

# CURSO SOBRE PROJETOS DE ADUTORAS

## Adução \*

**WALTER ENGRACIA DE OLIVEIRA**  
Engenheiro Civil e Sanitarista  
Diretor de Serviço do  
DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E  
ESGOTOS DE SÃO PAULO

### Introdução

O presente trabalho visa apresentar uma orientação geral, no tocante à solução do problema da elaboração de estudos e projetos de adução de água; visamos assim completar os conhecimentos já adquiridos no curso de engenharia, pelos técnicos interessados, notadamente os que se ocupam de projetos, bem como os encarregados de examinar e apreciar projetos elaborados por terceiros.

Assim, o presente trabalho é à rigor, um resumo do assunto, devendo os interessados em melhor conhecer o problema da adução em geral, recorrer, entre outros elementos, à bibliografia indicada.

### 1. Generalidades

Adução é a parte do sistema de abastecimento de água constituída pelo conjunto de encanamentos, peças especiais e obras de arte, destinadas a promover a circulação da água entre os diversos órgãos do sistema, ou seja, entre:

- a) a captação e o reservatório de distribuição ou diretamente à rede de distribuição;
- b) a captação e a estação de tratamento;
- c) a estação de tratamento e o reservatório ou a rede de distribuição;
- d) o reservatório e a rede de distribuição.

As adutoras se caracterizam pelo fato de, em geral, não apresentarem distribuição de água em marcha.

Excepcionalmente, as adutoras podem apresentar sangrias simples, destinadas ao abastecimento de centros intermediários. Quando, de uma adutora principal, derivam-se várias adutoras secundárias, estas são também chamadas de sub-adutoras.

Outra definição extraímos das Normas e Especificações Adotadas pelo Departamento de Águas e Esgotos de São Paulo, para a Elaboração de Projetos de Rêdes de Abastecimento de Água para a

Área Metropolitana da Capital de São Paulo (ver (1) — Vol. II — pág. 204) ver nota.

“Adutoras são os condutos destinados a ligar as fontes de abastecimento de água bruta às estações de tratamento de água, situadas além das imediações dessas fontes, ou os condutos ligando estações de tratamento situadas nas proximidades dessas fontes, a reservatórios que alimentam as rêdes de distribuição.

Sub-Adutoras são os condutos que servem para ligar as estações de tratamento de água ou os reservatórios de água potável dessas estações aos reservatórios que alimentam diretamente as linhas de distribuição ao consumo, e ainda os condutos destinados a ligar dois ou mais reservatórios de distribuição entre si.”

### 2. Classificação

#### 2.1 — De acôrdo com a energia de movimentação da água:

- a) Adução por gravidade: a energia para o escoamento provem da diferença de nível entre as partes do sistema.
- b) Adução por recalque: a energia para o escoamento é dada por um conjunto elevatório.
- c) Adução mista: parte por gravidade e parte por recalque.

#### 2.2 — De acôrdo com o modo de escoamento:

- a) **Adução em conduto livre:** o líquido em escoamento apresenta uma superfície livre constantemente sob a pressão atmosférica. A linha piezométrica efetiva do escoamento está contida, em todo o percurso, nessa superfície livre.
- b) **Adução em conduto forçado:** o líquido escôa sob pressão diferente da pressão atmosférica; para a água em escoamento, a linha piezométrica apresenta-se em declive, com inclinação dependente das perdas de energia por atrito.
- c) **Adução mista:** parte em conduto forçado e parte em conduto livre.

As linhas de gravidade podem ser em conduto livre ou forçado; as linhas de recalque são sempre em conduto forçado.

**NOTA:** (1) — Vol. II — Pág. 204, significa, o trabalho indicado na bibliografia sob o número 1; o restante da indicação refere-se ao volume e à página em que se encontra.

\* Entre 18 de Novembro a 16 de Dezembro de 1963 reuniu-se em São Paulo o Seminário sobre Projeto de Sistemas de Abastecimento Público de Água, com a colaboração da Universidade de São Paulo, por intermédio da Faculdade de Higiêne e Saúde Pública, onde se realizou o Seminário, e da Escola Politécnica, e sob o patrocínio da Organização Panamericana da Saúde e da Organização dos Estados Americanos. O autor teve a honra de ser convidado pelos coordenadores. Eng.º José Martiniano de Azevedo Neto e José Augusto Martins para ministrar a parte referente à adução; o presente trabalho representa a orientação assumida no Seminário, com relação ao problema dos projetos de adução em geral. Agradece o autor o envio de qualquer crítica ou sugestão que permita melhorar o texto deste trabalho.

### 3. Orientação geral para solução do problema da elaboração dos estudos e projetos de adução.

- a) Levantamento geral;
- b) Determinação da vazão de dimensionamento;
- c) Fixação dos elementos topográficos e de desenhos;
- d) Determinação do tipo de adutora e seu traçado;
- e) Dimensionamento da adutora;
- f) Estimativa do golpe de ariete;
- g) Corrosão e sua proteção;
- h) Dimensionamento econômico dos tubos;
- i) Escolha do tipo de revestimento dos tubos;
- j) Localização e dimensionamento dos órgãos acessórios da canalização, inclusive dos medidores de vazão;
- k) Localização e dimensionamento de ancoragens e travessias;
- l) Considerações diversas, tais como: recobrimento das canalizações, largura das valas, proteção de aterros e cortes e etc.;
- m) Projeto definitivo da adutora;
- n) Memorial Descritivo, Normas, Especificações e Caderno de Encargos;
- o) Orçamento; e
- p) Relatório geral.

### 4. Levantamento geral:

O projetista deve, inicialmente, percorrer a zona onde será construída a adutora, tomando um contato inicial com as condições topográficas do terreno em geral; verificará também os prováveis pontos de saída, de chegada e de derivações da adutora. Verificará também as condições e comprimentos das estradas e caminhos que poderão ser utilizados para o transporte de tubos e materiais, além dos tipos de vias públicas (p.ex. se são pavimentadas ou não) bem como as possibilidades de mão de obra disponível. Verificará também a existência de linhas de transmissão de energia elétrica, bem como colherá dados sobre a existência de canalizações em geral, bem como de outras construções, tais como prédios, tipo de ocupação do solo e etc. Enfim, verificará tudo aquilo que poderá influir na escolha do traçado, ou no tipo de adutoras a serem adotadas, inclusive entrando em contato com as diversas entidades públicas ou privadas, que, de qualquer modo poderão ser envolvidas na elaboração dos estudos e projetos, ou na execução da obra. Estas providências iniciais são de grande importância.

### 5. Determinação da vazão de dimensionamento:

O número de habitantes a serem abastecidos, e portanto, a quantidade de água necessária vai depender do estudo do crescimento demográfico. Este assunto é objeto de estudo detalhado em outra parte deste seminário, e portanto abordaremos o problema somente em linhas gerais.

#### 5.1 — Caso de sistemas desprovidos de reservatório de distribuição:

$$Q = \frac{k_1 \cdot k_2 \cdot q \cdot P}{3600 \text{ h}}$$

Q = vazão a aduzir em litros/seg.

$k_1$  = coeficiente do dia de maior consumo.

$k_2$  = coeficiente da hora de maior solicitação.

q = quota diária de água fornecida por habitante, em l/hab/dia.

P = número de habitantes à abastecer (População).

h = número de horas de funcionamento da adutora.

#### 5.2 — Caso de sistemas providos de reservatório de distribuição: (caso mais comum)

$$Q = \frac{k_1 \cdot q \cdot P}{3600 \text{ h}}$$

#### 5.3 — Dados indicativos:

q = depende do tamanho e tipo do núcleo urbano a ser abastecido; para as cidades do interior do Estado de São Paulo, adota-se no mínimo  $q = 200$  l/hab/dia. Para as localidades de menos de 50.000 habitantes, segundo as normas expostas em (36) o valor de q é:

Recomendado	150 a 200 l/hab/dia
Mínimo	100 l/hab/dia (a justificar)

$k_1 = 1.2$  a  $1.5$

$k_2 = 1.5$

Maiores detalhes sobre este assunto se encontram em (1) — Vol. II — pág. 172, (2) — págs. 26/31, (34) — págs. 35/38 e (43) itens 1 a 5 — págs. 22/26.

#### 5.4 — Volumes suplementares.

- a) Os volumes de água acima calculados, devem ser aumentados de 5%, no caso de adutoras de água bruta, que conduzem água da captação para as estações de tratamento, para fazer face aos gastos de água com lavagem de filtros, limpeza de decantadores, gastos gerais da estação e etc.
- b) Em certos casos, é conveniente aumentar-se a quantidade da água a ser aduzida, de uma margem de segurança, de 10% p.ex.

#### 5.5 — Estabelecimento das etapas da obra

As obras de adução, na grande maioria das vezes, são divididas em etapas, cada uma destinada a satisfazer uma determinada população; em geral são fixadas 2 ou 3 etapas. No futuro, este fato vai constituir um fator de segurança e de maior flexibilidade para o sistema, pois, no caso de um acidente p.ex. numa adutora, o abastecimento será garantido pela outra; para isso, as diversas etapas devem ser projetadas prevendo interligações entre as mesmas, com registros entre estas interligações, os quais normalmente ficam abertos, sendo fechados, p.ex. em caso de acidente numa linha, permitindo a execução de reparos.

#### 5.6 — Prazo para o qual as obras são projetadas

As adutoras devem ser projetadas, supondo um período de duração de 25 a 40 anos. Maiores detalhes sobre este assunto em geral, ver em (34) — item 2.6.0 — pgs. 38/39.

5.7 — **Exercício:** ver (1) — Vol. II — pg. 182 — Exercício 30-1.

## 6. Fixação dos elementos topográficos e de desenhos:

### 6.1 — Topografia

#### a) Generalidades

Os dados topográficos a serem utilizados devem ser preparados com o devido cuidado, pois irão constituir a base de todo o trabalho. É fundamental portanto que sejam elaborados com o devido rigor, seguindo as Normas e especificações fixadas para estes trabalhos; ver p.ex. as Normas e Especificações indicadas em (3).

#### b) Referência de nível:

A referência de nível (R.N.) deve ser indicada nas pranchas de desenho, bem como no relatório final.

#### c) Levantamento:

O levantamento planimétrico e altimétrico, das áreas de terreno, pode ser feito utilizando processos topográficos comuns ou então por métodos aerofotogramétricos, ou mistos. Por meio de inspeções locais e, dentro do necessário, por meio de levantamentos preliminares expeditos, o projetista determina a faixa, ou faixas, a serem levantadas.

#### d) Especificações gerais

Largura da faixa levantada: 50 metros no mínimo.

Curvas de nível: de metro em metro.

Nivelamento e contranivelamento, com estacas de 20 em 20 metros.

Secções transversais nos pontos julgados necessários.

Indicações precisas de todos os detalhes do terreno, tipo de ocupação do solo, rios, correjos, brejos, canalizações existentes, linhas de transmissão e etc.

### 6.2 — Desenhos

#### a) Escalas indicativas

Sistema geral: 1:10.000

Faixa da adutora com curvas de nível de metro em metro e largura mínima de 50 metros: 1:2.000 ou 1:1.000

Projeto da adutora: Escala horizontal 1:2.000 ou 1:1.000

Projeto da adutora: Escala vertical 1:200 ou 1:100

Desenhos de detalhes: em escalas convenientes como p.ex. 1:100 ou 1:50.

#### b) Formatos

Desde os trabalhos iniciais convem preparar os desenhos visando a uniformização dos mesmos para a apresentação final.

Além das dimensões preconizadas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas, indicamos as apresentadas em (A-7) — item 4. Ver nota.

NOTA: (A-7) — Item 4 significa o trabalho anexado sob n.º 7; o restante da indicação refere-se ao item.

## 7. Determinação do tipo de adutora e seu traçado:

### 7.1 — Linha de ensaio:

Inicialmente, após novas inspeções locais, se necessário, e exame dos dados topográficos, deve ser lançada uma linha de ensaio para o traçado da adutora. No lançamento da linha de ensaio, deve-se procurar o caminho mais reto, evitando-se excesso de curvas, pontos muito altos ou baixos, brejos, muitas travessias de vales, rios ou córregos, encostas íngremes, vias públicas muito movimentadas ou com pavimentos já executados, ou de repavimentação muito onerosa ou inconveniente, passagem por muitos terrenos de outras entidades públicas ou particulares (principalmente quando são de alto valor) e etc. Estabelece-se também as diferenças de nível geométrico e o comprimento da adutora.

### 7.2 — Ante-Projeto

Com base na linha de ensaio, desenha-se a linha adutora em planta e perfil.

Verifica-se a seguir os trechos que deverão ser por gravidade ou por recalque; fixa-se também os trechos prováveis que serão em condutos livres ou em condutos forçados.

No caso dos condutos forçados deve-se ter o cuidado de projetar de maneira a evitar que a linha piezométrica efetiva não cruze a canalização; a situação mais conveniente é quando a linha piezométrica efetiva se mantem sempre acima do conduto forçado. Diversas considerações sobre a linha piezométrica em relação à posição dos encanamentos podem ser melhor apreciadas em (1) — Vol. I — pág. 295 e em A-1) — item 4-b. As vezes pode não ser praticável manter a canalização abaixo da linha piezométrica em todos os seus pontos; a introdução de caixas intermediárias pode resolver satisfatoriamente o problema.

## 8. Dimensionamento das adutoras

### 8.1 — Adutoras por gravidade

Completando o exposto no item 2.1.a, as adutoras por gravidade se caracterizam pelo fato da água se escoar, graças à energia proveniente da diferença de nível entre as partes do sistema.

As adutoras por gravidade podem ser em conduto livre, ou em conduto forçado, ou misto, ou seja, parte em conduto livre e parte em conduto forçado.

A escolha do tipo da adutora depende das condições topográficas, e da comparação dos custos.

8.1.1 — **Condutos livres:** abordaremos a questão dos condutos livres em linhas gerais, de maneira a fornecer um roteiro para o exame do assunto; mais detalhes poderão ser estudados em (1) — Vol. II — pg. 44/120, e em (A-1) — item 4-a.

#### a) Generalidades

Conforme já exposto no item 2.2.a, os condutos livres são aqueles em que o líquido em escoamento apresenta uma superfície livre constantemente sob pressão atmosférica. Em terrenos acidentados, exigem um desenvolvimento muito grande e a construção de obras de arte para a transposição de depressões, o que vem onerar o custo da obra.

## b) Tipos de condutos livres

**Condutos a céu aberto:** usados somente para água bruta — canais, canaletas, calhas.

**Condutos livres providos de cobertura:** aquedutos, galerias, túneis, tubos.

Para melhor completar este assunto ver também o exposto em (1) — Vol. I — pgs. 136/138.

## c) Forma dos condutos

**Trapezoidal:** canais escavados em terra, com ou sem revestimento. São os mais comuns.

**Retangular:** canais abertos em rocha (largura igual a duas vezes a altura).

**Semi-Circulares:** fabricados comercialmente.

**Circulares:** fabricados comercialmente.

**Especiais:** adotados nas grandes instalações (melhores características construtivas e estruturais) seção retangular, seção em ferradura, seção semi-elítica, seção ovoide etc.

## d) Materiais empregados nos condutos livres:

Mais detalhes sobre o assunto devem ser vistos em (A-2), em (1) — Vol. I — pg. 221/224 e em (34) — item 2.15 — pg. 87.

**Materiais em geral:** Alvenaria, ferro fundido, aço, concreto simples ou armado, cimento amianto, manilhas cerâmicas, chapas e perfis metálicos, madeira.

Os tubos de concreto simples e os tubos cerâmicos podem ser usados somente com água bruta; ocasionalmente podem ser destinados a conduzir água potável, desde que hajam condições locais de boa proteção sanitária da tubulação.

## Diâmetros comerciais dos tubos.

Sobre este assunto indicamos que se recorra ao exposto em (1) — Vol. I — pgs. 221/224; recomendamos que o projetista mantenha sempre contato com fabricantes ou distribuidores de tubos, peças e acessórios, procurando sempre manter-se atualizado em matéria de catálogos e outras informações relativas aos materiais fabricados.

e) **Dados e conceitos fundamentais:** Para melhor elucidação de alguns conceitos ver (1) — Vol. II — item 22.3 — pg. 44/46.

## 1 — Velocidade

## Velocidade nos canais

a) A velocidade máxima será encontrada pouco abaixo da superfície livre;

b) A velocidade média numa vertical geralmente equivale a 80% — 90% — da velocidade superficial.

c) A velocidade a seis décimos da profundidade geralmente é a que mais se aproxima da velocidade média.

**Velocidade limite:** sobre este assunto recomendamos que se recorra também ao exposto em (1) — Vol. II — pg. 105/106, na tabela encontrada em (34) — pg. 63, em (A-1) — tabela VII e em (36) — item 5.3.4.1 pg. 15, bem como sejam consultados os fabricantes.

**Limite inferior:** estabelecido para evitar a deposição de materiais em suspensão; dependendo do material que a água carrega a velocidade média, limite inferior, varia de 0,30 a 0,60 m/seg.

**Limite superior:** visa a proteção do canal ou tubulação contra o desgaste excessivo.

Dependendo do material do canal ou da tubulação, a velocidade média, limite superior, varia de 0,30 a 6,00 m/seg.

## Velocidades práticas: valores mais comuns:

Coletores e emissários de esgotos: 0.60 a 1.50 m/seg.

Aquedutos de água potável: 0.60 a 1.30 m/seg.

Canais de navegação, sem revestimento até 0.50 m/seg.

Canais industriais, sem revestimento: 0.40 a 0.80 m/seg.

Canais industriais com revestimento: 0.60 a 1.30 m/seg.

2 — **Declividade limites:** sendo a velocidade função da declividade, em consequência dos limites estabelecidos para a velocidade, decorrem limites à declividade.

No caso de aquedutos de água potável, a declividade limite varia de 0.00015 a 0.001 m/m.

Mais detalhes ver em (1) — Vol. II — item 26.5 — pg. 106.

## 3 — Conceitos

**Seção ou Area molhada:** area util de escoamento numa seção transversal.

**Perímetro molhado:** linha que limita a seção molhada junto às paredes e ao fundo do conduto.

**Raio Hidráulico ou Raio Médio:**

$$R = \frac{\text{Área molhada}}{\text{Perímetro molhado}}$$

**NOTA:** Ver Quadro 22.1, em (1) — Vol. II — pág. 50, que contem a área molhada, o perímetro molhado e o raio hidráulico de algumas seções usuais.

## f) Dimensionamento

## 1 — Dimensionamento em geral

**Dados conhecidos** (problema mais comum)

Vazão — Q

Desnível — H; distância entre os pontos de partida e chegada da adutora — L; conformação do terreno.

Características de resistência ao escoamento oferecida pelas paredes de diferentes tipos de condutos disponíveis.

Custo unitário de construção.

Velocidade limite para os diversos tipos de condutos.

**Incógnitas**

Velocidade — V

Diâmetro da canalização — D

**Perdas localizadas:** em geral não se precisa levar em conta, pois as perdas localizadas não são consideradas quando:

O comprimento da adutora é maior que 4000 vezes o diâmetro;

A velocidade é baixa;

O número de peças especiais não é grande.

#### Precauções gerais a serem consideradas:

- Uso de condutos livres providos de cobertura e afastados de focos locais de poluição, sempre que a água aduzida for considerada potável.
- Dimensionamento da adutora de modo que a velocidade de escoamento se mantenha dentro do intervalo de funcionamento adequado.

#### Fórmulas utilizadas

**Equação da continuidade:**  $Q = A.V.$

$Q =$  Vazão de escoamento em m<sup>3</sup>/seg.

$A =$  Área molhada em m<sup>2</sup>

$V =$  Velocidade média em m/seg.

As secções dos tubos, de acôrdo com os diversos diâmetros acham-se indicados na Tabela 12-2, em (1) — Vol. I — pg. 149.

**Equação geral de resistência:**  $RI = \phi (V)$

**Fórmulas práticas:** As fórmulas práticas mais empregadas como equação de resistência ao escoamento são baseadas na expressão de Chezy, e são:

**Fórmula Chezy:**  $V = C \sqrt{RI}$

$V =$  velocidade em m/seg.

$C =$  Coeficiente que depende não somente da natureza e do estado das paredes dos condutos, mas também de sua própria forma, havendo fórmulas em que o seu valor se relaciona ainda à declividade; os valores de  $C$  são indicados na tabela 23-1, em (1) — Vol. II — pg. 52.

$R =$  Raio Hidráulico em m (metro)

$I =$  Declividade em m/m (metro por metro).

**Fórmula de Bazin (2.<sup>a</sup> fórmula):**

$$V = \frac{87}{1 + \frac{v}{\sqrt{R}}} \sqrt{RI}$$

$V =$  velocidade média em m/seg.

$R =$  Raio hidráulico em m.

$I =$  Declividade em m/m.

$y =$  coeficiente que depende da natureza das paredes; os valores de  $y$  acham-se indicados nas:

Tabelas 23-2, e 23-4 e no abaco em (1) — Vol. II — pg. 53/54 e 62; para o caso de coletores de esgoto ver Tabela 23-5, em (1) — Vol. II — pgs. 63/67.

Para facilitar os cálculos, pode-se também utilizar as Tabelas 25-2 e 25-3, em (1) — Vol. II — pgs. 97/98.

Várias considerações sobre o emprêgo da fórmula de BAZIN, inclusive tabelas, encontramos em (37).

**Fórmula de Ganguillet & Kutter ou "Fórmula de Kutter":**

$$V = \frac{0.00155}{I} + \frac{1}{n} \sqrt{RI} \div \left( 1 + \left( 23 + \frac{0.00155}{I} \right) \frac{n}{\sqrt{R}} \right)$$

$n =$  coeficiente que depende da natureza das paredes; os valores de  $n$  são indicados na Tabela 23-3, em (1) — Vol. II — pg. 55.

Para o caso de condutos circulares de concreto, cimento-amianto e cerâmico recorrer à Tabela 23-6, em (1) — Vol. II — pgs. 68/82.

**Fórmulas diversas:** em (1) — Vol. II — pgs. 56/59, encontramos ainda outras fórmulas tais como:

Fórmula simplificada de Kutter

" de Manning

" " Gauckler-Strickler

" " Forchheimer

" " Hazen-Williams

" " Karman-Prandtl para canais em geral

#### Solução:

Levando em conta os elementos hidráulicos e econômicos suficientes, podemos por tentativas, determinar o tipo e as dimensões da secção de escoamento, a declividade e o material a ser usado na adutora mais econômica. Na determinação da secção de escoamento deve-se escolher, no caso de tubos, os diâmetros comerciais existentes no mercado.

#### Exercícios:

- Exercício 23-1, em (1) — Vol. II — pg. 59.
- ver (4) — pg 174.

#### 2 — Dimensionamento de condutos circulares

Os tubos normalmente fabricados apresentam secção circular.

Temos as seguintes hipóteses para o cálculo do Raio Hidráulico:

$$\text{Escoamento a meia secção: } R = \frac{D}{4}$$

$$\text{Escoamento a secção plena: } R = \frac{D}{4} \text{ (a velocidade é a mesma do caso anterior, mas a vazão é dupla).}$$

Escoamento em condutos parcialmente cheios:

$$A = \frac{D^2}{4} \left( \frac{\sqrt{\theta}}{360} \frac{\sin \theta}{2} \right)$$

$$P = \frac{\sqrt{D} \theta}{360}$$

$$R = \frac{D}{4} \left( 1 - \frac{360 \operatorname{sen} \theta}{2\sqrt{D}} \right)$$

$\theta$  = angulo central

Estes elementos também podem ser obtidos em função dos coeficientes  $z_2$ ,  $z_3$  e  $z_4$  apresentados na Tabela 24-1, em (1) — Vol. II — pgs. 88/89; ver também item 24.3 e 24.4 em (1) — Vol. II — pgs. 86/87.

#### Observações importantes:

Velocidade máxima num conduto circular:  
 $h = 0.81 D$

Vazão máxima:  $h = 0.95 D$   
 sendo  $h$  = altura da lamina d'agua,  
 $D$  = diâmetro da canalização.

**Exercícios:** ver Exercícios 24-1, 24-2, 24-3 e 24-4 em (1) — Vol. II — pgs. 84/85/90/91 respectivamente.

#### 3 — Secções econômicas — canais abertos — problemas diversos:

**Secções circulares e semi-circulares** apresentam as melhores condições hidráulicas, e são portanto a economicamente mais ideais; a sua adoção está condicionada, no caso de grandes condutos, a questões estruturais e aos processos de execução.

**Secção retangular:** é geralmente adotada nos canais de concreto e nos canais abertos em rocha; a secção mais favorável é aquela em que a base é o dobro da altura.

**Secção trapezoidal:** a mais vantajosa é a de um semi-hexagono regular. Contudo, se não houver revestimento, a inclinação das paredes laterais do canal deve satisfazer ao talude natural das terras, para sua estabilidade e permanência. A Tabela 25-1, em (1) — Vol. II — pg. 95, apresenta os valores médios comuns para os taludes em canais abertos.

**Exercício:** ver Exercício 25-1, em (1) — Vol. II — pg. 94/95.

**Secções muito irregulares, secções com rugosidades diferentes, secções de concordância:** ver em (1) — Vol. II — pgs. 99/100.

**Canais abertos:** diversos são os casos que podem se apresentar para o cálculo, os quais se acham indicados no Quadro 25-1, em (1) — Vol. II — pg. 96.

**Problemas gerais:** vários outros problemas, tais como: curvas, perdas de cargas em curvas nos canais abertos, velocidade ótima nos grandes canais, energia específica, profundidade crítica, ressalto hidráulico e remanso, podem ser estudados em (1) — Vol. II, entre as pgs. 100/120.

8.1.2 — **Condutos forçados:** do mesmo modo que no caso dos condutos livres, abordaremos a questão dos condutos forçados em linhas gerais, apresentando um roteiro para exame do assunto; mais detalhes poderão ser estudados em (1) — Vol. I — pgs. 135/273, e em (A-1) — item 4 — b.

a — **Generalidades:** conforme já expusemos no item 2.2.b, os condutos forçados são aqueles em que o líquido se escoia sob pressão diferente da pressão atmosférica.

O traçado das adutoras por gravidade, em condutos forçados, deve ser estudado cuidadosamente, afim de serem evitadas várias dificuldades que poderão prejudicar o funcionamento da adutora, ou mesmo, por em risco a segurança das instalações; sôbre esta questão de grande importância além do já mencionado no item 7.2, reportar ao exposto em (A-1) — item 4-b-2, e em (34) — número 1 e 2 do item II — pg. 64.

#### b — Tipos de condutos forçados:

Túneis: em geral cravadas em rocha e revestidas de concreto ou aço.

Tubos.

#### c — Forma dos condutos:

No caso de tubos a forma é circular e no caso de túneis a forma será determinada em função de condições hidráulicas e construtivas.

d) — **Materiais empregados nas canalizações forçadas:** mais detalhes sôbre este assunto devem ser vistos em (A-2), em (1) — vol. I — pg. 221/224, em (A-1) — item 4-b-3, e em (34) — item 2.15.0 — pg. 87.

#### Materiais em geral:

Ferro Fundido.

Concreto armado:

a) sem camisa de aço:

sem protensão.

com protensão.

com protensão transversal.

com protensão transversal e longitudinal.

b) com camisa de aço:

sem protensão.

com protensão.

Cimento-amianto

Aço	{	chapas de aço rebitadas	
		" " " soldadas:	
		emendas retilíneas	
		" " " sem costura	em hélice

Plástico

Cerâmico — (excepcionalmente)

Madeira

**NOTA:** recomendamos que os tubos de ferro fundido, cimento armado e cimento amianto sejam de tipo com juntas constituídas por um anel de borracha. Assinalamos que estes anéis apresentam boa duração; já foi examinado anel com 54 anos e que apresentava qualidade aceitável (39).

Os tubos de aço nas canalizações enterradas, e com diâmetro superior a 600 mm são soldadas no campo; os tubos de diâmetro inferior a 600 mm e as canalizações descobertas levam juntas DRESSER, VICTAULIC, etc. — ver (34) — pg. 98.

#### Orientação geral sôbre a escolha dos materiais a empregar:

Condutos de secção pequena ou moderada, e quando for necessário o emprego de muitas peças especiais: ferro fundido.

Conduto com pressão interna muito elevada: aço.

Conduto para águas moles e agressivas: tubulações revestidas de argamassa de cimento e areia ou outros revestimentos protetores, tubos de concreto ou de cimento-amianto (no caso de não ocorrerem cargas externas muito elevadas).

Conduto com pequenos diâmetros e pressões muito baixas: tubos cerâmicos vidrados.

Conduto com baixo custo inicial e durabilidade menor: madeira.

Conduto para fins especiais: plástico.

**NOTA:** Recomendamos, no caso da utilização de tubos de ferro fundido em geral, que os tubos venham revestidos com argamassa de cimento e areia; este revestimento, além de proteger a tubulação contra a corrosão e a formação de incrustações, permitindo vida mais longa, propicia melhores condições para o escoamento da água, o que permite o emprego de tubos com menor diâmetro que no caso de emprego de tubos de ferro fundido comuns.

#### e) Velocidades médias comuns e valores limites:

1 — **Velocidade mínima** — é geralmente fixada entre 0.25 e 0.40 m/seg. dependendo da qualidade da água; para as águas que contem certos materiais em suspensão a velocidade não deve ser inferior a 0.60 m/seg.

2 — **Velocidade máxima:** depende de vários fatores, que poderão ser apreciados em (1) — Vol. I — pg. 225, onde inclusive encontramos a Tabela 13 — pg. 226, onde se encontra indicação das velocidades limites nos serviços de água, em função do diâmetro do tubo, bem como na Tabela 13-2, pg. 227, onde se encontram as velocidades máximas e vazões permissíveis nos sistemas de distribuição de água e vazões correspondentes.

Assinalamos que se trata de assunto bastante discutível, e que está exigindo um melhor exame por parte dos pesquisadores, pela sua importância no dimensionamento econômico dos condutos forçados, notadamente no caso de linhas de recalque. Ponderamos que é conveniente consultar os fabricantes sobre as velocidades máximas que aconselham. Em princípio, a velocidade máxima não deve ultrapassar 2.40 m/seg.; a sua fixação depende do diâmetro da canalização.

#### f) Dimensionamento:

É recomendável dividir-se a adutora em alguns trechos, bem definidos, segundo a pressão piezométrica efetiva; consegue-se com isto uma economia apreciável; esta divisão da linha exige certos cuidados na sua execução, bem como no caso de trocas de tubos, daí a necessidade dos trechos não serem muitos, e bem definidos, entre pontos bem determinados da linha adutora.

##### 1 — Dimensionamento em geral

Não abordaremos os diversos aspectos teóricos do problema, que se acham indicados em detalhes em (1) — Vol. I — pgs. 135/273.

Em princípio o dimensionamento dos condutos forçados obedece a cálculo idêntico ao das adutoras em conduto livre.

#### Dados conhecidos

Vazão — Q

Perda de carga unitária: J (em geral, no caso de adutoras, aproveita-se quase todo o desnível do terreno, a não ser em casos especiais como p.ex. a conveniência de alimentar diretamente um reservatório elevado e etc).

Características de resistência ao escoamento oferecida pelas paredes de diferentes tipos de condutos disponíveis, de acordo com o uso preconizado para os mesmos, o que é função da pressão, cargas externas, qualidade da água.

Custo unitário da construção.

Velocidades limites para os diversos tipos de conduto.

#### Incognitas

Velocidade — V

Diâmetro — D

**Perdas localizadas:** repetimos as mesmas considerações feitas no item 8-1-1.

#### Fórmulas utilizadas:

**Equação da continuidade:**  $Q = AV$

As secções dos tubos, de acordo com os diversos diâmetros, acham-se indicadas na Tabela 12-2, em (1) — Vol. I — pg. 149.

**Equação geral de resistência:**  $DJ = \phi(V)$

**Fórmulas práticas:** existe uma grande variedade de fórmulas práticas, empregadas para o cálculo de condutos forçados; interessante examinar-se as considerações sobre esta questão, constantes de (1) — Vol. I — Capítulo 14 — pg. 229. Chegamos à conclusão que a fórmula de Hazen-Williams é a que apresenta maiores vantagens na sua aplicação, pelas razões expostas em (1) — Vol. I — pg. 239; o seu limite de aplicação é entre os diâmetros de 50 a 3500 mm.

#### Expressão geral da fórmula de Hazen-Williams:

$$V = 0.355 \cdot C \cdot D^{0.63} \cdot J^{0.54}$$

V = Velocidade média em m/seg.

C = Coeficiente que depende da natureza das paredes dos tubos (material e estado).

D = Diâmetro em m.

J = Perda de carga unitária em m/m.

Os diversos Quadros, Tabelas e Nomograma a que podemos recorrer, seja para tomar o valor de C, seja para simplificar os cálculos se encontram em (1) — Vol. I:

Quadro 14-4 — Valor do coeficiente C — pg. 237.

Tabela 14-1: Valores dos coeficientes C segundo os dados analisados por Hazen-Williams. Tubos de Ferro Fundido — pg. 244.

Tabela 12-6: Fórmula de Hazen-Williams (C=90): pgs. 195/212.

Nomograma da Fórmula de Hazen-Williams (C=100): pg. 248.

Nomograma da Fórmula de Hazen-Williams: pg. 215.

Tabela 14-2: Fatores de Correspondência "K" para os vários valores de "C" na Fórmula de Hazen-Williams — pg. 245.

Encontramos também um Nomograma e Tabelas práticas em (5) — pg. 116/119.

**Expressão da Fórmula de Hazen-Williams para**

$$C = 100:$$

$$V = 35.5 D^{0.63} J^{0.54}$$

$$Q = 27.88 D^{2.63} J^{0.54}$$

$$J = 0.00135 \frac{V^{1.852}}{D^{1.167}}$$

$$J = 0.0021 \frac{Q^{1.852}}{D^{4.87}}$$

**Fórmulas diversas:** em (1) — Vol. I — Capítulo 13 — pgs. 151/216, encontramos outras fórmulas utilizadas tais como:

Fórmula de Darcy — pgs. 151/160, inclusive: Tabela 12-1, pg. 152, Tabela 12-2, pg. 155 e Tabela 12-3, pgs. 157/158.

Fórmula de Flamant: pg. 160, inclusive nomograma de pg. 166 e Tabela 12-4, pgs. 167/189.

Fórmula de Levy: pg. 160 e Tabela 12-5, pgs. 190/194. Para maiores detalhes sobre esta fórmula ver também (6).

Fórmula de Scobey: pg. 160.

Fórmula de Ludin: pg. 161.

Fórmula de Strickler: pg. 161.

Fórmula de Manning: pg. 161.

Fórmula de Fair-Whipple-Hsiao: pg. 164 e abacos de pg. 213 e 214.

Uma comparação do resultado da aplicação das diversas fórmulas se encontra em (1) — Vol. I — item 13.2 — pg. 217. Verifica-se que, no cálculo das vazões para tubos de ferro fundido em uso, os resultados que mais se aproximam da Fórmula de Hazen-Williams são os das Fórmulas de Darcy e de Levy.

Uma fórmula também muito empregada é a fórmula universal (ver citação em (34) — pg. 65).

#### Solução:

Levando em conta os elementos hidráulicos e econômicos podemos, por tentativas, fixando o tipo ou tipos de materiais a serem empregados na adutora, determinar as dimensões da seção de escoamento segundo os diâmetros comerciais existentes no mercado.

Para o pré-dimensionamento das canalizações podemos utilizar a Tabela 13-3, em (1) — Vol. I — pg. 228.

**Exercício:** 1 — Exercício 14-1, em (1) Vol. I — pg. 246/247.

2 — Cota piezométrica de montante: 812.55 m.

Nível de água do reservatório: 798.66 m.

Extensão: 1500 m.

Material: Ferro Fundido revestido de argamassa de cimento e areia, ou aço, ou concreto.

Vazão: 240 l/seg.

Adotamos  $C = 120$  (valor que pode ser julgado conservador e que provavelmente corresponde a uma folga da capacidade de adução).

#### Cálculo

$$\text{Carga disponível} = 812.55 - 798.66 = 13.89 \text{ m.}$$

$$\text{Gradiente disponível} = J = \frac{13.89}{1500} = 0.00926 \text{ m/m ou } J = 9.26 \text{ m/km.}$$

Com auxílio do nomograma exposto em (1) — Vol. I — pg. 248 temos:

$$J_c = J_{100} \cdot K \text{ ou } J_{100} = \frac{J_c}{K}$$

$$K = 0.71 \cdot J_{100} = \frac{9.26}{0.71} = 13.1 \text{ m/km}$$

Com o auxílio do nomograma temos:

$$D = 16'' \text{ ou } D = 400 \text{ m}$$

$V = 1.95 \text{ m/seg.}$  que no caso da adutora pode ser considerado aceitável.

#### 2) Encanamentos Equivalentes — Condutos Mixtos — Problemas dos Reservatórios.

Os assuntos acima assinalados, representam questões que aparecem comumente na prática; mais detalhes sobre os mesmos devem ser examinados em (1) — Vol. II — Capítulo 20 — pgs. 23/24. Assinalamos também os trabalhos mencionados em (7), (8) e (9).

3) **Precauções especiais a serem consideradas:** este assunto, que se refere à instalação de registros de parada, ventosas, registros de descarga e válvulas de retenção será tratado mais adiante.

(continua)