = 51/0,85 = 60 \text{ mm}$$

- Turno de Rega

$$ET_c = 6 \cdot 1,1 = 6,6 \text{ mm/dia}$$

$$TR = \frac{51 \text{ mm}}{6,6 \text{ mm / dia}} = 7,7 \text{ dias}$$

$$TR = 7 \text{ dias}$$

- Período de irrigação

$$PI = 7 - 1 = 6 \text{ dias}$$

Obs: 1 dia para manutenção do sistema

- IRN para 7 dias

$$IRN = 7 \text{ dias} \cdot 6,6 \text{ mm/dia} = 46,2 \text{ mm}$$

- ITN para 7 dias

$$ITN = 46,2 \text{ mm} / 0,85 = 54,4 \text{ mm}$$

- Seleção do aspersor

- Selecionar um aspersor que tenha uma intensidade de aplicação de água menor do que a VIB;

- Aspersor Selecionado:

- Pressão de Serviço (PS) = 30 mca
- Vazão = 3,5 m³/h
- Raio = 16 m
- Espaçamento = 18 x 24 m
- $I_a = \frac{3500L/h}{18m \cdot 24m} = 8,1mm/h$

- Tempo de irrigação por posição (Ti)

$$T_i = \frac{54,4mm}{8,1mm/h} = 6,72h$$

Tempo para mudança da linha lateral (Tm) = 0,5 h

$$T_i = 6,72 + 0,5 = 7,22 \text{ h}$$

- Nº de posições irrigadas por dia (uma linha lateral)

$$N_p = \frac{16h/dia}{7,22h} = 2,22 \text{ posições}$$

Np = 2 posições por dia

- Nº total de posições na área(N)

$$N = \frac{580m}{24m} = 24,5 \cong 24$$

$$N = 24 \times 2 = 48 \text{ posições}$$

- Nº de posições que devem ser irrigadas por dia (Nd)

$$Nd = \frac{48\text{posições}}{6\text{dias}} = 8\text{posições / dia}$$

- Nº de linhas laterais (NL)

$$NL = \frac{8\text{posições / dia}}{2\text{posições / dia / linha}} = 4\text{linhas}$$

- Nº de aspersores na linha lateral (Nasp)

$$Nasp = \frac{180\text{m}}{18\text{m}} = 10\text{aspersores}$$

- Vazão da linha lateral (Q_{LL})

$$Q_{LL} = 10 \text{ aspersores} \cdot 3,5 \text{ m}^3/\text{h} = 35 \text{ m}^3/\text{h}$$

- Dimensionamento da linha lateral

$$Q_{LL} = 35 \text{ m}^3/\text{h} = 0,00972 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$PS = 30 \text{ mca}$$

$$Hf_{\text{admissível}} = 0,2 \cdot 30 = 6 \text{ mca}$$

$$\text{Fator de múltiplas saídas (tabelado): } F_{10 \text{ saídas}} = 0,402$$

$$HF' = 6 / 0,402 = 14,92 \text{ mca}$$

$$\text{Coeficiente de Hazen Willians p/ PVC: } C = 140$$

$$HF' = 10,643 \frac{L}{D^{4,87}} \frac{Q^{1,852}}{C^{1,852}}$$

HF' – perda de carga no tudo sem saídas (mca)

D – diâmetro do tubo (m)

L – comprimento do tubo (m)

Q – vazão (m³/s)

$$D = \left(10,643 \frac{180}{14,92} \frac{0,00972^{1,852}}{140^{1,852}} \right)^{\frac{1}{4,87}}$$

$$D = 0,071 \text{ m} = 71 \text{ mm}$$

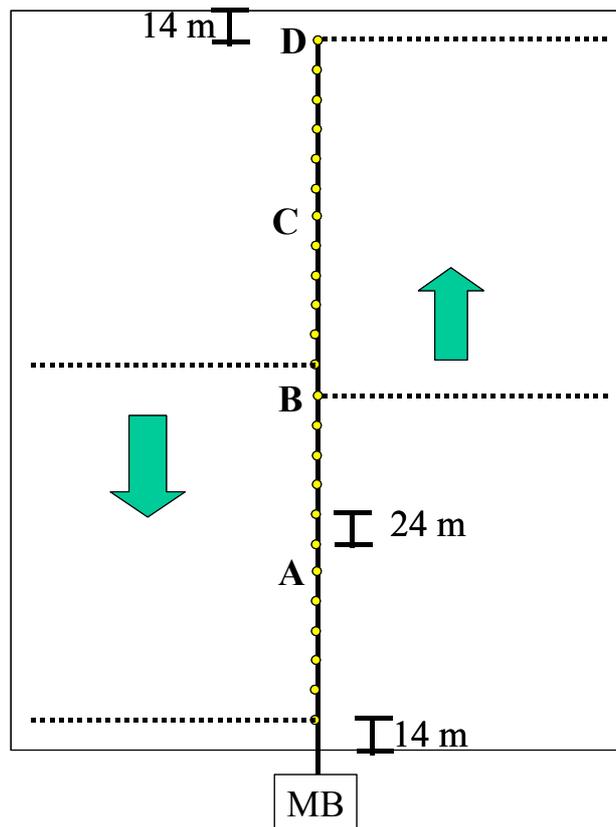
$$D_{\text{escolhido}} = 75 \text{ mm}$$

$$HF' \text{ para } D = 75 \text{ mm (utilizar HW): } HF' = 11,46 \text{ mca}$$

$$HF \text{ para } D = 75 \text{ mm (utilizar F): } HF = 4,6 \text{ mca}$$

$$Pin = 30 + \frac{3}{4} 4,6 + 1,8 = 35,25 \text{ mca}$$

- Dimensionamento da linha principal



Trechos	Comprimento (m)	Vazão (m ³ /h)	Vazão (m ³ /s)
MB – A	164	140	0,0389
A – B	144	105	0,0282
B – C	144	70	0,0194
C – D	144	35	0,00972

Trecho MB-A		
D (mm)	Área (m ²)	Velocidade (m/s)
200	0,031415	1,24
<u>150</u>	<u>0,01767</u>	<u>2,2</u>
125	0,01227	3,17

Trecho A-B		
D (mm)	Área (m ²)	Velocidade (m/s)
<u>150</u>	<u>0,01767</u>	<u>1,65</u>

Trecho B-C		
D (mm)	Área (m ²)	Velocidade (m/s)
<u>125</u>	<u>0,01227</u>	<u>1,58</u>

Trecho C-D		
D (mm)	Área (m ²)	Velocidade (m/s)
<u>100</u>	<u>0,007854</u>	<u>1,23</u>

Perda de Carga (utilizar HW, C = 140)		
Trechos	D (mm)	HF (mca)
MB - A	150	4,65
A - B	150	2,40
B - C	125	2,74
C - D	100	2,25
		Total = 12,04 mca

- Diâmetro da tubulação de sucção

Diâmetro da sucção \geq Diâmetro do recalque

Diâmetro da sucção = 150 mm

Considerando:

- Comprimento da sucção = 10 m
- Altura geométrica de sucção = 2 m
- $C_{HW} = 140$

Perda de carga na sucção: $H_{f_{sucção}} = 0,28$ mca

- Altura manométrica total

$P_{in} = 35,25$ mca

H_f na linha principal = 12,04 mca

H_f na sucção = 0,28 mca

Altura geométrica de recalque = 15 m

Altura geométrica de sucção = 2 m

H_f localizada – 5% do total

$H_{man} (s/ H_{f_{loc}}) = 35,25 + 12,04 + 0,28 + 15 + 2 = 64,57$ mca

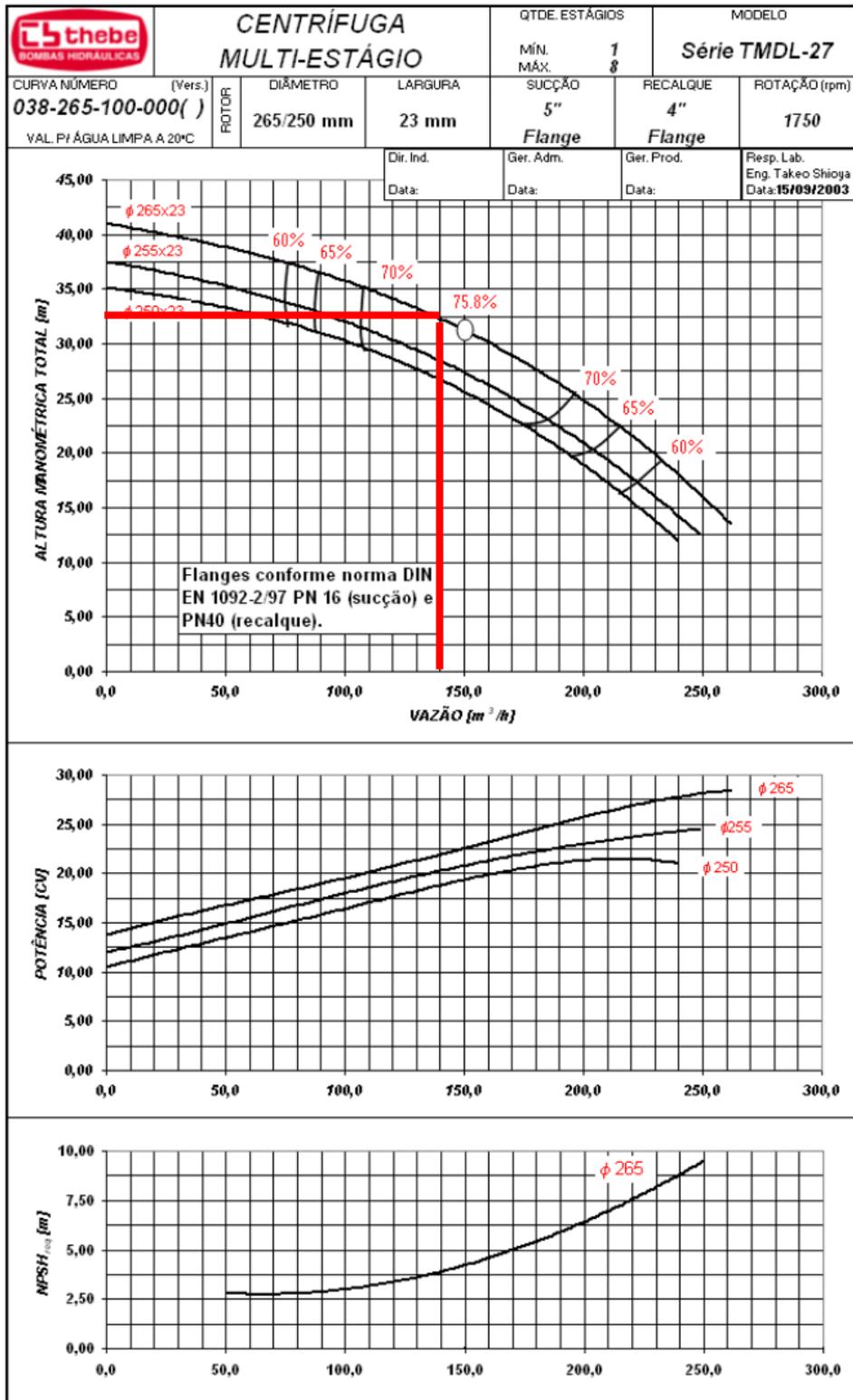
$H_{f_{loc}} (5\%) = 64,57 \cdot 0,05 = 3,22$ mca

$H_{man} (c/ H_{f_{loc}}) = 64,57 + 3,22 = 67,8$ mca

- Vazão da bomba

$Q_{bomba} = 4 \cdot 35 = 140$ m³/h

- Procurar nos catálogos dos fabricantes uma bomba que forneça aproximadamente uma altura manométrica de 67,8 mca e uma vazão de 140 m³/h.



Bomba escolhida: Thebe Multi-estágio TMDL-27, rotor = 265 mm, $\eta = 74\%$, 2 estágios (duas vezes a altura manométrica), Pot = 45 cv

- Cálculo da potência

$$\text{Pot(cv)} = \frac{1000 \cdot Q(\text{m}^3 / \text{s}) \cdot H_{\text{man}}(\text{mca})}{75 \cdot \text{rendimento}(\text{decimal})}$$

- Lista de Material

Material	Quantidade
<i>RECALQUE</i>	
Aspersores	40 un
Tubo PVC (Branco) 1" (tubo de subida)	40 un
Tripé	40 un
Te de 75 mm c/ saída p/ aspersor	40 un
Te de 150 mm c/ saída 75 mm	24 un
Te de 125 mm c/ saída 75 mm	12 un
Te de 100 mm c/ saída 75 mm	12 un
Cap 75 mm	48 un
Cap 100 mm	1 un
Tubo de PVC (Azul) 75 mm (linha lateral)	120 barras
Tubo de PVC (Azul) 100 mm (linha principal)	24 barras
Tubo de PVC (Azul) 125 mm (linha principal)	24 barras
Tubo de PVC (Azul) 150 mm (linha principal)	52 barras
Redução 150 x 125 mm	1
Redução 125 x 100 mm	1
<i>SUCÇÃO</i>	
Mangote de 150 mm (sucção)	10 m
Válvula de pé c/ crivo – 150 mm	1 un
Curva de 90° de 150 mm	3 un
Redução 150 x 125 mm (entrada da bomba)	1 un
Redução 150 x 100 mm (saída da bomba)	1 un
Registro 150 mm	1 un
Válvula de retenção 150 mm	1 un
<i>OUTROS</i>	
Bomba: Thebe TMDL-27, rotor = 265 mm, 2 estágios, Pot = 45 cv	1 un
Lixa	10 un
Cola para PVC	2 un
Veda Rosca	10 un

6.7 Pivô-Central

6.7.1 Características gerais

- O sistema de irrigação foi desenvolvido nos Estados Unidos e em 1960 já estavam em funcionamento mais de 200 conjuntos. O primeiro pivô central a ser lançado no Brasil foi o VALMATIC, em 1979, pela associação da ASBRASIL com a VALMONT (EUA).



Pivô-central

- Sistema de irrigação por aspersão que opera em círculo, constituído de uma linha lateral com aspersores, ancorada em uma das extremidades e suportada por torres dotadas de rodas, equipadas com unidades propulsoras que, na maioria das vezes, são compostas por motoredutores de 1 cv que transmite o movimento, mediante eixo cardã, aos redutores das rodas que são do tipo rosca sem fim.



Motoredutores

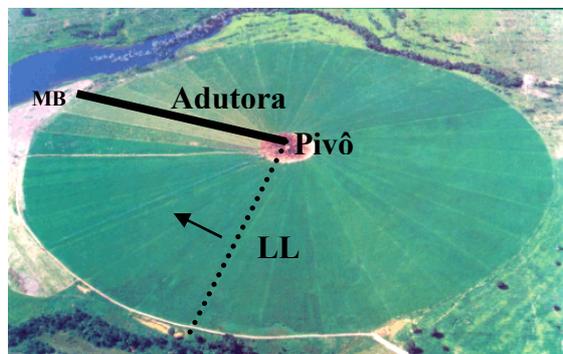
- A linha lateral realiza um giro completo ao redor da torre central do pivô.
- A velocidade de rotação é regulada através do relé percentual na caixa de controle, que comanda a velocidade da última torre.



Caixa de controle

- Cada torre tem uma velocidade diferente.

- O alinhamento das torres é garantido por um sistema de guias localizadas em cada torre, o qual é responsável por ligar e desligar o sistema de propulsão.
- Distância entre torre: 38 – 52 m.
- Altura: 2,7 – 3,0 m.
- N° de torres: 4 a 15.
- Área: 12 a 122 ha.



Layout do sistema

- É comum a utilização do canhão no final da linha lateral para aumentar a área irrigada, exemplo:

Raio do pivô = 402 m

Área = 50,7 ha

Alcance do canhão = 30 m

Área total = 58,6 ha (15,6%)



Foto do pivô com canhão

- Recomenda-se para áreas maiores do que 50 ha.
- No pivô podem ser utilizados os seguintes emissores:
 - Impacto: possuem um alcance maior do que os outros tipos. Faz-se necessário em solos com baixa velocidade de infiltração de água;
 - Fixos “Spray”: possuem menor alcance, mas operam c/ menores pressões (economia de energia);
 - L.E.P.A: mangueira conectada a linha lateral que desliza entre as linhas de plantio.
- Válvula reguladora de pressão: são utilizadas com o objetivo de compensar as perdas de carga da tubulação do pivô e as diferenças de nível dentro da área irrigada.

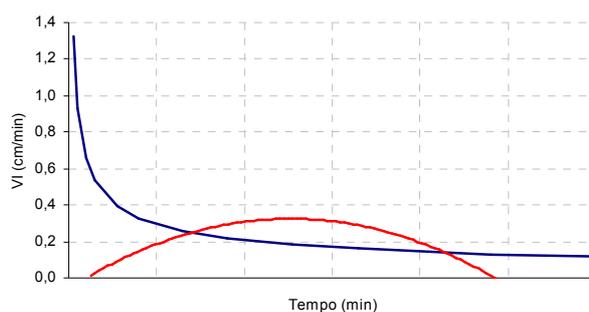
6.7.2 Vantagens e desvantagens

- Vantagens:
 - Pouca mão-de-obra;

- Ao término da irrigação a Linha lateral já se encontra na posição adequada p/ o início da irrigação seguinte;
 - Quando capta água de poço pode se dispensar a adutora;
 - Boa uniformidade (quando bem dimensionado).
- Desvantagens:
- Perda de área (20%);
 - Alta precipitação no final da linha lateral;
 - Elevado gasto com energia.

6.7.3 Princípios de operação (Frizzone, 2002)

A intensidade de aplicação de água sobre um ponto no terreno varia continuamente enquanto passa a linha lateral. Inicialmente, a intensidade de aplicação é baixa, aumentando com o tempo até atingir um valor máximo quando a lateral posiciona-se sobre o ponto. A partir desse instante, a intensidade de aplicação volta a diminuir progressivamente. Independente da velocidade de rotação do equipamento, a largura da faixa molhada, a intensidade máxima de aplicação de água e a intensidade média permanecerão constantes a uma mesma distância do ponto do pivô. Entretanto, o tempo de aplicação de água e a lâmina aplicada diminuem com o aumento da velocidade de rotação.



Taxa de aplicação x infiltração no solo

Ao longo da linha lateral, a intensidade de aplicação depende do diâmetro do bocal dos emissores, da pressão de operação, do comprimento da tubulação, do espaçamento entre emissores e do tipo de emissores utilizado. Fixados esses parâmetros, a intensidade de aplicação varia desde baixos valores, próximo ao ponto do pivô, até valores mais elevados, no final da linha lateral. Isto porque, para aplicar a mesma lâmina de água ao longo de todo o raio do sistema, e uma vez que a velocidade das torres cresce do centro para a periferia, a intensidade de aplicação deve crescer no mesmo sentido. Assim, a partir do ponto do pivô, o tempo de aplicação de água por unidade de comprimento da tubulação diminui e, portanto, a intensidade de aplicação deve aumentar. A alternativa de utilização de pendurais para minimizar a perda de água por evaporação e por arraste pelo vento, tem o inconveniente de aumentar a intensidade de aplicação e reduzir a sobreposição dos perfis de distribuição dos emissores, podendo reduzir a uniformidade de distribuição de água.

O avanço das torres ao redor do ponto do pivô é determinado pela velocidade da última torre. Um dispositivo denominado temporizador percentual comanda o intervalo de tempo que o motor da última torre deverá funcionar no espaço de tempo de 1 min. Assim, o temporizador ajustado em 100% indica que a última torre estará com velocidade máxima, pois não haverá paradas. Ajustando-se para 70%, a última torre permanecerá parada por 18 s e se movimentará por 42 s, aplicado uma lâmina maior que no primeiro caso. Portanto, o temporizador é destinado a ajustar a lâmina de água aplicada de acordo com o solo e com a necessidade da cultura. O ajuste pode ser feito para diferentes valores inferiores a 100%.

A distribuição de água pode ser feita por aspersores de impacto ou por difusores fixos ou rotativos, acoplados sobre a linha lateral e convenientemente espaçados para permitir adequada uniformidade de distribuição de água. Quanto à pressão de serviço, os emissores podem operar em baixa e alta pressão, isto é, pressões de 15 mca a 50 mca. Por razões de economia de energia é dada preferência aos sistemas que operam a baixas pressões. A vazão dos emissores é o resultado da pressão de operação e do diâmetro do bocal.



Aspersores fixos

6.7.4 Fatores intervenientes

- Topografia

Declives recomendados

Lance	Diâmetro da tubulação	Declives (%)	
		Ideal	Máximo
Padrão (39 m)	8"	6	12
Padrão (39 m)	6"5/8	18	26
Médio (45 m)	6"5/8	12	18
Longo (59 m)	6"5/8	6	12

- Localização

Local que permita a expansão futura da área irrigada com máxima utilização da área. Sempre que possível a fonte de água deve estar o mais próximo possível do pivô (Maximização da área irrigada e minimização de custos).

- Solo

Deve ser avaliada a capacidade de infiltração e retenção de água do solo, de forma que a lâmina e a frequência de irrigação estejam em conformidade com a capacidade de retenção e a intensidade de aplicação seja menor do que a capacidade de infiltração do solo.

- Disponibilidade de água

Normalmente são requeridas vazões maiores que 150 m³/h.

6.7.5 Parâmetros para manejo do sistema

- Tempo de revolução do sistema

- Tempo necessário para completar uma volta
- Quanto maior a velocidade menor a lâmina aplicada
- O tempo de revolução não deve exceder o intervalo necessário entre duas irrigações sucessivas
- Deve permitir a aplicação de água requerida pela cultura e não resultar em escoamento superficial
- Tempo máximo de revolução (Tmax):

$$T_{\max} = \frac{24 \cdot h_{\max}}{ETc} = \frac{2 \cdot \pi \cdot Ru}{V_{\min}}$$

Em que:

Tmax – horas

Etc – necessidade de água da cultura (mm/dia)

h_{max} – máxima lâmina de água que pode ser aplicada por irrigação sem que ocorra escoamento superficial (mm)

Ru – raio até a última torre (m)

V_{min} – velocidade mínima de deslocamento (m/h) sem que ocorra escoamento superficial

- Tempo mínimo de revolução (Tmin):

$$T_{\min} = \frac{2 \cdot \pi \cdot Ru}{V_{\max}}$$

Em que:

Tmin – horas

V_{max} – a velocidade máxima de deslocamento é fornecida pelo fabricante (m/h)

- Lâmina aplicada por volta do pivô

$$Lâmina = \frac{Vazão \cdot Tempo}{Área}$$

$$Lâmina(mm) = 0,36 \frac{Q(L/s) \cdot H(horas)}{A(ha)}$$

Q – vaza do sistema

H – tempo para dar uma volta

A – área irrigada

Exercício 1: Calcular a lâmina aplicada (mm), sabendo que:

$$Q = 126 \text{ m}^3/h$$

$$Área = 55 \text{ ha}$$

$$H = 24 \text{ horas}$$

Resposta: 5,5 mm

Exercício 2: Calcular a lâmina aplicada (mm), sabendo que:

$$Q = 0,04 \text{ m}^3/s$$

$$Área = 60 \text{ ha}$$

$$H = 20 \text{ horas}$$

Resposta: 4,8 mm

6.7.6 Manejo da irrigação

Exemplo: Com base na equação de infiltração calculamos que a velocidade mínima de deslocamento da última torre deverá ser 83,2 m/h, correspondendo a um ajuste do percentímetro em 47%. A partir daí podemos construir uma tabela útil ao manejo da irrigação, a qual fornecerá para os tempos de revolução do sistema e as correspondentes lâminas de irrigação em função das diferentes velocidades de deslocamento.

Tabela. Parâmetros para o manejo da irrigação com o pivô central para uma vazão do sistema igual a 130 m³/h, raio até a última torre 386,93 m e raio da área efetivamente irrigada 396 m.

Velocidade		Tempo de revolução	Lâmina bruta
V (%)	V (m/h)	Tr (h)	H _b (mm)
100	177,0	13,7	3,6
90	159,3	15,3	4,0
80	141,6	17,2	4,5
70	123,9	19,6	5,2
60	106,2	22,9	6,0
50	88,5	27,5	7,3
47	83,2	29,2	7,7

Fórmulas:

$$Tr = \frac{2\pi Ru}{V}; h_b = \frac{Q \cdot Tr}{10 \cdot A}; A = \frac{\pi R_e^2}{10000}$$

Em que:

Ru – raio até a última torre (m)

V – velocidade de deslocamento (m/h)

Q – vazão do sistema (m³/h)

Tr – tempo de revolução (h)

Re – raio efetivamente irrigado (m)

6.7.7 Exemplo de dimensionamento

Dados:

ET0 = 3,94 mm/dia

Kc = 1,0

Ea = 85%

TR = diário

Pivô:

- N° de torres = 8
- N° emissores/torre = 16
- N° emissores no balanço = 4
- N° total de emissores = 132
- Espaçamento entre emissores = 2 m
- Comprimento até o final do balanço = 264 m
- Comprimento até a última torre = 256 m

- Velocidade de deslocamento da última torre = 125 m/h (100%)
- Tempo de funcionamento por dia = 20 h
- Pressão no final do pivô = 14 mca
- Diferença de nível do centro ao ponto mais elevado da área irrigada = 3,5 m
- Altura do aspersor = 2,7 m

Cálculos

a) Vazão

$$\text{Lâmina de irrigação} = \frac{3,94 \times 1}{0,85} = 4,64 \text{ mm / dia}$$

Lâmina = volume / área

$$\text{Vol} = \text{Lâmina} \cdot \text{área} = 4,64 \cdot (\pi \cdot 264^2) = 1.015.957,9 \text{ litros}$$

$$\text{Vazão} = \text{volume} / \text{tempo} = 1.015,96 \text{ litros} / 20 \text{ horas} \Rightarrow Q = 50,8 \text{ m}^3/\text{h}$$

b) Qual o tempo que o pivô necessita para dar 1 volta (percentímetro 100%)?

$$T_{100\%} = \frac{\text{Perímetro}}{\text{velocidade}} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 256 \text{ m}}{125 \text{ m/h}} = 12,87 \text{ h}$$

c) Qual a lâmina aplicada quando o percentímetro está regulado em 100%?

$$20 \text{ h} \rightarrow 4,64 \text{ mm}$$

$$12,87 \text{ h} \rightarrow L_{100\%}$$

$$L_{100\%} = 2,99 \text{ mm}$$

d) Qual a regulagem do percentímetro p/ aplicar uma lâmina de 4,64 mm?

$$L_x = \frac{L_{100\%}}{X}$$

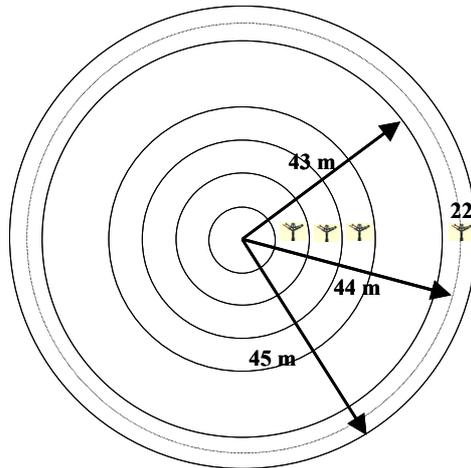
L_x – lâmina aplicada a X%

X – regulagem do percentímetro

$$X = \frac{L_{100\%}}{L_x} = \frac{2,99 \text{ mm}}{4,64 \text{ mm}} = 0,64$$

$$X = 64 \%$$

e) Qual deverá ser a vazão do emissor nº 22?



$$\text{Área de influência} = \pi (R^2 - r^2) = \pi (45^2 - 43^2) = 552,92 \text{ m}^2$$

$$\text{Volume} = \text{Lâmina} \times \text{Área} = 4,64 \text{ L/m}^2 \times 552,92 \text{ m}^2 = 2565,55 \text{ L}$$

$$Q_{22} = \frac{2565,55 \text{ L}}{20 \text{ h}} = 128,25 \text{ L/h}$$

f) Qual a pressão necessária na entrada do Pivô? (Pi)

$$P_i = P_{\text{final}} + H_f \text{ pivô} + \text{Altura dos emissores} + \Delta Z$$

Em que:

P_{final} – pressão requerida pelo último emissor (mca)

$H_f \text{ pivô}$ – perda de carga ao longo do pivô (mca)

ΔZ – diferença de nível do centro do pivô até a parte mais elevada do terreno

Fórmula par determinação do fator de múltiplas saídas:

$$F = \frac{1}{m+1} + \frac{1}{2N} + \frac{\sqrt{m-1}}{6.N^2}$$

Em que:

m - coeficiente que depende do expoente da velocidade na equação de perda de carga ($p/H.W.$ $m = 1,85$)

N – número de saídas

$$HF_{\text{pivô}} = 10,643 \frac{L}{D^{4,87}} \frac{Q^{1,852}}{C^{1,852}} \times F \text{ (fator de múltiplas saídas)}$$

$$D_{\text{fabricante}} = 6^{5/8} = 0,146 \text{ m}$$

$$C_{\text{HW}} = 119$$

$$HF_{\text{pivô}} = 10,643 \frac{256}{0,146^{4,87}} \frac{\left(\frac{50,8}{3600}\right)^{1,852}}{119^{1,852}} \times 0,54$$

$$H_f \text{ pivô} = 0,93 \text{ mca}$$

$$P_i = 14 + 0,93 + 2,7 + 3,5 = 21,13 \text{ mca}$$

g) Adutora (Idem aspersão convencional)

- Critérios: $1 < \text{Velocidade da água} < 2,5 \text{ m/s}$

h) Seleção do conjunto moto-bomba (Idem aspersão convencional)

Bomba:

- Vazão = $50,8 \text{ m}^3/\text{h}$
- $H_{man} = (P_i + H_f \text{ suc} + H_f \text{ adutora} + \text{Altura geométrica}) + 5\%$

6.8 Autopropelido

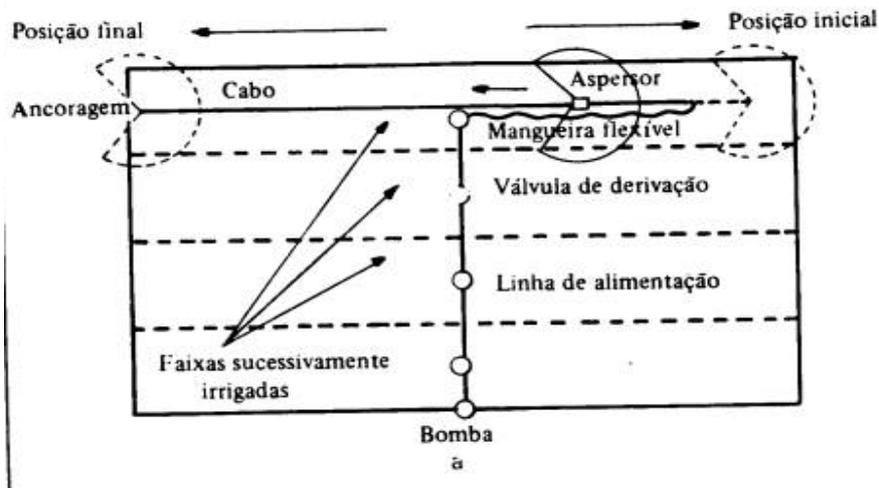
6.8.1 Descrição e classificação

- Máquinas que irrigam faixas longas e estreitas
- Deslocamento sobre o solo seco
- Alcance: > 30 m

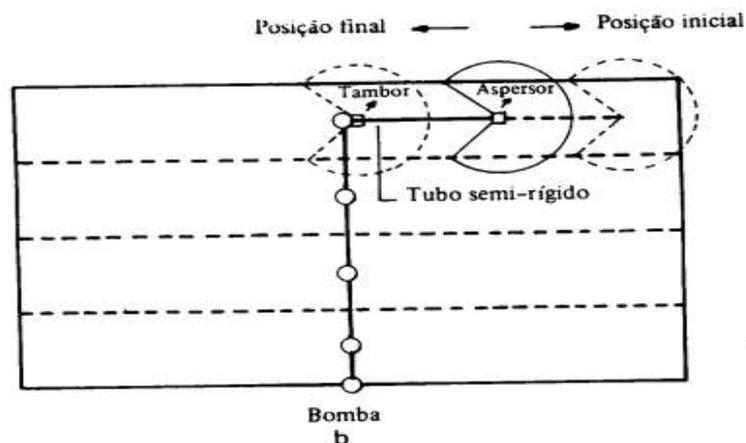


Autopropelido

- Classificação:
 - Aparelhos tracionados a cabo
 - Aparelhos tracionados s/cabo (tração do tubo de alimentação)



Tracionado a cabo



Tracionado pelo tubo de alimentação

6.8.2 Aplicabilidade e componentes

- Não se recomenda p/ culturas delicadas
- Não se recomenda p/ regiões com fortes ventos
- Milho, pastagem, cana, citros



- Tracionados a cabo:

- Aspersor
- Carreta com dispositivo p/ enrolamento do cabo
- Mangueira
- Cabo de aço

- Tracionados s/ cabo:

- Aspersor
- Carrinho
- Tubo e polietileno
- Carreta c/ tambor enrolador

6.8.3 Planejamento e manejo do sistema

- Não tem problema c/ qualidade da água
- Utilizar área preferencialmente retangular
- Modelos disponíveis irrigam até 60 ha por TR
- Comprimento da faixa é igual ao comprimento do cabo (180 – 500 m)
- Largura da faixa é função do alcance do aspersor

Velocidade do vento (m/s)	Largura da faixa (% do alcance)
1	80-85
1 a 2	70-75
3 a 4	60-65
5 a 10	50-55
10	Suspender

- Pressões até 80 mca
- Perdas até o aspersor: ± 50 mca
- Vazões: 30-200 m³/h
- Veloc. De caminhamento: 5-180 m/h

$$V_a = \frac{q}{h.L}$$

V_a – veloc. de avanço (m/h)

q – vazão do aspersor (L/h)

h – altura de chuva (lâmina) aplicada (mm)

L – largura da faixa (m)

Logo:

$$h = \frac{q}{V_a.L}$$

6.8.4 Cuidados e manutenção

- Efetuar lubrificação dos componentes móveis
- Ajuste dos componentes sujeitos as tensões
- Guardar equipamento em lugar coberto
- Proteger mangueira contra roedores
- Guardar mangueira sempre vazia



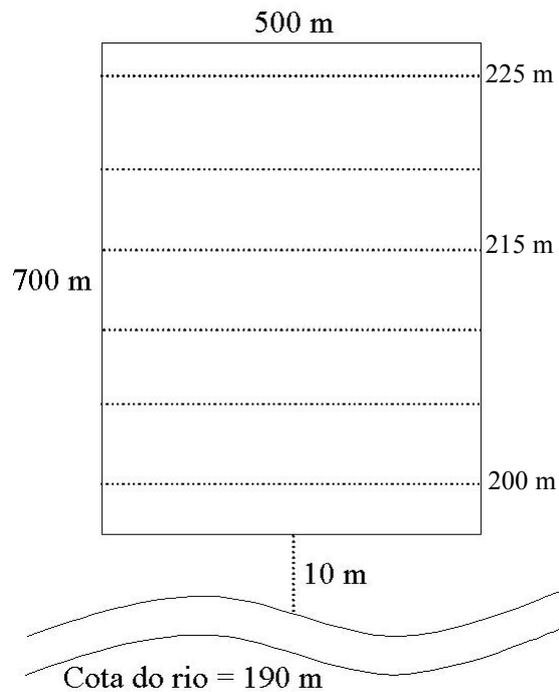
Autopropelido

6.8.5 Exemplo de dimensionamento

$A = 35$ ha

$TR = 7$ dias

Lâmina necessária = 19 5 mm



1) Escolha do autopropelido (P/ uma lâmina de 19,5mm)

Diâmetro do bocal = 39,6mm

PS = 50 mca

Vazão = 95,6 m³/h

Raio = 62 m

Largura da faixa = 102 m

Velocidade de avanço = 50 m/h

Lâmina bruta aplicada = 19 mm

$$h = 95.600 / (50 \cdot 102) = 18,7 \text{ mm}$$

2) Dimensionamento hidráulico

a) Características o equipamento:

- Diâmetro da mangueira = 110 mm
- Comprimento da mangueira = 450 m
- Comprimento máximo da faixa molhada = 500 m
- Largura máxima irrigada = 70 – 90 m

b) Perda de carga na mangueira

C = 140

Diâmetro = 110 mm

Vazão = 95,6 m³/h

L = 450 m

$$H.W - H_f = 29,6 \text{ mca}$$

c) Perda de carga na turbina

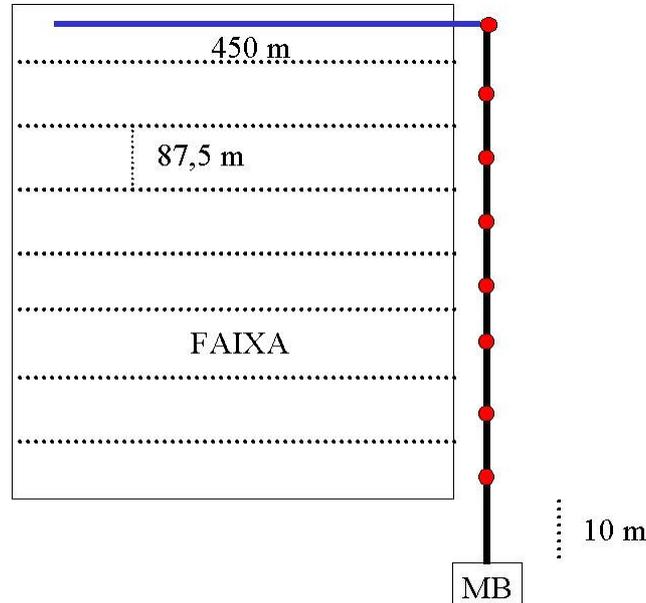
- Fornecido pelo fabricante em função da velocidade e da vazão:

- Para 50 m/s e 95,6m³/h: Hf_{turbina} = 8 mca

d) Perda de carga na linha principal

- É necessário conhecer o layout do sistema para a definição da posição mais crítica

Layout do sistema



$$\text{Comprimento da linha principal} = 10 + 7 \cdot 87,5 + 43,75 = 666,25 \text{ m}$$

- Tubo de Aço zincado: C = 130
- P/ V = 1,5 m/s devo utilizar o diâmetro de 150 mm
- Q = 95,6 m³/h
- Hf = 10,7 mca

e) Altura manométrica

$$H_{\text{man}} = Hf_{\text{mangueira}} + HF_{\text{turbina}} + HF_{\text{LP}} + \text{Altura}_{\text{aspersor}} + \text{Altura}_{\text{recalque}} + \text{Altura}_{\text{sucção}} + \text{PS} + HF_{\text{sucção}} + HF_{\text{localizada}}$$

HF_{localizada} = 5% do total

$$H_{\text{man}} = 28,7 + 8 + 10,7 + 3,91 + 35 + 3,0 + 50 + 2 + 7 = 148,31 \text{ mca}$$

f) Bomba

Selecionar a bomba para uma altura manométrica de 148,31mca e uma vazão de 95,6m³/h

3) Verificação das condições operacionais

$$\text{Tempo de percurso} = \frac{450\text{m}}{50\text{m/h}} = 9 \text{ horas}$$

$$\text{Tempo de mudança} = 30 \text{ min}$$

$$\text{Tempo por posição} = 9 + 0,5 = 9,5 \text{ h}$$

$$\text{Volume aplicado} = 9 \text{ h} \times 95,6 \text{ m}^3/\text{h} = 860,4\text{m}^3$$

$$\text{Área} = 87,5 \times 500 = 43.750 \text{ m}^2$$

$$\text{Lâmina bruta} = \frac{860.400\text{L}}{43.750\text{m}^2} = 19,7 \text{ mm}$$

N de posições = 8

Tempo total de irrigação = 9,5 h x 8 posições = 76 h

$$\text{Regime de trabalho} = \frac{76\text{h}}{7\text{dias}} = 10,9 \text{ horas/dia}$$

CAPÍTULO 7

IRRIGAÇÃO LOCALIZADA

Prof. Rodrigo Souza

7 IRRIGAÇÃO LOCALIZADA

7.1 Introdução

- **Conceito:** Método de irrigação que aplica água diretamente sobre a região onde se concentra o sistema radicular da cultura, com pequenas vazões, mas com alta frequência, de modo a manter a umidade do solo em teores elevados.



- Na irrigação localizada a água é aplicada em pontos localizados com turno de rega pequenos (diariamente ou até 3 dias), de forma a manter o teor de umidade sempre próximo a Capacidade de campo.
- Geralmente são sistemas fixos com alto custo de implantação.
- Histórico: a irrigação localizada foi utilizada pela primeira vez, na Inglaterra, no final da década de 1940, e, em Israel, na década de 1950. Começou a ter importância comercial na década de 60. No Brasil a irrigação por gotejamento começou em 1972 e a microaspersão em 1982.

7.2 Vantagens e Desvantagens

- Vantagens:
 - A irrigação não dificulta as outras operações de cultivo
 - Economia de mão-de-obra
 - Maior eficiência no uso da água
 - Maior controle da irrigação
 - Controle mais fácil de ervas daninhas

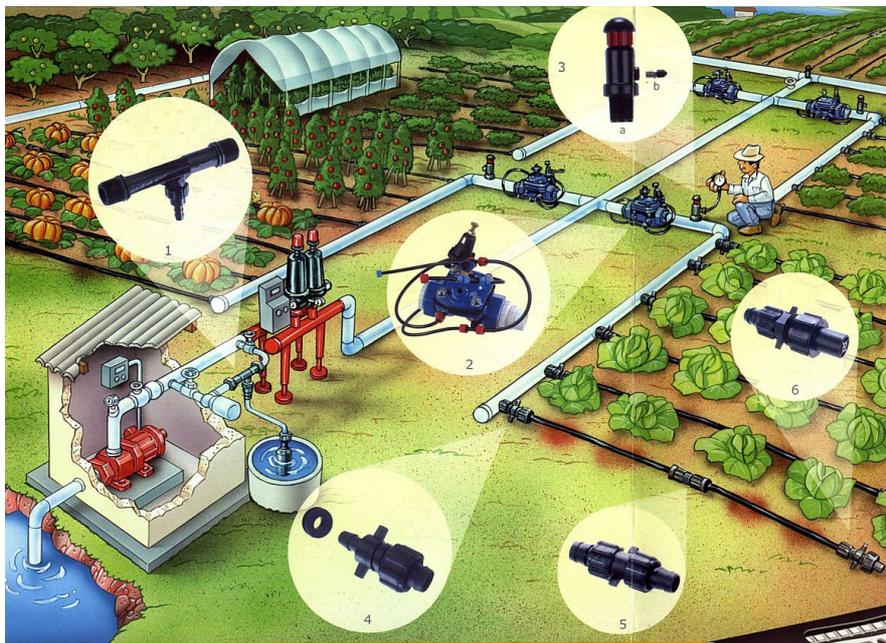
- Economia de água e energia
- Possibilidade de automação

- Desvantagens:
 - Sensibilidade à obstrução
 - Desenvolvimento radicular demasiadamente limitado
 - Custo de implantação

7.3 Componentes do sistema

Na irrigação localizada a água é aplicada através de emissores (gotejadores e microaspersores), de baixa vazão, situados nas linhas laterais, que formam um extenso reticulado de canalizações que abrangem toda a área ao mesmo tempo, distribuindo água sob pressão ao pé da planta. Em geral, os sistemas de irrigação localizada possuem:

- Motobomba
- Cabeçal de controle
- Linha principal
- Válvulas
- Linha de derivação
- Linha lateral
- Emissores



Componentes do sistema

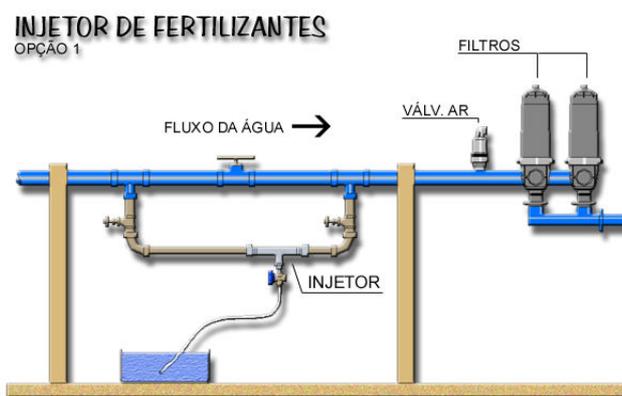
7.3.1 Motobomba

Normalmente são utilizadas bombas centrífugas. Como a irrigação localizada consome menos água e energia, são utilizadas motobombas com potências pequenas, quando comparadas com a irrigação por aspersão.

7.3.2 Cabeçal de controle

O cabeçal de controle fica após a motobomba, no início da linha principal. O cabeçal de controle é constituído por:

- medidores de vazão
- filtro de areia, tela ou disco
- injetor de fertilizante
- registros
- manômetros



- Filtros

Os filtros são de três tipos mais comuns: de areia, de tela e de disco. O de areia é usado para reter o material orgânico e partículas maiores e, por isso, é o primeiro do sistema. Sua limpeza é feita com a retrolavagem, recomendada a cada aumento de 10 a 20 % da perda de carga normal do filtro, quando limpo (aproximadamente 2 mca). Atualmente, em função do grande desenvolvimento na área de sistemas automáticos de filtragem é comum a não utilização do filtro de areia (Miranda, 2003).



Filtro de areia

O filtro de tela tem grande eficiência na retenção de pequenas partículas sólidas, como areia fina, porém entopem facilmente com algas. A tela usada apresenta orifícios que podem variar de 0,074 mm (200 mesh ou malhas por polegada) até 0,2 mm (80 mesh) (Miranda, 2003).

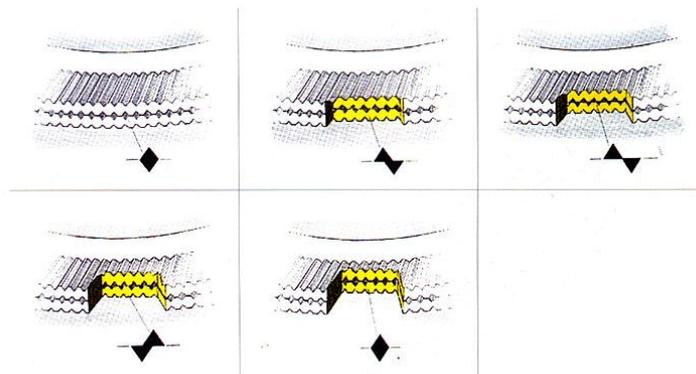
No filtro de disco o elemento filtrante é um conjunto de discos ranhurados que se comprimem umas contra as outras ao se enroscar a carcaça, formando um cilindro de filtragem. Os

filtros de disco têm forma cilíndrica e são inseridos em série com a tubulação em posição horizontal. A água é filtrada ao passar pelos pequenos condutos formados entre os anéis consecutivos.



Filtros de discos.

Os elementos filtrantes são compostos de numerosos discos plásticos finos, que são armazenados num núcleo telescópico. Ambos os lados dos discos são ranhurados e as ranhuras atravessam uma as outras quando empilhadas e comprimidas juntas. O elemento filtrante do disco permite uma filtração profunda com alta capacidade de reter matéria orgânica.



Percursos a serem percorridos pela água em função da sobreposição dos discos.

A semelhança do filtro de areia, o filtro de disco possui volume de filtragem, com uma alta eficiência na separação de sólidos, graças ao grande número de capas filtrantes (em comparação com a capa única do filtro de malha).

O grau de filtragem depende do número de ranhuras existentes nos discos e oscila entre 0,42 e 0,11 mm. Existem várias cores para diferenciar os discos em função do número de ranhuras.

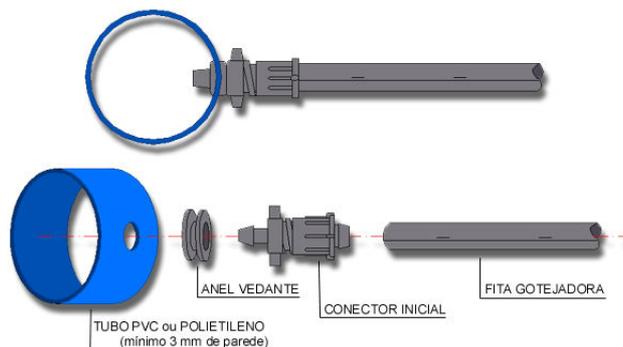
Uma vantagem destes filtros é que a limpeza é realizada facilmente abrindo a carcaça e aplicando nos discos um jato de água. Sua limpeza também pode ser automática, basta inverter o sentido do fluxo de água, o que tem popularizado o seu uso.

7.3.3 Tubulações

As tubulações utilizadas podem ser dos mais diferentes materiais. A linha de recalque e a linha principal são normalmente enterradas, e o material mais utilizado é o PVC. A linha de derivação, também normalmente é enterrada, apresenta inúmeras saídas para as linhas laterais e por isso são de polietileno, material que facilita a perfuração do tubo. As linhas laterais, em maior

quantidade, são exclusivamente de polietileno, com diâmetros mais comuns de 3/8" e 1/2" para gotejamento e 1/2" e 3/4" para microaspersão (Miranda, 2003).

INSTALAÇÃO DA FITA GOTEJADORA AO TUBO DE PVC



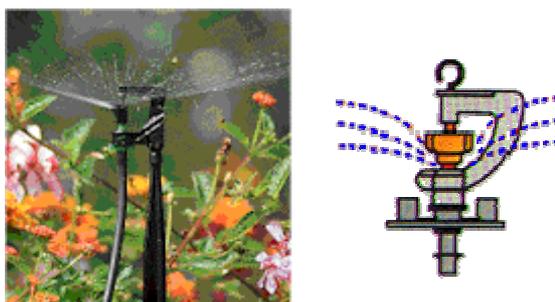
7.3.4 Emissores

Os gotejadores e microaspersores são as principais peças do sistema. Os gotejadores podem ser classificados quanto ao seu posicionamento nas linhas laterais em: a) sobre a linha; b) na linha; c) no prolongamento da linha. Já os microaspersores são instalados sobre a linha (Miranda, 2003).



Gotejador

Os gotejadores devem apresentar as seguintes características: a) fornecer vazão relativamente baixa, constante e uniforme; b) apresentar orifício de saída de água relativamente grande, para evitar entupimentos; c) ser barato, resistente e compacto. Os microaspersores são pequenos aspersores de plástico, conectados diretamente sobre tubulações de pequeno diâmetro (13 a 19 mm). Oferecem mais vantagens para culturas de maior espaçamento e grande expansão do sistema radicular, como banana, limão, manga, etc. Diferem do gotejador por apresentar vazões mais elevadas. Em relação aos gotejadores, os microaspersores são menos susceptíveis ao entupimento, exigindo uma filtragem mais simples. O maior raio molhado dos microaspersores também tem sido uma vantagem comparativa (Miranda, 2003).



Microaspersor

7.4 Critérios para o projeto

- Linhas laterais em nível ou com pequeno declive;
- A diferença de pressão na linha lateral deve ser menor que 20% da pressão de serviço do emissor.

7.5 Número de emissores por planta

- Porcentagem de área molhada

$$P = \frac{\text{área molhada pelos emissores}}{\text{área de cada planta}}$$

- Pmin:
 - Regiões úmidas: 20%
 - Regiões áridas: 33%
- Muitos autores recomendam Pmin = 50 %
- Na microaspersão geralmente colocamos um microaspersor por planta. As vezes temos 1 atendendo mais de uma planta.

Exercício: Qual deverá ser a área molhada por gotejadores p/ irrigar laranja (6x4m) em clima úmido (Pmin = 20%).

Resposta: 4,8 m²

7.6 Disposição das linhas laterais

- 1 LL para cada linha de plantio
- 2 LL para cada linha de plantio

7.7 Quantidade de água necessária para a irrigação localizada

- Evapotranspiração

$$ETg = ETc \cdot P/100$$

Etg – Evapotranspiração média, na área irrigada por gotejamento (mm/dia)

P – Porcentagem de área molhada em relação a área total (faixa molhada) ou porcentagem sombreada (irrigação por cova)

$$ETg = ET0 \cdot Kc \cdot P/100$$

$$ETg = Ev \cdot Kp \cdot Kc \cdot P/100$$

$$K = K_p \cdot K_c$$

K_p – coeficiente do tanque

E_v – evaporação do tanque

Logo,

$$E_{tg} = E_v \cdot K \cdot P/100$$

K – fator da cultura em relação ao tanque

Tomate – $K = 0,9$

Hortaliças – $K = 0,7 - 0,9$

Fruteiras – $K = 0,6 - 0,8$

Irrigação Real Necessária (IRN)

$$IRN = E_{Tg} \cdot TR$$

TR – turno de rega (1 a 3 dias)

- Irrigação Total Necessária (ITN)

$$ITN = IRN / E_a$$

E_a – eficiência de aplicação de água (acima de 90%)

- Tempo de funcionamento por posição

P / Irrigação em faixa contínua:

$$T = \frac{ITN \cdot E_g \cdot EL}{q}$$

Em que:

T – tempo de irrigação (h)

E_g – espaçamento entre gotejadores (m)

EL – espaçamento entre linhas (m)

q – vazão do gotejador (L/h)

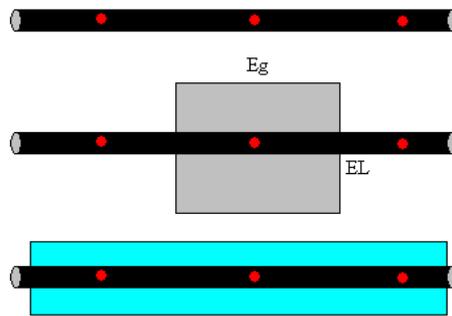


Figura – Área ocupada pelo gotejador e faixa molhada

P/ irrigação por árvores

$$T = \frac{ITN.A}{n.q}$$

Em que:

A – área representada por cada árvore

n – número de gotejadores por árvore

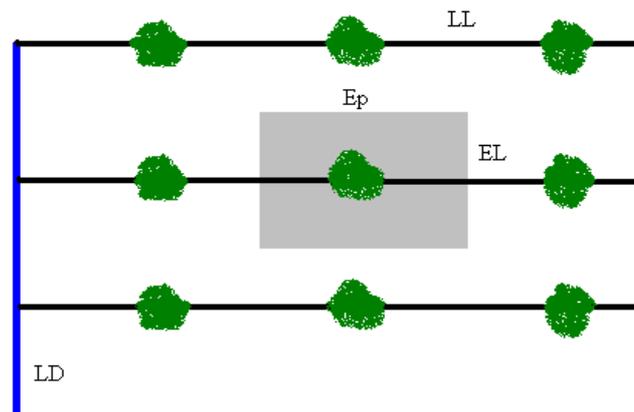


Figura – Área representada por cada planta

- Número de unidades operacionais

$$N \leq \frac{TR.Nh}{T}$$

Em que:

Nh – número de horas de funcionamento por dia

N – número de unidades operacionais (parte da área que será irrigada simultaneamente)

Obs: Sempre escolher um número par de unidades operacionais para facilitar a divisão da área e a distribuição de pressão no sistema.

- Vazão necessária

$$Q(L/h) = \frac{A(m^2).ITN(mm)}{N.T(h)}$$

A – área total (m²)

Exercício: Determinar a vazão necessária, utilizando os dados abaixo.

A = 10 ha; Tomate: 0,5 x 1,0 m; Ev – 10 mm/dia; Kp – 0,9; Kc – 1,0; TR = 2 dias; q = 4 L/h; 1 LL por linha de plantio; Espaçamento entre gotejadores = 1 m; P = 100%; Ea = 90 %; Nh = 24 h.

Resposta: 50 m³/h

7.8 Dimensionamento da linha lateral

- Diâmetros mais utilizados: tubos de polietileno de 10, 13, 16 e 20 mm
- Sempre que possível em nível
- Variação máxima de pressão na linha lateral = 20 % da pressão de serviço do emissor
- 20 % de variação de pressão = 10 % de variação de vazão
- $Hf_{admissível} = 0,2 PS \pm \Delta Z$
- Calcular Hf' utilizando L_{total} , $D_{escolhido}$ e Q_{LL}
- $L_{total} = L_{equivalente} + L$
- L_{eq} – acréscimo no comprimento do tubo (referente à perda localizada na conexão do emissor na linha lateral) – Tabelado

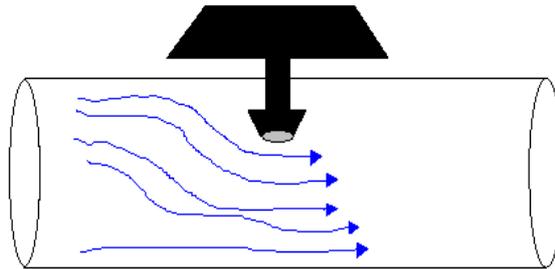


Figura – Perda localizada na conexão do gotejador

5. Calcular Hf : $Hf = Hf' \cdot F$

$$6. F = \frac{1}{m+1} + \frac{1}{2.N} + \frac{\sqrt{m-1}}{6.N^2} \quad (N - n^{\circ} \text{ de saídas; } P/H.W. \quad m = 1,85)$$

- Pressão no início da LL: $Pin = PS + \frac{3}{4} \cdot HF \pm \Delta Z$

7.9 Dimensionamento da linha de derivação

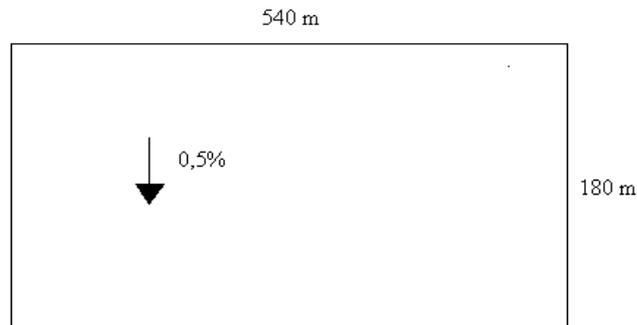
- Perda de carga admissível na linha de derivação = 10% da P.S.

7.10 Dimensionamento da linha principal

- Determinar o diâmetro dos diversos trechos da linha principal de forma que a velocidade da água fique entre 1,0 e 2,5 m/s

7.11 Exemplo de dimensionamento

Dados:



Distância da fonte de água até a área = 30 m

Cultura: Banana (3 x 3 m)

Z = 40 cm

Kc = 1,2

ET0 = 5 mm/dia

TR = 3 dias

Ea = 90%

Nh = 12 h/dia

a) *Gotejador selecionado*

q = 4 L/h

PS = 10 mca

Espaçamento entre gotejadores = 0,6 m

Largura da faixa molhada = 1 m

b) *Porcentagem de área molhada*

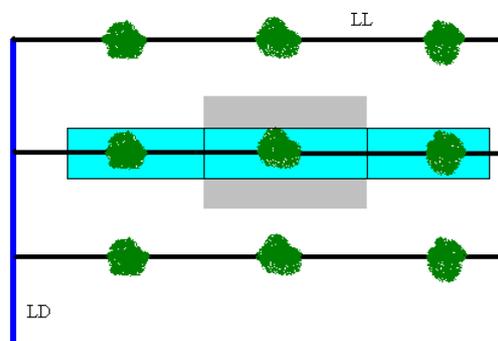


Figura – Área molhada e área representada pela planta

Área representada por planta = 3 x 3 = 9 m²

Área molhada por planta = 1 x 3 = 3 m²

$$P = 100 \cdot 3 / 9 = 33\%$$

c) *Irrigação necessária*

$$E_{tg} = ET_0 \cdot K_c \cdot P/100 = 5 \cdot 1,2 \cdot 0,33 = 1,98 \text{ mm/dia}$$

$$IRN = E_{tg} \cdot TR = 1,98 \cdot 3 = 5,94 \text{ mm}$$

$$ITN = 5,94 / 0,9 = 6,6 \text{ mm}$$

d) *Número de gotejadores por planta*

$$\text{Número de gotejadores por planta} = 3 \text{ m} / 0,6 \text{ m} = 5 \text{ emissores por planta}$$

e) *Tempo de irrigação por posição*

$$T = \frac{6,6 \cdot (3 \times 3)}{5 \times 4} = 2,97 \text{ h}$$

f) *Número de Unidades Operacionais*

$$N \leq \frac{3 \times 12}{2,97} \leq 12,12$$

$$N = 12$$

g) *Vazão necessária*

$$Q = \frac{97.200 \times 6,6}{12 \times 2,97} = 18000 \text{ L/h}$$

h) *Croqui*

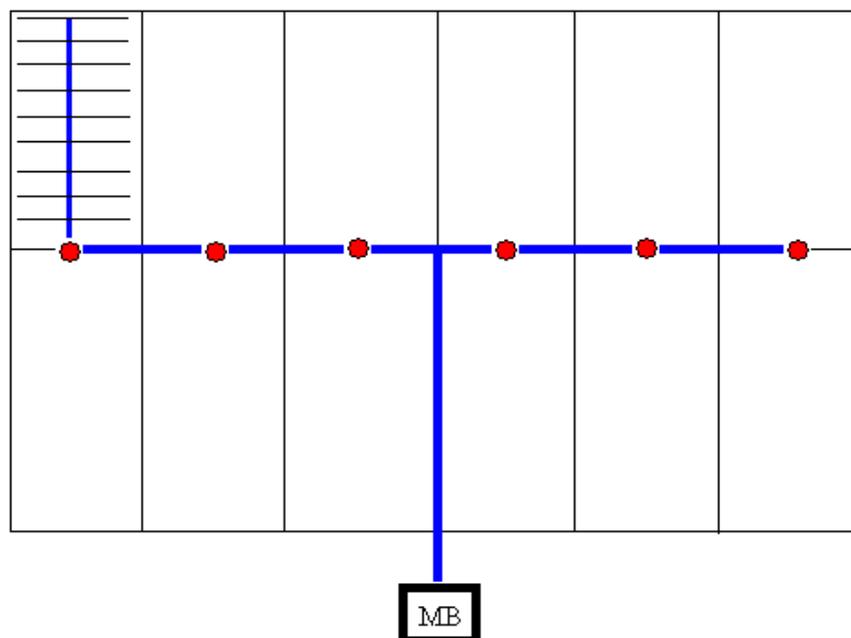


Figura - Croqui

- 1 LL por linha de plantio
- 12 Unidades Operacionais
- Sempre que possível optar por um número par de unidades operacionais, para facilitar a divisão

- da área e a distribuição de pressão
- Comprimento da LL = 45 m
 - Comprimento da LD = 90 m

i) Dimensionamento da LL

L = 45 m
 Número de gotejadores por linha = 45m / 0,6 m = 75
 Vazão da LL = 75 . 4 L/h = 300 L/h
 C_{HW} p/ Polietileno = 140

Para D = 16 mm

Leq = 0,15 m
 Ltotal = 45 + (75 . 0,15) = 56,25 m

$$HF' = 10,643 \cdot \frac{56,25}{0,016^{4,87}} \cdot \left(\frac{300}{\frac{3600000}{140}} \right)^{1,852} = 0,99 \text{ mca}$$

HF = HF' . F

F para 75 saídas: $F = \frac{1}{1,85 + 1} + \frac{1}{2,75} + \frac{\sqrt{1,85 - 1}}{6,75^2} = 0,357$

HF = 0,99 . 0,357 = 0,35 mca
 Hf_{adm} = 0,2 . 10 = 2 mca
 HF < Hf_{adm} - OK

Para D = 13 mm

Leq = 0,2 m
 Ltotal = 45 + (75 . 0,2) = 60 m

$$HF' = 10,643 \cdot \frac{60}{0,013^{4,87}} \cdot \left(\frac{300}{\frac{3600000}{140}} \right)^{1,852} = 2,90 \text{ mca}$$

HF = HF' . F

HF = 2,9 . 0,357 = 1,03 mca
 Hf_{adm} = 0,2 . 10 = 2 mca
 HF < Hf_{adm} - OK

Para D = 10 mm

Leq = 0,32 m

$$L_{\text{total}} = 45 + (75 \cdot 0,32) = 69 \text{ m}$$

$$HF' = 10,643 \cdot \frac{69}{0,010^{4,87}} \cdot \left(\frac{300}{\frac{3600000}{140}} \right)^{1,852} = 11,93 \text{ mca}$$

$$HF = HF' \cdot F$$

$$HF = 11,93 \cdot 0,357 = 4,26 \text{ mca}$$

$$Hf_{\text{adm}} = 0,2 \cdot 10 = 2 \text{ mca}$$

$HF > Hf_{\text{adm}}$ – Acima da perda máxima

D_{escolhido} = 13 mm

$$P_{\text{in}} = 10 + \frac{3}{4} \cdot 1,03 = 10,8 \text{ mca}$$

j) Dimensionamento da LD

$$L = 90 \text{ m}$$

$$\text{Número de linhas laterais por LD: } 90 / 3 = 30 \cdot 2 = 60 \text{ linhas}$$

$$C_{\text{HW p/ PVC}} = 150$$

$$\text{Vazão da linha de derivação} = 300 \text{ L/h} \cdot 60 = 18.000 \text{ L/h}$$

$$Hf_{\text{adm}} = 0,1 \cdot 10 = 1 \text{ mca}$$

Para D = 50 mm

$$HF' = 10,643 \cdot \frac{90}{0,05^{4,87}} \cdot \left(\frac{18}{\frac{3600}{150}} \right)^{1,852} = 10,6 \text{ mca}$$

$$F \text{ para 30 saídas} = 0,368$$

$$HF = 10,6 \cdot 0,368 = 3,9 \text{ mca}$$

$HF > Hf_{\text{adm}}$ – Acima da perda máxima

Para D = 75 mm

$$HF' = 10,643 \cdot \frac{90}{0,075^{4,87}} \cdot \left(\frac{18}{\frac{3600}{150}} \right)^{1,852} = 1,47 \text{ mca}$$

$$F \text{ para 30 saídas} = 0,368$$

$$HF = 1,47 \cdot 0,368 = 0,54 \text{ mca}$$

$HF < Hf_{\text{adm}}$ - OK

D_{escolhido} = 75 mm

j) Dimensionamento da LP

$$V = 1,5 \text{ m/s}$$

$$\text{Vazão da LP} = 18.000 \text{ L/h}$$

$$Q = A \cdot V$$

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{\frac{\pi \cdot D^2}{4}} = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot D^2}$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot V}}$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot \frac{18}{3600}}{\pi \cdot 1,5}}$$

$$D = 65 \text{ mm}$$

$$\mathbf{D_{\text{escolhido}} = 75 \text{ mm}}$$

$$\text{Comprimento da LP até a linha de derivação mais distante} = 225 + 90 + 30 = 345 \text{ m}$$

$$C_{\text{HW p/ PVC}} = 150$$

Logo,

$$HF_{\text{LP}} = 5,64 \text{ mca}$$

l) Dimensionamento da Sucção

$$D = 75 \text{ mm}$$

$$L = 10 \text{ m}$$

$$\text{Alt. Suc.} = 2 \text{ m}$$

$$C_{\text{HW p/ Mangote}} = 140$$

Logo,

$$H_{\text{fsuc}} = 0,19 \text{ mca}$$

m) Altura de recalque

$$\text{Altura de recalque} = (30 \text{ m} + 180 \text{ m}) \cdot 0,5/100 = 1,05 \text{ m}$$

n) Motobomba

$$H_{\text{man(s/HF}_{\text{loc}})} = P_{\text{in}} + HF_{\text{LD}} + HF_{\text{LP}} + H_{\text{fsuc}} + \text{Alt. Rec.} + \text{Alt. Suc.}$$

$$H_{\text{man(s/HF}_{\text{loc}})} = 10,8 + 0,54 + 5,64 + 0,19 + 1,05 + 2 = 20,22 \text{ mca}$$

$$H_{\text{man(c/HF}_{\text{loc}})} = 20,22 + 5\% = 21,23 \text{ mca}$$

$$\text{Vazão da bomba} = 18.000 \text{ L/h}$$

Bomba Escolhida: ETABLOC, II Polos, 32.125-1, 3 cv, rotor=134 mm

n) Resumo

- Número de unidades operacionais = 12
- Número de LL (13 mm, L=45m) = 720
- Número de Gotejadores por linha = 75
- Número total de gotejadores = 54.000
- Número de LD (75mm, L=90 m) = 12
- Diâmetro da LP = 75 mm
- Comprimento total da LP = 570 m
- Sistema de filtragem com capacidade de reter partículas até 1/10 do diâmetro do emissor
- TR = 3 dias
- Tempo de funcionamento por posição = 2,97 h
- Tempo de funcionamento por dia = 12 h
- Volume de água aplicado por planta = $5 \cdot 4 \text{ L/h} \cdot 2,97 \text{ h} = 59,4 \text{ L}$
- Lâmina aplicada por planta = $59,4 \text{ L} / 9 \text{ m}^2 = 6,6 \text{ mm}$

CAPÍTULO 8

DRENAGEM AGRÍCOLA

Prof. Rodrigo Souza

8 DRENAGEM AGRÍCOLA

8.1 Introdução

8.1.1 Conceito

Drenagem agrícola é o conjunto de técnicas e práticas que visa retirar o excesso de água do solo



Figura - Áreas com problemas de drenagem

8.1.2 Objetivos

- Garantir a aeração do solo na zona radicular
- Controle de erosão
- Controle de salinidade
- Incorporação de novas áreas agrícolas
- Aumento da produtividade

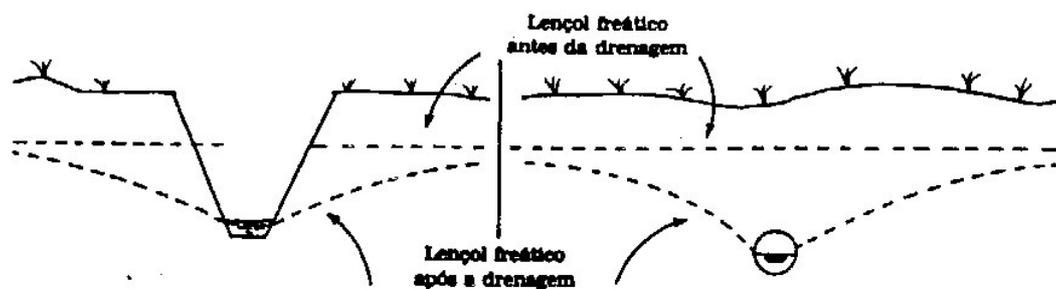


Figura – Drenagem proporcionando o rebaixamento do lençol freático

8.1.3 Comentários Gerais

Drenagem em regiões úmidas:

- Regiões baixas e solos rasos
- Durante o período de chuvas ocorrem inundações
- Perdas de produção e dificuldades de manejo do solo

Drenagem em regiões secas:

- Áreas irrigadas e solos rasos
- Principalmente na região semi-árida (baixa precipitação)
- Alto risco de salinização

8.2 Inconvenientes do excesso de água

- Deficiência de O_2 : o que causa uma redução da respiração e do volume total de raízes, um aumento da resistência no transporte de água e nutrientes
- Deficiência de N : a deficiência de O_2 diminui a atividade bacteriana
- Diminuição da temperatura do solo: solo com excesso de água tem grande capacidade calorífica e assim grande quantidade de calor é necessária para elevar a sua temperatura, por isso, um solo mal drenado é frio e o crescimento da cultura é retardado
- Aumento na concentração de Fe , Mn e S : o pH reduz pelo excesso de água e em meio ácido muitos elementos do solo se tornam livres (aumentando a sua concentração)

8.3 Investigações para elaboração de projetos de drenagem

8.3.1 Reconhecimento Inicial

- Entender porque a área tem problema de drenagem
- Verificar a natureza do excesso de água
- Verificar o ponto de saída
- Natureza da água nas poças
- Tradagens exploratórias
- Verificar a disponibilidade de mapas e dados de chuvas

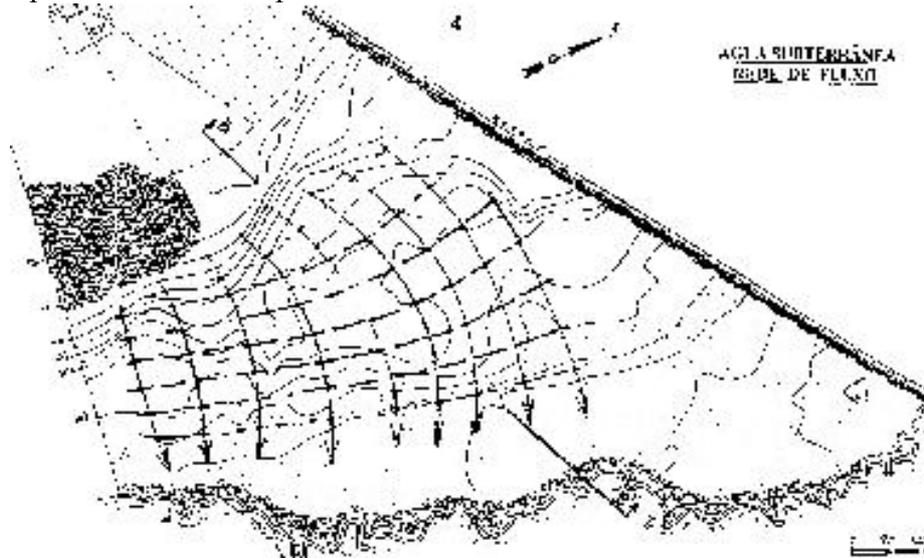


Figura – Croqui utilizado em um projeto de drenagem

8.3.2 Levantamento topográfico

- Incluir a área de contribuição
- Quadricula: 10 em 10 até 50 em 50 m
- Curvas: 1 em 1 m
- Esc: 1:500 à 1:2000
- Área de contribuição: utilizar mapa local ou mapa do IBGE

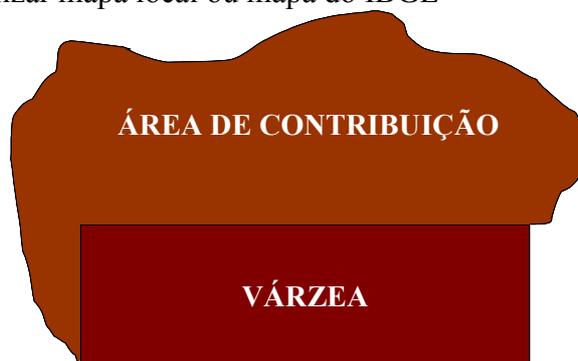


Figura – Realizar levantamento da várzea e da área de contribuição

8.3.3 Tradagens e trincheiras

- Tradagens:
 - 3 – 4 m de prof.
 - Áreas planas: no mínimo 1 por ha
 - Identificar os horizontes do solo
 - Coletar amostra
 - Identificação do solo
- Trincheiras:
 - 1,5 a 2,0 m
 - 1 p/ cada mancha de solo ou 1 p/ cada 10 ha
 - Nova identificação dos horizontes
 - Coletar amostra para porosidade drenável

8.3.4 Porosidade drenável (α_d)

- Volume de água que será drenada livremente por unidade de volume de solo, através do rebaixamento do lençol freático

$$\alpha_d = \frac{V_d}{V} = \frac{h}{\Delta Z}$$

Em que:

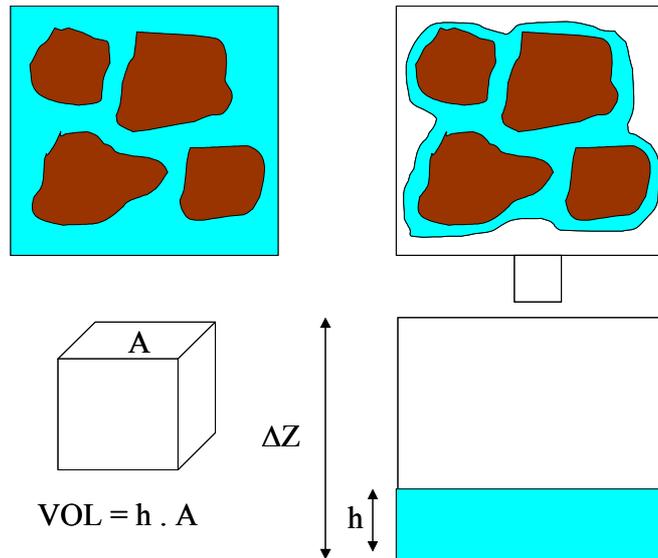
V_d – volume drenado;

V – volume total

h – altura de água drenada;

ΔZ – altura de solo

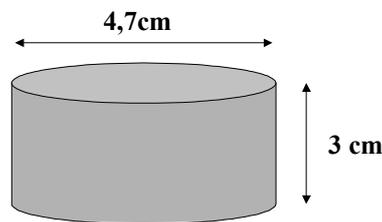
$$\alpha_d = \frac{V_d}{V} = \frac{A \cdot h}{A \cdot \Delta Z} = \frac{h}{\Delta Z}$$



- A porosidade drenável corresponde a diferença entre a umidade do solo saturado e a umidade atingida após uma certo tempo de drenagem do solo

$$\alpha_d = \theta_s - \theta_{cc}$$

- Determinação da porosidade drenável (α_d)- Determinar peso da amostra saturada
- Aplicar tensão correspondente a CC e determinar o peso
- Determinar peso seco
- Exemplo:



$$VOL = 52,05 \text{ cm}^3$$

Anel	Vol (cm ³)	Anel+Pu (g)	Anel +Ps (g)	Anel (g)	Pu (g)	Ps (g)	Vol. H ₂ O (cm ³)	θ (cm ³ /cm ³)
1 - Sat	52,05	98	73	28	70	45	25	0,48
2 - CC	52,05	93	73	28	65	45	20	0,38

$$\theta_s = 25 / 52,05 = 0,48 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$$

$$\theta_{cc} = 20 / 52,05 = 0,38 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$$

$$\alpha = 0,48 - 0,38 = 0,1 \cdot 100 = 10\%$$

- Método empírico de “Van Beers” (Método não confiável)

$$\alpha_d (\%) = \sqrt{K_0 (\text{cm} / \text{dia})}$$

- **Exercício:**

- **Profundidade inicial do lençol freático = 50 cm**

- **Profundidade final do lençol freático = 100 cm**

- $\alpha_d = 20\%$

- Qual é a lâmina escoada?

$$\alpha = \frac{h}{\Delta Z} \therefore h = \alpha \cdot \Delta Z \therefore h = 50\text{cm} \cdot 0,2 = 10\text{cm} = 100\text{mm}$$

8.3.5 Condutividade hidráulica (K)

- P/ um meio saturado K é constante – K_0

- P/ um meio não saturado K depende da umidade do solo – $K(\theta)$

- Equação de Darcy:

$$\frac{Q}{A} = -K \cdot \frac{\Delta\psi}{L} \therefore q = -K \cdot \frac{\Delta\psi}{L}$$

Q – vazão

A – área da seção

K – condutividade hidráulica do solo

$\Delta\psi$ - gradiente de potencial

L - distância

- Movimento da água no solo:

- Maior potencial para menor potencial

- Potencial total da água: estado energético

- $\psi_{\text{total}} = \psi_{\text{matricial}} + \psi_{\text{gravitacional}} + \psi_{\text{osmótico}} + \psi_{\text{pressão}}$

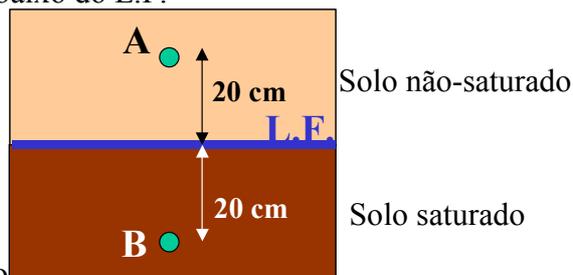
- Solo não-saturado - $\psi_{\text{total}} = \psi_{\text{matricial}} + \psi_{\text{gravitacional}}$ - Solo Saturado - $\psi_{\text{total}} =$

$\psi_{\text{pressão}} + \psi_{\text{gravitacional}}$

- $\psi_g = 0$ no plano de referência (PR), >0 acima do PR e <0 abaixo do PR

- $\psi_p = 0$ no nível do L.F. e >0 abaixo do L.F.

- $\psi_m = 0$ no nível do L.F. e <0 abaixo do L.F.



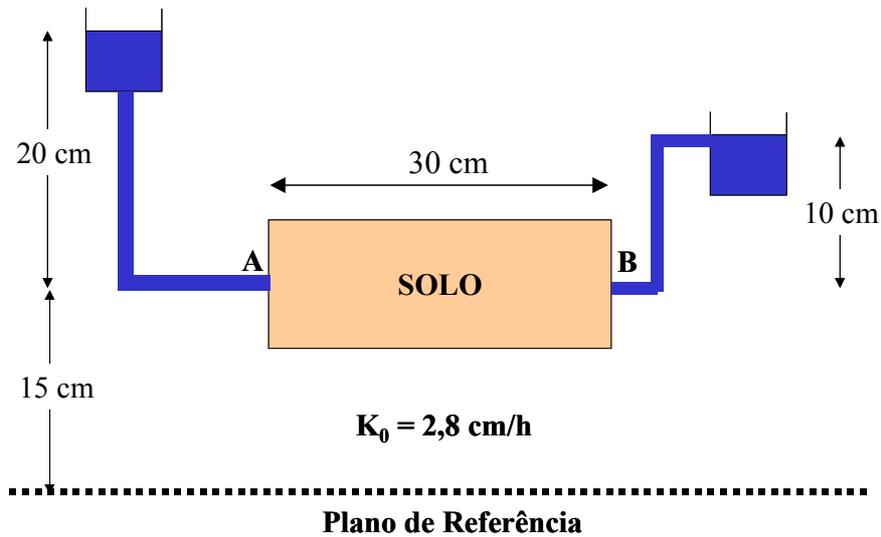
- **Exemplo:** ψ_m – obtido com tensiômetro

Ponto A - $\psi_{\text{total}} = -30 \text{ cm.c.a} + 20 \text{ cm.c.a} = -10 \text{ cm.c.a}$

Ponto B - $\psi_{\text{total}} = 20 \text{ cm.c.a} - 20 \text{ cm.c.a} = 0 \text{ cm.c.a}$

Movimento de B para A

- **Exemplo:**



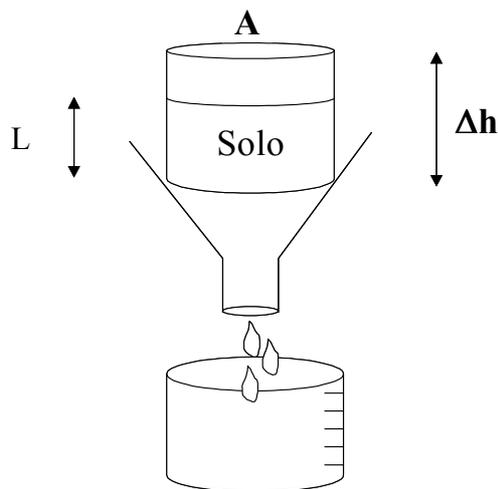
$$\begin{aligned} \psi_A &= 20 + 15 = 35 \text{ cm} \\ \psi_B &= 10 + 15 = 25 \text{ cm} \\ q &= -K \cdot \frac{\Delta\psi}{L} = -2,8 \frac{(25 - 35)}{30} = 0,83 \text{ cm/h} \end{aligned}$$

- Métodos de determinação de K_0 :

- Permeâmetro de carga constante ou variável (laboratório)- Método de campo

- Permeâmetro de carga constante:

Coloca-se uma carga hidráulica constante sobre uma camada de solo. Mede-se o volume coletado em um determinado espaço de tempo. Utiliza-se a equação a seguir para calcular a condutividade hidráulica.



$$K_0 = \frac{\text{Vol}(\text{cm}^3) \cdot L(\text{cm})}{\Delta t(\text{s}) \cdot A(\text{cm}^2) \cdot \Delta h(\text{cm})}$$

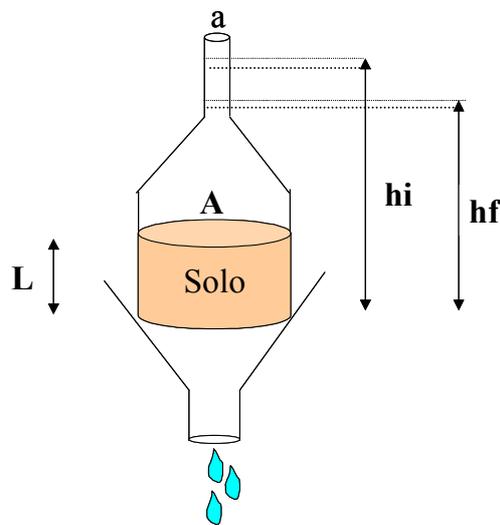
Exemplo:

$L = 5 \text{ cm}$
 $\Delta h = 10 \text{ cm}$
 $\Delta t = 120 \text{ s}$
 $A = 19,63 \text{ cm}^2$
 Volume coletado = $100 \text{ ml} = 100 \text{ cm}^3$

$K_0 = 0,02123 \text{ cm/s}$

- Permeômetro de carga constante:

Coloca-se uma carga hidráulica variável sobre uma camada de solo. Mede-se o tempo e a variação da carga. Utiliza-se a equação a seguir para calcular a condutividade hidráulica.



$$K_0 = \frac{\ln\left(\frac{h_i}{h_f}\right) \cdot L \cdot a}{\Delta t \cdot A}$$

Exemplo:

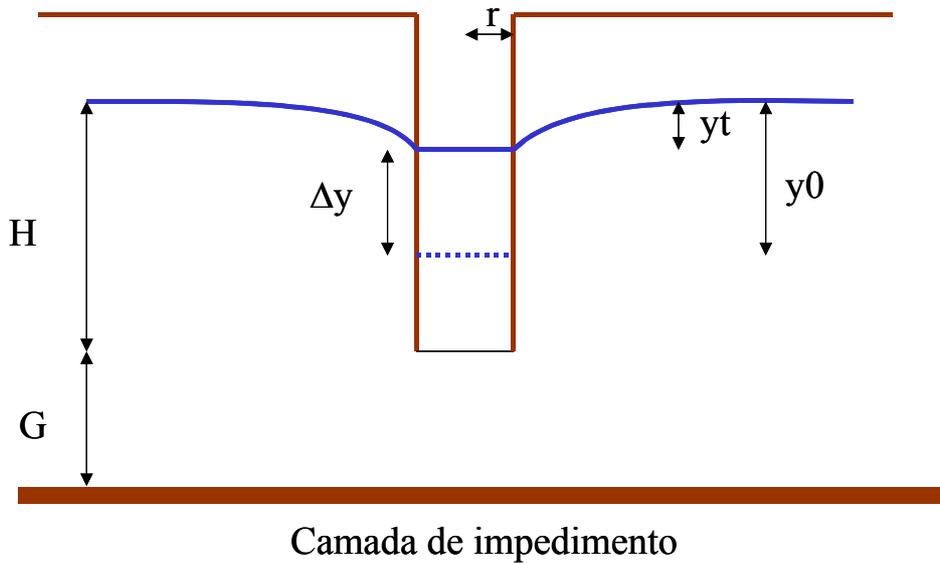
$L = 10 \text{ cm}$
 $h_i = 20 \text{ cm}$
 $h_f = 10 \text{ cm}$
 $\Delta t = 15 \text{ s}$
 $A = 19,63 \text{ cm}^2$
 $a = 3,14 \text{ cm}^2$

$K_0 = 0,0739 \text{ cm/s} = 4,4 \text{ cm/h}$

- Permeômetro de carga variável:

- Faz-se um furo no solo, e em seguida determinamos a profundidade do lençol freático. O procedimento para realização do teste pode ser visto a seguir:
- Retirar uma parte da água do poço
- Medir a profundidade do lençol freático
- Iniciar a contagem do tempo
- Esperar o lençol subir uma certa altura

- Medir novamente a profundidade do lençol freático
- Parar a contagem do tempo



- Caso a distância entre o fundo do poço e a camada de impedimento seja maior do que a metade da distância entre o nível do lençol freático e o fundo do poço, devemos utilizar a equação abaixo:

$$K_0(\text{m/dia}) = \frac{4000.r^2}{(H + 20r)\left(2 - \frac{y}{H}\right).y} \cdot \frac{\Delta y}{\Delta t}$$

- Caso o fundo do poço esteja sobre a camada de impedimento devemos utilizar a equação abaixo:

$$K_0(\text{m/dia}) = \frac{3600.r^2}{(H + 10r)\left(2 - \frac{y}{H}\right).y} \cdot \frac{\Delta y}{\Delta t}$$

- Distâncias em cm e T em segundos e $Y = (y_0 + y_t) / 2$

Exemplo:

$$r = 1\frac{1}{2}'' = 3,8 \text{ cm}$$

$$G = 115 \text{ cm}$$

$$\Delta t = 50 \text{ s}$$

$$H = 125 \text{ cm}$$

$$Y_0 = 35 \text{ cm}$$

$$Y_t = 25 \text{ cm}$$

$$Y = (35 + 25) / 2 = 30 \text{ cm}$$

$$K_0(\text{m/dia}) = \frac{4000 \cdot 3,8^2}{(125 + 20 \cdot 3,8) \left(2 - \frac{30}{125}\right) \cdot 30} \cdot \frac{(35 - 25)}{50} = 1,088 \text{m/dia}$$

8.4 Drenagem Superficial

- Drenagem superficial: sistemas de drenos retirando a água que cobre a superfície dos terrenos, são utilizados na retirada das águas das chuvas e na recuperação de zonas alagadas
- A drenagem superficial é necessária em áreas planas ($i < 2\%$), com solo com baixa capacidade de infiltração, com camadas de impermeáveis logo abaixo da superfície e com pouca diferença de nível em relação aos drenos naturais
- A drenagem superficial também é necessária em áreas íngremes ($> 2\%$) visando o controle de erosão através da retirada da água das chuvas



Drenagem superficial

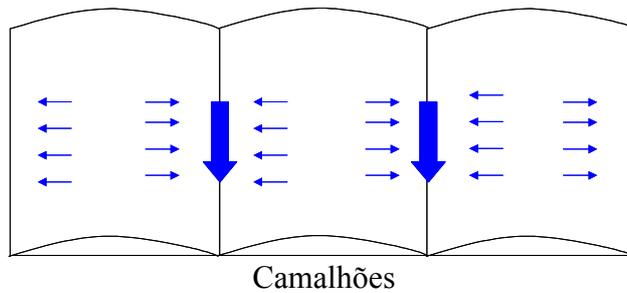
8.4.1 Tipos de sistemas (Bernardo, 1996)

- Sistema natural: Mais conhecido como esgotamento das várzeas, consiste em ligar as depressões da área por meio de drenos rasos

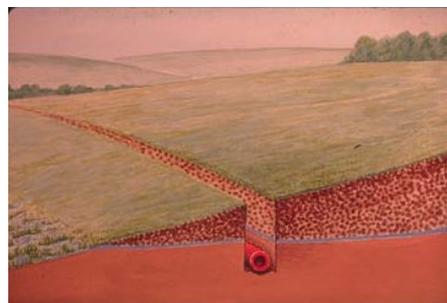


Esgotamento da várzea

- Sistema em camalhão: Este sistema é utilizado em áreas úmidas com pouca declividade e com solo pouco permeável. Consiste na construção de camalhões largos e em seqüência, de modo que na interseção dos camalhões exista uma depressão, a qual funcionará como dreno. Altura no centro dos camalhões pode variar entre 15 a 50 cm, o comprimento pode atingir até 300 m e a sua largura de 10 a 30 m.



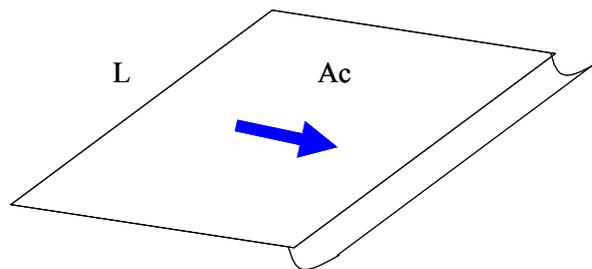
- Sistema interceptor: também conhecido como drenagem em terraços ou na drenagem transversal à principal declividade do terreno. Sistema que se adapta a áreas de solos pouco permeáveis e cuja principal fonte de água é o fluxo do lençol freático proveniente das encostas. Consiste em interceptar, por meio de canais, o fluxo de água do lençol freático e o escoamento das águas das chuvas dos terrenos periféricos em relação às áreas baixas. É um sistema preventivo que minimiza a capacidade dos drens necessários nas áreas baixas.



Dreno interceptor

8.4.2 Dimensionamento de terraços em nível

- O dreno deve ter capacidade de reter o volume proveniente do escoamento superficial



- Escolher forma da seção do dreno conforme máquina disponível:

Seção	Área
	$A = \frac{2}{3} \cdot B \cdot h$
	$A = b \cdot h + h^2 \cdot m$ $P = b + 2h\sqrt{1 + m^2}$

- Volume escoado = volume armazenado pelo dreno

$$A_c \cdot h \cdot C = A \cdot L$$

A_c – área de concentração

h – precipitação com duração igual ao Tempo de Concentração e Tempo de Retorno de 5 anos

C – coeficiente de escoamento superficial

A – área do dreno

L – comprimento do dreno

Logo,

$$A = \frac{A_c \cdot h \cdot C}{L}$$

Tabela. Coeficiente de escoamento superficial

Declividade (%)	Solos Arenosos	Textura Média	Solos Argilosos
Floresta			
0-5	0,10	0,30	0,40
5-10	0,25	0,35	0,50
10-30	0,30	0,50	0,60
Pastagens			
0-5	0,10	0,30	0,40
5-10	0,15	0,35	0,55
10-30	0,20	0,40	0,60
Terras Cultivadas			
0-5	0,30	0,50	0,60
5-10	0,40	0,60	0,70
10-30	0,50	0,70	0,80

- Fórmula para obtenção do tempo de concentração (US Bureau-Kirpich):

$$T_c = 0,0195 \cdot \left(\sqrt{\frac{L^3}{H}} \right)^{0,77}$$

Em que:

T_c – tempo de concentração (min)

L – comprimento máximo percorrido pela água (m)

H – diferença de altura entre o ponto mais distante e o ponto de saída da bacia (m)

Exercício: Verifique se um terraço (tradicional) com seção efetiva de 3 m de base e 40 cm de altura é capaz de comportar uma chuva de 24 h com $TR = 5$ anos.

Dados:

$A_c = 1$ ha

Comprimento do dreno = 300 m

$C = 0,4$

$$i = \frac{2017,05 \cdot TR^{0,16}}{(d + 21)^{0,91}}$$

i – intensidade de precipitação (mm/h)

TR – tempo de retorno (anos)

d – duração da chuva (min)

8.4.3 Dimensionamento de terraços em desnível

- O dreno deve ter capacidade de transportar a vazão de pico proveniente do escoamento superficial. Determinar a vazão de pico utilizando a equação racional;
- Delimitar a Área de contribuição;
- Determinar o tempo de concentração - Tc (tempo que a água leva para percorrer o caminho mais longo dentro da área). Considerar uma chuva com duração igual ao tempo de concentração;
- Intensidade de precipitação = precipitação com base no TR e no Tc;
- $Q = \frac{C.I.A}{360}$

Q – vazão de escoamento superficial (m³/s)

C – coeficiente de escoamento superficial

I – intensidade de precipitação (mm/h)

A – área (ha)

- Vazão da seção através da equação de Manning

$$Q = A \cdot \frac{1}{n} \cdot R^{2/3} \cdot i^{0,5}$$

A – área da seção (m²)

n – coeficiente de Manning

R – raio hidráulico (área / perímetro molhado)

Tabela. Coeficiente de Manning.

Drenos	n
Canais de terra retilíneos e uniformes	0,02
Canais com fundo de terra e taludes empedrados	0,03
Canais com revestimento de concreto	0,014

Tabela. Taludes de drenos recomendados em função do tipo de solo.

Tipo de solo	Talude (V-H)
Solo turfoso	1:0 – 1:0,25
Argiloso pesado	1:0,5 – 1:1
Franco arenoso	1:1,5 – 1:2
Areia	1:2 – 1:3

Tabela. Velocidade máxima da água em função do tipo de solo.

Tipo de solo	V (m/s)
Argiloso	1,2
Franco argiloso	0,8
Areia	0,7

Cálculo da vazão em canais (drenos):

Que vazão pode ser esperada em um canal trapezoidal com uma base de 1,2 m, $n = 0,02$, talude de 1:1 (1:m) com uma inclinação de 0,0004m/m, se a água escoar com uma altura de 0,6 m?

$$A = b \cdot h + h^2 \cdot m = 1,2 \cdot 0,6 + 0,6^2 \cdot 1 = 1,08 \text{ m}^2$$

$$P = b + 2h\sqrt{1 + m^2} = 1,2 + 2 \cdot 0,6\sqrt{1 + 1^2} = 2,03 \text{ m}$$

$$R = 1,08 / 2,03 = 0,53 \text{ m}$$

$$Q = A \cdot \frac{1}{n} \cdot R^{2/3} \cdot i^{0,5} = 1,08 \cdot \frac{1}{0,02} \cdot 0,53^{2/3} \cdot 0,0004^{0,5} = 0,707 \text{ m}^3/\text{s}$$

Determinação da seção dos canais (drenos):

- A solução deve ser obtida por métodos iterativos (tentativa). Não é possível isolar a incógnita (b);
- Sabendo-se “Q”, “h”, “m” e “i” determina-se “b”.

$$Q = A \cdot \frac{1}{n} \cdot R^{2/3} \cdot i^{0,5}$$

$$Q = b \cdot h + h^2 \cdot m \cdot \frac{1}{n} \cdot \left(\frac{b \cdot h + h^2 \cdot m}{b + 2h\sqrt{1 + m^2}} \right)^{2/3} \cdot i^{0,5}$$

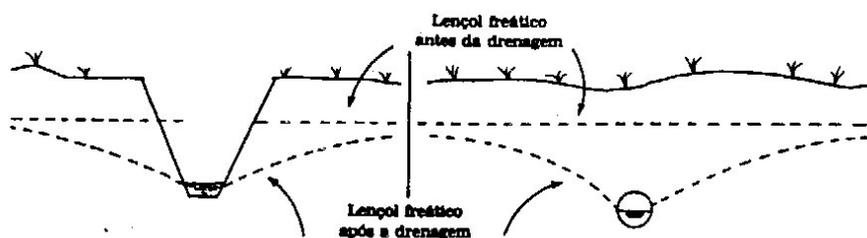
8.5 Drenagem Subterrânea

8.5.1 Definição

Retirar o excesso de água do perfil do solo, ou seja, rebaixar o lençol freático através da remoção da água gravitativa localizada nos macroporos do solo

8.5.2 Objetivo

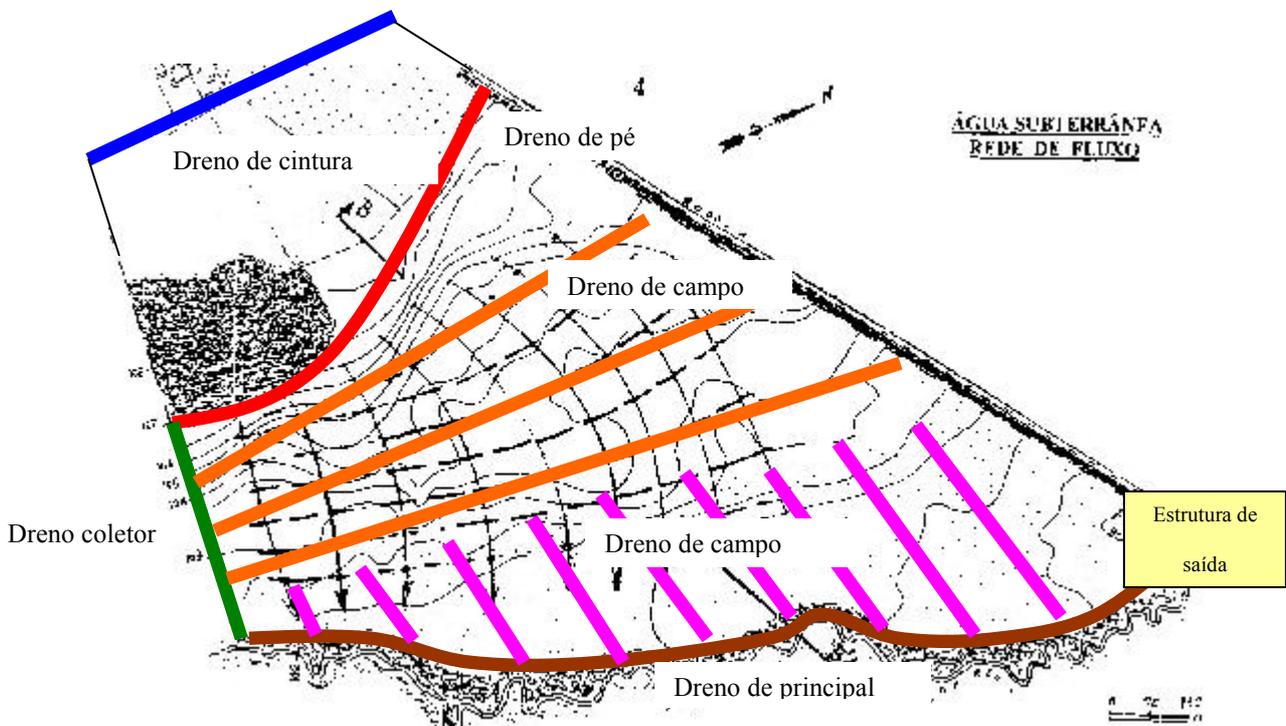
Propiciar, em áreas agrícolas, melhores condições para o desenvolvimento das raízes das plantas cultivadas



Lençol freático antes e depois da drenagem

8.5.3 Componentes do sistema de drenagem subterrânea

COMPONENTE	DESCRIÇÃO
Estruturas de proteção	- Dreno de cintura: dreno responsável pela captação da água superficial e subterrânea proveniente de áreas vizinhas - Dreno de pé: dreno responsável pela captação da água superficial e subterrânea proveniente de encostas
Estrutura de saída	Estrutura responsável pela retirada da água drenado da área
Rede principal	- Dreno coletor: dreno responsável pela captação e condução da água proveniente do dreno de campo - Dreno principal: dreno responsável pela captação e condução, da água proveniente do dreno coletor, até a estrutura de saída
Estrutura de campo	- Dreno de campo: dreno responsável pelo rebaixamento do lençol freático



8.5.4 Tipos de drenos

- Tipos de drenos de campo

- Drenos fechados

- Vantagens: Economia de área, facilidade no trânsito de máquinas e custo de manutenção mais baixo
- Desvantagens: Maior custo de implantação



Dreno fechado – Tubo Corrugado

- Drenos abertos: valetas

- Vantagens: menor custo de implantação e realizam drenagem superficial e subterrânea
- Desvantagens: perda de área, dificulta o trânsito de máquinas, alto custo de manutenção



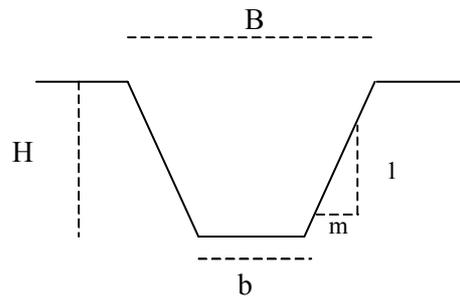
Dreno aberto

- Tipos de drenos Fechados

- Manilhas de cerâmica
- Manilhas de cimento
- Plástico: tubos corrugados
- Bambu
- Tijolo furado
- Brita e areia

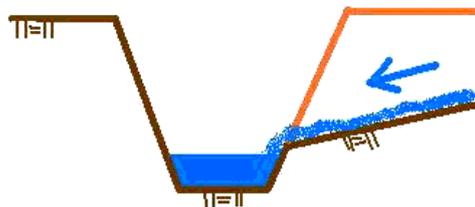
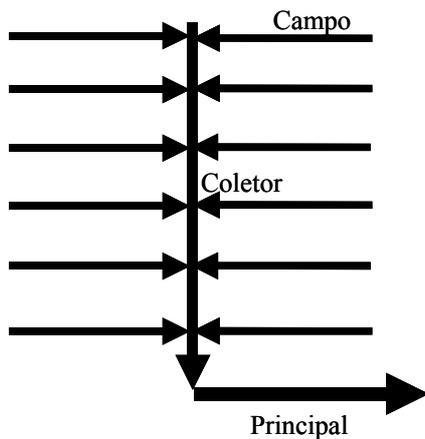
Exercício: Calcular a porcentagem de área perdida devido ao uso de drenos de campo abertos, desprezando-se as perdas com os drenos coletores.

Dados: H : 1,40 m; Talude- 1:0,75; b : 35 cm; Espaçamento entre drenos: 50 m
 Considerar uma faixa não cultivada de 0,5 m em cada lado da boca da valeta



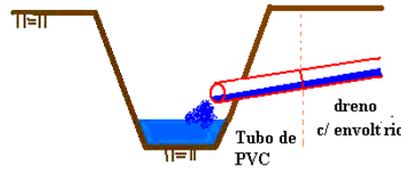
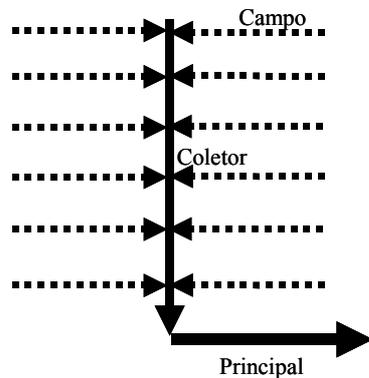
8.5.5 Tipos de sistemas de drenagem subterrânea

TIPOS	OBSERVAÇÕES
Drenos de campo: abertos	- Muito utilizado para drenagem de várzeas
Dreno coletor: aberto	- Maior perda de área
Dreno principal: aberto	- Dificulta o trânsito de máquinas
	- Maior gasto com manutenção
	- Menor investimento inicial



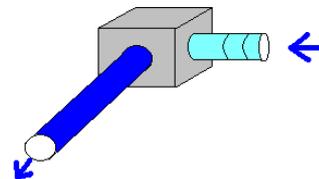
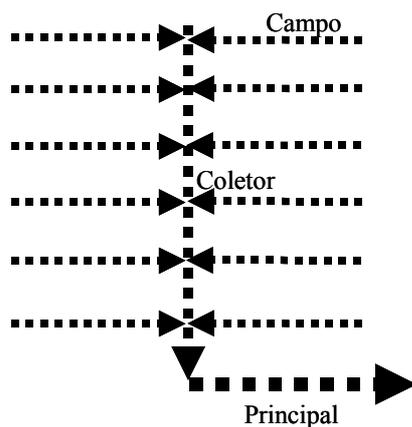
Drenos de campo: fechados
 Dreno coletor: aberto
 Dreno principal: aberto

- Muito utilizado no Nordeste
- Praticamente não tem perda de área
- Favorável ao trânsito de máquinas
- Menor gasto com manutenção
- Aumento do investimento inicial



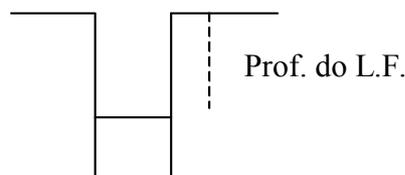
Drenos de campo: fechados
 Dreno coletor: fechado
 Dreno principal: fechado

- Alto nível tecnológico
- Muito utilizado em países como EUA, Holanda e Espanha
- Bastante favorável ao trânsito de máquinas
- Elevado investimento inicial
- pouco utilizado no Brasil

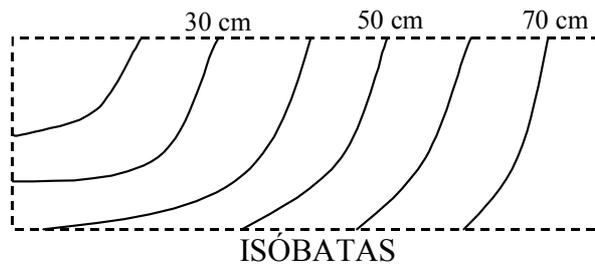


8.5.6 Investigação sobre o lençol freático

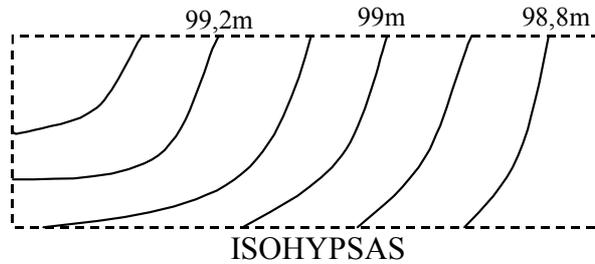
- 1º PASSO: - Realizar o levantamento da profundidade do lençol freático
 - Levantar uma malha de pontos de 10x 10m até 50x50m.



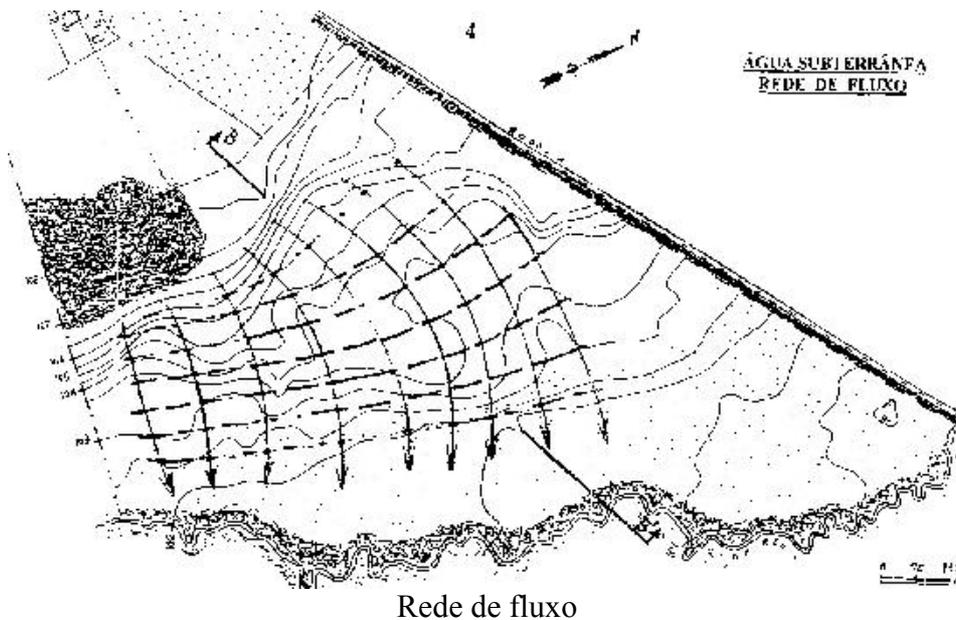
- 2º PASSO: - Desenhar o mapa com as Isóbatas (curvas de igual prof. do lençol freático)



3º PASSO: - Desenhar o mapa com as Isohypsas (curvas de igual cota freática)



4º PASSO: - Desenhar a Rede de fluxo (Linhas representativas do sentido de caminhamento da água no lençol freático)



8.5.7 Direção dos drenos

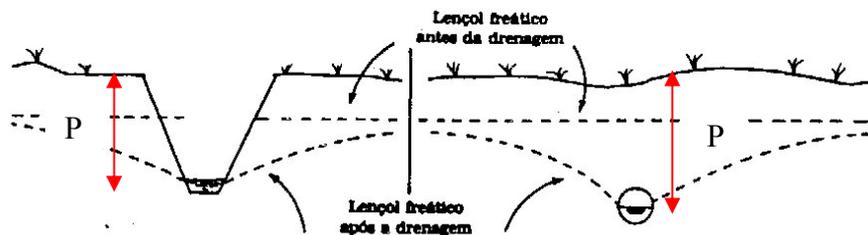
- Quando o gradiente é muito baixo não faz diferença a direção do dreno; Se declive do lençol freático $\leq 1\%$ a direção tem efeito pequeno;
- Quando o gradiente é muito alto colocar os drenos interceptando as linhas de fluxo; Se declive do lençol freático $\geq 1\%$ é melhor interceptar;

8.5.8 Declive dos drenos

- Dreno de campo abeto (valeta): $0,0001 \text{ m/m} \leq i \leq 0,003 \text{ m/m}$

- Dreno de campo fechado (tubo): $i \geq 0,001$ m/m com comprimento máximo de menor que 300 m

8.5.9 Profundidade dos drenos de campo



- Na escolha da profundidade deve ser levado em consideração: presença de barreiras, máquina de escavação e cota de saída. Normalmente a profundidade do dreno fica entre 0,8 e 2 m (o lençol freático deve chegar no máximo a 30 cm das raízes).

8.5.10 Coeficiente de drenagem ou recarga

Coeficiente de drenagem subterrânea é a taxa de remoção do excesso de água do solo (m/dia). No semi-árido é comum ser utilizada uma recarga de 0,004m/dia. Luthin recomenda para regiões úmidas uma recarga entre 0,003 e 0,025 m/dia.

Exemplo de cálculo da recarga: Deseja-se aumentar a profundidade do L.F. de 40 cm para 80 cm em 3 dias, sabendo que a porosidade drenável é 9% determine o coeficiente de drenagem (recarga).

$$h = \Delta Z \cdot \alpha = 400 \cdot 0,09 = 36 \text{ mm}$$

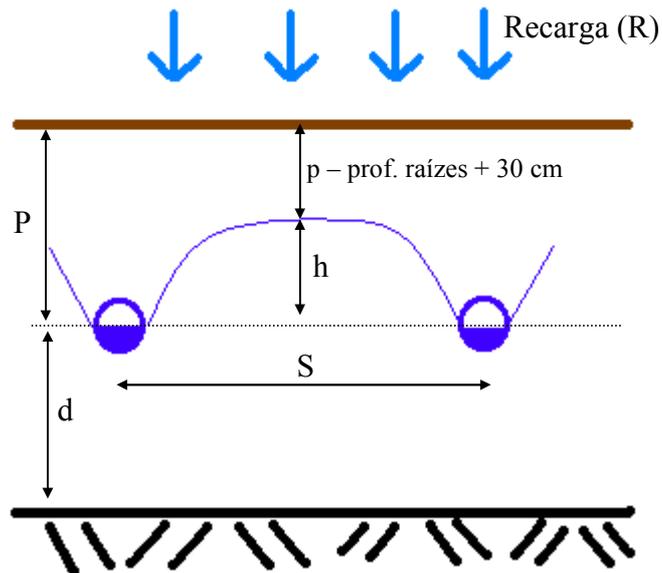
$$R = \frac{36 \text{ mm}}{3 \text{ dias}} = 12 \text{ mm / dia} = 0,012 \text{ m / dia}$$

8.5.11 Espaçamento dos drenos de campo

- A determinação do espaçamento depende:
 - Propriedades do solo (K_0 , α , Prof. Barreira)
 - Profundidade dos drenos
 - Critério de drenagem: regime permanente ou não-permanente
 - Equações de cálculo de espaçamento: regime permanente ou não-permanente

a) Regime permanente

- Fluxo contínuo de água. A recarga é permanente.



- Equação de Hooghout:

$$S_0^2 = \frac{4.K_0.h.(2d + h)}{R}$$

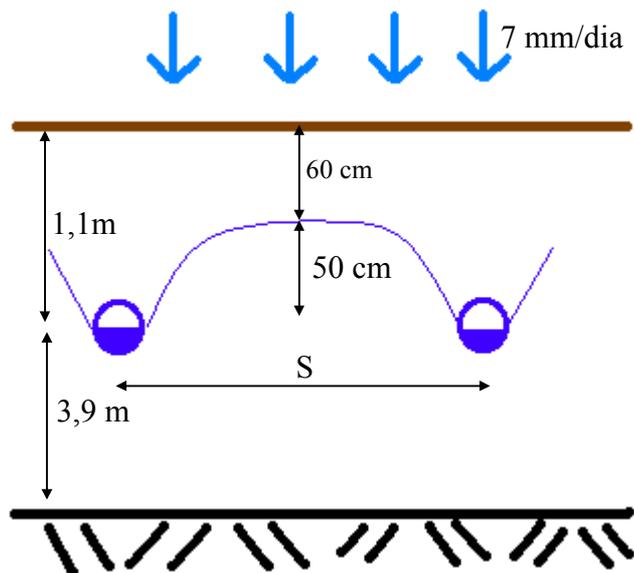
$$C = d.\ln\left(\frac{d}{P_m}\right)$$

$$S = S_0 - C$$

P_m – perímetro molhado

Exemplo:

- **Perfil c/ profundidade de 5 m**
- **Cultura: melancia**
- **Sistema radicular: 30 cm**
- **$K_0 = 1$ m/dia**
- **$R = 7$ mm/dia (critério prático da Codevasf)**
- **Prof. Drenos = 1,10 m**
- **Diâmetro do dreno = 10 cm**



$$S_0^2 = \frac{4 \cdot 1,1 \cdot 0,5 \cdot (2 \cdot 3,9 + 0,5)}{0,007}$$

$$S_0 = 48,7 \text{ m}$$

$$P_m = \pi \cdot r = \pi \cdot 0,05 = 0,15708 \text{ m}$$

$$C = 3,9 \cdot \ln\left(\frac{3,9}{0,15708}\right) = 12,5 \text{ m}$$

$$S = 48,7 - 12,5 = 36,2 \text{ m}$$

b) Regime não-permanente

- A recarga não é permanente.
- $P/d \neq 0$ – Equação de Schilfgaard:

$$S_0^2 = \frac{9 \cdot K_0 \cdot d \cdot T}{\alpha \cdot \ln\left[\frac{h_0(2d + ht)}{ht(2d + h_0)}\right]}$$

$$C = d \cdot \ln\left(\frac{d}{P_m}\right)$$

$$S = S_0 - C$$

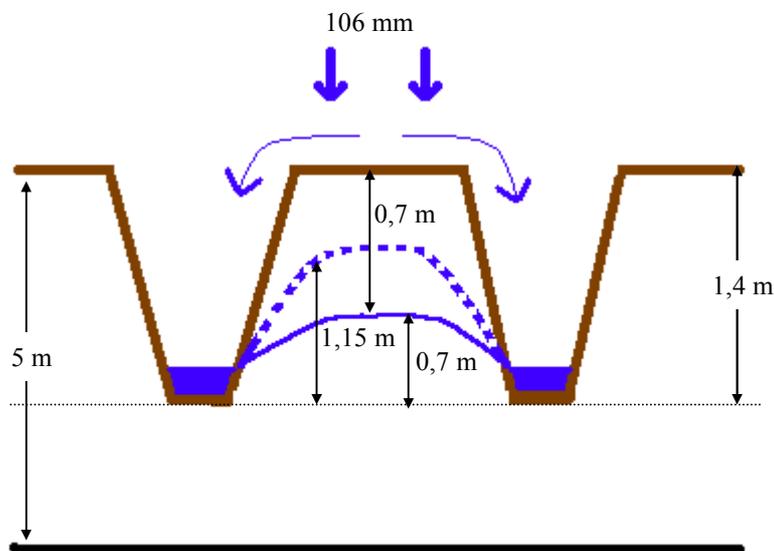
T – tempo necessário para a drenagem da área (sensibilidade da cultura ao excesso de água)

- $P/d = 0$ – Equação de Boussinesq:

$$S_0^2 = \frac{9 \cdot K_0 \cdot T}{2 \cdot \alpha} \cdot \frac{(h_0 \cdot ht)}{(h_0 - ht)}$$

Exemplo:

- **Precipitação: h (24 horas TR = 5 anos) = 106 mm**
- **Cana de açúcar: $Z = 40$ cm**
- **$T = 5$ dias**
- **$K_0 = 0,8$ m/dia**
- **Supor que 80% da chuva infiltra**
- **Prof. Drenos (valetas) = 1,40 m**
- **Base da valeta = 35 cm**
- **Lâmina de água na valeta = 5 cm**
- **Prof. da camada de impedimento = 5 m**
- **Evapotranspiração = 5 mm/dia**
- **Talude do dreno - 1:1**
- **$\alpha_d = 10\%$**



- $p = 40 \text{ cm} + 30 \text{ cm} = 70 \text{ cm}$
- $106 \text{ mm} \times 0,8 = 84,8 \text{ mm}$
- $\Delta Z = \frac{h}{\alpha} = \frac{84,8 \text{ mm}}{0,1} = 848 \text{ mm} = 84,8 \text{ cm}$
- $70 \text{ cm} + 84,8 \text{ cm} = 154,8 \text{ cm}$ - como a distância do L.F. até a superfície é de 70 cm o excesso vai escorrer pelo dreno
- Água perdida = ET x dias = 5 mm/dia x 5 dias = 25 mm
- $\Delta Z = \frac{h}{\alpha} = \frac{25 \text{ mm}}{0,1} = 250 \text{ mm} = 25 \text{ cm}$
- Logo o L.F. ficara a uma profundidade de 25 cm em relação a superfície do terreno, o que resulta em um $h_0 = 115 \text{ cm}$ ($140 - 25 = 115 \text{ cm}$)
- $$S_0^2 = \frac{9.K_0.d.T}{\alpha \cdot \ln \left[\frac{h_0(2d + ht)}{ht(2d + h_0)} \right]}$$
- $$S_0^2 = \frac{9 \times 0,8 \times 3,6 \times 5}{0,1 \cdot \ln \left[\frac{1,15(2 \times 3,6 + 0,7)}{0,7(2 \times 3,6 + 1,15)} \right]} = 2938,52$$
- $S_0 = 54,2 \text{ m}$

- $P = b + 2h\sqrt{1 + m^2} = 0,35 + 2.0,05\sqrt{1 + 1^2} = 0,491\text{m}^2$
- $C = d \cdot \ln\left(\frac{d}{P_m}\right) = 3,6 \cdot \ln\left(\frac{3,6}{0,491}\right) = 7,2\text{m}$
- $S = 54,2 - 7,2 = 47 \text{ m}$

8.5.12 Dimensionamento hidráulico dos drenos

a) Valetas

- Cálculo através do escoamento superficial

b) Tubos

- Cálculo pela vazão subterrânea

1º) Estimativa da vazão subterrânea:

- **Regime permanente:**

$$Q(\text{m}^3/\text{s}) = \frac{R(\text{m}/\text{dia}) \cdot S(\text{m}) \cdot L(\text{m})}{86400}$$

Em que:

R – recarga (m/dia)

S – espaçamento entre drenos (m)

L – Comprimento do dreno (m)

Exercício: Determine a vazão de escoamento superficial sabendo que: R = 7mm/dia, S = 36,2 m e

L=250 m.

Resposta: 0,73L/s

- **Regime não-permanente:**

$$Q(\text{m}^3/\text{s}) = \frac{(h_0 - h_t) \cdot \alpha}{T} \cdot \frac{S \cdot L}{86400}$$

Exercício: Determine a vazão de escoamento superficial sabendo que: $h_0=1,15\text{m}$, $h_t = 0,7\text{m}$, $\alpha=0,1\text{m}$, S = 47 m e L=300 m e T = 5 dias.

Resposta: 1,47L/s

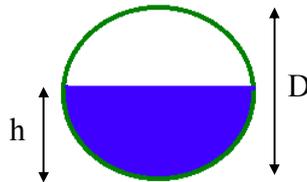
2º) Dimensionamento:

- Utilizar a Equação de Manning para condutos parcialmente cheios:

$$D = \left(\frac{Q \cdot n}{K \cdot i^{0,5}} \right)^{0,375}$$

Em que:

K – coeficiente tabelado em função da relação h/D, recomenda-se utilizar h/D = 0,6 o que corresponde a um K=0,209



Exercício: Supondo $Q = 0,73 \text{ L/s}$, $i = 0,002 \text{ m/m}$, tubo de PVC corrugado – $n = 0,016$, determine o diâmetro.

Resposta: 81,5 mm, diâmetro comercial mais próximo = 4”

8.6 Leitura recomendada

- Máquinas e custos diversos em sistemas de drenagem: BATISTA, M.J.; NOVAES, F.; SANTOS, D.G. Drenagem como instrumento de dessalinização e prevenção da salinização de solos. Brasília, Codevasf, 2002. Site do Ministério do Meio Ambiente.

- Manutenção dos drenos: BATISTA, M.J.; NOVAES, F.; SANTOS, D.G. Drenagem como instrumento de dessalinização e prevenção da salinização de solos. Brasília, Codevasf, 2002, 216p. Site do Ministério do Meio Ambiente.

- Aspectos teóricos do fluxo saturado no solo: CRUCIANI, D.E. A drenagem na Agricultura. Ed. Nobel, 1989, 337p.

ANEXOS

1º LISTA DE EXERCÍCIOS
DISCIPLINA: IRRIGAÇÃO E DRENAGEM
PROF. RODRIGO OTÁVIO

1) Um cilindro de solo de 0,1 m de diâmetro e 0,12 m de altura tem uma massa de 1,7 kg, dos quais 0,26 kg são água. Assumindo que o valor da densidade dos sólidos ρ_s é 2650 kg/m³ e a densidade da água ρ_a é 1000 kg/m³, determine:

- a) umidade à base de massa (%)
- b) umidade à base de volume (%)
- c) densidade do solo (ρ)
- d) porosidade

2) Coletaram-se 200 kg de solo úmido. O valor da umidade do solo foi de 0,18 kg/kg. Calcular o valor da massa de sólidos e o da massa de água.

3) Um solo de 0,8m de profundidade tem um valor de umidade de $\theta = 0,13 \text{ m}^3/\text{m}^3$. Calcular quanta água deve ser adicionada ao solo para trazer o valor de sua umidade volumétrica a 0,30.

4) Um pesquisador necessita de exatamente 0,1 kg de um solo seco e dispõe de uma amostra de solo úmido com $\theta = 0,13 \text{ m}^3/\text{m}^3$ e $\rho = 1200 \text{ kg}/\text{m}^3$. Quanto de solo úmido deve-se pesar para obter a massa de solo seco desejada?

5) Dada uma extensão de solo de 10 ha, considerada homogênea quanto à sua densidade e à umidade até 0,30m de profundidade, quanto de solo seco existe, em toneladas, na camada de 0-0,30m de profundidade? O valor da umidade do solo (U) é 0,20 kg/kg e o da sua densidade (ρ) é 1700 kg/m³. Quantos litros de água está armazenado na mesma camada de solo?

6) A tabela a seguir apresenta os valores de umidade volumétrica (θ) em função da profundidade de amostragem nos dias 22/02 e 30/02, num determinado solo. Calcular a variação de armazenagem até a profundidade de 0,80m entre os dias 22/02 e 30/02.

Profundidade (m)	$\theta \text{ (m}^3/\text{m}^3)$	
	22/02	30/02
0,1	0,33	0,25
0,2	0,30	0,21
0,3	0,27	0,18
0,4	0,24	0,20
0,5	0,25	0,22
0,6	0,26	0,24
0,7	0,28	0,25
0,8	0,26	0,24

7- Coletou-se uma amostra de solo à profundidade de 60cm, com anel volumétrico de diâmetro de 7,5cm e 7,5cm de altura. O peso úmido do solo foi 560g e após 48 horas em estufa à 105°C, seu peso permaneceu constante e igual a 458g. Qual a densidade do solo? Qual sua umidade na base de massa e volume?

8- O solo da amostra anterior, após 48 horas em estufa à 105°C foi colocado em uma proveta contendo 100cm³ de água. Leu-se então, na proveta, um volume de 269cm³. Qual a densidade dos sólidos do solo?

9- A umidade média de um perfil de solo até a profundidade de 60cm é de 38,3% em volume. Qual a altura d'água armazenada nesta camada?

10- Um solo com 80cm de profundidade tem um $\theta = 0,13 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$. Calcular a quantidade de água que deve ser adicionada para trazer a umidade volumétrica do solo à capacidade de campo, sendo $\theta_{cc} = 0,18 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$.

11- Um solo tem uma umidade inicial de $0,10 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$. Que profundidade uma chuva de 100mm umedecerá o solo, considerando a umidade volumétrica do solo na capacidade de campo igual a $0,30 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$?

12- No mesmo solo do exercício anterior, quanta água é necessária para umedecer o solo até a profundidade de 125mm?

13- Sendo dados:

- capacidade de campo = 22% com base em peso;
- ponto de murchamento permanente = 11% com base em peso;
- profundidade efetiva do sistema radicular = 30cm
- densidade do solo = $1,4 \text{ g/cm}^3$
- fator de disponibilidade = 0,6;
- Sem chuva;
- Eficiência de irrigação = 80%.

Pede-se:

- a) disponibilidade total de água;
- b) capacidade total de água;
- c) capacidade real de água;
- d) Irrigação Real necessária;
- e) Irrigação Total necessária;
- f) a umidade crítica;

14- Sendo dados:

- umidade a capacidade de campo = $0,23 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$
- umidade no momento da irrigação = 0,12 g/g
- densidade do solo = $1,2 \text{ g/cm}^3$
- profundidade efetiva do sistema radicular = 50cm

Pede-se:

O volume de água a aplicar por irrigação em m³/ha, mm, L/m²

RESPOSTAS DA 1º LISTA DE EXERCÍCIOS
DISCIPLINA: IRRIGAÇÃO E DRENAGEM
PROF. RODRIGO OTÁVIO

1 – a) 18,05%; b) 27,59%; c) 1527,89 kg/m³; d) 42,34 %

2 – ms = 169,5 kg; ma = 30,5 kg

3 – 136 mm

4 – 110,8 g

5 – ms = 51.000 ton; vol = 10.200.000 L

6 – $\Delta h = -43$ mm

7 – $\rho = 1,382$ g/cm³; U = 22,3%; $\theta = 30,8\%$

8 – 2,71 g/cm³

9 – 229,8 mm

10 – 40 mm

11 – Z = 50 cm

12 – h = 25 mm

13 – DTA = 1,54 mm/cm de solo; CTA = 46,2 mm; CRA = 27,72 mm; IRN = 27,72 mm; ITN = 34,65 mm; $\theta_i = 21,56\%$

14 – 430 m³/ha; 43 mm; 43 L/m²

2º LISTA DE EXERCÍCIOS
DISCIPLINA: IRRIGAÇÃO E DRENAGEM
PROF. RODRIGO OTÁVIO

1) Sabendo que, desejo aplicar uma lâmina de 30 mm, o espaçamento entre sulcos é de 0,5 m, $I(\text{mm}) = 7,12.T^{0,35}(\text{min})$, $L(\text{m})=12,0.T^{0,64}(\text{min})$, determine o comprimento do sulco utilizando o método de Criddle.

2) Determine qual a área que pode ser irrigada, sabendo que:
Comprimento do sulco = 80 m; Tempo de irrigação = 80 min; Espaçamento entre sulcos = 0,5 m; Vazão disponível = 50 L/s; Vazão para cada sulco = 0,4 L/s; Turno de rega = 6 dias; Jornada de trabalho = 9,33 horas/dia.

3) Determine a intensidade de aplicação de água de um aspersor com $1,15 \text{ m}^3/\text{h}$ de vazão e com um espaçamento de $12 \times 18 \text{ m}$.

4) Dimensionar a linha lateral, em nível, com declive de 1% e aclive de 1%, utilizando os dados abaixo:

$L = 180 \text{ m}$

PVC – C = 140

Aspersor:

- Espaçamento: $18 \times 24 \text{ m}$

- PS = 30 mca

- $Q = 3 \text{ m}^3/\text{h}$

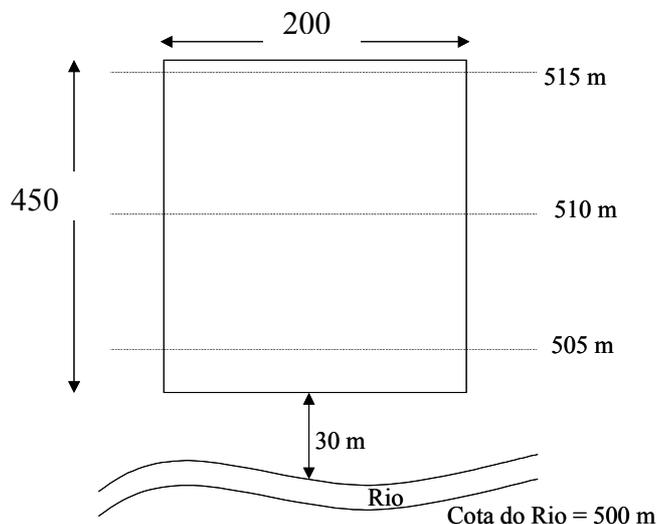
Hf permitida = 20% da PS

Altura do aspersor = 1 m

Determine:

- N° de aspersores por linha lateral
- F de múltiplas saídas
- HF permitida
- HF'
- Q início da LL
- Diâmetro da LL
- Pressão no início da LL

5) Projetar um sistema de aspersão convencional semi-portátil com os dados a seguir:

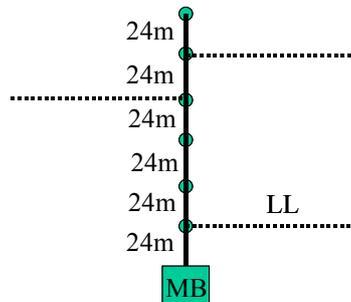


- Parâmetros do solo:
 - VIB = 15 mm/h
 - U_{cc} = 35% em peso
 - U_{Pmp} = 20% em peso
 - Densidade do solo = 1,2 g/cm³
- Cultura
 - Milho
- Clima
 - ET₀ = 5,5 mm/dia
- N° de horas de trabalho por dia = 12 horas
- Diferença de pressão na linha lateral = 20% da PS
- Altura do aspersor = 1,8 m
- Comprimento da sucção = 10 m
- Altura geométrica de sucção = 2 m
- Eficiência de aplicação de água = 85%

6) Dimensionar a linha principal.

Dados:

Q_{LL} = 30 m³/h; Pressão no início da LL = 30 mca; Terreno plano; C = 150



7) Determine o aumento da área irrigada, em porcentagem, proporcionado pelo acréscimo de um canhão no final (raio molhado = 35 m) de um pivô que irriga uma área de 39 ha.

8) Calcular a lâmina aplicada (mm) pelo pivô, sabendo que:

Q = 0,04 m³/s; Área = 60 há; Tempo para dar uma volta = 20 horas

9) Calcular a vazão necessária para um pivô que necessita aplicar uma lâmina de 7 mm/dia, irá funcionar 20 h/dia e irriga uma área com raio de 280 m.

10) Preencher a tabela que será utilizada para o manejo da irrigação. Vazão do pivô = 120 m³/h, raio até a última torre = 395 m e raio da área efetivamente irrigada 400 m.

Velocidade		Tempo de revolução Tr (h)	Lâmina bruta H _b (mm)
V (%)	V (m/h)		
100	150,0		
90			
80			
70			
60			
50			

11) Qual deverá ser a vazão do emissor n° 32 do pivô. Lâmina necessária 5,4 mm/dia, espaçamento entre emissores 3 m e tempo de revolução = 21 h.

12) Sabendo que:

- Velocidade do autopropelido = 50 m/h
- Faixa irrigada pelo autopropelido: 90 x 400 m
- Tempo necessário para a mudança de faixa: 30 min
- Vazão do autopropelido = 60 m³/h
- N° de posições na área = 10
- TR = 7 dias

Determine:

- Tempo de percurso
- Tempo por posição
- Volume aplicado
- Lâmina bruta aplicada
- Regime de trabalho necessário

13) Em uma área irrigada por gotejamento, qual deverá ser a área molhada, por planta, em um pomar de banana (3x3m), considerando um $P_{min} = 40\%$.

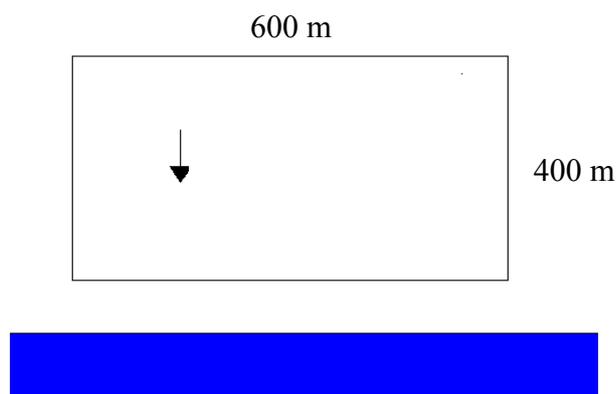
14) Determinar a vazão necessária, utilizando os dados abaixo.

A = 30 ha; Mamão: 3,6 x 1,8 m; $E_v = 7$ mm/dia; $K_p = 0,92$; $K_c = 1,0$; TR = 2 dias; $q = 3,5$ L/h; 1

LL por linha de plantio; Espaçamento entre gotejadores = 0,5 m; Largura da faixa molhada = 1 m,

$E_a = 90\%$; $N_h = 20$ h.

15) Projetar um sistema de irrigação por gotejamento com os dados a seguir:



Terreno plano

Distância da fonte de água até a área = 40 m

Cultura: Abacaxi (0,9 x 0,3 m)

Z = 30 cm

$K_c = 1,2$

$ET_0 = 6$ mm/dia

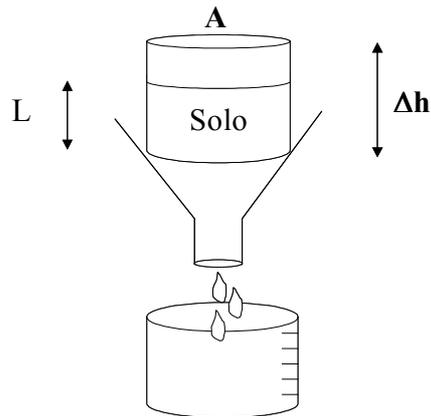
TR = 2 dias

$E_a = 90\%$
 $N_h = 20 \text{ h/dia}$

Gotejador selecionado:

$q = 3,5 \text{ L/h}$
 $PS = 10 \text{ mca}$
Espaçamento entre gotejadores = $0,6 \text{ m}$
Largura da faixa molhada = 1 m

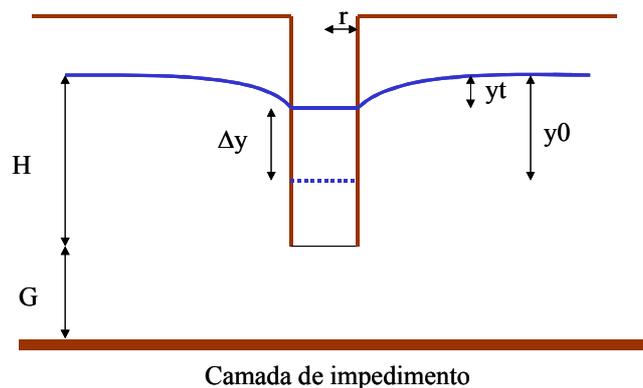
16) Com o permeômetro de carga constante foi realizado o teste para a obtenção da condutividade hidráulica da amostra:



$L = 5 \text{ cm}$
 $\Delta h = 10 \text{ cm}$
 $\Delta t = 120 \text{ s}$
 $A = 19,63 \text{ cm}^2$
Volume coletado = $90 \text{ ml} = 90 \text{ cm}^3$

Determine a condutividade hidráulica.

17) Foi realizado o teste de campo para a obtenção da condutividade hidráulica da amostra:



$r = 1^{1/2} = 3,8 \text{ cm}$
 $G = 100 \text{ cm}$
 $\Delta t = 60 \text{ s}$
Profundidade do poço = 200 cm
Dist. entre o a superfície do terreno e o nível normal do L.F. = 80 cm
Dist. entre o a superfície do terreno e o nível normal do L.F. no início da contagem do tempo = 115 cm

Dist. entre o a superfície do terreno e o nível normal do L.F. no final da contagem do tempo = 105 cm

Determine: H, Δy , Y_0 , Y_t , y e K_0

18) Determine a largura de um terraço em nível (semi-circular) com 40 cm de altura de água, que seja capaz de comportar uma chuva de 20 h com $TR = 5$ anos.

Dados:

$A_c = 0,85$ ha

Comprimento do dreno = 250 m

$C = 0,4$

$$i = \frac{2017,05 \cdot TR^{0,16}}{(d + 21)^{0,91}}$$

i – intensidade de precipitação (mm/h)

TR – tempo de retorno (anos)

d – duração da chuva (min)

19) Que vazão pode ser esperada em um canal trapezoidal com uma base de 1,1 m, $n = 0,02$, talude de 1:1,5 com uma inclinação de 0,0008m/m, se a água escoar com uma altura de 0,6 m?

20) Determine a largura do canal trapezoidal sabendo que: $n = 0,02$, talude de 1:1 com uma inclinação de 0,0005m/m, se a água escoar com uma altura de 0,5 m, $Q = 0,8$ m³/s.

21) Considerando regime permanente, determine o espaçamento entre drenos fechados com os dados a seguir:

- Perfil c/ profundidade de 4 m
- Cultura: melão
- Sistema radicular: 30 cm
- $K_0 = 0,85$ m/dia
- $R = 6,5$ mm/dia
- Prof. Drenos = 1,20 m
- Diâmetro do dreno = 10 cm

22) Considerando regime não-permanente, determine o espaçamento entre drenos abertos (trapezoidal) com os dados a seguir:

- Precipitação: h (24 horas $TR = 5$ anos) = 115 mm
- Profundidade do sistema radicular: $Z = 50$ cm
- $T = 3$ dias
- $K_0 = 1$ m/dia
- Supor que 85% da chuva infiltra
- Prof. Drenos (valetas) = 1,30 m
- Base da valeta = 30 cm
- Lâmina de água na valeta = 5 cm
- Prof. da camada de impedimento = 4 m
- Evapotranspiração = 6 mm/dia
- Talude do dreno - 1:1,5
- $\alpha_d = 10$ %

DISCIPLINA: IRRIGAÇÃO E DRENAGEM
PROF. RODRIGO OTÁVIO

RESPOSTAS DA 2º LISTA

- 1 – 68,5 m
 2 – 21 ha
 3 – $I_a = 5,32$ mm/h
 4 – Nível: Pin = 33,58 mca; Declive: Pin = 32,68 mca; Aclive: Pin = 34,48 mca
 5 – -----
 6 -

Trecho	D (mm)	Hf
MB – A	150	0,53
A – B	125	0,61
B - C	100	0,50

- 7 – Aumento = 20,8%
 8 – Lâmina = 4,8 mm
 9 – $Q = 86,20$ m³/h
 10 -

Velocidade		Tempo de revolução	Lâmina bruta
V (%)	V (m/h)	Tr (h)	H _b (mm)
100	150	16,5	3,95
90	135	18,4	4,39
80	120	20,7	4,94
70	105	23,6	5,64
60	90	27,6	6,58
50	75	33,1	7,90

- 11 – $Q = 465,3$ L/h
 12 – T percurso = 8 h; T posição = 8,5 h; Vol = 480 m³; Lâm = 13,33 mm; J = 12,14 h/dia
 13 – $A = 3,6$ m²
 14 – $Q = 30,7$ m³/h
 15 - -----
 16 – $K_0 = 1,15$ cm/h
 17 – $K_0 = 0,46$ m/dia
 18 – $b = 4,13$ m
 19 – $Q = 0,87$ m³/s
 20 - -----
 21 – $S = 36,04$ m
 22 – $S = 27,46$ m

UFRA/ICA
DISCIPLINA: IRRIGAÇÃO E DRENAGEM
PROF. RODRIGO SOUZA

EXEMPLO DE DIMENSIONAMENTO: IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO

Dimensionar um sistema de irrigação por aspersão convencional. O projeto deve conter: Água disponível, Turno de rega, Período de irrigação, Seleção do aspersor, tempo de irrigação por posição, N° de posições irrigadas por dia, N° Total de posições, N° de posições que devem ser irrigadas por dia, N° de linhas laterais, dimensionamento da linha lateral, dimensionamento da linha principal, dimensionamento da sucção, Seleção da bomba, Lista de materiais e Layout do sistema.

- Dados iniciais:

- Cultura: Soja
- Prof. Efetiva do sistema radicular = 40 cm
- Período de máxima demanda: $ET_0 = 5$ mm/dia
- S/ considerar chuva
- Fator de disponibilidade = 0,5
- $U_{cc} = 32\%$
- $U_{pmp} = 15\%$
- Densidade do solo = $1,21$ g/cm³
- VIB = 15 mm/h
- Eficiência de aplicação de água = 83 %
- Jornada de trabalho = 12 h/dia
- Altura do aspersor = 1,0 m
- Comprimento da sucção = 10 m
- Altura geométrica de sucção = 5 m
- Diâmetros comerciais: 50, 75, 100, 125, 150 e 200 mm
- Recomendação: não utilizar mais do que quatro linhas funcionando simultaneamente
- Coeficiente de Hazen willians para PVC: $C = 150$

- Planta Topográfica

