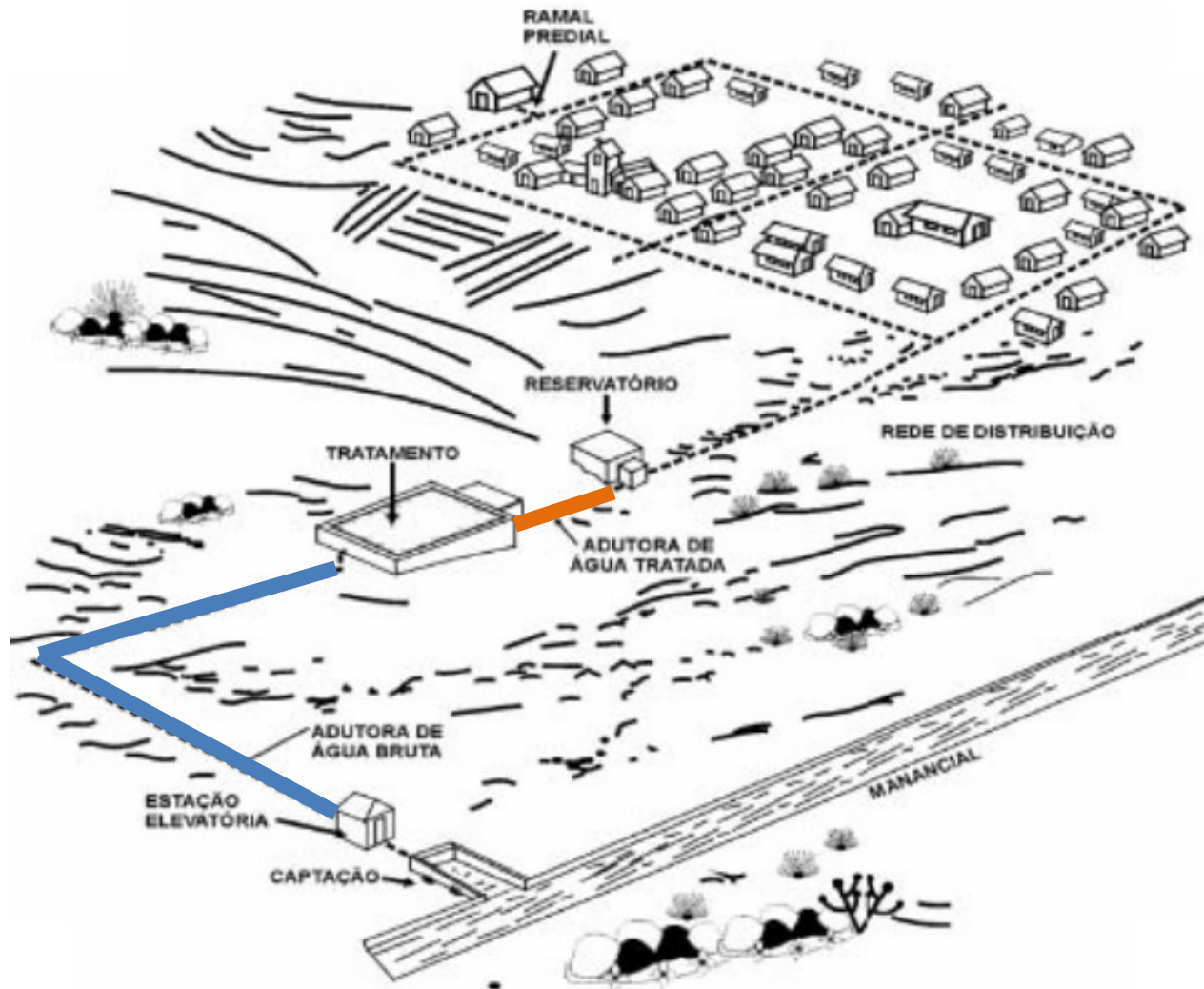


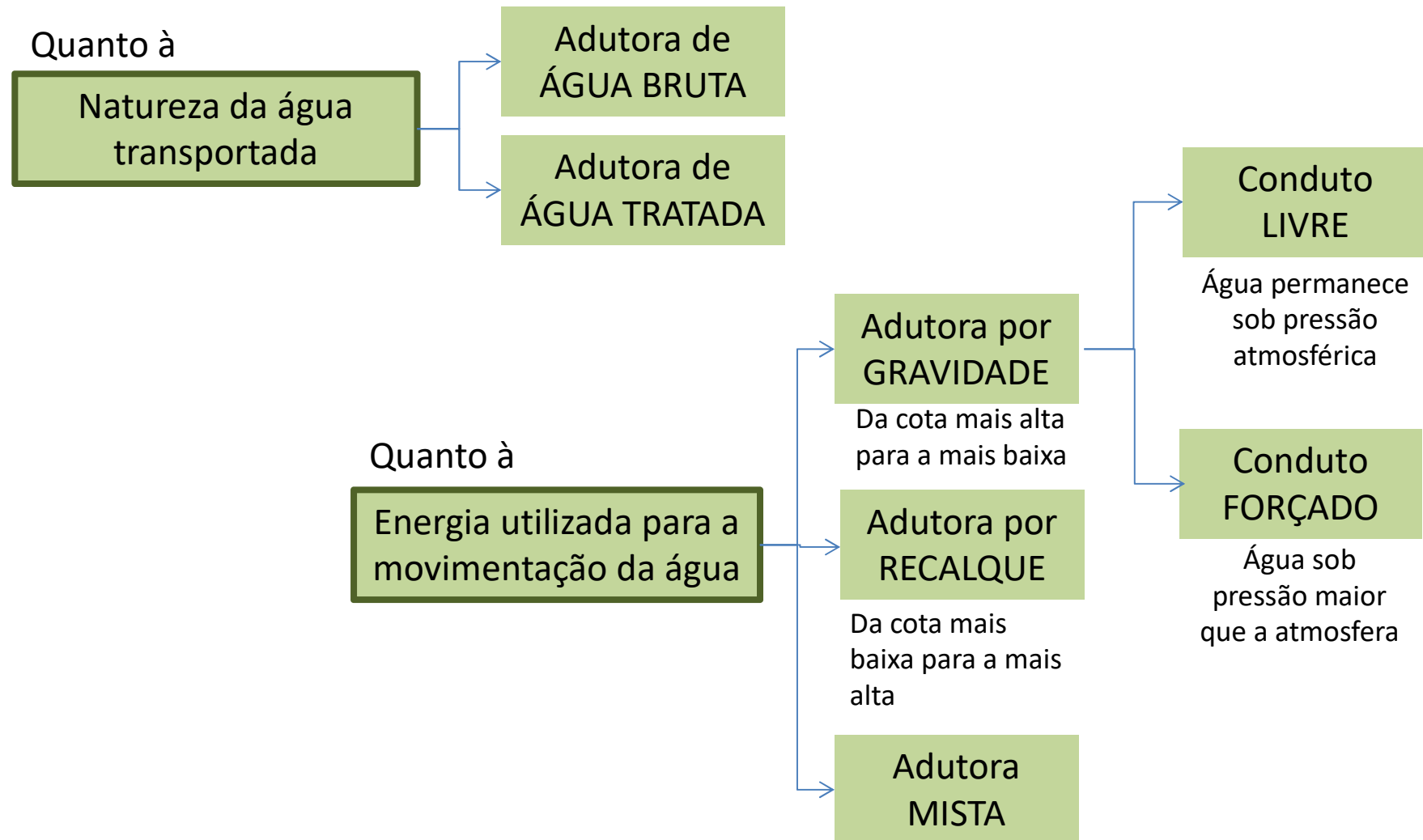
6 – Adutoras

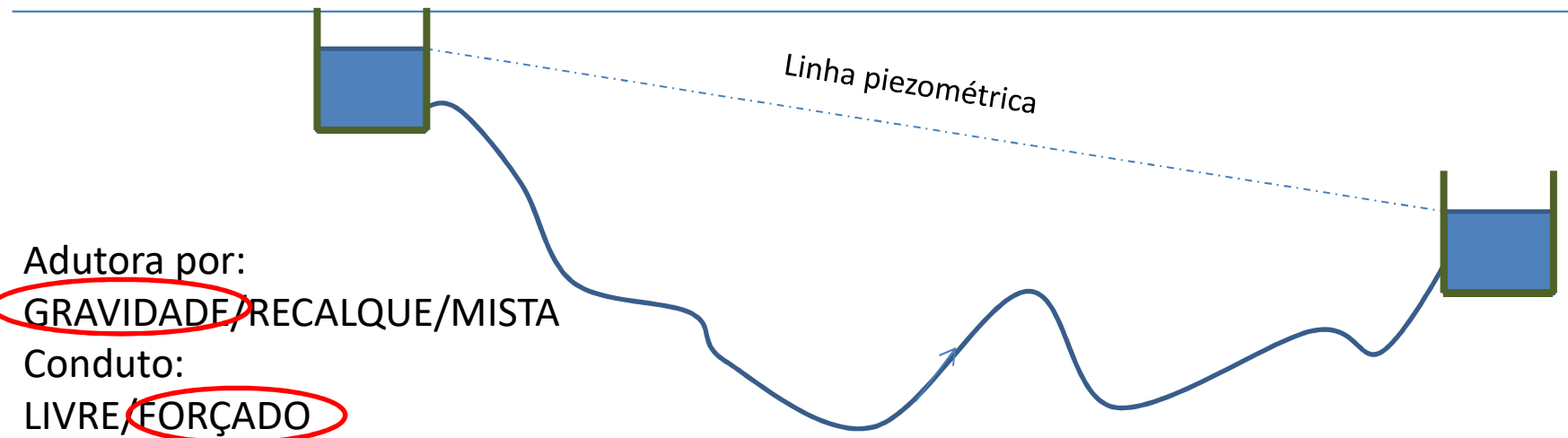
Canalizações do sistema de abastecimento de água que interligam as unidades (captação → ETA, ETA → reservatório) que precedem a distribuição

IMPORTANTE:
Análise do traçado
(planta e perfil) para correta colocação dos órgãos acessórios e ancoragens

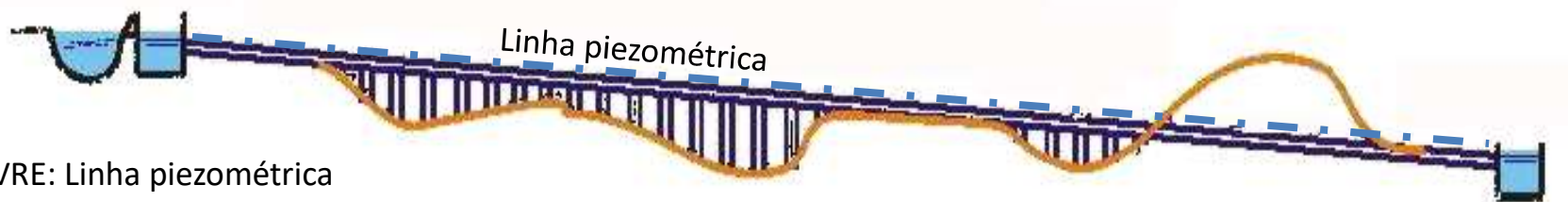


6.1 - Classificação das adutoras

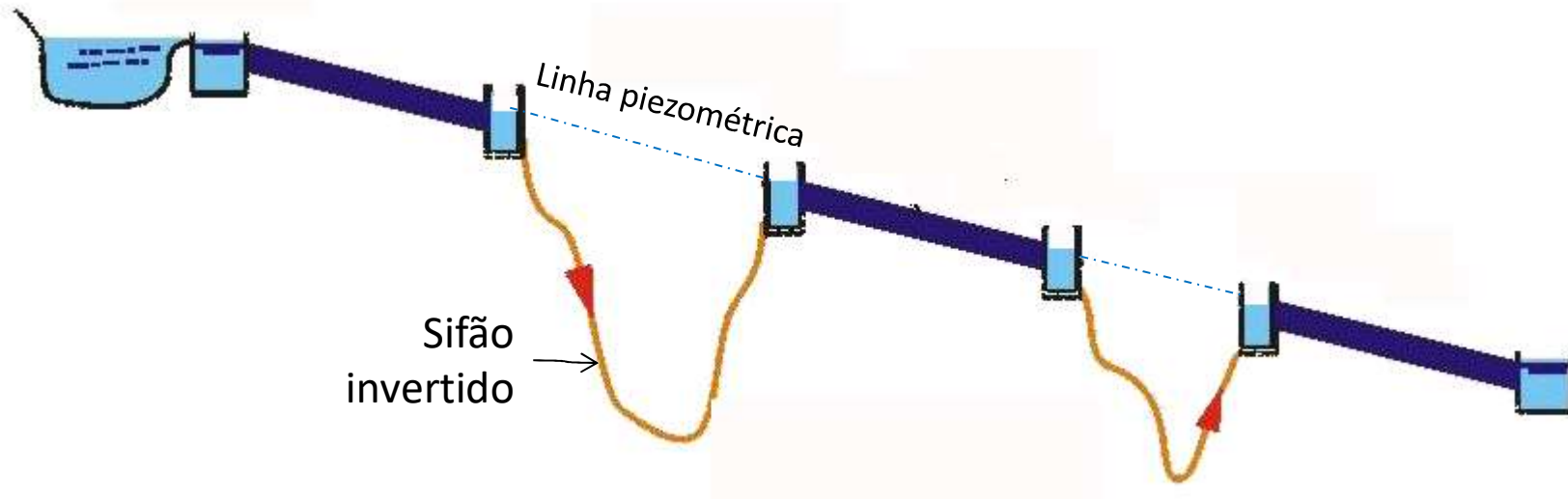




Adutora por:
~~GRAVIDADE~~/RECALQUE/MISTA
 Conduto:
~~LIVRE~~/FORÇADO



LIVRE: Linha piezométrica
 coincidente com o nível de água

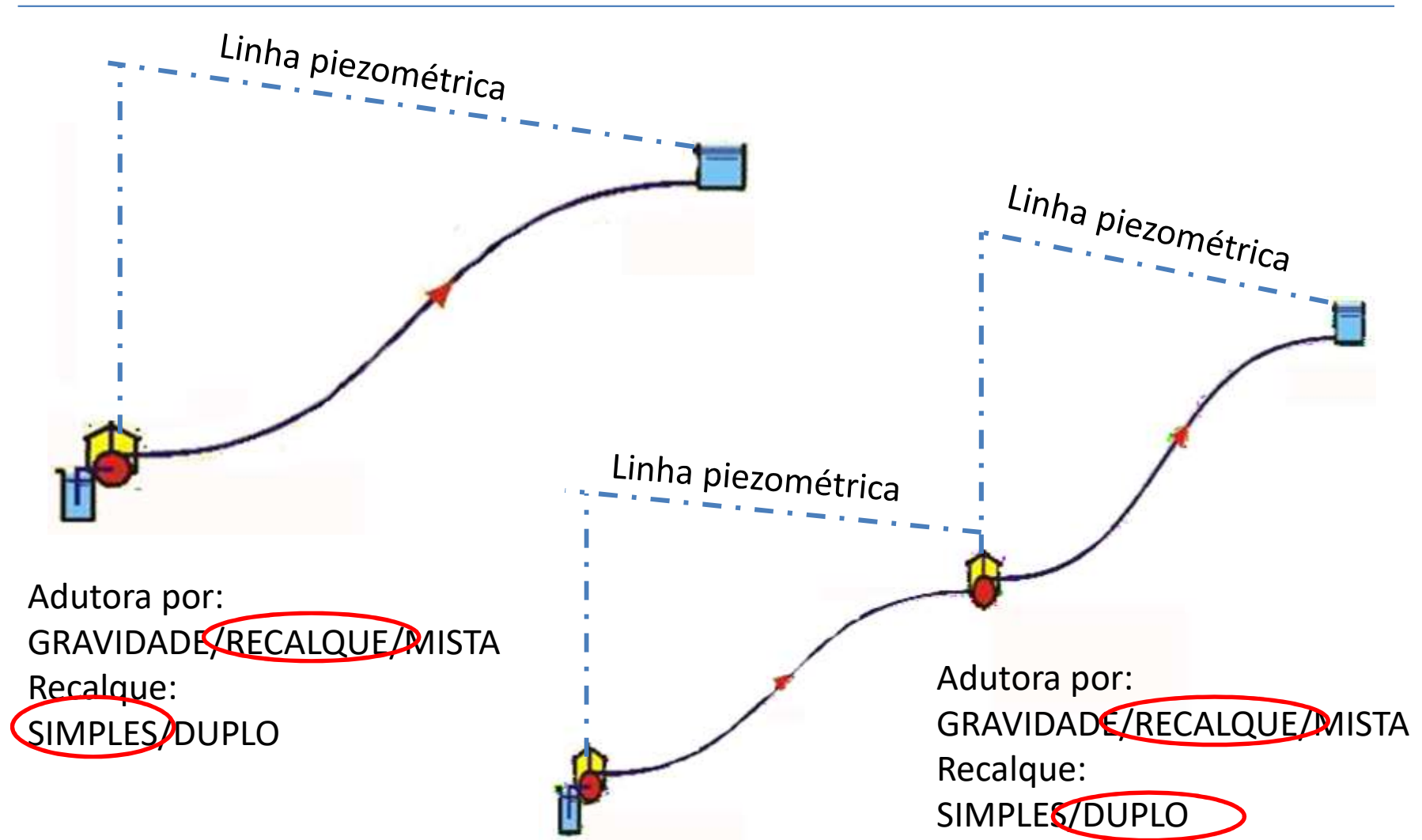


Adutora por:

GRAVIDADE/RECALQUE/MISTA

Conduto:

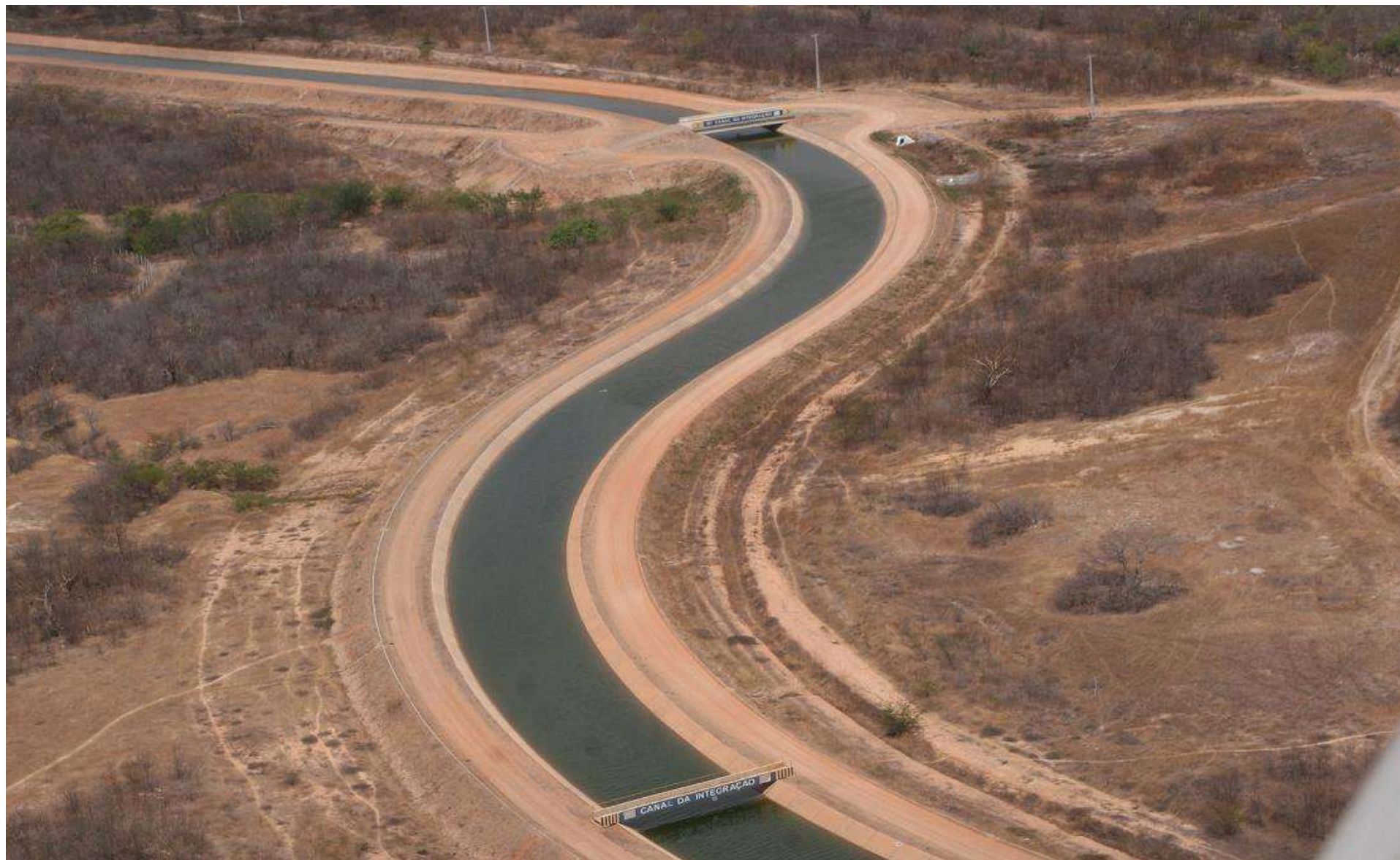
LIVRE/FORÇADO





Fonte: EPUSP – PHD2412 -
http://200.144.189.97/phd/default.aspx?id=28&link_uc=disciplina

Canal da Integração Eixão das Águas



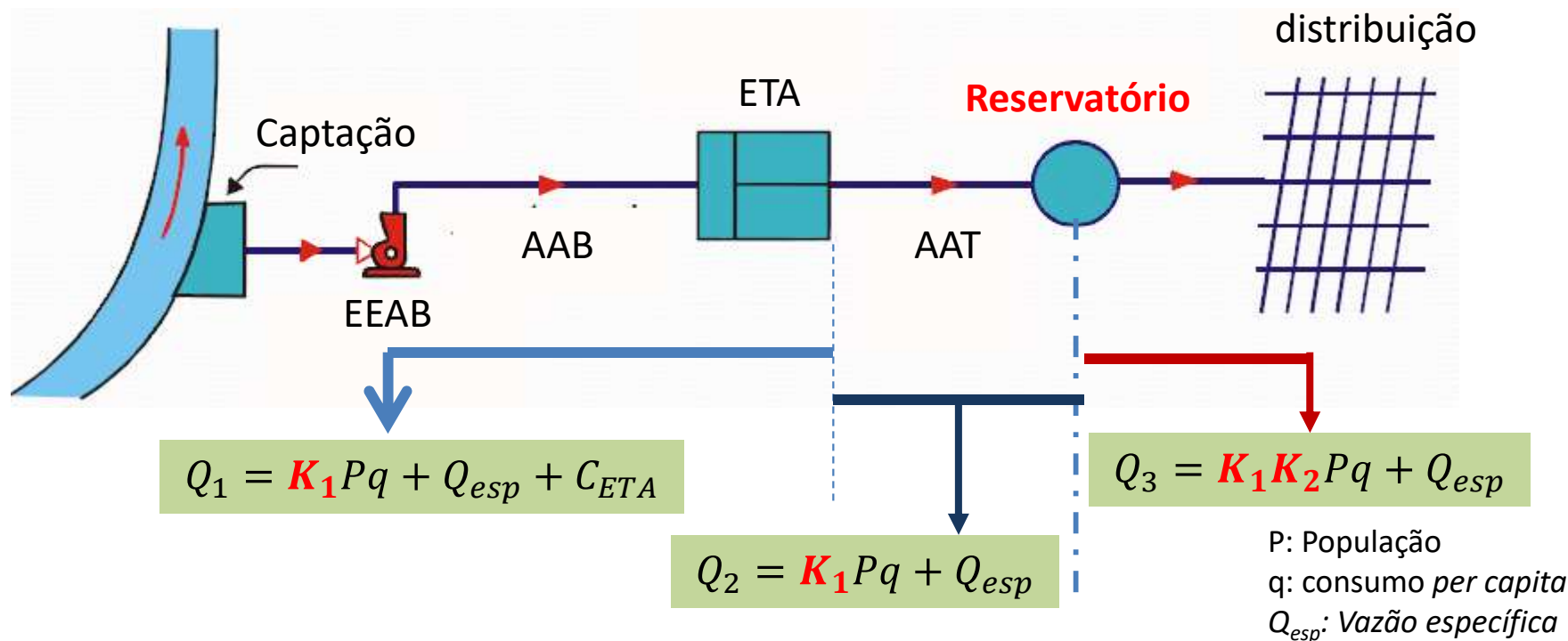


Fonte: EPUSP – PHD2412 -
http://200.144.189.97/phd/default.aspx?id=28&lin_k_uc=disciplina

6.2 – Vazões de dimensionamento x Período de funcionamento da adução

A - Período de funcionamento da adução: 24h/d

Manancial



B - Período de funcionamento da adução: < 24h/d → Q maiores

Aduções por recalque: 16-20 h/d

Bombeamento fora do horário de pico → ↓ consumo de energia → ↓ \$

6.3 – Hidráulica para adutoras

Para **dimensionamento** de adutoras, considera-se em geral:
ESCOAMENTO EM REGIME PERMANENTE E UNIFORME

Equação da continuidade $Q = V_1 A_1 = V_2 A_2 = VA = \text{constante}$

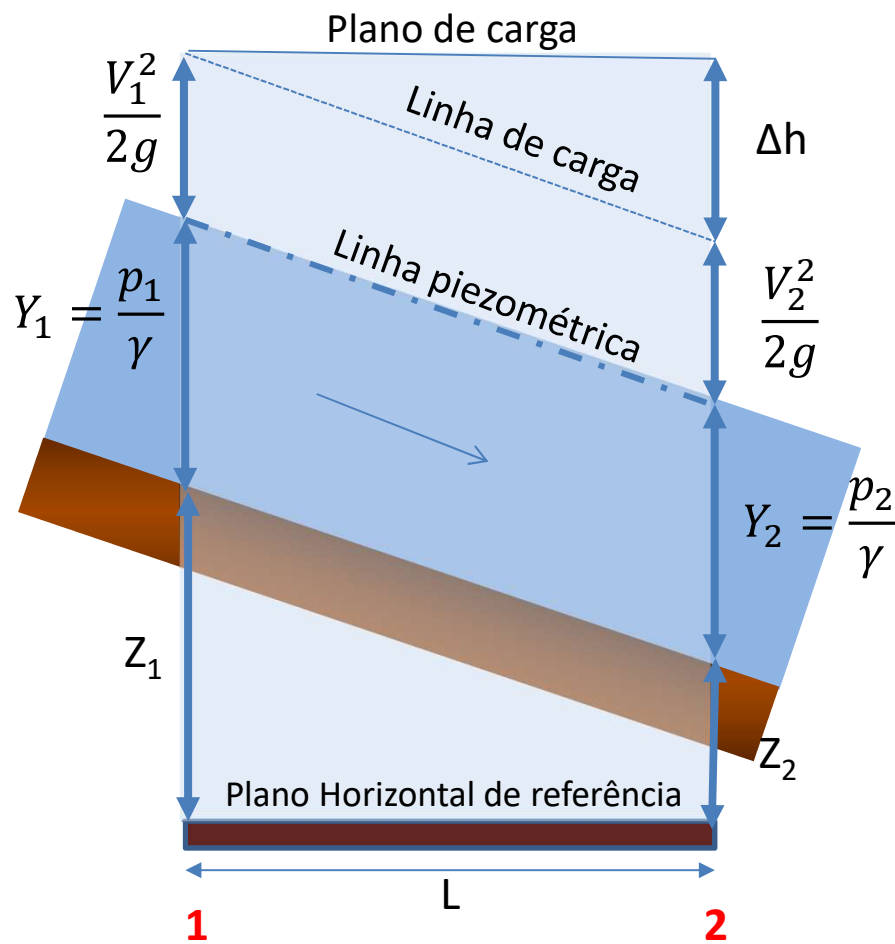
Equação de energia (Equação de Bernoulli)

The diagram illustrates the Bernoulli equation for flow in a pipe, showing the relationship between energy head at two points and the losses in between. The equation is presented as:

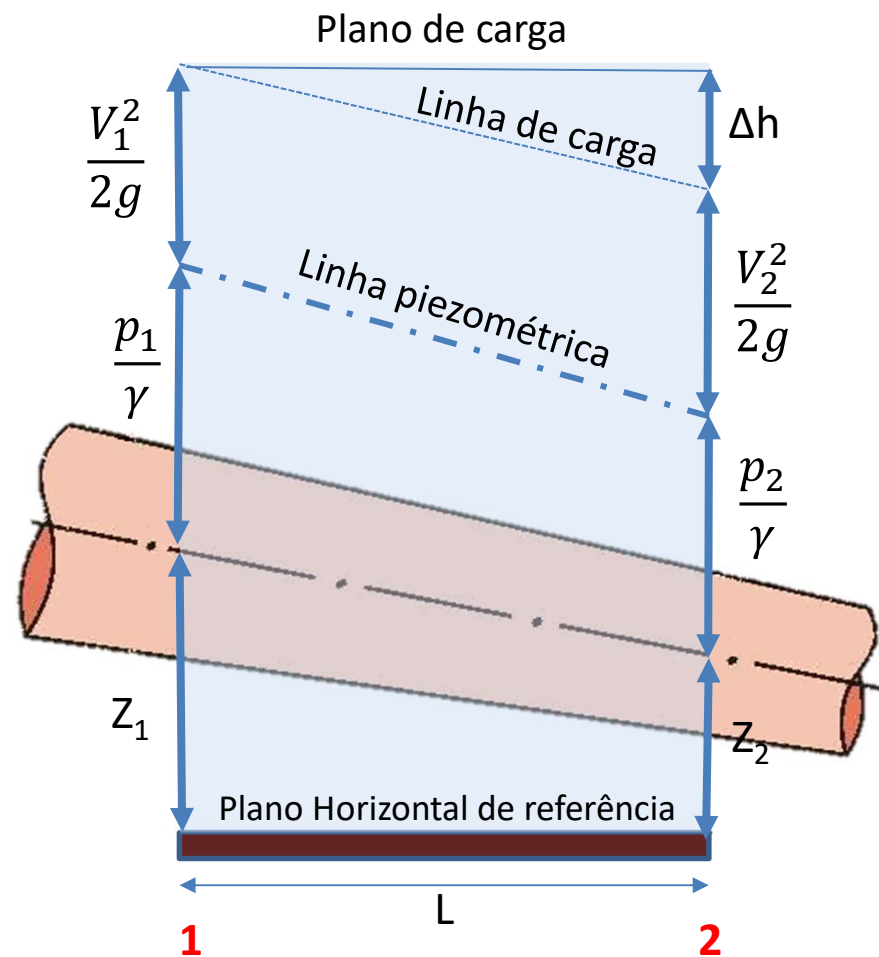
$$Z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + \Delta h$$

Annotations and their corresponding parts of the equation:

- Carga de posição (m)**: Points to Z_1 and Z_2 .
- Carga de pressão (m)**: Points to $\frac{p_1}{\gamma}$ and $\frac{p_2}{\gamma}$.
- Carga cinética (m)**: Points to $\frac{V_1^2}{2g}$ and $\frac{V_2^2}{2g}$.
- Perda de carga (m)**: Points to Δh .
- Plano de carga**: Points to the entire right-hand side of the equation.
- Linha de carga**: Points to the sum of the pressure and kinetic head terms on the right: $\frac{p_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g}$.
- Linha piezométrica**: Points to the pressure head term on the right: $\frac{p_2}{\gamma}$.



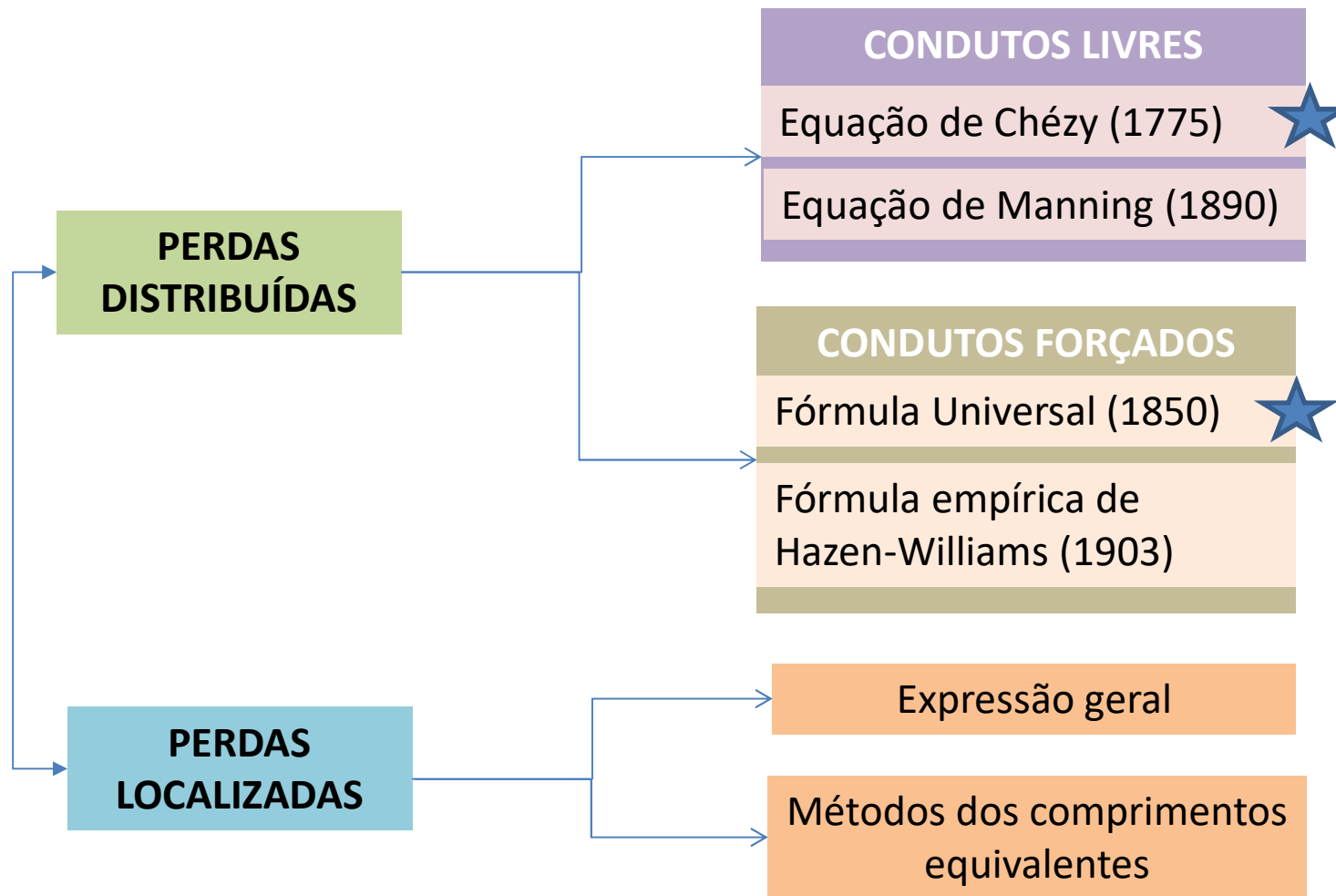
Escoamento em **conduto livre**



Escoamento em **conduto forçado**

Perdas de carga

Existem várias equações para cálculo das perdas de carga



Equação de Chézy (1775)

NBR
recomenda

Condutos livres

Perdas distribuídas

$$V = C \sqrt{R_H I}$$

V : Velocidade média do escoamento (m/s)

R_H : Raio hidráulico (m)

I : Declividade da linha de energia (m/m)

C : Coeficiente de Chézy

Em função da natureza e estado das
paredes do conduto, sua forma,
declividade.

Equação de Manning (1890)

Condutores livres

Perdas distribuídas

Coeficiente de resistência:

$$C = \frac{R_H^{1/6}}{n}$$

n : Coeficiente de rugosidade de Manning

Substituindo na Eq. Chézy:

$$V = \frac{1}{n} \cdot R_H^{2/3} \cdot I^{1/2}$$

Material dos condutos	n de Manning
Cerâmico; Concreto; Ferro fundido sem revestimento	0,013
Ferro fundido com revestimento	0,012
Cimento amianto; aço soldado; poliéster, polietileno	0,011
PVC	0,010

Fórmula Universal (1850)

NBR
recomenda

Conduto forçados Perdas distribuídas

Darcy, Weisbach e outros – perda de carga por atrito em condutos

Tubos circulares:

$$\Delta h = f \frac{L V^2}{D 2g} \quad \text{ou} \quad \Delta h = \frac{8fLQ^2}{\pi^2 g D^5}$$

Δh : Perda de carga (m)
 f : coeficiente de atrito = φ (Re, K/D)
 L : comprimento da tubulação (m)
 V : Velocidade média do escoamento (m/s)
 D : Diâmetro da tubulação (m)
 g : Aceleração da gravidade (m/s²)
 Q : Vazão (m³/s)
 K : Rugosidade equivalente. Valor tabelado em função do material da tubulação

Rugosidade relativa

Escoamento laminar: Re < 2000

$$f = \frac{64}{Re}$$

Escoamento turbulento: Re > 4000

Tubos lisos

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2 \log(Re \sqrt{f}) - 0,8$$

Tubos rugosos

Zona de turbulência completa:

Karman-Pradtl
Nikuradse:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 1,14 + 2 \log \frac{D}{K}$$

Região entre Tubos lisos e Zona de turbulência completa:

Colebrook:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left(0,27 \frac{K}{D} + \frac{2,51}{Re \sqrt{f}} \right)$$

Fórmula Universal (1850)

NBR
recomenda

Condutos forçados Perdas distribuídas

Darcy, Weisbach e outros – perda de carga por atrito em condutos

Tubos circulares:

$$\Delta h = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} \quad \text{ou} \quad \Delta h = \frac{8fLQ^2}{\pi^2 g D^5}$$

Δh : Perda de carga (m)

f : coeficiente de atrito = φ (Re, K/D)

L : comprimento da tubulação (m)

V : Velocidade média do escoamento (m/s)

D : Diâmetro da tubulação (m)

g : Aceleração da gravidade (m/s²)

Q : Vazão (m³/s)

K/D : Rugosidade relativa

K : Altura da rugosidade interna da parede do tubo. Valor tabelado em função do material da tubulação

Escoamento laminar: Re < 2000

$$f = \frac{64}{Re}$$

Escoamento turbulento: Re > 4000

Colebrook & White:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left(\frac{K}{3,7D} + \frac{2,51}{Re \sqrt{f}} \right)$$

$$Re = \frac{VD}{\nu}$$

Re: Número de Reynolds

ν : viscosidade cinemática da água

$\nu = 1,01 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ a $T=20^\circ\text{C}$

-
- Diagrama de Moody (1944)
 - Fórmulas explícitas (erro < 1% da Eq. Colebrook & White)

Swamee e Jain:

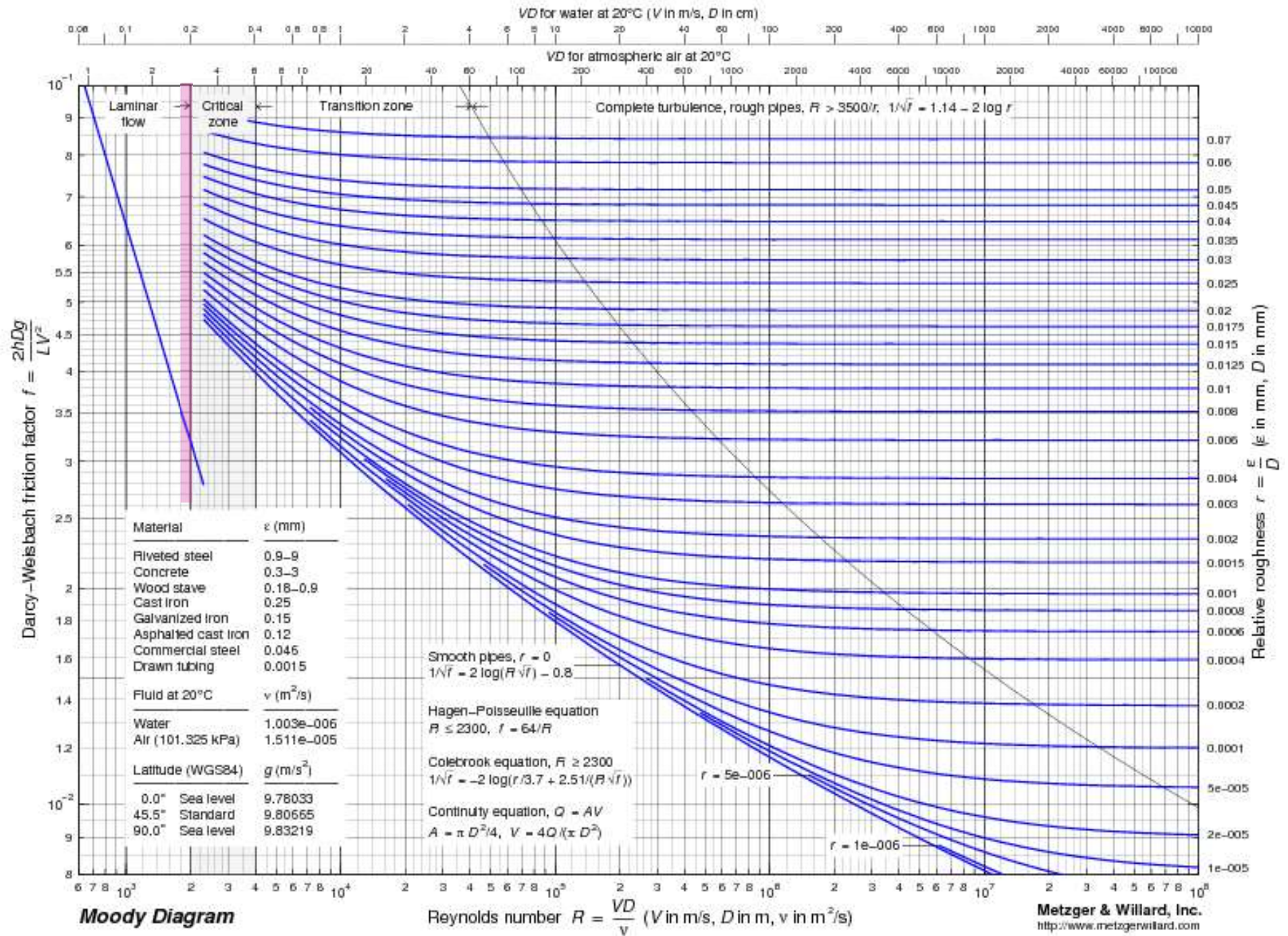
$$f = \frac{1,325}{\left[\ln \left(\frac{K}{3,7D} + \frac{5,74}{Re^{0,9}} \right) \right]^2}$$

Válida para
 $5 \cdot 10^3 \leq Re \leq 10^8$
 $10^{-6} \leq K/D \leq 10^{-2}$

Barr:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left(\frac{K}{3,7D} + \frac{5,13}{Re^{0,89}} \right)$$

Válida para
 $Re > 10^5$



Propriedades físicas da água

Temperatura (°C)	Pressão de vapor (Pa)	Massa específica (kg/m³)	Viscosidade cinemática (10 ⁻⁶ m²/s)
0	611	999,8	1,793
5	872	999,9	1,519
10	1228	999,6	1,309
15	1704	999,0	1,141
20	2337	998,2	1,010
25	3166	997,0	0,896
30	4241	995,6	0,802
35	5622	993,9	0,727
40	7375	992,2	0,661
45	9584	990,2	0,604
50	12335	998,0	0,556

NBR 12215/92

Fórmula de Hazen-Williams (1903)

Condutores forçados Perdas distribuídas

$$J = 10,643 Q^{1,85} C^{-1,85} D^{-4,87}$$

$$\rightarrow Q = 0,279 C \cdot D^{2,63} \cdot J^{0,54}$$

$$\xrightarrow{V=Q/A} V = 0,355 C \cdot D^{0,63} \cdot J^{0,54}$$

J : Perda de carga unitária (m/m)

Q : Vazão (m³/s)

D : Diâmetro da tubulação (m)

C : Coeficiente de rugosidade

V : Velocidade (m/s)

Tubos	Novos	Usados (~10 anos)	Usados (~20 anos)
Aço galvanizado roscado	125	100	-
Concreto acabamento comum	130	120	110
Tijolos, condutos bem executados	100	95	90
PVC	140	135	130

Perdas localizadas



Equação geral:

$$\Delta h_L = K_L \frac{V^2}{2g}$$

Δh_L : Perda de carga localizada (m)

K_L : coeficiente adimensional que depende da geometria da singularidade, do número de Reynolds, da rugosidade da parede e, em alguns casos, das condições de escoamento.

V : Velocidade média do escoamento (m/s)

g : Aceleração da gravidade (m/s²)

K_L - valor pode ser obtido experimentalmente ou tabela

Peça	K
Ampliação gradual	0,30*
Bocais	2,75
Comporta aberta	1,00
Controlador de Q	2,50
Cotovelo de 90°	0,90
Cotovelo de 45°	0,40
Curva de 90°	0,40
Curva de 45°	0,20
Junção	0,40
Válvula de globo aberta	10,00

Quadro 3.8 – Valores do coeficiente K para válvula de retenção

Válvula de retenção								
	θ°	K	θ°	K	θ°	K	θ°	K
	15	90	30	30	45	9,5	60	3,2
	20	62	35	20	50	6,6	65	2,3
	25	42	40	14	55	4,6	70	1,7

Fonte - IDEL'CIK, 1969.

Quadro 3.9 – Valores aproximados do coeficiente de perda de carga localizada K

Peça	K	Peça	K
Ampliação gradual	0,30*	Medidor Venturi	2,50**
Comporta aberta	1,00	Pequena derivação	0,03
Controlador de vazão	2,50	Redução gradual	0,15*
Cotovelo de 45°	0,40	Saída de canalização	1,00
Cotovelo de 90°	0,90	Tê de passagem direta	0,60
Crivo	0,75	Tê de saída bilateral	1,80
Curva de 22,5°	0,10	Tê de saída de lado	1,30
Curva de 45°	0,20	Válvula borboleta aberta	0,30
Curva de 90°	0,40	Válvula de ângulo aberta	5,00
Entrada de Borda	1,00	Válvula de gaveta aberta	0,20
Entrada normal	0,50	Válvula de pé	1,75
Junção	0,40	Válvula de retenção	2,50
		Válvula globo aberta	10,00

*Relativo à maior velocidade

**Relativo à velocidade na tubulação

Fonte - Adaptado de Azevedo Netto; Alvarez, 1988.

Método do comprimento equivalente

Comprimento equivalente é um comprimento de tubulação que causa a mesma perda de carga que o acessório. Esses comprimentos equivalentes dos acessórios presentes na tubulação são adicionados ao comprimento físico L da tubulação, permitindo que o sistema de transporte do líquido seja tratado como se fosse um conduto retilíneo. Assim, o cálculo da perda de carga seria somente como distribuída.

Valores de comprimentos equivalentes de cada acessório pode ser determinado experimentalmente.

Existem tabelas dos principais componentes.

Tabelas

- Tipo de material da tubulação
- Diâmetro

Comprimento equivalente em metros das principais peças especiais, para os diâmetros comerciais mais usados para tubulações de **PVC**

Peça	Diâmetro comercial (mm)				
	20	25	32	...	160
Joelho de 90°	1,10	1,20	1,50	...	5,40
Registro de globo aberto	11,1	11,40	15,0	...	56,7
Registro de gaveta aberto	0,10	0,20	0,30	...	1,20
....	...	...	...	...	...

6.4 – Traçado da adutora

**Critérios técnicos
e econômicos**

Em função de:

- Características topográficas
- Localização e perfil da adutora
- Faixas de servidão e desapropriação

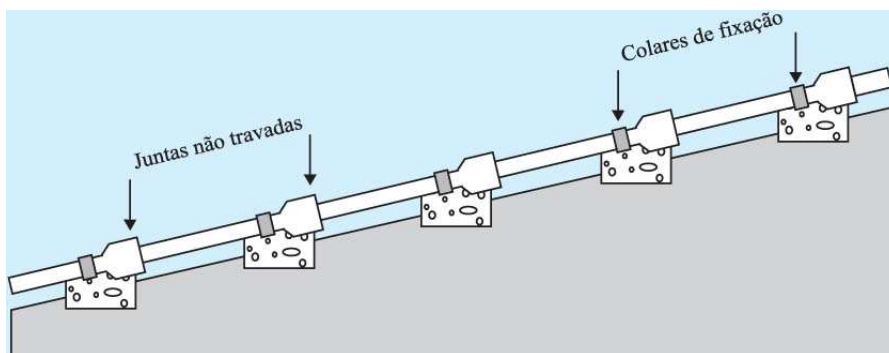
Diâmetro da tubulação (mm)	Largura da faixa (m)
Até 400 mm	2,00
Acima de 400 até 800 mm	3,00
Acima de 800 até 1500 mm	4,00
Acima de 1500 mm	Estudar cada caso

Fonte: Sabesp NTS 021 (1991)

- Influência do plano de cargas e linha piezométrica

Algumas recomendações para o traçado

- Implantação de preferência em ruas e terrenos públicos
- Evitar traçado em terreno rochoso, pantanoso, etc
- Declividade mínima:
 - Trechos ascendentes: 0,2%
 - Trechos descendentes: 0,3%
- Inclinação > 25% → blocos de ancoragem



- Recomendados
 - Trechos ascendentes longos com pequena declividade
 - Trechos descendentes curtos com maior declividade