

FOL
02442

II CURSO SOBRE MANEJO DE SOLO E ÁGUA EM
PROPRIEDADES AGRÍCOLAS DO TRÓPICO SEMI-ÁRIDO
PERÍODO: 30 DE AGOSTO A 29 DE SETEMBRO DE 1983

SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO

- . DIMENSIONAMENTO
- . MANEJO E AVALIAÇÃO

JOSÉ MONTEIRO SOARES



1983
PETROLINA, PE

~~Sistema de irrigação por
1983 PL-02664~~



~~33979-1~~

SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO

- . DIMENSIONAMENTO
- . MANEJO E AVALIAÇÃO

José Monteiro Soares^{2/}

^{1/} Trabalho apresentado no II Curso sobre Manejo de Solo e Água em Propriedades Agrícolas do Trópico Semi-Árido.

^{2/} Eng^o Agr^o, M.S. Pesquisador em Irrigação do CPATSA/EMBRAPA, Petrolina-PE.

ÍNDICE

I- Dimensionamento de Sistemas de Irrigação por Aspersão	
1- CÁLCULO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DO CULTIVO, ET CULTIVO	01
2- DETERMINAÇÃO DE PARÂMETROS RELATIVO AO SOLO	02
3- CONCEITOS BÁSICOS PARA O DIMENSIONAMENTO DE SISTEMA DE IRRIGAÇÃO .	03
4- INFORMAÇÕES BÁSICAS NECESSÁRIAS PARA UM DIMENSIONAMENTO PRIMÁRIO DO PROJETO	04
5- DISTRIBUIÇÃO DAS TUBULAÇÕES NO CAMPO	05
6- DIMENSIONAMENTO DA LINHA LATERAL	06
7- DIMENSIONAMENTO ECONÔMICO DA LINHA LATERAL	07
8- DIMENSIONAMENTO DA LINHA PRINCIPAL	08
9- DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO DA LINHA PRINCIPAL	09
10- DIMENSIONAMENTO DO CONJUNTO MOTOBOMBA	10
11- SEQUÊNCIA PARA O DIMENSIONAMENTO DE UM PROJETO DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO	11
12- EXEMPLO	12
II- Manejo e Avaliação de Sistemas de Irrigação por Aspersão	
1- FATÔRES QUE INFLUEM NO FUNCIONAMENTO DOS ASPERSORES	
2- AVALIAÇÃO DO SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO	
3- TESTE DE CAMPO	
III- Literatura consultada	

I - Cálculo da Evapotranspiração do Cultivo, ET cultivo

A - Generalidades

O Clima é um dos fatores mais importante da determinação da quantidade de água perdida pela evapotranspiração da cultura, e conseqüentemente, para o dimensionamento de sistemas de irrigação. Mas, a evapotranspiração de uma dada cultura é também determinada pela própria cultura e suas características de crescimento. O ambiente local, solo, condições de umidade no solo, fertilizantes, infestações por doenças e pragas, práticas agrícolas e de irrigação, etc, podem também influenciar a velocidade de crescimento da planta, e portanto, o valor final da evapotranspiração.

O cálculo da ET cultivo, deve seguir a metodologia recomendada pela FAO (1976), que é dividida em três etapas:

1^a) Consiste no cálculo do efeito do clima sobre as necessidades hídricas que vem dado pela ETo (evapotranspiração de referência);

2^a) Consiste em estimar o efeito das características da planta sobre as necessidades hídricas, sendo dada por Kc, o qual representa a relação entre a ETo e a ET cultivo;

3^a) Consiste em avaliar o efeito das condições locais e práticas agrícolas como variação do clima, altitude, adubação, salinidade, método de irrigação, etc.

B - Cálculo de ETo pelo Método do tanque evaporimétrico

A evaporação da lâmina de água no tanque evaporimétrico dá uma estimativa dos efeitos integrados da radiação, vento temperatura e umidade sobre esta evaporação.

As plantas respondem as mesmas variáveis climáticas, porém existem alguns fatores que podem produzir diferenças significativas, tais como:

- O albedo da água no tanque (reflexão solar) é de 5 a 8%. Enquanto o albedo de um cultivo é de 20 a 25%;

- Ocorre um armazenamento de calor no tanque evaporimétrico que concorre para que haja evaporação durante a noite, uma vez que 95% da transpiração dos cultivos ocorre durante o dia;

- As diferenças de perdas de água pelo tanque e pelos cultivos pode ser devido também a diferenças na turbulência do ar, temperatura e umidade em torno de ambas superfícies;

- A cor do tanque e o uso de malhas de proteção influenciam na lâmina evaporada;

- A localização do tanque (em solo desnudo ou em solo com cultivo);

- Os pássaros e animais podem beber água do tanque e mascarar os dados.

Apesar de todas as limitações expostas, o tanque evaporimétrico é um excelente método para estimar as necessidades hídricas dos cultivos.

Para relacionar a evaporação do tanque (E_{tanque}) com E_{To} dá-se alguns coeficientes empíricos (K_p) para um tipo determinado de tanque e clima segundo a localização. A relação básica é dada por:

$$E_{\text{To}} = K_p \cdot E_{\text{tanque}}$$

Os valores de K_p dados pelo quadro 1 levam em consideração as condições do tanque e o meio circundante (vegetação, vento e umidade relativa).

Modo de operar:

- Determinar os valores médios mensais de evaporação do tanque classe A, umidade relativa e velocidade do vento a 2 m de altura;

- Determinar os valores de K_p em função da velocidade do vento, umidade relativa e localização do tanque em relação a áreas secas ou cultivadas;

- Para determinar E_{To} , multiplica-se K_p por E_{tanque} .

QUADRO 1. Coeficiente Kp para tanque Classe A para diferentes coberturas vegetais para níveis de umidade relativa média e vento médio.

Tanque Classe A	Tanque instalado sobre uma área gramada			Tanque instalado sobre uma área de solo desnudo				
	menor 40 %	40-70	>70	< 40	40-70	>70		
Umidade Relativa %								
Velocidade de Vento - m/s -	Distancia Barlavento do campo cut (m)				Distância Barlavento do campo seco - m -			
< 2,02	0	.55	.65	.75	0	.7	.8	.85
	10	.65	.75	.85	10	.6	.7	.8
	100	.7	.8	.85	100	.55	.65	.75
	1000	.75	.85	.85	1000	.5	.6	.7
2,02 a	0	.5	.6	.65	0	.65	.75	.8
	10	.6	.7	.75	10	.55	.65*	.7
	100	.65	.75	.8	100	.5	.6	.65
	1000	.7	.8	.8	1000	.45	.55	.6
4,92 a	0	.45	.5	.60	0	.6	.65	.7
	10	.55	.6	.65	10	.5	.55	.65
	100	.6	.65	.7	100	.45	.5	.6
	1000	.65	.7	.75	1000	.4	.45	.55
> 8,10	0	.4	.45	.5	0	.5	.6	.65
	10	.45	.55	.6	10	.45	.5	.55
	100	.5	.6	.65	100	.4	.45	.5
	1000	.55	.6	.65	1000	.35	.4	.45

C - Determinação de coeficientes de cultivo

Para a eleição dos coeficientes de cultivo adequados, há que levar em consideração o seguinte:

(1) **Características do cultivo** - Existem grandes diferenças entre os valores de K_c para os distintos grupos de cultivo. Estas diferenças devem-se às peculiaridades das plantas na resistência à transpiração, distribuição das folhas, forma da copa, etc; assim como o espaçamento entre plantas, orientação das fileiras com relação aos ventos dominantes, tem influência marcante sobre os valores da ET cultivo.

(2) **Data de plantio** - Influe na duração do período vegetativo, no ritmo de desenvolvimento e na maturação;

(3) **Duração do período vegetativo** - Um maior período vegetativo corresponderá uma maior transpiração e portanto um maior ET estacional do cultivo;

(4) **Variação dos coeficientes com o desenvolvimento vegetativo** - Quando o cultivo é jovem e não cobre a superfície do solo, a taxa de transpiração é baixa e a taxa de evaporação depende do grau de umidade da superfície do solo. Conforme o cultivo vai crescendo, a transpiração faz-se mais importante, alcançando valores máximos quando cobre 89% da área por planta.

Modo de operar:

Para obter-se os valores de K_c para os distintos períodos de desenvolvimento vegetativo do cultivo, torna-se necessário:

(1) Determinar a data de plantio;

(2) Determinar o período vegetativo e a duração das distintas fases fenológicas;

(3) Predizer a frequência de irrigação e utilizar a E_{T0} na fase inicial de desenvolvimento vegetativo, para se estimar o valor de K_c inicial (Figura 1).

(4) Obter os valores de K_c nos Quadros 2 e 3 nas fases média e final.

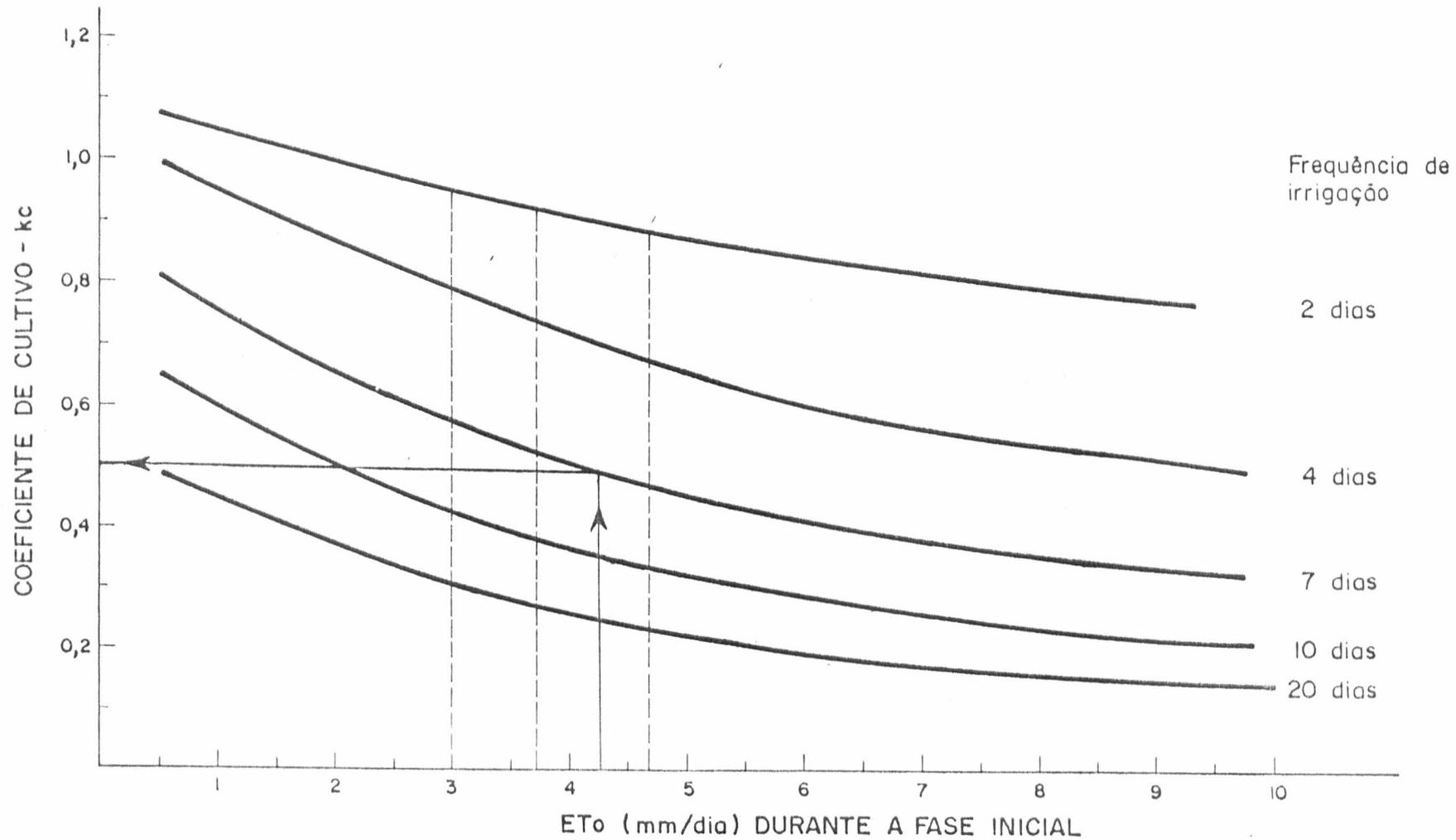


FIGURA 1. kc médio na fase inicial em função do nível médio da ETo (durante a fase inicial) e a frequência irrigada.

QUADRO 2. Coeficientes de cultivo Kc em diferentes fases de seu crescimento e segundo as condições climáticas

CULTIVO	Umid. Relativa	UR > 70%		UR < 20%		
	Vento m/s	0 - 5	5 - 8	0 - 5	5 - 8	
Milho	Fase de desenvolvi- mento					
	Inicial	1				
	Desenv. Vegetati- vo	2				
	Floração	3	1,05	1,10	1,15	1,20
	Maturação	4	0,55	0,55	0,60	0,60
Algodão		3	1,05	1,15	1,20	1,25
		4	0,65	0,65	0,65	0,70
Melão		3	0,95	0,95	1,00	1,50
		4	0,65	0,65	0,75	0,75
Cebola		3	0,95	0,95	1,05	1,10
		4	0,75	0,75	0,80	0,85
Tomate		3	1,05	1,10	1,20	1,25
		4	0,60	0,60	0,65	0,65
Sorgo		3	1,00	1,05	1,10	1,15
		4	0,50	0,50	0,55	0,55

OBS: Os valores de Kc referentes as fases 1 e 2 serão obtidos através da Figura 2.

QUADRO 3. Valores de Kc no caso da Banana

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Cultivo do primeiro ano, baseado em uma plantação em março com uns cultivos que tenham 3,5 m de altura em agosto:												
Ventos de débeis a moderados, úmidos (< 2,02m/s)	-	-	0.65	0.6	0.55	0.6	0.7	0.85	0.95	1.0	1.0	1.0
Ventos fortes, úmidos (4,9 a 8,1 m/s)	-	-	0.65	0.6	0.55	0.6	0.75	0.9	1.0	1.05	1.05	1.05
Ventos de débeis a moderados, secos	-	-	0.5	0.45	0.5	0.6	0.75	0.95	1.1	1.15	1.1	1.1
Ventos fortes, secos	-	-	0.5	0.45	0.5	0.65	0.8	1.0	1.15	1.2	1.15	1.15
Segunda estação, com eliminação das plantas originais em fevereiro e uma cobertura sombreada de uns 80%												
Ventos de débeis a moderados, úmidos	1.0	0.8	0.75	0.7	0.7	0.75	0.9	1.05	1.05	1.05	1.0	1.0
Ventos fortes, úmidos	1.05	0.8	0.75	0.7	0.7	0.8	0.95	1.1	1.1	1.1	1.05	1.05
Ventos de débeis a moderados, secos	1.1	0.7	0.75	0.7	0.75	0.85	1.05	1.2	1.2	1.2	1.15	1.15
Ventos fortes, secos	1.15	0.7	0.75	0.7	0.75	0.9	1.1	1.25	1.25	1.25	1.2	1.2

D - Cálculo da Evapotranspiração do Cultivo

O Valor da ET cultivo é obtido, multiplicando-se o valor de E_{To} de um dado mês pelo valor de K_c do cultivo considerado, ou seja:

$$ET_{\text{cultivo}} = K_c \cdot E_{To}$$

em que:

ET_{cultivo} = Evapotranspiração do cultivo, em mm/dia

K_c = Coeficiente de cultivo

E_{To} = Evapotranspiração de referência, em mm/dia.

2.- Determinação de parâmetros relativos ao Solo

Para um dimensionamento adequado de sistemas de irrigação, é imprescindível a determinação em condições de campo, de uma série de parâmetros, tais como: Curva de retenção de umidade ou na sua falta; capacidade de campo e ponto de murcha; densidade aparente; profundidade efetiva do solo e das raízes e curva de infiltração.

A curva de retenção de umidade define a capacidade de armazenamento de água pelo solo na profundidade efetiva das raízes, bem como o nível de água no solo, em que deve-se fazer as irrigações, dependendo da resistência da cultura a deficiência de água no solo.

A profundidade efetiva do solo é um dos parâmetros muito importante para dimensionamento e manejo de sistemas de irrigação, para evitar o sube/ou o superdimensionamento de sistemas de irrigação, é conseqüentemente, a aplicação deficiente ou excessiva de água, respectivamente.

As curvas de infiltração são bastante importantes para a seleção de aspersores e conseqüentemente, tempo de irrigação para aplicação da lâmina de irrigação desejada por posição. A topografia do terreno é um fator que intervém no interrelacionamento entre velocidade de infiltração do solo e intensidade de aplicação do aspersor. Porque o aumento da declividade do terreno concorre

para a redução da intensidade de aplicação do aspersor, considerando um mesmo solo.

Recomendamos que a determinação desses parâmetros sejam feitas na área selecionada, ao invés de utilizar dados tabelados, visando um dimensionamento do sistema de irrigação.

A curva de retenção de umidade é determinada em laboratório, enquanto a densidade aparente, curva de infiltração e profundidade efetiva do solo são determinadas em condições de campo.

Os valores referentes a capacidade de campo, ponto de murcha permanente e níveis de aproveitamento de umidade no solo em que se devem fazer as irrigações são obtidos através de curva de retenção de umidade. Para obter os valores de umidade correspondentes a capacidade de campo e ponto de murcha, entra-se na abscissa do gráfico com os valores de tensão de umidade iguais a 1/3 e 15 atmosferas e obtém-se na ordenada os valores de umidade em termos de percentagem.

Por outro lado, a redução do nível de umidade no solo na zona radicular, abaixo do nível crítico, concorre para uma diminuição brusca da produtividade da cultura. Este nível crítico depende de diversos fatores do cultivo (desenvolvimento vegetativo e densidade radicular) e fatores climáticos (Evapotranspiração do cultivo) e fatores do solo (nível de umidade aproveitável e profundidade do solo). De um modo geral, o nível de aproveitamento de umidade do solo, varia de 40 a 50%, para regiões semi-áridas.

3 - Conceitos básicos para o dimensionamento de sistemas de irrigação

a) **Disponibilidade total de água (DTA)** - é expressa em mm de água/cm de solo.

$$DTA = 10 \frac{CC - PMP}{100} \times Da.$$

em que:

- CC** = Capacidade de campo em base seca (%)
- PMP** = Ponto de murcha permanente em base seca (%)
- Da** = Densidade aparente (g/cm^3)

b) Disponibilidade real de água (DRA) - é expresso em mm de água/cm de solo, levando-se em consideração o fator cultural.

$$\text{DRA} = K \times \text{DTA}$$

OBS:. Na prática, usa-se $K = 0,5$. Porém, quanto mais sensível a planta ao déficit de água menor o valor de K . Algodão: $K = 0,7$ (resistente) e tomate: $K = 0,3$ (sensível).

c) Velocidade de infiltração básica (VIB) - esta é uma característica dinâmica do solo. A intensidade de aplicação do aspersor deve ser menor ou igual a VIB do solo. De posse disso, pode-se escolher o tipo de aspersor, pressão de serviço e espaçamento entre aspersores. Quanto menor a intensidade de aplicação do aspersor maior é o tempo de aplicação por posição e maior a eficiência do sistema. Chamamos atenção para a utilização de aspersão, em solos muito argilosos, pois pode envolver problemas agrônômicos e econômicos.

d) Quantidade real necessária de água (QRN)

$$\text{QRN} = \text{DRA} \times H$$

em que:

QRN = quantidade real necessária de água (mm)

DRA = disponibilidade real de água (mm/cm)

H = profundidade efetiva das raízes (cm)

e) Quantidade total necessária de água (QTN)

$$QTN = QRN \times \frac{1}{E_i}$$

em que:

QTN = quantidade total de água necessária (mm)

QRN = quantidade real necessária de água (mm)

E_i = eficiência de irrigação (%)

f) Turno de rega (TR) ou frequência de irrigação - é o número de dias decorridos entre duas irrigações consecutivas de uma mesma área.

$$TR = \frac{QRN}{ET_c}$$

em que:

TR = Turno de rega (dias)

QRN = Quantidade real necessária de água (mm)

ET_c = Evapotranspiração crítica do cultivo (mm/dia).

g) Período de irrigação (PI) - é o número de dias necessários para irrigar todo o projeto.

Este fator é importante no dimensionamento do projeto. Quanto menor a relação PI/TR , mais elevado será o custo do sistema. O intervalo de tempo entre PI e TR deve ser defazado de no máximo um dia.

h) Profundidade efetiva do solo - a profundidade efetiva do solo deve ser maior que a profundidade efetiva do sistema radicular da cultura escolhida em 70% da área.

4 - Informações básicas necessárias para um dimensionamento primário do projeto

- a) Texturas do solo e do subsolo
- b) Profundidades efetivas do solo e do sistema radicular
- c) Curva de retenção de umidade ou na falta a capacidade de campo e ponto de murcha permanente
- d) Curva de infiltração
- e) Levantamento topográfico
- f) Limitações gerais da área
- g) Tipo de cultura
- h) Evapotranspiração do cultivo
- i) Eficiência de irrigação ($\geq 70\%$)
- j) Nível de água disponível no solo
- k) Horas de trabalho por dia na propriedade
- l) Direção e velocidade média do vento a 2,00 m de altura, em m/s.

5 - Distribuição das tubulações no campo

a) Localização e tipo de fonte de água

Localização do Poço - Deve ser localizado o mais próximo possível do centro do campo, para permitir uma mobilidade econômica das tubulações;

Canais - Estudar a viabilidade de usar parte do canal, de modo a reduzir o custo da tubulação principal e/ou estudar a possibilidade do uso de motobomba portátil;

Rios - a casa da motobomba deve, ficar o mais próximo possível da parte central da área;

Energia - aproveitar o máximo possível a energia gravitacional disponível.

b) Tamanho e forma da área

Quadricular a área de modo a usar múltiplas rotações das linhas laterais, o que implica numa economia de mão-de-obra.

c) Direção da linha lateral

A linha lateral deve formar um ângulo de 45 ou 90° com a direção do vento predominante.

Sempre que possível, a linha lateral deve ser normal à linha de maior declividade do terreno.

6) Dimensionamento da linha lateral

O limite de comprimento de uma linha lateral é determinado pelas variações de pressão e de vazão entre o primeiro e o último aspersor. A variação de pressão deve ser menor ou igual a 20%, o que corresponde a uma variação de vazão menor ou igual a 10%.

a - Determina-se a variação de pressão permitida ao longo da linha lateral

$$\Delta P_s \leq 20\% P_s.$$

onde:

ΔP_s = Variação de pressão, em m.

P_s = Pressão de serviço, em m.

b - Determina-se os desnível entre os extremos da linha lateral

$$\Delta S = S \times L$$

onde:

ΔS = Diferença de nível entre os extremos da linha lateral, em m.

S = Declividade no sentido da linha lateral, em %

L = Comprimento da linha lateral, em m.

c- Determina-se a perda de Pressão por atrito permitida ao longo da tubulação

$$hf = \frac{\Delta Ps \pm \Delta S}{F}$$

onde:

hf = Perda de energia por atrito, em m

ΔPs = Variação da pressão de serviço, em m

ΔS = Diferença de nível entre os extremos da linha lateral, em m (+ para declive e - para aclave).

F = Fator de Christiansen (função do número de aspersor por linha lateral) vide Quadro 4.

QUADRO 4. Fator de Christiansen em função do número de aspersores por linha lateral

N	F	N	F	N	F
1	1	8	0,398	15	0,367
2	0,625	9	0,391	16	0,365
3	0,518	10	0,385	17	0,363
4	0,469	11	0,380	18	0,361
5	0,440	12	0,376	19	0,360
6	0,421	13	0,373	20	0,359
7	0,408	14	0,370	00	0,338

d - Com a vazão da linha lateral, entra-se em âbacos de perda de energia por atrito, para se chegar a tubulação adequada.

Toma-se na abscissa Figura 2 um ponto correspondente a vazão da linha lateral. Em seguida faz-se passar por esse ponto, uma linha vertical de modo a

interceptar as curvas de perda de pressão para vários diâmetros. Seguindo-se, determina-se a perda de carga unitária correspondente ao diâmetro selecionado. Recomenda-se que os diâmetros sejam selecionados, de modo que a velocidade de água na tubulação não ultrapasse 2 m/s. Assim, para se obter a perda de pressão total, tem-se:

$$hf_c = j \cdot l.$$

onde:

hf_c = Perda de pressão total calculada ao longo da tubulação, em m

j = Perda de energia unitária, em m/100 m

l = Comprimento da tubulação, em m.

OBS:..O valor de hf_c deve ser igual ou ligeiramente inferior ao valor de hf .

7) Dimensionamento econômico da linha lateral

Dificilmente o dimensionamento de linhas laterais com um único diâmetro, apresenta resultados que correspondem aos diâmetros disponíveis no mercado. Tendo sempre que aproximar para mais, os resultados obtidos. Mas esta alternativa na maioria das vezes, condiciona um aumento apreciável no custo de investimento do sistema de irrigação. Desse modo, o dimensionamento de linhas laterais com mais de um diâmetro, concorre para redução dos custos de investimentos. Mas, em termos práticos, não recomenda-se o dimensionamento de linhas laterais com mais de dois diâmetros. Assim, para dimensionar-se uma linha lateral com dois diâmetros, deve-se obedecer esta sequência:

a- Determina-se a perda de pressão do trecho de menor diâmetro, Figura 3.

$$hf_1 = f(l_2, D_2, Q_2)$$

b- Determina-se a perda de pressão como se toda linha fosse do maior diâmetro. Figura 3.

$$hf_2 = f \left[(l_1 + l_2), D_1, Q_1 \right]$$

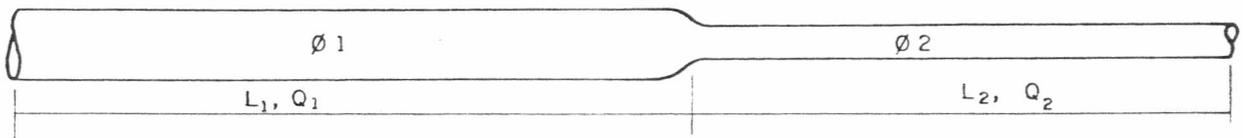


FIG. 3. Dimensionamento de linhas laterais com dois diâmetros

c- Determina-se a perda de pressão do trecho de menor diâmetro, porém usando o maior diâmetro, Figura 3.

$$hf_3 = f(l_2, D_1, Q_2)$$

d- Determina-se a perda de pressão ao longo de toda tubulação.

$$hf = hf_1 + hf_2 - hf_3 .$$

8) Dimensionamento da linha principal

A Tubulação da linha principal pode ser dimensionada por meio de dois processos distintos: (1) Dimensionamento hidráulico; (2) Dimensionamento econômico.

O dimensionamento econômico apresenta uma série de vantagem em relação ao dimensionamento hidráulico. Porém, não dispomos de dados referentes ao fator de recuperação de capital (FRC). Por isto, apresentamos apenas o dimensionamento hidráulico.

9) Dimensionamento hidráulico da linha principal

O dimensionamento hidráulico da linha principal é função do limite de perda de pressão admissível ao longo da tubulação. Este limite varia de 10 a 15% da pressão de entrada da linha lateral ou linhas secundárias.

a- Determina-se a variação de pressão entre o início e o final de tubulação.

$$\Delta P = 10 \text{ a } 15\% P_i$$

onde:

ΔP = Variação de pressão entre o início e o final da linha principal em m

P_i = Pressão de entrada nas linhas lateral ou secundária, em m.

b- Determina-se a diferença de cota entre o início e o final da linha principal

$$\Delta S = S \times L$$

onde:

ΔS = Diferença de nível entre o início e o final da linha principal, em m

S = Declividade do terreno ao longo da linha principal, em %

L = Comprimento da linha principal, em m.

c- Determina-se a perda de pressão permissível ao longo da linha principal

$$hf = \Delta P \pm \Delta S$$

onde:

hf = Perda de pressão permissível ao longo da linha principal, em m

ΔP = Variação de pressão entre o início e o final da linha principal, em m

Δs = Diferença de nível entre o início e o final da linha principal, em m

d- Divide-se a linha principal em trecho em função do número e do arranjo das linhas laterais no croquis de campo. E assim, dimensiona-se a linha principal, utilizando a vazão que passa em cada trecho e a pressão de entrada em cada ponto de junção da linha principal com as linhas lateral e secundaria.

e- Tomam-se pontos na abscissa da Figura 2 correspondentes a vazão que passa em cada trecho da linha principal e passam-se por estes, linhas verticais de modo a interseccionarem as curvas de perdas de pressão para vários diâmetros. Em seguida, determina-se a perda de carga unitária, correspondente aos diâmetros selecionados. Recomenda-se, que os diâmetros sejam selecionados, de modo que a velocidade da água na tubulação não ultrapasse 2 m/s. Assim, para obter-se a perda de carga total em cada trecho, tem-se que:

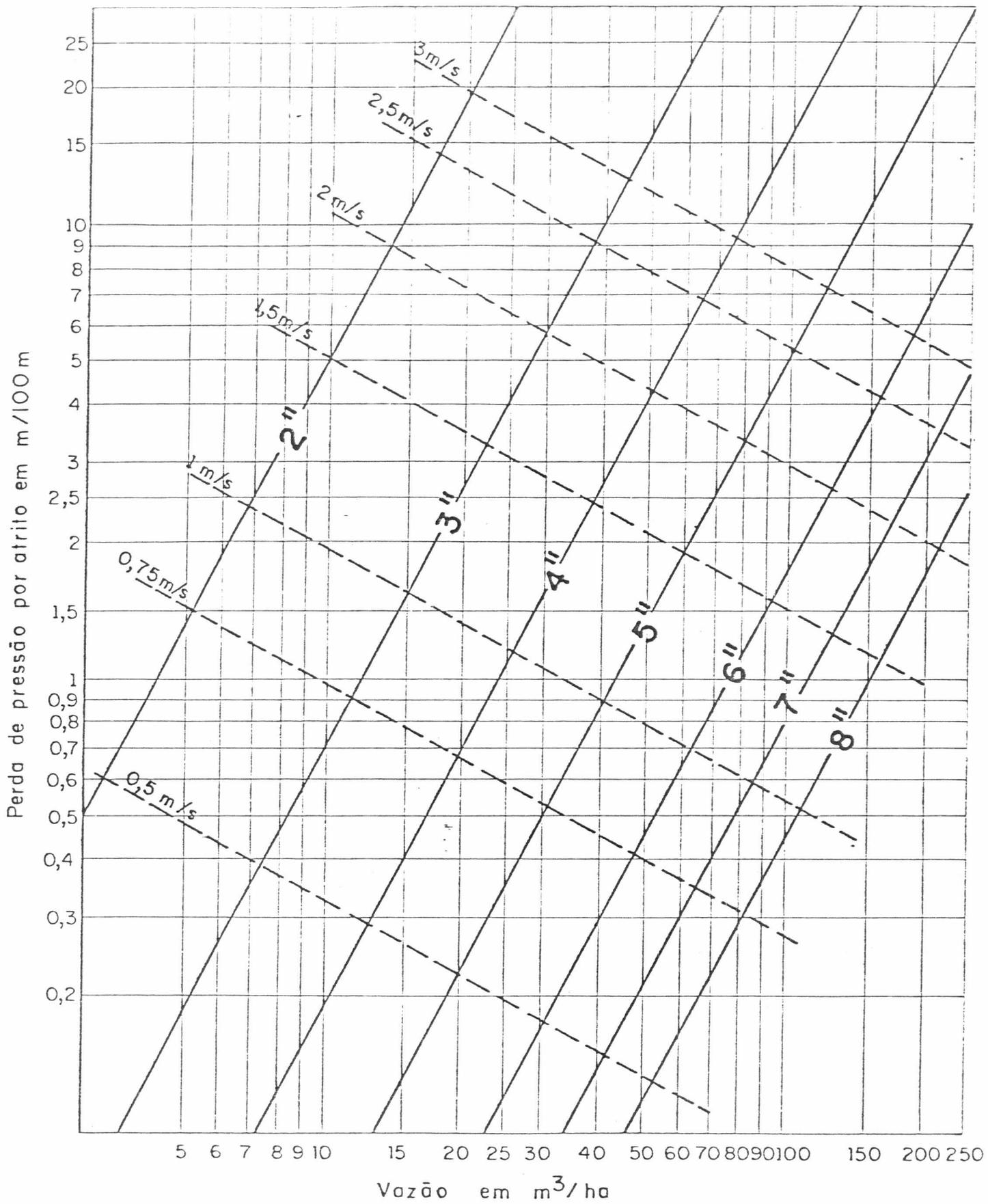


FIG. 2 Perda de pressão por atrito na tubulação de alumínio com engates rápidos.

$$h_{fi} = J \cdot L$$

onde:

h_{fi} = Perda de pressão total do trecho i , em m

J = Perda de pressão unitária no trecho i , em m

L = Comprimento da tubulação no trecho i , em m.

f- A perda de pressão total ao longo da linha principal é obtida, somando-se a perda de carga em cada trecho.

$$h_f = \sum_{i=1}^n h_{fi}$$

g- Se o valor de h_f calculado for igual ou ligeiramente inferior ao valor permitido aceita-se o arranjo de diâmetros utilizados nos cálculos. Caso contrário, deve-se fazer outras tentativas, visando obter um arranjo mais adequado.

OBS:. O dimensionamento baseado em energia potencial gravitacional, deve ser feito, visando o melhor aproveitamento possível dessa energia.

h) Identificação do ponto crítico da linha principal

A identificação do ponto crítico ao longo da linha principal é importante, para se determinar a altura manométrica necessária no cabeçal de controle, assim como, para redimensionar a tubulação a partir do ponto crítico até o seu final. Para isto, deve-se obedecer o seguinte esquema:

QUADRO 5. Esquema para identificação de pontos críticos na linha principal e determinação da altura manométrica na motobomba.

Ponto	Desde a	Pressão de entrada (m)	Perda de pressão (m)	Desnível (m)	Pressão no ponto (m)	Pressão mínima necessária (m)	m (6 + 7)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	
MB	MB-A						
A	A-B						
B	B-A						
A	A-MB						

Utilizando-se o esquema mostrado no Quadro 4, tem-se os seguintes passos:

Coluna 1 - Põe-se os pontos correspondentes a mudança de diâmetro ou a mudança da direção da tubulação, começando-se pela entrada da tubulação terciária;

Coluna 2 - Trecho desde o princípio até o final;

Coluna 3 - Põe-se o valor da pressão de entrada, começando-se com zero;

Coluna 4 - Perda de pressão por atrito calculada na linha lateral, no ponto considerado;

Coluna 5 - Diferença de nível entre os extremos de cada trecho. Considera-se o sinal (+) se a água movimentar-se contra a pendente e (-) se a favor da pendente;

Coluna 6 - Soma-se os valores da coluna (3), (4) e (5), pondo em (5) o sinal correspondente;

Coluna 7 - Pressão mínima necessária no ponto considerado, devido a linha lateral.

Coluna (6) + (7): Soma-se os valores das colunas (6) e (7) para obter-se a pressão na linha principal nos pontos considerados.

Assim, se todas as linhas laterais e/ou terciárias tiverem a mesma pressão de entrada, o valor mais alto na coluna (6) + (7) significa o ponto crítico, a partir do qual se deverá recalcular todas as pressões de entrada obtidas na coluna (6), para que se obtenha a pressão necessária no cabeçal de controle. Para isto, deve-se restar da pressão mínima necessária, no ponto crítico (agora colocada na coluna 3), o valor da perda de pressão obtida no trecho considerado, inverte-se o sinal da coluna (5) e soma-se os valores das colunas (3), (4) e (5), obtendo-se assim a coluna (6) (pressão manométrica necessária em cada ponto do trecho considerado).

i) Determina-se a altura manométrica necessária que é dada por:

$$H_m = (H_{mc} + H_s) \times f$$

onde:

H_m = Altura manométrica necessária, em m

H_{mc} = Altura manométrica necessária no cabeçal, em m

H_s = altura de sucção, em m

f = fator de correlação devido as perdas de carga em curvas e peças especiais, geralmente igual a 1,05.

j) Cada sistema deve ser dotado de uma capacidade extra de pressão ou de vazão. Ambas alternativas condicionam o dimensionamento de conjuntos motobombas mais potentes. Essa capacidade extra pode variar de 10 a 20%. De um modo geral, o parâmetro mais utilizado é a pressão.

10.) Dimensionamento do conjunto motobomba

Toma-se um ponto na abscissa e outro na ordenada da Figura 4, respectivamente a vazão total e a altura manométrica necessária do sistema e faz-se passar por estas linhas perpendiculares aos referidos eixos. Na intersecção dessas linhas determina-se a eficiência e o diâmetro do rotor da bomba, bem como a potência no eixo da bomba. A potência do motor é igual a 1,20 vezes a potência no eixo da bomba.

11- Sequência para dimensionamento de um projeto de irrigação por aspersão

a) Cálculo da disponibilidade total de água

$$DTA = 10. \frac{CC - PMP}{100} \times Da.$$

b) Cálculo da disponibilidade real de água

$$DRA = H. DTA$$

c) Cálculo de quantidade real necessária de água

$$QRM = DRA. H$$

d) Cálculo da quantidade total necessária de água

$$QTN = QRM. \frac{1}{Ei}$$

e) Turno de rega

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

f) Seleção do aspersor

Aspersor = (VIB, Pressão de serviço e espaçamento entre aspersor).

A seleção do aspersor é função da velocidade de infiltração básica do solo (VIB), da pressão de serviço e do espaçamento entre aspersores, da topografia e do tipo de cultura.

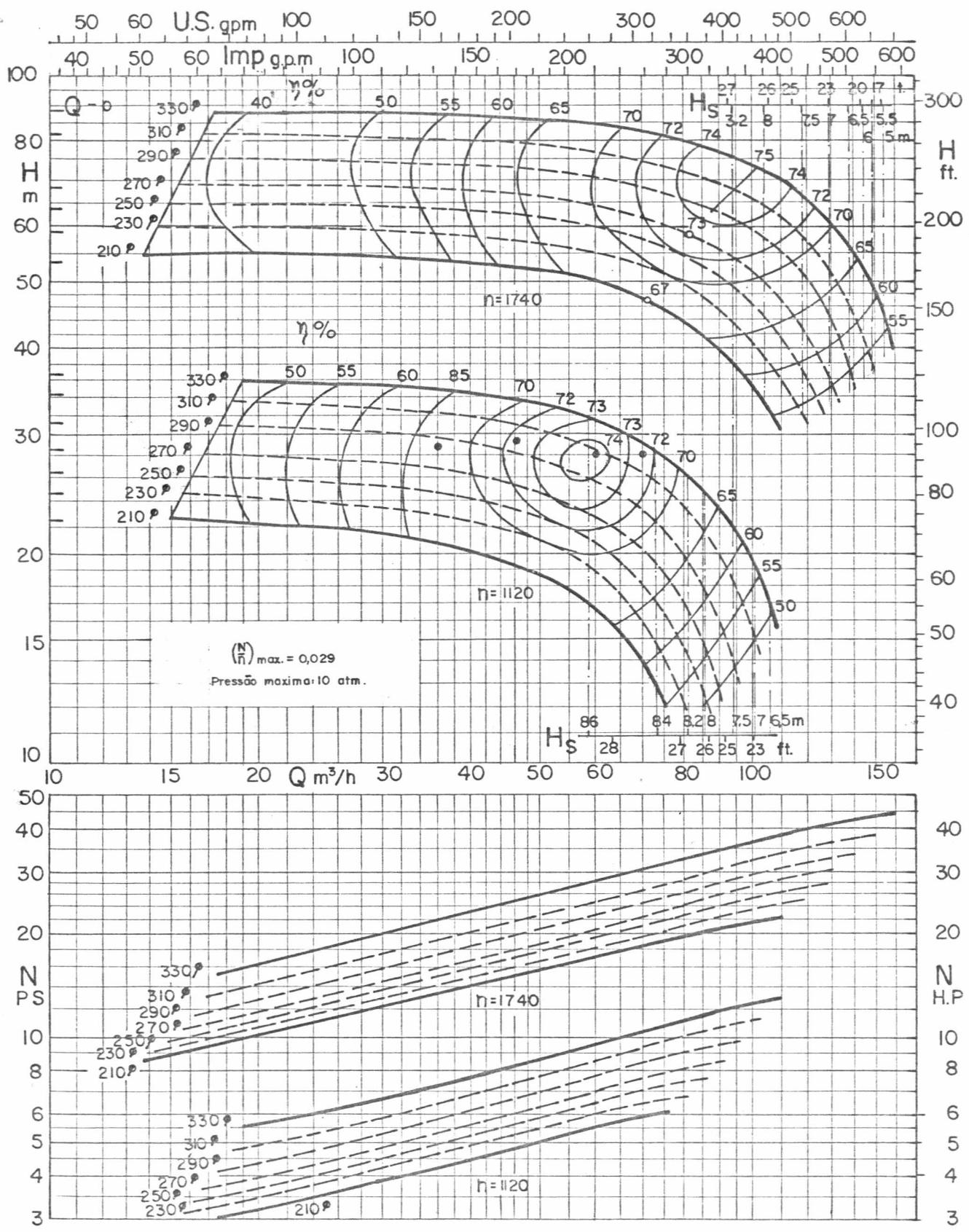


FIG. 4 CURVA CARACTERÍSTICA DE UMA BOMBA CENTRÍFUGA KSB, MODELO ETA 80-40/2.

A intensidade de aplicação do aspersor deve ser menor ou igual a VIB do solo, para condições de topografia plana ou quase plana.

Na determinação do espaçamento entre aspersores, deve-se considerar a velocidade do vento, para que sejam obtidos coeficientes de uniformidade de distribuição adequado. Deve-se observar o Quadro 6.

QUADRO 6. Interação entre velocidade do vento e espaçamento entre aspersores

Velocidade do vento em m/s	- Espaçamento entre aspersores inferior a
até 2,0	65 % do diâmetro de alcance
" 2,6	60 % " " " "
" 3,5	50 % " " " "
maior 3,5	30-50 % " " " "

Para culturas com folhas e flores pouco resistente ao impacto das gotas de água, deve-se selecionar-se aspersores do tipo pequeno.

g) Cálculo do tempo por posição

$$TPP = \frac{QTN}{Ia}$$

h) Cálculo do número total de posições

$$NTP = \frac{\text{Comprimento da linha principal}}{\text{maior espaçamento entre aspersores}} \times 2$$

OBS:.. depende do formato da área.

i) Cálculo do número de posições por dia

$$NPD = \frac{\text{horas de trabalho por dia}}{\text{tempo por posição}}$$

j) Cálculo do número de linhas laterais em funcionamento

$$NLLF = \frac{NTP}{NPD \times Pi}$$

k) Cálculo do número de aspersores por lateral

$$NALL = \frac{\text{Comprimento da linha lateral}}{\text{menor espaçamento entre aspersores}} + 1$$

l) Cálculo do número total de aspersores

$$NTA = NALL \times NLLF$$

m) Cálculo da vazão da linha lateral

$$Ql = qa \times NALL$$

n) Cálculo da vazão total do sistema

$$Q = Ql \times NLLF$$

o) Dimensionamento econômico da linha lateral

p) Dimensionamento econômico das linhas secundárias e principal

q) Dimensionamento do conjunto motobomba

Exemplo

12- Deseja-se dimensionar com sistema de irrigação por aspersão para as seguintes condições:

a) Fatores devido ao clima

Local: Bebedouro - Petrolina; Latitude: 09° 09' Sul.

QUADRO 7. Dados climáticos da estação meteorológica de Bebedouro

MESES	UMID. RELAT. %	EVAP. mm/dia	PREC. mm	VENTO a 2m. m/s
JAN.	63	7,13	70,8	1,94
FEV.	67	6,12	101,7	1,65
MAR.	69	6,04	131,5	1,62
ABR.	70	5,85	104,6	1,53
MAI.	67	5,71	18,2	1,76
JUN.	65	5,75	10,4	2,14
JUL.	57	6,16	7,7	2,46
AGO.	56	7,79	4,7	2,55
SET.	52	9,13	5,9	2,71
OUT.	50	9,51	10,3	2,41
NOV.	54	8,70	50,4	1,89
DEZ.	59	7,09	78,0	1,76

OBS.: Os parâmetros climáticos acima relacionados foram obtidos para um período de 1963 a 1980.

b) Fatores devido ao solo

CC = 12%

PMP = 4,7%

Da = 1,58 g/cm³

VIB = 12 mm/h

Croquis de campo = Figura 5

Altura de Sucção = 2,5 m

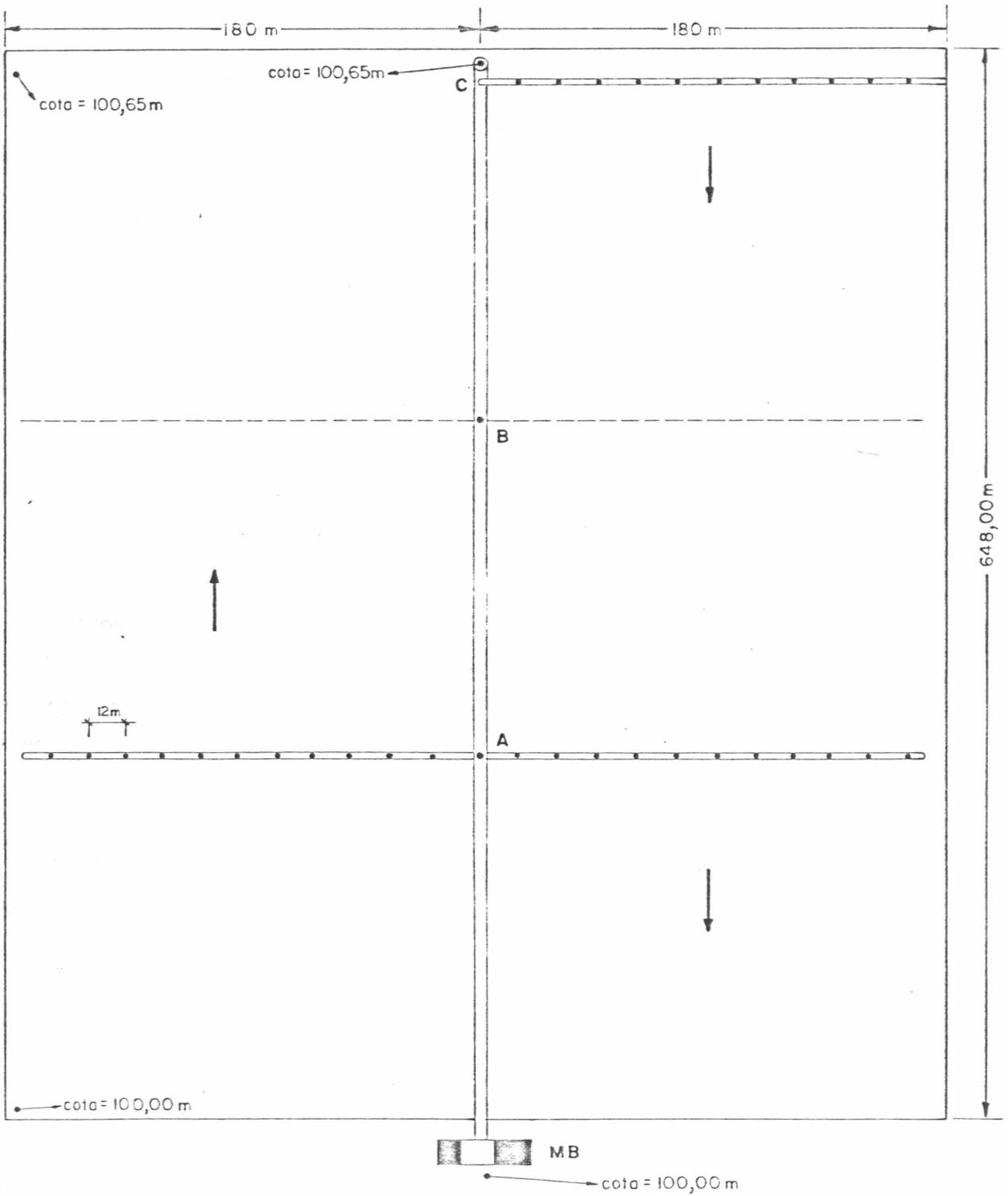


FIG.5. Croquis de campo cotado.

c) Fatores devido a planta

Cultura = tomate

Profundidade da raiz = 40 cm

Nível de aproveitamento de água no solo = 0,50

ET cultivo = ?

Data de plantio = Abril

d) Dados gerais

Horas de trabalho por dia = até 15 hs

Tipo de energia disponível = eletricidade

Vazão disponível para irrigação = sem limitação

Qualidade de água para irrigação = Evitar o uso de água salina

Eficiência de aplicação do sistema = 80%.

e) Procedimento de cálculos

1.e - Cálculo da evapotranspiração de referência (ET_o) pelo método do tanque evaporimétrico

MESES	Et mm/dia	UR %	WV m/s	Kp -	ET _o mm/dia
JAN.	7,13	63	1,94	0,80	5,70
FEV.	6,12	67	1,66	0,80	4,90
MAR.	6,04	69	1,62	0,80	4,83
ABR.	5,85	70	1,53	0,80	4,68
MAI.	5,71	67	1,76	0,80	4,57
JUN.	5,75	65	2,14	0,75	4,31
JUL.	6,16	57	2,46	0,75	4,62
AGO.	7,79	56	2,55	0,75	5,84
SET.	9,13	52	2,71	0,75	6,85
OUT.	9,51	50	2,41	0,75	7,13
NOV.	8,70	54	1,89	0,80	6,96
DEZ.	7,09	59	1,76	0,80	5,67

Obtenção dos dados

Et = Evaporação do tanque Classe A - Est. Meteorol.

UR = Umidade relativa média - " "

Vv = Velocidade média do vento - " "

ETo = Evapotranspiração - $ETo = Kp \times Et$.

2.e - Cálculo da ET cultivo mensal e pico para cultura do tomate industrial.

MESES	ETo mm/dia	Kc.	ET cultivo mm/dia
ABR.	4,68	0,50	2,34
MAI.	4,57	0,77	3,52
JUN.	4,31	1,05	4,53*
JUL.	4,62	0,60	2,78

* ET cultivo máximo durante o período de cultivo (abril - julho)

OBS:. Os valores de Kc são obtidos do quadro 2 para as fases de frutificação (3) e maturação (4). Os valores para as fases (1) e (2), em termos de projeto são dispensados.

3.e - Cálculo da disponibilidade total da água

$$DTA = 10 \frac{CC-PMP}{100} \times Da = 10 \frac{12,2 - 4,7}{100} \times 1,58 = 1,17 \text{ mm de água/cm de solo.}$$

4.e - Cálculo da disponibilidade real de água

$$DRA = K. DTA = 0,50 \times 1,17 = 0,58 \text{ mm de água/cm de solo}$$

5.e - Cálculo da quantidade real necessária de água

$$QRN = DRA \times H = 0,58 \times 40 = 23,4 \text{ mm}$$

6.e - Cálculo da quantidade total necessária de água

$$Q_{TN} = Q_{RN} \cdot \frac{1}{E_i} = 23,4 \cdot \frac{1}{0,8} = 30 \text{ mm}$$

7.e - Turno de rega

$$TR = \frac{Q_{RN}}{ET_c} = \frac{30}{4,53} = 6,6 = 7 \text{ dias}^*$$

*condiciona PI = 6 dias

8.e - Seleção do aspersor

Tem-se que selecionar um aspersor cuja intensidade de aplicação (I_a) seja inferior ou igual a VIB que é de 12 mm/h.

Tem-se que considerar também o tipo de cultura a ser explorada. Pois no caso do tomate, o uso de aspersores que produzam gotas relativamente grandes, podem derrubar as flores.

Dados técnicos do aspersor selecionado

Modelo ZED - 30

Bacal = 4,5 mm x 4,8 mm

alcance = 14 m

Pressão de serviço = 2 atm.

vazão = 2,33 m³/h

Espaçamento = 12m x 18m

Intensidade de aplicação = 10,78 mm/h

9.e - Cálculo do tempo de funcionamento por posição

$$TPP = \frac{Q_{TR}}{I_a} = \frac{30}{10,78} = 2,78 \text{ h}$$

10.e - Cálculo do número total de posições

$$NTP = \frac{\text{comp. da linha principal}}{\text{maior esp. entre aspers.}} \times 2 = \frac{648}{18} = 72 \text{ posições}$$

11.e - Cálculo do número de posições por dia

$$NPD = \frac{h}{TPP} = \frac{15}{2,78} = 5,39 \approx 5 \text{ posições/dia}$$

12.e - Cálculo do número de linhas laterais em funcionamento simultâneo

$$NLLF = \frac{NTP}{NPD \times PI} = \frac{72}{5 \times 6} = 2,40 \approx 3 \text{ linhas laterais}$$

13.e - Cálculo do número de aspersores por linha lateral

$$NALL = \frac{\text{Comp. da linha lateral}}{\text{menor espaç. entre asp.}} + 1 = \frac{180}{12} = 16 \text{ aspersores}$$

14.e - Cálculo do número total de aspersores

$$NTA = NALL \times NLLF = 16 \times 3 = 48 \text{ aspersores}$$

15.e - Cálculo da vazão de cada linha lateral

$$Q1 = q_a \times NAL = 2,33 \times 16 = 37,28 \text{ m}^3/\text{h}$$

16.e - Cálculo da vazão total do conjunto motobomba

$$Q = Q1 \times NLLF = 37,28 \times 3 = 111,84 \text{ m}^3/\text{h}$$

17.e - Dimensionamento da linha lateral

Perda de carga permitida na linha lateral:

$$\Delta P_s \leq 20\% P_s = 0,20 \times 20 = 4 \text{ m}$$

Para 16 aspersores por lateral $F = 0,365$ (ver Quadro 4)

Assim, a perda de carga permitida na linha lateral é dado por:

$$hf = \frac{\Delta P_s}{F} = \frac{4}{0,365} = 10,96 \text{ m ca}$$

Seleção dos diâmetros da Tubulação:

Com o valor da vazão da linha lateral ($37,28 \text{ m}^3/\text{h}$), entra-se na abscissa da Figura 2. Por este ponto faz-se passar uma linha vertical, que tende a cortar as curvas de perda de pressão graficada para cada tipo de tubo. Daí, deve-se selecionar a curva de perda de pressão, cuja interseção com a linha projetada ver

ticamente, não ultrapassem a curva correspondente a 2 m/s (velocidade de água na tubulação). Desse modo, para uma vazão de $37,28 \text{ m}^3/\text{h}$, condiciona a escolha de uma tubulação de alumínio com diâmetro de 4", cuja perda de carga é igual a 2.5 m/100m e cuja velocidade da água na tubulação pe inferior a 2 m/s. Assim, a perda de carga total na linha lateral é dado por:

$$hf = J.L = \frac{2,5}{100} \times 174 = 4,35 \text{ m.}$$

Como a perda pressão permitida (10,96 m) é maior do que a perda de pressão calculada (4,35 m), a tubulação poderá ter dois diâmetros.

Passos para o dimensionamento da linha lateral com dois diâmetros

- 1º) - Desse modo a tubulação terá um trecho com diâmetro de 4" e outro trecho com diâmetro de 3".
- 2º) - O comprimento de cada trecho é função da perda de pressão permitida. Devem-se fazer várias tentativas até que seja encontrada a condição mais adequada.
- 3º) - Determina-se a perda de pressão (hf_1) no trecho de menor diâmetro (Fig. 3)

Como primeira tentativa vamos assumir que $L_1 = 156 \text{ m}$, o que corresponde a 13 aspersores ($156 : 12 + 1$) e conseqüentemente a uma vazão de $32,62 \text{ m}^3/\text{h}$ ($14 \times 2,33 = 32,62 \text{ m}^3/\text{h}$). Toma-se um ponto na abscissa da Figura 2, corresponde a $32,62 \text{ m}^3/\text{h}$, e deste projeta-se uma linha verticalmente até encontrar a curva de 3". Em seguida, faz-se a leitura da ordenada desse ponto de interseção, obtendo-se a perda de pressão em 100 m de tubulação de 3" ($J_1 = 6,3 \text{ m}/100 \text{ m}$). Como o comprimento do trecho assumido é 156 m, tem-se:

$$hj_1 = J_1 \times L, = \frac{6,3\text{m}}{100\text{m}} \times 156 = 9,83 \text{ m}$$

- 4º) - Determina-se a perda de pressão como se toda linha fosse de maior diâmetro. Toma-se um ponto na abscissa da Figura 2, correspondente a vazão da linha lateral ($37,28 \text{ m}^3/\text{h}$), e deste projeta-se uma linha vertical até interseptar a curva para 4", lendo-se em seguida a ordenada correspondente, cujo valor repre-

senta a perda de carga em 100 m de tubulação de 4" ($J_2 = 2,5 \text{ m}/100\text{m}$). Como o comprimento da linha lateral é de 174 m, tem-se:

$$hf_2 = J_2 \times L = 2,5 \text{ m}/100 \text{ m} \times 174 \text{ m} = 4,35 \text{ m}$$

5º) - Determina-se a perda de pressão no trecho de menor diâmetro, porém usando o maior diâmetro (Figura 2 e 3).

Procede-se do mesmo modo do 3º passo, porém usando a curva de 4". Desse modo, para $32,62 \text{ m}^3/\text{h}$ e tubos de 4" de diâmetro, obtém-se:

$$J_3 = 1,7 \text{ m}/100 \text{ m}$$

Daí, tem-se:

$$hf_3 = j_3 \cdot L, = \frac{1,7\text{m}}{100\text{m}} \times 156\text{m} = 2,65 \text{ m}$$

6º) - Determina-se a perda de pressão ao longo de toda tubulação

$$hf = hf_1 + hf_2 - hf_3 = 9,83 + 4,35 - 2,65 = 11,53 \text{ m}$$

7º) - Verifica-se que a perda de pressão calculada (11,53m) é bastante superior ao valor permitido (10,96m). Diante disso, deve-se fazer uma nova tentativa reduzindo o comprimento do trecho de menor diâmetro de 156 para 144m. Repetindo-se os mesmos procedimentos realizados do 3º ao 6º passos, tem-se:

$$hf_1 = j_1 \times L_1 = \frac{8,35 \text{ m}}{100 \text{ m}} \times 144 \text{ m} = 8,35 \text{ m}$$

$$hf_2 = j_2 \times L = \frac{2,5\text{m}}{100\text{m}} \times 174 \text{ m} = 4,35 \text{ m}$$

$$hf_3 = j_3 \times L_1 = \frac{1,6\text{m}}{100\text{m}} \times 144 \text{ m} = 2,30 \text{ m}$$

$$hf_c = hf_1 + hf_2 - hf_3 = 8,35 + 4,35 - 2,30 = 10,40 \text{ m}.$$

Portanto, verifica-se que a nova perda de pressão calculada (10,40m) é ligeiramente inferior ao valor permitido (10,96m).

Então aceita-se as condições impostas na segunda tentativa, ou seja, a tubulação de alumínio terá 30m com tubos de 4" de diâmetro e 144m com tubos de 3" de diâmetro.

18.e - Dimensionamento da linha principal

O dimensionamento da linha principal é função do limite de perda de carga ao longo da linha.

1º) - Determina-se a pressão necessária no início da linha lateral

$$P_i = P_s + \frac{3}{4} hf_c + h_a = 20 + \frac{3}{4} \times 10,40 + 1,00 = 28,80 \text{ m.}$$

2º) - Determina-se a perda de carga permissível ao longo da linha principal.

$$\Delta P = 0,15 P_i = 0,15 \times 28,80 = 4,32 \text{ m.}$$

3º) - Da perda de pressão permissível (4,32m), deve-se subtrair o valor do desnível entre os extremos da linha principal (ver croquis de campo). Como a declividade média da área é de 0,10%, tem-se que o desnível total entre esses pontos extremos, é dado por:

$$D = S \times L = \frac{0,10}{100} \times 648 \text{ m} = 0,65 \text{ m}$$

Assim, a perda de pressão real permissível será dado por:

$$h_{fr} = hf - D = 4,32 - 0,65 = 3,67 \text{ m.}$$

4º) - De acordo com a distribuição para a linha principal e ramais (ver Figura 5), podem-se verificar que os ramais se deslocarão simultaneamente ao longo da linha principal, proporcionando duas condições extremos: A) Quando os ramais encontram-se nos extremos da linha principal; B) quando ambos os ramais encontram-se na parte central da linha principal. De um modo geral, a condição "B" é a que se apresenta mais crítica, sendo portanto, utilizada para o dimensionamento da linha principal. Neste caso, a vazão do trecho MB-A será $74,56 \text{ m}^3/\text{ha}$ e no trecho A-B $37,28 \text{ m}^3/\text{h}$.

5º) - Para determinar-se o diâmetro econômico, procede-se do seguinte modo:

Toma-se dois pontos na abscissa da Figura 2 correspondente a 37,28; 74,56 e 111,84 m³/h, e destes projetam-se linhas verticais, interseccionando as curvas de perdas de pressão para diversos diâmetros. Em seguida, procura-se arranjar os diâmetros de modo que as somas das perdas de pressão em ambos os trechos não ultrapassem a perda permissível.

1ª Tentativa: Se arranjarmos os diâmetros de 4, 5 e 6 polegadas, teremos:

$$hf_{B-C} = \frac{2,3m}{100m} \times 216m = 4,97m$$

$$hf_{B-A} = \frac{2,8m}{100m} \times 216m = 6,05m$$

$$hf_{MB-A} = \frac{2,0m}{100m} \times 216m = 4,32m$$

$$hf = hf_{MB-A} + hf_{A-B} + hf_{B-C} = 4,97 + 6,05 + 4,32 = 15,34m$$

Verifica-se a perda de pressão calculada para este arranjo está muito acima do limite admissível. Portanto, teremos que aumentar os diâmetros, para reduzir as perdas por atrito.

2ª Tentativa: Se arranjarmos os diâmetros de 5, 6 e 7 polegadas, teremos:

$$hf_{B-C} = \frac{0,73m}{100m} \times 216m = 1,58m$$

$$hf_{A-B} = \frac{0,95m}{100m} \times 216m = 2,05m$$

$$hf_{MB-A} = \frac{1,00}{100} \times 216m = 2,16m$$

$$hf = hf_{B-C} + hf_{A-B} + hf_{MB-C} = 1,58 + 2,05 + 2,16 = 5,79m.$$

Verifica-se que este valor ainda apresenta-se bastante superior ao limite permissível. Portanto, deve-se apelar para outra tentativa.

Todo sistema deve-se dar uma capacidade extra de altura manométrica, da ordem de 10 a 20%. Desse modo; a altura manométrica corrigida, será de:

$$H_{mc} = (31,90 + 2,50) \times 1,15 = 40m$$

21.e - Seleção do conjunto motobomba

Toma-se um ponto na abscissa e outro na ordenada da Figura 4, respectivamente a vazão e a altura manométrica total. A interseção de linhas perpendiculares em ambos os pontos, determina a eficiência da bomba, bem como o diâmetro rotor, e conseqüentemente a potência do motor. Esta é a maneira mais correta, pois pode-se determinar o diâmetro do rotor e eficiência da bomba, para as condições dadas.

Assim, para uma vazão de $111,84^3/h$ e 40 de altura manométrica, pode-se constatar pela Figura 4, que a bomba selecionada apresenta as seguintes características: Bomba centrífuga KSB, modelo ETA 80-42/2, com 1740 rpm, rotor com 250 mm de diâmetro acoplado a motor diesel Yanmar, modelo AE-2. No mesmo âbaco, pode-se obter ainda a potência no eixo da bomba, que é de 20 cv. Neste caso a potência do motor é igual a 24 cv.

OBS: Na seleção de bombas deve-se ter o cuidado para não selecionar-se bombas que apresenta eficiência inferior a 60%.

22.e - Relação de material necessário

- 01 - Uma tubulação de sucção de plástico com 5 m de comprimento, 6" de diâmetro e válvula de pê.
- 02 - Um aumento de ferro fundido com flange e vedações de 3 para 6"
- 03 - Uma curva de 90° de ferro fundido com flange e vedações com 6" de diâmetro
- 04 - Uma válvula de retenção com by-pass, flange e vedações para 6" de diâmetro
- 05 - Um registro de ferro fundido com 7" de diâmetro

- 06 - Um aumento de ferro fundido com flange e vedações de 6 para 7"
- 07 - Um nipel com rosca e engate rápido fêmea F 7"
- 08 - 72 tubos de alumínio com engate rápido M F 7"
- 09 - 36 tubos de alumínio com engate rápido M F 6"
- 10 - Uma redução de alumínio com engate rápido de 7 para 6"
- 11 - Um tampão final de alumínio com engate rápido macho com 6" de diâmetro
- 12 - 25 válvulas de derivação com braçadeira e nipel sendo a válvula de 4" e braçadeira de 7"
- 13 - 12 válvulas de derivação com braçadeira e nipel sendo a válvula de 4" e braçadeira de 6"
- 14 - 3 cotovelos de derivação com chave para válvula de 4" F.4"
- 15 - 9 tubos de alumínio com engate rápido de 4" de diâmetro
- 16 - 78 tubos de alumínio com engate rápido de 3" de diâmetro
- 17 - 3 reduções de alumínio com engate rápido de 4 para 3"
- 18 - 3 tampões final de alumínio com engate rápido de 3" de diâmetro
- 19 - 6 engates rápido com braçadeira e pé-de-suporte para aspersores ERAB para tubos de 4"
- 20 - 42 engates rápido com braçadeira e pé-de-suporte para aspersores tipo ERAB para tubos de 3"
- 21 - 48 tubos de subida com rosca externa, com tripê com 1 m de comprimento e 1" de diâmetro
- 22 - 48 aspersores modelo ZED-30, com bocais de 4,5 mm x 4,8 mm
- 23 - 20 borrachas de vedação para tubos de alumínio com engate rápido de 4" de diâmetro
- 24 - 100 borrachas de vedação para tubos de alumínio com engate rápido de 3" de diâmetro

- 25 - 100 borrachas de vedação para tubos de alumínio com engate rápido de 7" de diâmetro
- 26 - 50 borrachas de vedação para tubos de alumínio com engate rápido de 6" de diâmetro
- 27 - 2 manômetros, sendo um para bomba e outro para aspersores de 10 atm
- 28 - Uma ventosa e uma válvula anti-ariete
- 29 - Conjunto motobomba composto por uma bomba centrífuga KSB, modelo ETA 80-40/2, com 1740 rpm, rotor com 250 mm de \emptyset acoplado a um motor diesel Yanmar, modelo AE-2.

II- Manejo e Avaliação de um Sistema de Irrigação por Aspersão

Após a instalação de um sistema de irrigação por aspersão, devem-se realizar testes de campo, para conhecer o desempenho dos equipamentos, bem como a distribuição e lâmina de água aplicada, numa dada condição média de funcionamento, visando o ajustamento do sistema de irrigação para um manejo mais eficiente.

1- Fatores que influem no funcionamento dos aspersores

Dentre os fatores que podem afetar o desempenho de um sistema de irrigação por aspersor, podem se destacar os seguintes:

a) Bocal - O perfil de distribuição da água no solo varia em função das dimensões e formatos dos locais. Os aspersores de baixa e média pressões podem apresentar-se com um ou dois bocais, o que proporciona um modelo de distribuição triangular de água, sob condições de pressão ótima e vento calmo.

b) Pressão - A vazão do aspersor é função da secção reta do bocal e da pressão de serviço. Assim, cada modelo de aspersor deve funcionar dentro dos intervalos de pressão especificados pelo fabricante, para assegurar uma ótima distribuição e tamanho de gota de água. Uma pressão excessiva acarretará uma redução da vida útil dos aspersores, excessiva pulverização do jato d'água, redução do alcance e uma elevada intensidade de aplicação nas imediações do aspersor. Por outro lado, baixa pressão implicará numa divisão inadequada do jato d'água e conseqüentemente numa desuniformidade de distribuição, proporcionando uma maior intensidade de aplicação de água na extremidade da área molhada. O alcance do aspersor aumenta com o incremento da pressão até um ponto ótimo, quando então passa a decrescer. Figura 6.

A diferença de pressão entre o primeiro e o último aspersor de uma linha lateral, não deve ultrapassar 20%, para que a diferença de vazão entre esses aspersores, não seja maior que 10%. Essa diferença de pressão é função do diâmetro da tubulação lateral, vazão dos aspersores, número de aspersores por li

nha lateral e topografia do terreno.

A combinação correta entre pressão e diâmetro do bocal do aspersor, resultará numa distribuição de água uniforme, proporcionando um tamanho adequado das gotas de água, em relação ao tipo de solo, cultura e alcance do jato de água. Quando as gotas de água são maiores que 4 mm de diâmetro tende a prejudicar as folhas das plantas delicadas e formar incrustações na superfície dos solos. A compactação da camada superficial do solo pela irrigação, é um fator de extrema importância para as culturas de bulbos, como a cebola, alho, etc.. A compactação prejudica sensivelmente a produtividade e formato dos bulbos, tornando-se alongados e de baixa aceitação comercial.

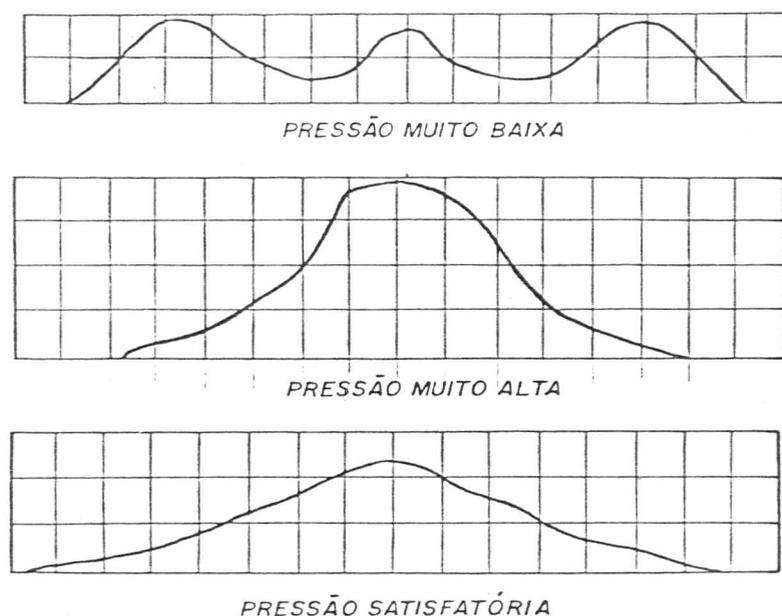


Figura 6 - VARIAÇÃO NA DISTRIBUIÇÃO DA ÁGUA DO ASPERSOR COM A PRESSÃO.

c) Superposição e espaçamento dos aspersores - O movimento angular dos aspersores, condiciona uma distribuição de água sob um modelo circular. Como a distribuição de água no sentido radial é triangular, torna-se necessário que haja superposição dos círculos molhados, para que se obtenha uma distribuição

uniforme da lâmina de água entre os aspersores. O espaçamento demasiado entre aspersores implicará na ocorrência de áreas secas, que normalmente se localizam nas áreas sob condições de superposição deficiente, Figura 7. A deficiência de umidade nessas áreas secas, tenderá a aumentar com o desenvolvimento vegetativo das plantas, principalmente para as culturas sensíveis ao déficit de água no solo.

Assim, o espaçamento entre aspersores deve ser de 60 a 65% do diâmetro molhado do mesmo aspersor, sob as condições de vento fraco, para que se tenha uma boa uniformidade de distribuição, Figura 8. No caso de vento mais forte, a distância entre aspersores deve ser menor. Esse espaçamento deve ser determinado em ensaio de campo, sob diferentes condições de pressão e vento, pelo teste de uniformidade de distribuição de água.

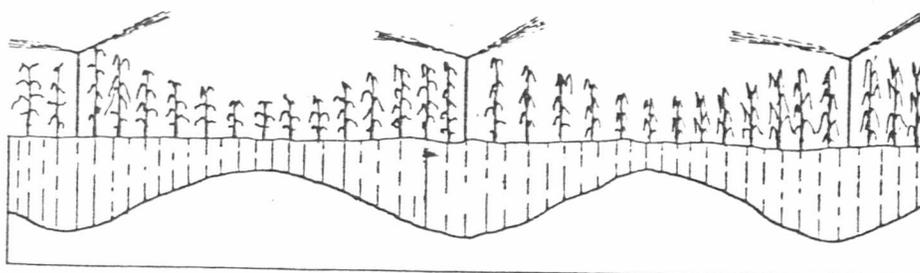


Figura 7 - ESPAÇAMENTO EXAGERADO DETERMINA UMA DEFICIENTE UNIFORMIDADE DE APLICAÇÃO

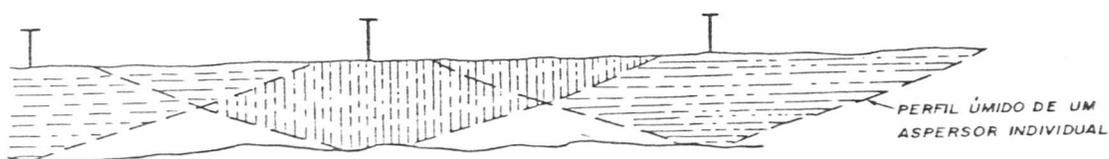


Figura 8 - APLICAÇÃO ACUMULADA COMO RESULTADO DE UMA CORRETA SUPERPOSIÇÃO.

d) Vento - É um dos elementos que tem grande influência para o método de

irrigação por aspersão. Pois deforma o alcance e o modelo de distribuição do aspersor, ocasionando a formação de áreas super-umedecidas e de áreas secas. As áreas com excesso de umidade poderão acarretar problemas devido a ocorrência de doenças, enquanto as áreas secas implicarão no déficit de umidade. Ambas as situações podem condicionar a redução da produtividade e da qualidade dos cultivos.

No planejamento de um sistema deve-se levar em consideração a velocidade e direção dos ventos predominantes. No caso de ventos fortes, se obtém uma melhor uniformidade de distribuição, quando se dispõem as linhas laterais num ângulo de 45° , em relação a direção dos ventos predominantes. Às vezes é preferível colocar as laterais perpendicular à direção dos ventos predominantes, porém, é necessário encurtar a distância entre aspersores, para se obter uma melhor distribuição de água, Figura 9.

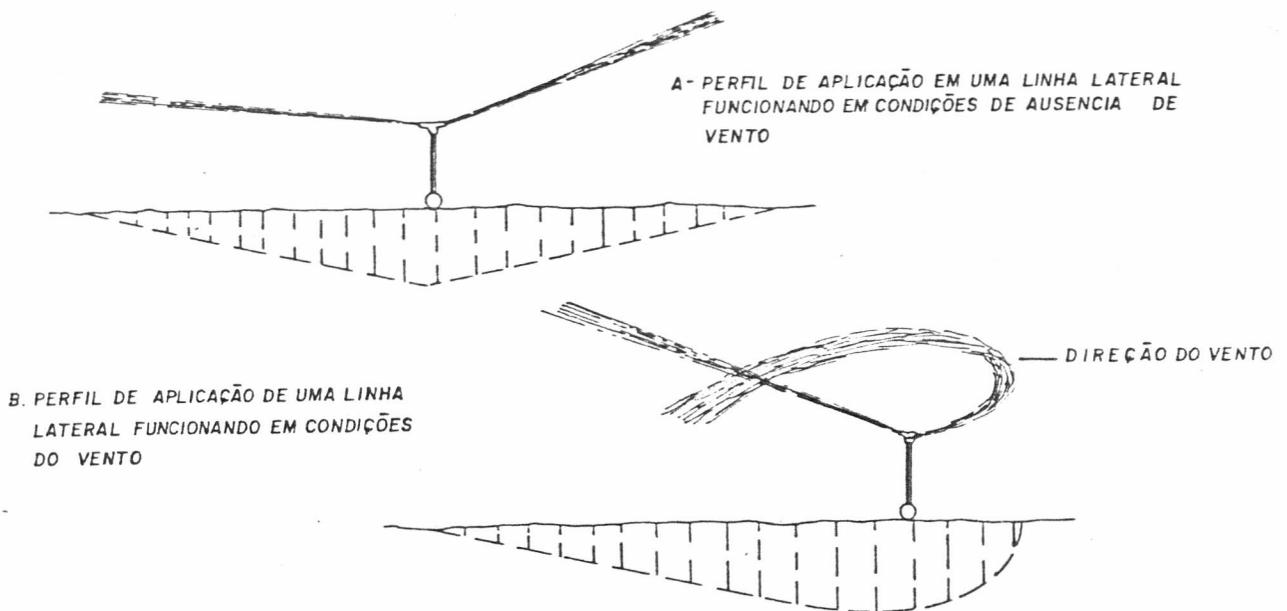


Figura 9 - MODELO DE APLICAÇÃO EM CONDIÇÃO DE VENTO VARIÁVEL.

e) Declividade do solo - Este fator é de suma importância para uma boa uni

formidade de distribuição. Para isto, deve-se colocar as laterais no sentido normal a máxima declividade, de maneira que o primeiro e o último aspersor de uma mesma lateral esteja em nível. Isto é necessário, para que a variação de pressão entre aspersores de uma mesma lateral, esteja dentro do limite de tolerância.

A irrigação por aspersão permite o cultivo dos terrenos inclinados, desde que a intensidade de aplicação dos aspersores seja ajustada com a infiltração do solo e com a declividade do terreno.

f) Rotação dos aspersores - A velocidade de rotação dos aspersores depende do mecanismo de suas peças acessórias e da pressão de serviço. A variabilidade de rotação entre os aspersores de um mesmo campo, trás como consequência a desuniformidade de distribuição de água. Essa variação de velocidade é ocasionada por peças estragadas e em aspersores novos com peças apertadas ou folgadas. O diâmetro da área molhada é inversamente proporcional a velocidade de rotação dos aspersores, e isto implicará na ocorrência de áreas secas, prejudicial ao desenvolvimento das culturas, dependendo do espaçamento adotado entre aspersores.

g) Disposição dos aspersores - Os aspersores podem ser dispostos em espaçamento quadrangular, retangular ou triangular. A última disposição é de uso mais raro devido a dificuldade de manejo que apresenta para a maioria dos agricultores. Nas regiões, onde os ventos são dominantes, deve-se adotar a disposição retangular, com as linhas laterais perpendiculares a direção do vento.

2- Avaliação do sistema de irrigação por aspersão

O coeficiente de uniformidade de distribuição é um processo estatístico, comumente utilizado, para a avaliação do funcionamento de um sistema de irrigação por aspersão, em base a uma série de procedimentos de campo.

Dentre os procedimentos de campo, podemos destacar a escolha da posição de funcionamento da linha lateral, bem como a posição dos aspersores nessa

linha lateral num dado sistema de irrigação. Portanto, deve-se selecionar uma linha lateral instalada numa posição de funcionamento intermediário, enquanto os aspersores selecionados devem está próximo do primeiro 1/3 do comprimento da linha lateral. Devem-se instalar um mínimo de 24 recipientes (latas) numa quadrícula não excedendo a uma malha de 3 m x 3 m. Os recipientes devem está localizada entre 2 aspersores consecutivos de modo a cobrir tãda a área molha da pelos aspersores. A Figura 10, mostra duas disposições distintas dos recipientes em relação aos aspersores de uma linha lateral.

Para se determinar a evaporação durante o teste, deve-se utilizar um recipiente com uma quantidade de água previamente conhecida, e que por medição no final do teste obtêm-se a lâmina de água evaporada. A duração do teste deve variar de 40 a 60 minutos. A coleta de água deve ser feita imediatamente após o desligamento do sistema de bombeamento. Os dados coletados deverão ser convertidos em lâmina de água aplicada. Para isto, divide-se o volume de água coletada nos recipientes pela área desse recipiente.

Os parâmetros para a avaliação do sistema de irrigação por aspersão são os seguintes:

a) Uniformidade de distribuição (UD)

$$UD = \frac{l}{\bar{l}} \times 100$$

em que:

UD = uniformidade de distribuição, em %

l = lâmina mínima coletada, em mm

\bar{l} = lâmina média coletada, em mm

b) Coefficiente de uniformidade (CU)

$$CU = \left(1 - \frac{\sum d}{\bar{l}} \right) \times 100$$

em que:

CU = coeficiente de uniformidade, em %

$\sum d$ = somatório dos desvios em relação a média em valor absoluto, em mm

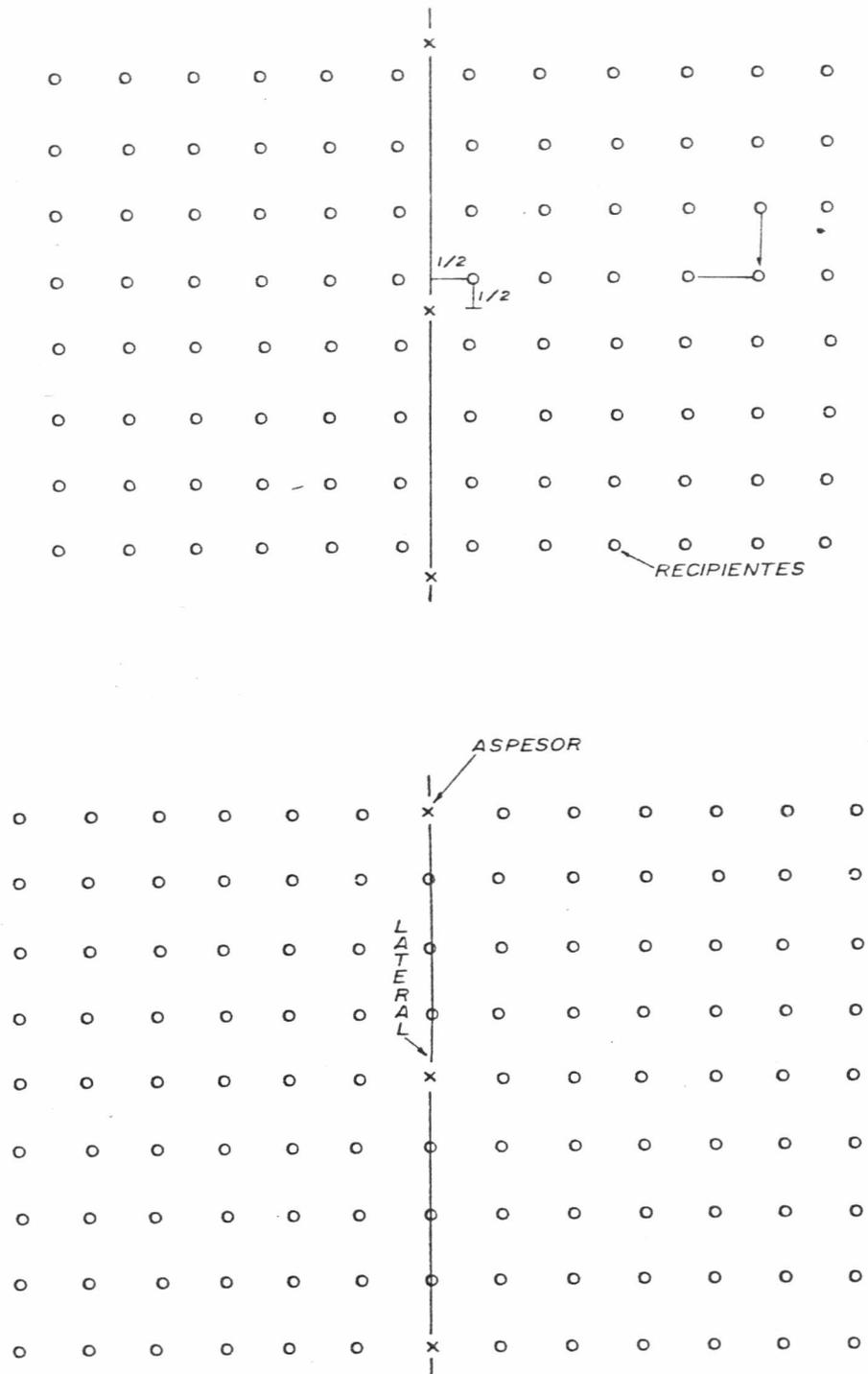


Figura 10 - Disposição dos recipientes para a realização do teste.

c) Eficiência de irrigação (Ei)

$$Ei = \frac{I}{\bar{I}} \times 100$$

em que:

Ei = eficiência de irrigação, em %

\bar{I} = lâmina média aplicada, em mm. Sendo esta obtida da seguinte maneira:

$$\bar{I} = \frac{1000 \times q_a \times t}{A}$$

em que:

q_a = vazão média do aspersor, em m^3/h

t = tempo de funcionamento, em h

A = área entre aspersores, em m^2

3- Teste de campo

O exemplo que apresentamos a seguir foi copiado na íntegra do livro de OLITTA (os métodos de irrigação). Os recipientes foram dispostos entre dois aspersores consecutivos de uma linha lateral simples. O espaçamento entre aspersores foi de 12 m, enquanto os recipientes foram dispostos numa malha de 3 m x 3 m, sendo área de captação dos recipientes de $78,54 \text{ cm}^2$, Figura 11. A duração do teste foi de 60 minutos, tendo os valores sido convertido em mm, antes da sobre posição para um dado espaçamento.

Dados do teste de campo

Local: ESALQ

Data: 25/07/63

Teste: nº 5

Aspersor: Perrot

Modelo: ZAD - 30

Diâmetro do bocal: 3,8 mm x 3,8 mm

Espaçamento entre aspersores: 12 m

Altura da haste: 2 m

Especificação do fabricante: Pressão - 25 m

Vazão: 1,71 m³/h

Vazão média: 1,75; 1,74; 1,75 - média: 1,75 m³/h

Pressão: 25, 25; 25 - média: 25 m

Velocidade do vento: início: 0,5 m/s - durante: 0,4 m/s - final: 0,50 m/s

Direção do vento: início: SE - durante: SE - final: SE

Hora: início: 9:10 - final: 10:10 - duração: 60 min

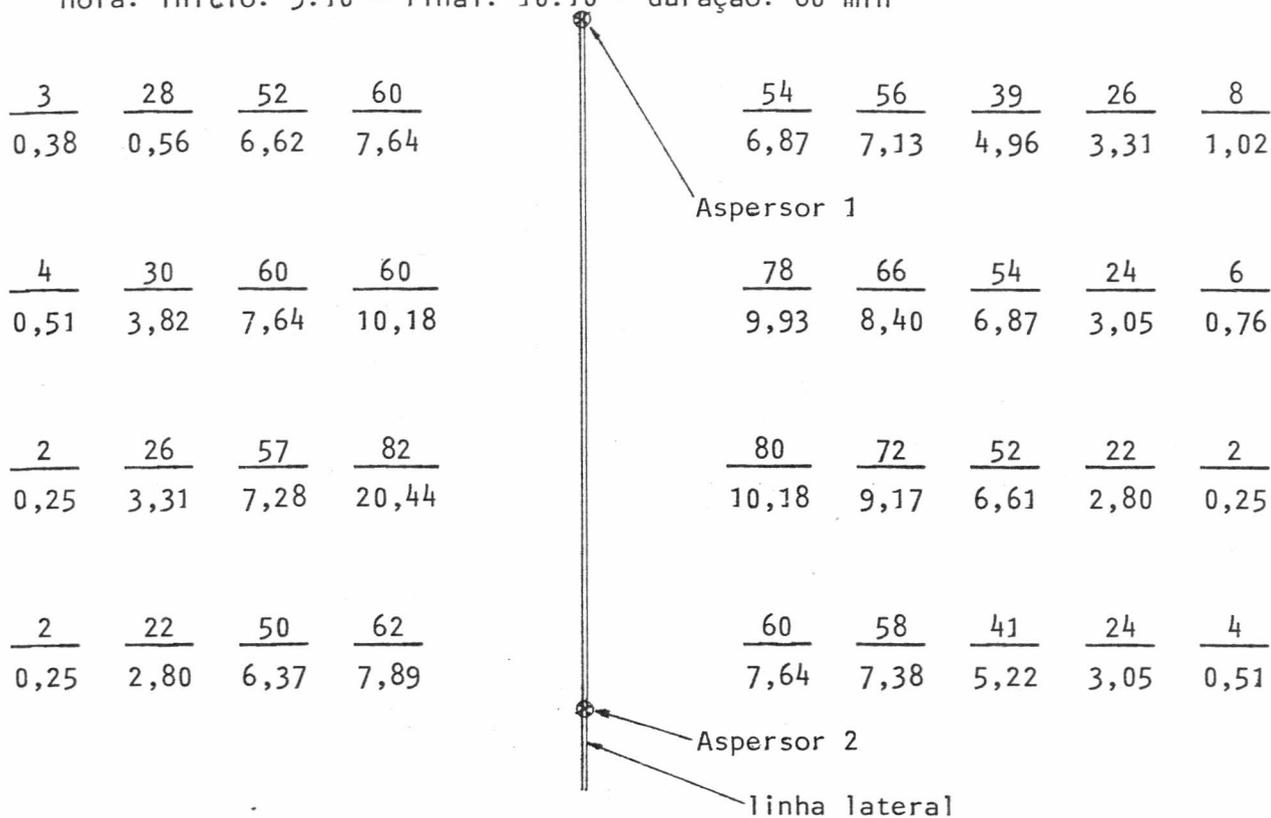


Fig. 11 - Disposição dos recipientes no campo

OBS: Os valores acima do traço são os volumes de água coletado, enquanto os valores abaixo são as respectivas lâminas.

Com os dados obtidos fez a sobreposição para o espaçamento de 12 m 12 m,

conforme figura 12, bem como suas avaliações em função dos parâmetros recomendados.

Asp. 1		Asp. 1	
8,27	10,69	11,58	10,95
3,23	0,81	0,08	0,55
<hr/>	<hr/>	<hr/>	<hr/>
11,50	11,50	11,66	11,50
11,20	12,22	14,51	14,23
0,30	0,72	3,01	1,73
<hr/>	<hr/>	<hr/>	<hr/>
11,50	12,94	17,52	14,96
10,68	12,48	13,88	13,24
0,82	0,98	2,38	1,74
<hr/>	<hr/>	<hr/>	<hr/>
11,50	13,46	16,26	14,98
8,40	10,18	11,59	10,94
3,10	1,32	0,09	0,56
<hr/>	<hr/>	<hr/>	<hr/>
11,50	11,50	11,68	11,50
Asp. 2		Asp. 2	

Fig. 12 - Sobreposição dos dados do teste de campo para o espaçamento de 12 m x 12 m.

1) Cálculo da UD

$$\bar{l} = \frac{8,27 + 8,40 + 10,18 + 10,68}{4} = 9,38 \text{ mm}$$

$$\bar{l} = \frac{8,27 + 10,69 + \dots + 10,14}{4} = 11,50 \text{ mm}$$

$$UD = \frac{\bar{l}}{\bar{l}} \times 100 = \frac{9,38}{11,50} \times 100 = 81,6\%$$

2) Cálculo do CU

$$\text{Desvio m\~{e}d.} = \frac{\sum d}{n} = \frac{3,23 + 0,81 + \dots + 0,56}{16} = 1,34 \text{ mm}$$

$$\text{CU} = \left(1 - \frac{\text{desvio m\~{e}d.}}{\bar{l}}\right) \times 100 = \left(1 - \frac{1,34}{11,50}\right) \times 100$$

3) Cálculo da Ei

$$\bar{l} = \frac{1000 \times q_a \times t}{A} = \frac{1000 \times 1,75 \times 1}{144} = 12,15$$

$$\text{Ei} = \frac{l}{\bar{l}} \times 100 = \frac{9,38}{12,15} \times 100 = 77,2\%$$

Quadro resumo

Parâmetros	Espaçamento em m			
	12 x 12	12 x 18	12 x 24	12 x 24 altern.
UD	81,6	79,3	34,0	81,4
CU	88,3	85,6	55,1	88,0
Ei	77,2	75,1	32,1	76,8

Análise dos resultados

Verificou-se pelo quadro resumo, que os valores dos parâmetros de avaliação do manejo da irrigação, tende a decrescer, a medida que o espaçamento entre aspersores aumenta, proporcionando a obtenção de resultados muito aquém dos limites aceitáveis. Porém, pode-se constatar que os piores resultados obtidos para o espaçamento de 12 m x 24 m, por exemplo, podem ser bastante melhorados, quando se utiliza a alternância da posição dos aspersores na linha lateral, entre duas irrigações consecutivas.

Para atingir altos valores de uniformidade, usualmente é requerido um menor espaçamento entre aspersores. Mas em geral, quanto menor é o espaçamento entre aspersores mais elevado serão os custos de investimento e de manejo do sistema de irrigação.

Alguns autores recomendam, que para culturas de alto rendimento econômico, com sistema radicular raso, exigem sistema de aspersão que apresenta altas eficiências, ou seja, UD acima de 80% (CU acima de 88%). Para culturas com sistema radicular médio, a uniformidade econômica varia entre 70 e 80% (CU entre 82 a 88%). No caso de culturas com sistema radicular profundo, a uniformidade mais econômica pode variar de 50 a 70% (CU entre 70 e 82%). ().

III LITERATURA CONSULTADA

- BERNARDO, S. Manual de irrigação. Viçosa, Imprensa Universitária da UFV, 1982. 463 p. il
- CATÃO, A.J.C. Evaluacion del metodo de riego por aspersion, basado en patrones de aplicacion. Chapingo, México, Escuela Nacional de Agricultura, Colegio de Postgraduados, 1975. 176 il. Tese mestrado.
- DAKER, A. A água na agricultura: manual de hidráulica agrícola; irrigação e drenagem. 4 ed. rev. e ampl. Rio de Janeiro, F. Bastos, 1973. V. 3, 453 p.
- DOORENBOS, J. & PRUITT, W.O. Crop water requirements. Rome, FAO, 1975. 179 p. il. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 24).
- ELJANANI, S. El riego por aspersion (fundamentos). In: CURSO SOBRE UTILIZACION DEL AGUA PARA LA AGRICULTURA EN ZONAS ARIDAS, Herzelia, Israel, 1963/1964. Curso... Herzelia, 1964. p. 1-81.
- OLITTA, A.F.L. Os métodos de irrigação. São Paulo, SP, Nobel, 1977. 267 p. il.