





Guilherme Augusto Biscaro

Sistemas de Irrigação por Aspersão

Editora UFGD
DOURADOS-MS, 2009

Universidade Federal da Grande Dourados

Reitor: Damião Duque de Farias

Vice-Reitor: Wedson Desidério Fernandes

COED

Coordenador Editorial da UFGD: Edvaldo Cesar Moretti

Técnico de Apoio: Givaldo Ramos da Silva Filho

Conselho Editorial da UFGD

Adáuto de Oliveira Souza

Edvaldo Cesar Moretti

Lisandra Pereira Lamoso

Reinaldo dos Santos

Rita de Cássia Pacheco Limberti

Wedson Desidério Fernandes

Fábio Edir dos Santos Costa

Fotos: Prof. Dr. Rogério Peres Soratto (Fotos 33, 35 e foto da capa de trás)

Prof. MSC. Vinícius do Nascimento Lampert (foto 26 e capa)

Eng. Agrônomo Tiago Trevelin Zonta (foto 23)

E demais Fotos e Ilustrações: Prof. Dr. Guilherme Augusto Biscaro

Revisão Gráfica: Jornalista Fabiana Biscaro

(fabianabiscaro@hotmail.com)

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central – UFGD

631.7 B621s	Biscaro, Guilherme Augusto Sistemas de irrigação por aspersão. / Guilherme Augusto Biscaro. – Dourados, MS : Editora da UFGD, 2009. 134p. ISBN 978-85-61228-35-4 1. Irrigação por aspersores. 2. Irrigação agrícola. I. Título.
----------------	--

Direitos reservados à
Editora da Universidade Federal da Grande Dourados
Rua João Rosa Goes, 1761
Vila Progresso – Caixa Postal 322
CEP – 79825-070 Dourados-MS
Fone: (67) 3411-3622
editora@ufgd.edu.br
www.ufgd.edu.br



Prof. Dr. Guilherme Augusto Biscaro
gbiscaro@hotmail.com

*Engenheiro Agrícola (1995) formado na Universidade Federal de Lavras,
UFLA, em Lavras/MG.*

*Mestre (1999) e Doutor (2003) em Agronomia, área de Concentração
em Irrigação e Drenagem pela Faculdade de Ciências Agrônômicas da
Universidade Estadual Paulista, UNESP, campus de Botucatu/SP.*

*Professor Adjunto (2004 a 2008) de Hidráulica, Irrigação e Drenagem e
Agrometeorologia do curso de Agronomia da Universidade Estadual de
Mato Grosso do Sul, UEMS, Unidade Universitária de Cassilândia, UUC,
Cassilândia/MS.*

*Organizador e autor de dois capítulos do livro “Produção de Hortaliças
Irigadas em Pequenas Propriedades Rurais” (ISBN 978-85-60721-01-
6), lançado em 2005.*

*Coordenador do curso de graduação em Agronomia da UEMS, Unidade
Universitária de Cassilândia, de fevereiro de 2006 a março de 2007.*

*Autor do livro “Meteorologia Agrícola Básica”
(ISBN 978-85-60721-00-9), lançado em 2007.*

*Professor Adjunto (desde 2008) de Irrigação e Drenagem dos cursos de
Agronomia, Engenharia Agrícola e Zootecnia da Faculdade de Ciências
Agrárias, FCA, da Universidade Federal da Grande Dourados, UFGD,
Dourados/MS.*



Dedico

*Aos meus filhos Mariana e Gabriel, minha esposa Adriana, meus pais
Benedito e Arlete e meus irmãos Fabiana e Geraldo.*

A minha querida irmã Cássia Salete Biscaro Lazarin (in memorian)

A meu grande amigo Vicente Eugênio de Rosa Júnior (in memorian)

Agradeço

*Sobretudo a Deus e a Nossa
Senhora.*

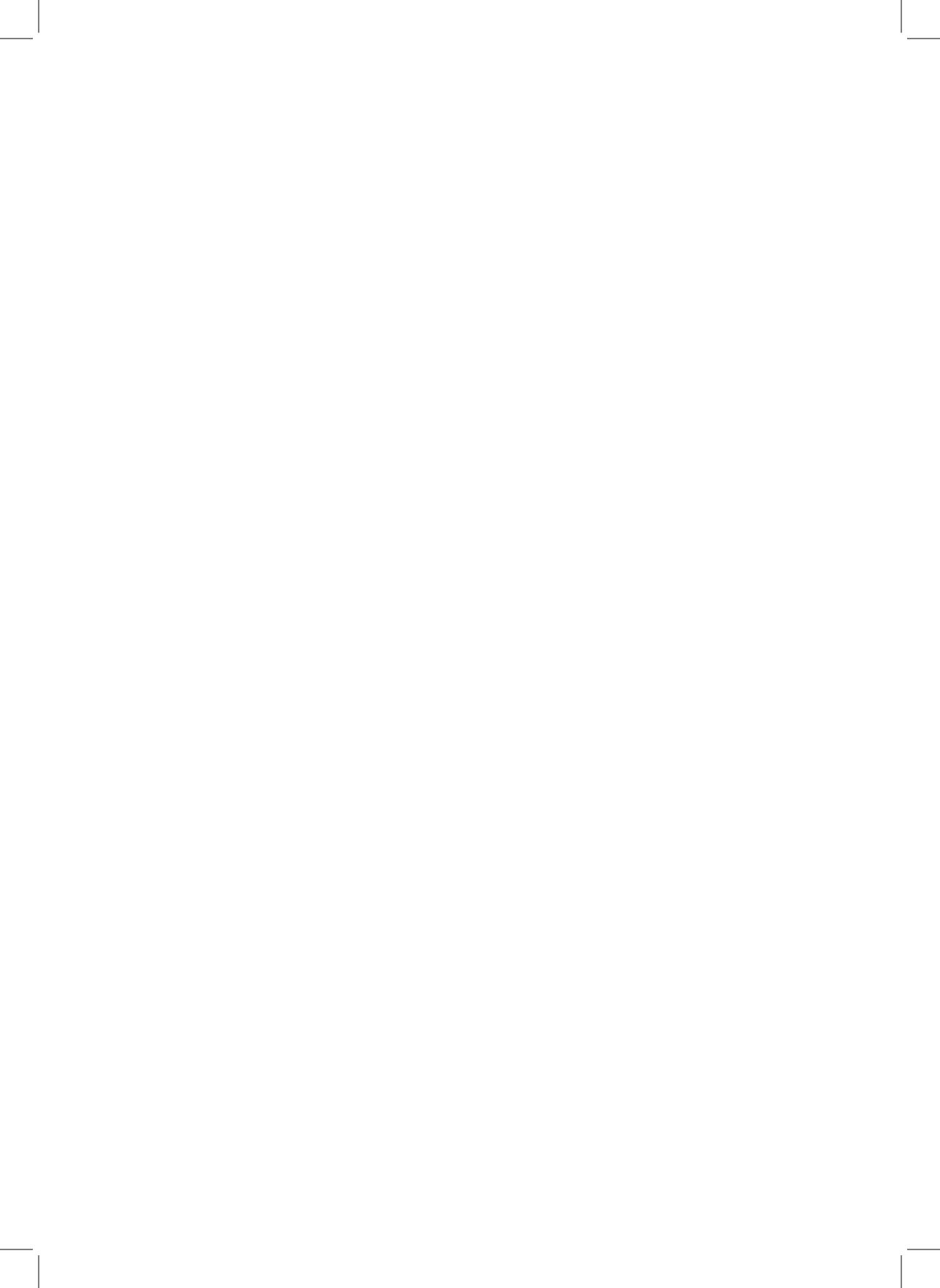
*Aos amigos Docentes e
Discentes.*



SUMÁRIO

1. <i>Aspersão Convencional</i>	15
1.1. <i>Introdução</i>	15
1.2. <i>Vantagens e Desvantagens da Irrigação por Aspersão</i>	16
1.3. <i>Tipos de Sistemas</i>	16
1.4. <i>Componentes de um Sistema de Irrigação por Aspersão</i>	18
1.5. <i>Hidráulica do Sistema de Aspersão Convencional</i>	26
1.6. <i>Linhas Laterais</i>	28
1.7. <i>Linhas de Derivação</i>	36
1.8. <i>Linha Principal e Linha de Recalque</i>	37
1.9. <i>Dimensionamento de Linhas com Dois Diâmetros</i>	38
1.10. <i>Linha de Sucção</i>	40
1.11. <i>Aspectos Gerais do Dimensionamento</i>	41
1.12. <i>Perdas de Água na Aspersão</i>	42
2. <i>Aspersão Mecanizada</i>	45
2.1. <i>Introdução</i>	45
2.2. <i>Linha Lateral Móvel</i>	45
2.3. <i>Pivô Central</i>	46
2.4. <i>Sistema de Autopropelido</i>	56
3. <i>Parâmetros de Projetos de Aspersão</i>	67
3.1. <i>Introdução</i>	67
3.2. <i>A Cultura</i>	67
3.3. <i>O Solo</i>	68
3.4. <i>O Clima</i>	69
3.5. <i>A Topografia da Área</i>	69
3.6. <i>A Fonte de Água</i>	69
3.7. <i>Características Técnicas dos Equipamentos</i>	70

4. Manejo da Irrigação por Aspersão	71
4.1. Introdução	71
4.2. Manejo da Irrigação Através de Tensiômetros	71
4.3. Manejo da Irrigação por Pesagem de Amostras de Solo	76
4.4. Manejo da Irrigação por Evapotranspiração	78
5. Investigações Básicas de Campo	81
5.1. Introdução	81
5.2. Determinação da Vazão de um Curso D'água	81
5.3. Teste de Infiltração de Água no Solo	85
5.4. Ensaio de Uniformidade de Aplicação de Água	94
5.5. Parâmetros de Qualidade da Água para Irrigação	100
6. Conjunto Motobomba	103
6.1. Introdução	103
6.2. Escorva da Bomba	105
6.3. Potência do Conjunto Motobomba	106
6.4. Curvas Características	108
6.5. Cavitação	110
7. Projeto de Irrigação por Aspersão Convencional	113
7.1. Introdução	113
7.2. Levantamento dos Parâmetros Iniciais	113
7.3. Escolha do Aspersor	115
7.4. Disposição Inicial do Sistema	115
7.5. Dimensionamento das Linhas Laterais e Linhas de Derivação ..	117
7.6. Dimensionamento da Linha Principal	121
7.7. Dimensionamento da Linha de Sucção	121
7.8. Dimensionamento do Conjunto Motobomba	122
7.9. Manejo da Irrigação	123
7.10. Opção no Dimensionamento	126
Referências Bibliográficas	129
Nomenclatura das Unidades	131





ASPERSÃO CONVENCIONAL

Capítulo 1

1.1. INTRODUÇÃO

A aplicação de água nos sistemas de irrigação por aspersão se faz pela divisão de um ou mais jatos de água em uma grande quantidade de pequenas gotas no ar, que caem sobre o solo na forma de uma chuva artificial. A passagem de água sob pressão através de orifícios de pequena dimensão é o que causa o fracionamento do jato. Com o auxílio, via de regra, de um sistema de bombeamento, a água percorre um conjunto de tubulações gerando a pressão necessária para acionar os aspersores (Figura 1).



Figura 1. Sistema de irrigação por aspersão.

O aspersor é o mecanismo responsável pela pulverização do jato de água.

1.2. VANTAGENS E DESVANTAGENS DA IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO

Entre as principais vantagens apresentadas por esse método destacam-se a não-exigência de um processo de sistematização do terreno, a disponibilidade de maior área cultivável (ao contrário da irrigação por superfície, não há perda de área), o fato de não possuir restrição quanto ao horário de aplicação e não causar problemas de erosão do solo.

As desvantagens da aspersão são: o elevado custo inicial, a susceptibilidade à interferência de aplicação devido ao vento, as elevadas perdas por evaporação da água diretamente do jato fracionado e a exigência de um sistema de motobomba com elevada potência, dependendo da área a ser irrigada. Também ocorre que, como os sistemas de aspersão molham uma considerável área do terreno, há o favorecimento da ploriferação de ervas daninhas e, devido à força do impacto da gota sobre a superfície solo, o mesmo pode apresentar selamento superficial.

1.3. TIPOS DE SISTEMAS

Dentro do método de irrigação por aspersão, existem o sistema convencional portátil, o sistema convencional permanente e os sistemas mecanizados.

a) Sistema Convencional Portátil

Um sistema portátil de aspersão (Figura 2) é caracterizado pela possibilidade de movimentar o equipamento de um local para o outro, conforme a necessidade de irrigação, quando não há tubulações, acessórios e aspersores em quantidade e extensão suficientes para abranger toda a área irrigada.

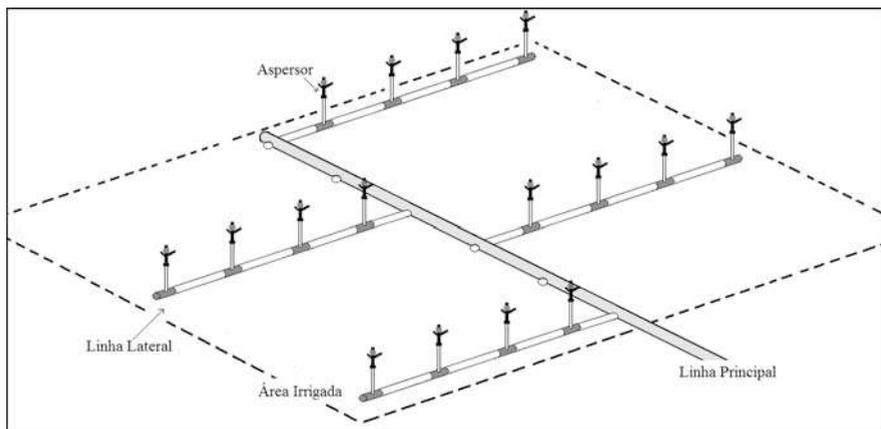


Figura 2. Sistema convencional portátil de irrigação.

Pode ser classificado em totalmente portátil e em semiportátil. No primeiro o sistema é totalmente movido de um local para o outro. No outro, pode-se dispor de uma linha principal enterrada com hidrantes dispostos na superfície em cada ponto de mudança da linha lateral.

Para obter maior uniformidade de aplicação ao longo da linha lateral, a mesma deve ser disposta, quando possível, em nível, de acordo com o terreno. A linha principal deve se encontrar no sentido da declividade, seja em aclave ou em declive.

b) Sistema Convencional Permanente

Diferentemente do sistema portátil, no sistema permanente as tubulações são fixas e não movidas de um local para outro, cobrindo simultaneamente toda a área irrigada (Figura 3). Pode-se dividir esse sistema em totalmente permanente, no qual as canalizações são enterradas e cobrem toda área, e parcialmente permanente, no qual as canalizações são portáteis e cobrem toda a área irrigada.

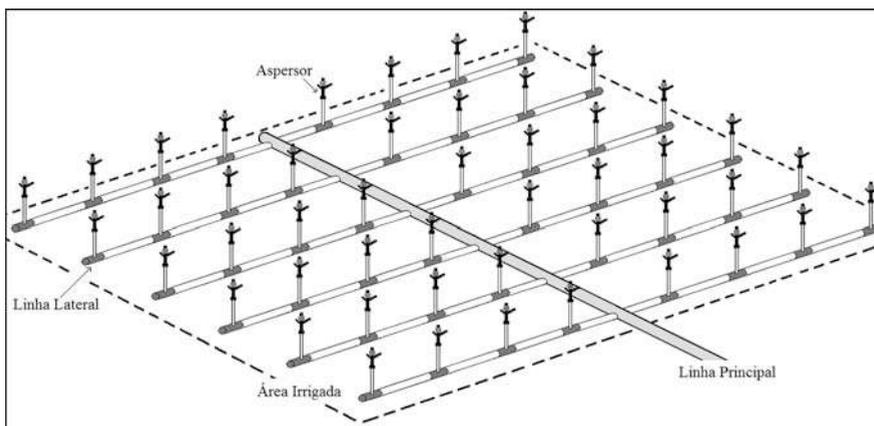


Figura 3. Sistema convencional permanente.

Como não há movimentação de tubulações de um local para outro, teoricamente seria mais fácil irrigar toda a área de uma só vez. Porém, isso acarretaria na demanda de uma grande quantidade de água em um determinado momento, o que pode não ser viável. Outro problema seria a necessidade de tubulações de diâmetro muito elevado, aumentando em demasia o custo do sistema.

Pode-se dividir então a área em parcelas, que serão irrigadas seqüencialmente de maneira a cobrir toda a área ao final do ciclo, para reduzir os diâmetros das tubulações.

1.4. COMPONENTES DE UM SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO

Um sistema de irrigação por aspersão convencional é composto, em geral, por aspersores, acessórios, tubulações (linhas laterais, linhas de derivação, linha principal, linha de recalque e linha de sucção) e conjunto motobomba.

a) Aspersor

O aspersor (Figura 4) é o elemento mecânico de maior importância no sistema de aspersão, sendo responsável pela pulverização do jato d'água.



Figura 4. Aspensor.

Um dos primeiros procedimentos a serem realizados em um projeto de irrigação por aspersão é a escolha do aspensor.

Os aspersores molham uma área circular da superfície do terreno, devendo haver uma sobreposição dessas áreas para se conseguir melhores condições de uniformidade e distribuição de água. Diversos fatores influenciam diretamente o seu funcionamento. Saber identificar e lidar com esses fatores garante o sucesso do sistema de irrigação.

A quantidade de bocais irá influenciar no tamanho da área molhada e na maior uniformidade na distribuição de água no solo.

Classificação dos Aspersores

Existem aspersores de diversos tipos e tamanhos, que podem ser classificados quanto:

- Ao sistema de rotação: podem ser do tipo estacionário ou rotativo. Neste último, o giro pode ser do tipo setorial, que possui regulagem de amplitude de giro (Figura 5), ou completo (360°).

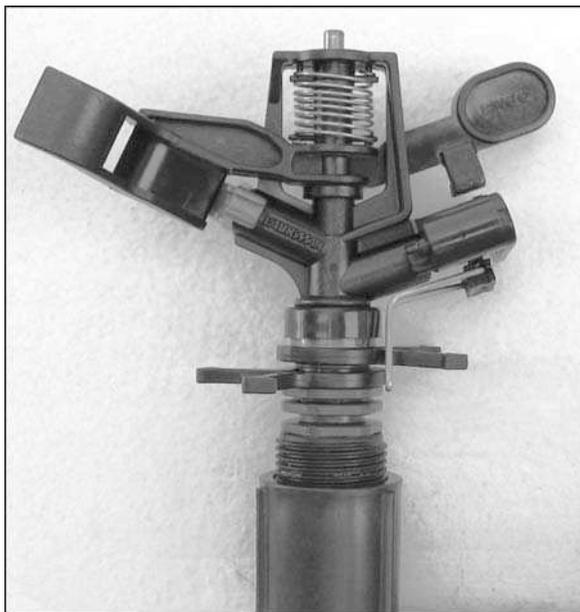


Figura 5. Aspersor setorial.

• Ao ângulo de inclinação do jato: nos de uso mais comum, o ângulo em relação à horizontal é de 30° em média, e nos utilizados na irrigação de pomares, nos quais a aplicação é feita na subcopa, o ângulo varia de 4° a 7° (Figura 6).

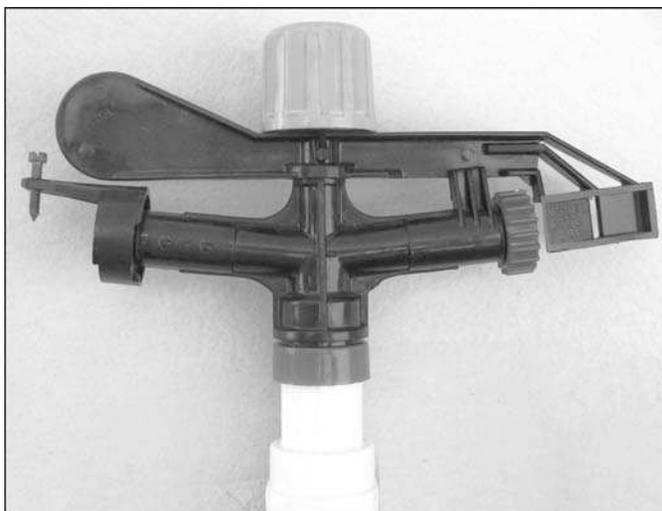


Figura 6. Aspersor utilizado para irrigação de subcopa.

- Ao número de bocais de saída de água: pode variar de um a dois bocais com tamanhos distintos, tendo o maior a função de irrigar a extremidade da área coberta e, o menor, a área mais próxima do aspersor (Figura 7).

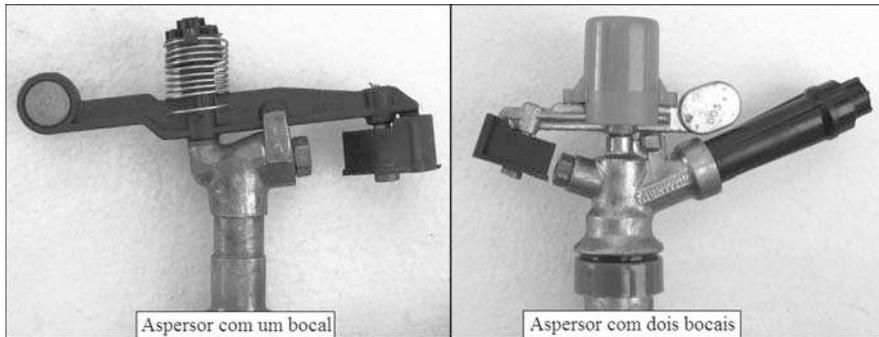


Figura 7. Aspersores com um e dois bocais.

- Ao tipo de movimentação: o aspersor pode girar devido à ação contrária à saída do jato de água, ou pelo impacto causado pelo mesmo em uma peça chamada “palheta”, que funciona em conjunto com uma mola (Figura 8).

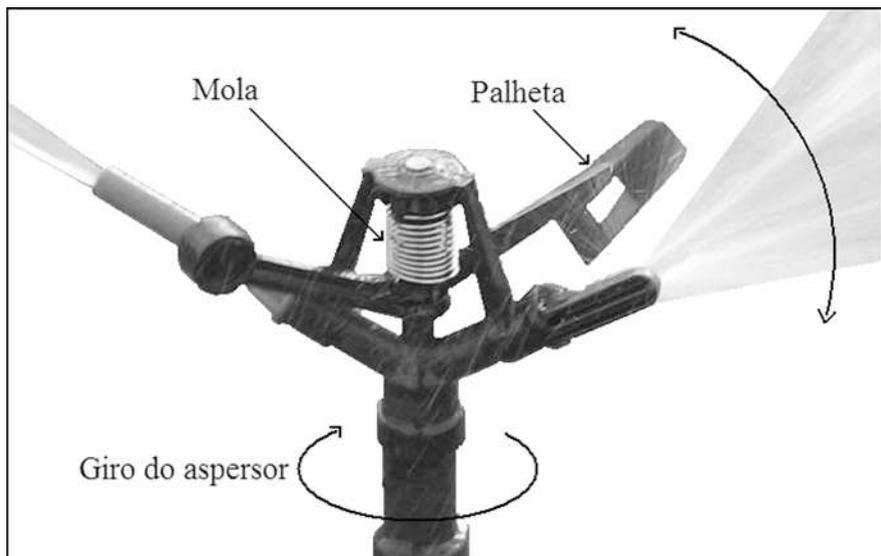


Figura 8. Detalhe da “palheta” que é acionado pelo impacto do jato d’água.

- Ao tamanho: podem ser divididos em microaspersores, aspersores pequenos, aspersores médios, aspersores grandes e canhões hidráulicos.

Seleção do Aspersor

Para realizar a correta seleção de um aspersor é necessário conhecer três fatores importantes: qual sua intensidade de aplicação de água (fornecido no catálogo do fabricante, juntamente com as demais especificações técnicas), qual o espaçamento que terá no campo e qual a velocidade básica de infiltração de água no solo (VIB), determinada em testes de infiltração.

A regra para a escolha é a seguinte: deve-se adotar um aspersor que possua uma intensidade de aplicação de água (que é função do espaçamento entre aspersores) ligeiramente menor do que a VIB do solo. Isso evitará que seja aplicada ao solo uma quantidade de água maior do que ele poderá absorver. Se isso não acontecer, poderão surgir problemas com escoamento superficial (gerando possíveis erosões) e alterações na estrutura superficial do solo.

Preferencialmente deve-se utilizar o maior espaçamento possível entre aspersores aliado a baixas vazões, o que pode promover uma maior redução nos custos com tubulações e demais equipamentos do sistema.

Uniformidade e Eficiência dos Aspersores

A uniformidade e a eficiência da aplicação de água pelos aspersores dependem diretamente da pressão da água a que o mesmo será submetido e do tamanho do(s) seu(s) bocal(is).

A pressão de funcionamento do sistema de irrigação deve ser compatível com a pressão de trabalho do aspersor. Em casos de pressão excessiva, poderão ocorrer danos aos mecanismos do aspersor, além de uma pulverização muito grande do jato de água, o que implicaria numa perda de alcance. Aspersores trabalhando com pressão deficiente não conseguem realizar o correto seccionamento do jato, o que gera gotas de água muito grandes, ocasionando uma deposição excessiva nas extremidades da área molhada. Em ambos os casos ocorrem a desuniformidade e a baixa eficiência de aplicação de água.

Um dos maiores problemas enfrentados em sistemas de irrigação por aspersão é a ação do vento, que compromete a distribuição da água pelo aspersor, causando um fenômeno comumente chamado de deriva. Quanto menor for o tamanho das gotas e maior for a velocidade do vento, maior será a deriva.

Espaçamento entre Aspersores

O espaçamento entre aspersores (Figura 9) deve promover a sobreposição da área molhada pelos mesmos, tanto na própria linha lateral (E1) como entre as linhas laterais (E2), resultando num espaçamento E1 x E2.

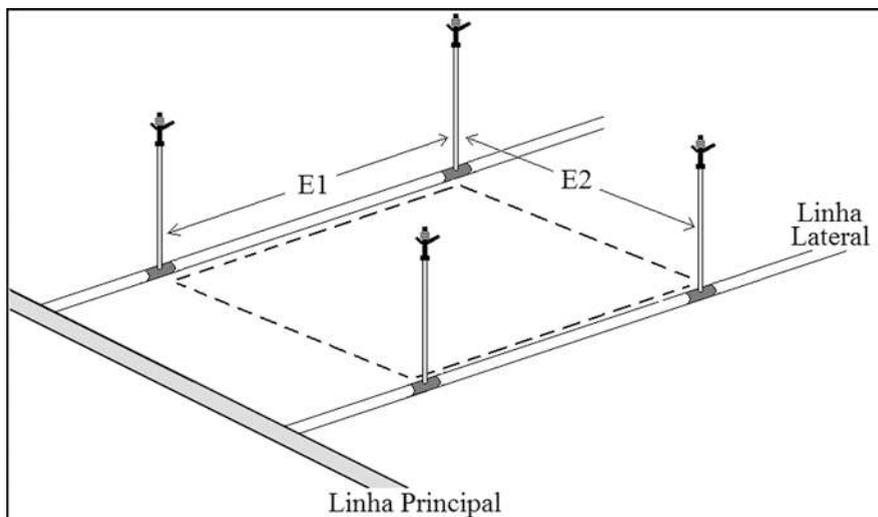


Figura 9. Espaçamento entre aspersores.

Podem-se dispor os aspersores em três formas de espaçamento: quadrado, retangular ou triangular (Figura 10). Os mais usados no Brasil são o espaçamento quadrado e o retangular.

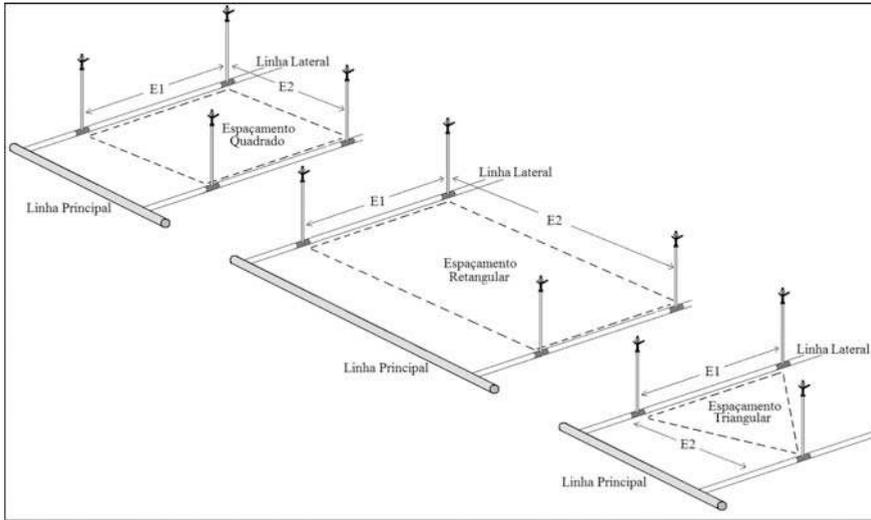


Figura 10. Espaçamento quadrado, retangular e triangular dos aspersores.

b) Tubulações

São responsáveis pela condução da água sob pressão, desde a captação até os aspersores. São compostas por barras de tamanho padrão de 6 m, podendo ser de aço zincado, alumínio ou PVC (Figura 11). As tubulações utilizadas em irrigação devem apresentar resistência à pressão a que são submetidas, possuir sistemas de engate rápido e, sobretudo, serem de fácil transporte (leves).



Figura 11. Tubos de PVC para irrigação. (Fonte: <http://www.tigre.com.br>)

c) Acessórios

Um sistema de aspersão possui uma vasta linha de acessórios (Figura 12) de diversas finalidades, que permitem sua instalação em praticamente qualquer local, independentemente da topografia ou do formato da área. Curvas, derivações, registros, adaptadores e válvulas são alguns dos principais acessórios encontrados em aspersão.



Figura 12. Acessórios para irrigação. (Fonte: <http://www.tigre.com.br>)

d) Conjunto Motobomba

É composto por uma bomba d'água acionada por um motor que pode ser a combustão ou elétrico (Figura 13). Sua função é sugar a água de um recurso hídrico (rio, reservatório, poço, etc.) e fazer o recalque da mesma. Na escolha de um conjunto motobomba, devem-se analisar as condições de potência, vazão e rotação, visando uma operação mais eficiente do mesmo para uma determinada situação de operação.

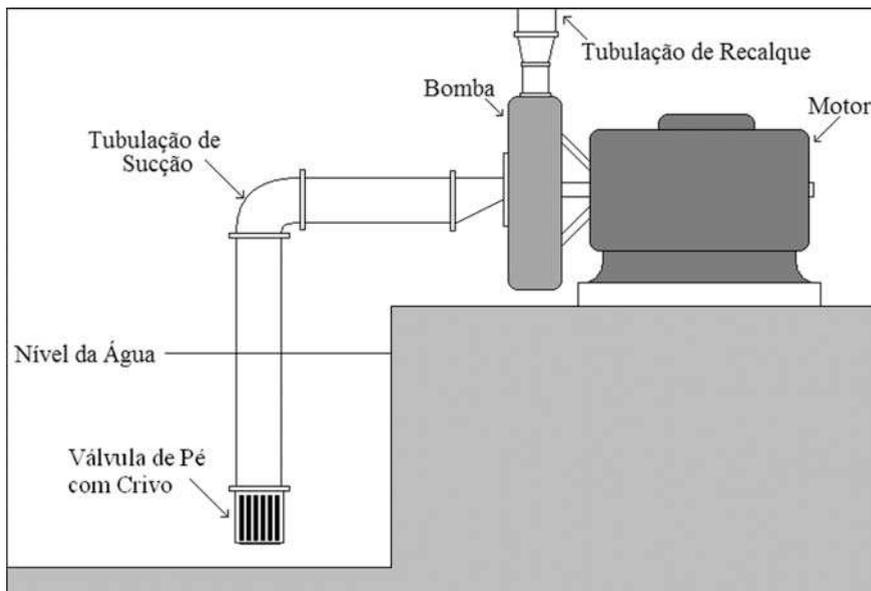


Figura 13. Conjunto motobomba.

1.5. HIDRÁULICA DO SISTEMA DE ASPERSÃO CONVENCIONAL

a) Intensidade de Aplicação de Água

Intensidade de aplicação é a lâmina de água aplicada sobre uma superfície por um determinado tempo; é função do espaçamento e da vazão dos aspersores. A equação utilizada para determinar a intensidade de aplicação é:

$$I = [(q \cdot 3600) \div (E_1 \cdot E_2)] \quad (1)$$

Em que

I = intensidade de aplicação de água do aspersor (mm h^{-1});

q = vazão do aspersor (L s^{-1});

E_1 = espaçamento entre aspersores na mesma linha (m);

E_2 = espaçamento entre linhas de aspersores (m).

b) Eficiência do Aspersor e do Sistema de Irrigação

A eficiência do aspersor e do sistema de aspersão pode variar de 75% a 85%. Seu valor pode ser determinado pela seguinte equação:

$$E_f = (R \div h) \cdot 100 \quad (2)$$

Em que

E_f = eficiência do aspersor (%);

R = raio de cobertura (m);

h = carga hidráulica ou pressão (m).

c) Alcance do Jato de Água

O alcance do jato de água depende do tipo do aspersor. Para os fixos e/ou escamoteáveis (comuns em jardins e em campos de futebol), o alcance do jato é determinado pela equação:

$$R = 1,35 \cdot d^{0,6} \cdot h^{0,4} \quad (3)$$

Em que

R = raio de cobertura do aspersor (m);

d = diâmetro bocal (mm);

h = carga hidráulica ou pressão (m).

Para os rotativos (mais utilizados na irrigação de culturas) o alcance do jato é determinado pela seguinte equação:

$$R = 1,35 \cdot \sqrt{(d)} \cdot h \quad (4)$$

Segundo Whithers e Vipond (1977), a velocidade de rotação mais adequada a um aspersor é aproximadamente $2,5 \text{ m s}^{-1}$ no perímetro externo da área coberta por ele.

d) Vazão do Aspensor

Pode-se determinar a vazão do aspensor pela seguinte equação (derivada do teorema de Torricelli):

$$q = 4,4272 \cdot A \cdot C \cdot h^{0,5} \quad (5)$$

Em que

q = vazão do aspensor ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$);

A = área do orifício de saída (m^2);

C = coeficiente de descarga do aspensor (unidimensional);

h = carga hidráulica ou pressão (m.c.a.).

1.6. LINHAS LATERAIS

Na linha lateral são instalados os aspersores, distribuídos igualmente em toda a sua extensão, em distâncias múltiplas de seis devido ao comprimento padrão das tubulações (Figura 14). Preferencialmente, ela deve estar em nível, podendo haver situações nas quais terá que ser dimensionada para condições de aclive ou declive.



Figura 14. Linha lateral.

No dimensionamento de uma linha lateral é necessário calcular a perda de carga com base na vazão total que a mesma irá transportar e no seu comprimento. A variação entre vazões dos aspersores não pode ser superior a 10%. Para que isso ocorra, deve-se dimensionar um diâmetro de tubulação tal que não permita uma variação de pressão entre o primeiro e o último aspersor maior do que 20% da pressão de serviço (PS) dos mesmos.

Ocorre que o aspersor localizado na parte central da linha trabalha com a pressão mais adequada, enquanto que o primeiro e o último aspersores trabalham com pressões superiores e inferiores, respectivamente, dentro dos 20% permitidos. Quando não houver alternativa a não ser instalar a linha lateral em aclave ou em declive, considera-se esse desnível, não devendo a perda de carga máxima ultrapassar 20% da pressão de serviço, adicionando (em caso de aclave) ou subtraindo (em caso de declive) o valor da variação do desnível da área.

A linha lateral pode ter um ou mais diâmetros, dependendo das características do projeto. A perda de carga pode ser calculada, entre outras equações, pela equação de Hazen-Williams:

$$hf = 10,67 \cdot D^{-4,87} \cdot (Q \div C)^{1,852} \cdot L \quad (6)$$

Em que

hf = perda de carga na linha lateral (m);

Q = vazão da linha lateral ($m^3 s^{-1}$);

D = diâmetro interno da tubulação (m);

C = coeficiente do tipo da parede do tubo (adimensional);

L = comprimento da tubulação (m).

Dimensionamento de Linhas Laterais em Nível

Para dimensionar uma linha lateral (L.L.) em nível (Figura 15) deve-se levar em consideração algumas questões como: qual será o número de aspersores inseridos na linha lateral e qual a vazão de cada aspersor? Qual será a vazão total e qual seu comprimento?

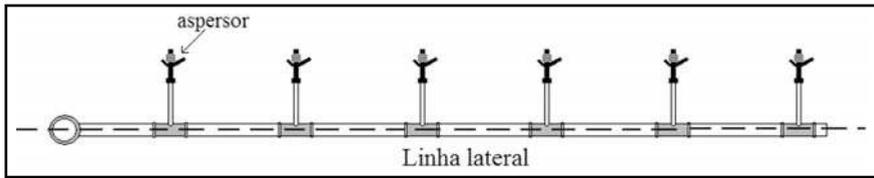


Figura 15. Linha lateral em nível.

Depois de respondidas essas questões, inicia-se o dimensionamento da linha lateral, utilizando os critérios anteriormente discutidos (a variação entre vazões dos aspersores não pode ser superior a 10%; a perda de carga máxima deve ser de 20% da pressão de serviço). Outro fator a ser observado é que a pressão média ao longo da linha deve ser igual à pressão de serviço do aspersor. Quando se conhece o comprimento da linha lateral e o espaçamento entre aspersores na linha (E_1), pode-se determinar o número de aspersores (N) pela seguinte equação:

$$N = L_{LL} \div E_1 \quad (7)$$

Em que

N = número de aspersores;

L_{LL} = comprimento da linha lateral (m);

E_1 = espaçamento entre aspersores (m).

A perda de carga permissível (hf), ou seja, a quantidade de pressão que pode ser perdida ao longo da linha lateral, é determinada pela seguinte equação:

$$hf = 0,20 \cdot PS \quad (8)$$

Em que

hf = perda de carga permitida (m.c.a.);

PS = pressão de serviço (m.c.a.).

Depois de ser determinada, hf deve ser corrigida pelo fator de correção f (a correção deve ser feita em função do número de aspersores na linha), visto que a vazão diminui do início para o final da linha.

$$hf' = hf \div f \quad (9)$$

Em que

hf' = perda de carga permitida corrigida (m.c.a.);

f = fator de correção.

O fator de correção é determinado pela expressão:

$$f = (m + 1)^{-1} + (2 \cdot N)^{-1} + [(\sqrt{m-1}) \div (6 \cdot N^2)] \quad (10)$$

Em que

f = fator de correção, adimensional;

m = constante com valor de 1,85 (para a equação de Hazen-Willians);

N = número de aspersores.

Pode-se também determinar a pressão inicial da linha lateral (Pin_{LL}), por:

$$Pin_{LL} = PS + 0,75 \cdot hf + Aa \quad (11)$$

Em que

Pin_{LL} = pressão no início da linha lateral (m.c.a.);

Aa = altura do aspersor (m).

Para obter o diâmetro adequado da tubulação, pode-se aplicar a equação de Hazen-Willians. Existem diversas outras equações que podem realizar esse cálculo, porém adotaremos esta por ser uma das mais usadas. A equação de Hazen-Willians é dada por:

$$Q_{LL} = 0,2788 \cdot C \cdot D^{2,63} \cdot J^{0,54} \quad (12)$$

Em que

Q_{LL} = vazão no início da linha lateral ($m^3 s^{-1}$);

J = perda de carga linear ($m m^{-1}$);

D = diâmetro interno da tubulação (m);

C = coeficiente de rugosidade (adimensional).

A perda de carga linear é dada por:

$$J = (hf' \div L_{LL}) \quad (13)$$

O coeficiente de rugosidade depende do material do qual é feita a

tubulação, e pode ser obtido pelo Quadro 1:

<i>Material</i>	<i>C</i>
Ferro dúctil	100
Aço zincado/alumínio	130
PVC rígido e poliéster	150

Quadro 1. Valores médios do coeficiente C (fonte: BERNARDO, 2005).

Alguns dos diâmetros comerciais de tubulações utilizadas para irrigação disponíveis no mercado são apresentados no Quadro 2:

Diâmetros Comerciais		
Metros (m)	Milímetros (mm)	Polegadas (")
0,050	50	2
0,075	75	3
0,100	100	4
0,125	125	5
0,150	150	6
0,175	175	7
0,200	200	8

Quadro 2. Diâmetro comercial de tubulações utilizadas para irrigação.

Aplicação prática: dimensionar o diâmetro de uma linha lateral de aço zincado com 180 m de comprimento, instalada em nível. O aspersor escolhido será instalado com um espaçamento de 18 m x 24 m, deverá trabalhar com uma pressão de serviço (PS) de 30 mca e apresentará uma vazão (q) para essas condições de 3,45 m³ h⁻¹.

Resolução:

$$\text{Perda de carga permissível: } hf = 0,20 \cdot 30 = 6 \text{ m.c.a.}$$

$$\text{Número de aspersores: } N = (180 \div 18) = 10 \text{ aspersores}$$

$$\text{Fator de correção: } f = (1,85+1)^{-1} + (2 \cdot 10)^{-1} + [(\sqrt{1,85-1}) \div (6 \cdot 10^2)] = 0,402$$

$$\text{Perda de carga permissível corrigida: } hf' = (6 \div 0,402) = 14,925 \text{ m}$$

$$\text{Perda de carga linear: } J = (14,925 \div 180) = 0,0821 \text{ m m}^{-1}$$

$$\text{Vazão na linha lateral: } Q_{LL} = 3,45 \cdot 10 = 34,5 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} = 0,00958 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$$

$$\text{Diâmetro da linha lateral: } 0,00958 = 0,2788 \cdot 130 \cdot D^{2,63} \cdot 0,0821^{0,54}$$

$$D = 0,073 \text{ m} = 73 \text{ mm} \rightarrow 75 \text{ mm} = 3'' \text{ (diâmetro comercial adotado)}$$

Deve-se adotar sempre um diâmetro comercial acima e mais próximo do diâmetro calculado.

Dimensionamento de Linhas Laterais em Active

No dimensionamento de linhas laterais em active (Figura 16), deve-se considerar a variação na altura do terreno (Δz), do início ao final da mesma, devendo esse valor ser subtraído da perda de carga permissível (hf).

$$hf = (0,20 \cdot PS) - \Delta z \quad (14)$$

Em que

Δz = variação na altura do início ao final da linha (m).

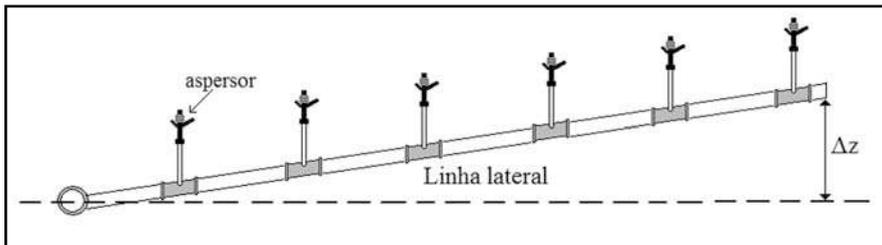


Figura 16. Linha lateral em active.

A variação na altura do terreno pode ser determinada por:

$$\Delta z = (D \cdot L_{LL}) \div 100 \quad (15)$$

Em que

L_{LL} = comprimento da linha lateral (m);

D = desnível do terreno (%).

A perda de carga permissível corrigida pode ser determinada pela expressão:

$$hf' = [(0,20 \cdot PS) - \Delta z] \div f \quad (16)$$

A pressão no início da linha lateral, neste caso, fica assim expressa:

$$P_{in} = PS + 0,75 \cdot hf + A_a + 0,5 \cdot \Delta z \quad (17)$$

Aplicação prática: dimensionar o diâmetro de uma linha lateral de aço zincado, com 180 m de comprimento, instalada em um terreno com a cive de 2,5%. O aspersor escolhido será instalado com um espaçamento de 18 m x 24 m, deverá trabalhar com uma pressão de serviço de 30 m.c.a. e terá uma vazão de 3,45 m³ h⁻¹.

Resolução:

Como se trata das mesmas condições da aplicação prática anterior, temos $f = 0,402$ e $Q_{LL} = 0,009658 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$.

$$\Delta z = (2,5 \cdot 180) \div 100 = 4,5 \text{ m}$$

$$hf' = [(0,20 \cdot 30) - 4,5] \div 0,402 = 3,73 \text{ m}$$

$$J = (3,73 \div 180) = 0,0207 \text{ m m}^{-1}$$

$$0,00958 = 0,2788 \cdot 130 \cdot D^{2,63} \cdot 0,0207^{0,54}$$

$$D = 0,0998 \text{ m} = 99,80 \text{ mm} \rightarrow 100 \text{ mm} = 4'' \text{ (diâmetro comercial adotado)}$$

Dimensionamento de Linhas Laterais em Declive

No dimensionamento de linhas laterais em declive (Figura 17), a variação na altura do terreno (Δz) deve ser somada ao valor da perda de carga permissível (hf).

$$hf = (0,20 \cdot PS) + \Delta z \quad (18)$$

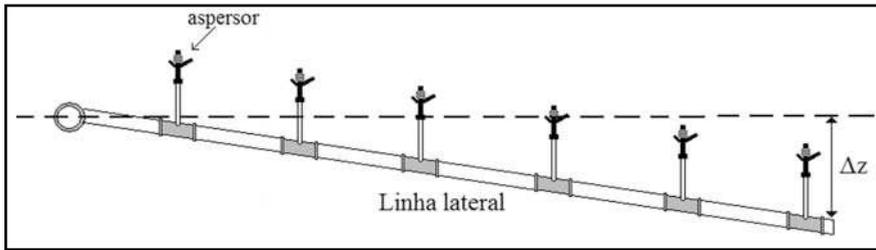


Figura 17. Linha lateral em declive.

A perda de carga permissível corrigida fica assim determinada:

$$hf' = [((0,20 \cdot P_s) + \Delta z)] \div f \quad (19)$$

A pressão no início da linha lateral:

$$P_{in} = P_s + 0,75 \cdot hf + A_a - 0,5 \cdot \Delta z \quad (20)$$

Aplicação prática: dimensionar o diâmetro de uma linha lateral de aço zincado, com 180 m de comprimento, instalada em um terreno com declive de 2,5 %. O aspersor escolhido será instalado com um espaçamento de 18 m x 24 m, deverá trabalhar com uma pressão de serviço de 30 mca e terá uma vazão de 3,45 m³ h⁻¹.

Resolução: também nesse caso temos $f = 0,402$ e $Q_{LL} = 0,009658 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$.

$$\Delta z = ((2,5 \cdot 180) \div 100) = 4,5 \text{ m}$$

$$hf' = [((0,20 \cdot 30) + 4,5)] \div 0,402 = 26,12 \text{ m}$$

$$J = (26,12 \div 180) = 0,145 \text{ m m}^{-1}$$

$$0,00958 = 0,2788 \cdot 130 \cdot D^{2,63} \cdot 0,145^{0,54}$$

$$D = 0,066 \text{ m} = 66 \text{ mm} \rightarrow 75 \text{ mm} = 3'' \text{ (diâmetro comercial adotado)}$$

1.7. LINHAS DE DERIVAÇÃO

Seu dimensionamento é baseado na condução da máxima vazão e pressão de água, que vai abastecer as linhas laterais (Figura 18), levando em consideração a posição mais desfavorável (em geral a mais alta e distante no terreno). A perda de carga máxima não deve ser maior do que 15% da pressão no início da linha lateral ou 30% da capacidade de recalque da bomba.

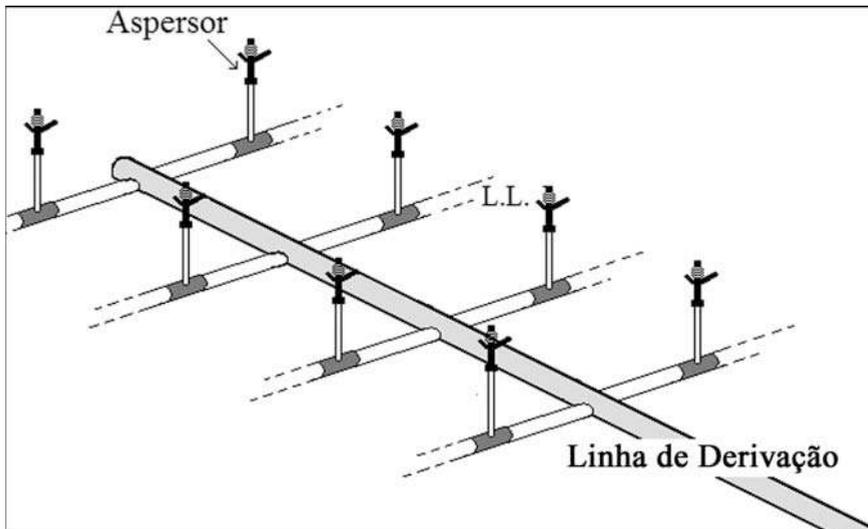


Figura 18. Linha de derivação.

Dimensionamento das Linhas de Derivação

Para dimensionar o diâmetro de uma linha de derivação deve-se primeiramente verificar qual é a vazão total que essa linha deve conduzir até as linhas laterais, sejam elas quantas forem e qualquer que seja seu manejo. A vazão da linha de derivação é o somatório das vazões das linhas laterais.

O critério técnico utilizado para realizar o dimensionamento é o seguinte:

- A perda de carga (hf) no trecho compreendido entre a primeira e a última posição da linha lateral deve ser, no máximo, igual a 15% da pressão de serviço (PS) dos aspersores.

Aplicação prática: dimensionar o diâmetro de uma linha de derivação de aço zincado com 288 m de comprimento, instalada em uma área totalmente plana, que conduz água para uma linha lateral de aço zincado com 144 m de comprimento, que possui aspersores com vazão de $0,62 \text{ L s}^{-1}$ e espaçamento de 18 m x 24 m e que devem operar a uma pressão de serviço de 30 m.c.a.

Resolução:

$$hf = 0,15 \cdot 30 = 4,5 \text{ m}$$

$$N = 144 \div 18 = 8 \text{ aspersores}$$

$$Q_{LL} = 8 \cdot 0,62 \text{ L s}^{-1} = 4,96 \text{ L s}^{-1} = 0,00496 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$$

$$J = (4,5 \div 288) = 0,015625 \text{ m m}^{-1}$$

$$0,00496 = 0,2788 \cdot 130 \cdot D^{2,63} \cdot 0,015625^{0,54}$$

$D = 0,082 \text{ m} = 82 \text{ mm} \rightarrow 100 \text{ mm} = 4'' \text{ (diâmetro comercial adotado)}$

1.8. LINHA PRINCIPAL E LINHA DE RECALQUE

A função da linha principal é conduzir a água (nas condições de vazão e pressão exigidas pelo sistema) para as linhas de derivação e, em áreas menores, diretamente para as linhas laterais. As linhas de recalque conduzem a água do conjunto motobomba até as linhas principais, podendo, em alguns casos, serem ambas uma única tubulação.

Dimensionamento da Linha Principal e Linha de Recalque

Tanto o diâmetro da linha principal como o da linha de recalque podem ser dimensionados limitando-se a velocidade de escoamento de água na tubulação em torno de $1,5 \text{ m s}^{-1}$ a $2,0 \text{ m s}^{-1}$. A seguinte equação é utilizada:

$$D = \sqrt{(1,2732 \cdot (Q \div V))}$$

(21)

Em que

D = diâmetro da tubulação (m);

Q = vazão da linha ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$);

V = velocidade da água (m s^{-1}).

Aplicação prática: dimensionar o diâmetro de uma linha principal que deve conduzir uma vazão de $9,97 \text{ L s}^{-1}$. A velocidade da água no interior da tubulação deve ser de $1,5 \text{ m s}^{-1}$.

Resolução:

$$9,97 \text{ L s}^{-1} \rightarrow 0,00997 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$$

$$D = \sqrt{(1,2732 \cdot (0,00997 \div 1,5))} = 0,092 \text{ m}$$

$D = 0,092 \text{ m} = 92 \text{ mm} \rightarrow 100 \text{ mm} = 4'' \text{ (diâmetro comercial adotado)}$

Pode-se calcular agora a velocidade real com base no diâmetro comercial escolhido fazendo a conta inversa:

$$0,100 = \sqrt{(1,2732 \cdot (0,00997 \div V_{\text{real}}))} \rightarrow V_{\text{real}} = 1,3 \text{ m s}^{-1}$$

1.9. DIMENSIONAMENTO DE LINHAS COM DOIS DIÂMETROS

No dimensionamento pode-se optar em dividir uma linha em dois trechos (Figura 19), sendo o primeiro com um diâmetro maior e o outro com um diâmetro menor do que foi dimensionado.

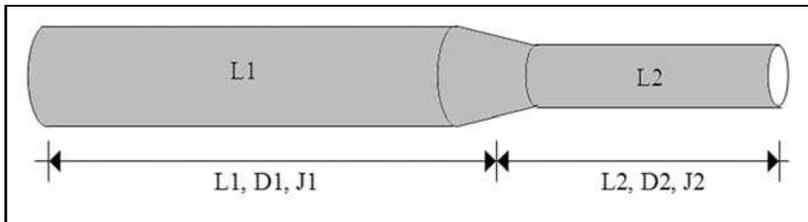


Figura 19. Linha dividida em dois trechos.

O comprimento total da linha será dado por:

$$L_{\text{total}} = L1 + L2$$

(22)

Em que

L_{total} = comprimento total da linha (m);

L_1 = comprimento do trecho 1 (maior diâmetro) (m);

L_2 = comprimento do trecho 2 (menor diâmetro) (m).

Os comprimentos dos trechos L_2 e L_1 são dados por:

$$L_2 = [(hf - (L \cdot J_1)) \div (J_2 - J_1)] \quad (23)$$

$$L_1 = L_{\text{total}} - L_2 \quad (24)$$

Em que

hf = perda de carga permissível (m);

J = perda de carga linear (m m^{-1}).

A perda de carga linear (J) é dada por:

$$J = 10,67 \cdot D^{-4,87} \cdot (Q \div C)^{1,852} \quad (25)$$

Em que

Q = vazão da linha ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$);

D = diâmetro interno da tubulação (m);

C = coeficiente do tipo da parede do tubo (adimensional).

Aplicação prática: dividir uma linha de derivação de aço zincado de 288 m, que conduz uma vazão de $0,00516 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ e cujo diâmetro calculado foi de 82 mm (o que corresponderia a um diâmetro comercial de 100 mm), em dois trechos de diâmetros diferentes. A pressão de serviço dos aspersores das linhas laterais que ela alimenta é de 30 m.c.a.

Resolução: Será utilizado um diâmetro comercial abaixo do calculado (0,075 m) e outro acima (0,100 m).

$$J \text{ (menor diâmetro): } J_2 = 10,67 \cdot 0,075^{-4,87} \cdot (0,00516 \div 130)^{1,852} = 0,022668 \text{ m m}^{-1}$$

$$J \text{ (maior diâmetro): } J_1 = 10,67 \cdot 0,100^{-4,87} \cdot (0,00516 \div 130)^{1,852} = 0,005584 \text{ m m}^{-1}$$

Perda de carga permissível: $hf = 0,15 \times 30 = 4,5$ m

$$L2 = [(4,5 - (288 \cdot 0,005584)) \div (0,022668 - 0,005584)] = 169,27 \text{ m}$$

$$L1 = 288 - 169,27 = 118,73 \text{ m}$$

Quantidade de barras para cada diâmetro:

$$L1 = 118,73 \div 6 \text{ m} = 19,8 \approx 20 \text{ (20 barras de 4")}$$

$$L2 = 169,27 \div 6 \text{ m} = 28,2 \approx 28 \text{ (28 barras de 3")}$$

Comprimento corrigido de cada trecho:

$$L1 = 20 \text{ m} \cdot 6 \text{ m} = 120 \text{ m}$$

$$L2 = 28 \text{ m} \cdot 6 \text{ m} = 168 \text{ m}$$

$$L_{\text{total}} = 120 \text{ m} + 168 \text{ m} = 288 \text{ m}$$

1.10. LINHA DE SUCCÃO

No projeto de uma linha de sucção (Figura 20) adota-se, na prática, um diâmetro comercial acima do que foi dimensionado para a linha principal. A linha de sucção deve ter o menor comprimento e altura possíveis, e a velocidade da água não deve ultrapassar $1,5 \text{ m s}^{-1}$.



Figura 20. Tubulação de sucção.

Segundo Faria e Vieira (1982), a altura máxima de sucção para que não haja cavitação pode ser determinada por:

$$h_{s_{\max}} < P_{\text{atm}} - (P_{\text{vapor}} + (0,051020 \cdot V^2) + h_{fs} + h_{fr}) \quad (26)$$

Em que

$h_{s_{\max}}$ = altura máxima de sucção da bomba (m);

P_{atm} = pressão atmosférica em função da altitude (m.c.a.);

P_{vapor} = pressão de vapor d'água em função da temperatura (m.c.a.);

V = velocidade da água na tubulação de sucção (m s^{-1});

h_{fs} = perda de carga na linha de sucção (m.c.a.);

h_{fr} = perda de carga no rotor da bomba (m.c.a.).

A pressão atmosférica em função da altitude pode ser expressa através da seguinte equação, baseada em Bernardo (1982):

$$P_{\text{atm}} = 10,2788 - (\text{Alt} \cdot 0,0011) \quad (27)$$

Em que

Alt = altitude do local (m).

A pressão de vapor d'água em função da temperatura é dada pela seguinte equação, baseada em Bernardo (1982):

$$P_{\text{vapor}} = 0,0762 \cdot 1,05844 \cdot T \quad (28)$$

Em que

T = temperatura do local ($^{\circ}\text{C}$).

1.II. ASPECTOS GERAIS DO DIMENSIONAMENTO

Para dimensionar um sistema de irrigação por aspersão são necessários:

- Planta plani-altimétrica da área a ser irrigada (escala 1:1000 a 1:5000);
- Ensaios de campo da velocidade de infiltração de água no solo;

- Dados climáticos locais (velocidade do vento, evaporação, etc.);
- Informações sobre a cultura que será instalada e sobre o solo;
- Detalhamento da fonte d'água (vazão mínima, qualidade físico-química da água, etc.) além de outros cuja importância seja relevante no projeto.

1.12. PERDAS DE ÁGUA NA ASPERSÃO

O fator que causa as maiores perdas de água nos sistemas de irrigação por aspersão é a evaporação. Esta se dá diretamente no jato de água na atmosfera (Figura 21) e no acúmulo de água em superfícies após a irrigação. Em locais que apresentem altas temperaturas, ventos e clima seco, a evaporação se evidencia, podendo comprometer seriamente a uniformidade de aplicação de água. Fazer a irrigação em períodos noturnos pode ser uma solução para evitar as condições que favorecem a evaporação.



Figura 21. Evaporação do jato de água.

Outro fator que leva à perda de carga são os vazamentos de água (Figura 22) em conexões e/ou engates de tubulações que estejam danificados ou desgastados.

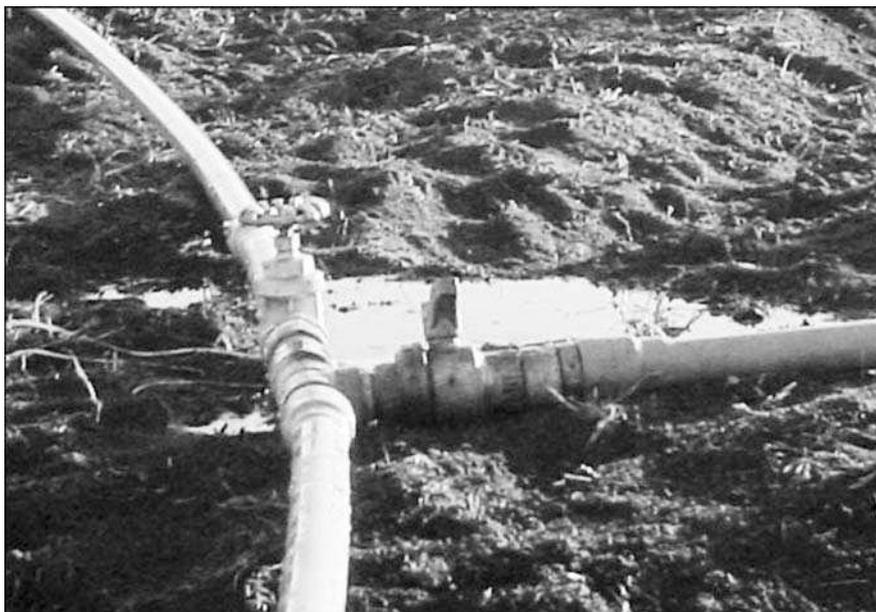


Figura 22. Vazamento de água em sistema de irrigação.



ASPERSÃO MECANIZADA

Capítulo 2

2.1. INTRODUÇÃO

Um sistema de aspersão mecanizado tem por principais objetivos realizar a irrigação em grandes áreas (nas quais se tornaria inviável técnica e economicamente a utilização de sistemas convencionais), elevar a eficiência de aplicação de água e diminuir os custos com mão-de-obra. Para que ocorra a movimentação, o aspersor (ou o conjunto de aspersores) é montado sobre um sistema mecânico dotado de rodas.

Os sistemas de irrigação mecanizados podem ser divididos em linha lateral móvel, pivô central e autopropelido.

2.2. LINHA LATERAL MÓVEL

Este sistema é composto por uma linha lateral (Figura 23) que se desloca perpendicularmente à fonte fornecedora de água (que pode ser uma tubulação com hidrantes ou um canal de água).



Figura 23. Linha lateral móvel (Barra Irrigadora).

Em geral, motores elétricos instalados nas torres de sustentação realizam sua movimentação de maneira sincronizada, enquanto a água é aplicada.

2.3. PIVÔ CENTRAL

O pivô central é um sistema de irrigação no qual uma linha lateral suspensa por torres de sustentação dotadas de rodas e motores (Figura 24) gira em torno de um ponto central, que é chamado de pivô (Figura 25).

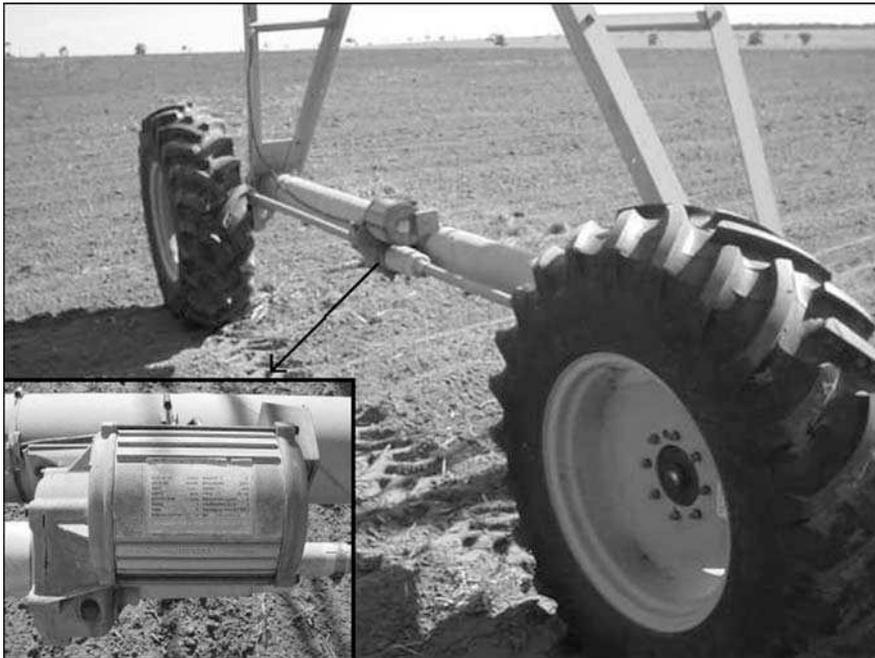


Figura 24. Rodas e motor de uma torre.



Figura 25. Pivô.

O pivô é a fonte fornecedora de água e de energia elétrica. À medida que se desloca, a linha lateral vai aspergindo a água sobre a cultura (Figura 26).



Figura 26. Linha lateral de um pivô central.

Na maioria das vezes, na extremidade final da linha lateral do pivô central existe um aspersor de grande porte do tipo canhão, que permite um aumento na área coberta pela irrigação. Como nessa extremidade o pivô irriga uma área muito maior que a inicial, é necessário que a aplicação de água seja crescente no sentido pivô–canhão para que seja uniforme em toda a área.

Têm-se então basicamente duas opções para alcançar esse objetivo: ou se utilizam aspersores com vazões diferentes e crescentes ao longo da linha ou se altera o espaçamento entre eles, de maneira que, quanto mais distante do pivô, menos espaçados deverão estar os aspersores.

Uma característica marcante do pivô central é o fato de a área irrigada ser circular, o que implica na não aplicação de água nos cantos (Figura 27). Porém, já existe no mercado a opção de adquirir pivôs que aplicam água nesses cantos por meio de tubulações retráteis acionadas automaticamente. Atualmente algumas empresas fabricantes oferecem modelos que irrigam áreas irregulares e que podem ser movidos de um local para outro, tracionados por tratores.

Segundo Bernardo (2005), no ano de 1952 foi desenvolvido o primeiro pivô central no Colorado, Estado do Texas (EUA), mas apenas em 1961 o equipamento começou a ser utilizado com regularidade. Em 1973, só nos Estados Unidos, oitocentos mil hectares eram irrigados por pivô central.

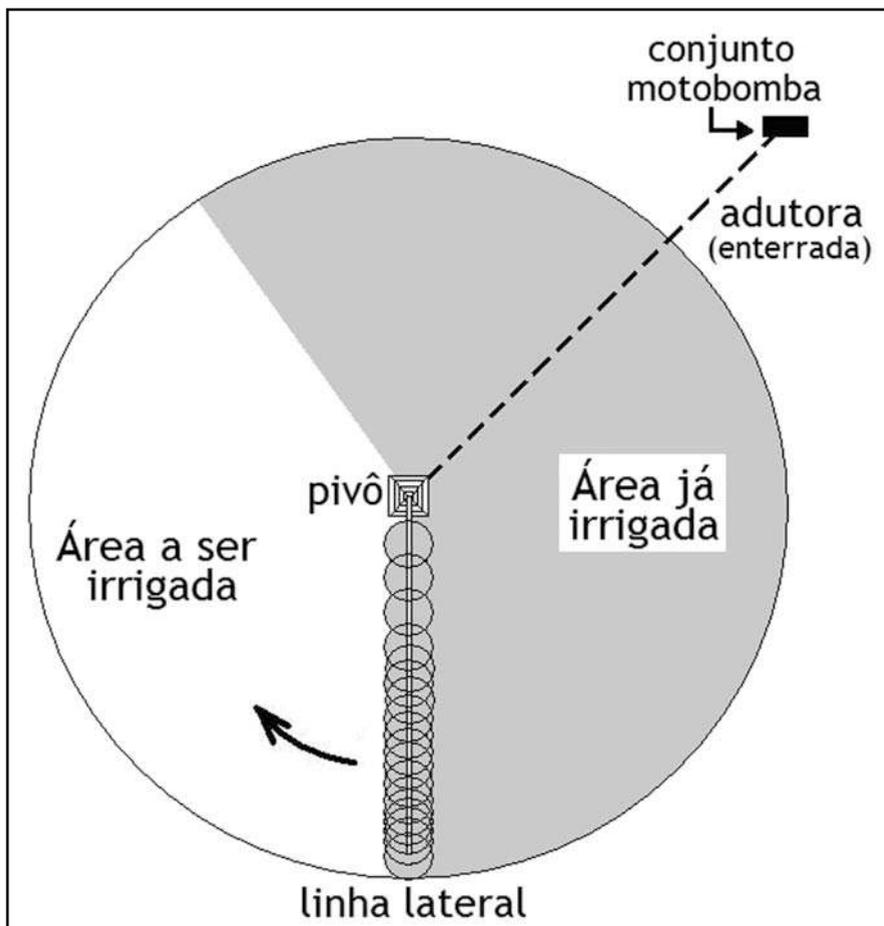


Figura 27. Área irrigada pelo pivô.

Também segundo o mesmo autor, até 2005 existiam mais de quatro milhões de hectares irrigados por esse sistema. No Brasil, por volta de seiscentos e cinquenta mil hectares eram irrigados por esse método.



Figura 28. Painel de controle de um pivô central Valley.

Modelos de Pivô Central

Segundo Bernardo (2005), o sistema de pivô central pode ser dividido em quatro modelos:

- Pivô central com difusores: o diâmetro do bocal ou tamanho do difusor (Figura 29) aumenta assim que o mesmo se afasta do pivô. Por utilizar difusores em vez de aspersores, as gotas serão menores, devendo então ser instalado o mais próximo possível da cultura.



Figura 29. Difusor.

- Pivô central com emissores de aplicação localizada: esses emissores são semelhantes aos difusores, porém permitem o molhamento de subcopa, onde o alcance do jato é menor e a taxa de aplicação é maior.
- Pivô central com aspersores de tamanho variável: o tamanho do aspersor aumenta conforme se afasta do pivô.
- Pivô central com aspersores de tamanho médio: os aspersores são todos do mesmo tamanho, diferenciando-se apenas o tamanho do bocal. Quanto mais longe do pivô, menor é o espaçamento entre os aspersores.

Canhão

Canhão é um aspersor de grande porte que é instalado na extremidade da linha lateral do pivô central e que tem como função aumentar o tamanho da área irrigada (Figura 30). Ele pode possuir uma pequena motobomba acoplada cuja função é fornecer-lhe mais pressão, permitindo assim um maior raio de alcance. Com isso consegue-se uma maior área irrigada, reduzindo o custo do pivô central por hectare.

Porém, em áreas de ventos fortes, poderá ocorrer interferência no alcance e na eficiência de aplicação de água desse canhão, devido à deriva.

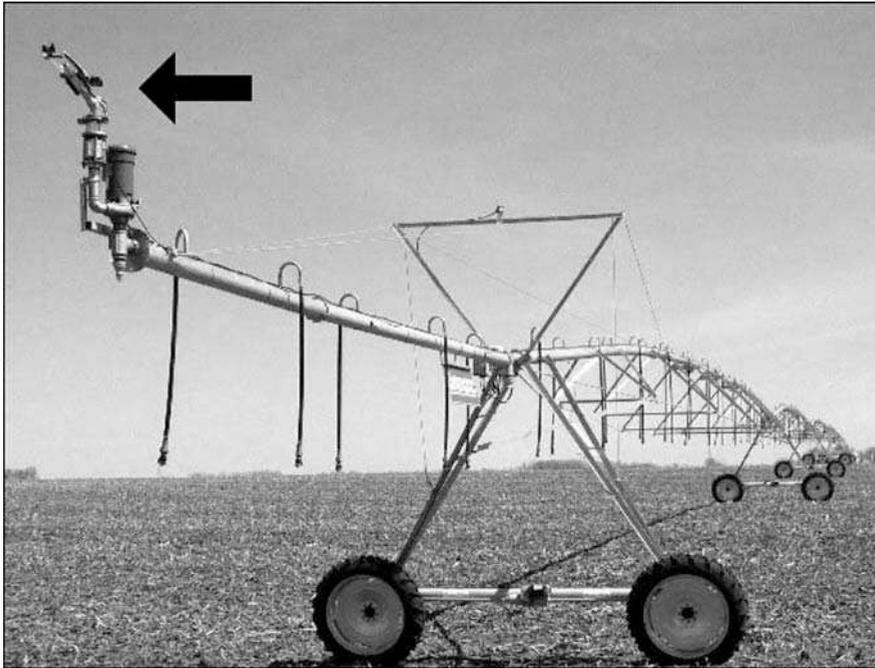


Figura 30. Canhão. (Fonte: <http://www.generalirrigation.com/>)

Características Hidráulicas do Pivô Central

Vazão ao Longo da Linha Lateral (Q_{a-b})

Pode-se determinar a vazão em qualquer ponto ao longo da linha lateral através da seguinte relação:

$$Q_{a-b} = \frac{(2 \cdot D2) + Dt}{(2 \cdot D1) + Dt} \quad (29)$$

Em que

Q_{a-b} = relação da vazão de um vão *A* comparado à vazão de um vão *B*;

$D1$ = distância do pivô até o primeiro vão estudado (m);

$D2$ = distância do primeiro vão até a primeira torre do segundo vão estudado (m);

Dt = distância entre torres (m).

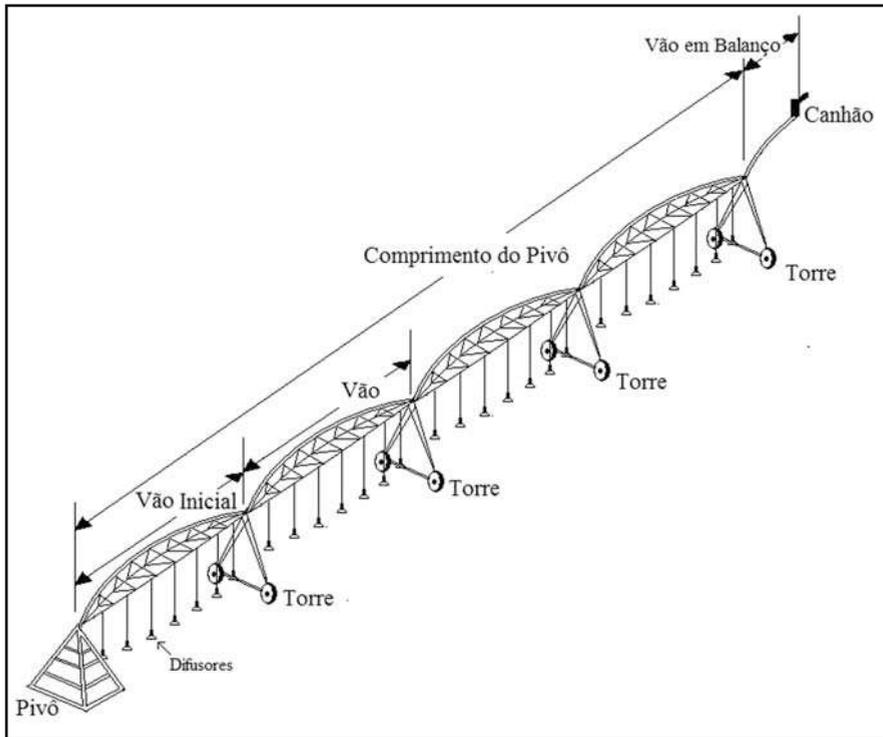


Figura 31. Esquema de um pivô central.

Tempo de Irrigação (T_{irrig})

O tempo de irrigação (T_{irrig}) pode ser determinado em um ponto qualquer do pivô, conhecendo-se o diâmetro de cobertura do aspersor nesse local e o tempo gasto para a linha lateral dar uma volta completa (360°):

$$T_{irrig} = (9,56 \cdot (nh \cdot dc)) \div dp \quad (30)$$

Em que

T_{irrig} = tempo de irrigação (min);

nh = números de horas para dar uma volta no pivô;

dc = diâmetro de cobertura do aspersor no ponto (m);

dp = distância do pivô até o ponto em estudo (m).

Lâmina Média de Água Aplicada pelo Pivô Central (L)

Quanto maior for o tempo necessário para o pivô central dar um giro completo, maior será a lâmina aplicada por ele. Essa lâmina é dada por:

$$L = (0,36 \cdot Q \cdot H \cdot Ea) \div A \quad (31)$$

Em que

L = lâmina média aplicada pelo pivô central (mm);

Q = vazão do pivô central ($L \cdot s^{-1}$);

H = tempo para dar uma volta completa (h);

A = área total irrigada (ha);

Ea = eficiência de aplicação do pivô (decimal).

Intensidade de Precipitação Média (Pmed) e Máxima (Pmax)

Pode-se determinar para cada ponto estudado as intensidades de precipitação média e máxima pelas seguintes expressões:

$$Pmed = (0,2618 \cdot Et \cdot r) \div (Ea \cdot d) \quad (32)$$

$$Pmax = 1,27324 \cdot Pmed \quad (33)$$

Em que

Pmed = precipitação média ($mm \cdot h^{-1}$);

Pmax = precipitação máxima em cada ponto ($mm \cdot h^{-1}$);

Et = evapotranspiração ($mm \cdot dia^{-1}$);

Ea = eficiência (%);

r = raio (m);

d = ação do último aspersor (m).

Vazão Requerida pelo Pivô Central (Qr)

A vazão requerida pelo pivô é dada pela seguinte expressão:

$$Qr = 2,7778 \cdot ((L \cdot A) \div nh) \quad (34)$$

Em que

Q_r = vazão requerida pelo pivô ($L s^{-1}$);

L = lâmina média aplicada por volta ($mm\ volta^{-1}$);

A = área (ha);

nh = número de horas gastas por volta ($h\ volta^{-1}$).

Aplicação prática: determinar a relação da vazão do vão 5 comparado à vazão do vão 3 (Figura 31). O comprimento da linha lateral do pivô é de 307,6 m, o comprimento do primeiro vão é 62 m e dos demais vãos é de 61,4 m.

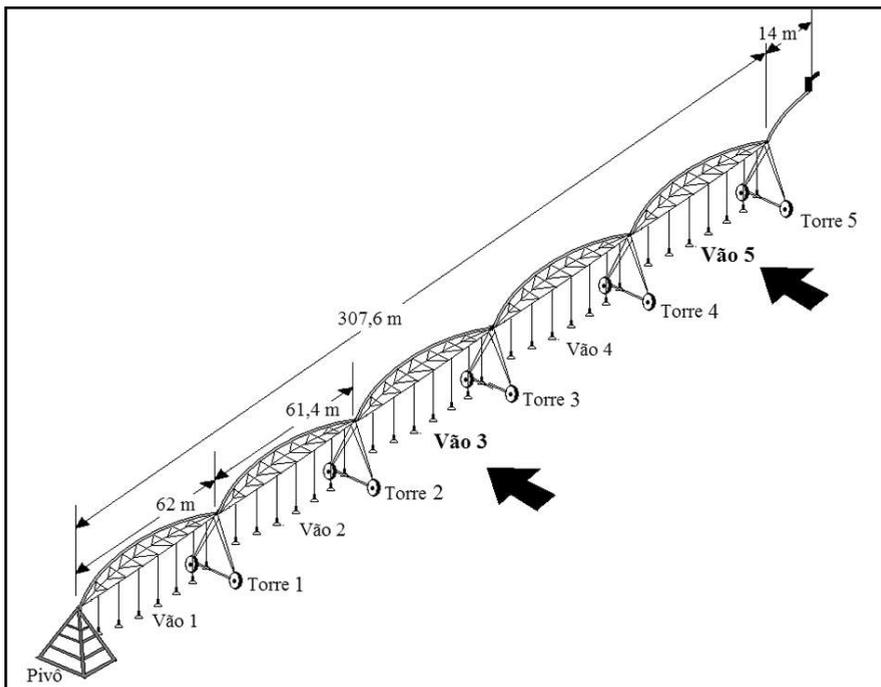


Figura 32. Aplicação prática: dimensões do pivô central.

Resolução:

$$D1 = 62\text{ m} + 61,4\text{ m} = 123,4\text{ m}$$

$$D2 = 62\text{ m} + 61,4\text{ m} + 61,4\text{ m} + 61,4\text{ m} = 246,2\text{ m}$$

$$Dt = 61,4\text{ m}$$

$$Q_{a-b} = \frac{(2 \cdot 246,2) + 61,4}{(2 \cdot 123,4) + 61,4} = 1,8 \text{ vezes mais volume de água}$$

Aplicação prática: determinar o tempo de irrigação (T_{irrig}) em um ponto do pivô situado a $\frac{1}{4}$ do comprimento da lateral (a partir do centro) cujo aspersor tem um diâmetro de cobertura de 22 m. O tempo necessário para uma volta completa da lateral é de 21 horas.

Resolução:

$$\begin{aligned}nh &= 21 \text{ h} \\dc &= 22 \text{ m} \\dp &= 307,6 \div 4 = 76,9 \text{ m}\end{aligned}$$

$$T_{\text{irrig}} = (9,56 \cdot (21 \cdot 22)) \div 76,9 = 57,44 \text{ min}$$

Aplicação prática: determinar a lâmina média aplicada por volta em um pivô que possui uma vazão de 35 L s^{-1} e uma área irrigada de 60 ha. O tempo para dar uma volta completa é de 26 horas. A eficiência do pivô é de 88%.

Resolução:

$$L_r = 0,36 \cdot ((35 \cdot 26) \div 60) \cdot 0,88 = 4,80 \text{ mm volta}^{-1}$$

Limitações Topográficas do Pivô Central

É recomendado que o sistema de pivô central seja instalado em áreas com declive inferior a 15%, para que não sejam afetadas a uniformidade e a eficiência de aplicação de água. É necessário que, ao projetar um pivô para áreas com maior declividade, reduza-se o espaçamento entre torres.

2.4. SISTEMA DE AUTOPROPELIDO

O autopropelido é um aspersor do tipo canhão, montado sobre um sistema mecânico dotado de rodas. É rebocado por um trator, a uma determinada distância, e depois recolhido por meio de um carretel enrolador acionado por um mecanismo hidráulico (Figura 33). O canhão, ao ser recolhido pelo carretel, promove a irrigação de uma faixa da área, sendo necessária a mudança de sua posição pelo operador para irrigar a área

adjacente. Em uma mesma área pode haver um ou mais autopropelidos.



Figura 33. Carretel autopropelido.

Dimensionamento de um Sistema Autopropelido

Os critérios para o dimensionamento de um autopropelido aqui apresentados são baseados na metodologia proposta por Scaloppi e Colombo (1995).

Vazão Aproximada Requerida por um Autopropelido (Q)

A vazão do autopropelido é função da área total a ser irrigada, da evapotranspiração, do tempo de operação diária e da eficiência de aplicação de água.

$$Q = (A \cdot Et) \div (Ef \cdot Top) \tag{35}$$

Em que

Q = vazão aproximada requerida ($m^3 s^{-1}$);

A = área total a ser irrigada (m^2);

Et = evapotranspiração para o dimensionamento ($m \text{ dia}^{-1}$);

Ef = eficiência de aplicação desejada, em decimal;

Top = tempo de operação diária ($h \text{ dia}^{-1}$).

Escolha do Aspersor

A escolha do aspersor é baseada em catálogos técnicos que devem informar, entre outras especificações, o diâmetro dos bocais, a pressão de trabalho, a vazão, o alcance, o tipo de bocal e o ângulo de operação.

Largura das Faixas Irrigadas (L_F)

Deve-se levar em consideração a velocidade média do vento na área em que se pretende irrigar com o autopropelido.

$$L_F = 1,6 \cdot R \cdot (1 - 0,02 \cdot V_m) \quad (36)$$

Em que

L_F = largura da faixa irrigada (m);

R = alcance do jato do aspersor (m);

V_m = velocidade média do vento (km h^{-1}).

Comprimento das Faixas Irrigadas (W)

$$W = 2 \cdot C + R \cdot (\theta \div 270) \quad (37)$$

Em que

W = comprimento da faixa irrigada (m);

C = comprimento da mangueira (m);

R = alcance do jato do aspersor (m);

θ = ângulo de operação do aspersor (graus).

Deve-se verificar, no catálogo do fabricante, qual o comprimento máximo recomendado para a mangueira (tubo flexível). Também é necessário considerar em que local da área estão instalados os hidrantes.

Comprimento Total da Área (C_T)

$$C_T = A \div W \quad (38)$$

Em que

C_T = comprimento total da área (m);

A = área total a ser irrigada (m²);

W = comprimento da faixa irrigada (m).

Número de Faixas Irrigadas (N_F)

$$N_F = C_T \div L_F \quad (39)$$

Em que

N_F = número de faixas irrigadas;

C_T = comprimento total da área (m);

L_F = largura da faixa irrigada (m).

Intensidade de Precipitação Média (Imed) e Máxima (Imax)

$$\text{Imed} = Qa \div (\pi \cdot R^2) \quad (40)$$

$$\text{Imax} = 1,2732 \cdot \text{Imed} \quad (41)$$

Em que

Imed = intensidade de precipitação média (m h⁻¹);

Imax = intensidade de precipitação máxima (m h⁻¹);

Qa = vazão do aspersor (m³ h⁻¹);

R = alcance do jato do aspersor (m).

Tempo de Deslocamento por Faixa (T_D)

Pode-se determinar o tempo de deslocamento por faixa (T_D) pela seguinte equação:

$$T_D = (2 \cdot C) \div V_D \quad (42)$$

Em que

T_D = tempo de deslocamento por faixa (h);

C = comprimento da mangueira (m);

V_D = velocidade de deslocamento do autopropelido (m h⁻¹).

Lâmina Aplicada por Faixa (Z)

$$Z = (Q_a \cdot T_D \cdot Ef) \div (L_F \cdot W) \quad (43)$$

Em que

Z = lâmina aplicada por faixa (m);

Q_a = vazão do aspersor (m³ h⁻¹);

T_D = tempo de deslocamento por faixa (h);

Ef = eficiência de aplicação desejada (decimal);

L_F = largura da faixa irrigada (m);

W = comprimento da faixa irrigada (m).

Turno de Irrigação (T_I)

$$T_I = Z \div Et \quad (44)$$

Em que

T_I = turno de irrigação (dias);

Z = lâmina aplicada por faixa (m);

Et = evapotranspiração para o dimensionamento (m dia⁻¹).

Aplicação prática: dimensionar um sistema de irrigação mecanizada por autopropelido que irá irrigar uma área de aproximadamente 25 ha, com topografia relativamente plana. A velocidade do vento predominante na região é de 2,5 m s⁻¹, e a eficiência de aplicação de água do sistema é de 70%. Inicialmente a jornada de trabalho diária será de 12 horas. A evapotranspiração potencial é de 5,0 mm dia⁻¹.

Resolução:

$$\text{Vazão requerida: } Q = (250000 \cdot 0,005) \div (0,70 \cdot 12) = 148,81 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$$

Seleção do aspersor: Para a seleção, utilizaremos as informações do catálogo de um fabricante, apresentadas no Quadro 3.

Modelo	Vazão (m³/h)	Alcance (m)	Pressão de serviço (kgf/cm²)
ASP-I	158,93	72,5	7,0
	153,08	71,0	6,5
	146,99	69,0	6,0
	140,65	67,5	5,5
ASP-II	143,33	69,5	7,0
	138,05	68,5	6,5
	132,56	67,0	6,0
	126,83	65,5	5,5
<p><i>Os aspersores são do tipo setorial ($\theta = 330^\circ$); O comprimento da mangueira é de 200 m; A velocidade de deslocamento é regulável e varia de 40 a 90 m h⁻¹.</i></p>			

Quadro 3. Informações do catálogo de um fabricante.

1ª. Escolha: aspersor ASP-I com vazão de 146,99 m³ h⁻¹ (por ser a mais próxima da vazão requerida total aproximada), alcance de 69 m e pressão de serviço de 6 kgf cm⁻².

Cálculo da largura da faixa irrigada: $L_F = 1,6 \cdot 69 \cdot (1 - 0,02 \cdot 9,0) = 91$ m

Comprimento da faixa irrigada: $W = 2 \cdot 200 + 69 \cdot (330 \div 270) = 484$ m

Comprimento total da área: $C_T = 250000 \div 484 = 516,5 \rightarrow 517$ m

Número de faixas irrigadas: $N_F = 517 \div 91 = 5,7$ faixas

Se optarmos por trabalhar com cinco ou seis faixas, é necessário fazer o cálculo do tamanho da área irrigada para cada caso e verificar qual se aproxima mais do tamanho da área original (no caso, 25 ha):

5 faixas $\rightarrow (N_F \cdot L_F \cdot W) \div 10.000 = (5 \cdot 91 \cdot 484) \div 10.000 = 22$ ha

6 faixas $\rightarrow (N_F \cdot L_F \cdot W) \div 10.000 = (6 \cdot 91 \cdot 484) \div 10.000 = 26,4$ ha

Como nos dois casos acima o tamanho da área irrigada difere bastante da original, deve-se alterar a largura e o espaçamento das faixas escolhendo outro aspersor no catálogo ou alterando suas características operacionais.

2ª. Escolha: aspersor ASP-I com vazão de $140,65 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, alcance de $67,5 \text{ m}$ e pressão de serviço de $5,5 \text{ kgf cm}^{-2}$.

Deve-se notar que nesse caso o aspersor é do mesmo modelo do anterior, porém, como a pressão de serviço é menor, ocorre uma alteração significativa na vazão e no alcance do mesmo.

$$L_F = 1,6 \cdot 67,5 \cdot (1 - 0,02 \cdot 9,0) = 89 \text{ m}$$

$$W = 2 \cdot 200 + 67,5 \cdot (330 \div 270) = 483 \text{ m}$$

$$C_T = 250000 \div 483 = 517,6 \rightarrow 518 \text{ m}$$

$$N_F = 518 \div 89 = 5,8 \text{ faixas}$$

$$5 \text{ faixas} \rightarrow (N_F \cdot L_F \cdot W) \div 10.000 = (5 \cdot 89 \cdot 483) \div 10.000 = 21,5 \text{ ha}$$

$$6 \text{ faixas} \rightarrow (N_F \cdot L_F \cdot W) \div 10.000 = (6 \cdot 89 \cdot 483) \div 10.000 = 25,8 \text{ ha}$$

Se adotarmos o uso de seis faixas, o tamanho da área irrigada ficará bastante próximo da original. Poderia ser realizada uma nova escolha de aspersor ou alteradas novamente suas características operacionais (caso haja esta possibilidade no catálogo), se a área não permitisse variações em suas dimensões.

- *Intensidade de precipitação média (Imed) e máxima (Imax):*

$$\text{Imed} = 140,65 \div (3,1416 \cdot 67,5^2) = 0,00983 \text{ m h}^{-1} = 9,83 \text{ mm h}^{-1}$$

$$\text{Imax} = 1,2732 \cdot 0,00983 = 0,01252 \text{ m h}^{-1} = 12,52 \text{ mm h}^{-1}$$

De acordo com o catálogo, a velocidade de deslocamento (V_D) do autopropelido é regulável e varia de 40 a 90 m h^{-1} , e o comprimento da mangueira (C) é de 200 m . Desde que no centro da área fique instalada a tubulação principal com os hidrantes (Figura 34), esse comprimento de mangueira permite que o autopropelido se desloque em uma faixa de 400 m .

- *Tempo de deslocamento por faixa:* usando a velocidade mínima do autopropelido (40 m h^{-1}) temos,

$$T_D = 2 \cdot 200 \div 40 = 10 \text{ horas}$$

Como a jornada de trabalho proposta inicialmente é de 12 horas por dia, pode-se regular a velocidade de deslocamento do autopropelido para que ele trabalhe em duas faixas por dia, sendo 6 horas em cada uma:

$$6 = 2 \cdot 200 \div V_D \quad V_D = 400 \div 6 = 66,7 \text{ m h}^{-1}$$

Nesse caso regula-se a velocidade do autopropelido o mais próximo possível da calculada.

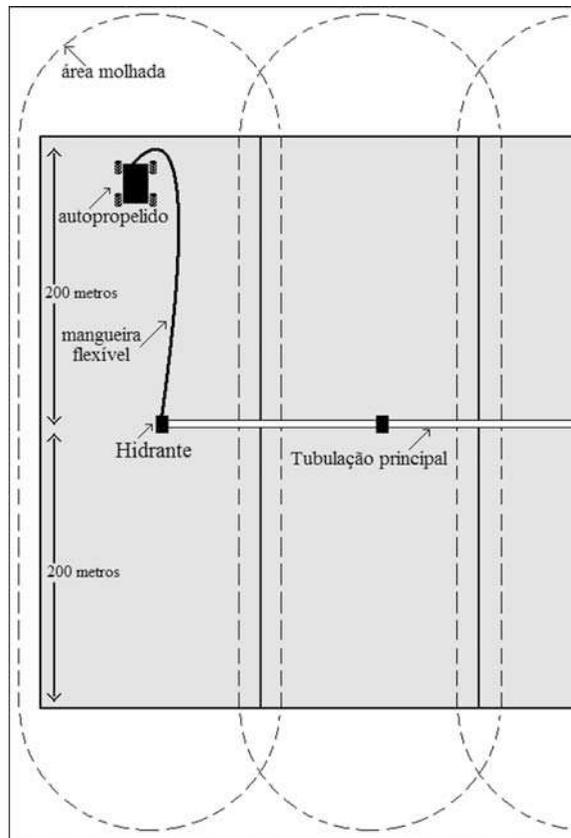


Figura 34. Faixa irrigada.

- *Lâmina aplicada por faixa:*

$$Z = 140,65 \cdot 6,67 \cdot 0,70 \div (89 \cdot 483) = 0,0153 \text{ m} = 15,3 \text{ mm}$$

- *Turno de irrigação:*

$$T_1 = 0,0153 \div 0,005 = 3,01 = 3 \text{ dias}$$



Figura 35. Autopropelido.

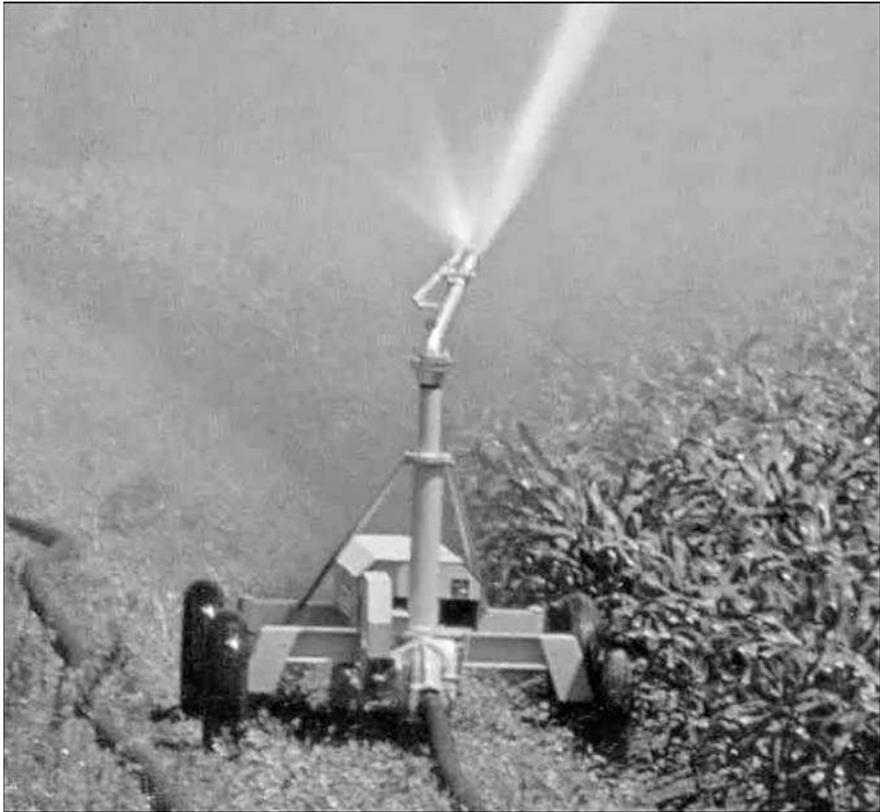


Figura 36. Autopropelido. (Fonte: www.clemson.edu/irrig/Equip/Trav.htm)



PARÂMETROS DE PROJETOS DE ASPERSÃO

Capítulo 3

3.1. INTRODUÇÃO

A definição de certos parâmetros envolvidos num projeto permite estipular a condição adequada de manejo e controle da irrigação, garantindo assim o sucesso da operação. Nesses parâmetros estão envolvidos itens como o tipo de cultura, as características do solo, seu estado e disponibilidade de água, as características do clima, as características técnicas do aspersor, etc.

De posse dessas informações e processando-as da maneira adequada podem-se determinar fatores importantes que são a quantidade de água a aplicar, o tempo gasto na irrigação, o intervalo entre irrigações consecutivas, o tempo de funcionamento do sistema, o número de seções irrigadas consecutivamente, o número de seções irrigadas por intervalo de tempo, a vazão necessária ao sistema, etc.

3.2. A CULTURA

Um dos primeiros procedimentos é a definição, obviamente, da cultura a ser irrigada (Figura 37). Deve-se procurar conhecer suas principais características, desde a fisiologia até as necessidades nutricionais. Isso é de grande valia na realização do projeto para fazer o cálculo, por exemplo, da quantidade ideal de água a ser aplicada.

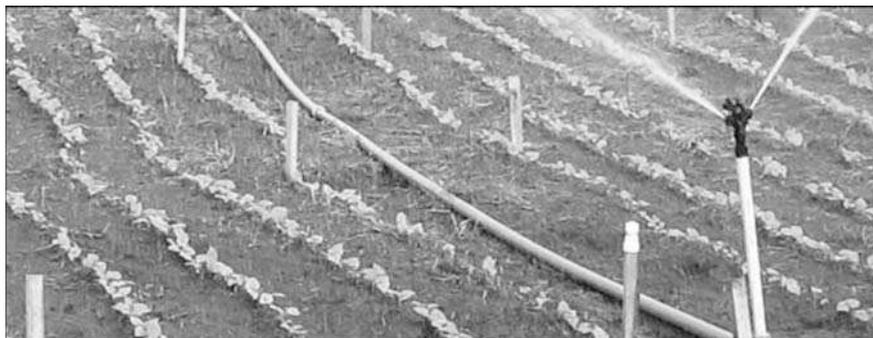


Figura 37. Cultura do feijão irrigado em estágio inicial.

Algumas culturas são mais tolerantes à ausência de água em períodos maiores. Outras não devem ser irrigadas em uma determinada época visando um melhor desenvolvimento. Em alguns casos a irrigação é necessária apenas como forma suplementar. O importante é ter em mãos o maior número possível de informações relevantes sobre a cultura que será irrigada.

Um projeto deve ser totalmente direcionado para a cultura e o local escolhidos, e para todas as condições periféricas que o envolvem. Não se pode projetar um sistema de irrigação para uma cultura em um ano e, no seguinte, mudar para outra sem alterar suas características iniciais.

3.3. O Solo

Para escolher o modelo do aspersor a ser utilizado e o espaçamento entre aspersores e entre linhas laterais (no caso da aspersão convencional) ou a lâmina a ser aplicada por volta (no caso do pivô central), deve-se conhecer a velocidade de infiltração básica de água do solo da área onde será instalada a irrigação (Figura 38), para que não ocorram perdas por escoamento superficial ou percolação profunda. Isso acontecerá sempre que o sistema de irrigação aplicar um volume maior de água que o solo consegue absorver.



Figura 38. Solo da área que será irrigada.

Também é de fundamental importância a determinação das características físico-hídricas do solo para estimar o movimento da água em seu interior.

3.4. O CLIMA

Ao realizar um projeto de irrigação em uma determinada área, deve-se fazer o levantamento do maior número de informações das características climáticas do local. Temperaturas máximas e mínimas, frequência, intensidade e duração das precipitações e, principalmente no caso da aspersão, direção, velocidade e frequência do vento.

3.5. A TOPOGRAFIA DA ÁREA

Dos sistemas de irrigação por aspersão anteriormente citados, são os mecanizados, em especial o pivô central, que maior limitação apresentam em relação à topografia (Figura 39). Por isso é necessário, antes de tudo, dispor de um mapa plani-altimétrico detalhado do local que se pretende irrigar.



Figura 39. Topografia da área.

3.6. A FONTE DE ÁGUA

Apesar de raramente ser realizado pela maior parte dos projetistas, um exame laboratorial dos parâmetros físicos, químicos e microbiológicos

da água a ser utilizada na irrigação é de extrema importância.

Análises microbiológicas são importantes quando se pretende irrigar culturas que serão consumidas “in natura”. O funcionamento e a durabilidade dos equipamentos podem ser bastante alterados pela qualidade físico-química da água. O solo também pode ter suas características afetadas pela água de irrigação.



Figura 40. Rio Aporé, Mato Grosso do Sul.

3.7. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DOS EQUIPAMENTOS

Escolher equipamentos de boa procedência, que tenham sido submetidos pelos seus fabricantes a rigorosos ensaios de qualidade e resistência e que apresentem o maior número de informações técnicas (Quadro 4), é a garantia de que dispõe o projetista para evitar futuros problemas em seu funcionamento.

<i>Características Operacionais do Aspensor Agropolo NY-30 código 2835-ER e 2864-ERL</i>									
Bocais diâmetro nominal (mm)	Pressão (mca)	Diâmetro alcance (m)	Altura máxima do jato (m)	Vazão (m ³ /h)	Espaçamento entre aspersores (m)				
					6x12	12x12	12x18	18x18	18x24
Intensidade de aplicação (mm/h)									
6,20 x 4,60	20	30,40	3,50	2,88	---	20,00	13,33	8,89	---
	25	31,60	3,80	3,22	---	22,36	14,91	9,94	---
	30	33,40	4,00	3,53	---	24,51	16,34	10,90	---
	35	35,20	4,20	3,81	---	26,46	17,64	11,76	8,82
	40	36,00	4,50	4,07	---	---	18,84	12,56	9,42
	45	36,80	4,60	4,32	---	---	20,00	13,33	---

Quadro 4. Informações técnicas do catálogo da Agropolo.

MANEJO DA IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO

Capítulo 4

4.1. INTRODUÇÃO

Para que um sistema de irrigação funcione de maneira eficiente e uniforme, seja ele por aspersão, localizada ou de superfície, deve-se realizar o manejo correto da quantidade e da frequência de aplicação de água, para que não haja excesso ou deficiência hídrica no solo e na cultura.

Existem vários métodos e equipamentos para o manejo da irrigação, sendo que a escolha mais adequada a cada caso cabe ao projetista em conjunto com o irrigante, e dependerá de diversos fatores. Serão apresentados aqui alguns métodos mais práticos que não necessitam de equipamentos de custo muito elevado.

4.2. MANEJO DA IRRIGAÇÃO ATRAVÉS DE TENSÍOMETROS

Pode-se monitorar o teor de água no solo através dos tensiômetros (Figura 42), que indicam o potencial mátrico de água no solo e indiretamente a porcentagem de água presente no mesmo.



Figura 41. Tensiômetro com vacuômetro acoplado.

Os tensiômetros devem ser instalados em função da profundidade efetiva do sistema radicular da cultura em diversos pontos representativos da área irrigada. Seu princípio de funcionamento se baseia na troca da água que existe no seu interior (colocada previamente) com o solo, por meio de uma cápsula cerâmica porosa.

Quando o solo apresentar baixa umidade, haverá a sucção da água que está no tensiômetro, gerando dentro do aparelho um vácuo cuja grandeza ficará indicada momentaneamente em um vacuômetro ou em uma coluna de mercúrio. Ao atingir um valor pré-estabelecido, deve-se proceder a irrigação da área.

Após o solo ser restituído de sua umidade ideal ou entrar em capacidade de campo, inicia-se um processo inverso ao descrito anteriormente, ou seja, o tensiômetro succionará a água do solo, diminuindo o vácuo em seu interior.

Apesar de ser um aparelho bastante prático, o tensiômetro apresenta algumas limitações técnicas. Uma delas é o fato de funcionar bem, até um valor de 0,8 atmosferas, que, se ultrapassado, acarretará na entrada de ar no aparelho, deixando-o inoperante. Por isso é mais aconselhável utilizar os tensiômetros em solos mais arenosos em vez de argilosos, que podem reter água em quantidade significativa acima de 0,8 atmosferas.

Outra limitação é o atraso real que ocorre entre a leitura registrada no aparelho e a variação de umidade do solo, que pode ser da ordem de algumas horas podendo chegar a dias. Por isso é importante fazer o procedimento de início ou suspensão da irrigação considerando esse fator, procurando “calibrar” o tensiômetro para as condições locais.

Instalação

Com o auxílio de um trado, com diâmetro semelhante ao do tensiômetro, abre-se um buraco no local e na profundidade escolhidos para inseri-lo. É necessário assegurar que toda a cápsula porosa ficará em contato com o solo no fundo do buraco. Para que isso ocorra, coloca-se no momento da instalação do aparelho um pouco de terra solta no buraco.

Recomenda-se instalar o tensiômetro no solo quando estiver na capacidade de campo. Meia hora após a instalação, o aparelho já terá condições de fornecer leituras da tensão da água no solo.

Componentes de um Tensiômetro

Um tensiômetro é composto basicamente por um tubo de PVC branco, uma cápsula porosa de cerâmica e uma tampa hermética. Se for do tipo mercúrio, ainda possuirá o espaguete, a cuba com mercúrio e um suporte graduado (Figura 43 A).

Se for com vacuômetro acoplado, possuirá um dispositivo de mesmo nome, cuja função é indicar o valor de tensão de água no solo (Figura 43 B).

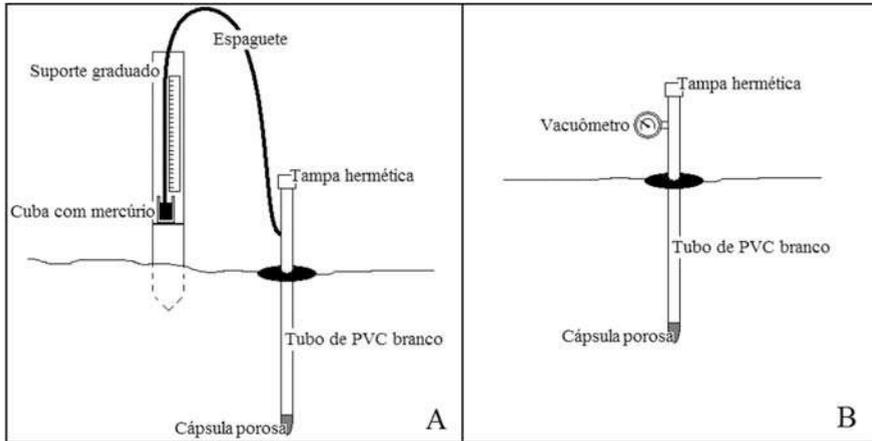


Figura 43. Tensiômetro de mercúrio e de vacuômetro.

Como Operar os Tensiômetros

Segundo Silveira e Stone (2001), em um tensiômetro com vacuômetro acoplado, a tensão de água do solo é calculada pela equação:

$$T = 0,01 \cdot (L - 0,098 \cdot h) \quad (45)$$

Em que

T = tensão de água no solo (kPa);

L = leitura do vacuômetro (kPa);

h = altura da coluna d'água dentro do tensiômetro (cm).

Em um tensiômetro de mercúrio é necessário conhecer alguns parâmetros (Figura 44) e realizar um cálculo, utilizando a seguinte expressão:

$$T = 0,001 \cdot (12,6 \cdot h_2 - h_1) \quad (46)$$

Em que

T = tensão de água no solo (kPa);

h_2 = altura da coluna de mercúrio a partir da cuba (cm);

h_1 = distância da cuba até a cápsula porosa (cm).

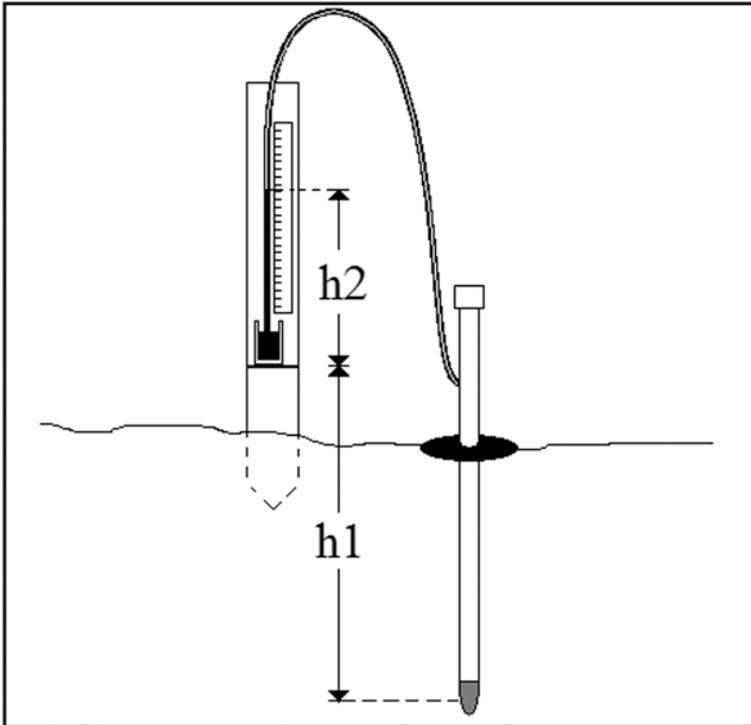


Figura 43. Tensiômetro de mercúrio.

Ambos os tensiômetros, de mercúrio e de vacuômetro, fornecem os valores de tensão de água no solo, e não o valor da umidade. Para saber qual o valor percentual de água presente no solo em um determinado momento é necessário a obtenção de uma *curva de retenção de água do solo*.

Essa curva é obtida através de ensaios em amostras de solo indeformadas, coletadas na área em que se pretende realizar o manejo da irrigação, em diversas profundidades. Essas amostras são saturadas em laboratório e colocadas em câmaras especiais (chamadas de extratores de Richards), onde são submetidas a valores de pressão pré-estabelecidos por um determinado período de tempo.

Durante esse tempo, a água contida na amostra de solo começa a ser extraída até que a tensão na mesma atinja um valor de equilíbrio com a pressão exercida, só que com sinal contrário. Nesse momento a tensão de água no solo é numericamente igual ao valor da pressão exercida. Determina-se então a porcentagem de água presente na amostra.

Devem ser coletadas várias amostras indeformadas de solo em uma mesma profundidade, que serão submetidas a diferentes valores de pressão, fornecendo assim vários pontos que permitem traçar o gráfico da curva de retenção para aquela profundidade. É importante também traçar mais de uma curva de retenção, uma para cada faixa de profundidade do solo, como é apresentado na Figura 45.

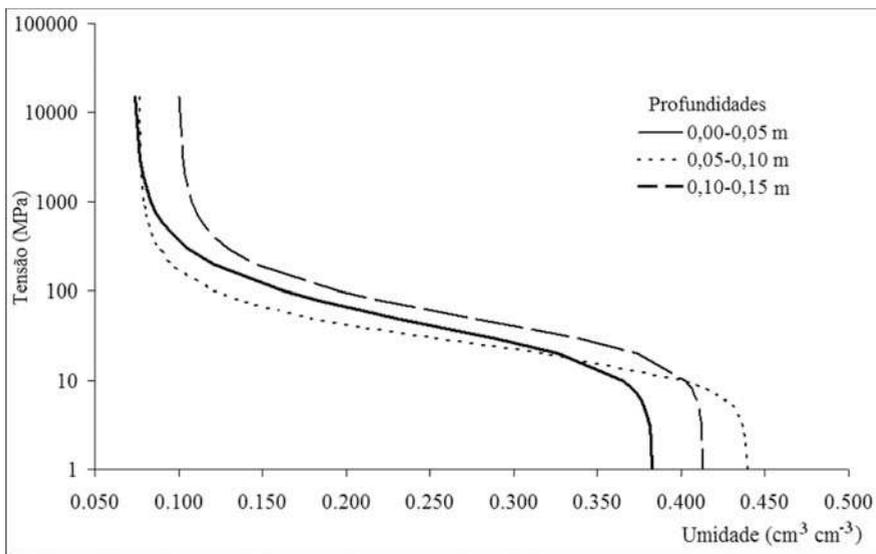


Figura 44. Curvas de retenção para cada faixa de profundidade do solo.

Recomenda-se instalar os tensiômetros em vários pontos da área irrigada e trabalhar com a média dos valores observados. Esse procedimento evita eventuais erros, podendo-se descartar leituras muito diferentes da média.

Os tensiômetros devem ser instalados a $\frac{1}{4}$ da profundidade do sistema radicular da cultura que será irrigada. Atualmente várias culturas possuem determinadas as faixas de tensão de água no solo em que se deve iniciar ou suspender as irrigações, devendo então o irrigante conhecer esses valores

e realizar a verificação diária das leituras dos tensiômetros. Por exemplo, para a determinada hortaliça, a irrigação deve ser iniciada quando a leitura do aparelho indicar 40 kPa.

Pode-se optar também por instalá-los aos pares: a $\frac{1}{4}$ e a $\frac{3}{4}$ da profundidade do sistema radicular da planta. O procedimento para o início ou suspensão da irrigação é bastante semelhante ao anterior. Neste caso, porém, a irrigação será iniciada quando o que estiver a $\frac{1}{4}$ da profundidade indicar a tensão correspondente a tal procedimento. A irrigação deverá ser suspensa quando o tensiômetro instalado a $\frac{3}{4}$ da profundidade das raízes da cultura começar alterar a sua leitura.

Deve-se verificar também se não ocorreu entrada de ar no aparelho, o que pode ser indicado pela paralisação do seu funcionamento. Nesse caso, retira-se a tampa hermética e completa-se o aparelho com água destilada até a saída de eventuais bolhas de ar, fechando-o novamente.

4.3. MANEJO DA IRRIGAÇÃO POR PESAGEM DE AMOSTRAS DE SOLO

Esse método de manejo consiste na verificação da umidade do solo através de amostras retiradas na área de cultivo. Com base nessa informação realiza-se ou não a irrigação.

Coleta-se uma amostra inicial representativa de solo do local que se pretende irrigar. Essa amostra é levada para um laboratório e seca em estufa a 105 °C, durante aproximadamente 24 horas. São colocadas 100 gramas da amostra seca em um balão volumétrico de 500 mL (Figura 46).



Figura 45. Amostra de solo e balão volumétrico de 500 ml.

Em seguida, o balão volumétrico é completado com água (até a marca de 500 ml) e pesado em balança de precisão (Figura 47). O P1 (peso padrão) obtido em gramas é o somatório dos pesos do próprio balão volumétrico vazio, do solo seco em estufa e da água que foi adicionada para completar 500 mL.

Para saber em qualquer momento qual é o valor da umidade do solo deve-se coletar uma nova amostra, colocar em um recipiente fechado e levar ao laboratório. Então coloca-se 100 gramas desse solo ainda úmido no balão volumétrico vazio, completa-se novamente com água até a marca de 500 ml e realiza-se uma nova pesagem, obtendo-se o P2 (peso atual) em gramas.

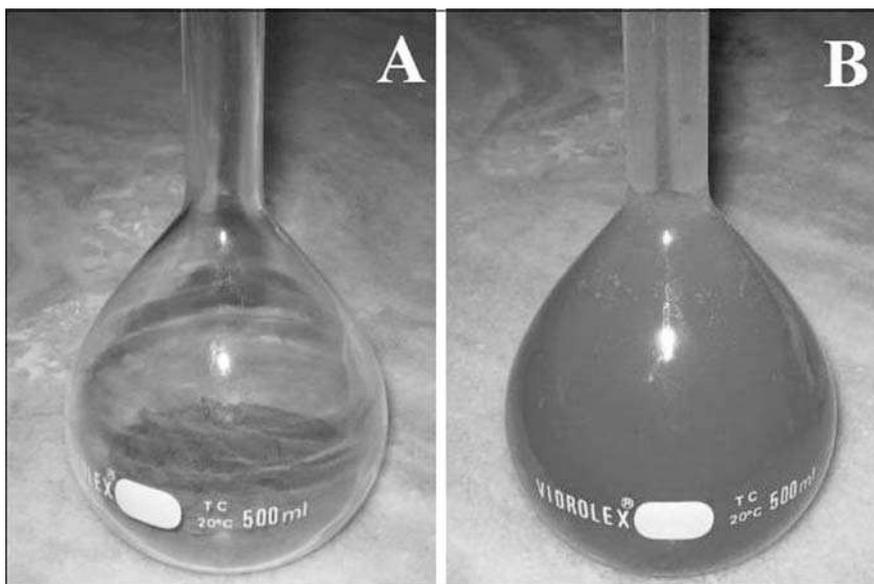


Figura 46. Balão volumétrico com 100 gramas de solo antes (A) e depois (B) de se colocar água.

O peso P2 é o somatório dos pesos do próprio balão volumétrico vazio, do solo úmido e da água que foi adicionada para completar 500 ml. Determina-se então o peso da umidade do solo utilizando-se a seguinte equação:

$$\text{Umidade do solo (peso)} = (P1 - P2) \cdot (ds \div (ds - 1)) \quad (47)$$

Em que

d_s = densidade real do solo ($2,65 \text{ gr cm}^{-3}$).

O valor do peso da umidade do solo pode ser apresentado também em porcentagem utilizando-se a seguinte expressão:

$$\text{Umidade do solo (\%)} = (100 \cdot U_{\text{peso}}) \div (100 - U_{\text{peso}}) \quad (48)$$

4.4. MANEJO DA IRRIGAÇÃO POR EVAPOTRANSPIRAÇÃO

O manejo da irrigação por meio de um tanque evaporímetro “Classe A” (Figura 48) pode ser realizado das seguintes maneiras:



Figura 47. Tanque evaporímetro “Classe A”.

a) Fixando-se um turno de rega:

$$\text{TR} = \text{LL} \div \text{ETm} \quad (49)$$

Em que

TR = intervalo entre irrigações consecutivas (dias);

LL = lâmina líquida (mm);

ETm = evapotranspiração máxima (mm dia^{-1}).

$$\text{LL} = \text{AD} \cdot f \quad (50)$$

Em que

AD = água disponível no solo ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$);

f = fração de água que pode ser extraída do solo (decimal).

$$AD = 0,1 \cdot (CC - PMP) \cdot dg \cdot z \quad (51)$$

Em que

CC = capacidade de campo (%);

PMP = ponto de murcha permanente (%);

dg = densidade global (g cm^{-3});

z = profundidade do sistema radicular (cm).

Os valores de capacidade de campo (CC) e ponto de murcha permanente (PMP) podem ser obtidos com a curva de retenção de água do solo, nas tensões de 0,1 atm e 15 atm.

b) Fixando-se um valor para a lâmina d'água:

$$LL = AD \cdot f \quad (52)$$

O valor da lâmina líquida (mm) será igual ao da evapotranspiração máxima (mm dia^{-1}). A irrigação será realizada quando a evapotranspiração acumulada atingir esse valor.

c) Realizando-se a medição do consumo de água:

$$Hi - ETc + P + I = S \quad (53)$$

Em que

Hi = lâmina hídrica a ser aplicada (mm);

ET = evapotranspiração da cultura (mm);

P = precipitação (mm);

I = irrigação (mm);

S = saldo de umidade retirada do solo (mm).

A irrigação terá início quando o saldo de umidade se aproximar de zero.



INVESTIGAÇÕES BÁSICAS DE CAMPO

Capítulo 5

5.1. INTRODUÇÃO

Antes de iniciar um projeto de irrigação é necessária a determinação de alguns parâmetros básicos para os cálculos do projeto, além das tradicionais análises físico-químicas do solo, e, depois de instalado o sistema, é preciso realizar periodicamente reavaliações de campo, para garantir a uniformidade e eficiência da irrigação.

5.2. DETERMINAÇÃO DA VAZÃO DE UM CURSO D'ÁGUA

No dimensionamento de um sistema de irrigação, seja ele qual for, é necessário primeiramente determinar a quantidade de água disponível para o projeto. Esta poderá ser oriunda de um poço, reservatório, canal ou curso d'água natural.

No caso dos poços, no momento de sua perfuração, geralmente são realizados testes de bombeamento que determinam sua vazão. Em reservatórios, a capacidade de armazenamento é facilmente determinada com base nas suas dimensões, restando saber qual é a sua capacidade de reposição.

Em canais e em cursos d'água pode-se realizar um ensaio relativamente simples para a determinação da vazão.

Realização do Ensaio

Deve-se escolher no curso d'água um local mais próximo possível de onde será instalada a tubulação de sucção, e que apresente um trecho retilíneo com pelo menos 10 m de comprimento (Figura 49). São realizadas duas determinações nesse ensaio: a velocidade média da água e a dimensão da área da seção transversal de escoamento.

Os materiais necessários para o ensaio são: uma garrafa PET de 500

mL com tampa (que será o flutuador), uma trena, um rolo de barbante grosso (ou duas cordas), um cronômetro, uma vara de bambu ou de madeira, quatro estacas, fita crepe, marreta e material para anotação. _



Figura 48. Local onde será realizada a determinação da vazão curso d'água.

Determinação da Velocidade Média da Água

Primeiramente se deve demarcar no curso d'água um trecho de 10 m de comprimento, prendendo-se o barbante ou a corda em estacas fixadas em ambas as margens, no início e no final do trecho avaliado (Figura 50).

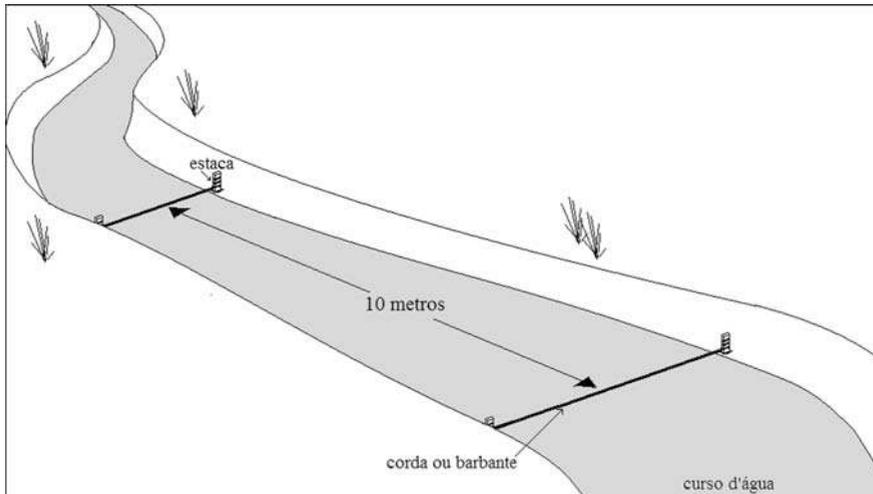


Figura 49. Demarcação do trecho a ser avaliado.

Solta-se então o flutuador (a garrafa PET de 500 mL tampada, com um pouco de terra e água em seu interior) bem no meio do curso d'água, a um ou dois metros do início do trecho demarcado. Assim que o flutuador passar pela primeira corda, aciona-se o cronômetro e, quando passar pela segunda, desliga-se o mesmo, marcando o tempo gasto para percorrer os 10m (Figura 51).

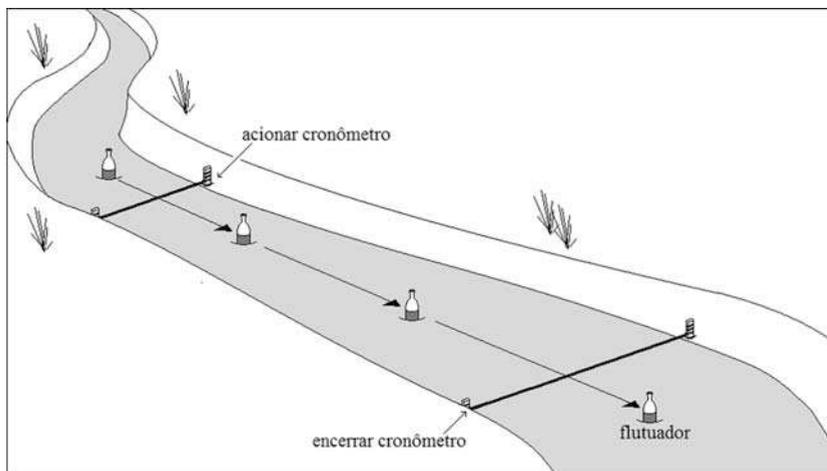


Figura 50. Flutuador percorrendo o trecho de 10 m.

A terra misturada com água que é colocada no interior da garrafa PET permite que ela permaneça na posição vertical, com aproximadamente 50% do seu volume dentro da água (Figura 52).

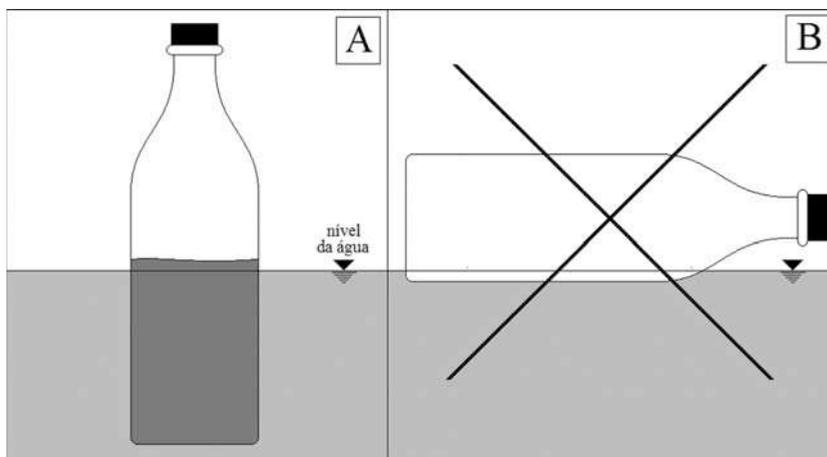


Figura 51. Forma correta (A) e forma incorreta (B).

Deve-se repetir o procedimento pelo menos cinco vezes, sempre da mesma maneira e fazendo com que o flutuador faça sempre o mesmo percurso. Calcula-se então a média das leituras de tempo e obtém-se a velocidade em metros por segundo. A velocidade encontrada ainda não é a média, mas a da superfície. Para obter a velocidade média deve-se multiplicar o valor por 0,85.

$$\text{Velocidade média (m s}^{-1}\text{)} = \text{velocidade na superfície (m s}^{-1}\text{)} \times 0,85 \quad (54)$$

Determinação da Área da Seção Transversal

Para determinar a área da seção transversal de escoamento é necessária a utilização de uma vara de qualquer material, cujo comprimento dependerá da profundidade do curso d'água.

Aproveitando a corda colocada no final do percurso onde se determinou a velocidade média da água, divide-se a mesma (que deve estar colocada próxima a superfície da água) com auxílio de um barbante ou uma fita adesiva em vários pequenos segmentos equidistantes, conforme é apresentado na Figura 53.

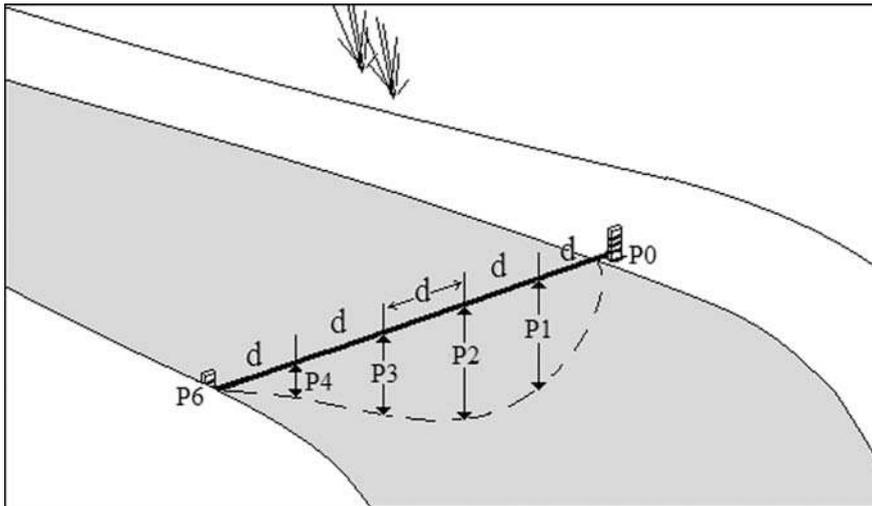


Figura 52. Área da seção transversal.

Em cada ponto de encontro entre um segmento e outro deve-se inserir a vara e medir a distância do nível da água nesse ponto até o fundo do rio (profundidade). Com esses valores determinados é possível o cálculo de

pequenas subáreas que, somadas, irão compor a área total da seção. Cada subárea é calculada pela seguinte equação:

$$A = ((P_a + P_p) \div 2) \cdot d \quad (55)$$

Em que

A = área (m²);

P_a = profundidade anterior (m);

P_p = profundidade posterior (m);

d = comprimento do segmento (m), que deverá ser igual para todas as subáreas.

A área da seção transversal do curso d'água (A_T), em metros quadrados, é dada pelo somatório de todas as subáreas:

$$A_T = A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n \quad (56)$$

Determinação da Vazão

Com o valor da velocidade em metros por segundo e o da seção transversal em metros quadrados, determina-se a vazão utilizando a seguinte equação:

$$Q = A \cdot V \quad (57)$$

Em que

Q = vazão do curso d'água (m³ s⁻¹);

A = área da seção transversal (m²);

V = velocidade média da água (m s⁻¹).

5.3. TESTE DE INFILTRAÇÃO DE ÁGUA NO SOLO

Este é um ensaio que visa determinar a velocidade de infiltração básica (VIB), que é fundamental na escolha do aspersor. Utiliza-se um aparelho bastante simples, o infiltrômetro de anéis concêntricos (Figura 53).

Esse aparelho é composto por um anel menor com diâmetro de 25 cm e altura de 30 cm e um anel maior com diâmetro de 50 cm e mesma altura do anterior. Podem ser confeccionados em serralherias, tomando-se o cuidado de utilizar chapas metálicas resistentes. Deve-se fazer um corte em

forma de bisel na parte inferior e colocar alças na parte superior, conforme a Figura 53, para facilitar sua penetração e retirada no solo.

Nesse ensaio cravam-se os dois anéis (concentricamente) com auxílio de uma marreta, na área em que se deseja determinar a VIB, ambos na profundidade de 15 cm. Um pedaço de madeira pode ser utilizado para proteger as bordas dos anéis do impacto da marreta. O solo deve estar limpo de cobertura vegetal (Figura 54).



Figura 53. Infiltrômetro de anéis concêntricos.



Figura 54. Ensaio de infiltração de água utilizando os anéis concêntricos.

Após colocados, os anéis são cheios com água e deixados no local escolhido por pelo menos 24 horas antes do início do teste. Essa saturação com água é necessária para o rearranjo das partículas do solo revolvido no preparo do local e pela própria instalação.

Realização do Ensaio

Coloca-se a água simultaneamente em ambos os anéis de modo que o nível da água no anel interno fique a 5 cm da borda. Nesse instante é realizada a primeira leitura, com auxílio de uma régua, e é disparado o cronômetro. Não se deve permitir que a variação do nível da água no interior do anel de tamanho menor seja superior a 2 cm.

Caso o solo apresente uma rápida infiltração (solos muito permeáveis), o tempo entre leituras será determinado pela variação do nível da água. Caso contrário, os tempos de leituras serão pré-determinados conforme a planilha de campo (Quadro 5). Sempre que for realizada a reposição de água deve-se anotar a leitura da régua antes e depois da reposição.

Tempo (min)	Leitura (mm)
0	
5	
10	
15	
20	
30	
45	
60	
90	
120	

Quadro 5. Planilha de campo.

Após a realização do ensaio de campo, iniciam-se os cálculos de escritório na planilha de escritório I (Quadro 6).

		Régua			Infiltração	
Tempo (T) (min)	Intervalo (min)	Leitura (cm)		Diferença (cm)	I (mm)	VI (mm/h)
		normal	abastecimento			
0	0					
5	5					
10	5					
15	5					
20	5					
30	10					
45	15					
60	15					
90	30					
120	30					

Quadro 6. Planilha de escritório I.

Na coluna “normal” são anotados os valores medidos na régua nos intervalos de tempo em minutos. Quando o nível da água dentro do anel menor baixar e chegar próximo da variação permitida, realiza-se o reabastecimento de água nos anéis, até o valor máximo de 5 cm da borda, sendo então esse novo valor marcado na coluna “abastecimento”.

As demais colunas são calculadas da seguinte maneira:

- Diferença: diferença entre valores de leitura.
- Intervalo: diferença de tempo entre leituras. (Ex: entre o tempo de 30 minutos e 45 minutos, o intervalo é de 15 minutos.)
- Infiltração (I): soma dos valores de diferença.
- Velocidade de infiltração (VI): diferença ÷ (intervalo ÷ 60)

Deve-se então traçar os gráficos de velocidade de infiltração e infiltração acumulada.

Determinação da Equação da Infiltração Acumulada

A equação da infiltração acumulada é dada pela seguinte expressão geral:

$$I = C \cdot T^n \text{ (mm)}$$

(58)

Em que

I = infiltração acumulada (mm);

C = constante que depende do solo;

T = tempo de infiltração (min);

n = constante que depende do solo (varia de 0 a 1).

Para determinar as constantes C e n deve-se aplicar logaritmo na equação 59, transformando-a numa equação de uma reta:

$$\text{Log (I)} = \text{Log (C)} + n \cdot \text{Log (T)} \quad (59)$$

A equação é obtida por regressão linear através de processo analítico em que:

$$(\text{Log I} = Y) = (\text{Log C} = A) + (n = B) \cdot (\text{Log T} = X) \quad (60)$$

Resultando em:

$$Y = A + B \cdot X \quad (61)$$

(que é a equação de uma reta)

Os valores de X e Y são obtidos na planilha de escritório II (Quadro 7).

N (pares)	Tempo (T) min	I mm	X (log T)	Y (log I)	X * Y	X ²
1	5					
2	10					
3	15					
4	20					
5	30					
6	45					
7	60					
8	90					
9	120					

Quadro 7. Planilha de escritório II.

Devem ser também calculados:

- O somatório dos valores de X (ΣX) e a média dos valores de X (X_{med});
- O somatório dos valores de Y (ΣY) e a média dos valores de Y (Y_{med});
- O somatório dos valores de X multiplicado por Y (ΣXY);
- O somatório dos valores de X elevado ao quadrado (ΣX^2).

Os valores de B (n), A e C podem ser calculados utilizando os resultados do Quadro 6.

$$B = \frac{\Sigma (XY) - \frac{\Sigma X \cdot \Sigma Y}{N}}{\frac{\Sigma X^2 - \frac{(\Sigma X)^2}{N}}{N}} \quad (62)$$

Em que

N = número de pares de X e Y.

$$A = Y_{med} - B \cdot X_{med} \quad (63)$$

$$C = 10^A \quad (64)$$

A infiltração acumulada será dada pela equação 59.

Determinação da Velocidade de Infiltração Básica

A velocidade de infiltração básica (VIB) é a velocidade de infiltração em um solo no momento que a variação da mesma em relação ao tempo é muito pequena (a velocidade de infiltração permanece quase constante).

$$VIB = 60.C.n \left[\frac{-0,01}{60.C.n.(n-1)} \right]^{\frac{n-1}{n-2}} \text{ mm h}^{-1} \quad (65)$$

Segundo Mantovani et al. (2006), a velocidade de infiltração básica (VIB) pode ser assim classificada:

- VIB > 30 mm h⁻¹: muito alta
- VIB entre 15 e 30 mm h⁻¹: alta
- VIB entre 5 a 15 mm h⁻¹: média
- VIB < 5 mm h⁻¹: baixa

Aplicação prática: realizou-se um ensaio de infiltração em uma área cujo solo está classificado como Neossolo Quartzarênico. Os resultados das leituras de infiltração *versus* tempo estão apresentados na planilha de campo (Quadro 8). Determine a velocidade de infiltração básica (VIB) e a equação da infiltração acumulada.

Tempo (min)	Leitura (mm)	
	normal	abastecimento
0	130,0	
5	116,0	130,0
10	119,0	
15	112,0	130,0
20	125,0	
30	112,0	130,0
45	111,0	130,0
60	112,0	130,0
75	110,0	130,0
90	110,0	130,0
105	111,0	130,0
120	110,0	130,0
135	110,0	130,0
150	110,0	130,0
165	110,0	130,0
180	111,0	

Quadro 8. Leituras de infiltração *versus* tempo.

Resolução:

De posse dos dados de campo, realizam-se os cálculos na planilha de escritório I (Quadro 9).

Tempo (min)	Intervalo (min)	Régua			Infiltração	
		leitura (mm)		diferença	I	VI
		normal	abastecimento	(mm)	(mm)	(mm h ⁻¹)
0	0	130,0		0		
5	5	116,0	130,0	14,0	14,0	168,0
10	5	119,0		11,0	25,0	132,0
15	5	112,0	130,0	7,0	32,0	84,0
20	5	125,0		5,0	37,0	60,0
30	10	112,0	130,0	13,0	50,0	78,0
45	15	111,0	130,0	19,0	69,0	76,0
60	15	112,0	130,0	18,0	87,0	72,0
75	15	110,0	130,0	20,0	107,0	80,0
90	15	110,0	130,0	20,0	127,0	80,0
105	15	111,0	130,0	19,0	146,0	76,0
120	15	110,0	130,0	20,0	166,0	80,0
135	15	110,0	130,0	20,0	186,0	80,0
150	15	110,0	130,0	20,0	206,0	80,0
165	15	110,0	130,0	20,0	226,0	80,0
180	15	111,0		19,0	245,0	76,0

Quadro 9. Cálculos da planilha de escritório I.

Deve-se então traçar os gráficos de velocidade de infiltração e infiltração acumulada (Figuras 56 e 57). Para a determinação da infiltração acumulada e da velocidade básica de infiltração, utiliza-se a planilha de escritório II (Quadro 10).

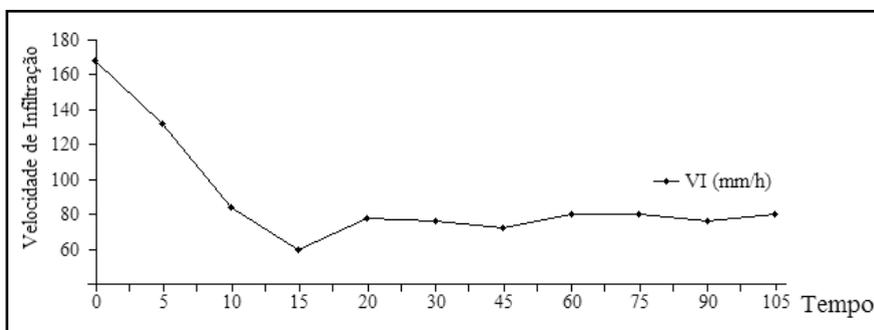


Figura 55. Velocidade de infiltração.

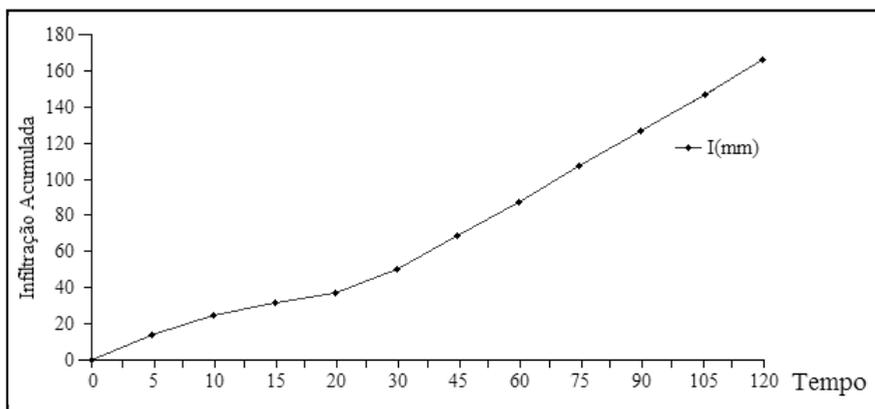


Figura 56. Infiltração acumulada.

N (pares)	Tempo (T) m	I mm	X (log T)	Y (log I)	X * Y	X ²
1	5	14	0,69897	1,14613	0,80111	0,48856
2	10	25	1,00000	1,39794	1,39794	1,00000
3	15	32	1,17609	1,50515	1,77019	1,38319
4	20	37	1,30103	1,56820	2,04028	1,69268
5	30	50	1,47712	1,69897	2,50958	2,18189
6	45	69	1,65321	1,83885	3,04001	2,73311
7	60	87	1,77815	1,93952	3,44876	3,16182
8	75	107	1,87506	2,02938	3,80522	3,51585
9	90	127	1,95424	2,10380	4,11134	3,81906
10	105	146	2,02119	2,16435	4,37457	4,08521
11	120	166	2,07918	2,22011	4,61601	4,32299
12	135	186	2,13033	2,26951	4,83482	4,53832
13	150	206	2,17609	2,31387	5,03519	4,73537
14	165	226	2,21748	2,35411	5,22020	4,91724
15	180	245	2,25527	2,38917	5,38822	5,08625

Quadro 10. Determinação da infiltração acumulada e da velocidade básica de infiltração.

- $\Sigma X = 25,79343$ e $X_{med} = 1,71956$;
- $\Sigma Y = 28,93906$ e $Y_{med} = 1,92927$;
- $\Sigma XY = 52,39343$ e $\Sigma X^2 = 47,66155$.

$$\mathbf{B(n)} = \frac{52,39943 - 25,79343 \cdot 28,93906}{47,66155 - \frac{(25,79343)^2}{15}} = \mathbf{0,7953}$$

$$\mathbf{A} = 1,92927 - 0,7953 \cdot 1,71956 = \mathbf{0,5617}$$

$$\mathbf{C} = 10^{0,5617} = \mathbf{3,6453}$$

$$\mathbf{VIB} = 60,3,6453 \cdot 0,7953 \left[\frac{-0,01}{60,3,6453 \cdot 0,7953 \cdot (0,7953 - 1)} \right]^{\frac{0,7953-1}{0,7953-2}} = \mathbf{43,34 \text{ mm h}^{-1}}$$

A velocidade básica de infiltração (VIB) foi de 43,34 mm h⁻¹, o que pode ser considerado muito alto (maior que 30 mm h⁻¹). A equação da infiltração acumulada ficou assim determinada:

$$I = 3,6453 \cdot T^{0,7953} \text{ (mm)}$$

Em que

I = infiltração acumulada (mm);

T = tempo (minutos).

5.4. ENSAIO DE UNIFORMIDADE DE APLICAÇÃO DE ÁGUA

Este ensaio pode ser realizado em apenas um aspersor isolado ou em um sistema de irrigação já em funcionamento.

Para a determinação da uniformidade de aplicação de água, deve-se instalar um conjunto de coletores eqüidistantes em torno do aspersor a ser testado. A duração mínima do ensaio é de 120 minutos, devendo ser medidos a pressão de operação (Figura 57), a vazão no(s) bocal(is) do aspersor (Figura 58), a direção e velocidade do vento e, ao final do ensaio, o volume ou lâmina d'água depositada em cada coletor (Figura 59).



Figura 57. Medição da pressão de operação na base do aspersor.



Figura 58. Determinação da vazão do aspersor.



Figura 59. Determinação da quantidade de água depositada em cada coletor.

Realização do Ensaio

Deve-se dividir a área ao redor do aspersor em subáreas quadradas (2 x 2 m, 3 x 3 m, etc.), de mesmas dimensões (Figura 60). Os coletores são colocados no centro de cada subárea.

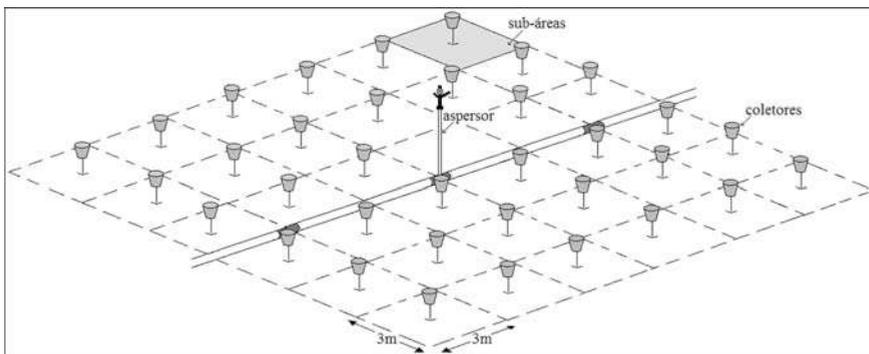


Figura 60. Coletores colocados no centro de cada subárea.



Figura 61. Coletor.



Figura 62. Realização do ensaio.

O resultado desse teste representa o desempenho de um único aspersor; porém na irrigação no campo existe uma superposição de vários aspersores sobre uma mesma área. Para determinar a uniformidade de distribuição do sistema, tem-se que considerar qual é a forma de distribuição dos aspersores no campo (retangular, quadrada, triangular) e simular as diversas combinações entre aspersores ao longo da linha lateral e entre linhas laterais, fazendo a superposição para cada caso.

Na sobreposição levam-se em consideração as precipitações sobre a área de quatro aspersores, calculando a uniformidade com os totais superpostos em cada coletor. Para fazer a determinação de uniformidade em um sistema de irrigação já instalado no campo devem-se dispor os coletores

entre quatro aspersores de duas linhas laterais, não sendo necessário sobrepor os dados.

Determinação da Uniformidade de Aplicação

Utiliza-se a equação do *Coefficiente de Uniformidade de Christiansen* (CUC) para determinar a uniformidade de aplicação:

$$CUC = 100 * \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^n |Xi - Xm|}{n * Xm} \right] \quad (66)$$

Em que

CUC = Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (%);

Xm = média dos valores observados nos coletores (mL);

n = número de coletores na área simulada;

Xi = quantidade de água observada em cada coletor (mL).

Aplicação prática: realizou-se um ensaio de uniformidade de aplicação de água de um aspersor, estando os coletores instalados em subáreas de 3 x 3 m. A Figura 63 apresenta os volumes de água, em mililitros, em cada coletor.

Determine a uniformidade de aplicação de água, simulando a irrigação para um espaçamento de 12 x 12 m entre aspersores. A pressão medida na base do aspersor foi de 14 m.c.a. e a vazão foi de 2,4 m³ h⁻¹. Não houve ocorrência de vento durante o ensaio.

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	7	18	28	21	9	0	0
0	0	10	30	25	26	31	17	0	0
0	11	25	22	18	18	19	25	19	0
0	22	26	21	52	54	24	19	28	0
0	25	23	42	86	84	56	19	29	0
0	22	27	33	96	93	47	21	27	0
0	12	28	29	38	39	24	27	23	0
0	0	13	25	31	30	27	20	6	0
0	0	0	7	14	17	12	5	0	0
0	0	0	8	25	32	25	10	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

● Aspersor

Figura 63. Dados coletados no campo no ensaio de uniformidade de aplicação.

Resolução: primeiramente é realizada uma simulação com os dados observados, sobrepondo os valores obtidos para o espaçamento de 12 x 12 m (Figura 64):

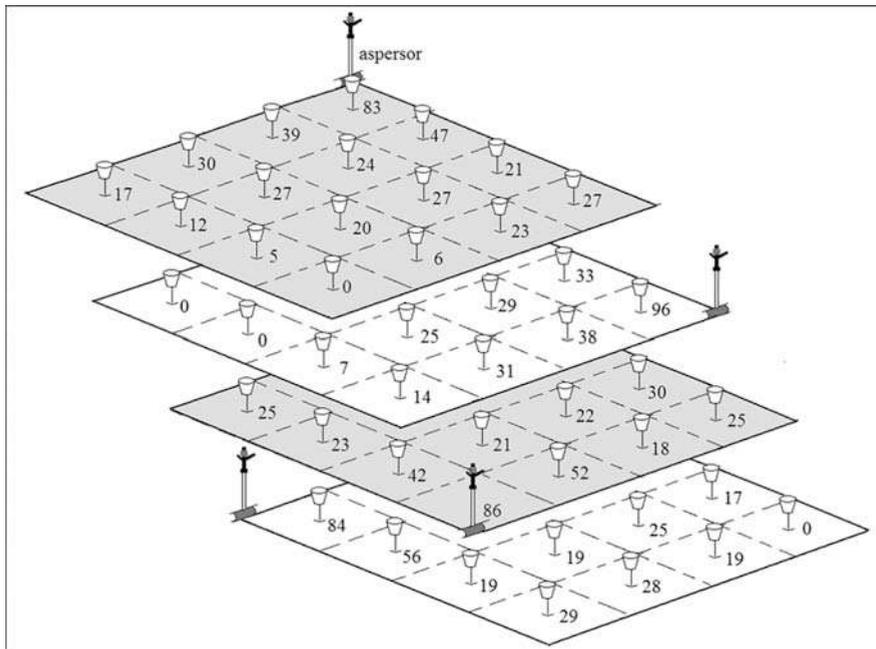


Figura 64. Sobreposição dos valores observados.

As somas dos valores sobrepostos para uma simulação de espaçamento de 12 m x 12 m, resultando em 16 coletores (n), são apresentadas na Figura 65.

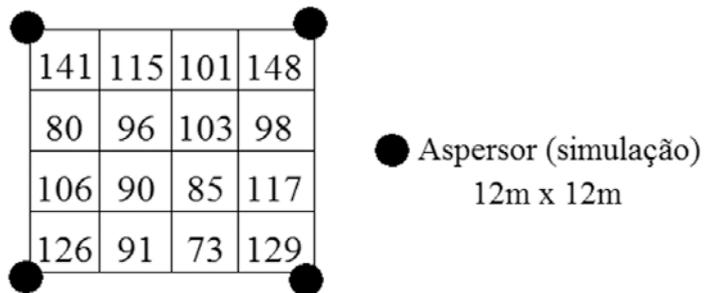


Figura 65. Somas dos valores sobrepostos na simulação.

Para encontrar o valor calculado 141 mL (Xi), por exemplo, realizou-se a soma dos seguintes valores:

0	10	30	25	26	31	17	0
11	25	22	18	18	19	25	19
22	26	21	52	54	24	19	28
25	23	42	86	84	56	19	29
22	27	33	96	93	47	21	27
12	28	29	38	39	24	27	23
0	13	25	31	30	27	20	6
0	0	7	14	17	12	5	0

● Aspensor

$$0 + 26 + 22 + 93 = 141 \text{ mL}$$

Figura 66. Somas dos valores sobrepostos.

De posse dos dados simulados para o espaçamento requerido, calcula-se a média (X_m) que nesse caso foi de 106,2 mL:

$$\frac{(131+115+101+148+80+96+103+98+106+90+85+117+126+91+73+129)}{16} = 106,2 \text{ mL}$$

Aplicando esses dados à equação de Christiansen, obtemos um valor de CUC igual a 83,65%. Para sistemas de irrigação por aspersão, é recomendado que a uniformidade de aplicação fique acima de 80%.

5.5. PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA PARA IRRIGAÇÃO

A resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) n.º 20, de 18/06/86, dividiu as águas do território nacional em:

- Águas doces (salinidade < 0,05%);
- Águas salobras (salinidade entre 0,05% e 0,3%);
- Águas salinas (salinidade > 0,3%).

Em função dos usos previstos, foram criadas nove classes de água. O Quadro 11 apresenta as classes relativas apenas à água doce para uso em irrigação.

Assim como a Classe Especial (destinada ao abastecimento doméstico e preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas) e a Classe 4 (destinada à navegação, harmonia paisagística e usos menos exigentes), as águas salobras e salinas (Classes 5, 6, 7 e 8) não devem ser utilizadas para irrigação de culturas agrícolas.

<i>Classe</i>	<i>Utilização da água</i>
1	Irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvem rente ao solo e são ingeridas cruas sem remoção de película.
2	Irrigação de hortaliças e plantas frutíferas.
3	Irrigação de culturas arbóreas, cercalíferas e forrageiras.

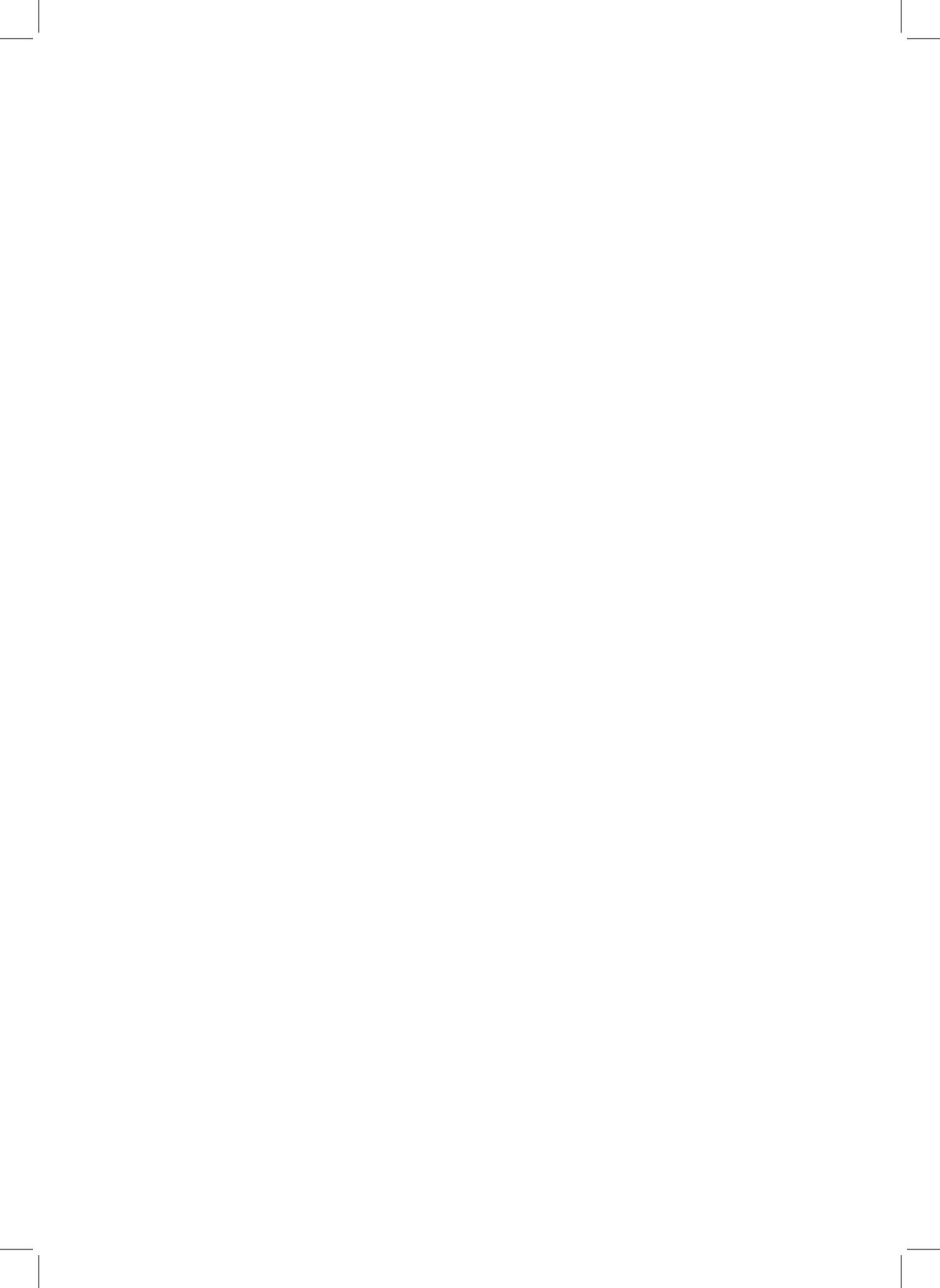
Quadro 11. Classificação das águas doces para uso em irrigação. (Fonte: Resolução do CONAMA n.º 20, 18/06/86)

No Brasil a resolução n.º 20/86 do Conselho Nacional do Meio Ambiente de 18/08/86 estabelece que, para a irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de plantas frutíferas que se desenvolvem rente ao solo, as águas não devem ser poluídas com excrementos humanos.

O Quadro 12 estabelece as condições sanitárias de cada classe de águas destinadas à irrigação, de acordo com a resolução do CONAMA.

<i>Classe</i>	<i>Condição Sanitária</i>
1	As águas não devem ser poluídas por excrementos humanos, ressaltando-se a necessidade de inspeções sanitárias periódicas.
2	Não deverá ser excedido um limite de 1.000 coliformes em 100 mL, em 80% ou mais de, pelo menos, 5 amostras mensais colhidas em qualquer mês. No caso de não haver, na região, meios disponíveis para o exame de coliformes fecais, o índice será de até 5.000 coliformes totais em 100 ml em 80% ou mais de, pelo menos, 5 amostras mensais colhidas em qualquer mês.
3	Número de coliformes fecais até 4.000 em 100 mL, em 80% ou mais de, pelo menos, 5 amostras mensais colhidas em qualquer mês. No caso de não haver, na região, meios disponíveis para o exame de coliformes fecais, o índice será de até 20.000 coliformes totais em 100 mL, em 80% ou mais de, pelo menos, 5 amostras mensais colhidas em qualquer mês.

Quadro 12. Condições sanitárias de águas destinadas à irrigação. (Fonte: Resolução do CONAMA n.º 20, 18/06/86)



CONJUNTO MOTOBOMBA

Capítulo 6

6.1. INTRODUÇÃO

O conjunto motobomba (Figura 67) tem a função de sugar a água de sua fonte de origem e enviá-la sob pressão para o interior de tubulações apropriadas, onde a mesma será conduzida até os emissores, que no caso do sistema de irrigação por aspersão podem ser os aspersores, os difusores ou o canhão hidráulico.

O motor (que pode ser elétrico ou a combustível) deve ter potência necessária para fornecer energia mecânica ao rotor da bomba, o suficiente para que a água percorra uma determinada distância e altura e, ao chegar ao emissor, a pressão seja adequada para o correto funcionamento do mesmo.

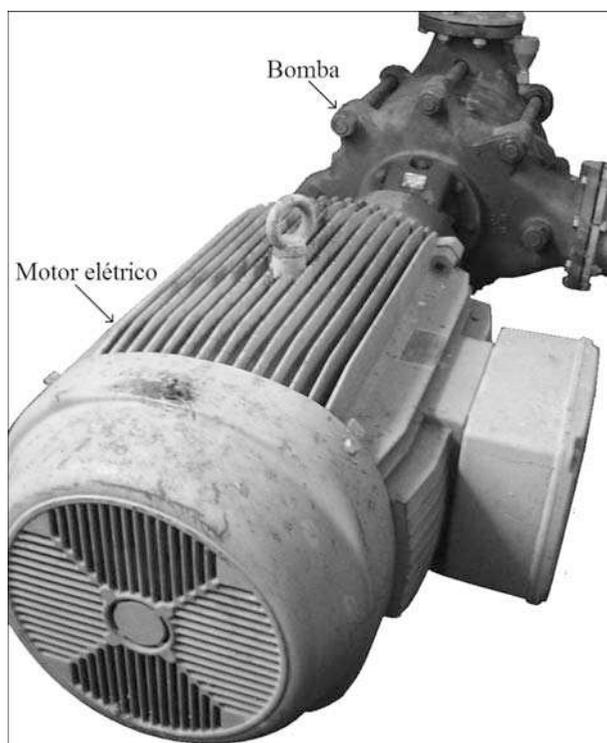


Figura 67. Conjunto motobomba.

A motobomba necessita de uma instalação que, juntamente com os demais equipamentos elétricos e hidráulicos necessários para funcionamento do conjunto, a proteja da ação de agentes externos como chuva, poeira, sol, etc. O local deve possuir boa iluminação, ser bem arejado para que não ocorra aquecimento demasiado (devido ao motor) e ser construído nas proximidades do curso ou fonte de água (Figura 68).



Figura 68. Instalação do conjunto motobomba.

Uma motobomba pode trabalhar em duas situações distintas: em sucção positiva e em sucção negativa (Figura 69).

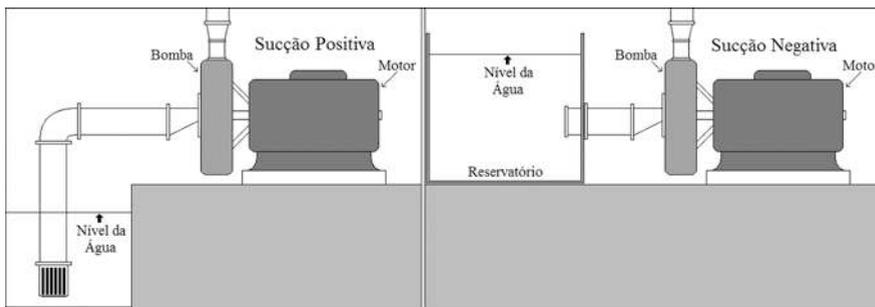


Figura 69. Sucção positiva e negativa.

Quando a motobomba é instalada acima do nível da água do ponto de captação, a sucção é denominada positiva (bomba não afogada). Isso ocorre na maioria das vezes que captamos água de cursos d'água, poços ou canais de irrigação. Quando a água é captada de tanques reservatórios, onde o nível de água está acima do nível da bomba, dizemos que a sucção é negativa (bomba afogada).

Quando a motobomba se encontra em sucção positiva é necessário realizar periodicamente a *escorva da bomba*. Na sucção negativa esse procedimento não é realizado, pois a mesma fica sujeita permanentemente a uma carga hidráulica.

6.2. ESCORVA DA BOMBA

Quando estiver em sucção positiva, a bomba e a tubulação de sucção devem ser cheias periodicamente com água antes do acionamento do conjunto motobomba, em um processo denominado *escorva* (Figura 70).

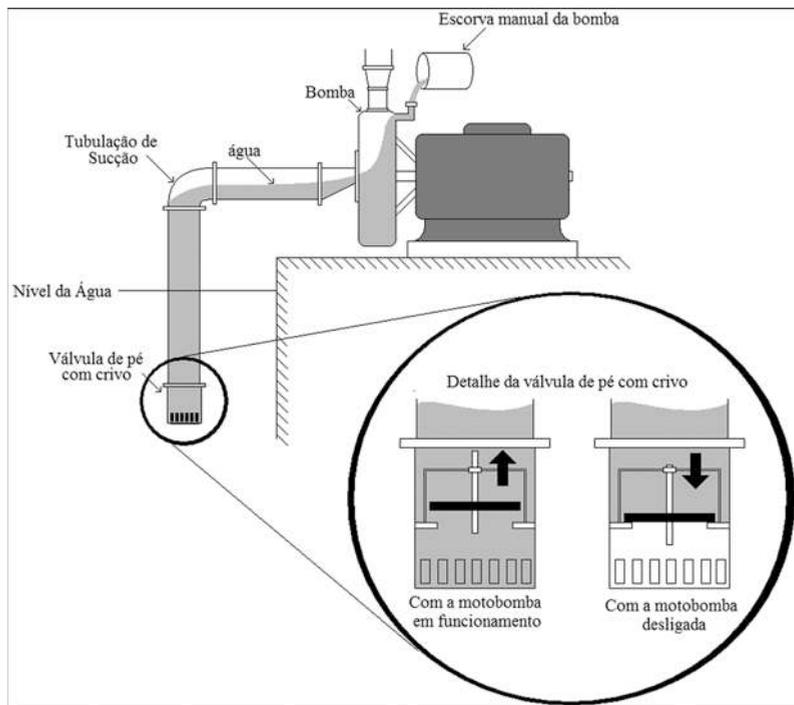


Figura 70. Escorva manual da bomba.

Sem a realização da escorva, a bomba não conseguirá sugar a água e recalca-la até a área irrigada. Deve ser verificado se não existem vazamentos na tubulação de sucção ou na entrada da bomba. Esses fatores são fundamentais para permitir que a bomba fique escorvada por um tempo maior, o que é o ideal.

É necessário dispor de uma válvula de pé com crivo na entrada da tubulação de sucção, o que impede que a água que é colocada (na maioria das vezes manualmente) escoe para a fonte d'água. Essa válvula tem a função de permitir que a água apenas entre na tubulação de sucção e não saia quando a motobomba estiver desligada.

6.3. POTÊNCIA DO CONJUNTO MOTOBOMBA

A potência necessária ao conjunto motobomba para atender ao sistema de irrigação é calculada pela seguinte equação:

$$P_{MB} = \frac{(Q \cdot HM)}{(75 \cdot \eta_B \cdot \eta_M)} \quad (67)$$

Em que

P_{MB} = potência do conjunto motobomba (cv);

Q = vazão do sistema de irrigação ($L s^{-1}$);

HM = altura manométrica ou carga (m);

η_B = rendimento da bomba (decimal);

η_M = rendimento do motor (decimal).

O rendimento de uma bomba varia de um fabricante para outro e até entre bombas de mesma marca, sendo que entre os principais fatores de perda estão o atrito entre a água e as partes internas da bomba, possíveis vazamentos em juntas, a recirculação interna de água na bomba e as condições de funcionamento (vazão e altura manométrica às quais a bomba será submetida). O motor, seja ele elétrico ou a combustível, também possui perdas inerentes a sua construção e funcionamento. Em ambos os casos os próprios manuais dos fabricantes indicam o rendimento desses equipamentos.

Segundo Bernardo et al. (2005), é necessário adicionar uma porcentagem a mais de potência no valor calculado para permitir uma folga no funcionamento da motobomba:

- Se a potência calculada da motobomba for menor do que 2 CV, devem ser acrescidos 30% nesse valor;
- Se a potência estiver entre 2 CV e 5 CV, acrescer 25%;
- Se a potência estiver entre 5 CV e 10 CV, acrescer 20%;
- Se a potência estiver entre 10 CV e 20 CV, acrescer 15%;
- Se a potência calculada for superior a 20 CV, acrescer 10% nesse valor.

A altura manométrica ou carga (Hm) pode ser explicada em termos simples como a distância vertical e horizontal que a bomba precisa superar para enviar a vazão e a pressão necessárias ao funcionamento do sistema, desde a sucção até o ponto mais elevado (maior cota) da área irrigada. Segundo Bernardo et al. (2005), a altura manométrica pode ser calculada pela seguinte equação:

$$Hm = pin + (hfd + dnd) + (hfp + dnp) + (hfr + dnr) + (hfs + dns) + hfl \quad (68)$$

Em que

Hm = altura manométrica (mca);

pin = pressão no início da linha lateral (mca);

hfd = perda de carga na linha de derivação (mca);

dnd = diferença de nível ao longo de derivação (m);

hfp = perda de carga na linha principal (mca);

dnp = diferença de nível ao longo da linha principal (m);

hfr = perda de carga na tubulação de recalque (mca);

dnr = diferença de nível de recalque (m);

hfs = perda de carga na tubulação de sucção (mca);

dns = altura de sucção (m);

hfl = perdas de carga localizadas (mca).

Essa equação da altura manométrica poderá sofrer modificações de um projeto para outro. Por exemplo, se em um determinado sistema de irrigação as linhas laterais são conectadas diretamente à linha principal,

isso elimina a utilização do termo $hfd + dnd$, relativo à linha de derivação, que nesse caso não existe.

Quando há mais de uma subárea, a altura manométrica deve ser calculada para a situação mais desfavorável em que a motobomba irá trabalhar, ou seja, o ponto mais distante e com maior altura geométrica em relação a ela.

As perdas localizadas podem ser expressas sob a seguinte equação geral:

$$h_{fl} = K \cdot V^2 \cdot 0,05102 \quad (69)$$

Em que

h_{fl} = perda de carga localizada (m.c.a.);

K = coeficiente da peça (adimensional);

V = velocidade da água ($m \cdot s^{-1}$).

Alguns valores de K para as peças e perdas mais comuns são: cotovelo 90° ($K = 0,90$), cotovelo 45° ($K = 0,40$), curva 90° ($K = 0,40$), curva 45° ($K = 0,20$), injetor venturi ($K = 2,50$), válvula de globo aberta ($K = 10$). Na prática pode-se considerar constante o valor de K para determinadas peças, desde que o escoamento seja turbulento, qualquer que seja o diâmetro da tubulação e a velocidade da água. Uma boa seleção de bomba consiste em determinar a altura manométrica e a vazão requerida pelo sistema de irrigação e, com base nisso, escolher a motobomba de menor potência possível que atenda a esses requisitos.

Em termos práticos, para projetos de irrigação, as perdas de carga localizadas não ultrapassam 5% da perda de carga total.

6.4. CURVAS CARACTERÍSTICAS

As motobombas, antes de serem comercializadas, devem passar por rigorosos ensaios laboratoriais de funcionamento, permitindo assim traçarem-se gráficos do seu desempenho nas mais diversas situações. Esses gráficos que apresentam a forma de curva são denominados *curvas características* (Figura 71) e contêm as informações necessárias para a seleção adequada da motobomba, que atenderá às necessidades de cada projeto de irrigação.

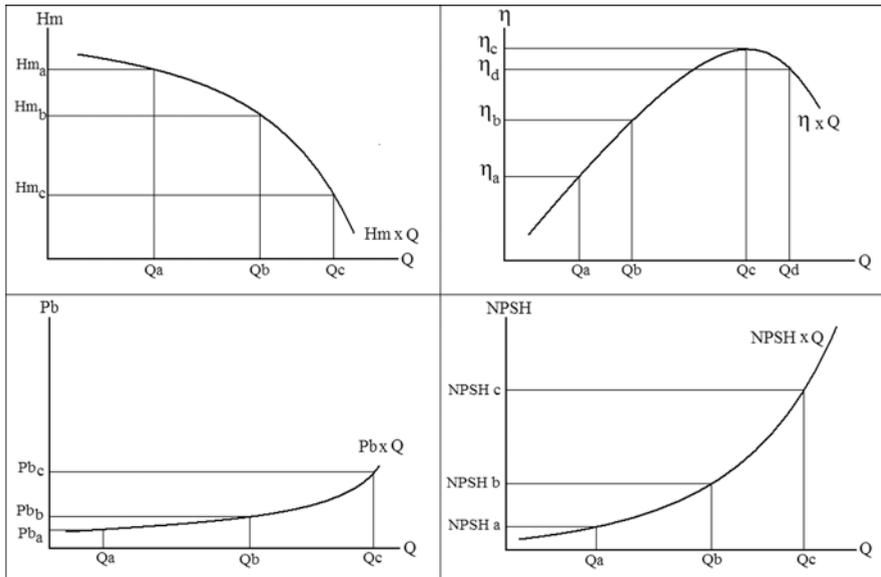


Figura 71. Curvas características.

As informações analisadas são em geral comparadas com a vazão recalçada pela motobomba, sendo que as mais importantes são a altura manométrica (H_m), o rendimento (η), a potência necessária para o acionamento da bomba (P_b) e o NPSH (*net positive suction head*).

Observando as curvas da Figura 71 podemos fazer as seguintes afirmações:

- Quanto maior for a vazão recalçada, menor será a altura manométrica que alcança;
- Quanto maior for a vazão inicial, maior será a potência necessária para o acionamento da motobomba;
- O rendimento da bomba aumenta com o aumento da vazão até certo ponto, e em seguida, ocorre a diminuição do rendimento;
- Quanto maior for a vazão recalçada, maior será o NPSH requerido.

A expressão “*net positive suction head*” (NPSH) significa a energia (carga) necessária no sistema para conseguir realizar a sucção da água, quando a motobomba estiver trabalhando em regime de sucção positiva.

Por motivo de segurança, na escolha do conjunto motobomba deve-se procurar fazer com que o NPSH disponível seja maior do que o que é

realmente requerido pela bomba. Isso evitará que, devido a qualquer fator, se a bomba sofrer uma redução na sua capacidade de sucção, ainda assim ela não trabalhe deficientemente e não ocorra a *cavitação*.

Segundo Faria e Vieira (1986), o NPSH disponível pode ser calculado pela seguinte expressão:

$$\text{NPSH disponível} = P_{\text{atm}} - (h_s + P_{\text{vapor}} + h_{fs}) \quad (70)$$

Em que

P_{atm} = pressão atmosférica local (m.c.a.);

h_s = altura de sucção real do local (m);

P_{vapor} = pressão de vapor d'água em função da temperatura (m.c.a.);

h_{fs} = perda de carga na tubulação de sucção (m.c.a.).

A pressão atmosférica em função da altitude pode ser expressa através da seguinte equação, baseada em Bernardo (1982):

$$P_{\text{atm}} = 10,2788 - (\text{Alt} \cdot 0,0011) \quad (71)$$

Em que

Alt = altitude do local (m.c.a.).

A pressão de vapor d'água em função da temperatura é dada pela seguinte equação, baseada em Bernardo (1982):

$$P_{\text{vapor}} = 0,0762 \cdot 1,05844 \cdot T \quad (72)$$

Em que

T = temperatura do local (°C).

6.5. CAVITAÇÃO

A cavitação (Figura 72) é a formação de bolhas na entrada da bomba (mais precisamente na entrada do rotor) devido à redução da pressão da água ao ponto de igualá-la à pressão de vapor do líquido, estando a temperatura constante.

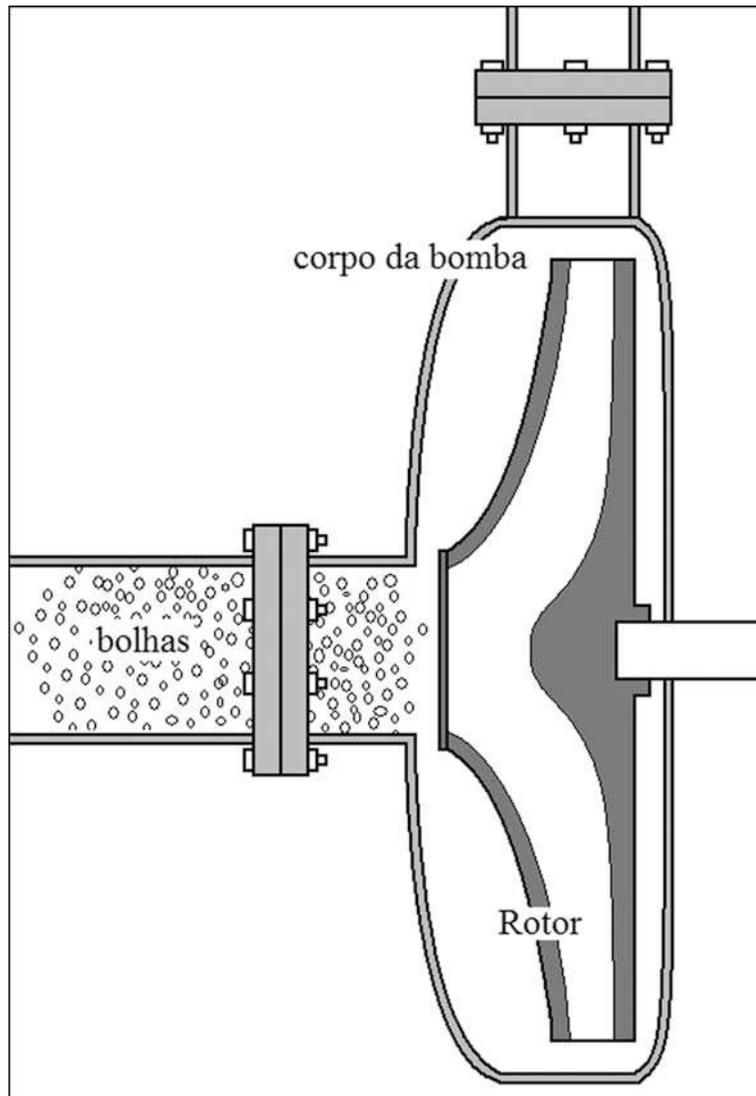


Figura 72. Cavitação.

Essas bolhas se expandem com o tempo até bloquearem por completo a passagem da água. Esse problema é típico de bombas que estão sujeitas a uma sucção deficiente, seja por alguma alteração nas características originais do projeto, seja por simples falha no dimensionamento ou na escolha da bomba. Fatores externos não previstos no projeto também podem causar a cavitação.

Algumas dessas bolhas acabam se encaminhando para dentro da bomba, onde implodem, devido à pressão da água nesse local ser maior que a sua própria pressão, causando danos às estruturas internas do equipamento. Pode-se identificar a ocorrência da cavitação quando: após o acionamento do conjunto motobomba, o sistema de irrigação não funciona; os aspersores não conseguem girar; ocorrem barulho e vibrações anormais na bomba.

A qualidade físico-química da fonte fornecedora de água também pode favorecer a ocorrência de cavitação, devido principalmente à existência de gases dissolvidos em grande quantidade (comum em águas de baixa qualidade). Esses gases vão resultar na formação de bolhas, mesmo que a pressão na sucção não atinja a pressão de vapor.

PROJETO DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO CONVENCIONAL

Capítulo 7

7.1. INTRODUÇÃO

Realizar um projeto de irrigação por *aspersão convencional permanente* em uma área de 2,14 ha (Figura 73), que se encontra a uma altitude de 850 m, latitude de 22° 55' S e longitude a 48° 26' W. A cultura a ser implantada é o feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). A água será bombeada de um curso d'água próximo a área a ser irrigada.

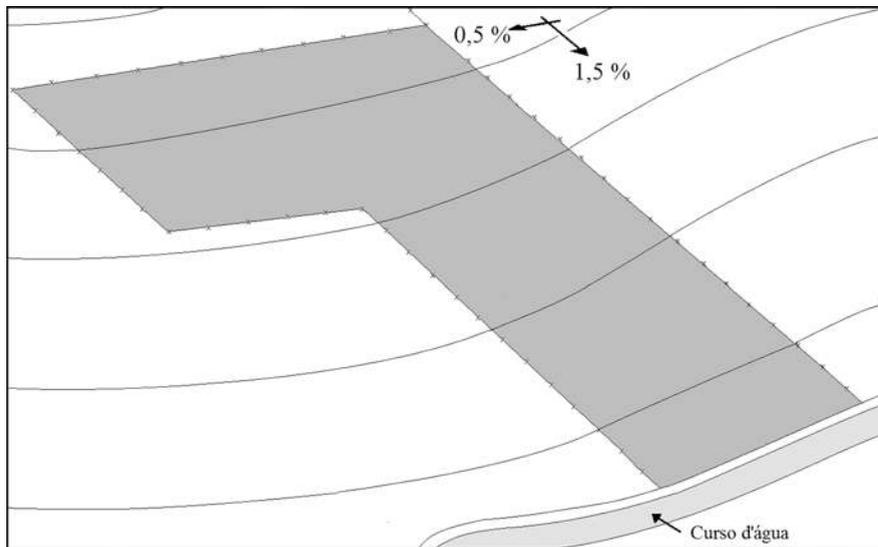


Figura 73. Planta plani-altimétrica da área a ser irrigada.

7.2. LEVANTAMENTO DOS PARÂMETROS INICIAIS

Os seguintes parâmetros iniciais foram determinados por meio de visitas ao local em que será instalado o sistema de irrigação (características de solo e da água), revisão de literatura (características da cultura) e consulta a órgãos locais de monitoramento (características climáticas locais):

Características da Cultura

- Profundidade efetiva do sistema radicular = 25 cm.
- Ciclo do feijão = 90 a 100 dias.
- Kc da cultura nas diferentes fases de desenvolvimento: 0,30 (da germinação até o surgimento da primeira folha trifoliada); 0,70 (da primeira folha trifoliada até o primeiro botão floral); 1,05 (do primeiro botão floral até o enchimento das vagens); 0,75 (no enchimento das vagens) e 0,25 (na maturação).
- Quantidade de água requerida pela cultura durante o ciclo = 250 mm a 400 mm.

Características do Solo e da Água

- Velocidade básica de infiltração, determinada na área através do infiltrômetro de anéis concêntricos = 22 mm h⁻¹ (alta)
- Análise física das amostras de solo, determinada em laboratório: 50% de areia, 40% de argila e 10% de silte, sendo classificado segundo o triângulo textural como solo argilo arenoso.
- Capacidade de campo e ponto de murcha permanente determinado em laboratório, por meio de amostras indeformadas de solo da área = 30% e 15%, respectivamente.
- Densidade do solo = 1,30 g cm⁻³.
- Disponibilidade de água no solo adotada (f) = 0,60. Isso quer dizer que, no momento da irrigação, o solo ainda deverá conter 60% de umidade.

Características Climáticas Locais

- Velocidade média do vento medida na região: 0,5 m s⁻¹.
- Período seco no ano: em geral vai de final de maio a início de outubro.
- Classificação climática local: segundo o sistema Köppen é Cwa, ou seja, clima quente (mesotérmico), com chuvas no verão e seca no inverno, sendo a temperatura média do mês mais quente superior a 22° C.

- Pluviosidade anual (coma base em dados de 30 anos): média de 67 mm mês⁻¹ na época seca e de 190 mm mês⁻¹ na época chuvosa.
- Temperatura média do ar: 19 °C na época seca e 24 °C na época chuvosa.
- Evapotranspiração de referência (ET_o): 4,8 mm dia⁻¹.

7.3. ESCOLHA DO ASPERSOR

O aspersor escolhido é da marca Agropolo, modelo NY-30 ER, bocal vermelho longo. Segundo o manual do fabricante, para utilização em um espaçamento de 12 x 12 m e uma intensidade de aplicação de água de 20 mm h⁻¹ (o que atende à VIB determinada no campo), é necessária uma pressão de serviço de 20 m.c.a. O diâmetro de alcance é de 30,4 m e a vazão é de 2,88 m³ h⁻¹.

7.4. DISPOSIÇÃO INICIAL DO SISTEMA

Na planta plani-altimétrica foi realizada a distribuição simulada do equipamento no campo, verificando-se todas as possibilidades de locação de tubulações, divisão de subáreas, etc., o que possibilita um melhor dimensionamento do sistema. Optou-se por dividir a área em duas subáreas (subárea I e subárea II) independentes para facilitar o dimensionamento e o posterior manejo do sistema (Figura 74).

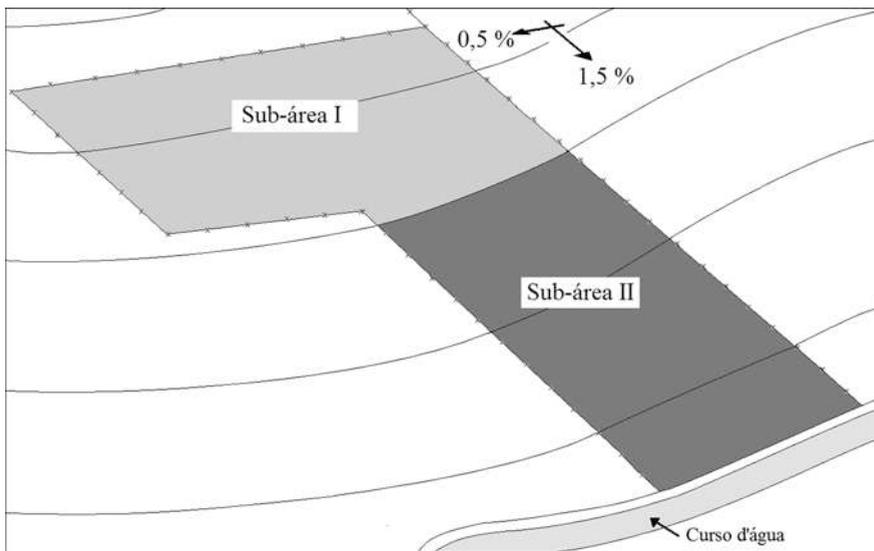


Figura 74. Subdivisões da área.

Vale a pena lembrar que a mesma área pode ter uma gama de variações de distribuição dos equipamentos no campo, cabendo a cada projetista escolher a que mais seja conveniente, sem que isso comprometa o funcionamento racional e econômico do sistema. A Figura 75 apresenta a escolha da distribuição do equipamento para esse projeto.

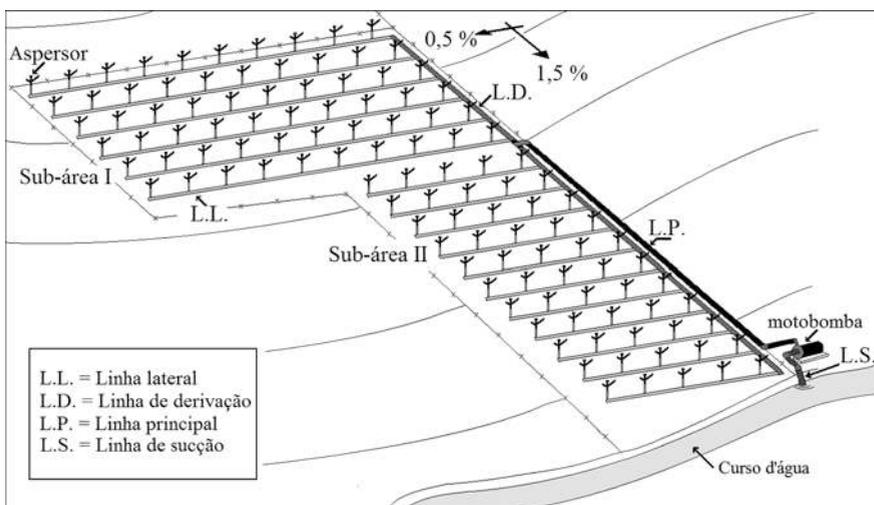


Figura 75. Distribuição do equipamento no campo.

A subárea I apresenta as seguintes dimensões: 130 m x 80 m, totalizando 1,04 ha. Será composta por 6 linhas de 120 m cada e uma linha de derivação de 72 m. A subárea II apresenta as seguintes dimensões: 70 m x 150 m, totalizando 1,1 ha. Será composta por 11 linhas laterais de 60 m cada e uma linha de derivação de 140 m. Ambas as áreas apresentam um declive de 1,5% na direção principal do terreno e de 0,5% nas curvas de nível.

A linha principal terá 140 m e será disposta no sentido da maior inclinação do terreno. Todas as tubulações serão de PVC. O conjunto motobomba será instalado a uma distância horizontal de 2 m e vertical de 1,5 m do nível da água do curso d'água.

A eficiência do sistema de irrigação determinada pelo CUC é de 84%.

7.5. DIMENSIONAMENTO DAS LINHAS LATERAIS E LINHAS DE DERIVAÇÃO

7.5.1. SUBÁREA I

Condições da linha lateral: comprimento = 120 m; material = PVC; declive do terreno no sentido onde será instalada = 0,5%; espaçamento entre aspersores = 12 . 12 m; pressão de serviço do aspersor (PS) = 20 m.c.a.; vazão do aspersor (q) = 2,88 m³ h⁻¹; intensidade de aplicação de água (I) = 20 mm h⁻¹.

$$\Delta z = ((0,5 \cdot 120) \div 100) = 0,60 \text{ m}$$

$$hf = 0,20 \cdot 20 + 0,60 = 4,60 \text{ m}$$

$$N = (120 \div 12) = 10 \text{ aspersores}$$

$$f = \frac{1}{1,85+1} + \frac{1}{2 \cdot 10} + \frac{\sqrt{(1,85-1)}}{6 \cdot 10^2} = 0,402$$

$$hf' = (4,6 \div 0,402) = 11,44 \text{ m}$$

$$J = (11,44 \div 120) = 0,0954 \text{ m m}^{-1}$$

$$Q_{LL} = q \cdot N = 2,88 \cdot 10 = 28,8 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} = 0,0077 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$$

$$0,0077 = 0,2788 \cdot 150 \times D^{2,63} \cdot 0,0954^{0,54} = 0,063 \text{ m} = 63 \text{ mm} \rightarrow 75 \text{ mm}$$

Diâmetro da linha lateral da subárea I = 75 mm = 3" (diâmetro comercial)

Como o comprimento padrão das barras de PVC é de 6 m, serão necessários para cada linha lateral da subárea I:

$$120 \text{ m (linha lateral)} \div 6 \text{ m (barra de PVC)} = 20 \text{ barras de 75 mm.}$$

Já que a subárea I possui 6 linhas laterais, será necessário um total de 120 barras de PVC de 75 mm (3"). Para cada aspersor (sessenta no total) será necessário colocar uma derivação de 75 mm, com bucha de redução e tubo de subida de 25 mm de diâmetro (Figura 76).

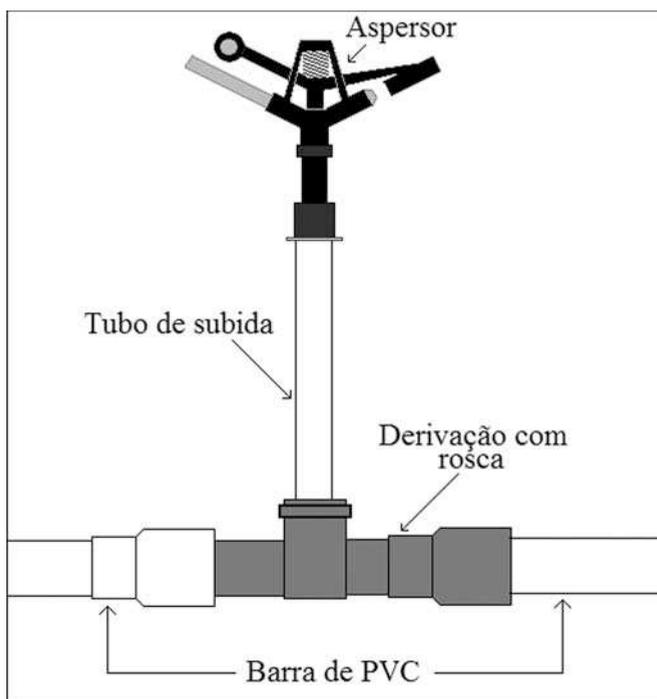


Figura 76. Aspersor, derivação com rosca e tubo de subida.

Ao final de cada linha lateral é instalado um “cap” de 75 mm. Para a cultura do feijão, o aspersor será instalado em tubo de subida de 0,60 m.

A pressão no início das linhas laterais (Pin) da subárea I será de:

$$P_{in} = 20 + 0,75 \cdot 4,6 + 0,60 - 0,5 \cdot 0,6 = 23,75 \text{ m.c..a}$$

Condições da linha de derivação: comprimento = 72 m; material = PVC; aclave do terreno no sentido em que será instalada = 1,5 %; número de linhas laterais atendidas = 6.

$$Q_{LD} = 6 \text{ linhas laterais} \times 0,008 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} \text{ (vazão de cada linha)} = 0,048 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$$

$$\Delta z = ((1,5 \cdot 72) \div 100) = 1,1 \text{ m}$$

$$hf = 0,15 \cdot 30 - 1,1 = 3,4 \text{ m}$$

$$J = (3,4 \div 72) = 0,04722 \text{ m m}^{-1}$$

$$0,048 = 0,2788 \cdot 150 \cdot D^{2,63} \cdot 0,04722^{0,54} = 0,143 \text{ m} \rightarrow 150 \text{ mm}$$

Diâmetro da linha de derivação = 150 mm = 6" (diâmetro comercial)

Serão necessárias para a linha de derivação da subárea I: 72 m (linha de derivação) \div 6 m (barra de PVC) = 12 barras de 150 mm. Para cada linha lateral (6 no total) será necessário colocar uma derivação saída fêmea de 150 mm x 75 mm (Figura 77). O "cap" deve ser de 150 mm também.

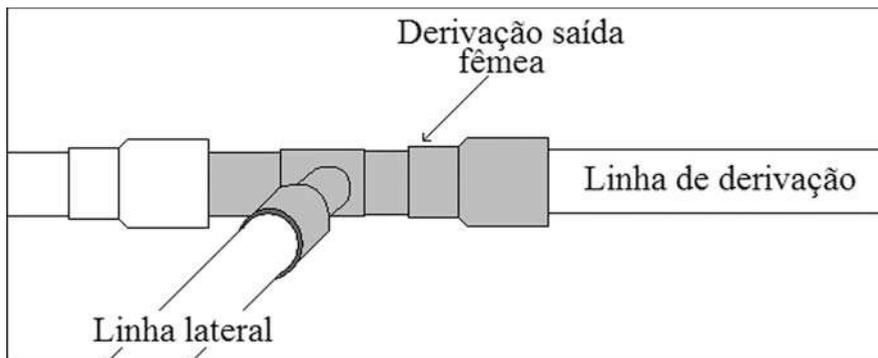


Figura 77. Derivação saída fêmea.

7.5.2. SUBÁREA II

Condições da linha lateral: comprimento = 60 m; material = PVC; declive do terreno no sentido em que será instalada = 0,5 %; espaçamento entre aspersores = 12 x 12 m; PS = 20 m.c.a.; $q = 2,88 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$; $I = 20 \text{ mm h}^{-1}$.

$$\Delta z = ((0,5 \cdot 60) \div 100) = 0,30 \text{ m}$$

$$hf = 0,20 \cdot 30 + 0,30 = 6,3 \text{ m}$$

$$N = (60 \div 12) = 5 \text{ aspersores}$$

$$f = \frac{1}{1,85 + 1} + \frac{1}{2 \cdot 5} + \frac{\sqrt{(1,85 - 1)}}{6 \cdot 5^2} = 0,457$$

$$hf' = (6,3 \div 0,457) = 13,8 \text{ m}$$

$$J = (13,8 \div 60) = 0,230 \text{ m m}^{-1}$$

$$Q_{LL} = q \cdot N = 2,88 \cdot 5 = 14,4 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} = 0,004 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$$

$$0,004 = 0,2788 \cdot 150 \cdot D^{2,63} \cdot 0,230^{0,54} = 0,040 \text{ m} \rightarrow 50 \text{ mm}$$

Diâmetro da linha lateral da subárea II = 50 mm = 2" (diâmetro comercial)

Serão necessárias para cada linha lateral da subárea II: 60 m (linha lateral) \div 6 m (barra de PVC) = 10 barras de 50 mm.

Já que a subárea II possui 11 linhas laterais, será necessário um total de 110 barras de PVC de 50 mm (2"). Para cada aspersor (55 no total) será necessário colocar uma derivação de 50 mm, com bucha de redução e tubo de subida de 1 polegada. O "cap" nesse caso deve ser de 50 mm também.

A pressão no início da linha lateral da subárea II será de:

$P_{in} = 20 + 0,75 \cdot 6,3 + 0,60 - 0,50 \cdot 0,30 = 25,2 \text{ mca}$

Condições da linha de derivação: comprimento = 140 m; material = PVC; declive do terreno no sentido em que será instalada = 1,5 %; número de linhas laterais atendidas = 11.

$$Q_{LD} = 11 \text{ linhas laterais} \cdot 0,004 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} \text{ (vazão de cada linha)} = 0,044 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$$

$$\Delta z = ((1,5 \cdot 140) \div 100) = 2,1 \text{ m}$$

$$hf = 0,15 \cdot 30 + 2,1 = 6,6 \text{ m}$$

$$J = (6,6 \div 140) = 0,047143 \text{ m m}^{-1}$$

$$0,044 = 0,2788 \cdot 150 \cdot D^{2,63} \cdot 0,047143^{0,54} = 0,138 \text{ m} \rightarrow 150 \text{ mm}$$

Diâmetro da linha de derivação da subárea II =
150 mm = 6" (diâmetro comercial)

Serão necessárias para a linha de derivação da subárea II: 198 m (linha de derivação) ÷ 6 m (barra de PVC) = 33 barras de 150 mm.

Para cada linha lateral (11 no total) será necessário colocar uma derivação saída fêmea de 150 mm x 50 mm. O “cap” deve ser de 150 mm também.

7.6. DIMENSIONAMENTO DA LINHA PRINCIPAL

Como a área total foi dividida em duas subáreas (I e II), a vazão transportada pela linha principal atenderá apenas uma por vez e não as duas simultaneamente, sendo o controle do fluxo de água efetuado através de válvulas hidráulicas na entrada das mesmas. A linha será dimensionada para a maior vazão que irá transportar, que no caso é o da subárea I (0,048 m³ s⁻¹).

Velocidade de escoamento adotada: $V = 2,0 \text{ m s}^{-1}$

$$D = \sqrt{(1,2732 \cdot (0,048 \div 2,0))} = 0,175 \text{ m} = 175 \text{ mm}$$

Diâmetro da linha principal = 175 mm = 7" (diâmetro comercial)

Será necessário para a linha principal e de recalque, que juntas possuem uma extensão de 210 m, um total de 35 barras de 175 mm.

7.7. DIMENSIONAMENTO DA LINHA DE SUÇÃO

Velocidade de escoamento adotada: $V = 1,5 \text{ m s}^{-1}$

$$D = \sqrt{(1,2732 \cdot (0,048 \div 1,5))} = 0,202 \text{ m} = 200 \text{ mm}$$

Diâmetro da linha de sucção = 200 mm = 8" (diâmetro comercial)

7.8. DIMENSIONAMENTO DO CONJUNTO MOTOBOMBA

Neste dimensionamento a situação mais desfavorável é a da subárea I.

7.8.1. DETERMINAÇÃO DA ALTURA MANOMÉTRICA

Pressão no início da linha lateral: PIN = 23,75 m.c.a. (subárea I)

Perda de carga na linha de derivação: HFD = 4,9 m (subárea I)

Diferença de nível ao longo da linha de derivação:

$$\text{DND } (\Delta z) = ((1,5 \cdot 60) \div 100) = 0,90 \text{ m}$$

Perda de carga na linha principal:

$$\text{HFP} = 10,67 \cdot 0,175^{4,87} \cdot (0,048 \div 150)^{1,852} \cdot 60 = 1,19 \text{ m}$$

Diferença de nível ao longo da linha principal:

$$\text{DNP } (\Delta z) = ((0,5 \cdot 60) \div 100) = 0,30 \text{ m}$$

Perda de carga na linha de recalque:

$$\text{HFR} = 10,67 \cdot 0,175^{4,87} \cdot (0,048 \div 150)^{1,852} \cdot 150 = 2,62 \text{ m}$$

Diferença de nível ao longo da linha de recalque:

$$\text{DNR } (\Delta z) = ((1,5 \cdot 150) \div 100) = 2,25 \text{ m}$$

Perda de carga na linha de sucção:

$$\text{HFS} = 10,67 \cdot 0,200^{4,87} \cdot (0,048 \div 150)^{1,852} \cdot 3,5 = 0,032 \text{ m}$$

Diferença de nível ao longo da linha de sucção: DNS = 1,5 m

Perdas localizadas: HFL = 4,5 m

Altura manométrica:

$\text{HM} = 23,75 + (4,9+0,90) + (1,19+0,30) + (2,62+2,25) + (0,032+1,5) + 4,5 = 41,94 \text{ m}$
--

7.8.2. DETERMINAÇÃO DA POTÊNCIA DO CONJUNTO MOTOBOMBA

Vazão: $0,048 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} \rightarrow 48 \text{ L s}^{-1}$

Rendimento da bomba: 75%

Rendimento do motor: 90%

$$P_{\text{MB}} = \frac{(48 \cdot 41,94)}{(75 \cdot 0,70 \cdot 0,90)} = 42,61 \text{ CV}$$

Por motivo de segurança devem-se acrescentar 10% no valor da potência calculada:

$$P_{\text{MB}} = 42,61 \text{ CV} + 10\% = 46,9 \rightarrow 50 \text{ CV}$$

O conjunto motobomba deve ter potência de 50 CV para atender às necessidades desse projeto de irrigação por aspersão convencional.

7.9. MANEJO DA IRRIGAÇÃO

O manejo da irrigação será realizado por meio da evaporação medida no tanque evaporímetro “Classe A”. O mesmo não fornece a evapotranspiração de referência, mas, sim, a evaporação do tanque (ECA), sendo necessária a utilização do coeficiente do tanque para obter a evapotranspiração de referência.

A evapotranspiração de referência (ET_o) representa a perda de água que uma superfície totalmente coberta de vegetação rasteira, em pleno desenvolvimento e sem limitação de água, sofre para a atmosfera. Pode-se calcular a evapotranspiração de referência através da expressão:

$$ET_o = ECA \cdot K_p \quad (73)$$

Em que

ET_o = evapotranspiração de referência (mm);

ECA = evaporação do tanque “Classe A” (mm);

Kp = coeficiente de tanque (adimensional).

O coeficiente do tanque “Classe A” (Kp) é função da umidade relativa do ar, da velocidade do vento e do tamanho da bordadura ao seu redor.

Para o cálculo do turno de rega deve-se primeiramente determinar qual é a lâmina líquida de água que será aplicada na cultura:

$$LL = 0,1 \cdot (CC - PMP) \cdot dg \cdot z \cdot f \quad (74)$$

Em que

LL = lâmina líquida (mm);

CC = capacidade de campo (%);

PMP = ponto de murcha permanente (%);

dg = densidade global ($g\ cm^{-3}$);

z = profundidade efetiva do sistema radicular (cm);

f = fração de água que pode ser extraída do solo (decimal).

Conforme os parâmetros iniciais do projeto:

$$LL = 0,1 \cdot (30 - 15) \cdot 1,30 \cdot 25 \cdot 0,60 = 29,3\ mm$$

Deve-se considerar a eficiência de aplicação de água do sistema de irrigação para determinar a lâmina bruta de água. Nesse projeto a eficiência observada foi de 84%. Então temos:

$$LB = LL \div Ef \quad (75)$$

Em que

LB = lâmina bruta (mm);

LL = lâmina líquida (mm);

Ef = eficiência do sistema de irrigação (decimal).

$$LB = 29,3 \div 0,84 = 34,9\ mm \rightarrow 35\ mm$$

Fixa-se agora o turno de rega:

$$TR = LL \div ET_m \quad (76)$$

Em que

TR = intervalo entre irrigações consecutivas, ou seja, turno de rega (dias);

LL = lâmina líquida (mm);

ET_o = evapotranspiração de referência (mm dia⁻¹).

No projeto a evaporação de referência média é de 4,8 mm dia⁻¹. Então temos:

$$TR = 29,3 \div 4,8 = 6 \text{ dias}$$

A cada seis dias será realizada a aplicação de 35 mm de água (lâmina bruta). Como o aspersor selecionado tem uma intensidade de aplicação de 20 mm h⁻¹, será gasto por volta de 1 hora e 45 minutos de irrigação para aplicar a lâmina d'água necessária.

Caso o turno de rega seja fixado, por exemplo, a cada quatro dias, deve-se refazer o cálculo e verificar a nova lâmina a ser aplicada.

$$LB = TR \cdot ET_o \quad (77)$$

$$LB = 4 \text{ dias} \cdot 4,8 \text{ mm dia}^{-1} = 19,2 \text{ mm}$$

Sendo a intensidade de aplicação de água do aspersor de 20 mm h⁻¹, será necessário cerca de 1 hora de irrigação a cada 4 dias. Caso sejam considerados os diferentes valores de coeficiente da cultura (K_c) para cada fase de desenvolvimento teremos:

$$LB = TR \cdot (ET_o \cdot K_c) \quad (78)$$

O Quadro 13 apresenta os valores das lâminas brutas a serem aplicadas a cada 4 dias para cada fase de desenvolvimento do feijoeiro e o tempo de irrigação necessário, considerando a intensidade de aplicação de água do aspersor escolhido (I = 20 mm h⁻¹).

<i>Fase</i>	<i>Descrição</i>	<i>Kc</i>	<i>LB</i>	<i>T. I.</i>
1	<i>Germinação até o surgimento da primeira folha trifoliada</i>	0,30	5,8 mm	17 min
2	<i>Primeira folha trifoliada até o primeiro botão floral</i>	0,70	13,4 mm	40 min
3	<i>Primeiro botão floral até o enchimento das vagens</i>	1,05	21 mm	61 min
4	<i>Enchimento das vagens</i>	0,75	15 mm	45 min
5	<i>Maturação*</i>	0,25	-----	-----

L.B. = lâmina bruta a ser aplicada a cada 4 dias ; T.I. = tempo de irrigação; * será suspensa a irrigação visando os tratos culturais para a colheita da cultura.

Quadro 13. Lâminas brutas (mm) a serem aplicadas na irrigação do feijoeiro, para um turno de rega de 4 dias.

7.10. OPÇÃO NO DIMENSIONAMENTO

Caso fosse determinado, no início do dimensionamento deste projeto de irrigação, que o sistema deveria ser *convencional portátil* (aonde as linhas laterais são trocadas de posição sistematicamente), seria necessário determinar qual o número das mesmas que iriam funcionar simultaneamente. A metodologia para o cálculo é baseada em Mantovani et al. (2006):

Calcula-se a lâmina líquida, a lâmina bruta e o turno de rega:

$$LL = 0,1 \cdot (30 - 15) \cdot 1,30 \cdot 25 \cdot 0,60 = 29,3 \text{ mm}$$

$$LB = 29,3 \div 0,84 = 34,9 \text{ mm} \rightarrow 35 \text{ mm}$$

$$TR = 29,3 \div 4,8 = 6 \text{ dias}$$

Pode-se a partir deste valor de turno de rega, que é um valor máximo de tempo entre uma irrigação e outra, adotar um período de irrigação (PI), que seja mais conveniente ao irrigante. Neste caso adotaremos um PI igual ao turno de rega.

Realiza-se a determinação do tempo de irrigação por posição (TI), que será função da lâmina bruta e da intensidade de aplicação de água do aspersor (I), que neste projeto é de 20 mm h⁻¹:

$$TI = 35 \div 20 = 1,75 \text{ horas por posição}$$

Deve-se acrescentar a TI o tempo gasto para a montagem e desmontagem da linha lateral em outra posição, que deve estar entre 45 a 60 minutos.

$$TI = 1,75 \text{ horas por posição} + 45 \text{ minutos} = 2,5 \text{ horas}$$

Calcula-se então o número de posições irrigadas por lateral por dia (n), que é função do número de horas que o sistema de irrigação deverá funcionar por dia e do tempo de irrigação por posição. Adotemos neste caso que o sistema funcione 8 horas por dia:

$$n = 8 \div 2,5 = 3 \text{ posições irrigadas por lateral por dia}$$

Determina-se então o total de posições de lateral (N), que será função do comprimento da linha de derivação, no caso deste projeto, da sua posição no campo e do espaçamento entre linhas laterais (E2). Para demonstrar esse cálculo, utilizaremos a sub-área I, cuja linha de derivação está na lateral esquerda da área, e possui um comprimento de 72 metros:

$$N = 72 \div 12 = 6 \text{ posições}$$

Como existem seis posições possíveis na linha de derivação e cada linha lateral pode irrigar até três posições, com apenas duas laterais operando simultaneamente (Figura 78) consegue-se irrigar toda a área em apenas um dia de trabalho.

Caso se deseje alterar o turno de rega, deve-se modificar a lâmina a ser aplicada, de acordo com a evapotranspiração de referencia ocorrida no intervalo de dias entre as irrigações.

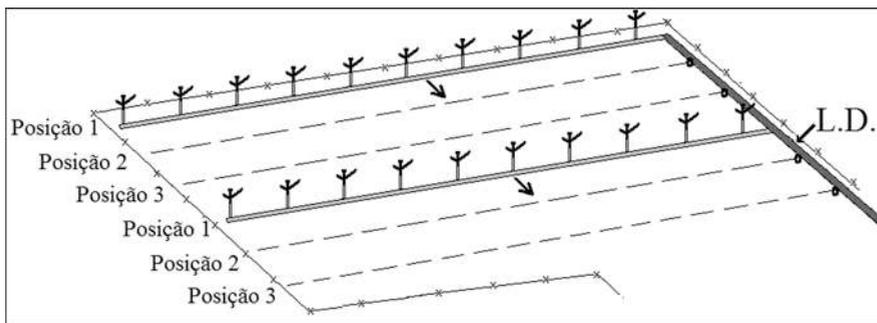


Figura 78. Linhas laterais operando simultaneamente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AZEVEDO NETO, J. M. et al. **Manual de Hidráulica**. Editora Edgard Blücher Ltda., São Paulo, SP.
- BENAMI, A.; OFEN, A. **Irrigation engineering**. Haifa: International, Irrigation Information Center, 1984. 257 p.
- BERNARDO, S. **Manual de Irrigação**. Viçosa, UFV, Imprensa Universitária, 7ª edição, 2006.
- BERNARDO, S. **Manual de Irrigação**. Viçosa, UFV, Imprensa Universitária, 5ª edição, 1982.
- BISCARO, G.A. **Meteorologia Agrícola Básica**. Cassilândia, UNIGRAF, 2007, 86p.
- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, RESOLUÇÕES, LEIS, ETC. 1984/86. 2.ed. Brasília: **Secretaria do Meio Ambiente**, 1998. 98 p.
- FARIA, M. A. de; VIEIRA, J. Irrigação por aspersão: sistemas mais utilizados no Brasil. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, 12 (139), p. 27-39, 1986.
- GILES, R. V. **Mecânica dos Fluidos e Hidráulica**. Coleção Schaum, Editora McGraw-Hill Ltda, 1978.
- KELLER, J.; BLIESNER, R. D. **Sprinkle and trickle irrigation**. New York: Avibook, 1990. 649 p.
- KELLER, J., KARMELI, D. **Trickle irrigation design**. S.1: Rain Bird Sprinkler Manufacturing Corporation, 1975. 133 p.
- OLITTA, A. F. L., **Os métodos de irrigação**. 1º edição – 6º reimpressão. São Paulo, Nobel. São Paulo. 1994. 13-35 p.
- PROGRAMA NACIONAL DE IRRIGAÇÃO **Elaboração de Projetos de Irrigação**. CTH, São Paulo, 799 p.

SILVEIRA, P. M.; STONE, L. F. Irrigação do feijoeiro. Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antônio de Goiás, 2001, 230 p.

MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F. **Irrigação: princípios e métodos**. Editora UFV, Universidade Federal de Viçosa, 2006, 318 p.

WHITHERS, B. e VIPOND, s. **Irrigação: Projeto e Prática**. São Paulo, EPU, Editora da Universidade de São Paulo; tradução de Francisco da Costa Verdade. 1977. 339 p.

NOMENCLATURA DAS UNIDADES

% = porcentagem;

” = polegadas;

°C = graus Celsius;

atm = atmosferas;

bar = bar;

cm = centímetros;

cm³ cm⁻³ = centímetro cúbico por centímetro cúbico;

cv = cavalo vapor;

gr cm⁻³ = gramas por centímetro cúbico;

gr = gramas;

h = horas;

h dia⁻¹ = horas por dia;

h volta⁻¹ = horas por volta;

ha = hectare;

kg cm⁻² = kilos por centímetro quadrado;

km h⁻¹ = quilômetros por hora;

kPa = kilo pascal;

L h⁻¹ = litros por hora;

L min⁻¹ = litros por minuto;

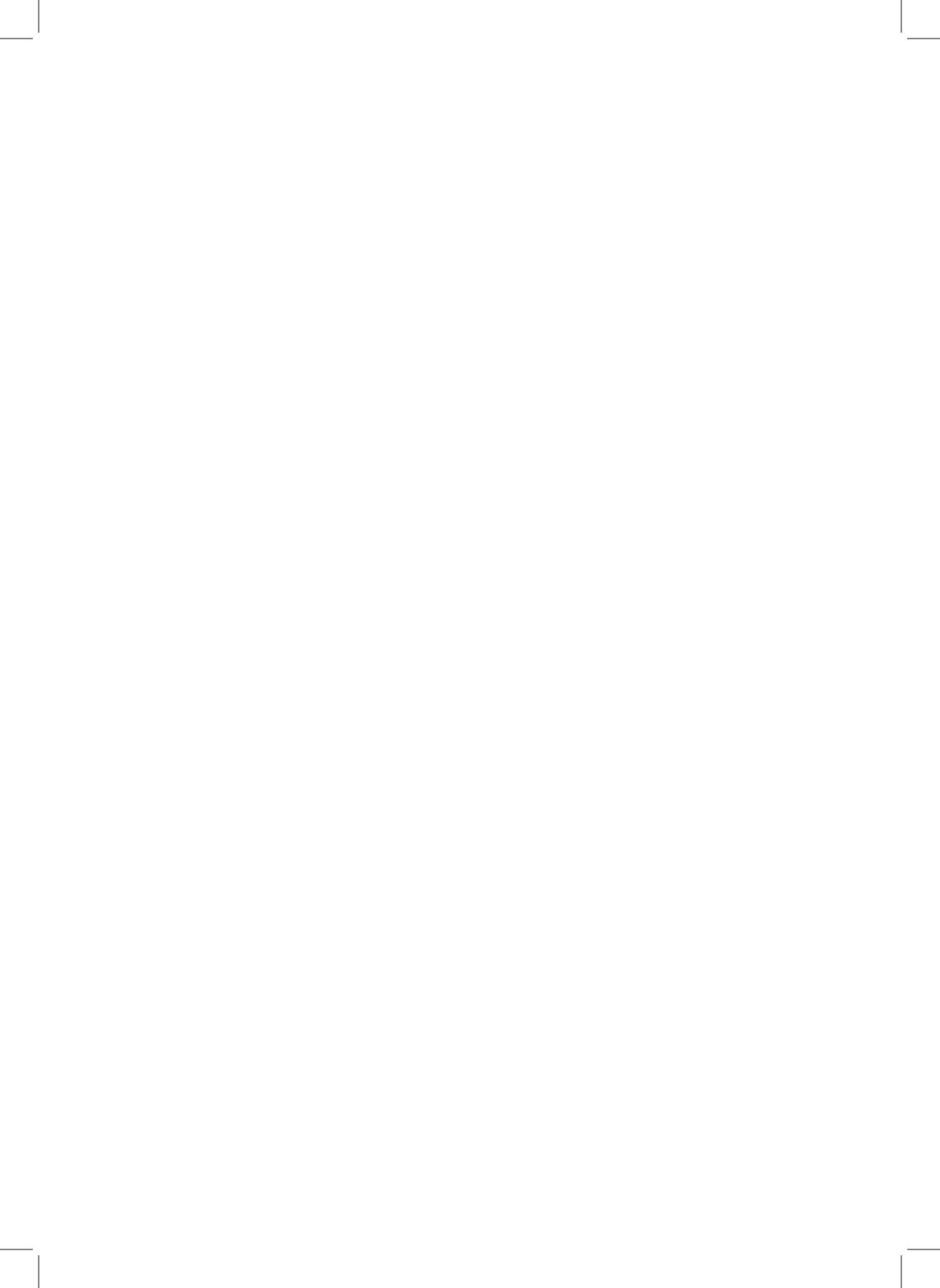
L s⁻¹ = litros por segundo;

Lb Pol⁻² = libras por polegada quadrada;

Log = logaritmo;

m = metros;

m dia^{-1} = metros por dia;
 m hora^{-1} = metros por hora;
 m m^{-1} = metros por metro;
 m s^{-1} = metros por segundo;
m.c.a. = metros de coluna d'água;
 m^2 = metros quadrados;
 m^3 = metros cúbicos;
 $\text{m}^3 \text{ h}^{-1}$ = metros cúbicos por hora;
 $\text{m}^3 \text{ h}^{-1}$ = metros cúbicos por hora;
 $\text{m}^3 \text{ min}^{-1}$ = metros cúbicos por minuto;
 $\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$ = metros cúbicos por segundo;
min = minutos;
mL = mililitros;
mm = milímetros;
 mm dia^{-1} = milímetros por dia;
 mm h^{-1} = milímetros por hora;
 mm volta^{-1} = milímetros por volta;
MPa = mega pascal;





Diagramação, Impressão e Acabamento

Triunfal Gráfica e Editora

Rua José Vieira da Cunha e Silva, 920/930/940 - Assis/SP
CEP 19800-141 - Fone: (18) 3322-5775 - Fone/Fax: (18) 3324-3614
CNPJ 03.002.566/0001-40