

**CENTRO UNIVERSITÁRIO DE FORMIGA – UNIFOR - MG**  
**CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL**  
**BRUNA RIBEIRO LACERDA**

**METODOLOGIA PARA CÁLCULO DAS PERDAS DE CARGA LOCALIZADAS E  
SUA INFLUÊNCIA SOBRE A PRESSÃO DINÂMICA NOS PONTOS DE TOMADA  
DE ÁGUA DE UMA INSTALAÇÃO HIDRÁULICA PREDIAL DE ÁGUA FRIA**

**FORMIGA – MG**

**2017**

BRUNA RIBEIRO LACERDA

METODOLOGIA PARA CÁLCULO DAS PERDAS DE CARGA LOCALIZADAS E SUA  
INFLUÊNCIA SOBRE A PRESSÃO DINÂMICA NOS PONTOS DE TOMADA DE ÁGUA  
DE UMA INSTALAÇÃO HIDRÁULICA PREDIAL DE ÁGUA FRIA

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Curso de Engenharia  
Civil do UNIFOR-MG, como  
requisito parcial à obtenção do título  
de bacharel em Engenharia Civil.  
Orientador: Prof. Dr. Michael Silveira  
Thebaldi.

FORMIGA – MG

2017

L131 Lacerda, Bruna Ribeiro.

Metodologia para cálculo das perdas de carga localizadas e sua influência sobre a pressão dinâmica nos pontos de tomada de água de uma instalação hidráulica predial de água fria / Bruna Ribeiro Lacerda. – 2017. 76 f.

Orientador: Michael Silveira Thebaldi.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil)-  
Centro Universitário de Formiga-UNIFOR, Formiga, 2017.

1. Dimensionamento. 2. Método Direto. 3. Método dos comprimentos equivalentes. I. Título.

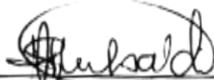
CDD 627

BRUNA RIBEIRO LACERDA

METODOLOGIA PARA CÁLCULO DAS PERDAS DE CARGA LOCALIZADAS E SUA  
INFLUÊNCIA SOBRE A PRESSÃO DINÂMICA NOS PONTOS DE TOMADA DE ÁGUA  
DE UMA INSTALAÇÃO HIDRÁULICA PREDIAL DE ÁGUA FRIA

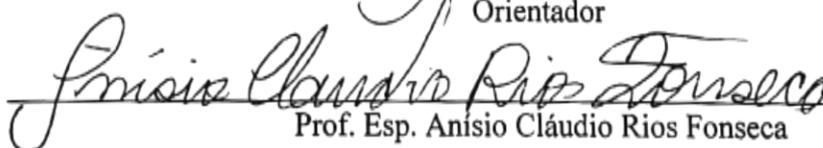
Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Curso de Engenharia  
Civil do UNIFOR-MG, como  
requisito parcial à obtenção do título  
de bacharel em Engenharia Civil.  
Orientador: Prof. Dr. Michael Silveira  
Thebaldi.

BANCA EXAMINADORA



---

Prof. Dr. Michael Silveira Thebaldi  
Orientador



---

Prof. Esp. Anísio Cláudio Rios Fonseca  
UNIFOR-MG



---

Prof. Dr. Ronan Souza Sales  
UNIFOR-MG

Formiga, 31 de outubro de 2017.

## RESUMO

A concepção e execução de instalações prediais de água fria são regidas pela NBR-5626/98, sendo que, no projeto, devem ser definidos parâmetros como: vazão, diâmetro das tubulações, além da perda de carga total para posterior predição da pressão dinâmica em cada ponto de tomada de água. Entretanto, visando a simplificação do projeto, essas instalações são dimensionadas sem a verificação adequada da perda de carga localizada. Diante dessas circunstâncias, esse trabalho objetiva realizar o dimensionamento das instalações hidráulicas de uma residência considerando duas situações: contabilizando as perdas de carga localizadas empregando diferentes cenários e desprezando-as, com a finalidade de apresentar um método que seja o mais eficiente e adequado. Para tal, foram determinados os diâmetros de cada trecho da rede de água fria da edificação. Em seguida calculou-se as perdas de carga distribuídas utilizando a equação de Darcy-Weisbach, em todos os cenários, e para as perdas de carga localizadas considerou-se o Método dos Comprimentos Equivalentes associado com diferentes Equações de Perda de Carga Distribuída e o Método Direto. Os resultados obtidos ao empregar o Método dos Comprimentos Equivalentes para o cálculo da perda de carga localizada em comparação ao Método Direto conduziram ao superdimensionamento das tubulações, o que eleva o custo da instalação. Sendo assim, não se recomenda a utilização desse método. Além disso, verificou-se que a estimativa da perda de carga localizada não deve ser negligenciada, independentemente do método empregado, já que com sua contabilização houve a necessidade um segundo dimensionamento do diâmetro das tubulações a fim de se obter pressões satisfatórias nos pontos de utilização de água.

Palavras-chave: Dimensionamento. Método Direto. Método dos comprimentos equivalentes.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Gráfico 1 - Pressões dinâmicas e perdas de carga obtidas por diferentes métodos até o lavatório.....	60
Gráfico 2 - Pressões dinâmicas e perdas de carga obtidas por diferentes métodos até a bacia sanitária com caixa acoplada .....	61
Gráfico 3 - Pressões dinâmicas e perdas de carga obtidas por diferentes métodos até o chuveiro elétrico .....	62
Gráfico 4 - Pressões dinâmicas e perdas de carga obtidas por diferentes métodos até a pia ...	63
Gráfico 5 - Pressões dinâmicas e perdas de carga obtidas por diferentes métodos até o primeiro tanque.....	64
Gráfico 6 - Pressões dinâmicas e perdas de carga obtidas por diferentes métodos até o segundo tanque .....	65
Gráfico 7 - Pressões dinâmicas e perdas de carga obtidas por diferentes métodos até a máquina de lavar roupas .....	66
Figura 1 – Tubo de corrente .....	14
Figura 2 – Tubo de corrente com área variável .....	14
Figura 3 – Vazões de energia em um tubo de corrente com escoamento permanente .....	16
Figura 4 – Escoamento de um fluido real por um tubo de corrente em regime permanente com presença de máquina .....	19
Figura 5 – Tipos de condutos .....	20
Figura 6 – Reprodução do aparato experimental de Reynolds .....	21
Figura 7 – Escoamento laminar .....	22
Figura 8 – Escoamento de transição .....	22
Figura 9 – Escoamento turbulento.....	22
Figura 10 – Perfis de velocidade para escoamento laminar (a) e turbulento (b) em um conduto forçado.....	23
Figura 11 – Rugosidade de um conduto .....	26
Figura 12 – Diagrama de Moody.....	29
Figura 13 – Diâmetros e vazões em função da soma dos pesos .....	46
Figura 14 – Reservatório com barrilete ramificado.....	47
Figura 15 – Reservatório com barrilete concentrado.....	48
Figura 16 – Projeto a ser analisado.....	52

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Rugosidade absoluta, $\epsilon$ , para alguns tipos de tubos .....	26
Tabela 2 – Valores de Coeficiente de Hazen-Williams.....	31
Tabela 3 – Valores do coeficiente de Flamant, k, para diversos materiais.....	32
Tabela 4 – Valores do coeficiente de perda de carga localizada, K .....	34
Tabela 5 - Comprimentos equivalentes à perdas localizadas para tubos de PVC (expressos em metros de canalização retilínea) .....	36
Tabela 6 – Perdas localizadas expressas em diâmetros de canalização retilínea (comprimentos equivalentes).....	37
Tabela 7 – Velocidades e vazões máximas .....	40
Tabela 8 – Consumo predial diário.....	41
Tabela 9 – Taxa de ocupação de acordo com a natureza do local.....	42
Tabela 10 – Diâmetros mínimos dos sub-ramais.....	43
Tabela 11 – Seções equivalentes a condutos de 20 mm.....	44
Tabela 12 – Pesos relativos nos pontos de utilização, identificados em função do aparelho sanitário e da peça de utilização .....	45
Tabela 13 – Altura dos pontos de utilização de diversos aparelhos hidráulicos .....	53
Tabela 14 – Diâmetros de cada trecho da instalação predial de água fria em função do cenário adotado para determinação da perda de carga .....	58
Tabela 15 – Porcentagem de perda de carga localizada em relação à perda de carga total no primeiro dimensionamento para as tubulações referentes ao banheiro .....	69
Tabela 16 – Porcentagem de perda de carga localizada em relação à perda de carga total no segundo dimensionamento para as tubulações referentes ao banheiro.....	69
Tabela 17 - Porcentagem de perda de carga localizada em relação à perda de carga total no primeiro dimensionamento para as tubulações referentes à cozinha e à área de serviço .....	70
Tabela 18 - Porcentagem de perda de carga localizada em relação à perda de carga total no segundo dimensionamento para as tubulações referentes à cozinha e à área de serviço.....	70

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

$\mu$	Viscosidade dinâmica do fluido
A	Área
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
C	Coefficiente de Hazen Williams
c	Coefficiente que traduz as características do fluido e do conduto
D	Diâmetro
dm	Massa
DN	Diâmetro nominal
dt	Intervalo pequeno de tempo
DW	Darcy Weisbach
f	Fator de atrito
FWH	Fair-Whipple-Hsaio
g	Aceleração da gravidade
H	Carga total
hf	Perda de carga distribuída
hfl	Perda de carga localizada
hfl <sub>total</sub>	Perda de carga localizada total
H <sub>M</sub>	Altura manométrica
K	Coefficiente de rugosidade de Flamant
k	Coefficiente do método direto
kg	Quilograma
L	Comprimento do conduto
l	Litro
Leq	Comprimento equivalente
m.c.a.	Metro de coluna d'água
m <sup>2</sup>	Metro quadrado
m <sup>3</sup>	Metro cúbico
MD	Método direto
mm	Milímetro
n e m	Potências a serem determinadas na equação de perda de carga
N	Newton
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora

°C	Graus Celsius
P	Pesos relativos a cada peça hidráulica
p	Pressão do líquido
P <sub>d</sub>	Carga de pressão dinâmica
P <sub>e</sub>	Carga de pressão estática
Pol	Polegadas
PVC	Poli cloreto de vinil
Q	Vazão
Q <sub>Cin</sub>	Vazão de energia cinética
Q <sub>Pot</sub>	Vazão de energia potencial
Q <sub>Pre</sub>	Vazão de energia de pressão
Q <sub>Total</sub>	Vazão de energia total
Re	Número de Reynolds
S	Seção de escoamento
s	Segundo
v	Velocidade de escoamento do fluido
W	Watt
Z	Carga de energia potencial
γ	Peso específico do fluido
ΔH	Perda de carga
ε	Rugosidade absoluta da tubulação
ν	Viscosidade cinemática do fluido
ρ	Massa específica do fluido

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>11</b>
<b>2 OBJETIVOS .....</b>	<b>12</b>
<b>2.1 Objetivo Geral .....</b>	<b>12</b>
<b>2.2 Objetivos específicos.....</b>	<b>12</b>
<b>3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>13</b>
<b>3.1 Hidrodinâmica .....</b>	<b>13</b>
<b>3.1.1 Equação da Continuidade.....</b>	<b>14</b>
<b>3.1.2 Equação de Bernoulli .....</b>	<b>16</b>
<b>3.2 Conduitos Forçados .....</b>	<b>20</b>
<b>3.3 Cálculos de tubulações sobre pressão .....</b>	<b>24</b>
<b>3.3.1 Perda de carga distribuída .....</b>	<b>24</b>
<b>3.3.2 Perda de carga localizada .....</b>	<b>32</b>
<b>3.3.2.1 Método direto.....</b>	<b>33</b>
<b>3.3.2.2 Método dos comprimentos equivalentes.....</b>	<b>35</b>
<b>3.4 Instalações prediais de água fria .....</b>	<b>38</b>
<b>3.4.1 Parâmetros de projeto.....</b>	<b>39</b>
<b>3.4.2 Dimensionamento .....</b>	<b>40</b>
<b>3.5 Equações e métodos para cálculo de perda de carga em condutos.....</b>	<b>48</b>
<b>3.5.1 Perda de carga distribuída .....</b>	<b>48</b>
<b>3.5.1.1 Equação de Darcy-Weisbach.....</b>	<b>49</b>
<b>3.5.1.2 Equação de Hazen-Williams.....</b>	<b>49</b>
<b>3.5.1.3 Equação de Flamant.....</b>	<b>49</b>
<b>3.5.1.4 Equação de Fair-Whipple-Hsiao.....</b>	<b>50</b>
<b>3.5.2 Perda de carga localizada .....</b>	<b>50</b>
<b>3.5.2.1 Método direto.....</b>	<b>50</b>
<b>3.5.2.2 Método dos comprimentos equivalentes.....</b>	<b>50</b>
<b>4 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>52</b>
<b>4.1 Projeto a ser analisado e traçado da rede de distribuição de água.....</b>	<b>52</b>
<b>4.2 Dimensionamento do reservatório .....</b>	<b>54</b>
<b>4.3 Determinação dos diâmetros e das vazões.....</b>	<b>54</b>
<b>4.4 Verificação das pressões estáticas e dinâmicas .....</b>	<b>55</b>
<b>4.5 Perda de carga .....</b>	<b>56</b>

<b>4.5.1 Perda de carga distribuída .....</b>	<b>56</b>
<b>4.5.2 Perda de carga localizada .....</b>	<b>56</b>
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>58</b>
<b>5.1 Dimensionamento do reservatório e da tubulação hidráulica de água fria .....</b>	<b>58</b>
<b>5.2 Determinação das perdas de carga e pressão dinâmica nos aparelhos .....</b>	<b>59</b>
<b>6 CONCLUSÃO.....</b>	<b>71</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>72</b>
<b>APÊNDICE A – Projeto hidráulico predial de água fria .....</b>	<b>75</b>

## 1 INTRODUÇÃO

As instalações prediais de água fria apresentam perda de carga localizada significantes em relação à perda de carga distribuída, uma vez que, nesse tipo de instalação o comprimento real das tubulações é pequeno e a mesma apresenta várias singularidades.

A concepção e execução das mesmas são regidas pela NBR-5626/98 – ABNT (ABNT, 1998), sendo que a mesma fixa as exigências e recomendações que objetivam garantir aos usuários higiene, segurança, economia e conforto.

Na maioria dos casos, visando a simplificação do projeto, essas instalações são dimensionadas sem a verificação adequada da perda de carga total na rede de distribuição de água. Sendo que, muitos projetistas optam por considerar as perdas de carga localizadas como uma porcentagem fixa da perda de carga distribuída, ou mesmo, as desprezam.

Como consequência, a instalação pode estar super ou subdimensionada, o que pode interferir na eficiência do sistema e no investimento financeiro da execução, uma vez que, a escolha dos diâmetros da tubulação é influenciada pela perda de energia.

Diante dessas circunstâncias, esse trabalho objetiva realizar o dimensionamento das instalações hidráulicas perdas de água fria de um projeto considerando duas situações: contabilizando as perdas de carga localizadas e desprezando-as, com a finalidade de apresentar um método que seja o mais eficiente e adequado para as edificações prediais.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Calcular a pressão dinâmica nos aparelhos consumidores de água de uma instalação predial de água fria utilizando diferentes métodos para cálculo da perda de carga localizada e desprezando-a.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Determinar as vazões e diâmetros de cada trecho da instalação predial de água fria estudada;
- Calcular a perda de carga distribuída na canalização utilizando a Equação de Darcy-Weisbach;
- Determinar a perda de carga localizada da tubulação, considerando o Método dos Comprimentos Equivalentes, em conjunto com diferentes Equações de Perda de Carga Distribuída e pelo Método Direto.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 Hidrodinâmica

O estudo da hidráulica se divide em hidrostática, que se refere aos fluidos em repouso ou estado de equilíbrio e em hidrodinâmica, que trata dos fluidos em movimento. Em um sentido específico a hidrodinâmica estuda o movimento de um fluido denominado fluido ideal, que é um fluido teórico, que escoar sem perdas de energia por atrito (AZEVEDO NETTO et al., 1998).

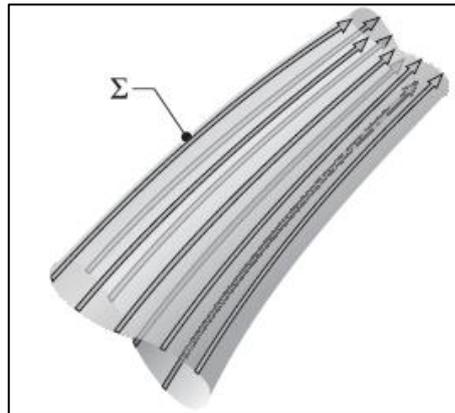
Na análise do escoamento dos fluidos é importante a assimilação de alguns fundamentos, como o princípio da conservação de massa, o princípio da conservação de energia e a perda de carga em condutos. Na dedução das equações referentes aos fundamentos mencionados considera-se o escoamento por um tubo de corrente em regime permanente (GILES, 1974).

O regime de escoamento dos fluidos em relação ao tempo pode ser classificado em regime permanente e regime variado, sendo que, o regime permanente se caracteriza por um escoamento em que as propriedades em qualquer ponto do fluido permanecem constantes com o tempo. Já no regime variado as características dos fluidos alvos de estudo mudam de instante em instante (STREETER; WYLIE, 1982).

Analisando o movimento de um fluido em relação ao espaço, Fox, Pritchard e McDonald (2011), admitem que o movimento é uniforme numa dada seção quando as propriedades desse fluido permanecem constantes ao longo do escoamento. Nesse tipo de escoamento as características do fluido podem ser descritas a partir de uma única coordenada, portanto, ele também pode ser denominado unidimensional.

O tubo de corrente, evidenciado na FIG. 1, é um tubo imaginário cujas paredes são formadas por linhas, denominadas linhas de corrente, traçadas tangente ao vetor velocidade de cada partícula do fluido em pontos e instantes específicos. Como a velocidade é tangente à linha de corrente pode-se afirmar que nenhum fluido atravessa as paredes de um tubo de corrente, além disso, conclui-se que as tubulações se comportam como tubos de corrente (POTTER et al., 2004).

Figura 1 – Tubo de corrente

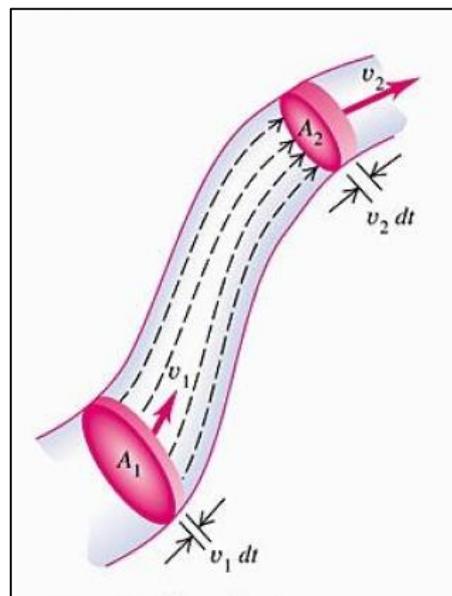


Fonte: BISTAFA, 2010, p. 50.

### 3.1.1 Equação da Continuidade

O princípio da conservação de massa admite que a massa de um fluido em movimento é invariável. A partir dessa informação é possível deduzir a equação da continuidade que relaciona a velocidade de escoamento de um fluido e a área de uma determinada seção transversal (YOUNG; FREEDMAN, 2003). A equação de conservação de massa será deduzida a partir da FIG. 2, que ilustra um tubo de corrente delimitado pelas seções de área  $A_1$  e  $A_2$ . Nessas seções as velocidades de escoamento do fluido são, respectivamente,  $v_1$  e  $v_2$ .

Figura 2 – Tubo de corrente com área variável



Fonte: YOUNG; FREEDMAN, 2003, p. 82.

Durante um pequeno intervalo de tempo  $dt$  a massa  $dm_1 = \rho_1.A_1.v_1 dt$  escoam para o interior do tubo através de  $A_1$ . Durante esse mesmo intervalo de tempo a massa  $dm_2 = \rho_2.A_2.v_2 dt$  escoam para fora do tubo por  $A_2$ . Como se trata de um tubo de corrente em regime permanente, a sua superfície lateral não é atravessada pelo fluido, portanto, a massa de fluido que passa pelas duas seções é a mesma como apresentado na Equação 1.

$$d_{m1} = d_{m2} \quad (1)$$

em que:

$dm$  = massa do fluido (kg).

A Equação 1 pode ser reescrita em função das massas específicas para as duas seções de escoamento como demonstrado na Equação 2.

$$\rho_1 A_1 v_1 dt = \rho_2 A_2 v_2 dt \quad (2)$$

em que:

$\rho$  = massa específica do fluido ( $\text{kg.m}^{-3}$ );

$A$  = área da seção de escoamento ( $\text{m}^2$ );

$v$  = velocidade do escoamento ( $\text{m.s}^{-1}$ ) e,

$dt$  = intervalo de tempo infinitesimal (s).

Neste caso, pode-se considerar o fluido em estudo incompressível, que, conforme Halliday e Resnick (2009) apresenta massa específica invariável, o que é evidenciado na Equação 3.

$$A_1 v_1 = A_2 v_2 \quad (3)$$

Nota-se, pela análise da Equação 3, que as velocidades e áreas da seção de escoamento são inversamente proporcionais, ou seja, a diminuição da área leva ao aumento da velocidade média na seção de escoamento e vice-versa.

Além disso, o produto  $A.v$  é a vazão volumétrica, ou seja, o volume do fluido que atravessa uma determinada seção por unidade de tempo. Pode-se afirmar, portanto, que a vazão em volume é constante ao longo do escoamento, como representado na Equação 4.

$$Q = v \cdot A = Q_1 = Q_2 \quad (4)$$

em que:

$Q$  = vazão em volume ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ).

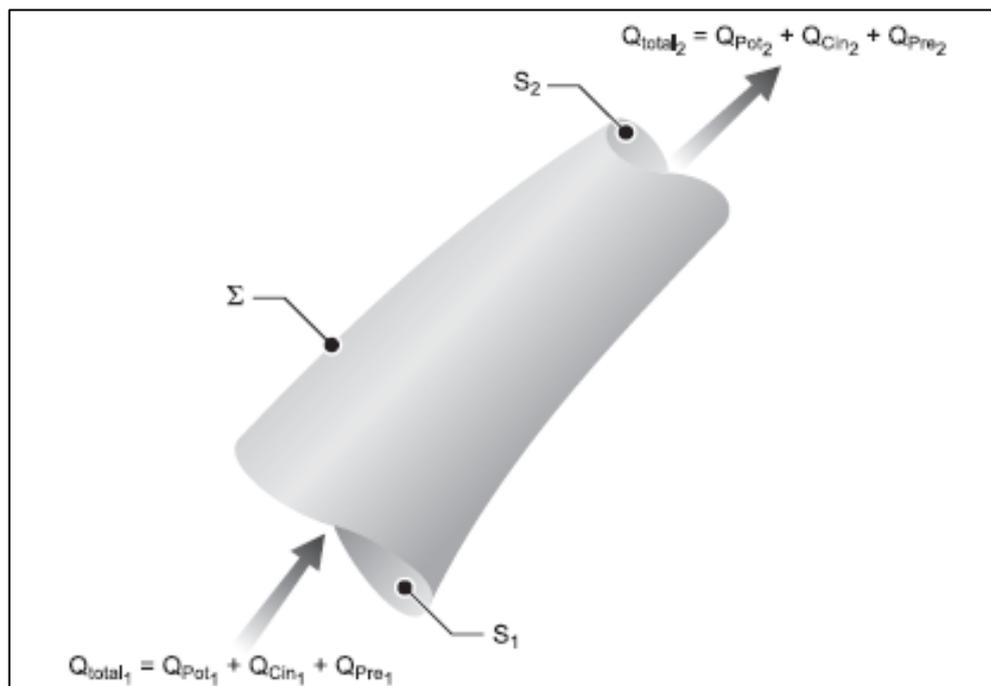
### 3.1.2 Equação de Bernoulli

Segundo a Primeira Lei da Termodinâmica a energia não pode ser criada nem destruída, apenas convertida de uma forma em outra. A partir desse princípio é formulada a Equação de Bernoulli que se baseia na conservação de energia em duas seções distintas de um escoamento (NUSSENZVEIG,1981).

Na dedução dessa equação é considerado o escoamento de um fluido incompressível por um tubo de corrente, em regime permanente e uniforme, em que não são avaliadas as trocas de calor realizadas por ele, não há referências à dispositivos mecânicos que forneçam ou retirem energia em forma de trabalho e além disso considera-se um fluido ideal na análise, ou seja, que não apresenta perdas de energia por atrito e (BRUNETTI, 2008).

A FIG. 3 mostra um tubo de corrente e duas de suas seções de escoamento, com suas respectivas vazões de energia.

Figura 3 – Vazões de energia em um tubo de corrente com escoamento permanente



Fonte: BISTAFA, 2010, p. 70.

Na seção  $S_1$  observa-se a entrada da vazão de energia potencial ( $Q_{Pot1}$ ), a vazão de energia cinética ( $Q_{Cin1}$ ) e a vazão de energia de pressão ( $Q_{Pre1}$ ). Na seção  $S_2$  há a saída da vazão de energia potencial ( $Q_{Pot2}$ ), a vazão de energia cinética ( $Q_{Cin2}$ ) e a vazão de energia de pressão ( $Q_{Pre2}$ ).

A partir das hipóteses apontadas anteriormente pode-se afirmar que não é fornecida nem retirada energia do fluido, portanto, a vazão de energia total na seção 1 é igual a vazão de energia total na seção 2, como representado na Equação 5.

$$Q_{Total1} = Q_{Total2} \quad (5)$$

em que:

$Q_{Total}$  = vazão de energia total na seção (W).

Especificando as vazões de energia das seções de escoamento 1 e 2 obtém-se a Equação 6.

$$Q_{Pot1} + Q_{Cin1} + Q_{Pre1} = Q_{Pot2} + Q_{Cin2} + Q_{Pre2} \quad (6)$$

em que:

$Q_{Pot}$  = vazão de energia potencial (W);

$Q_{Cin}$  = vazão de energia de cinética (W); e

$Q_{Pre}$  = vazão de energia de pressão (W).

Representando as vazões em forma de carga as Equações 5 e 6 podem ser reescritas como mostram as Equações 7 e 8, respectivamente.

$$H_1 = H_2 \quad (7)$$

em que:

$H$  = carga total na seção (m).

$$z_1 + \frac{v_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma_1} = z_2 + \frac{v_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma_2} \quad (8)$$

em que:

$z$  = carga de energia potencial (m);

$g$  = aceleração da gravidade ( $\text{m.s}^{-2}$ );

$p$  = pressão do líquido na seção ( $\text{N.m}^{-2}$ ); e

$\gamma$  = peso específico do fluido ( $\text{N.m}^{-3}$ ).

A Equação 8 é denominada Equação de Bernoulli. Segundo Bistafa (2010) a carga total,  $H$ , em cada seção de escoamento é em função da carga potencial  $z$ , da carga de energia cinética  $\frac{v^2}{2g}$  e da carga da energia de pressão  $\frac{p}{\gamma}$ .

No entanto, Vertchenko, Dickman e Ferreira (2009) apresentam que a aplicação do teorema de Bernoulli desprezando a viscosidade do fluido em escoamento apresenta inconsistências lógicas e os resultados divergem da realidade. Portanto, na prática, faz-se necessário introduzir a perda de carga à esta equação.

Considera-se um tubo de corrente e duas de suas seções de escoamento, com suas respectivas cargas de energia,  $H_1$  e  $H_2$ , além da perda de energia,  $\Delta H_{1,2}$ . Deduz-se que a carga total reduz no sentido do escoamento, ou seja, a carga total da seção 1 é maior que a carga total na seção 2, o que é representado na Equação 9.

$$H_1 = H_2 + \Delta H_{1,2} \quad (9)$$

em que:

$H$  = carga total na seção (m); e

$\Delta H_{1,2}$  = perda de carga entre as seções 1 e 2 (m).

A Equação 10 representa a Equação de Bernoulli para um fluido real, derivada da Equação 9, nela são especificadas as cargas potenciais, cinéticas e de pressão, além da perda de energia devido às tensões viscosas.

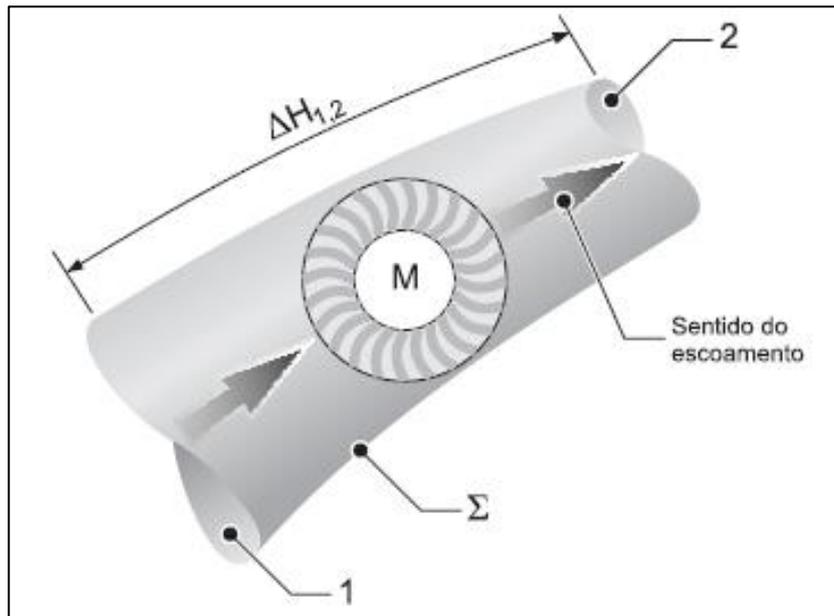
$$z_1 + \frac{v_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma_1} = z_2 + \frac{v_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma_2} + \Delta H_{1,2} \quad (10)$$

Uma outra adaptação necessária na Equação de Bernoulli que permite utilizá-la para resolução de problemas práticos é considerar a presença de máquinas de fluido. De acordo

com Henn (2006), as máquinas de fluídos são dispositivos que transformam energia mecânica em energia de fluido ou que transformam energia de fluido em energia mecânica.

A representação do escoamento de um fluido real em regime permanente e com a presença de uma máquina entre as seções 1 e 2 pode ser visto na FIG. 4.

Figura 4 – Escoamento de um fluido real por um tubo de corrente em regime permanente com presença de máquina



Fonte: BISTAFA, 2010, p. 79.

A equação que leva em consideração a presença de uma máquina entre as seções consideradas, além de contabilizar as perdas de energia pelo efeito da viscosidade está representada na Equação 11.

$$H_1 + H_M = H_2 + \Delta H_{1,2} \quad (11)$$

em que:

$H_M$  = altura manométrica da máquina (m).

Especificando-se as cargas potenciais, cargas cinéticas e cargas de pressão a equação 11 pode ser reescrita como demonstrado na Equação 12.

$$z_1 + \frac{v_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma_1} + H_M = z_2 + \frac{v_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma_2} + \Delta H_{1,2} \quad (12)$$

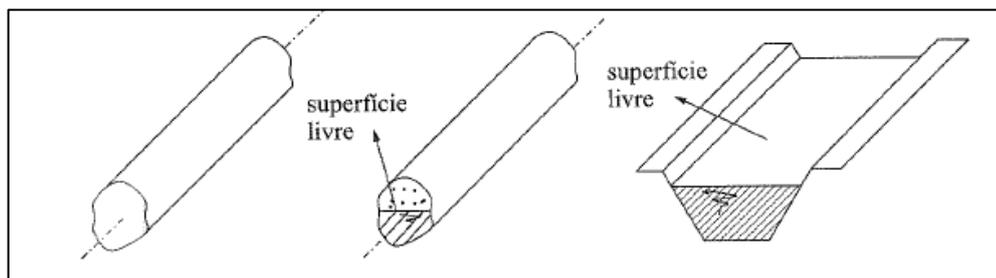
Levando em consideração que a máquina introduzida no escoamento seja uma máquina hidráulica, ela pode ser classificada de suas maneiras: turbinas, que retiram energia do escoamento e bombas, que fornecem energia ao escoamento. (MACINTYRE, 1997). Para realização de cálculos quando a máquina é uma bomba considera-se  $H_M > 0$ , quando é uma turbina usa-se  $H_M < 0$  e na ausência de máquinas  $H_M = 0$ .

A Equação 12 é denominada equação de Bernoulli Generalizada. Segundo Giles (1974), essa equação, em conjunto com a equação da continuidade, é essencial na resolução de problemas relacionadas à diferentes ramos da Engenharia. Esses conceitos e outros que ainda serão mencionados são relevantes no projeto e dimensionamento de instalações hidráulicas prediais.

### 3.2 Condutos Forçados

Os condutos tem a função de transportar fluidos de uma região para outra e podem ser classificados em livres ou fechados. Segundo Azevedo Netto et al. (1998), os condutos livres se caracterizam por apresentar, em qualquer ponto da superfície livre do fluido, pressão igual à atmosférica. Além disso, a seção de escoamento pode variar e o duto pode ser tanto aberto como fechado. Já os condutos forçados são sempre fechados, o fluido escoar sob pressão diferente da atmosfera e a seção de escoamento ocupa toda a seção transversal disponível. Na FIG. 5 são apresentados esses dois tipos de condutos.

Figura 5 – Tipos de condutos



Fonte: BRUNETTI, 2005, p. 164.

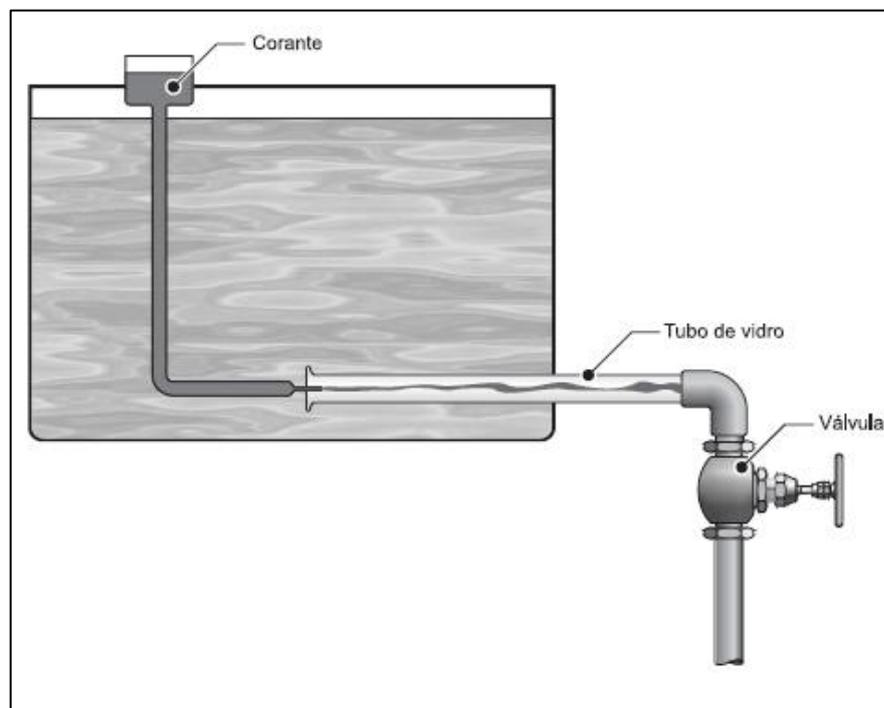
Os condutos forçados são utilizados em redes de distribuição de água para abastecimento humano e industrial, irrigação, sistemas de esgoto, hidroelétricas, gasodutos e oleodutos (SOARES, 2007).

Segundo Silva (2006), no caso de projetos de instalações hidráulicas, os condutos devem passar por verificações quanto às variações de pressões e de fluxo devido as manobras operacionais com válvulas, variações no consumo, variações nos níveis dos reservatório, partida ou parada de conjunto motor-bomba, entre outros. Desta maneira, o sistema de condutos forçados, além de ter que suportar a diferença de pressão entre o fluido e o ambiente, devem ser selecionados e dimensionados para resistir a mudanças bruscas das características do escoamento.

Em um conduto o escoamento de um fluido, em relação à sua trajetória, pode ser laminar ou turbulento. Foi Osborne Reynolds (1842-1912), cientista e matemático britânico, o idealizador de um aparato experimental para diferenciar esses dois tipos de movimento.

Segundo Brunetti (2008) o mecanismo era composto por um reservatório com paredes laterais transparentes contendo água, no qual, era imerso um duto também transparente com uma válvula em sua extremidade que permitia a variação da vazão de descarga, como representado na FIG. 6. Um líquido corante era injetado no eixo do tubo com a finalidade de observar seu comportamento.

Figura 6 – Reprodução do aparato experimental de Reynolds

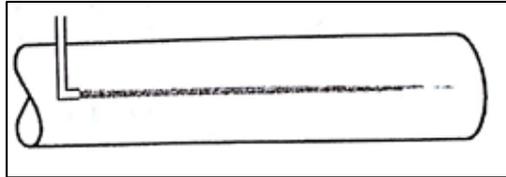


Fonte: BISTAFA, 2010, p.44.

De acordo com Young, Munson e Okiishi (2005), na realização do experimento constata-se que o aumento ou diminuição da vazão de descarga interfere na trajetória do

corante. Durante o tempo em que a vazão é pequena, o traço colorido se apresenta como uma linha bem definida ao longo do conduto, o que caracteriza o regime laminar (FIG. 7).

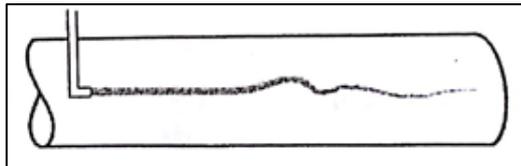
Figura 7 – Escoamento laminar



Fonte: YOUNG; MUNSON; OKIISHI, 2005, p. 270.

Ainda de acordo com os mesmos autores supracitados, à medida que a vazão sofre um aumento, alcançando um valor intermediário, o corante se ondula no tempo e no espaço manifestando quebras intermediárias, e o escoamento é denominado de transição (FIG. 8).

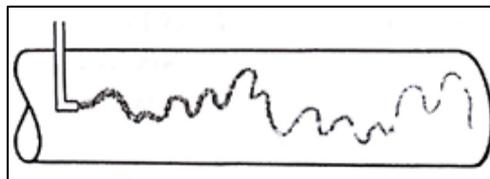
Figura 8 – Escoamento de transição



Fonte: YOUNG; MUNSON; OKIISHI, 2005, p. 270.

Já quando a vazão é grande, o traço de corante quase que imediatamente espalha-se no decurso do tubo de maneira aleatória, evidenciando o escoamento turbulento, como pode ser verificado na FIG. 9 (YOUNG; MUNSON; OKIISHI, 2005).

Figura 9 – Escoamento turbulento



Fonte: YOUNG; MUNSON; OKIISHI, 2005, p. 270.

Reynolds verificou que a classificação do escoamento pode ser realizada com o auxílio da Equação 13, que resulta em um valor adimensional, denominado número de Reynolds.

$$\text{Re} = \frac{\rho \cdot v \cdot D}{\mu} = \frac{v \cdot D}{\nu} \quad (13)$$

em que:

Re = número de Reynolds (adimensional);

D = diâmetro do duto (m);

$\mu$  = viscosidade dinâmica do fluido ( $\text{N}\cdot\text{s}\cdot\text{m}^{-2}$ );

$\nu$  = viscosidade cinemática do fluido ( $\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$ ).

Determinado o número de Reynolds o escoamento em dutos pode ser categorizado segundo Çengel e Cimbala (2007):

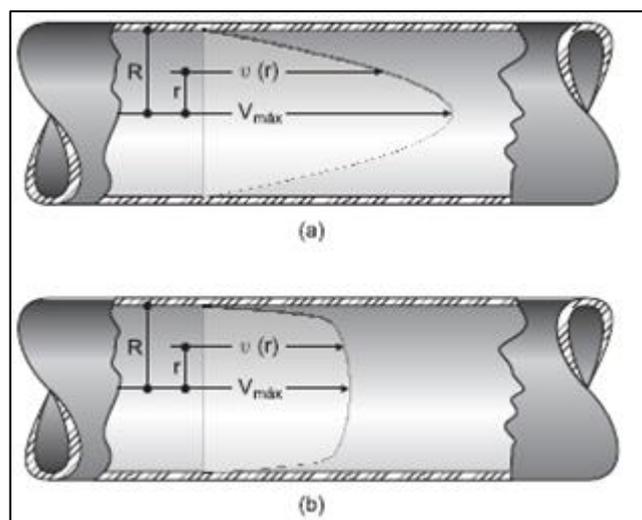
$\text{Re} < 2300$  – Regime Laminar

$2300 < \text{Re} < 4000$  – Regime de transição

$\text{Re} > 4000$  – Regime turbulento

Segundo Peres (2015) a velocidade de escoamento em um conduto forçado não é uniforme ao longo da seção transversal, devido à viscosidade do fluido, e o perfil de velocidades é em função do regime de escoamento como mostra a FIG. 10.

Figura 10 – Perfis de velocidade para escoamento laminar (a) e turbulento (b) em um conduto forçado



Fonte: BISTAFA, 2010 p. 46.

Observa-se que tanto no regime laminar quanto no turbulento, devido a condição de não escorregamento, a velocidade de escoamento do fluido adjacente à superfície do conduto é nula e a velocidade é máxima no eixo do mesmo (PERES, 2015).

Çengel e Cimbala (2007) afirmam que, no regime laminar, o escoamento é dividido em duas regiões: a região na qual os efeitos viscosos são significativos, denominada camada limite e a região em que os efeitos do atrito são desprezíveis e a velocidade permanece constante. Já no regime turbulento as velocidades são mais uniformes, como pode ser verificado na FIG. 11B, e o escoamento é dividido em: sub camada limite, em que os efeitos viscosos são evidentes; camada amortecedora; camada de transição e camada turbulenta, na qual os efeitos viscosos são insignificantes. Salienta-se que as camadas amortecedoras e de transição apresentam características intermediárias.

As forças viscosas de um fluido, que transformam parte da energia de seu movimento em calor pode ocorrer de três maneiras, dependendo do seu regime de escoamento: no escoamento laminar a perda de energia se dá pelo desenvolvimento de tensões cisalhantes entre camadas adjacentes do fluido, enquanto no escoamento turbulento a dissipação de energia ocorre principalmente, pela criação de vórtices devido à turbulência. O escoamento transitório é instável e sem interesse prático (PORTO, 2006).

Segundo Macintyre (2008) a perda de carga se caracteriza pela energia que o fluido cede para superar as resistências devido à rugosidade das paredes do conduto, ao atrito interno e às mudanças de direção da velocidade. A perda de carga total é dividida em contínua e localizada, sendo a contínua caracterizada por se dar ao longo de uma tubulação retilínea e uniforme. Já a localizada se dá nas peças e dispositivos existentes ao longo do encanamento, tais como, joelhos, curvas, reduções, válvulas, entre outros.

### **3.3 Cálculos de tubulações sobre pressão**

#### **3.3.1 Perda de carga distribuída**

Considerando-se o escoamento de um fluido por um conduto retilíneo em regime permanente, uniforme e suficientemente longo para que ocorra sua estabilização, a perda de carga contínua é em função dos seguintes fatores: comprimento e diâmetro do conduto, velocidade média do escoamento, rugosidade superficial das paredes da tubulação (exceto em regime de escoamento laminar), massa específica e viscosidade do fluido (PERES, 2015).

Segundo autor supracitado para o cálculo de perdas de cargas contínuas em condutos forçados, as principais fórmulas aplicadas seguem o formato da Equação 14.

$$hf = c \frac{L}{D^n} v^m \quad (14)$$

em que:

$hf$  = perda de carga distribuída (m);

$c$  = coeficiente que traduz as características do fluido e do conduto (adimensional);

$L$  = comprimento do conduto (m); e

$n$  e  $m$  = potências a serem determinadas (adimensional).

Segundo Baptista et al. (2014) a Fórmula Universal de Perda de Carga ou Equação de Darcy-Weisbach para condutos forçados circulares pode ser obtida a partir de análise dimensional, em que são relacionadas a perda de carga contínua com as características do escoamento, geometria do conduto e propriedades do fluido, resultando na Equação 15.

$$hf = f \frac{L v^2}{D 2g} \quad (15)$$

em que:

$f$  = fator de atrito (adimensional); e

$g$  = aceleração da gravidade ( $m.s^{-2}$ ).

Relacionando-se a Equação 15 com a equação da continuidade, obtém-se a Equação 16 em função da vazão de escoamento (BAPTISTA et al., 2014).

$$hf = \frac{8fLQ^2}{\pi^2 g D^5} \quad (16)$$

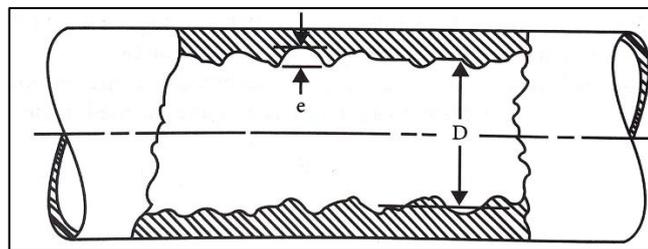
O coeficiente de atrito depende do regime de escoamento. No regime laminar essa variável pode ser calculada a partir da Equação 17 (CARVALHO; OLIVEIRA, 2014).

$$f = \frac{64}{Re} \quad (17)$$

Segundo os autores supracitados, no regime laminar a dissipação da energia não depende da rugosidade das paredes dos tubos, sendo influenciada apenas pela viscosidade, peso específico do fluido e da velocidade do escoamento. Já no regime turbulento, a perda de carga é determinada pelas características do fluido e pela rugosidade.

Segundo Livi (2004) a rugosidade absoluta,  $\epsilon$ , pode ser definida como a altura média das saliências da sua superfície interna da parede de um conduto (FIG. 11) e ela depende de seu material constituinte.

Figura 11 – Rugosidade de um conduto



Fonte: PERES, 2015 p. 186.

A Tabela 1 apresenta o valor da rugosidade absoluta para condutos constituídos por diversos materiais.

Tabela 1 - Rugosidade absoluta,  $\epsilon$ , para alguns tipos de tubos

Material	Rugosidade
Aço galvanizado	0,00015 a 0,00020
Aço rebitado	0,0010 a 0,0030
Aço revestido	0,0004
Aço soldado	0,00004 a 0,00006
Cimento - Amianto	0,000025
Concreto bem acabado	0,0003 a 0,0010
Concreto comum	0,0010 a 0,0020
Ferro forjado	0,0004 a 0,0006
Ferro fundido	0,00025 a 0,00050
Ferro fundido com revestimento asfáltico	0,00012
Madeira em aduelas	0,0002 a 0,0010
Manilhas cerâmicas	0,0006
Cobre, PVC, plásticos	0,000015 a 0,00001

Fonte: adaptada de Azevedo Netto et al. (1998) e Carvalho (2014).

A determinação do fator de atrito para o regime de escoamento turbulento representa a principal dificuldade da utilização da Equação de Darcy-Weisbach para o cálculo da perda de carga, pois, a maioria das fórmulas propostas são do tipo implícita, ou seja, apresentam a variável  $f$  em ambos os membros da equação, o que dificulta sua resolução (MELLO; FERREIRA; CARVALHO, 1999).

Para a obtenção do fator de atrito no regime turbulento classifica-se os condutos em hidráulicamente liso, rugoso ou misto e posteriormente aplica-se fórmulas empíricas específicas para cada tipo de tubo. De acordo com Deniculi (1993) a classificação dos condutos submete-se às seguintes condições:

$$Re^{0,9} \frac{\varepsilon}{D} \leq 31 : \text{Tubo hidráulicamente liso}$$

$$Re^{0,9} \frac{\varepsilon}{D} \geq 448 : \text{Tubo hidráulicamente rugoso}$$

$$31 < Re^{0,9} \frac{\varepsilon}{D} < 448 : \text{Tubo hidráulicamente misto}$$

Segundo Moran et al. (2005) para todas as categorias do escoamento turbulento, especialmente para tubos hidráulicamente mistos, os fatores de atrito podem ser obtidos a partir da Equação 18, denominadas fórmula de Colebrook.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left( \frac{\varepsilon/D}{3,7} + \frac{2,51}{Re\sqrt{f}} \right) \quad (18)$$

em que:

$\varepsilon$  = rugosidade absoluta da tubulação (m).

Segundo os autores supracitados para tubos hidráulicamente lisos considera-se a rugosidade igual a zero e o fator de atrito pode ser expresso pela fórmula de Blasius (Equação 19).

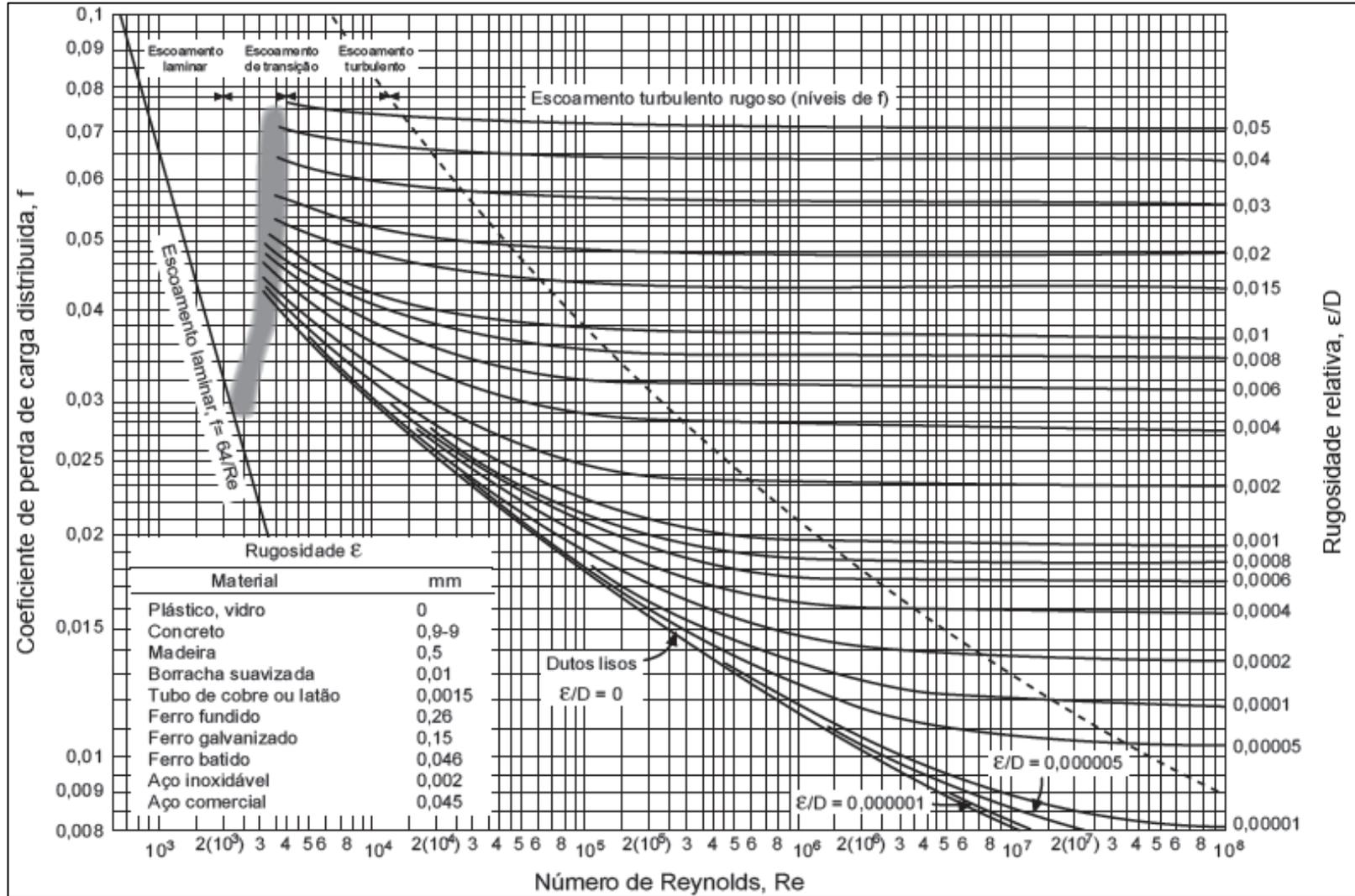
$$f = 0,3164 \times Re^{-0,25} \quad (19)$$

O regime hidráulicamente rugoso apresenta altos valores para o número de Reynolds e a Equação 18 fica explícita em termos do fator de atrito resultando na Equação 20 denominada fórmula de Nikuradse (BRAGA FILHO, 2014).

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left( \frac{\varepsilon/D}{3,7} \right) \quad (20)$$

Macintyre (2010) afirma que o coeficiente de atrito pode ser obtido de maneira prática a partir do Diagrama de Moody (FIG. 12), que relaciona o número de Reynolds e a rugosidade relativa, dada pela razão entre a rugosidade absoluta do conduto e o seu diâmetro. Ressalta-se que esse diagrama é universal, ou seja, pode ser utilizado para líquidos de qualquer viscosidade e em qualquer regime de escoamento.

Figura 12 – Diagrama de Moody



Fonte: BISTAFA, 2010, p. 139.

De posse dos valores do coeficiente de atrito (estimado a partir das equações ou pelo diagrama de Moody), do comprimento e do diâmetro da tubulação, da velocidade de escoamento e a aceleração da gravidade, a perda de carga contínua é calculada com auxílio da expressão de Darcy-Weisbach (CARVALHO, 1999).

Segundo Mello, Ferreira e Carvalho (1999) várias equações foram desenvolvidas por pesquisadores para o cálculo de perda de carga distribuída, destacando-se as equações de Flamant, Hazen-Williams e Darcy-Weisbach. No dimensionamento de condutos hidráulicos equações empíricas, como a de Hazen-Williams e de Flamant, são mais utilizadas do que a de Darcy-Weisbach devido a simplicidade matemática das mesmas (GOMES, 2009a). No entanto, Kamand (1998) ressalta que essas equações acarretam incertezas na adoção de um valor de rugosidade das paredes da tubulação, dado que, na aplicação dessa fórmula considera-se um fator de rugosidade constante para qualquer diâmetro e velocidade de escoamento.

Bernardo, Soares e Mantovani (2006) afirmam que a equação de Hazen-Williams, representada pela Equação 21, é a mais utilizada no dimensionamento de condutos forçados e é recomendada para água a temperatura ambiente e diâmetro igual ou superior a 50 mm.

$$hf = 10,641 \times \frac{L}{D^{4,87}} \times \left(\frac{Q}{C}\right)^{1,852} \quad (21)$$

em que:

C = coeficiente que depende da natureza da parede do tubo (adimensional).

Diversos valores do coeficiente C referentes a diferentes tipos de materiais são mostrados na TAB. 2.

Tabela 2 – Valores de Coeficiente de Hazen-Williams

Tipo de conduto	C
Alumínio	130
Aço corrugado	60
Aço com juntas “loc-bar”, novas	130
Aço com juntas “loc-bar”, usadas	90 a 100
Aço galvanizado	125
Aço rebitado, novo	110
Aço rebitado, velho	85 a 90
Aço soldado, novo	130
Aço soldado, usado	90 a 100
Aço soldado com revestimento especial	130
Aço zincado	120
Cimento-amianto	130 a 140
Concreto, bom acabamento	130
Concreto, acabamento comum	120
Ferro fundido, novo	130
Ferro fundido, usado	90 a 100
Plásticos	140 a 145
PVC rígido	145 a 150

Fonte: adaptado de Neves (1968).

Segundo Carvalho e Oliveira (2014) a fórmula de Flamant, apresentada pela Equação 22, é recomendada para condutos de PVC com diâmetros entre 16 a 160 mm e com velocidade de escoamento igual ou inferior a 4 m/s.

$$hf = k \times \frac{Q^{1,75}}{D^{4,75}} \times L \quad (22)$$

em que:

k = coeficiente de rugosidade de Flamant (adimensional).

Valores do coeficiente de rugosidade de Flamant de alguns tipos de materiais podem ser vistos na TAB. 3.

Tabela 3 – Valores do coeficiente de Flamant, k, para diversos materiais

Material	K
PVC	0,000824
Ferro fundido e aços novos	0,001133
Ferro fundido e aços usados	0,0014
Cimento amianto	0,00095
Chumbo	0,0086

Fonte: adaptado de Carvalho e Oliveira (2014).

Além das equações apresentadas anteriormente, a NBR 5626 (ABNT, 1998) recomenda o emprego da fórmula de Fair-Whipple-Hsiao para o cálculo das perdas de carga distribuídas em projetos de instalações hidráulicas prediais. Para tubos de aço galvanizado e ferro fundido conduzindo água fria utiliza-se a Equação 23 (BAPTISTA et al., 2014).

$$hf = 0,002021 \times \frac{Q^{1,88}}{D^{4,88}} \times L \quad (23)$$

Segundo os mesmos autores para tubos de cobre ou plástico conduzindo água aplica-se a Equação 24.

$$hf = 0,000859 \times \frac{Q^{1,75}}{D^{4,75}} \times L \quad (24)$$

### 3.3.2 Perda de carga localizada

As instalações hidráulicas sob pressão são compostas por tubulações adjacentes unidas por diversos acessórios, como: válvulas, curvas, derivações, registros ou conexões e eventualmente uma máquina hidráulica. A presença desses dispositivos interferem no módulo ou direção da velocidade de escoamento no local, e conseqüentemente na pressão, o que ocasiona um aumento de turbulência. Essa perturbação gera perdas de energia, denominadas perdas de cargas localizadas ou singulares, que devem ser somadas às perdas distribuídas, devido ao atrito, ao longo dos trechos retilíneos da tubulação (PORTO, 2006).

Leal (2005) destaca dentre os diversos tipos de singularidades as reduções, extensões, joelhos, curvas, tês. As reduções e extensões resultam na mudança de área do escoamento. Os joelhos, tês e curvas alteram a direção do escoamento, enquanto a perda de carga ocasionada

em válvulas é resultado do seu tipo de geometria, podendo gerar maior ou menor perda de carga dependendo das suas especificidades.

As perdas de carga localizadas podem ser calculadas pelo método direto ou pelo método dos comprimentos equivalentes, de acordo com o tipo de singularidade (FOX; PRITCHARD; McDONALD, 2011).

### 3.3.2.1 Método direto

White (2002) cita, para o cálculo da perda de carga localizada o método direto, em que as perdas de carga localizadas são calculadas por meio da Equação 25.

$$h_{fl} = K \times \frac{v^2}{2g} \quad (25)$$

em que:

$h_{fl}$  = perda de carga localizada em determinada singularidade (m); e

$K$  = coeficiente da singularidade causadora da perda de carga (adimensional).

Segundo Brunetti (2008), a Equação 25 foi obtida por análise dimensional e o coeficiente da perda de carga localizada,  $K$ , é influenciado pelo número de Reynolds e pela geometria do acessório em questão. No entanto, a maioria dos escoamentos apresenta altos números de Reynolds, portanto a perda de carga passa a independer das forças viscosas, assumindo-se valores constantes de  $K$  de acordo com o tipo de singularidade, como mostra a TAB. 4.

Tabela 4 – Valores do coeficiente de perda de carga localizada, K

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

Fonte: adaptada de Azevedo Netto et al. (1998). Notas: (\*) Com base na seção menor; (\*\*) Relativa à velocidade na canalização.

A perda de carga localizada total de um sistema hidráulico específico será dada pela somatória das perdas de carga em cada um dos acessórios, como representa a Equação 26 (CARVALHO,1999).

$$h_{fl_{total}} = (\sum K) \times \frac{v^2}{2g} \quad (26)$$

em que:

$h_{fl_{total}}$  = perda de carga localizada total no trecho de velocidade constante considerado (m.c.a.).

### 3.3.2.2 Método dos comprimentos equivalentes

Segundo Macintyre (2010) o método dos comprimentos equivalentes se baseia no princípio de que cada singularidade acarreta uma perda de carga igual à que produziria um certo comprimento de tubulação com o mesmo diâmetro, portanto, são equivalentes sob o ponto de vista de perda de carga. Na prática adiciona-se os comprimentos equivalentes de todas as peças ao comprimento real da tubulação, resultando em um comprimento total, denominado comprimento virtual, que é usado como se o sistema fosse composto apenas por condutos retilíneos sem peças especiais.

Carvalho (1999) afirma que em posse do comprimento virtual a perda de carga total é calculada a partir das fórmulas para perda de carga contínua. O comprimento equivalente pode ser obtido em metros de tubulação equivalente, conforme apresenta a TAB. 5 ou em função do número de diâmetros equivalentes.

Tabela 5 - Comprimentos equivalentes à perdas localizadas para tubos de PVC (expressos em metros de canalização retilínea)

Válvula de retenção tipo pesado	Válvula de retenção tipo leve	Saída de canalização	Válvula de pé e crivo	Válvula de ângulo aberto	Válvula de globo aberto	Válvula de gaveta aberta	Tê saída lateral	Tê passagem direta e saída lateral	Tê passagem direta	Entrada de borda	Entrada normal	Curva de 45°	Curva de 90° raio curto	Curva de 90° raio médio	Curva de 90° raio longo	Diâmetro interno(mm)	Diâmetro externo (mm)
1,8	1,1	0,4	3,6	2,6	4,9	0,1	1,2	1	0,7	0,6	0,2	0,4	1,2	1	0,8	12	15
2,4	1,6	0,5	5,6	3,6	6,7	0,1	2,5	2,3	0,8	0,8	0,3	0,5	1,3	1,1	0,9	17	20
3,2	2,1	0,7	7,3	4,6	8,2	0,2	2,6	2,4	0,9	0,9	0,4	0,7	1,4	1,2	1	22	25
4	2,7	0,9	10	5,6	11,3	0,2	3,3	3,1	1,2	1,1	0,5	0,9	1,8	1,5	1,2	28	32
4,8	3,2	1	11,6	6,7	13,4	0,3	4,8	4,6	1,5	1,2	0,6	1	2,6	2	1,4	35	40
6,4	4,2	1,5	14	8,5	17,4	0,4	7,5	7,3	2,2	1,5	0,8	1,3	4,4	3,2	2	44	50
8,1	5,2	1,9	17	10	21	0,4	7,8	7,6	2,3	1,9	1	1,5	4,6	3,4	2,4	53	60
9,7	6,2	2,2	20	12	26	0,5	8	7,8	2,4	2,2	1,2	1,7	4,7	3,7	2,8	67	75
11,4	6,3	2,7	21	15	30	0,6	9	8	2,5	2,6	1,5	1,8	5,8	3,9	3,2	76	85
12,9	6,5	3,2	23	17	34	0,7	10	8,2	2,6	3,2	2	1,9	6	4,1	3,6	90	100
16,1	10,4	4	30	21	43	0,9	11	8,4	2,7	4	2,5	2	7	4,3	4	98	110
19,3	12,5	5	39	25	51	1,1	12	10	3,4	5	3	2,3	8	5,2	4,5	136	150
25	16	6	52	34	67	1,4	14	13	4,3	6	4	3	9	5,5	5	182	200
32	20	7,5	65	43	85	1,7	18	16	5,5	7,5	5	3,8	10	6,7	6	228	250
38	24	9	78	51	102	2,1	21	19	6,1	9	6	4,6	11	7,9	7	275	300
45	28	11	90	60	120	2,4	25	22	7,3	11	7	5,3	12	9,5	8	320	350

Fonte: Azevedo Netto; Fernández (2015).

A TAB. 6 representa o comprimento equivalente em função do número de diâmetros. Ressalta-se que para sua utilização basta multiplicar o valor do diâmetro do conduto pelo valor do número de diâmetros correspondente à singularidade para encontrar o comprimento equivalente da mesma (MACINTYRE, 2010).

Tabela 6 – Perdas localizadas expressas em diâmetros de canalização retilínea (comprimentos equivalentes)

Peça	Comprimento em número de diâmetros	Peça	Comprimento em número de diâmetros
Ampliação gradual: $A_2/A_1 < 1,6$ e $D_1 < L < 2D_2$	12	Válvula de gaveta aberta 100%	8
Ampliação brusca (90°)	20	Válvula borboleta aberta 100%	40
Redução gradual: $A_2/A_1 < 1,6$ e $2D_1 < L < 2D_2$	6	Válvula ângulo aberta 100%	170
Redução brusca (90°) $0,01 < (D_2/D_1)^2 > 0,8$	10	Válvula de disco (globo) aberta 100%	350
Bocais $0,5 < D_2/D_1 < 0,8$	6	Válvula controladora de vazão aberta 100%	350
Curva 90° longa	30	Válvula de pé 100% aberta	100
Curva 90° raio curto (cotovelo)	45	Válvula retenção portinhola ou disco, sem mola	100
Curva 45° longa	15	Crivo	150
Curva 45° curta	20	Saída (chegada) aérea (pressão atmosférica)	35
Curva 22,5°	15	Saída (chegada) afogada em reservatório	5
Tê passagem direta DN <sub>1</sub> (saída lateral fechada)	20	Tomada (entrada normal)	17
Tê + saída lateral < 20% $Q_1, D_2 < D_1$	50	Tomada (entrada reentrante)	35
Tê bifurcação simétrica	65	Tomada (entrada em sino)	10
Pequenas derivações (tipo ferrule) $0,05 < D_2/D_1 < 0,25$	40	Tomada (entrada redução cônica)	12

Tabela 6 – Continuação

Peça	Comprimento em número de diâmetros	Peça	Comprimento em número de diâmetros
Curva 30° aço, segmentada 2 gomos	7	Curva 45° aço, segmentada 2 gomos	15
Curva 45° aço, segmentada 3 gomos	10	Curva 60° aço, segmentada 2 gomos	25
Curva 60° aço, segmentada 3 gomos	15	Curva 90° aço, segmentada 2 gomos	65
Curva 90° aço, segmentada 3 gomos	25	Curva 30° aço, segmentada 4 gomos	15

Fonte: Azevedo Netto; Fernández (2015). Notas: 01 – Consultar catálogos de fabricantes; 02- Em aço, considerar peças novas e tubulações novas, sendo toda em plástico, cobre etc., supõe-se sempre nova; 03- Dados das válvulas considerando-as 100% abertas; 04- No caso de reduções e ampliações, usar o diâmetro de jusante; 05- Valores compulsados e interpolados de forma expedita para fins de avaliações.

Vilaça (2012) afirma que muitos projetistas de instalações hidráulicas preferem considerar as perdas de carga localizadas como um porcentagem fixa da perda de carga total, ao invés de calculá-la pelos métodos apresentados. Por consequência o valor estimado pode estar super ou subestimado, o que pode interferir na eficiência do sistema e no custo, visto que, a escolha dos diâmetros da tubulação é influenciada pela perda de energia.

Em uma instalação hidráulica típica, com tubulações longas, as perdas de carga localizadas são insignificantes se comparadas à perda total de carga. Já em alguns casos, referente a sistemas que contém vários acessórios em curtas distâncias, como no caso de instalações hidráulicas prediais de água fria ou quente, ou dependendo do tipo de singularidade existente, essas perdas podem ser maiores do que a perda de carga distribuída (ÇENGEL; CIMBALA, 2007). Portanto, é necessário realizar uma análise criteriosa quanto à influência da perda de carga localizada para o dimensionamento eficaz de um sistema hidráulico.

### 3.4 Instalações prediais de água fria

As instalações prediais de água fria compreendem o conjunto de tubulações, conexões, válvulas, equipamentos e peças de utilização destinados ao suprimento de água aos prédios. O projeto desse sistema tem como requisito fornecer água de qualidade apropriada, em quantidade suficiente e sob pressão adequadas a todos os aparelhos (GARCEZ, 1976).

Macintyre (2008) afirma que as instalações de água fria potável são regidas pela NBR-5626/98 – Normal Brasileira para Instalações Prediais de água fria da Associação Brasileira de Normas técnicas – ABNT (ABNT, 1998). Essa norma fixa as exigências e recomendações relativas a projeto, execução e manutenção da instalação predial de água fria garantindo aos usuários higiene, segurança, economia e conforto.

A rede de distribuição de água fria é constituída pelas canalizações que interligam os pontos de consumo ao reservatório da edificação. O barrilete é o conjunto de tubulações que se origina no reservatório e do qual se derivam as colunas de distribuição, as quais descem na posição vertical e alimentam os ramais que, por sua vez, alimentam os sub-ramais das peças de utilização (CARVALHO JÚNIOR, 2014).

Segundo o autor supracitado, o reservatório de água é utilizado para compensar a falta de água na rede pública, devido às falhas existentes no sistema de abastecimento e na rede de distribuição, ou seja, o mesmo tem a função de regularizar o abastecimento de água ao edifício.

De acordo com Botelho e Ribeiro Júnior (2010) as instalações de água fria são compostas por condutos forçados, razão pela qual é necessário o dimensionamento e caracterização da vazão, da velocidade, da perda de carga e da pressão partir de equações e ábacos. Após a determinação do diâmetro da canalização é necessário verificar a pressão mínima nos pontos de utilização e a pressão máxima nos mesmos e na própria tubulação, bem como os limites de velocidade.

### **3.4.1 Parâmetros de projeto**

De acordo com ABNT (1998), a pressão estática máxima admissível é de 40 m.c.a., enquanto a pressão dinâmica mínima admissível em qualquer ponto da rede de distribuição é de 0,5 m.c.a., com o intuito de evitar pressões negativas nos pontos críticos do sistema (encontro do barrilete com as colunas). Ressalta-se que no caso de edifícios mais altos, em que as pressões estáticas ultrapassam o valor máximo, é necessário a introdução de válvulas redutoras de pressão ou reservatórios intermediários. Além disso, o fechamento de qualquer peça de utilização não pode provocar sobrepressão estática, em nenhum ponto, superior a 20 m.c.a. (CREDER, 2012).

No pré-dimensionamento das tubulações a velocidade de escoamento deve ser verificada com intuito de prevenir a alteração do seu funcionamento e até mesmo danificação das mesmas. A velocidade de escoamento deve ser de no mínimo 0,60 m/s e a velocidade

máxima dever ser de 3,0 m/s (BAPTISTA et al., 2014). Além disso, Azevedo Netto et al. (1998) afirma que a velocidade máxima nos encanamentos prediais também deve obedecer a Equação 27.

$$V = 14\sqrt{D} \quad (27)$$

A TAB. 7 representa as velocidades e vazões máximas obtidas a partir da Equação 24 e da equação da continuidade para diâmetros distintos.

Tabela 7 – Velocidades e vazões máximas

Diâmetro DN (mm)	Velocidade máxima (m.s <sup>-1</sup> )	Vazão máxima ( L.s <sup>-1</sup> )
20	1,98	0,62
25	2,21	1,08
32	2,50	2,01
40	2,80	3,51
50	3,00	5,89
60	3,00	8,48
75	3,00	13,25
85	3,00	17,02
110	3,00	28,51

Fonte: adaptada de Botelho; Ribeiro Júnior. (2010).

Segundo Baptista et al. (2014) se houver velocidades inferiores a 0,60 m/s nas tubulações, podem ocorrer incrustações de partículas nas paredes da tubulação reduzindo sua seção de escoamento e conseqüentemente a sua capacidade de vazão. Além disso, em baixas velocidades a retenção de ar na tubulação provoca um efeito semelhante ao do aumento das perdas de carga, reduzindo a eficiência do escoamento. Já, em escoamento com velocidades altas, pode haver um aumento na perda de carga, além de ocorrer fenômenos como a cavitação e golpe de aríete, que podem provocar ruídos, vibrações e choques que danificam rapidamente as instalações.

### 3.4.2 Dimensionamento

De acordo com NBR 5626 (ABNT, 1998) o volume de água reservado para uso doméstico deve ser, no mínimo, o necessário para um dia de consumo normal no edifício, sem

considerar o volume de água para combate a incêndio e no máximo o triplo desse mesmo consumo.

Segundo Carvalho Júnior (2014) o dimensionamento do reservatório leva em consideração o tipo de edificação e o número de ocupantes do edifício. O consumo diário no prédio é calculado pela multiplicação entre o consumo *per capita* e o número de ocupantes. A TAB. 8 relaciona o consumo predial diário de acordo com o tipo de edificação.

Tabela 8 – Consumo predial diário

Tipo de edificação	Consumo (Litros/dia)
Alojamento provisório	80 <i>per capita</i>
Ambulatório	25 <i>per capita</i>
Apartamentos	200 <i>per capita</i>
Casas populares ou rurais	150 <i>per capita</i>
Cinemas e teatros	2 por lugar
Creches	50 <i>per capita</i>
Edifícios públicos ou comerciais	50 <i>per capita</i>
Escolas (externatos)	50 <i>per capita</i>
Escolas (internatos)	150 <i>per capita</i>
Escolas (semi-internato)	100 <i>per capita</i>
Escritórios	50 <i>per capita</i>
Garagens e posto de serviço	50 por automóvel/ 200 por caminhão
Hotéis (sem cozinha e sem lavanderia)	120 por hóspede
Hotéis (com cozinha e com lavanderia)	250 por hóspede
Indústrias – uso pessoal	80 por operário
Indústrias – com restaurante	100 por operário
Lavanderias	30 por kg de roupa seca
Mercados	5 por m <sup>2</sup> de área
Orfanatos, asilos, berçários	150 <i>per capita</i>
Piscinas – lâmina de água	2,5 cm por dia
Postos de serviços para automóveis	150 por veículo
Quartéis	150 <i>per capita</i>
Residência popular	150 <i>per capita</i>
Residência de padrão médio	200 <i>per capita</i>
Residência de padrão luxo	250 <i>per capita</i>
Restaurantes e outros similares	25 por refeição

Fonte: adaptado de Carvalho Júnior (2014).

Já a TAB. 9 indica a taxa de ocupação de acordo com a natureza do local.

Tabela 9 – Taxa de ocupação de acordo com a natureza do local

Natureza do local	Taxa de ocupação
Residências e apartamentos	Duas pessoas por dormitório
Bancos	Uma pessoa por 5,00 m <sup>2</sup> de área
Escritórios	Uma pessoa por 6,00 m <sup>2</sup> de área
Lojas (pavimento térreo)	Uma pessoa por 2,50 m <sup>2</sup> de área
Lojas (pavimento superior)	Uma pessoa por 5,00 m <sup>2</sup> de área
Shopping centers	Uma pessoa por 5,00 m <sup>2</sup> de área
Museus e bibliotecas	Uma pessoa por 5,50 m <sup>2</sup> de área
Salões de hotéis	Uma pessoa por 5,50 m <sup>2</sup> de área
Restaurantes	Uma pessoa por 1,40 m <sup>2</sup> de área
Teatro, cinemas e auditórios	Uma cadeira para cada 0,70 m <sup>2</sup> de área

Fonte: adaptado de Carvalho Júnior (2014).

Cada sub-ramal alimenta um único aparelho sanitário e é dimensionamento a partir de tabelas elaboradas através de ensaios experimentais. Os diâmetros mínimos de diversas peças de utilização são apresentados na TAB. 10. Salienta-se que os fabricantes dos aparelhos fornecem os diâmetros recomendados, principalmente no caso de equipamentos especiais (MACINTYRE, 2008).

Tabela 10 – Diâmetros mínimos dos sub-ramais

Peças de utilização	Diâmetro	
	mm	pol
Aquecedor de baixa pressão	20	¾
Aquecedor de alta pressão	15	½
Bacia sanitária com caixa de descarga	15	½
Bacia sanitária com válvula de descarga	32	1 ¼
Banheiro	15	½
Bebedouro	15	½
Bidê	15	½
Chuveiro	15	½
Filtro de pressão	15	½
Lavatório	15	½
Máquina de lavar pratos ou roupa	20	¾
Mictório autoaspirante	25	1
Mictório de descarga contínua	15	½
Pia de despejo	20	¾
Pia de cozinha	15	½
Tanque de lavar roupa	20	¾

Fonte: NBR 5626 (ABNT, 1998).

O dimensionamento dos ramais é realizado trecho a trecho e pode ser calculado de duas maneiras: admitindo que há consumo simultâneo de todos os aparelhos ou considerando o consumo simultâneo máximo provável dos aparelhos (MACINTYRE, 2010).

Segundo o mesmo autor na primeira hipótese supõe-se que os diversos aparelhos alimentados pelo ramal sejam utilizados ao mesmo tempo, de modo que a vazão total no início do mesmo será a soma das vazões em cada um dos sub-ramais. Tal hipótese é utilizada no caso de fábricas, estabelecimentos de ensino e quartéis, em razão de horários rigorosos para utilização da água, ou mesmo, em prédios domésticos em que um só ramal alimenta as peças nos banheiros, cozinha e área de serviço.

Botelho e Ribeiro Júnior (2010) afirmam que na determinação dos diâmetros dos ramais, pelo método definido acima, utiliza-se como unidade ou base a vazão suportada pela tubulação de 20 mm a partir da qual se referem os demais diâmetros, apresentando-se com seções equivalentes, como mostrado na TAB. 11.

Tabela 11 – Seções equivalentes a condutos de 20 mm

Diâmetro em polegadas	Diâmetros DN (mm)	Número de tubos de 20 mm com a mesma capacidade
½	20	1
¾	25	2,9
1	32	6,2
1 ¼	40	10,9
1 ½	50	17,4
2	60	37,8
2 ½	75	65,5
3	85	110,5
3	110	189

Fonte: Botelho; Ribeiro Jr. (2010).

De acordo com os mesmos autores no dimensionamento adota-se os diâmetros mínimos dos sub-ramais a partir da TAB. 10 e determina-se sua seção equivalente a partir da TAB. 11. Em seguida somam-se as seções equivalentes ao longo dos trechos considerados, obtendo-se as seções equivalentes de cada trecho e conseqüentemente o diâmetro de cada segmento do ramal.

Chaves (1979) afirma que o dimensionamento das tubulações deve ser realizado pela hipótese do consumo máximo provável, em que, o diâmetro do conduto será calculado de maneira a atender os aparelhos que provavelmente funcionarão ao mesmo tempo de maneira eficaz e econômica.

Atribuem-se “pesos” às diversas peças de utilização para definir sua demanda como mostra a TAB. 12 (MACINTYRE, 2010).

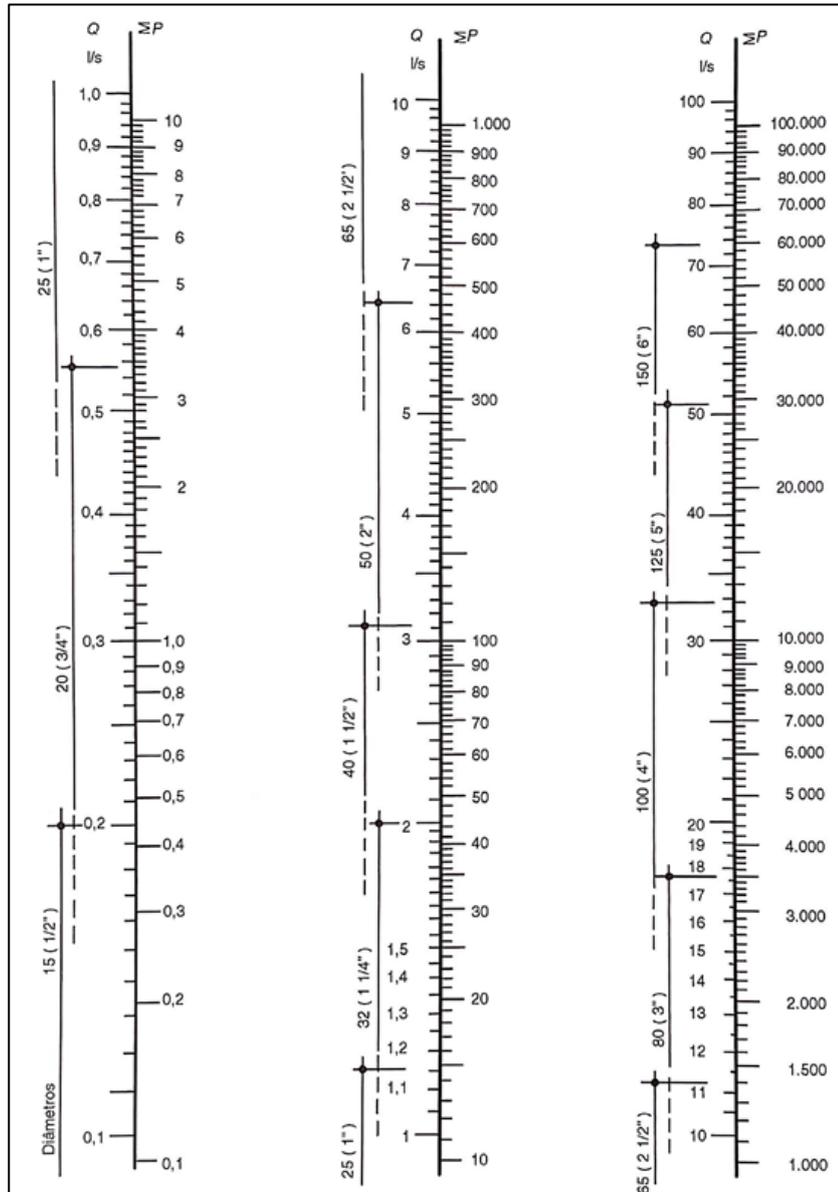
Tabela 12 – Pesos relativos nos pontos de utilização, identificados em função do aparelho sanitário e da peça de utilização

Aparelho Sanitário		Peça de utilização	Vazão de projeto (litro/s)	Peso relativo
Bacia Sanitária		Caixa de descarga	0,15	0,3
		Válvula de descarga	1,70	32
Banheira		Misturador (água fria)	0,30	1,0
Bebedouro		Registro de pressão	0,10	0,1
Bidê		Misturador (água fria)	0,10	0,1
Chuveiro ou ducha		Misturador (água fria)	0,20	0,4
Chuveiro elétrico		Registro de pressão	0,10	0,1
Lavadora de pratos ou roupas		Registro de pressão	0,30	1,0
Lavatório		Torneira ou misturador (água fria)	0,15	0,3
Mictório cerâmico	Com sifão integrado	Válvula de descarga	0,50	2,8
	Sem sifão integrado	Caixa de descarga, registro de pressão ou válvula de descarga para mictório	0,15	0,3
Mictório tipo calha		Caixa de descarga ou registro de pressão	0,15 por metro de calha	0,3
Pia		Torneira ou misturador (água fria)	0,25	0,7
		Torneira elétrica	0,10	0,1
Tanque		Torneira	0,25	0,7
Torneira de jardim ou lavagem e geral		Torneira	0,20	0,4

Fonte: NBR 5626.

Melo e Azevedo Netto (1988) admitem que o dimensionamento pelo método do consumo simultâneo máximo provável dos aparelhos somam-se os pesos das peças alimentadas em cada trecho do ramal e a partir do ábaco representado pela FIG. 13 encontra-se os diâmetros de cada segmento.

Figura 13 – Diâmetros e vazões em função da soma dos pesos



Fonte: MACINTYRE, 2010, p. 50.

No caso das colunas é recomendável projetar uma coluna específica para válvulas de descarga no intuito de evitar o golpe de aríete (elevação rápida da pressão devido à interrupção brusca do escoamento), além disso, em cada coluna, à montante do primeiro ramal deve conter um registro de gaveta (CARVALHO JÚNIOR, 2014).

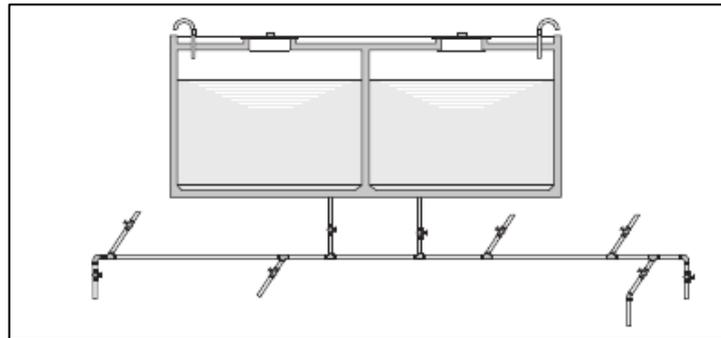
O seu dimensionamento, assim como o dos ramais, é realizado trecho a trecho. Partindo de baixo para cima soma-se os pesos de cada peça de utilização acumuladamente em cada derivação para os ramais, em seguida calcula-se a vazão de cada trecho para posterior escolha do diâmetro a partir do ábaco da FIG. 14 (CREDER, 2012).

O autor supracitado salienta que após a determinação dos diâmetros tanto dos ramais, quanto das colunas é necessário obter os outros parâmetros hidráulicos como vazão, velocidade e perda de carga para a verificação da velocidade e da pressão, que devem obedecer aos valores máximos e mínimos apresentados anteriormente. A pressão disponível nos pontos considerados é representada pela diferença de nível entre a boia do reservatório e esses pontos, descontadas a perda de carga total.

Portanto, na determinação da pressão disponível em cada aparelho é preciso estimar a perda de carga, devido ao fato de que a instalação hidráulica, na prática, não pode ser considerada perfeita, pois, os condutos apresentam rugosidade nas suas paredes, e além disso existem singularidades ao longo das tubulações (ILHA, GONÇALVES; 1994).

Segundo Carvalho Júnior (2014) os barriletes podem ser classificados em ramificados e concentrados. O tipo ramificado é mais econômico, composto por menor quantidade de tubulações e os registros de operação são mais espaçados (FIG. 14).

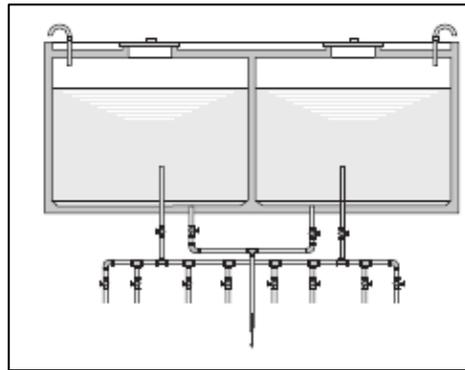
Figura 14 – Reservatório com barrilete ramificado



Fonte: CARVALHO JÚNIOR, 2014, p. 53.

Segundo o mesmo autor, o tipo concentrado tem a vantagem de abrigar os registros em uma área restrita, facilitando a segurança e o controle do sistema, em contrapartida ocupam espaços de maiores dimensões (FIG. 15).

Figura 15 – Reservatório com barrilete concentrado



Fonte: CARVALHO JÚNIOR, 2014, p. 53.

O dimensionamento dos barriletes ramificados é realizado por trechos, somando-se os pesos das peças de utilização alimentadas por cada coluna e, em seguida determinando os diâmetros de cada segmento a partir do ábaco da FIG. 14. No caso do barrilete concentrado todas as colunas partem da mesma tubulação, portanto, basta somar os pesos nos topos da mesma e determinar o diâmetro de todo o barrilete com o auxílio do ábaco da FIG. 14. Ressalta-se que devem ser verificados os limites de pressão e velocidade para eficácia do sistema (MELO; AZEVEDO NETTO, 1988).

Macintyre (2010) afirma que em diversas situações o abastecimento de água aos usuários apresenta-se de maneira deficiente em consequência, por exemplo, do subdimensionamento das tubulações. Esses casos ocorrem devido à negligência em relação ao projeto, inclusive na estimação da perda de carga. Portanto, é necessário dedicar-se a essa fase inicial obedecendo as recomendações da NBR 5626 (ABNT, 1998), no intuito de obter um sistema de instalações prediais de água fria que atenda as exigências mínimas com eficiência e economia.

### 3.5 Equações e métodos para cálculo de perda de carga em condutos

#### 3.5.1 Perda de carga distribuída

A determinação da perda de carga distribuída pode ser realizada pelo método racional ou pelo método empírico. No primeiro emprega-se a equação de Darcy-Weisbach obtido a partir de análise dimensional. No segundo, são empregadas fórmulas obtidas a partir de experimentos e utilizáveis para água escoando em um determinado tipo de conduto, como por

exemplo, a equação de Hazen-Williams, a equação de Flamant e a equação de Fair-Whipple-Hsiao (MACINTYRE, 2008).

Salienta-se que, geralmente, as equações empíricas têm seu uso restrito ao líquido em que foram ensaiadas, à temperaturas semelhantes e ao escoamento em regime turbulento. Existem várias fórmulas para o cálculo de perda de carga distribuída, portanto, a escolha de qual utilizar deve se basear em um conhecimento completo da origem de cada equação e suas especificações (AZEVEDO NETTO et al., 1998).

### **3.5.1.1 Equação de Darcy-Weisbach**

A equação de Darcy-Weisbach é a mais recomendada para a determinação da perda de carga distribuída, uma vez que ela pode ser empregada para qualquer tipo de líquido, materiais e estado das canalizações, desde que o valor do coeficiente de atrito seja determinado corretamente. No entanto, a obtenção da rugosidades dos tubos se torna um empecilho para a precisão dessa equação, visto que na fabricação dos condutos não há uma adequada uniformidade na aspereza das paredes dos mesmos (GOMES 2009b).

### **3.5.1.2 Equação de Hazen-Williams**

Segundo Peres (2015), a equação de Hazen-Williams é resultado da análise estatística de numerosos dados experimentais e sua aplicação está associada ao escoamento de água à temperatura ambiente (20 °C) em tubulações fabricadas empregando qualquer tipo de material com diâmetros internos entre 50 mm e 3500 mm. Além disso, sua utilização está restrita ao regime de escoamento turbulento ( $Re \geq 4000$ ).

O autor ainda afirma que a estimativa do coeficiente de rugosidade (C), que depende do material e do estado de conservação da parede do tubo, é subjetiva e pode levar a erros consideráveis, portanto, é necessário uma análise criteriosa para a escolha do mesmo.

### **3.5.1.3 Equação de Flamant**

Baptista et al. (2014) admite o uso da equação de Flamant para tubos de plástico de pequenos diâmetros como os empregados em instalações hidráulicas prediais de água fria. De maneira complementar Carvalho e Oliveira (2014) recomendam sua utilização para condutos de PVC de diâmetro entre 16 mm a 160 mm e velocidades de escoamento até  $4 \text{ m.s}^{-1}$ .

#### **3.5.1.4 Equação de Fair-Whipple-Hsiao**

As fórmulas de Fair-Whipple-Hsiao são utilizadas para tubulações de pequenos diâmetros, até 100 mm, transportando água fria. Além disso, as duas equações apresentadas são empregadas em canalizações fabricadas com material específico, sendo uma delas para condutos de aço galvanizado e ferro fundido e a outra para tubos de cobre ou plástico (MACINTYRE, 2010).

#### **3.5.2 Perda de carga localizada**

As perdas de carga localizadas são causadas por singularidades e podem ser determinadas pelo método direto ou pelo método dos comprimentos equivalentes. Ressalta-se que na prática, em ambos os métodos, o cálculo da perda de carga localizada depende principalmente de coeficientes obtidos experimentalmente, uma vez que seu tratamento analítico é muito complexo (PERES, 2015).

##### **3.5.2.1 Método direto**

Azevedo Netto et al. (1998) afirma que o valor do coeficiente K da fórmula do método direto para o cálculo de perda localizada pode ser obtido experimentalmente para cada caso. No entanto, pesquisadores verificaram que o valor desse coeficiente é praticamente constante para escoamentos com número de Reynolds superiores a 50000, ou seja, para fins práticos pode-se considerar constante o valor de K para determinada peça, obtido a partir de tabelas, desde que o escoamento seja turbulento, independentemente do diâmetro da tubulação e da velocidade e natureza do fluido.

##### **3.5.2.2 Método dos comprimentos equivalentes**

Segundo Porto (2006) o comprimento equivalente de uma singularidade além de depender do seu diâmetro, depende do coeficiente de atrito e conseqüentemente do número de Reynolds e da rugosidade do conduto, portanto, ele deveria ser calculado para cada caso. No entanto, Carvalho e Oliveira (2014); Azevedo Netto et al. (1998); Macintyre (2010); a NBR 5626 (ABNT, 1998), dentre outros, apresentam tabelas que indicam o comprimento

equivalente a canalizações de ferro fundido, aço e PVC rígido para diversos acessórios e diâmetros.

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Projeto a ser analisado e traçado da rede de distribuição de água

Utilizou-se a planta baixa representada na FIG. 16 para o traçado e dimensionamento da instalação predial de água fria, bem como, a verificação da pressão dinâmica nos aparelhos consumidores de água.

Figura 16 – Projeto a ser analisado



Fonte: a autora (2017).

Trata-se de uma edificação residencial, com *layout* convencional e padrão normal. O mesmo é constituído por três quartos, um banheiro, uma circulação, uma sala, uma cozinha e uma área de serviço, sendo a área total construída igual a  $69,40 \text{ m}^2$ .

O traçado do conjunto de canalizações interliga os pontos de consumo do banheiro, da cozinha e da área de serviço ao reservatório, sendo representado a partir de desenhos em perspectiva isométrica. O reservatório de água, por questões estruturais, foi posicionado sobre a laje do banheiro sob o telhado. O mesmo cheio de água apresenta elevada carga, por consequência a laje na qual o mesmo está locado deverá ser reforçada. Como a laje do banheiro possui menores dimensões o custo para seu dimensionamento será menor do que para lajes maiores.

Os posicionamentos mais utilizados dos pontos de entrada de água de diversas peças hidráulicas são apresentados na TAB. 13.

Tabela 13 – Altura dos pontos de utilização de diversos aparelhos hidráulicos

Sigla	Aparelho	Altura (cm)
BS	Bacia sanitária com válvula	33
BCA	Bacia sanitária com caixa acoplada	20
DC	Ducha higiênica	50
BI	Bidê	20
BH	Banheira de hidromassagem	30
CH	Chuveiro ou ducha	220
LV	Lavatório	60
MIC	Mictório	105
MLR	Máquina de lavar roupa	90
MLL	Máquina de lavar louça	60
PIA	Pia	110
TQ	Tanque	115
TL	Torneira de limpeza	60
TJ	Torneira de jardim	60
RP	Registro de pressão	110
RG	Registro de gaveta	180
VD	Válvula de descarga	110

Fonte: adaptado de Carvalho Júnior (2014).

A partir do exposto na TAB. 13 foram determinadas as alturas dos pontos de entrada de água que constam na planta baixa: dois tanques na área de serviço e uma máquina de lavar; uma pia na cozinha; um lavatório, uma bacia sanitária com caixa acoplada e um chuveiro no banheiro.

Salienta-se que o traçado da rede de distribuição de água de uma edificação deve atender aos requisitos de higiene, segurança e conforto aos usuários com um custo-benefício

satisfatório. Conseqüentemente, realizou-se divisão dos pontos de consumo, ou seja, as peças do banheiro são alimentadas por uma coluna, e as da cozinha e da área de serviço por outra.

Traçou-se os ramais de maneira a interligar os pontos de consumo à coluna que os alimenta, enquanto, os barriletes estabeleceram a conexão entre as colunas especificadas anteriormente ao reservatório.

Posteriormente à definição do traçado, dividiu-se as tubulações em trechos, sendo que cada peça de utilização corresponde a um trecho específico. Essa divisão foi feita tendo em vista que cada um desses trechos podem demandar diâmetros diferentes.

#### **4.2 Dimensionamento do reservatório**

Dimensionou-se o reservatório de água da edificação considerando o consumo diário *per capita* para uma residência popular, igual a 150 litros por habitante por dia, como indica a TAB. 8. O número de habitantes foi estimado de acordo com a TAB. 9, para uma ocupação de duas pessoas por dormitório, levando em consideração que a mesma possui três dormitórios.

O consumo diário *per capita* foi multiplicado pelo número de habitantes com a finalidade de determinar o consumo diário da edificação. Para obtenção do volume do reservatório considerou-se dois consumos diários, em função de prováveis interrupções ou flutuações no abastecimento.

Por fim, identificou-se o ponto de instalação do dispositivo controlador de nível (cota da superfície livre da água no reservatório) podendo-se assim, determinar a carga estática disponível em cada peça de utilização.

#### **4.3 Determinação dos diâmetros e das vazões**

O dimensionamento da instalação predial de água fria foi realizado a partir da NBR 5626 (ABNT, 1998). Determinou-se os diâmetros mínimos dos sub-ramais, a partir da TAB. 10, que são em função da peça de utilização que o mesmo alimenta.

Os ramais, as colunas e os barriletes foram dimensionados trecho a trecho e pela hipótese do consumo máximo provável, na qual, devem ser definidos “pesos” às diversas peças de utilização, por meio da TAB. 12. A partir da soma dos pesos e do ábaco representado pela FIG. 13 encontrou-se os diâmetros de cada trecho. Além da determinação do diâmetro, a vazão em cada trecho foi calculada a partir da Equação 28, recomendada pela NBR 5626 (ABNT,1998).

$$Q = 0,30 \sqrt{\Sigma P} \quad (28)$$

em que:

P = peso relativo a peça de utilização (adimensional).

Posteriormente à determinação dos diâmetros e das vazões, verificou-se a velocidade de escoamento com intuito de prevenir alterações no funcionamento das tubulações e até mesmo a danificação das mesmas. Para cada trecho a velocidade de escoamento foi calculada a partir da Equação 4.

Recomenda-se que a velocidade encontrada em cada trecho seja de no mínimo 0,60 m/s. Além disso, a mesma deve ser verificada quanto ao seu valor máximo, que não deve ultrapassar 3,0 m/s e nem o resultado obtido a partir da Equação 27, que depende do diâmetro da tubulação analisada. Caso a velocidade de escoamento em algum trecho corresponder a um valor além dos limites máximo e mínimo o diâmetro do mesmo deve ser alterado.

#### 4.4 Verificação das pressões estáticas e dinâmicas

Nas instalações prediais de água fria devem ser verificadas as pressões estáticas e as pressões dinâmicas em cada um de seus trechos. A pressão estática se refere à pressão nas tubulações quando a água está parada e para avaliá-la basta conhecer a diferença entre a altura do reservatório superior e o ponto mais baixo da instalação predial (CARVALHO JÚNIOR, 2014).

Segundo o autor supracitado a pressão dinâmica diz respeito a pressão nas canalizações quando a água está em movimento e será calculada pela Equação 29.

$$P_d = P_e - hf \quad (29)$$

em que:

$P_d$  = Carga de pressão dinâmica (m.c.a); e

$P_e$  = Carga de pressão estática (m.c.a).

Caso a pressão estática for maior que a recomendada instala-se válvulas redutoras de pressão. E se a pressão dinâmica nos pontos de utilização apresentar um valor abaixo da

exigida o funcionamento dos mesmos serão prejudicados, portanto, é necessário reanalisar o traçado ou aumentar os diâmetros dos trechos com pressões insuficientes.

#### **4.5 Perda de carga**

Determinou-se a perda de carga do escoamento para a verificação da pressão dinâmica em cada trecho da rede de distribuição utilizando diferentes métodos para cálculo da perda de carga localizada e desprezando-a. Posteriormente, foi feita uma comparação entre essas maneiras de obtenção da pressão dinâmicas nos pontos de consumo de água.

##### **4.5.1 Perda de carga distribuída**

Obteve-se a perda de carga distribuída a partir da Fórmula Universal de Perda de Carga ou Equação de Darcy-Weisbach (Equação 15). Nesse ponto as velocidades e os diâmetros de cada trecho já eram conhecidos, enquanto os comprimentos reais dos mesmos foram determinados em planta, a partir do desenho isométrico da instalação hidráulica.

Além disso, verificou-se o regime de escoamento em cada segmento da tubulação para a determinação da equação adequada para o cálculo do coeficiente de atrito. Essa verificação se dá pelo número de Reynolds (Equação 13).

Caso o regime seja laminar utiliza-se a Equação 17. Se o regime for turbulento deverá ser feita primeiramente a classificação do conduto em hidraulicamente liso, hidraulicamente rugoso e hidraulicamente misto, que depende do coeficiente de rugosidade obtido a partir da TAB. 1 e do número de Reynolds. Utilizou-se a Equação 19, para regime turbulento e conduto hidraulicamente liso.

##### **4.5.2 Perda de carga localizada**

Determinou-se a perda de carga localizada das tubulações a partir do Método dos Comprimentos Equivalentes, em conjunto com diferentes Equações de Perda de Carga Distribuída e pelo Método Direto, com a finalidade de realizar uma comparação entre os resultados obtidos.

Considerando o Método Direto, a perda de carga em cada singularidade foi calculada pela Equação 25, sendo que o valor das velocidades em cada trecho da rede de distribuição já foi estimado. Portanto, estabeleceu-se o valor do coeficiente de perda de carga localizada (K)

para cada singularidade com base na TAB. 4. Em seguida a perda de carga relativa aos acessórios existentes em cada trecho, especificados no desenho isométrico da instalação predial de água fria, foram somadas.

Para o Método dos Comprimentos Equivalentes utilizou-se diversas equações de perda de carga, sendo elas: Equação de Darcy-Weisbach (Equação 15), Fórmula de Hazen-Williams (Equação 21), Fórmula de Flamant (Equação 22) e a Fórmula de Fair-Whipple-Hsiao (Equação 24).

Salienta-se que as vazões e os diâmetros de cada trecho já foram calculados. Já, o comprimento, que será aplicado à essas equações, é o resultado da soma do comprimento real, determinados em planta, e do comprimento virtual de cada singularidade presente no trecho analisado, que foi obtido a partir da TAB. 5, em metros de tubulação equivalente.

Cada equação mencionada anteriormente possui coeficientes de perda de carga específicos, sendo: coeficiente de atrito “f” na Equação de Darcy; para a Equação de Hazen-Williams o valor do coeficiente “C” depende do tipo de material do tubo e será encontrado na TAB. 2; enquanto que para a Equação de Flamant o valor do coeficiente de rugosidade da canalização, “K”, será determinado a partir da TAB. 3. Já a Equação de Fair-Whipple-Hsiao apresenta duas fórmulas para o cálculo das perdas de carga distribuídas em projetos de instalações hidráulicas prediais de água fria, uma para tubos de aço galvanizado e ferro fundido e outra para tubos de cobre ou plástico, sendo utilizada neste trabalho sua forma indicada para plásticos (PVC).

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Dimensionamento do reservatório e da tubulação hidráulica de água fria

Estimou-se o número de habitantes da residência em seis, portanto, o consumo diário da mesma foi calculado em 900 litros. Sendo assim, o volume do reservatório de água considerando-se dois consumos diários resultou em 1800 litros e utilizou-se uma caixa d'água de 2000 litros.

No projeto hidráulico predial de água fria dimensionado, apresentado no APÊNDICE A, foram determinadas características pertinentes à tubulação, bem como o seu traçado e acessórios necessários em cada trecho, considerando-se a equação de Darcy-Weisbach para cálculo da perda de carga distribuída e Método direto para perda de carga localizada.

Os diâmetros adotados em cada trecho de tubulação nos diversos cenários estudados, são mostrados na TAB. 14.

Tabela 14 – Diâmetros de cada trecho da instalação predial de água fria em função do cenário adotado para determinação da perda de carga

Trechos	Cenário					
	hf distribuída	MD	Leq - HW	Leq - Flamant	Leq - FWH	Leq – DW
Lavatório	20	20	20	20	20	20
Bacia sanitária	20	20	20	20	20	20
Chuveiro	20	20	20	20	20	20
Pia	20	20	20	20	20	20
Tanque 1	25	25	25	25	25	25
Tanque 2	20	20	25	25	25	25
Máquina de lavar roupa	20	20	20	20	20	20
Coluna banheiro	20	20	20	25	25	25
Coluna cozinha	25	25	32	32	32	32
Barrilete banheiro	20	20	25	25	25	25
Barrilete cozinha	25	32	32	32	32	32

Fonte: a autora (2017). Em que: hf distribuída: perda de carga total composta apenas pela perda de carga distribuída, utilizando equação de Darcy-Weisbach; MD: perda de carga total determinada a partir da perda de carga distribuída (Darcy-Weisbach) e localizada, calculada pelo Método Direto; Leq – HW: perda de carga total determinada a partir da perda de carga distribuída (Darcy-Weisbach) e localizada, calculada pelo método dos comprimentos equivalentes empregando a equação de Hazen-Williams; Leq – Flamant: perda de carga total

determinada a partir da perda de carga distribuída (Darcy-Weisbach) e localizada, calculada pelo método dos comprimentos equivalentes empregando a equação de Flamant; Leq – FWH: perda de carga total determinada a partir da perda de carga distribuída (Darcy-Weisbach) e localizada, calculada pelo método dos comprimentos equivalentes para perda de carga localizada empregando a equação de Fair-Whipple-Hsaio; Leq – DW: perda de carga total determinada a partir da perda de carga distribuída (Darcy-Weisbach) e localizada, calculada pelo método dos comprimentos equivalentes para perda de carga localizada empregando a equação de Darcy-Weisbach.

Ao considerar apenas as perdas de carga distribuídas ao longo da tubulação, as exigências de pressão em cada ponto de tomada de água foram atendidas, no entanto, observa-se que ao considerar as perdas de carga nas singularidades, independentemente do método ou equação utilizada, o conjunto de canalizações ficou subdimensionado e foi necessário executar um segundo dimensionamento.

De acordo com a TAB. 14 ao comparar o Método Direto com o Método dos comprimentos equivalentes para cálculo da perda de carga localizada, vê-se uma grande diferença em relação aos diâmetros de cada trecho, principalmente, nas tubulações relativas ao banheiro.

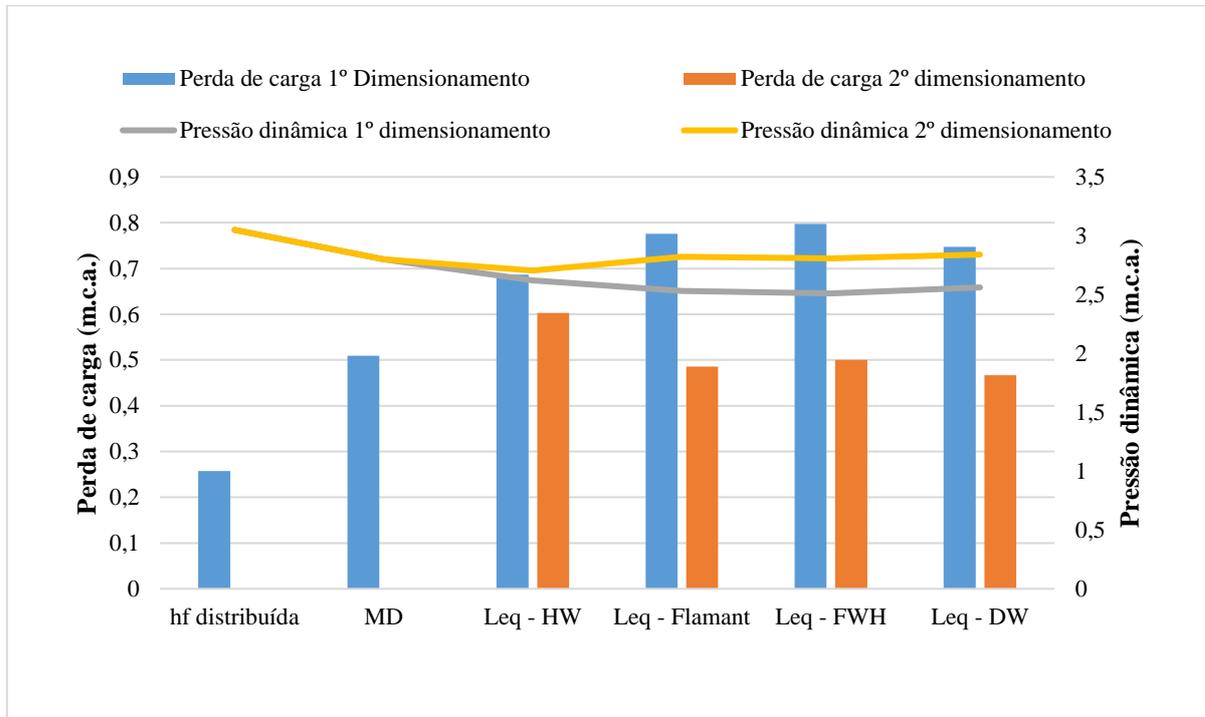
Considerando o cálculo da perda de carga localizada apenas pelo Método dos comprimentos equivalentes, percebe-se que as Equações de Flamant, Fair-Whipple-Hsaio e de Darcy-Weisbach levaram aos mesmos diâmetros de tubulação, no entanto, esse fato não culminou em perdas de carga e pressões dinâmicas iguais nos pontos de tomada de água.

## **5.2 Determinação das perdas de carga e pressão dinâmica nos aparelhos**

A pressão dinâmica estimada para todas as peças de utilização que compõe o projeto é superior à mínima recomendada pela NBR 5626 (ABNT,1998) ao desconsiderar as perdas de cargas localizadas, como será representado nos gráficos de cada um desses dispositivos.

Os resultados obtidos de perda de carga até o lavatório, ao se utilizar diferentes cenários para predição da mesma, bem como das pressões dinâmicas estimadas neste aparelho são mostrados no GRAF. 1.

Gráfico 1 - Pressões dinâmicas e perdas de carga obtidas por diferentes métodos até o lavatório



Fonte: a autora (2017).

A partir da análise dos valores obtidos pelos diferentes métodos e equações para o cálculo da perda de carga localizada, tem-se que o método direto foi o único que não indicou a necessidade de um segundo dimensionamento, sendo que a pressão dinâmica no lavatório a partir do mesmo foi estimada em 2,8 m.c.a.

Na determinação da perda de carga no segundo dimensionamento, pelo método dos comprimentos equivalentes foram obtidas perdas de carga até o lavatório de 0,6, 0,5, 0,49 e 0,47 m.c.a. ao se utilizar as equações de Hazen-Williams, Fair-Whipple-Hsaio, Flamant e de Darcy-Weisbach, respectivamente.

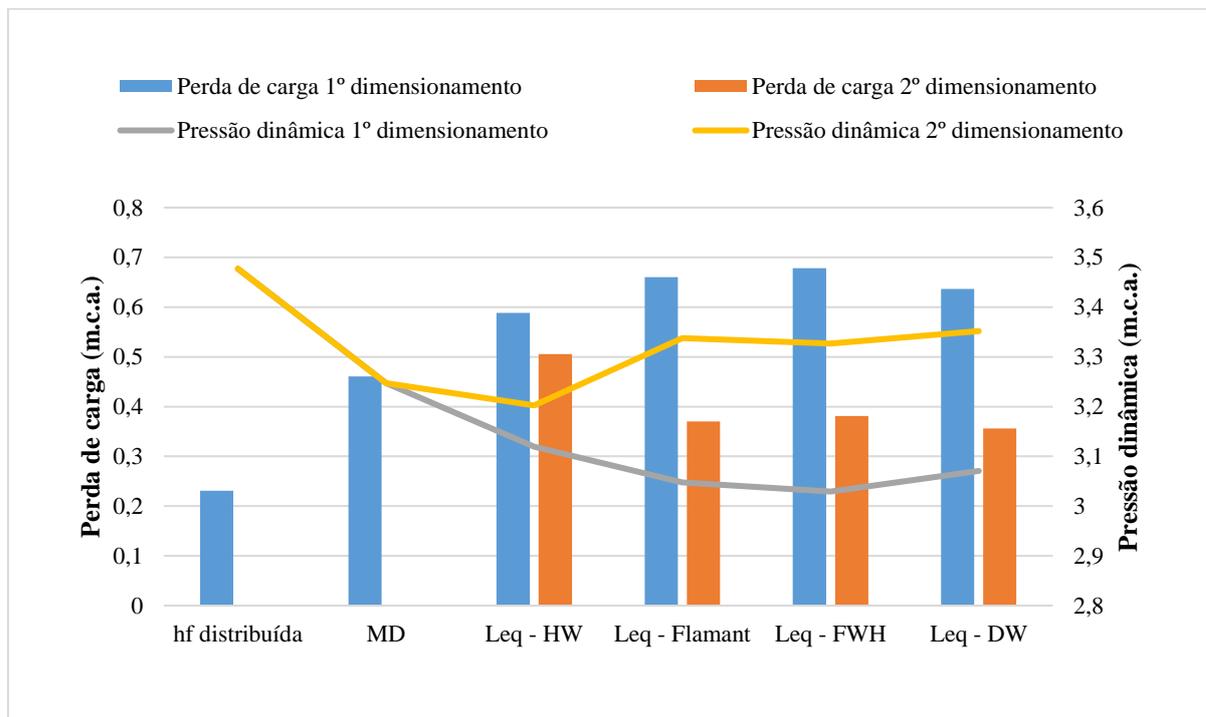
Tem-se que o valores de pressão dinâmica no aparelho são menores quando a perda de carga é maior. Deste modo, quando a mesma foi estimada pela equação de Hazen-Williams obteve-se a menor pressão dinâmica (2,7 m.c.a.). Em contrapartida ao contabilizar apenas a perda de carga distribuída empregando a equação de Darcy-Weisbach verificou-se a maior pressão dinâmica no aparelho, de 3,05 m.c.a.

Além disso, observa-se que a pressão dinâmica, nos cenários em que a perda de carga localizada foi contabilizada, apresentou pequenas variações de uma equação para a outra. Ressalta-se que independente da equação utilizada a pressão dinâmica calculada no primeiro dimensionamento é superior à mínima recomendada de, de 0,5 m.c.a. para o lavatório. A

necessidade de um segundo dimensionamento para as tubulações do banheiro foi devido à carga de pressão dinâmica não satisfatória no chuveiro elétrico.

Os resultados obtidos de perda de carga até a bacia sanitária com caixa acoplada, ao se utilizar diferentes cenários para da mesma, bem como das pressões dinâmicas estimadas neste aparelho são mostrados no GRAF. 2.

Gráfico 2 - Pressões dinâmicas e perdas de carga obtidas por diferentes métodos até a bacia sanitária com caixa acoplada



Fonte: a autora (2017).

A pressão dinâmica prevista na bacia sanitária, obviamente, tem maior valor quando são consideradas apenas a perda de carga distribuída (3,48 m.c.a.). Em seguida tem-se as pressões dinâmicas de 3,35, 3,34, 3,33, 3,24 e 3,2 m.c.a. ao se utilizar as equações de Darcy-Weisbach, Flamant, Fair-Whipple-Hsaio, Método Direto e de Hazen-Williams para cálculo da perda de carga localizada respectivamente.

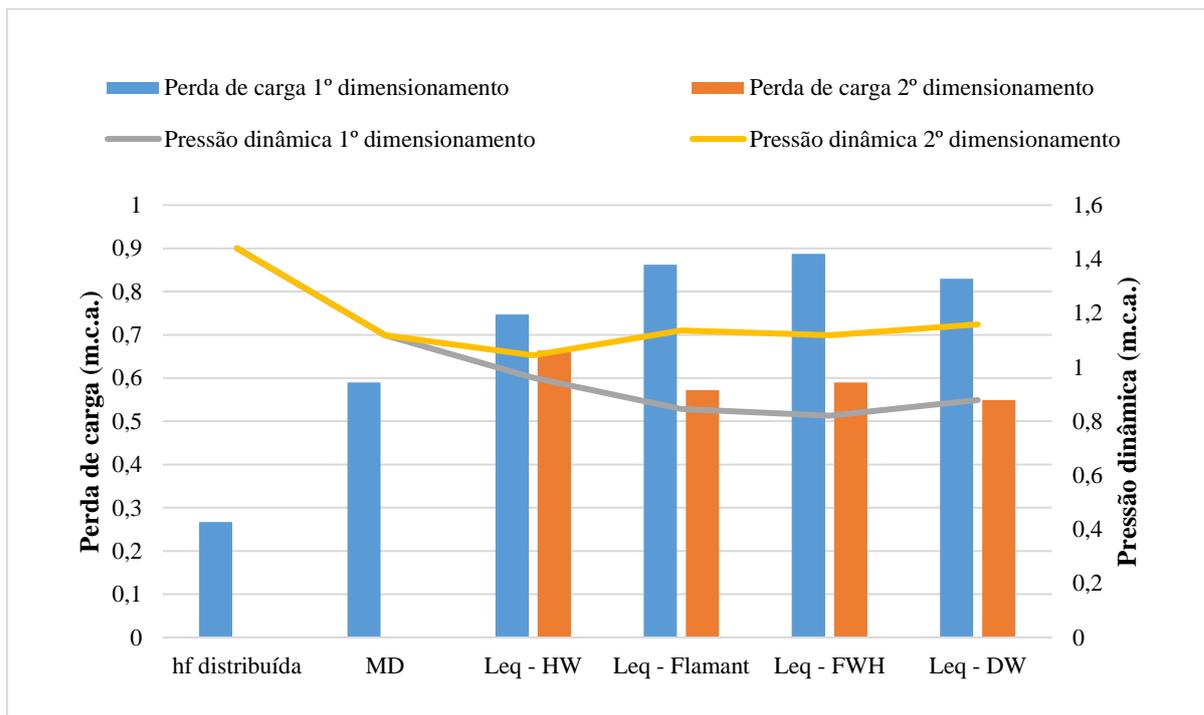
Percebe-se que os valores estimados de perda de carga localizada utilizando o método dos comprimentos equivalentes associado às equações de Darcy-Weisbach, Flamant e Fair-Whipple-Hsaio são praticamente iguais.

Ao contabilizar as perdas de cargas nas singularidades, o Método Direto foi o único que não exigiu um segundo dimensionamento, no entanto, a necessidade de um segundo

dimensionamento para as demais equações é devido ao chuveiro elétrico que é alimentado pela mesma coluna que a bacia sanitária.

Os resultados obtidos de perda de carga até o chuveiro elétrico, ao se utilizar diferentes cenários para predição da mesma, bem como das pressões dinâmicas estimadas neste aparelho são mostrados no GRAF. 3.

Gráfico 3 - Pressões dinâmicas e perdas de carga obtidas por diferentes métodos até o chuveiro elétrico



Fonte: a autora (2017).

A pressão dinâmica obtida ao se calcular a perda de carga pelo método dos comprimentos equivalentes, para todas as equações utilizadas, foi inferior à mínima recomendada, de 1 m.c.a. para o chuveiro, sendo que ao se utilizar a equação de Fair-Whipple-Hsaio obteve-se o menor valor de carga de pressão dinâmica no aparelho (0,82 m.c.a.). Desta forma, foi realizado um segundo dimensionamento, aumentando o diâmetro nominal da tubulação previamente adotado, a partir do barrilete.

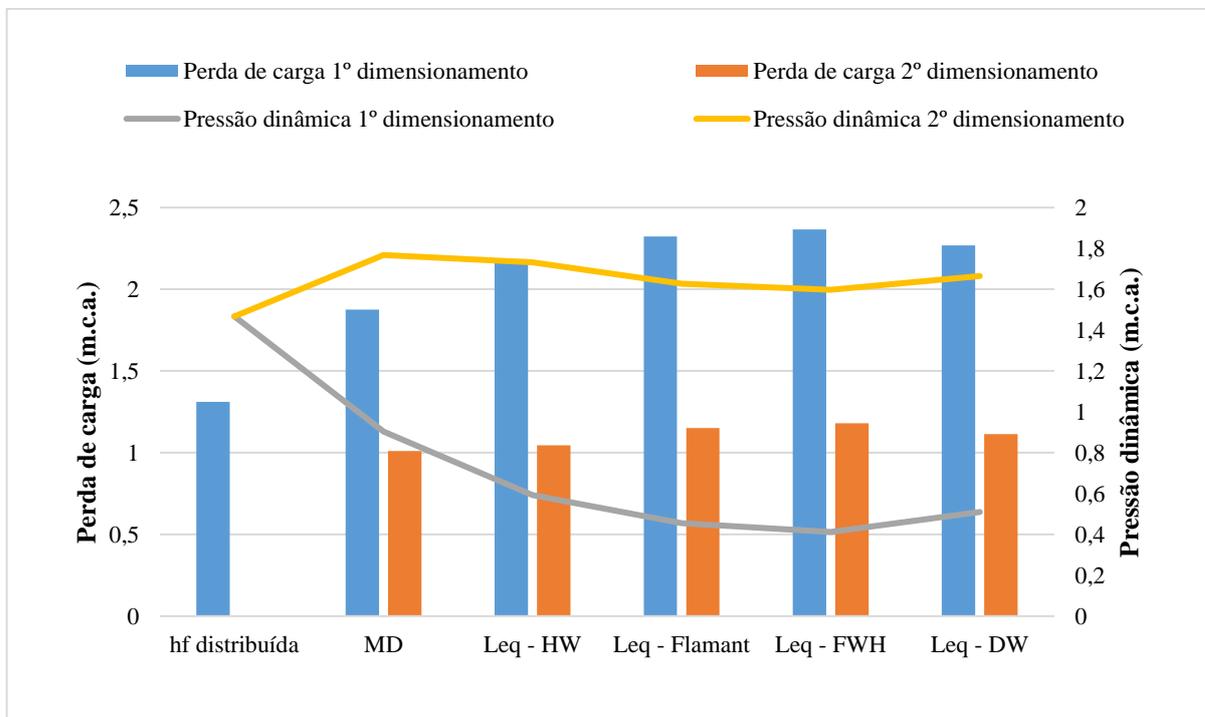
Constatou-se que, após feito um novo dimensionamento, os resultados foram satisfatórios, chegando às pressões de 1,04, 1,12, 1,14 e 1,16 m.c.a. para as equações de Hazen-Williams, Fair-Whipple-Hsaio, Flamant e de Darcy-Weisbach, respectivamente. Ao aumentar o diâmetro do trecho relativo ao chuveiro elétrico, a perda de carga localizada

calculada a partir do método dos comprimentos equivalentes em associação à equação de Hazen-Williams sofreu uma variação relativamente inferior se comparada às outras fórmulas.

Além disso, tem-se que ao considerar apenas as perdas de carga distribuídas e ao utilizar o Método Direto não houve a necessidade de um segundo dimensionamento, sendo que a pressão dinâmica pelos mesmos foi estimada em 1,44 e 1,12 m.c.a., respectivamente.

Os resultados obtidos de perda de carga até a pia, ao se utilizar diferentes cenários para predição da mesma, bem como das pressões dinâmicas estimadas neste aparelho são mostrados no GRAF. 4.

Gráfico 4 - Pressões dinâmicas e perdas de carga obtidas por diferentes métodos até a pia



Fonte: a autora (2017).

A pressão dinâmica estimada ao se considerar as perdas de carga localizadas obtidas pelo método dos comprimentos equivalentes utilizando-se as equações de Fair-Whipple-Hsaio e de Flamant foi inferior à mínima recomendada (0,5 m.c.a.), sendo que pela fórmula de Fair-Whipple-Hsaio obteve-se o menor valor (0,41 m.c.a.).

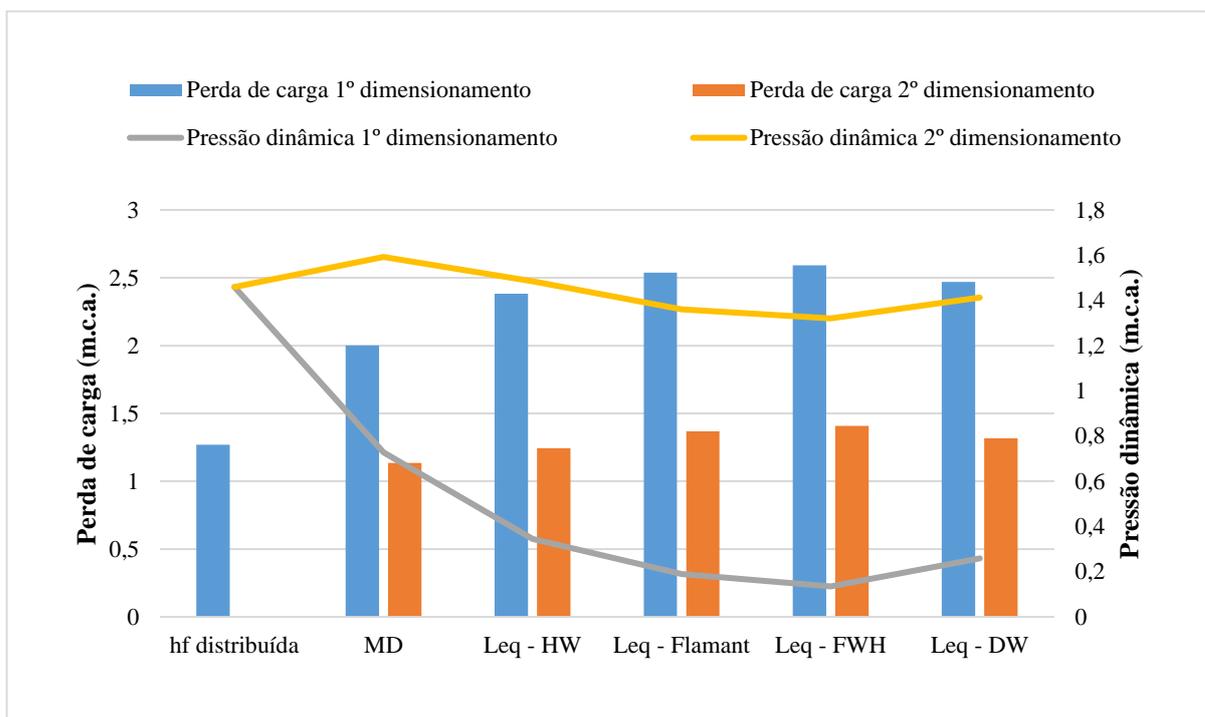
Desta forma, foi realizado um segundo dimensionamento, aumentando o diâmetro nominal da tubulação previamente adotado, resultando nas pressões de 1,63 e 1,60 m.c.a. ao se utilizar as equações de Flamant e Fair-Whipple-Hsaio, respectivamente.

Além disso, foram obtidos os valores de pressão dinâmica iguais a 1,66, 1,73 e 1,77, quando utilizadas as equações de Darcy-Weisbach, de Hazen-Williams, ambos considerando o métodos dos comprimentos equivalentes, e para o Método Direto, respectivamente.

Ressalta-se que para as fórmulas supracitadas a pressão dinâmica calculada no primeiro dimensionamento é superior à mínima prevista. A necessidade de um segundo dimensionamento para esse trecho é devido às outras peças abastecidas pela coluna que alimenta a pia.

Os resultados obtidos de perda de carga até o primeiro tanque, ao se utilizar diferentes cenários para predição da mesma, bem como das pressões dinâmicas estimadas neste aparelho são mostrados no GRAF. 5.

Gráfico 5 - Pressões dinâmicas e perdas de carga obtidas por diferentes métodos até o primeiro tanque



Fonte: a autora (2017).

Para os valores obtidos pelos diferentes métodos e equações no cálculo da perda de carga localizada, tem-se que o Método Direto foi o único que proporcionou, ao final, pressão dinâmica acima do recomendado no primeiro dimensionamento para o primeiro tanque.

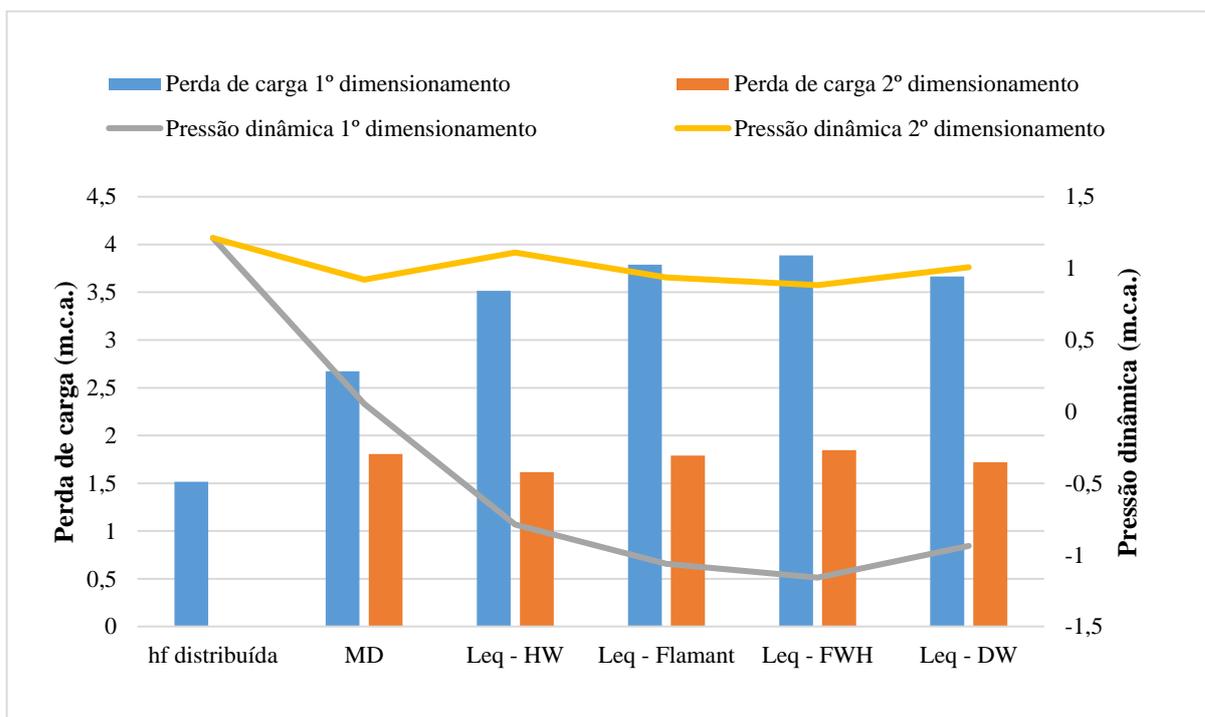
Já no método dos comprimentos equivalentes, para todas as equações associadas a este, o valor da pressão dinâmica no primeiro tanque foi inferior à mínima recomendada, de 0,5 m.c.a., sendo que pela fórmula de Fair-Whipple-Hsaio obteve-se o menor valor (0,14

m.c.a.), seguida da equação de Flamant (0,19 m.c.a.). Desta forma, foi realizado um segundo dimensionamento, aumentando o diâmetro nominal da tubulação previamente adotado.

Após o novo dimensionamento para o primeiro tanque, os resultados foram adequados, chegando a pressão de 1,32, 1,36, 1,41 e 1,48 m.c.a. quando utilizadas as equações de Fair-Whipple-Hsaio, Flamant, Darcy-Weisbach e de Hazen-Williams para o cálculo da perda de carga localizada pelo método dos comprimentos equivalentes, respectivamente.

Os resultados obtidos de perda de carga até o segundo tanque, ao se utilizar diferentes cenários para predição da mesma, bem como das pressões dinâmicas estimadas neste aparelho são mostrados no GRAF. 6.

Gráfico 6 - Pressões dinâmicas e perdas de carga obtidas por diferentes métodos até o segundo tanque



Fonte: a autora (2017).

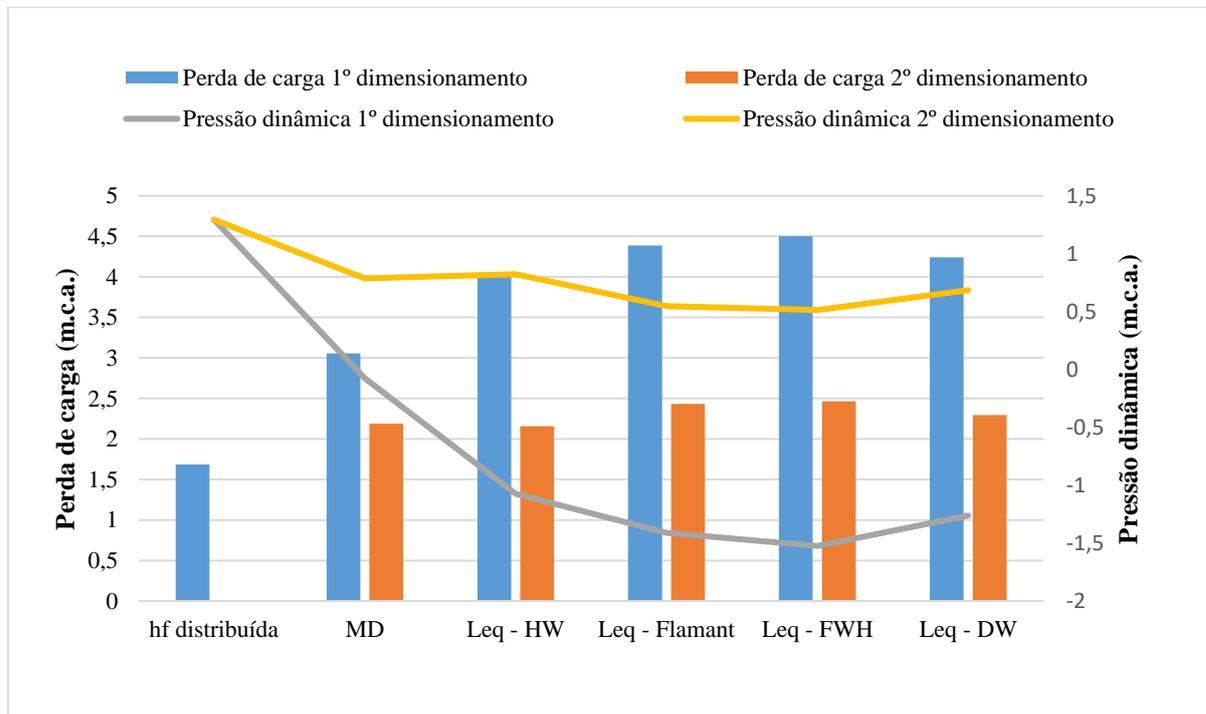
A pressão dinâmica no cenário em que a perda de carga total é constituída da perda de carga distribuída somada à perda de carga localizada foi inferior à mínima recomendada (0,5 m.c.a.). Ao utilizar as equações de Hazen-Williams, Flamant, Fair-Whipple-Hsaio e de Darcy-Weisbach para cálculo da perda de carga localizada pelo método dos comprimentos equivalentes, a perda de carga foi maior que a carga estática disponível nesse aparelho, o que,

em termos aritméticos, geraria uma pressão dinâmica negativa, sendo que a fórmula de Fair-Whipple-Hsaio apresentou o menor valor de pressão dinâmica (-1,16 m.c.a.).

Desta forma, foi realizado um segundo dimensionamento, em que os resultados foram satisfatórios, chegando a pressão de 0,88, 0,92, 0,94, 1,00 e 1,11 m.c.a. para as equações de Fair-Whipple-Hsaio, Método Direto, Flamant, Darcy-Weisbach e de Hazen-Williams, respectivamente.

Os resultados obtidos de perda de carga até a máquina de lavar roupas, ao se utilizar diferentes cenários para predição da mesma, bem como das pressões dinâmicas estimadas neste aparelho são mostrados no GRAF. 7.

Gráfico 7 - Pressões dinâmicas e perdas de carga obtidas por diferentes métodos até a máquina de lavar roupas



Fonte: a autora (2017).

Foram obtidos maiores valores de carga de pressão dinâmica na máquina de lavar roupas quando foram consideradas apenas a perda de carga distribuída (1,29 m.c.a.). Em seguida tem-se as pressões dinâmicas de 0,51, 0,55, 0,68, 0,79 e 0,82 m.c.a. para as equações de Fair-Whipple-Hsaio, Flamant, Darcy-Weisbach, Método Direto e fórmula de Hazen-Williams, respectivamente.

A perda de carga localizada provocou uma diminuição considerável na pressão dinâmica nessa peça. Sendo que, a variação entre a pressão dinâmica obtida contabilizando

apenas as perdas de carga ao longo da tubulação e o maior valor estimado pelas demais foi de 0,47 m.c.a.

Além disso, verifica-se que a perda de carga, calculada por meio de todas as equações que consideram a perda de carga localizada, foi maior que a carga estática disponível a esse aparelho, o que geraria uma pressão dinâmica negativa, sendo que a fórmula de Fair-Whipple-Hsaio apresentou o menor valor de pressão dinâmica (-1,53 m.c.a).

A equação de Darcy-Weisbach é fundamentada por uma teoria rígida e foi deduzida a partir da aplicação de análise dimensional, relacionando as diferentes grandezas que afetam o valor da perda de carga (PERES, 2015).

Gomes (1999) afirma que, dentre as equações de perda de carga, a supracitada é a que apresenta maior precisão, visto que, ela abrange variáveis como a natureza do fluido, tipo de material, características do escoamento, entre outras. Portanto, os resultados obtidos pela fórmula de Darcy-Weisbach serão utilizados como referência para comparações com as demais equações empregadas nesse trabalho.

O principal inconveniente desta equação é a complexidade na determinação do fator de atrito a partir uso de equações específicas para cada regime de escoamento, que demanda tempo para uma análise bem detalhada do tipo fluido e do conduto em questão (BERNARDO, 1989), fato este que é facilitado pelo uso de softwares de planilha eletrônica para o cálculo.

Em muitos dimensionamentos são utilizadas equações empíricas para estimar as perdas de carga nas tubulações. Entretanto nessas fórmulas assume-se um valor constante de rugosidade para todos os diâmetros e velocidades de escoamento, levando à variações quanto a fórmula de Darcy-Weisbach e à possibilidade de erros caso as mesmas forem empregadas em condições diferentes de seus campos de aplicação, tais como: velocidades muito pequenas ou muito elevadas; diâmetros muito pequenos ou muito grandes; viscosidades da água muito diferentes das usuais, devido a temperaturas muito baixas ou muito elevadas; entre outros fatores (KAMAND, 1988).

Bernardo, Soares e Mantovani (2006) afirmam que a Equação de Hazen-Williams é a mais utilizada no dimensionamento dos condutos e é recomendada para escoamento de água à temperatura ambiente, em regime turbulento e para diâmetros entre 50 mm e 2 m. Salienta-se que no projeto estudado as tubulações possuem diâmetro máximo de 32 mm, o que pode ser uma explicação para a irregularidade da perda de carga e das pressões dinâmicas manifestada em cada peça, ora expressando valores máximos, ora valores mínimos em relação aos outros métodos.

A equação de Flamant deve ser usada para diâmetros inferiores a 50 mm, sendo que quando a mesma é empregada para dimensões maiores que a recomendada, a perda de carga da instalação de água é subdimensionada (PERES, 2105), o que não foi verificado neste trabalho, já que o dimensionamento utilizando esta equação, apontou valores de perda de carga superiores ao da equação de Darcy-Weisbach para o cálculo da perda de carga localizada.

Segundo a NBR 5626 (ABNT, 1998) recomenda-se utilizar a equação de Darcy-Weisbach, desde que os valores das rugosidades dos condutos sejam conhecidos. Na falta dessa informação, pode ser utilizada a expressão de Fair-Whipple-Hsaio. No projeto verificou-se que a perda de carga determinada pela equação de Darcy-Weisbach foi menor em todas as peças se comparada à fórmula de Fair-Whipple-Hsaio, pode-se concluir que o conjunto de canalizações dimensionado segundo a equação anterior ficou superestimado.

De acordo com Peres (2015) as perdas de carga localizadas podem ser determinadas empregado o Método Direto ou o Método dos Comprimentos Equivalentes. Em ambas são considerados coeficientes experimentais para cada tipo de peça.

O autor supracitado considera que o método direto é mais empregado, visto que o coeficiente não depende da dimensão do tubo utilizado. Além disso, Azevedo Netto e Alvarez (1985 apud MELLO et al., 2001) enfatizam que esse método é mais preciso, quando comparado ao método dos comprimentos equivalentes, uma vez que estima resultados mais próximos da realidade física. Assim, tem-se que a associação do método dos comprimentos equivalentes à equação empíricas para o cálculo da perda de carga, como a de Flamant, Hazen-Williams e Fair-Whipple-Hsaio imputaria em uma soma de imprecisões na estimativa da perda de carga em tubulações.

Vilaça (2012) afirma que muitos projetistas de instalações hidráulicas preferem considerar as perdas de carga localizadas como uma porcentagem fixa da perda de carga total, ao invés de calculá-la pelos métodos apresentados. Gomes (1999) considera as perdas de carga localizadas como uma porcentagem de 10 a 20% da perda de carga total.

As porcentagens de perda de carga localizada em relação à perda de carga total no primeiro dimensionamento das tubulações de água fria que atendem ao banheiro, ao utilizar diferentes métodos para predição da perda de carga localizada são mostradas na TAB. 15.

Tabela 15 – Porcentagem de perda de carga localizada em relação à perda de carga total no primeiro dimensionamento para as tubulações referentes ao banheiro

Método empregado	Porcentagem de perda de carga localizada (%)
MD	51,55
Leq - HW	62,62
Leq –Flamant	67,11
Leq – FWH	68,03
Leq - DW	65,87

Fonte: a autora (2017).

Já a TAB. 16 apresenta as porcentagens de perda de carga localizada em relação à perda de carga total no segundo dimensionamento para o mesmo cenário mostrado na TAB. 15.

Tabela 16 – Porcentagem de perda de carga localizada em relação à perda de carga total no segundo dimensionamento para as tubulações referentes ao banheiro

Método empregado	Porcentagem de perda de carga localizada (%)
Leq - HW	57,36
Leq –Flamant	47,06
Leq – FWH	48,62
Leq - DW	44,93

Fonte: a autora (2017).

Constata-se que com o aumento do diâmetro da tubulação, a porcentagem de perda de carga localizada em relação à total no segundo dimensionamento, quando utilizado o método dos comprimentos equivalentes, foi inferior ao primeiro dimensionamento. Há de se salientar que para o segundo dimensionamento, a magnitude da perda de carga total é reduzida em relação ao primeiro dimensionamento, justamente graças ao aumento do diâmetro da tubulação.

Já as porcentagens de perda de carga localizada em relação à perda de carga total no primeiro dimensionamento das tubulações de água fria que atendem à cozinha e área e serviço ao utilizar diferentes métodos para predição da perda de carga localizada são mostradas na TAB. 17.

Tabela 17 - Porcentagem de perda de carga localizada em relação à perda de carga total no primeiro dimensionamento para as tubulações referentes à cozinha e à área de serviço

Método empregado	Porcentagem de perda de carga localizada (%)
MD	39,81
Leq - HW	43,56
Leq –Flamant	55,68
Leq – FWH	56,70
Leq - DW	54,29

Fonte: a autora (2017).

As porcentagens de perda de carga localizada em relação à perda de carga total no segundo dimensionamento para as tubulações da área de serviço e cozinha, são apresentadas na TAB. 18.

Tabela 18 - Porcentagem de perda de carga localizada em relação à perda de carga total no segundo dimensionamento para as tubulações referentes à cozinha e à área de serviço

Método	Porcentagem
MD	5,93
Leq - HW	4,65
Leq –Flamant	14,24
Leq – FWH	16,20
Leq - DW	10,29

Fonte: a autora (2017).

A porcentagem de perda de carga localizada em relação à perda de carga total do segundo dimensionamento, na tubulação da cozinha e área de serviço, foi inferior à encontrada para o primeiro dimensionamento, em que a tubulação possuía trechos de diâmetro menor. Percebe-se então, que, com a diminuição da velocidade de escoamento da água na tubulação, a perda de carga localizada se torna menos relevante na determinação da perda de carga total.

Caso fosse adotada a porcentagem sugerida por Gomes (1999), a instalação hidráulica predial estaria subdimensionada e provavelmente alguns aparelhos não iriam receber em sua entrada de água pressão dinâmica suficiente, o que levaria ao mal funcionamento ou à inutilização do mesmo. Assim, é comprovada a importância de estimar-se as perdas de carga localizadas em uma instalação predial de água fria, que apresenta muitas conexões e peças especiais em um comprimento linear relativamente pequeno.

## 6 CONCLUSÃO

Para cada trecho da instalação predial de água fria foram determinados os seus respectivos diâmetros e vazões, como recomendado pela NBR 5626 (ABNT, 1998). *A priori*, a perda de carga tanto ao longo das tubulações, quanto nas conexões não foram contabilizadas, sendo que para todas as tubulações que alimentam o banheiro o diâmetro determinado foi de 20 mm. Já na instalação referente à cozinha e à área de serviço obteve-se, na maioria dos trechos, diâmetro de 20 mm, porém foi necessário adotar diâmetro de 25 mm no barrilete, na coluna e no ramal responsável pelos tanques e pela máquina de lavar.

Com a estimativa da perda de carga distribuída por meio da Equação de Darcy-Weisbach, o pré-dimensionamento realizado não foi afetado, já que a pressão em cada aparelho consumidor de água foi superior a exigida e os diâmetros não precisaram ser alterados.

Ao estimar a perda de carga localizada pelo método dos comprimentos equivalentes foram encontrados valores superiores se comparado ao Método Direto, sendo que a equação de Fair-Whipple-Hsiao para o cálculo da perda de carga localizada pelo método dos comprimentos equivalentes apresentou os mais elevados valores de porcentagem de perda de carga localizada em relação à perda de carga total.

Ao analisar os resultados obtidos ao empregar o Método dos Comprimentos Equivalentes para o cálculo da perda de carga localizada em comparação ao Método Direto, os valores de pressão dinâmica nos pontos de utilização apontam relevantes discrepâncias, que conduziram ao superdimensionamento das tubulações, o que eleva o custo da instalação. Sendo assim, não se recomenda a utilização desse método.

Salienta-se que a estimativa da perda de carga localizada não deve ser negligenciada, independentemente do método empregado, já que com sua contabilização houve a necessidade um segundo dimensionamento do diâmetro das tubulações, a fim de se obter pressões satisfatórias nos pontos de utilização de água.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5626**: instalação predial de água fria. Rio de Janeiro, 1998.
- AZEVEDO NETTO, J. M. et al. **Manual de hidráulica**. 8 ed. São Paulo: Blücher. 1998. 680 p.
- AZEVEDO NETTO, J. M.; FERNÁNDEZ, M. F. **Manual de Hidráulica**. 9.ed. São Paulo: Blücher, 2015. 632p.
- BAPTISTA, M. B. et al. **Hidráulica aplicada**. 2 ed. Porto Alegre: ABRH, 2014. 628 p.
- BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. 5. ed. Viçosa: UFV, 1989. 596 p.
- BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8 ed. Viçosa: UFV, 2006. 625 p.
- BISTAFA, S. R. **Mecânica dos fluidos**: noções e aplicações. 1 ed. São Paulo: Blücher, 2010. 296 p.
- BOTELHO, M. H.C.; RIBEIRO JR., G. A. **Instalações hidráulicas prediais**: usando tubos de PVC e PPR. 3 ed. São Paulo: Blücher, 2010. 364 p.
- BRAGA FILHO, W. **Fenômenos de transporte para engenharia**. 2 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2014. 342 p.
- BRUNETTI, F. **Mecânica dos fluidos**. 2 ed. São Paulo: Pearson, 2008. 448 p.
- CARVALHO, D. F. **Instalações elevatórias**: bombas. 6 ed. Belo Horizonte: IPUC, 1999. 355 p.
- CARVALHO, J. A.; OLIVEIRA, L. F. C. **Instalações de bombeamento para irrigação**: hidráulica e consumo de energia. 2 ed. Lavras: UFLA, 2014. 429 p.
- CARVALHO JÚNIOR, R. **Instalações prediais hidráulico-sanitárias**: princípios básicos para elaboração de projetos. São Paulo: Blücher, 2014. 257 p.
- CENGEL, Y. A.; CIMBALA, J. M. **Mecânica dos fluidos**: Fundamentos e aplicações. 1 ed. São Paulo: McGraw-Hill, 2007. 821 p.
- CHAVES, R. **Manual prático de instalações hidráulicas e sanitárias**. SL: TecnoPrint, 1979. 192 p.
- CREDER, H. **Instalações hidráulicas e sanitárias**. 6 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012. 450 p.
- DENÍCULI, W. **Bombas hidráulicas**. Viçosa: Imprensa Universitária, 1993. 162 p.

FOX, R. W.; PRITCHARD, P. J.; McDONALD, A. T. **Introdução à mecânica dos fluidos**. 7 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2011. 728 p.

GARCEZ, L. N. **Elementos de engenharia hidráulica e sanitária**. 2 ed. São Paulo: Blücher, 1976. 372 p.

GILES, R. V. **Mecânica dos fluidos e hidráulica**. São Paulo: McGraw-Hill, 1974. 412 p.

GOMES, H. P. **Engenharia de irrigação: hidráulica dos sistemas pressurizados, aspersão e gotejamento**. 3 ed. Campina Grande: UFPB, 1999. 412 p.

GOMES, A. W. A. **Perda localizada de carga em gotejadores integrados em tubos de polietileno**. 2009. 61 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola superior de agricultura Luiz de Queiroz da Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

GOMES, H. P. **Sistemas de abastecimento de água: dimensionamento econômico e operação de redes elevatórias**. 3 ed. João Pessoa: UFPB, 2009. 277 p.

HALLIDAY, D. **Fundamentos de física: gravitação, ondas e termodinâmica**. 8 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009. v. 2.

HENN, E. A. L. **Máquinas de fluido**. 2 ed. Santa Maria: UFSM, 2006. 472p.

ILHA, M. S. O. GONÇALVES, O. M. **Sistemas prediais de água fria**. São Paulo: EPUSP, 1994. 113 p.

KAMAND, F. Z. Hydraulic friction factors for pipe flow. **Journal of irrigation and Drainage Engineering**. New York, v. 114, n.2, p. 311-323, 1988.

LEAL, A. B. **Estudo do escoamento de fluidos não-newtonianos em dutos**. 2005. 137 p. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Química) – Instituto de Tecnologia da Universidade Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2005.

LIVI, C. P. **Fundamento de fenômenos de transporte: um texto para cursos básicos**. Rio de Janeiro: LTC, 2004. 206 p.

MACINTYRE, A. J. **Bombas e instalações de bombeamento**. 2 ed. Rio de Janeiro: LTC, 1997. 782 p.

\_\_\_\_\_. **Instalações Hidráulicas: prediais e industriais**. 4 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2010. 596 p.

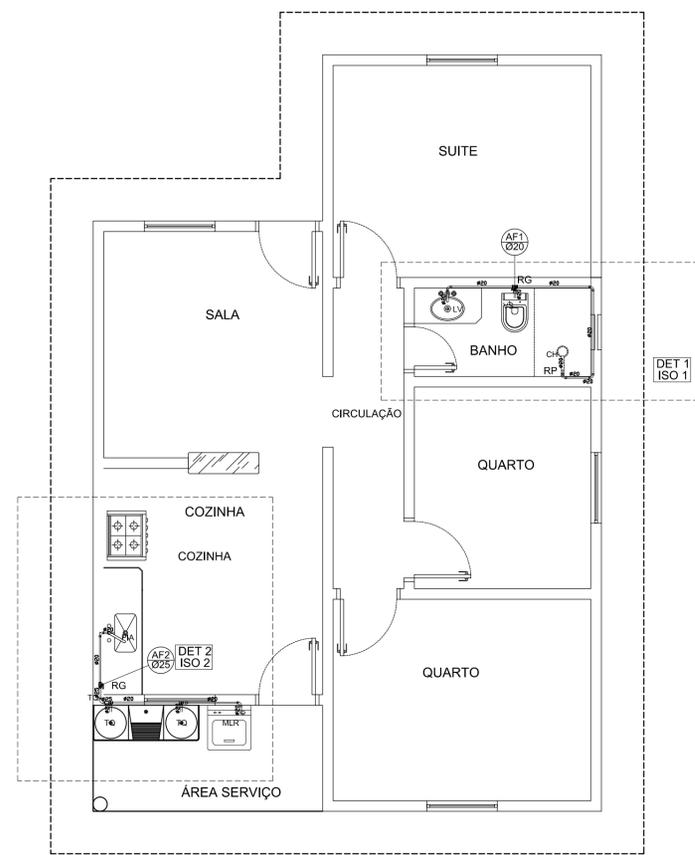
\_\_\_\_\_. **Manual de instalações hidráulicas e sanitárias**. 1 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008. 324 p.

MELO, V. O.; AZEVEDO NETTO, J. M. **Instalações prediais hidráulico-sanitárias**. São Paulo: Blücher, 1998. 200 p.

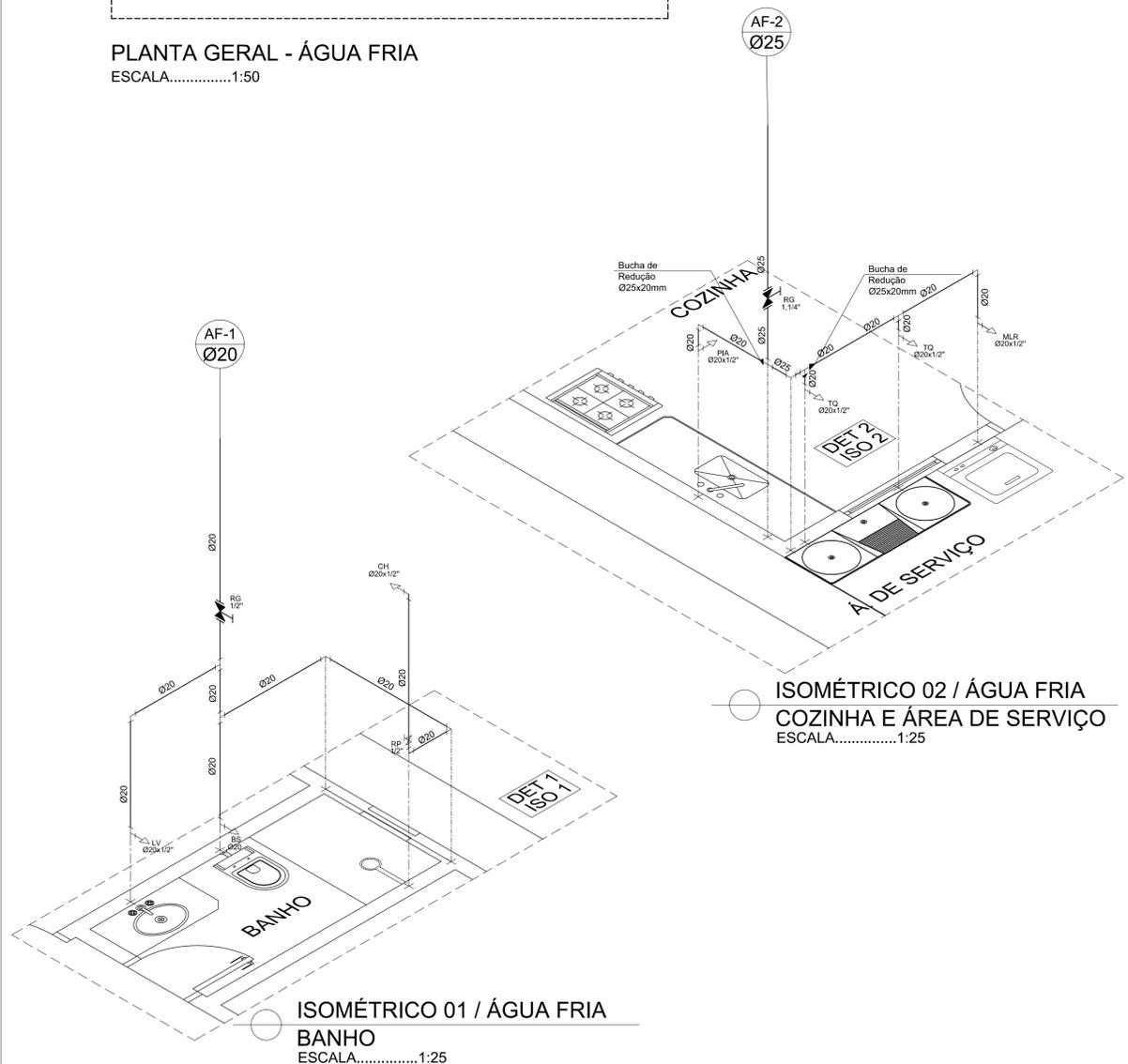
MELLO, C. R.; FERREIRA, D. F.; CARVALHO, J. A. Equações explícitas para o fator de atrito da equação de Darcy-Weisbach. **Ciência e Agrotecnologia**. Lavras, v. 23, n. 2, p. 365-371, abr./jun. 1999.

- MELLO, C. R.; CARVALHO, J. A.; FERREIRA, D. F.; YANAGI JUNIOR, T. Equações para estimativa do Comprimento equivalente das principais conexões de tubulações de sucção em instalação de bombeamento. **Engenharia Agrícola**. Jaboticabal, v. 21, n. 2, p. 127-134, mai. 2001.
- MORAN, M. J. et al. **Introdução à engenharia de sistemas térmicos: termodinâmica, mecânica dos fluidos e transferência de calor**. 1 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2005. 620 p.
- NEVES, E. T. **Curso de Hidráulica**; 2 ed. Porto Alegre: Globo, 1968. 577 p.
- NUSSENZVEIG, M. H. **Curso de física básica**. 3 ed. São Paulo: Blücher, 1981. v. 2.
- PERES, J. G. **Hidráulica Agrícola**. São Carlos: UFSCar, 2015. 430 p.
- PORTO, R. M. **Hidráulica básica**. 4 ed. São Carlos: EESC-USP, 2006. 540 p.
- POTTER, M. C. et al. **Mecânica dos Fluidos**. São Paulo: Thomson Learning, 2004. 688 p.
- SILVA, P. A. **Amortecimento da celeridade de onda em condutos forçados**. 2006. 116 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.
- SOARES, A. K. **Calibração de vazamentos em modelos de sistemas hidráulicos no escoamento transitório**. 2007. 332 p. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.
- STREETER, V. L.; WYLIE, E. B. **Mecânica dos fluidos**. 7 ed. São Paulo: McGraw-Hill, 1982. 584 p.
- VERTCHENKO, L.; DICKMAN, A. G.; FERREIRA, J. R. F. Transferência de fluido por meio de um sifão vs. aplicação da equação de Bernoulli. **Revista brasileira de Ensino de Física**. São Paulo, v. 31, n. 3 p. 1-7, jul./set. 2009.
- VILAÇA, F. N. **Perda de carga em conectores iniciais da irrigação localizada**. 2012. 65 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz da Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012.
- YOUNG, H. D.; FREEDMAN, R. A. **Física II: Termodinâmica e ondas**. 10 ed. São Paulo: Addison Wesley, 2003. v. 2.
- YOUNG, D. F.; MUNSON, B. R.; OKIISHI, T. H. **Uma introdução concisa à mecânica dos fluidos**. São Paulo: Blücher, 2005. 384 p.
- WHITE, F.M. **Mecânica dos fluidos**. 4 ed. Rio de Janeiro: McGraw-Hill, 2002. 570 p.

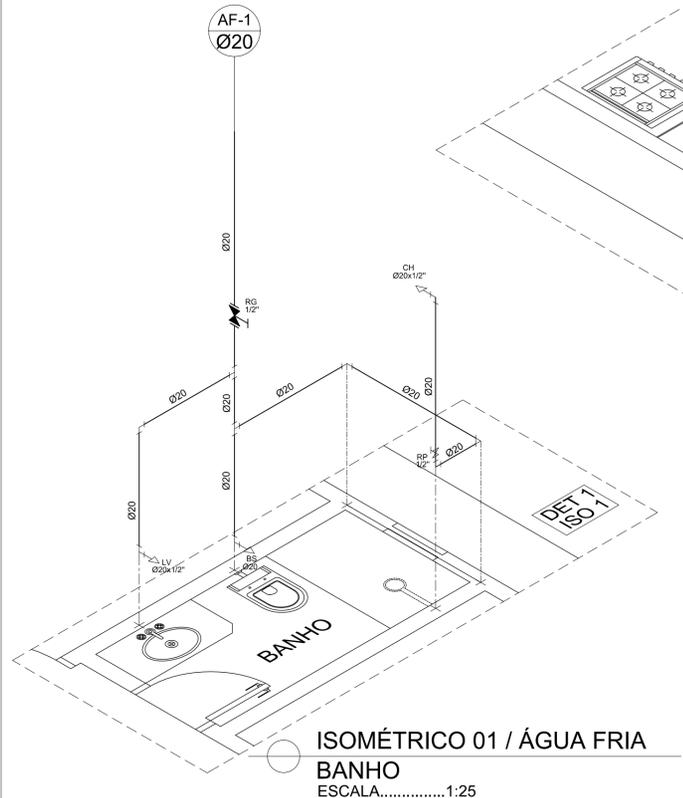
## **APÊNDICE A – Projeto hidráulico predial de água fria**



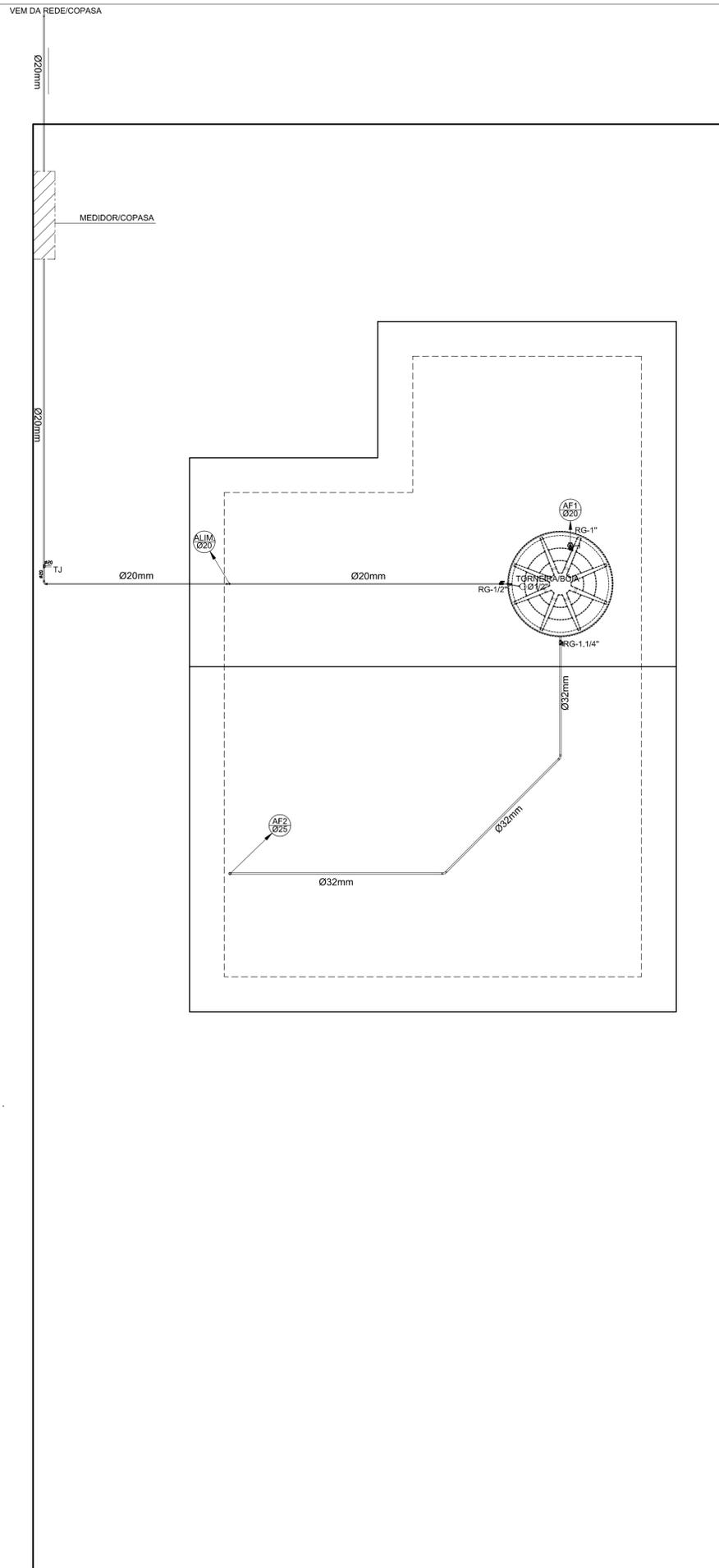
**PLANTA GERAL - ÁGUA FRIA**  
 ESCALA.....1:50



**ISOMÉTRICO 02 / ÁGUA FRIA**  
**COZINHA E ÁREA DE SERVIÇO**  
 ESCALA.....1:25



**ISOMÉTRICO 01 / ÁGUA FRIA**  
**BANHO**  
 ESCALA.....1:25



**SITUAÇÃO - ÁGUA FRIA**  
 ESCALA.....1:50

CENTRO UNIVERSITÁRIO DE FORMIGA UNIFOR-MG		ÁREA	Área construída - - - - - 69,40 m²
Engenharia Civil	10º período		Área do terreno - - - - - 300,00 m²
ALUNA:  Bruna Ribeiro Lacerda		<b>Trabalho de Conclusão de Curso</b>  Michael Silveira Thebaldi	
PROJETO:	Hidrossanitário / Água Fria	USO	RESIDÊNCIAL
DETALHE:		OUTROS	
Data	Escalas	Folha	Desenho:
XX/XX/2017	Indicadas		
		Cotas em metros	ARQUIVO: