

**UNIEVANGÉLICA**

**CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**DANIEL WALDIR RODRIGUES ROSA**

**PROGRAMA DIDÁTICO PARA CÁLCULO E  
DIMENSIONAMENTO DE PROJETOS DE ÁGUA FRIA EM  
EDIFÍCIOS RESIDENCIAIS**

**ANÁPOLIS / GO**

**2015**

**DANIEL WALDIR RODRIGUES ROSA**

**PROGRAMA DIDÁTICO PARA CÁLCULO E  
DIMENSIONAMENTO DE PROJETOS DE ÁGUA FRIA  
EM EDIFÍCIOS RESIDENCIAIS**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO CURSO DE  
ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA COMO PARTE DOS  
REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE  
BACHAREL**

**APROVADO POR:**

---

**AGNALDO ANTONIO MOREIRA TEODORO DA SILVA, Especialista  
(ORIENTADOR)**

---

**LEANDRO DANIEL PORFIRO, Mestre  
(EXAMINADOR 1)**

---

**JOÃO SILVEIRA BELÉM JÚNIOR, Mestre  
(EXAMINADOR 2)**

**ANÁPOLIS/GO, NOVEMBRO DE 2015.**

**DANIEL WALDIR RODRIGUES ROSA**

**PROGRAMA DIDÁTICO PARA CÁLCULO E  
DIMENSIONAMENTO DE PROJETOS DE ÁGUA FRIA EM  
EDIFÍCIOS RESIDENCIAIS**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA**

**ORIENTADOR: AGNALDO ANTONIO MOREIRA TEODORO  
DA SILVA**

**ANÁPOLIS / GO: 2015**

## FICHA CATALOGRÁFICA

ROSA, DANIEL WALDIR RODRIGUES.

Programa didático para cálculo e dimensionamento de projetos de água fria em edifícios residenciais.

62P, 297 mm (ENC/UNI, Bacharel, Engenharia Civil, 2015).

TCC - UniEvangélica

Curso de Engenharia Civil.

1. Instalações Hidráulicas	2. Cálculo
3. Diâmetro	4. Pressão
I. ENC/UNI	II. Título (Série)

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ROSA, DANIEL WALDIR RODRIGUES. Programa didático para cálculo e dimensionamento de projetos de água fria em edifícios residenciais. TCC, Curso de Engenharia Civil, UniEvangélica, Anápolis, GO, 61p. 2015.

## CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Daniel Waldir Rodrigues Rosa

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO: Programa para cálculo e dimensionamento de projetos de água fria em edifícios residenciais.

GRAU: Bacharel em Engenharia Civil ANO: 2015

É concedida à UniEvangélica a permissão para reproduzir cópias deste TCC e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste TCC pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

---

Daniel Waldir Rodrigues Rosa  
E-mail: danielwrr@gmail.com

## **AGRADECIMENTO**

**Agradeço a Deus, pela sabedoria e disposição ao estudo;  
A minha família pelo apoio e auxílio nos momentos difíceis;  
Ao meu orientador pela competência e dedicação;  
A todos os colegas e amigos que, de uma forma ou de outra,  
me inspiraram e me auxiliaram na execução deste trabalho.**

*A água que não corre forma um pântano;  
a mente que não trabalha forma um tolo.*

*Victor Hugo*

## RESUMO

Com o objetivo de criar um programa didático para auxiliar na concepção, interpretação e compatibilização de projetos de água fria em edifícios residenciais, este trabalho buscou comparar métodos de determinação de tubulações. Foram confrontados resultados teóricos com resultados relacionados ao projeto, para melhor escolha dos materiais e parâmetros para dimensionamento de tubulação hidráulica. Construiu-se um referencial teórico para se conhecer todas as fases das instalações hidráulicas prediais, para se partir para um estudo de caso em um edifício de cinco andares, onde se buscou testar os métodos de dimensionamento para determinação do mais seguro e econômico, para utilização em projetos hidráulicos. Compreendeu-se que não há um método que seja vantajoso em todos os parâmetros. Porém foi possível analisar as melhores ocasiões para a utilização de cada método.

**Palavras-chave:** Projetos Hidráulicos. Perda de Carga. Pressão. Dimensionamento.

## **ABSTRACT**

In order to create an educational program to assist in the design, construction and compatibility of cold water projects in residential buildings, this study sought to compare methods for determining the diameter of pipes and energy loss. Theoretical results were confronted with results related to the project, for better choice of materials and parameters for hydraulic pipe sizing. It built up a theoretical reference to meet all phases of hydraulics installations, to leave for a case study in a five-floor building, where he sought to test the design methods to determine the safest and most economical to use in hydraulic projects. It was understood that there is a method that is advantageous in all parameters. However it was possible to analyze the best times to use each method.

**Keywords:**Hydraulic projects. Energy loss. Pressure. Dimensioning.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Representação dos tipos de escoamento laminar e turbulento.....	25
Figura 2 – Tubo de Pilot.....	35
Figura 3 – Fluxograma de cálculo para módulo Reservatórios.....	38
Figura 4 – Resultados de dimensionamento do módulo Reservatórios.....	39
Figura 5 – Fluxograma de soma de pesos.....	40
Figura 6 – Resultados de dimensionamento de diâmetros.....	42
Figura 7 – Distribuição de ramais.....	43
Figura 8 – Vista frontal do sub-ramal quatro.....	45
Figura 9 – Planilha de cálculo de perda de carga.....	46
Figura 10 – Planilha de cálculo de perda de carga.....	46
Figura 11 – Gráfico de relação entre diâmetro e trecho da tubulação de água fria....	48
Figura 12 – Gráfico demonstrando variação dos diâmetros em função do peso.....	49
Figura 13 – Gráfico de relação entre diâmetro e trecho da tubulação de água fria....	50
Figura 14 – Comparação de perda de carga nos métodos de Darcy e Hsiao.....	51
Figura 15 – Comparação de perda de carga nos métodos de Darcy e Hazen.....	52
Figura 16 – Comparação de perda de carga com diâmetro de 25 mm.....	52
Figura 17 – Comparação de perda de carga com diâmetro de 32 mm.....	53
Figura 18 – Comparação de perda de carga com diâmetro de 40 mm.....	54
Figura 19 – Comparação de perda de carga com diâmetro de 50 mm.....	54
Figura 20 – Ábaco de Moody para determinação do fator de fricção.....	61
Figura 21 – Ábaco de diâmetro x peso.....	62

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Taxa de ocupação de acordo com a natureza o local.....	18
Tabela 2 – Estimativa de consumo diário de água.....	18
Tabela 3 – Diâmetro mínimo dos sub-ramais de alimentação.....	21
Tabela 4 – Correspondência de tubos com o equivalente de 15mm.....	22
Tabela 5 – Pesos relativos nos pontos de utilização.....	23
Tabela 6 – Tabela de rugosidade de materiais.....	27
Tabela 7 – Perda de carga em conexões - Comprimento equivalente para tubo liso (plástico, cobre ou liga de cobre).....	28
Tabela 8 – Perda de carga em conexões - Comprimento equivalente para tubo rugoso (tubo de aço-carbono, galvanizado ou não).....	28
Tabela 9 – Valores de do coeficiente C.....	31
Tabela 10 – Diâmetros no trajeto da tubulação.....	41
Tabela 11 – Perda de carga nos trechos do projeto.....	47
Tabela 12 – Pressão resultante no projeto.....	47
Tabela 13 – Peso para método econômico de perda de carga.....	54

## **LISTA DE QUADROS**

Quadro 1 – Determinação do tipo de sistema de proteção.....	59
Quadro 2 – Determinação do volume de reserva técnica de incêndio.....	60

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
NBR	Normas Brasileiras de Regulamentação
AGR	Agência Goiana de Regulação Controle e Fiscalização
SANEAGO	Saneamento de Goiás S.A.

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>13</b>
1.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	13
1.2	OBJETIVOS.....	14
<b>1.2.1</b>	<b>Objetivo Geral.....</b>	<b>14</b>
<b>1.2.2</b>	<b>Objetivos Específicos.....</b>	<b>14</b>
<b>2</b>	<b>INSTALAÇÕES HIDRÁULICAS PREDIAIS.....</b>	<b>15</b>
2.1	SISTEMAS DE ABASTECIMENTO.....	15
<b>2.1.1</b>	<b>Sistemas de Abastecimento Direto.....</b>	<b>15</b>
<b>2.1.2</b>	<b>Sistemas de Abastecimento Indireto.....</b>	<b>15</b>
2.1.2.1	Sistemas de Abastecimento Indireto por Gravidade.....	16
2.1.2.2	Sistemas de Abastecimento Indireto Pneumético.....	16
<b>2.1.3</b>	<b>Sistemas de Abastecimento Misto.....</b>	<b>16</b>
2.2	RESERVATÓRIOS.....	16
<b>3.2.1</b>	<b>Consumo de água fria nos prédios.....</b>	<b>17</b>
2.3	DIMENSIONAMENTO.....	20
<b>3.3.1</b>	<b>Sub-ramais.....</b>	<b>20</b>
3.3.1.1	Consumo máximo possível.....	20
3.3.1.2	Consumo máximo provável.....	22
2.4	CALCULO DE DIAMETRO.....	24
2.5	ESCOAMENTO.....	25
2.6	PERDA DE CARGA.....	26
<b>2.6.1</b>	<b>Perda de carga distribuida.....</b>	<b>26</b>
<b>2.6.2</b>	<b>Perda de carga localizada.....</b>	<b>27</b>
<b>2.6.3</b>	<b>Cálculo de perda de carga.....</b>	<b>28</b>
2.6.3.1	Fair Whipple Hsiao.....	29
2.6.3.2	Flamant.....	29
2.6.3.3	Hazen Willians.....	30
2.6.3.4	Darcy e Weisbach.....	31
2.7	BOMBEAMENTO.....	33
2.8	PRESSÕES.....	35
<b>3</b>	<b>ESTUDO DE CASO.....</b>	<b>37</b>

3.1	PRÉDIO A SER ANALISADO.....	37
3.2	PROGRAMA PARA DIMENSIONAMENTO.....	37
<b>3.2.1</b>	<b>Cálculo do reservatório.....</b>	<b>38</b>
<b>3.2.2</b>	<b>Cálculo de colunas, ramais e sub-ramais.....</b>	<b>40</b>
<b>3.2.3</b>	<b>Cálculo de pressão.....</b>	<b>44</b>
<b>4</b>	<b>ANALISE DE RESULTADOS.....</b>	<b>48</b>
4.1	DIÂMETROS.....	48
4.2	PERDA DE CARGA E PRESSÕES.....	49
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>56</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>57</b>
	<b>ANEXO A.....</b>	<b>59</b>
	<b>ANEXO B.....</b>	<b>61</b>
	<b>ANEXO C.....</b>	<b>62</b>
	<b>APENDICE 1.....</b>	<b>63</b>

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Segundo a Norma Brasileira de Regulamentação de Instalação Predial de Água Fria da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), sob o número 5626, de 1998, o Engenheiro Civil deve garantir que o sistema ofereça ao cliente água em qualidade e quantidade necessárias para seu bom uso, além da potabilidade, em caso de instalação de água potável. Segundo Carvalho Junior (2013), a maior ocorrência de patologias no sistema deve-se a erros de projeto hidráulico. Os problemas mais comuns são: falta de pressão nos equipamentos hidráulicos, golpe de aríete, sobrepessão, retrorreflexão, entre outros.

Para eliminar esses problemas, o Engenheiro Civil deve compatibilizar projetos, calcular e executar, de forma segura e econômica, as instalações hidráulicas e sanitárias, prediais e residenciais. As instalações prediais formam sistemas independentes que são utilizados simultaneamente como água fria, quente, esgotos pluviais, entre outros. Esses sistemas são projetados para estar interligados, não necessitando um do outro para funcionar de forma eficaz.

Com o grande aumento da capacidade de processamento dos computadores, a realização dos projetos tornou-se mais eficiente. Com isso surge a necessidade de criar ferramentas para aperfeiçoar os projetos, tendo em vista que a solução seja mais rápida e precisa. Porém os programas fornecidos para execução desses projetos são de preço elevado, impossibilitando o uso por estudantes de Engenharia Civil.

O presente trabalho tem o intuito de criar um programa de cálculo como ferramenta didática e gratuita, seguindo as prescrições da NBR 5626 (ABNT, 1998), para estudantes de engenharia, auxiliando na interpretação, concepção, compatibilização de projetos hidráulicos e determinação de métodos de cálculo, abordando especificamente o projeto de água fria em edifícios residenciais.

O trabalho apresenta, além da introdução e dos objetivos, um referencial teórico em que se pretendeu se conhecer todas as fases das instalações hidráulicas prediais, com o fim de estudar um caso de um edifício de cinco andares, onde se buscou testar os métodos de dimensionamento para se determinar o mais seguro e econômico, para utilização em projetos hidráulicos.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo principal deste projeto é criar um programa didático para auxiliar na concepção, interpretação e compatibilização de projetos de água fria em edifícios residenciais ao comparar métodos matemáticos para obtenção dos resultados do dimensionamento.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

- Apresentar os elementos necessários para projeto predial de água fria em projetos residenciais;
- Criar um programa para cálculo do projeto de um edifício residencial de 6 pavimentos, com módulos de cálculo para cada elemento do projeto;
- Comparar métodos de determinação do diâmetro de tubulações;
- Confrontar resultados teóricos de perdas de energia com resultados relacionados ao projeto nos condutos para melhor escolha dos materiais.



## **2 INSTALAÇÕES HIDRÁULICAS PREDIAIS**

Para se expor o que foi feito e a importância de se produzir um programa didático para dar assistência na concepção, interpretação e compatibilização de projetos de água fria em edifícios residenciais, fez um pesquisa bibliográfica para se estabelecer tal importância.

### **2.1 SISTEMAS DE ABASTECIMENTO**

O abastecimento de água vindo da concessionária regional pode ser realizado de três maneiras: diretamente, indiretamente ou misto. O projetista deve definir quando será necessária a utilização de cada sistema, de acordo com as necessidades. CarvalhoJunior (2013) classifica os sistemas da seguinte maneira.

#### **2.1.1 Sistema de Abastecimento Direto**

Quando não possui um reservatório, o sistema é chamado de sistema de abastecimento direto, já que a água recebida da rede pública é diretamente levada às peças de utilização.

Nesse sistema há um menor custo de instalação, já que não requer reservatórios nem suas conexões apropriadas, considerando também o menor carregamento estrutural. Porém, em caso de falta de abastecimento na rede pública, haverá falta de água nas peças.

O uso de sistemas de abastecimento direto é vetado pela concessionária atuante no Estado de Goiás, conforme art. 75, parágrafo único, da resolução 068 de 2009.

#### **2.1.2 Sistema de Abastecimento Indireto**

O sistema de abastecimento indireto é aquele que possui, na edificação, um reservatório de água. A maior vantagem deve-se a continuidade do abastecimento, independente de falhas ou intermitências no recebimento da água. Porém, como desvantagens, há o maior carregamento estrutural no edifício e a manutenção periódica no reservatório (BOTELHO, 2014).

### 2.1.2.1 Sistema de Abastecimento Indireto por Gravidade

Um sistema mais utilizado graças a sua facilidade de instalação, é o Sistema de Abastecimento Indireto por Gravidade. Ele é o sistema que fornece água por meio de um reservatório localizado em um nível superior às peças de utilização, deixando a água fluir para as peças por meio da gravidade.

Pode não utilizar bombeamento quando a pressão na rede pública é suficiente para alimentar o reservatório. Esse sistema pode ser utilizado no Estado de Goiás com alturas da entrada do reservatório de até sete metros a partir do nível da rua, de acordo com artigo 37 da Resolução Normativa nº09/2014, do Conselho Regulador da Agência Goiana de Regulação, Controle e Fiscalização de Serviços Públicos - AGR.

Acima desta altura, deve ser usado um sistema de bombeamento, pois a pressão não é suficiente para alimentação do reservatório.

### 2.1.2.2 Sistema de Abastecimento Indireto Hidropneumático

Para Melo (2012), quando o sistema de Abastecimento é o Indireto Hidropneumático há um tanque de pressurização inferior que contém água e ar capazes de distribuir o líquido para as peças que ficam superiores ao tanque, reduzindo a carga sobre a estrutura, porém com maior custo e dificuldade de instalação.

### 2.1.3 Sistema de Abastecimento Misto

O Sistema de abastecimento Misto é entendido, pela NBR 5626 (ABNT, 1998), como uma combinação dos dois sistemas: adota um reservatório para distribuição por meio de gravidade e também uma rede direta, vinda da entrada de água da edificação. É muito usado para peças de áreas externas no pavimento térreo.

## 2.2 RESERVATÓRIOS

O reservatório superior leva água para as peças de utilização por meio da gravidade, logo se assume que estará acima do nível das peças. Uma de suas funções é estabilizar a disponibilidade de água, pois evita a falta de água e a diferença no seu fluxo ou pressão.

Conforme Resolução N° 068/2009 da SANEAGO, reservatórios que possuem entrada de água com nível superior a sete metros do nível da rua precisam contar um reservatório inferior e outro superior. O inferior armazena a água recebida da rede para que seja bombeada ao superior e, então, poderá disponibilizar para os aparelhos que utilizarão a água.

Conforme norma vigente, no reservatório são incluídas as reservas de água para consumo diário, reservas adicionais para previsão de falta de água por um determinado período de tempo e reserva técnica de incêndio. Os reservatórios de maiores capacidades, em qualquer circunstância, necessitam de duas células preparadas para funcionar isoladamente, caso necessário. Essa medida visa a manter o consumo de água contínuo, mesmo havendo necessidade de manutenção do reservatório, manutenção que geralmente é prevista a cada seis meses de utilização.

### 2.2.1 Consumo de água nos prédios

A NBR 5626 (ABNT, 1998) requer também que a capacidade de reserva de água para uso domiciliar seja suficiente para abastecimento de, no mínimo, 24 horas de uso normal do edifício, sem considerar a reserva técnica destinada para combate a incêndio<sup>1</sup>.

Em caso de consumo diário inferior a 500 litros, esse valor deve ser o mínimo em um reservatório residencial.

Para previsão do dimensionamento do consumo diário, utilizamos os parâmetros a seguir, com tabelas sugeridas por Creder (2006):

$$C_D = C * P \quad (1)$$

- $C_D$  = consumo diário total (em litros por dia);
- $C$  = consumo diário per capita (em litros por dia);
- $P$  = número de pessoas no edifício.

A capacidade do reservatório é:

$$C_R = 2 * C_D \quad (2)$$

---

<sup>1</sup>As determinações de reservas de incêndio encontram-se no anexo A.

- $C_R$  = capacidade de reserva de água (em litros)

O valor de  $P$  é obtido pela tabela 1, enquanto o valor de  $C$  é definido pela tabela 2.

**Tabela 1 – Taxa de ocupação de acordo com a natureza o local**

<b>Natureza do local</b>	<b>Taxa de ocupação</b>
Prédio de apartamentos	Duas pessoas por dormitório
Prédio de escritórios	
- Uma só entidade locadora	Uma pessoa por 7 m <sup>2</sup> de área
- Mais de uma entidade locadora	Uma pessoa por 5 m <sup>2</sup> de área
Restaurantes	Uma pessoa por 1,5 m <sup>2</sup> de área
Teatros e cinemas	Uma pessoa por 0,7 m <sup>2</sup> de área
Lojas	
- Pavimento térreo	Uma pessoa por 2,5 m <sup>2</sup> de área
- Pavimentos superiores	Uma pessoa por 5 m <sup>2</sup> de área
Supermercados	Uma pessoa por 2,5 m <sup>2</sup> de área
Shopping centers	Uma pessoa por 5 m <sup>2</sup> de área
Salões de hotéis	Uma pessoa por 5,5 m <sup>2</sup> de área
Museus	Uma pessoa por 5,5 m <sup>2</sup> de área

Fonte: Creder (2006).

**Tabela 2 – Estimativa de consumo diário de água**

(continua)

<b>Tipo de prédio</b>	<b>Unidade</b>	<b>Consumo (l/dia)</b>
<i>1. Serviço doméstico</i>		
Apartamentos	Por dormitório	200
Apartamentos de luxo	Por dormitório	300 a 400
	Por quarto de empregada	200
Residência de luxo	Per capita	300 a 400
Residência de médio valor	Per capita	150
Residências populares	Per capita	120 a 150
Apartamento de zelador	-	600 a 1000
<i>2. Serviço Público</i>		
Edifícios de escritórios	Por ocupante efetivo	50 a 80
Escolas, internatos	Per capita	150

Tabela 2 – Estimativa de consumo diário de água

Tipo de prédio	Unidade	(conclusão)
		Consumo (l/dia)
Escolas, externatos	Por aluno	50
Escolas, smi-internato	Por aluno	100
Hospitais e casas de saúde	Por leito	250
Hotéis com cozinha e lavanderia	Por hóspede	250 a 350
Hotéis sem cozinha e lavanderia	Por hóspede	120
Lavanderias	Por kg de roupa seca	30
Quartéis	Por soldado	150
Cavalariças	Por cavalo	100
Restaurantes	Por refeição	25
Mercados	Por m <sup>2</sup> de área	5
Garagens e postos de serviços para automóveis	Por automóvel Por caminhão	100 150
Rega de jardins	Por m <sup>2</sup> de área	1,5
Cinemas e teatros	Por lugar	2
Igrejas	Por lugar	2
Ambulatórios	Per capita	25
Creches	Per capita	50
<i>3. Serviço industrial</i>		
Fábricas (uso pessoal)	Por operário	70 a 80
Fábricas com restaurante	Por operário	100
Usinas de leite	Por litro de leite	5
Matadouros	Por animal abatido (de grande porte)	300
	Por animal abatido (de pequeno porte)	150

Fonte: Creder (2006).

Por determinação da NBR 5626 (ABNT, 1998), o reservatório abaixo do nível do solo necessita armazenar 60% do volume de água do consumo diário. O superior deve conter os 40% restantes, adicionando o valor da reserva de incêndio.

Os reservatórios podem ser adquiridos prontos, de diversos materiais ou moldados *in loco*, geralmente de concreto.

Pequenas casas e residências, com valores de até dois mil litros, é costume usar reservatórios de fibrocimento, metal, polietileno ou fibra de vidro, devido ao seu baixo custo. Em maiores volumes de reserva, torna-se viável a utilização de reservatórios moldados *in loco*, como os de concreto armado.

## 2.3 DIMENSIONAMENTO

Macyntire (2013) define o conjunto de itens no sistema de tubulações da seguinte maneira:

- Barrilete de distribuição. Trata-se de uma tubulação que liga entre si as duas seções do reservatório superior, ou dois reservatórios superiores, do(s) qual(is) partem ramificações para as colunas de distribuição. Com isso, evita-se fazer a ligação de uma quantidade grande de encanamentos diretamente no reservatório, o que é inconveniente.
- Colunas de alimentação ou prumadas de alimentação. Derivam do barrilete e, após um certo trecho na cobertura, descem verticalmente para alimentar os diversos pavimentos.
- Ramais. São tubulações derivadas da coluna de alimentação e que servem a conjuntos de aparelhos.
- Sub-ramais. São tubulações que ligam os ramais às peças de utilização ou aos aparelhos sanitários. Portanto um ramal pode alimentar vários sub-ramais.

O dimensionamento se inicia então pelo sub-ramal e é somado aos outros sub-ramais, para o dimensionamento dos ramais, que, por sua vez, dimensionam as colunas e barriletes.

### 2.3.1 Sub-Ramais

É necessário dimensionar os sub-ramais para atender a quantidade de vazão necessária em cada aparelho. Para isso usamos duas formas distintas: consumo máximo possível e consumo máximo provável.

#### 2.3.1.1 Consumo máximo possível

No método de dimensionamento consumo máximo possível, admite-se a possibilidade de utilização dos aparelhos de forma simultânea. O consumo dimensionado seria capaz de alimentar todos os aparelhos sem que haja falta de água ou diminuição da vazão (MACINTYRE, 2013).

Geralmente é projetado para edifícios que têm horários predefinidos para funcionamento dos aparelhos, como fábricas, escolas e outros edifícios comerciais, conforme

especificação do projeto. Também devem ser calculadas para residências que possuem peças derivadas de um só ramal de alimentação (GHISI, 2004).

O método toma como base a unidade de um tubo de 15mm (1/2”) a que os outros tubos se referem, conforme uma tabela de equivalência. Tabelas comumente adotadas por BOTELHO (2014).

<b>Aparelho sanitário</b>	<b>Diâmetro</b>	
	<b>Nominal (mm)</b>	<b>Referência (polegadas)</b>
Aquecedor de baixa pressão	20	3/4
Aquecedor de alta pressão	15	1/2
Vaso sanitário com caixa de descarga	15	1/2
Vaso sanitário com válvula de descarga	50	2
Banheira	15	1/2
Bebedouro	15	1/2
Bidê	15	1/2
Chuveiro	15	1/2
Filtro de pressão	15	1/2
Lavatório	15	1/2
Máquina de lavar roupa	20	3/4
Máquina de lavar louça	20	3/4
Mictório auto-aspirante	25	1
Mictório de descarga descontínua	15	1/2
Pia de despejo	20	3/4
Pia de cozinha	15	1/2
Tanque de lavar roupa	20	3/4
Torneira de jardim	20	3/4

Fonte: Botelho (2014).

Tabela 4 – Correspondência de tubos com o equivalente de 15mm

Diâmetro		Número de diâmetros de 15 mm para a mesma vazão
Nominal (mm)	Referência (polegadas)	
15	½	1,00
20	¾	2,90
25	1	6,20
32	1 ¼	10,90
40	1 ½	17,40
50	2	37,80
60	2 ½	65,50
75	3	110,50
100	4	189,00
150	6	527,00
200	8	1200,00

Fonte: Botelho (2014).

Quando o aparelho sanitário necessita de um diâmetro específico, deve-se comparar, na tabela, qual a sua equivalência em diâmetros de 15mm. A quantidade de números de diâmetros deve então ser somada. O resultado da soma irá ser comparado na tabela 1.4 para se chegar ao diâmetro nominal da tubulação que deverá ser utilizada. Dessa forma, o sub-ramal será dimensionado para o máximo consumo possível (CARVALO JUNIOR, 2015).

#### 2.4.1.2 Consumo máximo provável

Uma das maiores vantagens deste método de consumo máximo provável é a economia. Ao basear no fato dos aparelhos não serem utilizados ao mesmo tempo, a necessidade de capacidade de vazão do tubo diminui, então é possível usar tubos menores e mais baratos. É chamado também de método dos pesos relativos (GHISI, 2004).

Os pesos na tabela 2.5, a seguir, da norma 5626 (ABNT, 1998), são estabelecidos empiricamente em função da vazão necessária pelo equipamento.



Tabela5 – Pesos relativos nos pontos de utilização

Aparelho sanitário	Peça de utilização	Vazão de Projeto l/s	Peso relativo
Bacia Sanitária	Caixa de descarga	0,15	0,3
	Válvula de descarga	1,70	32,0
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 de roupas	Registro de pressão	0,30	1,0
Lavatório	Torneira ou misturador (água fria)	0,15	0,3
	com sifão integrado	Válvula de descarga	0,50
Mictório cerâmico	Caixa de descarga, registro de pressão ou válvula de descarga para mictório	0,15	0,3
	sem sifão integrado		
Mictório tipo calha	Caixa de descarga ou registro de pressão	0,15	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 em geral	Torneira	0,20	0,4

Fonte: NBR 5626 (1998). Adaptado.

A quantidade de peças é multiplicada pelo seu peso relativo e a soma deles constitui o peso total daquele sub-ramal.

Estima-se a vazão usando a equação a seguir. A vazão é um fator determinante para o dimensionamento do diâmetro da tubulação.

$$Q = 0,3 * \sqrt{\sum P} \quad (3)$$

- $Q$  = vazão estimada na seção (em litros por segundo);
- $P$  = peso relativo de peça de utilização.

A norma limita o método a utilizações residenciais ou quando não há uso intensivo, como cinemas, estádios, escolas, etc. O método não se baseia em informações seguras para o cálculo da utilização máxima provável.(MACINTYRE, 2013)

## 2.4 CÁLCULO DE DIÂMETRO

O diâmetro pode ser calculado de diversas maneiras. Dentre elas se destacam o ábaco diâmetro x peso e a equação de Fair Whipple – Hsiao.

O ábaco presente no Anexo C dimensiona a tubulação referenciando à soma do peso daquele trecho (coluna, ramal ou sub-ramal) e à vazão, calculada pela equação 3.

A equação de Fair Whipple – Hsiao:

$$Q = 55,934 * J^{0,571} * D^{2,714} \quad (4)$$

Onde:

- $Q$  = vazão estimada na seção (em metros cúbicos por segundo);
- $J$  = perda de carga unitária (m/m);
- $D$  = diâmetro da tubulação (metros);

Para o cálculo o valor de  $J$  é considerado 0,08 m/m.

A fórmula é manipulada para encontrar o diâmetro em função da vazão. Resultando na fórmula a seguir:

$$D = \sqrt[2,714]{\frac{Q}{55,934 * J^{0,571}}} \quad (5)$$

Ao calcular a velocidade, se garante que a tubulação atende os critérios afirmados na norma brasileira, que é de no máximo 3 metros por segundo. A fórmula para cálculo é:

$$V = \frac{4 * Q}{\pi * D^2} \quad (6)$$

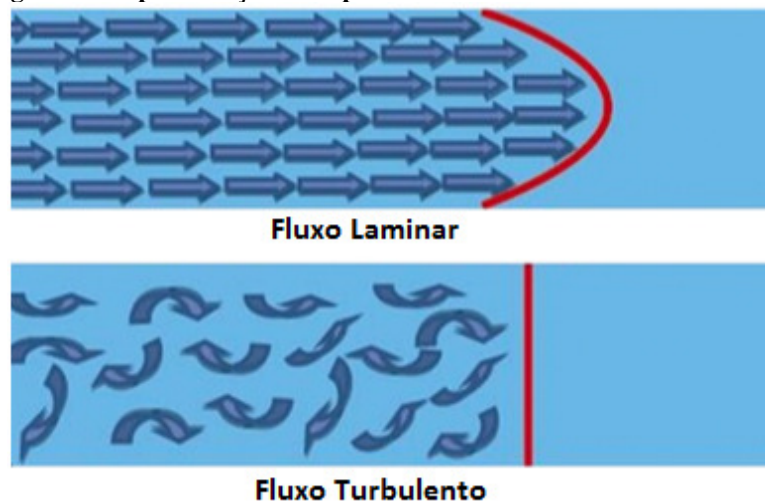
- $V$  = velocidade do líquido no tubo (m/s);

- $Q$  = vazão da tubulação (m<sup>3</sup>/seg);
- $D$  = diâmetro do tubo (m);

## 2.5 ESCOAMENTO

Por escoamento se entende o fluxo de líquido em uma tubulação, que podem ser classificados de duas maneiras: laminares e turbulentos, representados na figura 1.

**Figura 1 - Representação dos tipos de escoamento laminar e turbulento**



Fonte: YNAJARA (2014). Adaptado.

Em um escoamento laminar, as linhas de fluxo são uniformes e acompanham uma direção, devido à viscosidade do líquido. No regime turbulento, essas linhas se apresentam desordenadas, o que mostra influência da força da inércia (FOX, 2006).

Segundo Fox (2006), para determinar um tipo de escoamento, devemos seguir o estudo de Osborn Reynolds que, em 1883, estudou o comportamento dos fluidos e definiu que o comportamento depende da viscosidade e da velocidade do tubo como também da rugosidade e diâmetro da tubulação. O “Número de Reynolds (Re)” pode ser descrito pela equação:

$$Re = \frac{v \cdot D}{\nu} \quad (7)$$

- $Re$  = Número de Reynolds (sem dimensão)
- $v$  = velocidade do fluido na tubulação (em metros por segundo)

- $D$  = diâmetro da tubulação (em cm)
- $\nu$  = viscosidade do fluido (em Stokes – St)

A viscosidade da água pode ser considerada como  $1002 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ .

A velocidade do líquido é calculada pela equação 6 após o dimensionamento do diâmetro dos tubos.

O número de Reynolds é o fator determinante do tipo de escoamento. Em um escoamento laminar, o valor é menor ou igual a 2000.

Quando estiver maior que 2000 ou menor que 2300 é um escoamento indeterminado. Escoamento turbulento acontece quando o número é superior ou igual a 2300 (RETTORE NETO, 2009).

## 2.6 PERDA DE CARGA

A perda de carga ocorre em duas principais ocasiões. Primeiramente em um sistema de escoamento laminar, em que as camadas de fluxo do fluido criam um atrito entre si, causando diminuição da energia dinâmica. Outra forma em que ocorre perda de carga está presente nos escoamentos turbulentos, onde o movimento desordenado das partículas gera perda de energia equivalente à sua turbulência (CAMARGO,2001)

Rettore Neto (2009) determina que a perda de carga se manifesta pelo aquecimento das partículas, dissipando a energia dinâmica inicial em energia térmica.

Deve-se também considerar nesses sistemas a perda de carga pelo atrito do líquido com as paredes da tubulação utilizada, dependente de sua rugosidade interna, que varia de acordo com seu material, mudanças de sentido (curvas) e de vazão (CAMARGO,2001).

Em um projeto de alimentação, bombeamento ou rede de distribuição de água, podemos separar as perdas de carga em dois tipos: Perda de Carga Distribuída e Perda de Carga Localizada.

### 2.6.1 Perda de Carga Distribuída

A parede dos tubos possui uma rugosidade que causa um atrito com as partículas do líquido. Dessa forma, a pressão diminui gradativamente ao longo da tubulação. A Perda de Carga Distribuída é considerada apenas em tubulações retilíneas e depende do diâmetro do

tubo, da rugosidade da parede, da velocidade do escoamento e também da massa específica e viscosidade do fluido. (CAMARGO, 2011)

A rugosidade da parede do tubo depende do material que o compõe e também o seu estado de conservação. A tabela abaixo mostra valores de rugosidade das paredes de diversos tubos.

**Tabela 6 – Tabela de rugosidade de materiais**

Material – Especificação		Rugosidade absoluta (x 10 <sup>-3</sup> m)
Aço	Galvanizado	0,1 a 0,2
	Rebitado	1,0 a 3,0
	Revestido	0,1
	soldado novo	0,1
	soldado moderadamente oxidado	0,4
Ferro	fundido sem revestimento	0,2 a 0,5
	fundido com revestimento de cimento centrifugado	0,1
	fundido com revestimento de asfalto	0,1 a 0,2
	fundido levemente oxidado	0,3
	fundido oxidado	1,0 a 1,5
Concreto	acabamento liso	0,3
	acabamento médio	0,8
	acabamento rugoso	1,5 a 2,0
Plástico (PVC e polietileno)		0,01
Fibrocimento		0,1
Cobre, latão e chumbo		0,02
Cerâmicos		1,5

Fonte: Camargo (2011).

### 2.6.2 Perda de Carga Localizada

As peças de canalização (válvula, curva, redução) e peças utilizadas para montagem da tubulação (joelhos, tês, registros) provocam mudança de direção, velocidade e vazão, que intensificam as perdas de energia nos pontos da tubulação. Essa perda adicional é calculada da mesma forma que as perdas distribuídas; porém são utilizados, para o cálculo, comprimentos equivalentes de tubulação linear que seriam capazes de criar tal perda naquele determinado diâmetro da peça de utilização. Os comprimentos a seguir são tabelados pela NBR 5626.

**Tabela 7 – Perda de carga em conexões - Comprimento equivalente para tubo liso (plástico, cobre ou liga de cobre)**

Diâmetro nominal (DN)	Tipo de conexão					
	Cotovelo 90°	Cotovelo 45°	Curva 90°	Curva 45°	Tê passagem direta	Tê passagem lateral
15	1,1	0,4	0,4	0,2	0,7	2,3
20	1,2	0,5	0,5	0,3	0,8	2,4
25	1,5	0,7	0,6	0,4	0,9	3,1
32	2,0	1,0	0,7	0,5	1,5	4,6
40	3,2	1,0	1,2	0,6	2,2	7,3
50	3,4	1,3	1,3	0,7	2,3	7,6
65	3,7	1,7	1,4	0,8	2,4	7,8
80	3,9	1,8	1,5	0,9	2,5	8,0
100	4,3	1,9	1,6	1,0	2,6	8,3
125	4,9	2,4	1,9	1,1	3,3	10
150	5,4	2,6	2,1	1,2	3,8	11,1

Fonte:NBR 5626 (1998). Adaptado.

**Tabela 8 – Perda de carga em conexões - Comprimento equivalente para tubo rugoso (tubo de aço-carbono, galvanizado ou não)**

Diâmetro nominal (DN)	Tipo de conexão					
	Cotovelo 90°	Cotovelo 45°	Curva 90°	Curva 45°	Tê passagem direta	Tê passagem lateral
15	0,5	0,2	0,3	0,2	0,1	0,7
20	0,7	0,3	0,5	0,3	0,1	1,0
25	0,9	0,4	0,7	0,4	0,2	1,4
32	1,2	0,5	0,8	0,5	0,2	1,7
40	1,4	0,6	1,0	0,6	0,2	2,1
50	1,9	0,9	1,4	0,8	0,3	2,7
65	2,4	1,1	1,7	1,0	0,4	3,4
80	2,8	1,3	2,0	1,2	0,5	4,1
100	3,8	1,7	2,7	-	0,7	5,5
125	4,7	2,2	-	-	0,8	6,9
150	5,6	2,6	4,0	-	1,0	8,2

Fonte:NBR 5626 (1998). Adaptado.

### 2.6.3 Cálculo de Perda de Carga

É necessário, para o correto dimensionamento de uma tubulação hidráulica predial, a consideração da energia dinâmica dissipada ao longo da tubulação em que se escoia o líquido.

Existem vários métodos para cálculo dessa perda de carga em tubulações com fluidos homogêneos. Dentre elas, alguns serão citadas a seguir.

Vale ressaltar que a norma NBR 5626 faz citação ao uso do método universal, ou Darcy e Weisbach, para o cálculo da perda de carga. Caso não seja possível, pede-se que utilize então as expressões de Fair-Whipple-Hsiao.

### 2.6.3.1 Fair-Whipple-Hsiao

Fair Whipple Hsiao também estabelece equações para cálculo de perda de carga em tubos. A equação utilizada para tubos rugosos de aço carbono ou galvanizados é:

$$J = 0,002021 * \frac{Q^{1,88}}{D^{4,88}} \quad (8)$$

E em tubos lisos, como plástico, cobre ou liga de cobre:

$$J = 0,000874 * \frac{Q^{1,75}}{D^{4,75}} \quad (9)$$

Onde:

- $J$  = perda de carga unitária (m/m);
- $Q$  = vazão da tubulação (m<sup>3</sup>/seg);
- $D$  = diâmetro do tubo (m).

A perda de carga unitária,  $J$ , refere-se a perde por cada metro de tubulação. Para se achar a perda total, deve ser multiplicado pelo valor da soma de comprimentos reais e virtuais.

$$Hf = J * \sum \text{comprimento real} + \sum \text{comprimento virtual} \quad (10)$$

### 2.6.3.2 Flamant

Flamant é uma fórmula usada em aplicações de água à temperatura ambiente, em instalações domiciliares, com tubulações de diâmetro entre 12,5mm a 100mm.

Para ferro fundido e aço galvanizado usamos a seguinte equação:

$$J = 0,00092 * \frac{v^{1,75}}{Q^{1,25}} \text{ ou } J = 0,001404 * \frac{Q^{1,75}}{D^{4,75}} \quad (11)$$

Para tubos de plástico a equação utilizada é:

$$J = 0,000826 * \frac{Q^{1,75}}{D^{4,75}} \quad (12)$$

Novamente J representa uma perda unitária e, para chegarmos a perda total, é necessário multiplicar pelo total de comprimento, como na fórmula a seguir.

$$Hf = J * \sum \text{comprimento real} + \sum \text{comprimento virtual} \quad (13)$$

### 2.6.3.3 Hazen Willians

Hazen Willians consiste em uma relação empírica que relaciona a vazão de água em um tubo com as propriedades físicas do tubo e a sua perda de carga. É comumente utilizada em dimensionamento de tubulações de bombeamentos e redes de distribuição de água, assim como sistemas de irrigação e incêndio. Também utilizada para condutos forçados ou livres, geralmente para tubulações com diâmetro igual ou maior que 50mm e para regimes turbulentos (BRATER, 1996)

Uma das vantagens é não depender do número de Reynolds, no caso de cálculo para rede de água; porém não considera a temperatura e viscosidade da água.

$$J = \frac{10,646 * Q^{1,852}}{C^{1,85} * D^{4,75}} \quad (14)$$

Onde:

- $J$  = perda de carga unitária (m/m);
- $Q$  = vazão da tubulação (m<sup>3</sup>/seg);
- $D$  = diâmetro do tubo (m);
- $C$  = coeficiente de rugosidade do tubo (adimensional).



Por meio de experimentos foi possível determinar o coeficiente C que se refere ao atrito interno da tubulação do material conforme a tabela 9.

**Tabela 9 – Valores de do coeficiente C**

<b>Tipo de Tubo</b>	<b>Valores de C</b>
Aço corrugado (chapa ondulada)	60
Aço com juntas lock-bar novos	130
Aço galvanizado (novos e em uso)	125
Aço rebitado, novos	110
Aço rebitado, em uso	85
Aço soldado, novos	120
Aço soldado, em uso	90
Aço soldado com revestimento especial, novos e em uso	130
Chumbo	130
Cimento-amianto	140
Cobre	130
Concreto, bom acabamento	130
Concreto, acabamento comum	120
Ferro fundido, novos	130
Ferro fundido, em uso	90
Plástico	140

**Fonte:**Bratter (1996).

O valor de  $L$  representa a soma dos valores dos tubos lineares e da equivalência linear das peças que montam o sistema.

$$L = \sum \text{comprimento real} + \sum \text{comprimento virtual} \quad (15)$$

#### 2.6.3.4 Darcy e Weisbach

O método Darcy e Weisbach, que também é conhecido como Universal, é específico para tubos cilíndricos e qualquer líquido. Um dos métodos mais antigos usados em engenharia de fluidos, teve seu início marcado pela proposição de Julius Weisbach, em 1845. A fórmula

proposta foi desenvolvida ao longo do tempo para levar em conta os fatores de atrito em relação à velocidade (CAMARGO,2001). A fórmula hoje utilizada é:

$$h_f = f * \frac{L}{D} * \frac{V^2}{2 * g} \quad (16)$$

- $h_f$  = perda de carga normal no trecho (m);
- $L$  = comprimento do trecho (m);
- $D$  = diâmetro do trecho (m);
- $V$  = velocidade média no trecho (m/s);
- $f$  = coeficiente de atrito (adimensional).

O fator  $f$  é determinado por fórmulas teórico-experimentais e relaciona o número de Reynolds e a rugosidade relativa da tubulação calculada. Em escoamentos laminares, usa-se a seguinte fórmula para determinação:

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

O número de Reynolds é calculado pela equação 07.

Nos escoamentos turbulentos, a determinação do fator  $f$  é feita de forma experimental e compara resultados de diversas medições. Em 1939, a equação de Colebrook-White foi capaz de determinar o coeficiente de atrito com a seguinte fórmula:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 * \log_{10} \left( \frac{k}{3,7 * D} + \frac{2,51}{Re * \sqrt{f}} \right) \quad (18)$$

A fórmula implícita, pois possui a variável  $f$  em seus dois lados da equação, é de difícil utilização e deve ser resolvida utilizando métodos numéricos. Devido a essa dificuldade, pesquisadores de todo o mundo buscaram soluções práticas. A equação Souza-Cunha-Marques (1999) é capaz de chegar a um erro menor, de apenas 0,123%(ANDRADE,2001). É a equação a seguir:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 * \log_{10} * \left[ \frac{k}{3,7 * D} - \frac{5,16}{Re} * \log_{10} * \left( \frac{k}{3,7 * D} + \frac{5,09}{Re^{0,87}} \right) \right] \quad (19)$$

- $k$  = rugosidade da parede do tubo (em metros)
- $Re$  = número de Reynolds (sem dimensão)

A equação de SwammeJain foi usada para resolver diretamente a equação de Darcy Weisbach em um tubo circular, sendo uma aproximação da equação de Colebrook-White. (ANDRADE, 2001)

$$f = \frac{0,25}{\left[ \log \left( 0,27 * \frac{\varepsilon}{D} * \frac{5,74}{Re^{0,9}} \right) \right]^2} \quad (20)$$

Onde:

- $f$  = coeficiente de atrito (adimensional);
- $\varepsilon$  = rugosidade do tubo (m/m);
- $D$  = diâmetro do tubo (m);
- $Re$  = número de Reynolds (adimensional);

A rugosidade utilizada para o tubo de PVC soldável foi de 0,0001 m/m.

Uma forma alternativa para encontrar o valor desse coeficiente é utilizando o Ábaco de Moody, presente no Anexo B, que é a representação gráfica do fator de atrito em função do número de Reynolds e da rugosidade do conduto, utilizando a equação de Colebrook-White(CAMARGO,2001).

## 2.7 BOMBEAMENTO

Nas alimentações prediais, em sistemas de recalque de água para o reservatório superior, é necessário a utilização de bombas elétricas. De acordo com Macintyre(2013), as bombas convertem energia mecânica em energia hidráulica capaz de suprir a perda de carga dessa tubulação, permitindo o transporte dos fluidos para onde seja requisitado.

Para calcular o bombeamento, é necessário dimensionar o tubo de recalque. E logo após, adotar para o tubo de sucção a primeira medida comercial acima. Para calcular a vazão, necessitamos determinar qual será o tempo de funcionamento, lembrando que a capacidade horária da bomba não deve ser menos de 20% do volume diário (MELO, 2012).

A fórmula usada para determinação do diâmetro econômico de recalque a uma bomba pela fórmula de Forchheimer é a seguinte:

$$D = 1,3 * h^{0,25} * \sqrt{Q} \quad (21)$$

- $h$  = horas de funcionamento
- $Q$  = vazão em m<sup>3</sup>/hora
- $D$  = diâmetro de recalque

Seguindo o dimensionamento mais comum, adotado por Melo (2012), o próximo passo é determinar a altura manométrica usada para escolha da bomba, seguindo a expressão a seguir:

$$Hm = Hs + Hr + Hp_{suc} + Hp_{rec} + \frac{v^2}{2 * g} \quad (22)$$

- $Hs$  = altura de sucção em metros
- $Hr$  = altura de recalque em metros
- $Hp_{suc}$  = perda de carga na sucção
- $Hp_{rec}$  = perda de carga no recalque
- $v$  = velocidade
- $g$  = gravidade

Para o cálculo da potência necessária à bomba é preciso usar a seguinte fórmula:

$$P = \frac{\gamma * Q * Hm}{75 * \eta} \quad (23)$$

- $\gamma$  = peso específico do líquido, que para a água é de 1000 kg/m<sup>3</sup>
- $Q$  = vazão em m<sup>3</sup>/s
- $Hm$  = altura manométrica
- $\eta$  = rendimento do conjunto de bombas (em média 70%)

Seguindo esses parâmetros, é possível dimensionar uma instalação de bombeamento correta para sucção e recalque da água para um reservatório superior.

## 2.8 PRESSÕES

A equação de Bernoulli é utilizada para o cálculo de pressão em um sistema.

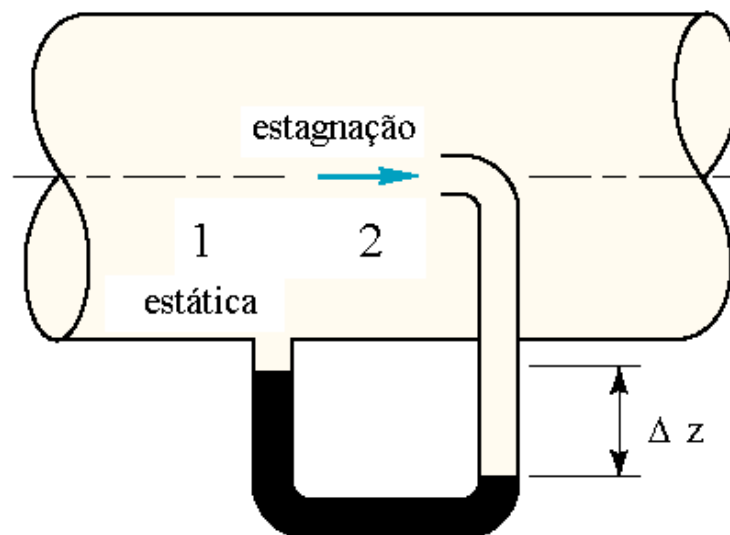
$$\frac{p}{\rho g} + \frac{v^2}{2g} + z = H \quad (24)$$

- $p$  = pressão do fluido no recipiente (mca);
- $\rho g$  = altura de carga devido a pressão estática local (mca);
- $\frac{v^2}{2g}$  = pressão dinâmica local (mca);
- $z$  = altura da elevação de energia potencial (m);
- $H$  = pressão dinâmica.

A segunda parte da equação, representada pela variável  $H$ , representa o que comumente chamamos de pressão dinâmica. Para melhor entendimento desse termo, usaremos o Tubo de Pitot, que se baseia na equação de Bernoulli e só é válida para fluidos incompressíveis com viscosidade nula.

O tubo de Pitot é um dispositivo que utiliza duas sondas, como representado na figura 2.

Figura 2 – Tubo de Pilot



Fonte: SCHNEIDER(2000)

No tubo o fluido se encontra estacionário, ou seja, é um ponto onde  $V=0$ , logo no ponto 2 temos um ponto de estagnação do fluido. A pressão no ponto de estagnação é maior que a pressão estática, e essa diferença resulta na pressão dinâmica.

### 3 ESTUDO DE CASO

Neste capítulo analisamos o projeto que é dimensionado conforme os parâmetros da norma NBR 5626 (ABNT, 1998) e outros métodos de aplicação.

#### 3.1 EDIFÍCIO ANALISADO

Para este estudo foi analisado o projeto hidráulico de um edifício residencial com as seguintes características:

- Cincopavimentos tipo;
- Barrilete com altura de 1,25 metros;
- Altura entre os pavimentos de 2,97 metros;
- Quatro apartamentos por andar;
- Apartamentos contendo três quartos, dois banheiros, cozinha e área de serviço;
- Uma coluna de alimentação;
- Hidrômetros em cada pavimento;
- O chuveiro terá altura de 2,15 metros.

Os detalhes construtivos do projeto estão presentes no apêndice A.

#### 3.2 PROGRAMA PARA DIMENSIONAMENTO

O Microsoft Office Excel é um software desenvolvido pela Microsoft para edição de planilhas. A sua primeira versão foi criada em 1985, para o sistema operacional Macintosh OS. Tornou-se uma poderosa ferramenta para elaborações de equações, planilhas de cálculo e gráficos, além de ser o programa mais popular da categoria e um dos principais programas para computadores (PACIEVITCH, 2015)

Este software foi escolhido para a utilização nesse trabalho por ser de fácil acesso em todo tipo de dispositivos e sistemas operacionais e pela facilidade na execução de gráficos.

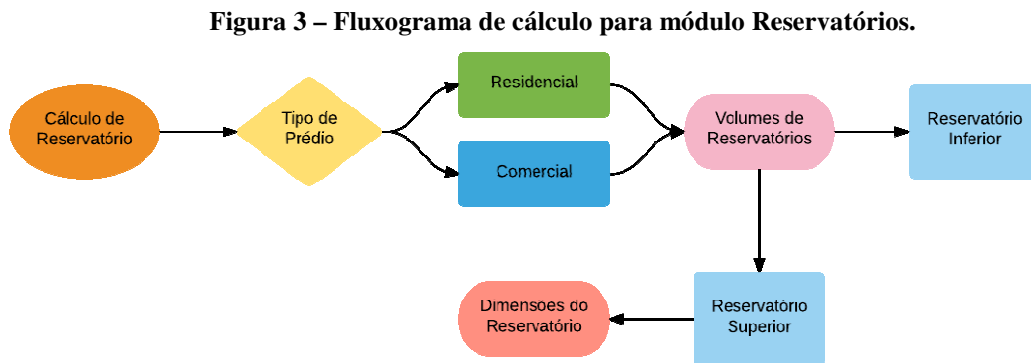
O programa foi desenvolvido utilizando o software Microsoft Excel com objetivo de cálculo em diferentes métodos e comparação dos resultados. Foi dividido em módulos de cálculo de reservatório, colunas e ramais e pressões.

### 3.2.1 Cálculo de Reservatório

Para o dimensionamento foram considerados os critérios determinados pela norma NBR 5626. Este módulo de Cálculo de Reservatório seguiu o fluxograma exposta na figura 3. Ao inserir os dados no programa, serão exibidos os valores do dimensionamento do reservatório superior, que é importante para os próximos cálculos.

O programa também dimensiona uma reserva técnica de incêndio conforme legislação do Corpo de Bombeiros Militar do Estado de Goiás pela Norma Técnica 22/2014 (CBMGO, 2014).

A reserva técnica utilizada teve o valor de 1,5, que é abaixo do valor recomendado pela norma NBR 5626, porém o mais usual.



Fonte: Produção do autor (2015)

No dimensionamento do projeto pelo programa, devem ser informados os primeiros parâmetros, como padrão do edifício, área construída, quantidade de apartamentos e pavimentos, quartos em cada apartamento, quantidade de pavimentos tipo e dias de reserva. Esses dados são suficientes para a determinação do volume dos reservatórios superior e inferior.

Os dados são baseados em instruções para cálculo pela norma NBR 5626/1998 e Norma Técnica 22/2014 do Corpo de Bombeiros de Goiás.

Na figura 4 são apresentados resultados de dimensionamento do edifício no programa, usando o módulo de Cálculo de Reservatórios.



**Figura 4–Resultados de dimensionamento do módulo Reservatórios**

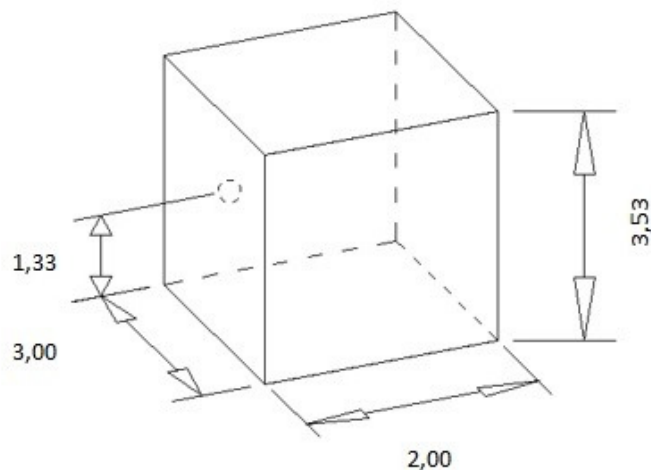
Calculo de Reservatórios	
Tipo de Edifício	Apartamentos
Estimativa de Consumo	Máximo Provável
Medida	per capita
Consumo Diário	200 lt
Área Construída (m <sup>2</sup> )	2000
<b>Residencial</b>	
Qtd Aptos/Pav	4
Qtd Quartos	2
Qtd Pav. Tipo	5
Qtd Total de Pessoas	100
<b>Consumo Total Diário</b>	<b>20000 lt</b>
Dias de reserva	1,5
<b>Reserva</b>	<b>10000 lt</b>
<b>Reserva conforme Bombeiro GO</b>	<b>8000 lt</b>
<b>Reserva Total do Reservatório</b>	<b>38000 lt</b>
<b>Reservatório Superior</b>	<b>20000 lt</b>
<b>Reservatório Inferior</b>	<b>18000 lt</b>
Maior dimensão	2
Menor dimensão	3
<b>Altura Total</b>	<b>4,20</b>
<b>Altura Lâmina D'água Consumo</b>	<b>1,60</b>

É necessário um valor maior ou igual a 1. NBR 5626 pede pelo menos 2 dias.

Dados baseados na Norma Técnica 22/2014 do Corpo de Bombeiros de Goiás.

Deve se lembrar que é necessário dividir o reservatório em duas células

**Dimensao Total do Reservatório (metros)**



Fonte: Produção do autor (2015)

Conforme o dimensionamento, apresentado pelo programa na figura 4, o valor do reservatório superior deve ser de 20 m<sup>3</sup> ou 20.000 litros, considerando a reserva técnica de combate a incêndio e reserva inferior de 18 m<sup>3</sup> ou 18.000 litros.

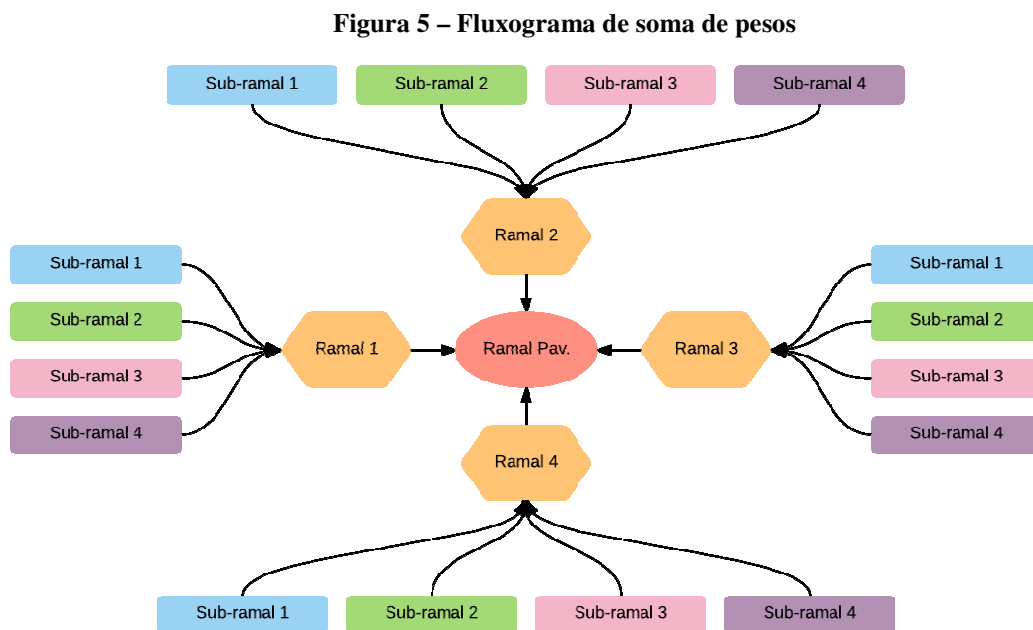
### 3.2.2 Cálculo de colunas, ramais e sub-ramais

O cálculo inicia pela determinação das peças de utilização no sub-ramal, considerando até quatro sub-ramais de, no máximo, quatro peças de utilização. Por meio de caixas de seleção é possível escolher cada uma das peças e a soma dos pesos será utilizada para cálculo da vazão com a equação 3 e, conseqüentemente, o diâmetro, utilizando o Ábaco de diâmetro x peso, presente no anexo C, e a equação 5, de Fair Whipple – Hsiao.

Após definir os sub-ramais, o peso é somado e o diâmetro calculado novamente, exibindo seus valores para o ramal.

A coluna é calculada de forma semelhante, ao multiplicar o peso dos ramais pela quantidade de apartamentos atendidos pela coluna, informando seu diâmetro calculado pelos métodos citados.

A hierarquia da soma dos pesos é formada como no fluxograma na figura 05.



Fonte: Produção do autor (2015)

O prédio em estudo possui quatro sub-ramais, que foram divididos em sub-ramal 1 (cozinha), sub-ramal 2 (banheiro social), sub-ramal 3 (área de serviço) e sub-ramal 4 (banheiro suíte).

Foram selecionados os aparelhos de utilização para a soma dos pesos naquele sub-ramal, conforme tabela da NBR 5626. O peso da tubulação é calculado pelo método de peso x diâmetro, presente no ábaco do Anexo C, e pela equação 5, de Fair Whipple Hsiao. Após seu

cálculo, o peso é somado ao próximo sub-ramal e, posteriormente, aos outros ramais para o dimensionamento de todo o trajeto de água, resultando nos diâmetros presentes na tabela 10.

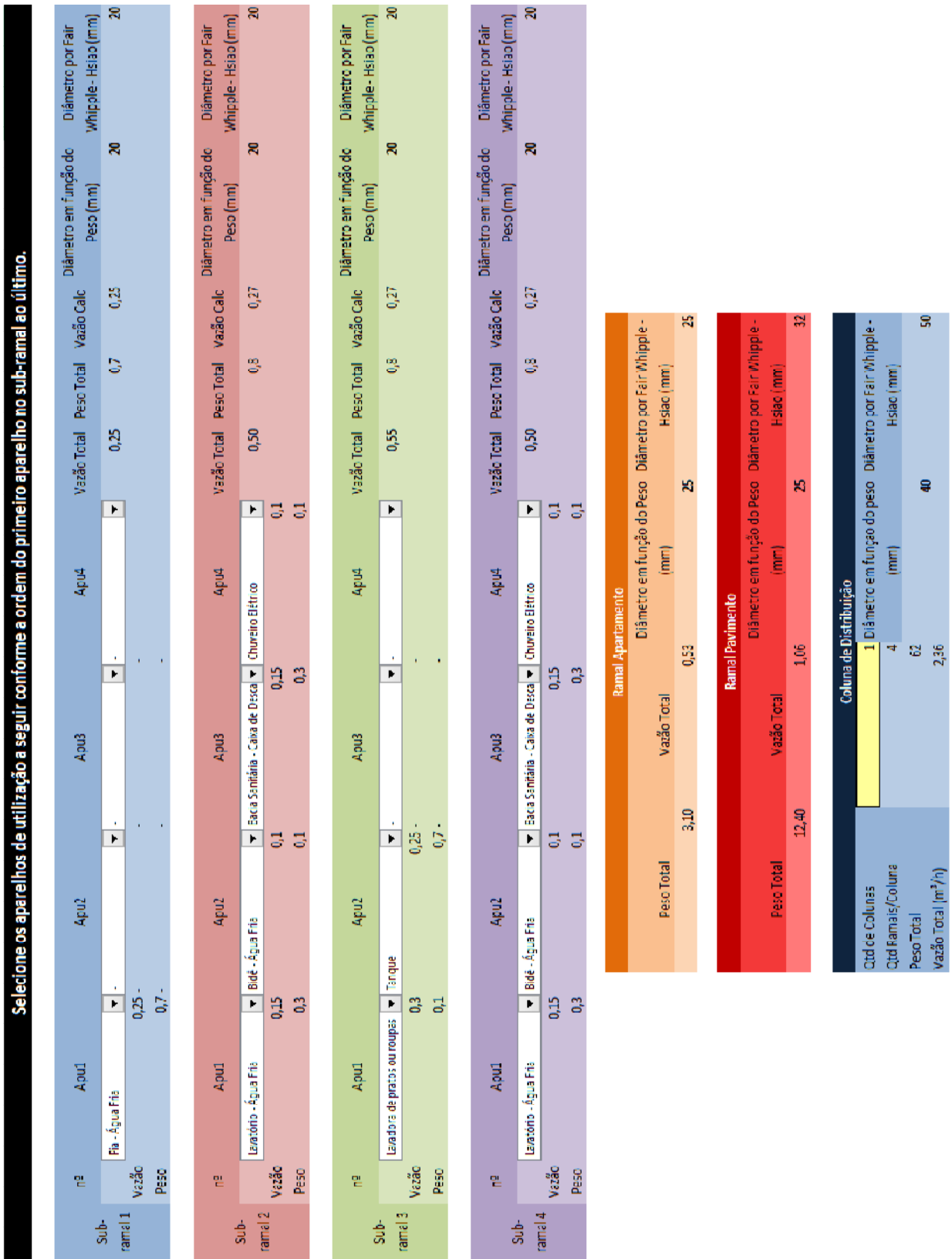
**Tabela 10 – Diâmetros no trajeto da tubulação**

	<b>Trecho</b>	<b>Peso</b>	<b>Vazão (l/s)</b>	<b>Diâmetro em função do Peso (mm)</b>	<b>Diâmetro por Fair Whipple - Hsiao (mm)</b>
1	Sub-ramal 4	1,2	0,33	20	25
2	Sub-ramal 3	2	0,42	20	25
3	Sub-ramal 2	3,2	0,54	25	25
4	Sub-ramal 1	3,9	0,59	25	25
5	Ramal Apartamento	3,9	0,59	25	25
6	Ramal Pav.	15,6	1,18	32	40
7	Coluna	78	2,65	40	50

Fonte: Produção do autor (2015)

A figura 6 representa os resultados do dimensionamento dentro da planilha do programa de cálculo.

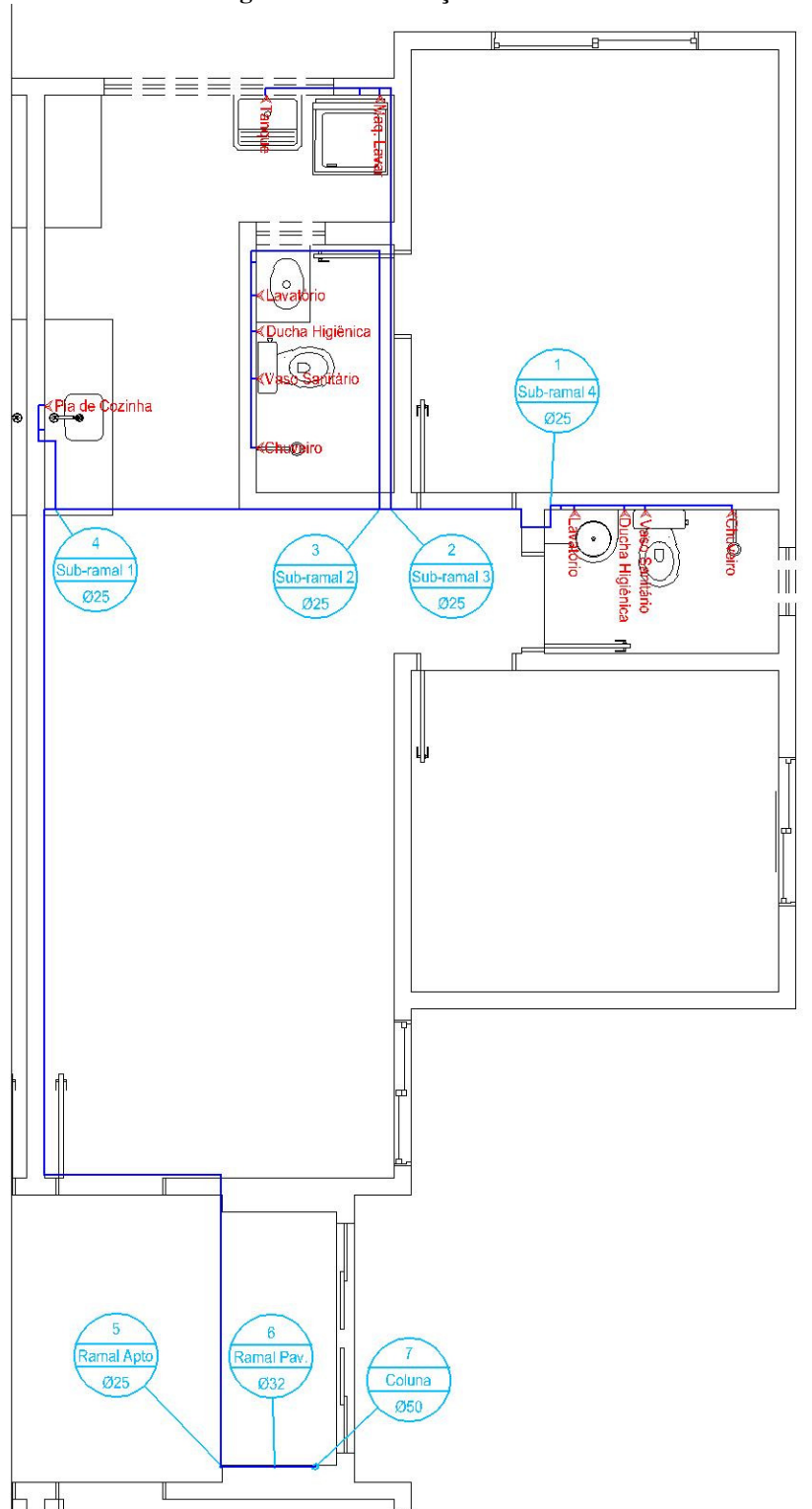
Figura 6 – Resultados de dimensionamento de diâmetros



Fonte: Produção do autor (2015)

A figura 7 mostra o trajeto da coluna aos sub-ramais e para as peças utilizadas em cada sub-ramal.

Figura 7 – Distribuição de ramais



Fonte: Produção do autor (2015)

### 3.2.3 Cálculo de pressão

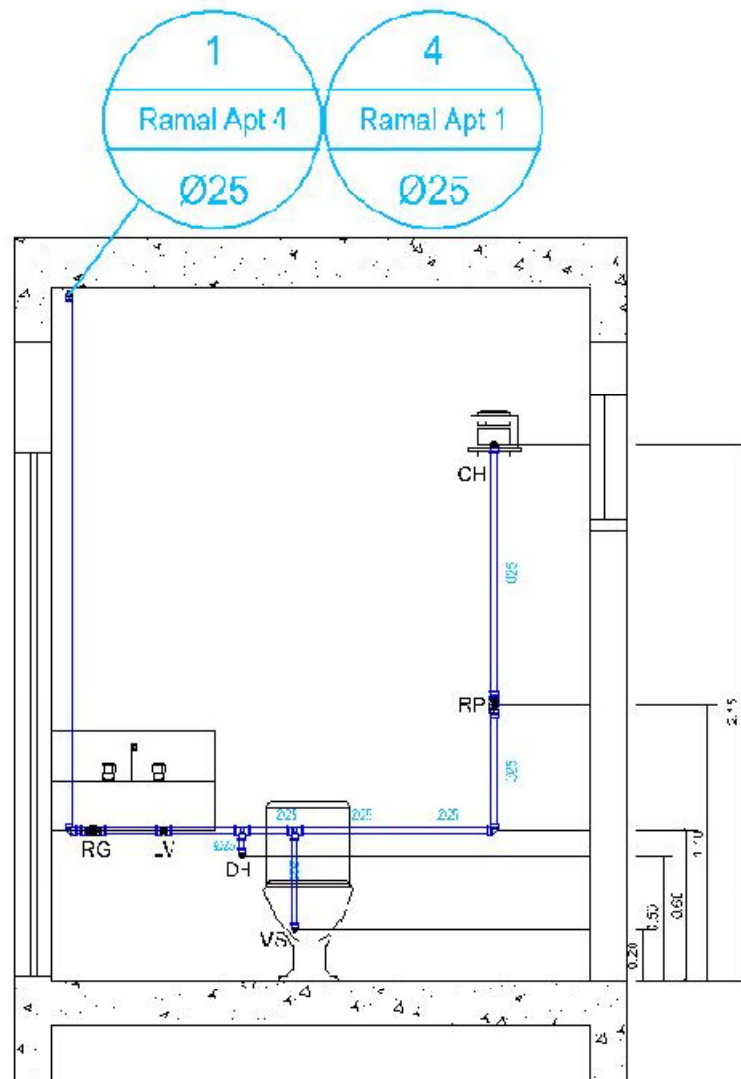
A análise da pressão deve ser realizada com o esboço do projeto e o trajeto da tubulação, permitindo a consideração das peças corretas para determinação da perda de carga.

Como existem vários pontos onde há variação de vazão (por haver divisão de colunas, ramais ou sub-ramais), há necessidade de calcular a perda de forma separada. Portanto deve ser informado o peso relativo a cada ponto do trajeto, conforme trechos do projeto analisado:

1. Reservatório para coluna;
2. Coluna para ramal pavimento;
3. Ramal pavimento para hidrômetro;
4. Hidrômetro para Primeiro sub-ramal;
5. Primeiro sub-ramal para segundo sub-ramal;
6. Segundo sub-ramal para terceiro sub-ramal;
7. Terceiro sub-ramal para quarto sub-ramal;
8. Quarto sub-ramal para peça 1;
9. Peça 1 para peça 2;
10. Peça 2 para peça 3;
11. Peça 3 para peça 4.

A peça de número quatro é a peça crítica do sistema, nesse caso o chuveiro, por ser a última peça no fluxo e por estar na maior altura: 2,15 metros em relação ao piso acabado. Esse trajeto dentro do sub-ramal, descrito no projeto, conforme figura 7, deve ter peças e conexões já definidas para o cálculo.

Figura 8 – Vista frontal do sub-ramal quatro



Fonte: Produção do autor (2015)

Ao escolher, no programa, um trajeto para determinação da pressão, foi selecionado o diâmetro, conforme dimensionamento anterior, informado o peso, sempre atentando à quantidade de peças de utilização naquele trecho e o seu peso relativo, a quantidade e tipo de cada conexão naquele trajeto, além de seu comprimento real de tubulação.

A necessidade de preenchimento de dados é exibida pela cor amarela nas células do programa, conforme figura 9, retirada da planilha de cálculo.

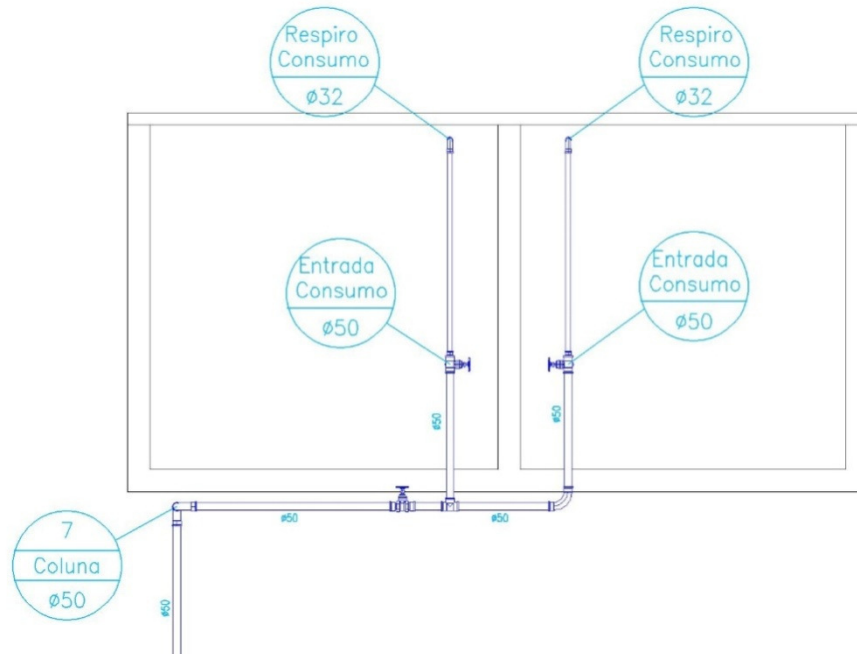
**Figura 9 – Planilha de cálculo de perda de carga.**

Cálculo de Perda de Carga					
Trajeto 1					
Trajetos		Diâmetro	Peso	Vazão (l/seg)	
De	Para				
1	Reservatório > Coluna	50	62	0,66	
Peças de utilização	1	Entrada Normal	1,5	1,5	
	2	Curva 90°	1,3	2,6	
	2	registro de Gaveta Abert	0,8	1,6	
	1	Tê 90° Passagem direta	2,3	2,3	
		-	-	-	
Método	J	Comp. Virtual	Com. Real	Comprimento Total	Perda de Carga
Fair Whipple - Hsiao	0,0036	8	3,6	11,6	0,041
Hazen Willians	0,0031				0,036
Darcy -Weisbach	0,0035				0,041

Fonte: Produção do autor (2015)

As peças descritas no programa e exibidas na figura 8 foram selecionadas a partir de sua representação no desenho da figura 10.

**Figura 10 – Planilha de cálculo de perda de carga.**



Fonte: Produção do autor (2015)

O programa calcula a perda de carga nos métodos de Fair Whipple – Hsiao (descrito no tópico 2.6.3.1), Hazen Willians (tópico 2.6.3.2) e Darcy Weisbach (tópico 2.6.3.4). Esses resultados de perda de carga estão descritos na tabela 11.



**Tabela 11 – Perda de carga nos trechos do projeto**

Método	Trecho											Total
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Fair Whipple												
Hsiao	0,041	0,033	0,048	0,354	0,021	0,004	0,017	0,011	0,007	0,006	0,002	0,544
Hazen												
Willians	0,036	0,029	0,041	0,290	0,017	0,003	0,013	0,008	0,005	0,004	0,001	0,447
Darcy -												
Weisbach	0,041	0,033	0,049	0,363	0,021	0,004	0,017	0,011	0,007	0,006	0,002	0,554

Fonte: Produção do autor (2015)

O cálculo de pressão é a subtração das perdas de carga, diminuídas das alturas do reservatório, em relação a peça de utilização. A altura do reservatório em relação a cobertura é de 1,20 metros. Ao somar a diferença de 2,92 metros do pé direito e diminuir pela altura da peça, que é de 2,15 m, temos uma altura resultante de 1,97 metros. A perda de carga é subtraída dessa altura, resultando na pressão disponível naquele ponto. As pressões resultantes são apresentadas da tabela 12.

**Tabela 12 – Pressão resultante no projeto.**

Perda de Carga	Perda	Pressão (mca)	Verificação
Fair Whipple - Hsiao	0,544	1,48	<b>Pressão suficiente</b>
Hazen Willians	0,447	1,57	<b>Pressão suficiente</b>
Darcy -Weisbach	0,554	1,47	<b>Pressão suficiente</b>

Fonte: Produção do autor (2015)

Essa pressão descrita na tabela é sujeita à verificação da norma. Atendendo o valor da pressão mínima, que no chuveiro elétrico é de 1 mca, é afirmado que a pressão é suficiente para atendimento da peça de utilização.

Entre as soluções para falta de pressão estão o aumento do diâmetro da tubulação, o aumento da altura do barrilete, etc.

Não houve necessidade de calcular a pressão máxima nesse tipo de prédio pois a pressão estática não supera a pressão máxima de 40 mca devido à altura do reservatório, que é de 15,85 metros.

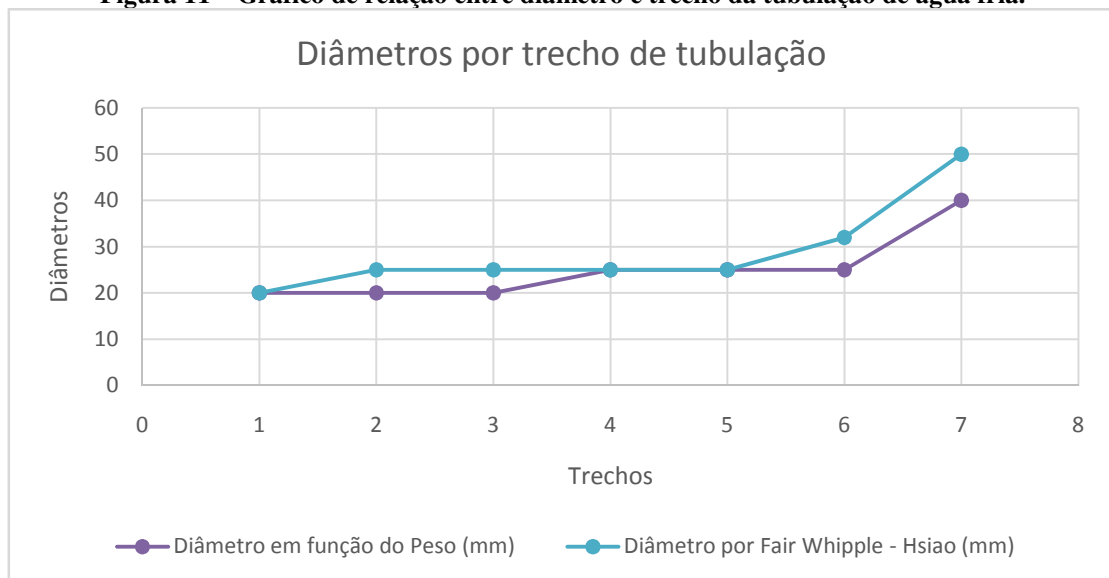
## 4 ANÁLISE DE RESULTADOS

Seguindo a utilização do programa descrito na metodologia, com o prédio proposto, obtiveram-se diversos resultados para o dimensionamento do projeto. Neste capítulo foram analisados os resultados obtidos do dimensionamento real, buscando constatar quais métodos de cálculo são mais seguros ou econômicos.

### 4.1 DIÂMETROS

Para análise dos resultados foi construído o gráfico apresenta na figura 11 com intuito de mostrar a variação do diâmetro a cada trecho de tubulação.

**Figura 11 – Gráfico de relação entre diâmetro e trecho da tubulação de água fria.**



Fonte: Produção do autor (2015)

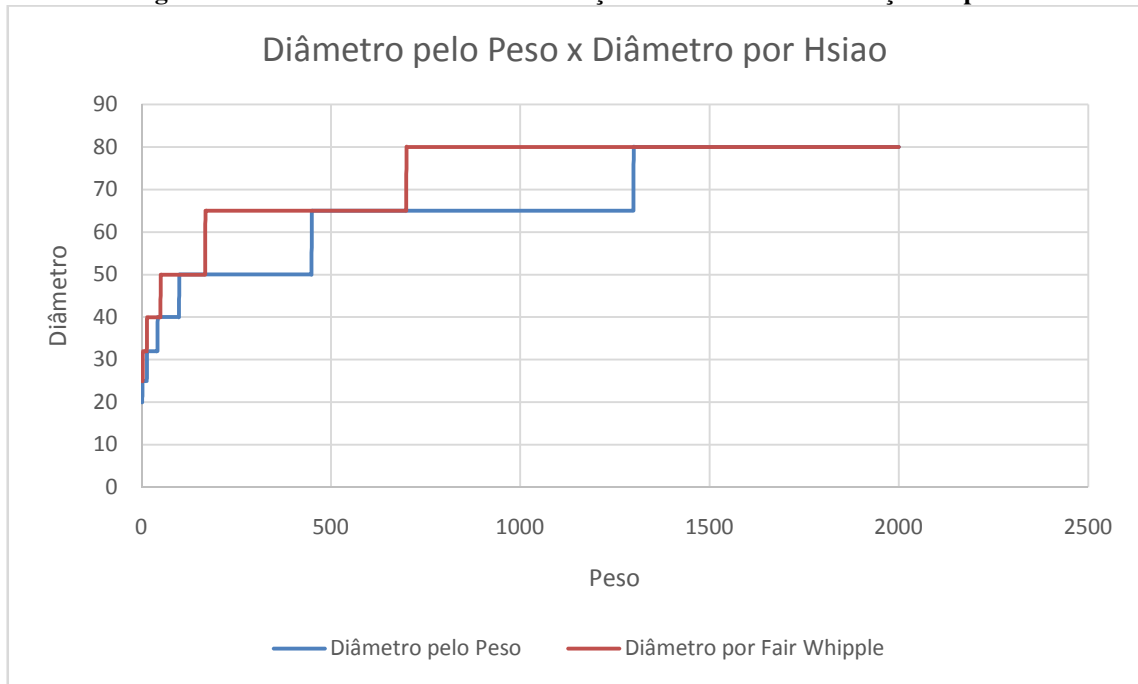
A partir dos resultados obtidos pelo gráfico, foi possível observar que os diâmetros calculados pelo método de Fair Whipple Hsiao são iguais ou maiores aos calculados pelo método do ábado em função do peso. Considerando a margem de segurança para o atendimento da vazão, este método torna-se mais confiável.

Embora Hsiao seja o mais seguro, é importante lembrar que o dimensionamento do método em função do peso é consideravelmente mais econômico e é aceitável pelos limites mínimos de utilização, conforme NBR 5626, não devendo utilizar diâmetros menores.

Com o resultado do projeto, surge dúvida se haveria divergências em algum tipo de projeto com dados diferentes do analisado neste trabalho. Para validar esse resultado foi

criada uma demonstração teórica, com o fim de testar o dimensionamento com pesos variando de 1 a 2000, o que equivale a um edifício de 30 pavimentos tipo, com 10 apartamentos por pavimento e seis sub-ramais por apartamento.

**Figura 12 – Gráfico demonstrando variação dos diâmetros em função do peso.**



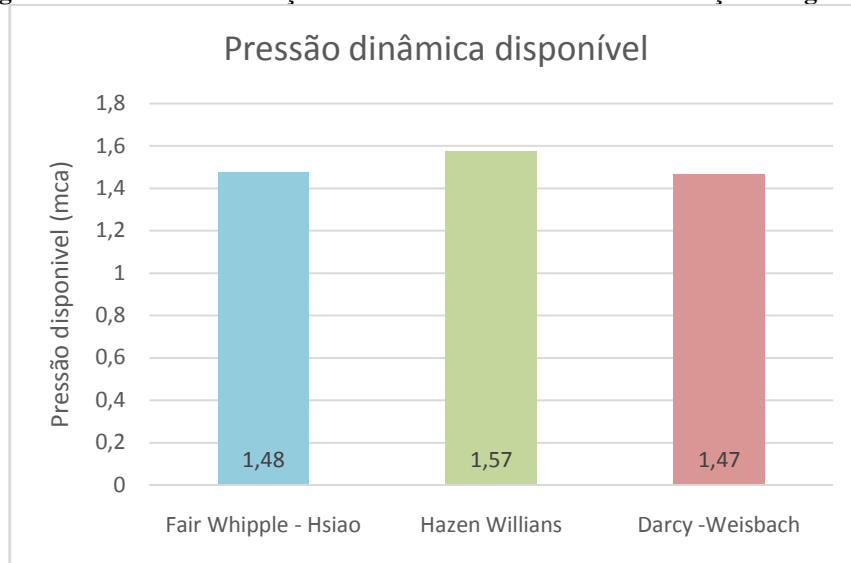
Fonte: Produção do autor (2015)

Ao construir o gráfico da figura 12 foi possível concluir que em nenhum caso o método de Fair Whipple deixará de ser o mais seguro entre os analisados, permitindo que o método por diâmetro em função do peso sempre será o mais econômico para determinação de diâmetros.

#### 4.2 PERDA DE CARGA E PRESSÕES

Foi possível observar na tabela 11 (ver 4.2.3) que Hazen Willians apresenta uma menor perda de carga em todas as situações de projeto, permitindo que a pressão calculada por esse método seja a maior, tornando-o mais econômico. É recomendada a sua utilização para o cálculo da pressão máxima, considerando que sua perda será mínima e logo a pressão máxima será maior que os outros métodos. Ao garantir essa pressão dentro dos limites normativos, garante-se a confiança em seu projeto.

**Figura 13 – Gráfico de relação entre diâmetro e trecho da tubulação de água fria.**



Fonte: Produção do autor (2015)

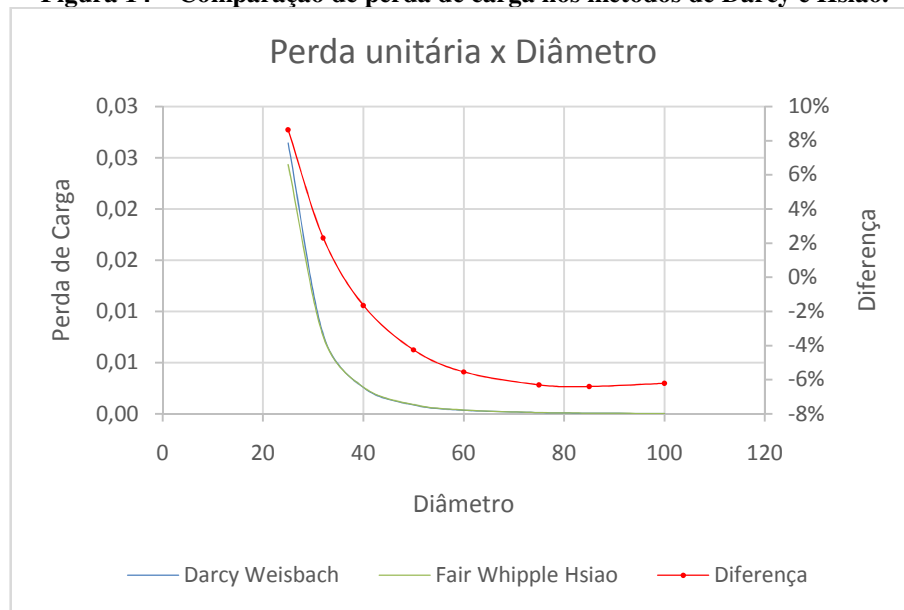
Em todo o ramal do apartamento, que se estende por um grande comprimento de tubulação, foi utilizado o diâmetro de 25 milímetros, o que atende uma vazão consideravelmente superior à vazão necessária. Normalmente esse diâmetro é escolhido, por ser mais viável comercialmente, pois raramente são vendidos tubos de diâmetros menores.

Na figura 13, é possível relatar a proximidade dos resultados do método de Hsiao aos resultados de Darcy Weisbach. Entendemos como seguro aquele método que nos traz a maior perda de carga, permitindo que a tubulação seja calculada com a pior possibilidade de pressão. O método mais seguro seguindo esse parâmetro foi o de Darcy Weisbach. Hazen Willians foi o método mais econômico para dimensionamento do projeto, pois apresentou a menor perda de carga e então a menor pressão.

Porém, ao projetar uma tubulação predial, chegando a uma pressão disponível dentro dos parâmetros da norma, Darcy Weisbach é o método mais confiável, pois garante que a tubulação seja dimensionada para a maior perda possível e, por conseguinte, a menor pressão disponível nos aparelhos de utilização.

Para verificar a relação entre eficiência dos métodos para o cálculo da pressão, foi comparada a perda de carga entre os métodos Darcy Weisbach, Hazen Willians e Fair Whipple Hsiao, com vazão e comprimento unitário.

**Figura 14 – Comparação de perda de carga nos métodos de Darcy e Hsiao.**

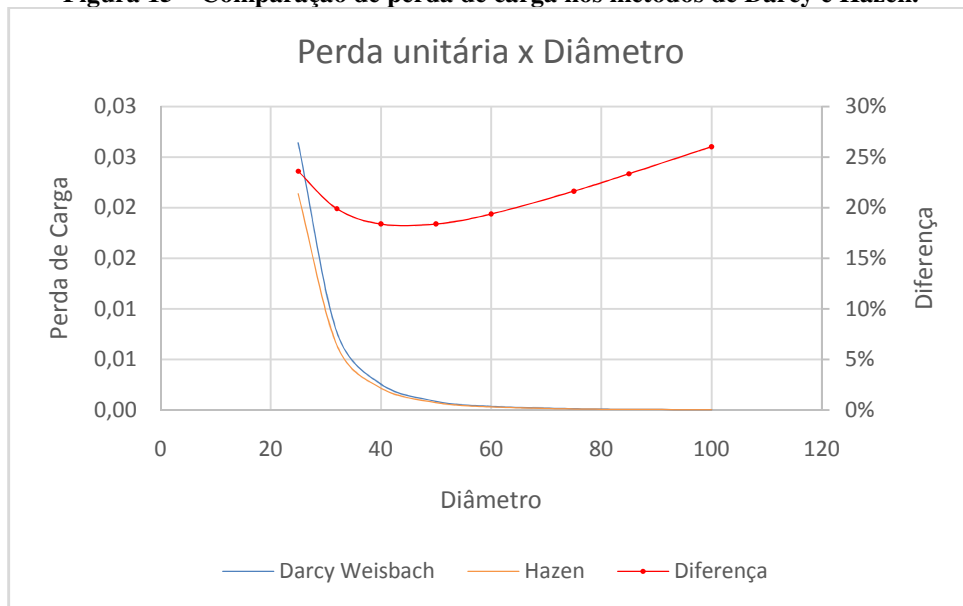


Fonte: Produção do autor (2015)

O gráfico presente na figura 14 representa a diferença de perda entre os métodos de Darcy e Hsiao. A diferença negativa demonstra que, acima de 32 mm, a perda de carga pelo método de Hsiao torna-se superior à perda de Darcy em até 6,30 %. A partir desse diâmetro Hsiao torna-se mais seguro por garantir que a tubulação seja projetada, considerando a pior possibilidade de perda. De forma análoga, nos diâmetros menores que 32 mm, Darcy Weisbach demonstra-se mais seguro.

A próxima comparação se dá aos métodos de Darcy e Hazen Willians, e evidencia que Darcy apresenta perdas superiores à Hazen em todos os diâmetros. Com diferença que tende a aumentar proporcionalmente ao diâmetro, conforme apresentado no gráfico da figura 15.

**Figura 15 – Comparação de perda de carga nos métodos de Darcy e Hazen.**



Fonte: Produção do autor (2015)

Para validar os dados obtidos através de perda por diâmetro e ter uma visão mais clara de quais métodos são viáveis e seguros, para os diâmetros mais comumente utilizados, fizemos uma análise variando os pesos e calculando as perdas por cada método em um diâmetro pré-definido.

**Figura 16 – Comparação de perda de carga com diâmetro de 25 mm.**



Fonte: Produção do autor (2015)

Para diâmetros de 25 milímetros (figura 16), com o aumento do peso, é percebido que Darcy Weisbach torna-se o método com maior perda de carga em todos os casos, e quando comparado aos outros métodos, quanto maior o peso, maior a discrepância do método

com os demais. Hazen Willians se define como método mais econômico até o peso 13, com o diâmetro determinado. Após esse peso, Hsiao se torna o método mais econômico entre os dois.

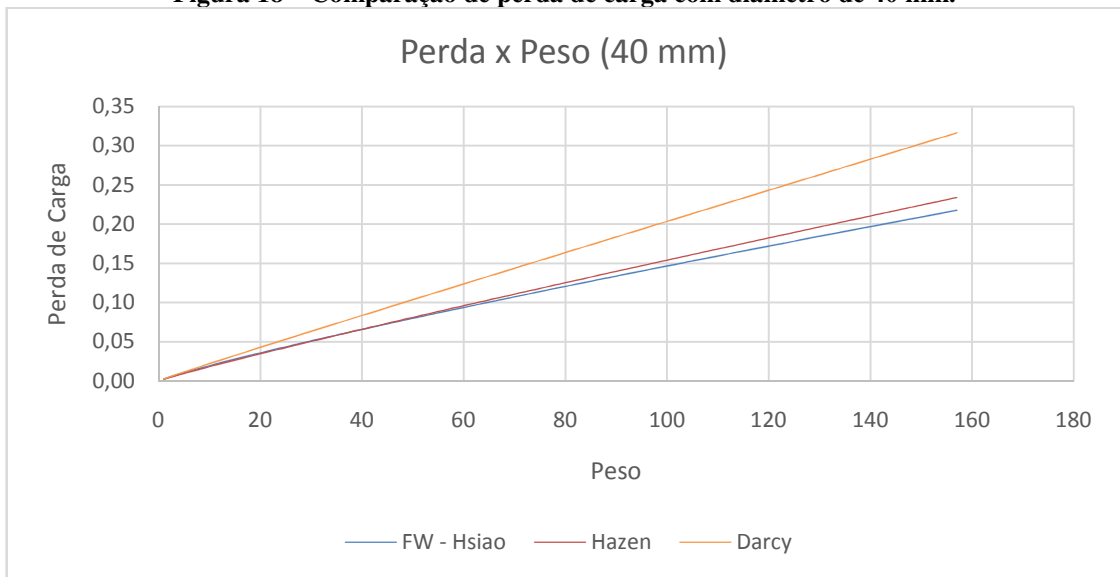
Fazendo a mesma análise para os diâmetros de 32 milímetros (figura 17), é notável que o mesmo fato se repete, porém Hsiao se torna mais econômico que Hazen Willians a partir do peso 23, comprovando uma relação de economia com pesos crescentes.

**Figura 17 – Comparação de perda de carga com diâmetro de 32 mm.**



Fonte: Produção do autor (2015)

É possível constatar que o mesmo fato se repetirá em todos os diâmetros, ao analisar os gráficos das figuras 18 e 19, porém com pesos diferentes, que foram determinados na tabela 13. É possível perceber uma relação diretamente proporcional do peso com o diâmetro. Caso o peso da tubulação esteja abaixo do valor da tabela, Hazen Willians será mais econômico que Hsiao. A partir dessa intersecção, Hsiao se torna o método mais econômico em todas as outras ocasiões.

**Figura 18 – Comparação de perda de carga com diâmetro de 40 mm.****Figura 19 – Comparação de perda de carga com diâmetro de 50 mm.****Tabela 13 – Peso para método econômico de perda de carga**

Diâmetro (mm)	Peso
25	13
32	23
40	38
50	65

Fonte: Produção do autor (2015)



Com essa relação, é possível estabelecer uma fórmula matemática para fácil determinação do peso onde ocorre essa intersecção no gráfico. Surge a fórmula da equação 25.

$$P = 0,0361 * D^2 - 0,674 * D + 7,3639 \quad (25)$$

Onde:

- $P$  = peso;
- $D$  = diâmetro;

Foi possível demonstrar, que no projeto escolhido para estudo, ao manter um peso inferior ao determinado pela equação 25 em relação a seu diâmetro, o método de Hsiao mostrou perda de carga e pressão semelhantes a Darcy.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho apresentou análises teóricas e estudo de caso para dimensionamento de tubulações hidráulicas prediais. Para isso foi utilizado um programa didático desenvolvido pelo autor, utilizando como base o software Microsoft Office Excel. Foi realizada uma análise satisfatória de todos os dados necessários para comparações matemáticas dos métodos escolhidos.

O estudo de caso ocorreu em um projeto hidráulico de um edifício residencial de padrão médio com quatro apartamentos por andar e cinco pavimentos tipo. Os parâmetros do projeto se encontram no apêndice A deste trabalho.

As análises teóricas e o estudo de caso levaram a conclusão de que não há um método que seja vantajoso em todos os parâmetros. Porém foi possível analisar as melhores ocasiões para a utilização de cada método.

Ao relacionar dois métodos para dimensionamento de diâmetro das tubulações, foi possível perceber que o método de Fair Whipple Hsiao sempre será mais seguro para determinar o diâmetro, visto que há maior probabilidade de atender as vazões necessárias do projeto. Embora seja o mais econômico, o método de diâmetro em função do peso tem uso permitido pela norma NBR 5626. Por apresentar o menor resultado, não devem ser usados diâmetros menores que os resultantes deste método.

Para iniciar o cálculo de pressão mínima nas tubulações, é necessário a determinação das perdas de carga em sua tubulação. O método mais conservador, que resulta na maior perda – e conseqüentemente a menor pressão possível – é o método de Darcy Weisbach. Porém, com pesos que atendem a equação 25 e diâmetro entre 32 e 40 milímetros, o método de Hsiao mostrou pouca variação ao de Darcy; entretanto, em maiores vazões, o método se mostra o mais econômico que Hazen Willians.

Recomenda-se a utilização de Hazen Willians para o cálculo da pressão máxima da tubulação, por apresentar uma menor perda de carga.

É sempre recomendável uma coletânea de todos os métodos para o melhor dimensionamento de um projeto. Isso resulta em maior segurança na obtenção de resultados e possibilita economia na escolha de materiais, garantindo a qualidade do projeto.

## REFERÊNCIAS

- ANDRADE, Leandro; CARVALHO, Jacinto de A.; **Análise da equação de Swamee-Jain para cálculo do fator de atrito**. Campina Grande, v. 5, n. 3, p. 554-557, Dec. 2001. Disponível em [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1415-43662001000300030&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662001000300030&lng=en&nrm=iso). Data de acesso: 04 de nov. de 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Instalação Predial de Água Fria: NBR 5626**. Rio de Janeiro, 1998.
- BRATER, E. F. et al. **Handbook of Hydraulics**. 7. ed. New York: McGraw-Hill, 1996. 307 p.
- BOTELHO, M. H. C., RIBEIRO JUNIOR, G. de A.. **Instalações Hidráulicas Prediais**. São Paulo: Editora Blucher, 4ª Edição, 407p. 2014.
- CAMARGO, L. A. **Análise de escoamento em condutos forçados: uso das equações de Darcy-Weisbach e de Colebrook-White**. Web-site HidroTecCalculador, Mai/2001.
- CARVALHO JUNIOR, R. 2013. **Instalações Hidráulicas e o Projeto de Arquitetura**. São Paulo: Editora Blucher, 6ª Edição, 342p. 2015.
- CREDER, H. 2006. **Instalações Hidráulicas e Sanitárias**. Rio de Janeiro: Editora Livros Técnicos e Científicos S A (LTC), 6ª Edição, 423p.
- FETTER JUNIOR, C. W., **Applied Hydrology**, Charles E. Merrill Publishing Co. Columbus, Ohio, 1980.
- FOX, R. W.; MCDONALD, A. T., PRITCHARD, P. J. **Introdução a mecânica dos fluidos**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2006.
- GHISI, E. **Instalações prediais de água fria**. 2004. Apostila de aula.
- MACINTYRE, A. J. **Instalações hidráulicas: prediais e industriais**. Rio de Janeiro: Editora Livros Técnicos e Científicos S A (LTC), 4ª ed, 2013.
- MELO, V. de O., NETTO, J. M. de A. **Instalações Prediais Hidráulico-Sanitárias**. São Paulo: Editora Blucher. 1ª ed, 1988.
- PACIEVITCH, Y.: **Excel**. Disponível em: <http://www.infoescola.com/informatica/excel/>. Data de acesso: 04 de nov. 2015.
- RETTORE NETO, O.; FRIZZONE, J. A.; MIRANDA, J. H.; BOTREL, T. A. **Perda de carga localizada em emissores não coaxiais integrados a tubos de polietileno**. 2009, vol.29, n.1, pp. 28-39.
- SCHNEIDER, P. S. **Medidores de Velocidade e de Vazão em Fluidos**, 2003. Apostila de Medições Térmicas, Engenharia Mecânica, UFRGS, Porto Alegre.

YNAJARA, E.: **Flujo sanguíneo en los vasos y cámaras cardíacas.** Disponible en: <<http://www.vetpraxis.net/2014/11/13/articulo-flujo-sanguineo-en-los-vasos-y-camaras-cardiacas-soplos-cardiacos/>>. Data de acceso: 04 de nov. 2015.

## ANEXO A

Os dados a seguir referem-se às normas vigentes do Corpo de Bombeiros Militar do Estado de Goiás para o dimensionamento do volume de reserva de combate a incêndio nos reservatórios de edificações. As figuras foram retiradas da Norma Técnica NT-22/2014.

O quadro a seguir mostra a determinação do tipo de construção:

**Quadro 1 – Determinação do tipo de sistema de proteção**

TIPO	ESGUICHO REGULÁVEL (DN)	MANGUEIRAS DE INCÊNDIO		NÚMERO DE EXPEDIÇÕES	VAZÃO MÍNIMA NA VÁLVULA DO HIDRANTE MAIS DESFAVORÁVEL (L/min)	PRESSÃO MÍNIMA NO HIDRANTE MAIS DESFAVORÁVEL (mca)
		DN (mm)	COMPRIMENTO (m)			
1	25	25	30	Simple	100	80
2	40	40	30	Simple	150	30
3	40	40	30	Simple	200	40
4	40	40	30	Simple	300	65
	65	65	30	Simple	300	30
5	65	65	30	Duplo	600	60

Fonte: (NT-22, 2014)

**Quadro A.2 – Determinação do volume de reserva técnica de incêndio**

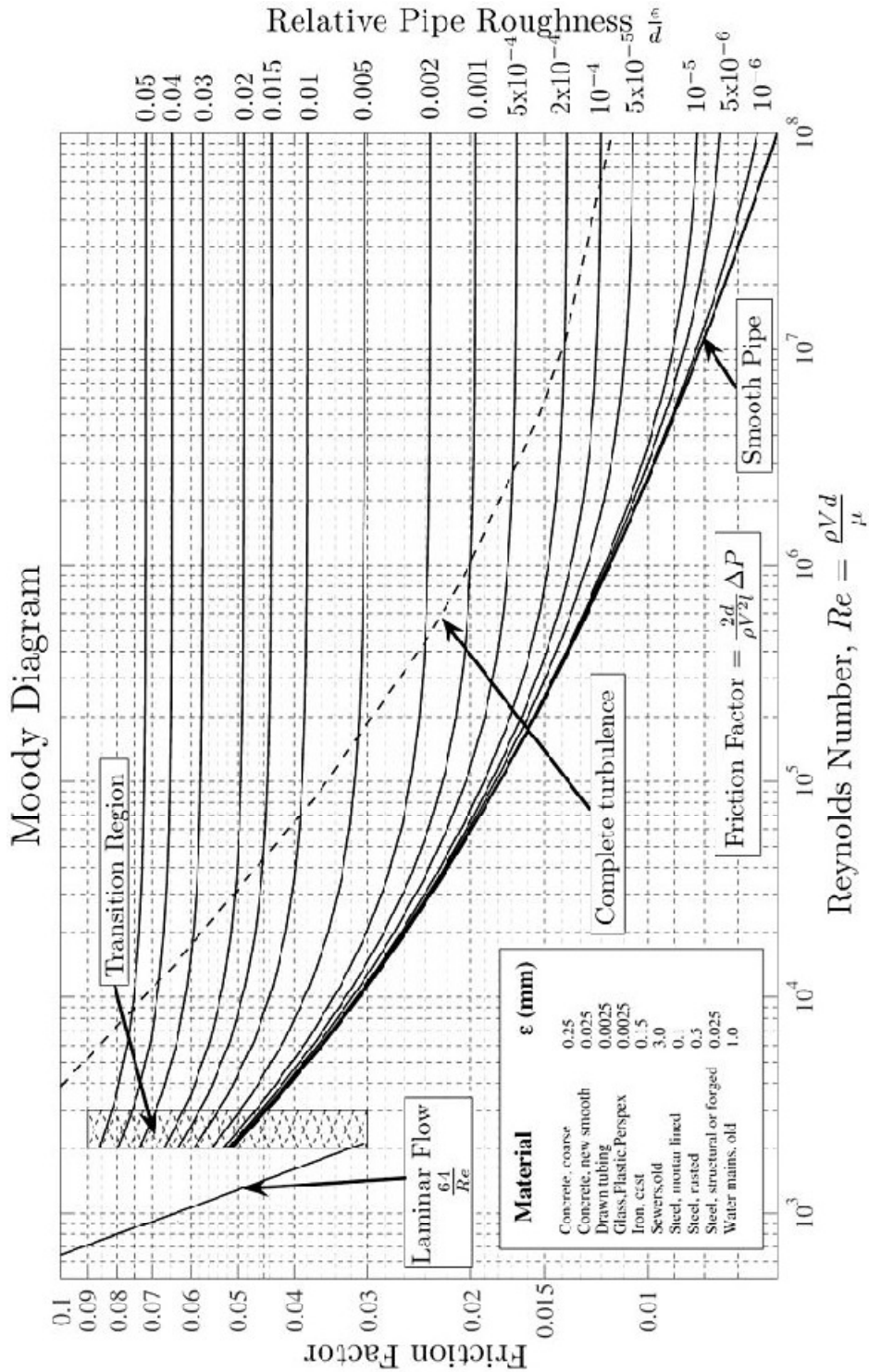
ÁREAS DAS EDIFICAÇÕES E ÁREAS DE RISCO	CLASSIFICAÇÃO DAS EDIFICAÇÕES E ÁREAS DE RISCO				
	A-2, A-3, C-1, D-1(até 300 MJ/m <sup>2</sup> ), D-2, D-3(até 300 MJ/m <sup>2</sup> ), E-1, E-, E-3, E-4, E-5, E-6, F-1 (até 300 MJ/m <sup>2</sup> ), F-2, F-3, F-4, F-8, G-1, G-2, G-3, G-4, H-1, H-2, H-3, H-5, H-6, I-1, J-1, J-2 e M-3	D-1 (acina de 300 MJ/m <sup>2</sup> ), D-3 (acina de 300 MJ/m <sup>2</sup> ), B-1, B-2, C-2 (acina de 300 MJ/m <sup>2</sup> ), C-3, F-1 (acina de 300 MJ/m <sup>2</sup> ), F-5, F-6, F-7, F-9, F-10, H-4, I-2 (acina de 300 até 800 MJ/m <sup>2</sup> ), J-2 e J-3 (acina de 300 até 800 MJ/m <sup>2</sup> ),	C-2 (acina de 1000 MJ/m <sup>2</sup> ), I-2 (acina de 800 MJ/m <sup>2</sup> ), J-3 (acina de 800 MJ/m <sup>2</sup> ),	G-5, I-3, J-4, L-2 e L-3	
Até 2.500 m <sup>2</sup>	Tipo 1 RTI 5 m <sup>3</sup>	Tipo 2 RTI 8 m <sup>3</sup>	Tipo 3 RTI 12 m <sup>3</sup>	Tipo 4 RTI 28 m <sup>3</sup>	Tipo 4 RTI 32 m <sup>3</sup>
Acima de 2.500 m <sup>2</sup> até 5.000 m <sup>2</sup>	Tipo 1 RTI 8 m <sup>3</sup>	Tipo 2 RTI 12 m <sup>3</sup>	Tipo 3 RTI 18 m <sup>3</sup>	Tipo 4 RTI 32 m <sup>3</sup>	Tipo 4 RTI 48 m <sup>3</sup>
Acima de 5.000 m <sup>2</sup> até 10.000 m <sup>2</sup>	Tipo 1 RTI 12m <sup>3</sup>	Tipo 2 RTI 18 m <sup>3</sup>	Tipo 3 RTI 25 m <sup>3</sup>	Tipo 4 RTI 48 m <sup>3</sup>	Tipo 4 RTI 64 m <sup>3</sup>
Acima de 10.000 m <sup>2</sup> até 20.000 m <sup>2</sup>	Tipo 1 RTI 18 m <sup>3</sup>	Tipo 2 RTI 25 m <sup>3</sup>	Tipo 3 RTI 35 m <sup>3</sup>	Tipo 4 RTI 64 m <sup>3</sup>	Tipo 4 RTI 96 m <sup>3</sup>
Acima de 20.000 m <sup>2</sup> até 50.000 m <sup>2</sup>	Tipo 1 RTI 25 m <sup>3</sup>	Tipo 2 RTI 35 m <sup>3</sup>	Tipo 3 RTI 48 m <sup>3</sup>	Tipo 4 RTI 96 m <sup>3</sup>	Tipo 4 RTI 120 m <sup>3</sup>
Acima de 50.000 m <sup>2</sup>	Tipo 1 RTI 35 m <sup>3</sup>	Tipo 2 RTI 48 m <sup>3</sup>	Tipo 3 RTI 70 m <sup>3</sup>	Tipo 4 RTI 120 m <sup>3</sup>	Tipo 4 RTI 180 m <sup>3</sup>

Fonte: (NT-22, 2014)

ANEXO B

Ábaco de Moody para determinação do fator de fricção de tubulação.

Figura 20 – Ábaco de Moody para determinação do fator de fricção.

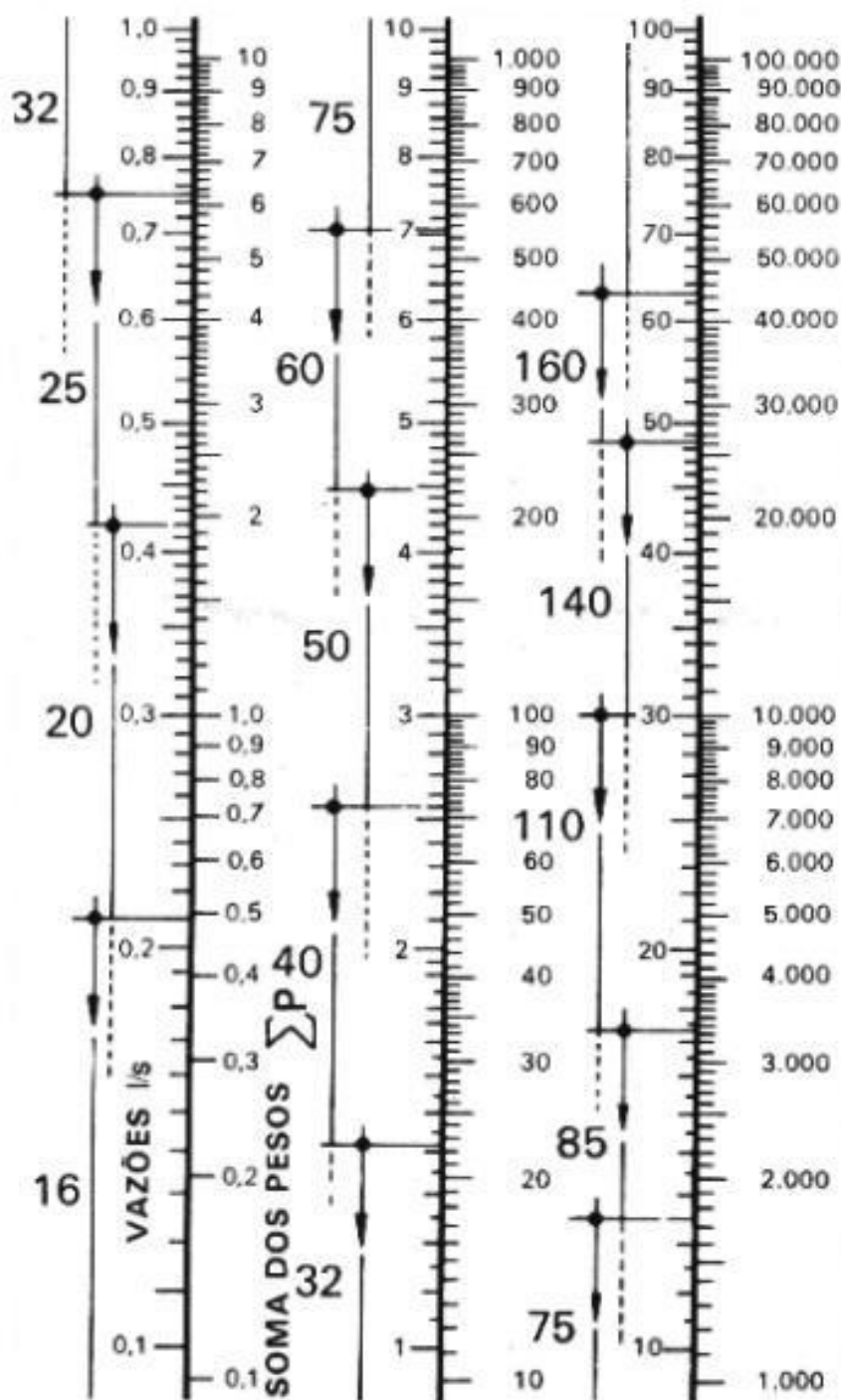


Fonte: GHISI (2004)

## ANEXO C

Ábaco para determinação do diâmetro em função da vazão e peso em sistemas hidráulicos prediais.

Figura 21 – Ábaco de diâmetro x peso



Fonte: BOTELHO (2014)