

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

**Otávio Silva Camargo**

**IMPLANTAÇÃO DE SISTEMA DE RECIRCULAÇÃO DE  
ÁGUA QUENTE EM INSTALAÇÕES HIDRÁULICAS  
PREDIAIS: ANÁLISE DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E  
CONSUMO DE ÁGUA**

Porto Alegre  
dezembro 2015



**OTÁVIO SILVA CAMARGO**

**IMPLANTAÇÃO DE SISTEMA DE RECIRCULAÇÃO DE  
ÁGUA QUENTE EM INSTALAÇÕES HIDRÁULICAS  
PREDIAIS: ANÁLISE DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E  
CONSUMO DE ÁGUA**

Trabalho de Diplomação apresentado ao Departamento de  
Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal  
do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do  
título de Engenheiro Civil

**Orientador: Juan Martin Bravo**

Porto Alegre  
dezembro 2015



**OTÁVIO SILVA CAMARGO**

**IMPLANTAÇÃO DE SISTEMA DE RECIRCULAÇÃO DE  
ÁGUA QUENTE EM INSTALAÇÕES HIDRÁULICAS  
PREDIAIS: ANÁLISE DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E  
CONSUMO DE ÁGUA**

Este Trabalho de Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL e aprovado em sua forma final pelo Professor Orientador e pela Coordenadora da disciplina Trabalho de Diplomação Engenharia Civil II (ENG01040) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, dezembro de 2015

Prof. Juan Martin Bravo  
Dr. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Orientador

Prof. Gino Roberto Gehling  
Dr. pela Universitat Politècnica de Catalunya  
Revisor

**BANCA EXAMINADORA**

**Prof. Dieter Wartchow (IPH - UFRGS)**  
Dr. pela Universität Stuttgart

**Profa. Daniela Guzzon Senagiotto (IPH - UFRGS)**  
Dra. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

**Prof. Paulo Rógenes Monteiro Pontes (UNISINOS)**  
Me. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul



Dedico este trabalho a meus pais, Osvaldo e Marisa, que sempre me apoiaram e especialmente durante o período do meu Curso de Graduação estiveram ao meu lado.



## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço ao Prof. Juan Martin Bravo, orientador deste trabalho, pela ajuda prestada sempre que necessário no desenvolvimento dessa pesquisa.



A sorte favorece a mente bem preparada.

*Louis Pasteur*



## RESUMO

Este trabalho buscou obter dados comparativos em termos de custos fixos e variáveis para dois tipos de instalações hidráulicas prediais projetadas para um mesmo prédio hipotético localizado na cidade de Porto Alegre. O objetivo principal foi comparar uma instalação hidráulica com sistema de aquecimento de água do tipo central privado com aquecedor de passagem a gás, com outra instalação menos recorrente em prédios residenciais baseada em uma central coletiva de aquecimento com recirculação da água quente das colunas de distribuição. O propósito desta comparação foi a obtenção de uma referência que possa ser utilizada em concepções futuras de projetos hidráulicos, visando questões de custo pertinentes ao contexto onde esses novos projetos serão executados. Para se obter esses dados comparativos de custo foi feita a escolha de uma planta arquitetônica que permitisse o lançamento de quaisquer um dos dois projetos visando a máxima economia de gás e água. Para o projeto com sistema central coletivo de aquecimento, foram estudadas três alternativas de isolamento do circuito de recirculação (polietileno, lã de vidro e isopor); e para cada alternativa de isolamento foram gerados um orçamento e uma análise de custos mensais de gás e água para serem comparados aos mesmos dados obtidos para o projeto central privado de aquecimento de água. Os resultados finais mostraram que a instalação central coletiva de aquecimento geralmente apresenta custos de instalação significativamente inferiores aos custos de uma instalação central privada, devido principalmente ao custo dos aquecedores, onde se mostrou mais onerosa a instalação de um aquecedor de passagem por apartamento frente a instalação de uma caldeira para atender todo o prédio. Na comparação do sistema central coletivo de aquecimento com a melhor alternativa de isolante térmico (isopor), com a outra opção de aquecimento de água, foi visto que a segunda alternativa possui um custo operacional (referente ao consumo mensal de gás e água) R\$ 356,30 inferior à opção com central coletiva. Porém, o desperdício mensal de água das instalações com central privada foi 2,3 vezes superior. Por fim, se concluiu que a economia mensal de gás e água do sistema central privado paga sua diferença no custo de implantação de R\$ 42.691,00 em um horizonte de tempo de 19 anos, considerando-se uma taxa de juros de 8% a.a.; porém, deve sempre ser analisada a viabilidade de instalação do sistema com central coletiva de aquecimento, visando a diminuição do desperdício de água e a economia de água.

**Palavras-chave:** Eficiência Energética. Instalações Hidráulicas Prediais. Economia de Água.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Diagrama das etapas do trabalho.....	21
Figura 2 – Exemplos de sistemas de distribuição de água fria e água quente.....	24
Figura 3 – Detalhe de um ramal de abastecimento.....	25
Figura 4 – Sistema ascendente de distribuição.....	30
Figura 5 – Sistema descendente de distribuição.....	30
Figura 6 – Sistema misto de distribuição.....	31
Figura 7 – Detalhe de uma instalação de banheiro com tubulações de PEX utilizadas em sub-ramais de água quente e água fria.....	35
Figura 8 – Representação em vermelho das tubulações que formam o circuito de recirculação considerado no cálculo da bomba de recirculação.....	48
Figura 9 – Seção transversal de um tubo com isolamento térmico.....	52
Figura 10 – Pavimento tipo do prédio estudado.....	53
Figura 11 – Esquema vertical das instalações de água fria do sistema de aquecimento central privado.....	55
Figura 12 – Esquema vertical das instalações de água fria do sistema de aquecimento central coletivo.....	56
Figura 13 – Isométrica referente às instalações atendidas pelas CAQ's 2, 3, 6 e 7.....	58
Figura 14 – Primeira parte das instalações atendidas pelas CAQ's 1, 4, 5, e 8.....	59
Figura 15 – Segunda parte das instalações atendidas pelas CAQ's 1, 4, 5, e 8.....	59
Figura 16 – Isométrica 1: CAF's 2, 3, 6 e 7 do sistema central privado.....	60
Figura 17 – Isométrica 2: CAF's 1, 4, 5 e 8 do sistema central privado.....	60
Figura 18 – Isométrica 3: CAF's 1, 4, 5 e 8 do sistema central privado.....	61
Figura 19 – Gráfico comparativo de custos de instalação de cada sistema.....	73
Figura 20 – Gráfico comparativo de custos de operação de cada sistema.....	74



## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Diâmetros nominais (DN) e internos (DI) de tubulações oferecidas no mercado para diferentes materiais.....	35
Quadro 2 – Coeficientes de condutibilidade térmica de tubulações e isolantes.....	36
Quadro 3 – Estimativa de população em prédios para projeto hidráulico de água fria.....	37
Quadro 4 – Estimativa de consumo de água para projetos hidráulicos de água fria.....	38
Quadro 5 – Pesos relativos dos pontos de utilização.....	42
Quadro 6 – Comprimento equivalente para peças de tubulações de plástico.....	43
Quadro 7 – Diâmetros mínimos para sub-ramais.....	44
Quadro 8 – Estimativas para consumo diário de água quente.....	45
Quadro 9 – Estimativa da população de edifícios para cálculo do consumo diário de água quente.....	45
Quadro 10 – Velocidades e vazões máximas em função dos diâmetros das tubulações...	48
Quadro 11 – Volume interno dos ramais para os projetos com sistema central coletivo de aquecimento e sistema central privado.....	64
Quadro 12 – Hipóteses de frequências diárias de drenagem dos ramais devido ao possível resfriamento da água.....	64
Quadro 13 – Desperdício hipotético diário e mensal de água nas duas instalações considerando condições iguais de uso para ambas.....	71
Quadro 14 – Custos mensais de GLP.....	72
Quadro 15 – Detalhe dos custos de implantação dos projetos hidráulicos estudados.....	72
Quadro 16 – Resumo dos custos referentes a cada sistema.....	73



## **LISTA DE SIGLAS**

CAF – Coluna de Água Fria

CAQ – Coluna de Água Quente

CUB – Custo Unitário Básico

DMAE – Departamento Municipal de Água e Esgotos de Porto Alegre

GLP – gás liquefeito de petróleo

Inmet – Instituto Nacional de Meteorologia

VRP – Válvula Redutora de Pressão



## LISTA DE SÍMBOLOS

- CD – consumo diário de água fria em um prédio (L/dia)
- $C_p$  – calor específico da água (1 kcal/kg°C)
- $d_i$  – diâmetro interno de um tubo (mm)
- $D_i$  – diâmetro interno de um tubo (m)
- $D_n$  – diâmetro nominal de um tubo (m)
- H – altura manométrica (mca)
- $h_r$  – altura de recalque do bombeamento (m)
- $h_s$  – altura de sucção do bombeamento (m)
- J – perda de carga unitária (kPa/m)
- $J_r$  – perda de carga na tubulação de recalque (m)
- $J_s$  – perda de carga na tubulação de sucção (m)
- k – coeficiente de condutibilidade térmica de um material (w/m°C)
- $k'$  – taxa de calor para cálculo de retorno da circulação (kcal/min)
- N – potência da bomba (cv)
- m – vazão em massa (kg/min)
- PCI – poder calorífico inferior de um gás combustível (kcal/m<sup>3</sup>)
- pk – potência calorífica (kcal/h)
- q – vazão (L/s)
- Q – vazão (m<sup>3</sup>/s)
- qk – taxa de transferência de calor (w/m ou kcal/m.h)

$r_e$  – raio externo da seção de uma tubulação ou isolante térmico (mm)

$r_i$  – raio interno da seção de uma tubulação ou isolante térmico (mm)

$R_t$  – resistência térmica de uma tubulação ou isolante térmico ( $m^{\circ}C/w$ )

$T_{AF}$  – temperatura da água fria no inverno ( $^{\circ}C$ )

$T_{AQ}$  – temperatura da água quente ( $^{\circ}C$ )

$T_e$  – temperatura externa à tubulação ( $^{\circ}C$ )

$T_i$  – temperatura interna da tubulação ( $^{\circ}C$ )

$T_{MIST}$  – temperatura da água morna ( $^{\circ}C$ )

$v$  – velocidade de escoamento (m/s)

$V$  – consumo de gás ( $m^3/h$ )

$V_{AQ}$  – volume de água quente (L)

$V_{MIST}$  - volume de água morna consumida diariamente em uma residência ou prédio (L)

$V_0^2/2g$  – energia cinética fornecida pela bomba na sucção (m)

$X$  – fração das 24 horas do dia que a bomba de recalque trabalha

$\gamma$  – peso específico da água ( $1000kgf/m^3$ )

$\Delta t$  – tempo de aquecimento da água (h)

$\Delta T$  – diferença de temperatura ( $^{\circ}C$ )

$\eta$  – rendimento da bomba

$\Sigma P$  – somatório de pesos para um trecho de tubulação

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>15</b>
<b>2 DIRETRIZES DA PESQUISA.....</b>	<b>19</b>
2.1 QUESTÃO DE PESQUISA.....	19
2.2 OBJETIVOS DO TRABALHO.....	19
<b>2.2.2 Objetivo principal.....</b>	<b>19</b>
<b>2.2.2 Objetivo secundário.....</b>	<b>19</b>
2.3 PRESSUPOSTO .....	20
2.4 DELIMITAÇÕES.....	20
2.5 LIMITAÇÕES.....	20
2.6 DELINEAMENTO.....	21
<b>3 INSTALAÇÕES HIDRÁULICAS PREDIAIS.....</b>	<b>23</b>
3.1 INSTALAÇÕES PREDIAIS DE ÁGUA FRIA.....	24
<b>3.1.1 Características gerais de uma instalação de água fria.....</b>	<b>25</b>
<b>3.1.2 Características de um sistema indireto de distribuição.....</b>	<b>26</b>
3.2 INSTALAÇÕES PREDIAIS DE ÁGUA QUENTE.....	27
<b>3.2.1 Classificação quanto ao sistema de aquecimento de água.....</b>	<b>27</b>
3.2.1.1 Aquecimento individual.....	27
3.2.1.2 Aquecimento central privado.....	28
3.2.1.3 Aquecimento central coletivo.....	28
<b>3.2.2 Classificação quanto ao sistema de distribuição de água quente.....</b>	<b>28</b>
3.2.2.1 Distribuição simples.....	31
3.2.2.2 Distribuição com recirculação.....	32
<b>3.2.3 Materiais utilizados em instalações prediais de água quente.....</b>	<b>33</b>
3.2.3.1 Tubulações.....	34
3.2.3.2 Isolantes.....	36
<b>4 DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO E PERDAS DE CALOR.....</b>	<b>37</b>
4.1 DIMENSIONAMENTO DAS INSTALAÇÕES DE ÁGUA FRIA.....	37
<b>4.1.1 Ramal predial e Alimentador predial.....</b>	<b>38</b>
<b>4.1.2 Reservatórios.....</b>	<b>39</b>
<b>4.1.3 Sistema de recalque.....</b>	<b>40</b>
<b>4.1.4 Rede de distribuição.....</b>	<b>41</b>
4.2 DIMENSIONAMENTO DAS INSTALAÇÕES DE ÁGUA QUENTE.....	45
<b>4.2.1 Sistema de recirculação.....</b>	<b>46</b>

<b>4.2.2 Aquecedores.....</b>	<b>48</b>
4.3 PERDA DE CALOR EM TUBULAÇÕES DE ÁGUA QUENTE.....	51
<b>5 PROJETOS HIDRÁULICOS.....</b>	<b>53</b>
5.1 PROJETOS HIDRÁULICOS DE ÁGUA FRIA.....	54
5.2 PROJETOS HIDRÁULICOS DE ÁGUA QUENTE.....	56
<b>5.2.1 Escolha da caldeira.....</b>	<b>56</b>
<b>5.2.2 Escolha do aquecedor de passagem.....</b>	<b>57</b>
<b>5.2.3 Considerações sobre o dimensionamento das tubulações de água quente.....</b>	<b>57</b>
<b>6 ANÁLISE DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E CONSUMO DE ÁGUA.....</b>	<b>63</b>
6.1 CONSUMO DE ÁGUA.....	63
6.2 CONSUMO DE GÁS.....	65
<b>6.2.1 Temperatura ambiente considerada nas simulações de consumo de gás.....</b>	<b>65</b>
<b>6.2.2 Procedimentos de cálculo do consumo mensal de gás.....</b>	<b>66</b>
6.2.2.1 Cálculo do consumo de gás para o sistema central coletivo de aquecimento.....	67
6.2.2.2 Cálculo do consumo de gás para o sistema central privado de aquecimento.....	68
<b>7 ELABORAÇÃO DOS ORÇAMENTOS.....</b>	<b>69</b>
<b>8 RESULTADOS.....</b>	<b>71</b>
8.1 CUSTO DO DESPÉRDICIO MENSAL DE ÁGUA.....	71
8.2 CUSTO ENERGÉTICO MENSAL DAS INSTALAÇÕES.....	71
8.3 CUSTO DE IMPLANTAÇÃO DE CADA SISTEMA.....	72
8.4 ANÁLISE GERAL DOS CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO E OPERAÇÃO.....	73
<b>9 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>75</b>
REFERÊNCIAS .....	77
APÊNDICE A.....	79
APÊNDICE B.....	89
APÊNDICE C.....	95
APÊNDICE D.....	101
APÊNDICE E.....	107

## 1 INTRODUÇÃO

Instalações prediais de água quente são imprescindíveis nos dias de hoje em projetos hidráulicos de prédios residenciais ou até mesmo de residências unifamiliares, nos quais se deseja um maior conforto para o usuário através de um sistema que abasteça com água quente diversos pontos de utilização como chuveiros, pias e equipamentos especiais em lavanderias e cozinhas.

Segundo Macintyre (2010, p. 325), os sistemas de aquecimento de água estão divididos em três modalidades:

- a) individual – sistema dimensionado para atender um só aparelho;
- b) central privado – sistema dimensionado para atender vários pontos dentro de uma casa ou apartamento;
- c) central coletivo – sistema baseado em uma central de aquecimento de água que atende todas as unidades de uma edificação.

No sistema individual, o aquecimento da água pode ser realizado pelo próprio aparelho, como é o caso dos chuveiros e torneiras elétricas – caso em que não há a necessidade de prever uma instalação hidráulica de água quente –, mas também pode ser utilizado um aquecedor de passagem a gás para alimentar apenas um aparelho.

Os sistemas centrais privados, ao contrário dos individuais, necessitam de uma instalação hidráulica de água quente mais elaborada para que se possa aquecer a água e distribuí-la entre os diversos pontos de utilização dentro de uma residência levando-se em conta o conforto do usuário, a eficiência energética e a economia de água no processo de aquecimento. Neste sistema são geralmente utilizados aquecedores de passagem, aquecedores de acumulação elétricos (*boiler* elétrico) e aquecedores de acumulação a gás (*boiler* a gás); e, em instalações hidráulicas de casas, também se utiliza sistemas de aquecimento de água por energia solar.

Nos sistemas centrais coletivos, geralmente, são utilizadas caldeiras a gás ou a óleo, e as instalações hidráulicas que podem ser implementadas neste caso são divididas em duas principais categorias quanto à distribuição da água: simples (quando não há sistema de recirculação) e com recirculação (MACINTYRE, 2010, p. 337).

Ainda segundo Macintyre (2010, p.337, grifo do autor):

**Distribuição sem [re]circulação.** A instalação consiste simplesmente em uma tubulação que sai da parte superior do *storage* e da qual, em cada pavimento, parte uma derivação alimentando os aparelhos [...].

**Inconveniente** [da distribuição sem recirculação]: ao abrir uma torneira, é preciso esperar que se esvazie a tubulação do ramal até se obter água quente, o que resulta em desperdício de água. Isto porque o ramal não costuma ser isolado termicamente, havendo, portanto, uma dissipação de calor durante o período em que se deixou de consumir água quente.

**Distribuição com [re]circulação.** Na distribuição com [re]circulação a água quente circula constantemente na tubulação pelo princípio do termossifão (a água quente, sendo menos densa, tende a elevar-se), auxiliado quando necessário por bombas de [re]circulação. Gasta-se de 10 a 15% mais combustível para provocar a [re]circulação da água quando não se faz o bombeamento, uma vez que a água nesse caso deve ser aquecida a uma temperatura mais elevada.

Nos sistemas centrais privados de aquecimento de água, que são largamente utilizados em prédios residenciais, se observa o mesmo problema de desperdício de água dos sistemas centrais coletivos sem recirculação. Neste caso o aquecedor fica localizado em uma peça do apartamento com a devida ventilação (caso dos aquecedores de passagem a gás), ou em um ponto central acima do forro (caso dos *boilers*) e muitas vezes o percurso do aquecedor até o ponto de utilização é muito longo, havendo assim um acúmulo considerável de água dentro dessa tubulação que, quando esfria através da dissipação de calor nas paredes do tubo, tem que ser drenada para se obter uma água quente na temperatura ideal para o conforto do usuário, resultando em um desperdício de água.

Com a crescente escassez de água que o Brasil vem enfrentando nos últimos anos pela redução dos níveis de seus reservatórios – que está resultando não só em uma crise de abastecimento dos centros urbanos mas também do setor energético que possui 64,1% da sua energia proveniente de usinas hidrelétricas (BRASIL, 2014) – torna-se imprescindível que o projetista hidráulico estude qual o melhor sistema de aquecimento de água que deve ser implantado, visando não só o custo de instalação mas também o custo operacional e o impacto gerado por este quanto à eficiência energética e ao consumo de água. Tendo em vista estes preceitos, foi efetuada no presente trabalho uma análise comparativa quanto ao consumo de água e à eficiência energética entre o sistema central privado de aquecimento de água – sem recirculação – e o sistema central coletivo com recirculação, projetados para um prédio residencial hipotético de 10 andares localizado na cidade de Porto Alegre, Rio Grande do Sul. Este trabalho terá como

objetivo fornecer uma referência teórica quanto ao sistema de aquecimento de água mais econômico operacionalmente.



## **2 DIRETRIZES DA PESQUISA**

As diretrizes para desenvolvimento do trabalho são descritas nos próximos itens.

### **2.1 QUESTÃO DE PESQUISA**

A questão de pesquisa do trabalho é: quais as diferenças de custo com a implantação de um sistema central coletivo de água quente com recirculação frente ao sistema tradicional privado, com aquecedor de passagem e sem recirculação, levando-se em conta a instalação e a operação para um prédio padrão em Porto Alegre?

### **2.2 OBJETIVOS DO TRABALHO**

Os objetivos do trabalho estão classificados em principal e secundário e são descritos a seguir.

#### **2.2.1 Objetivo principal**

O objetivo principal do trabalho é a análise dos custos de instalação e operação de um sistema central coletivo de água quente com recirculação e de um sistema central privado tradicional, com aquecedor de passagem a gás e sem recirculação, para que no final possa se obter dados comparativos entre esses dois tipos de instalações e verificar a importância que a recirculação da água tem dentro desse panorama de custos.

#### **2.2.2 Objetivo secundário**

O objetivo secundário do trabalho é fazer a apresentação dos projetos e detalhamento das instalações de água quente nas duas modalidades estudadas.

## 2.3 PRESSUPOSTO

O trabalho tem por pressuposto que os métodos de cálculo de dissipação de calor obtidos da bibliografia fornecem resultados satisfatórios para a eficiência energética de uma instalação hidráulica de água quente.

## 2.4 DELIMITAÇÕES

O trabalho delimita-se a analisar instalações de água quente projetadas para um prédio hipotético de 10 andares e 40 apartamentos localizado na cidade de Porto Alegre.

## 2.5 LIMITAÇÕES

São limitações do trabalho:

- a) os cálculos de eficiência energética das instalações foram feitos através de equações obtidas da bibliografia de referência que foram aplicadas em cima de um panorama de consumo diário de água quente – obtido em norma para o tipo de habitação abordada –; a temperatura ambiente considerada foi a menor média mensal de temperaturas médias diárias da cidade de Porto Alegre – obtida de dados do Inmet<sup>1</sup> –; e o material escolhido para as tubulações de água quente de ambos os projetos foi o polipropileno (PPR), revestido com isolante térmico onde foi necessário;
- b) o custo do material, que entrou no orçamento dos dois projetos analisados, foi levantado em lojas da região metropolitana de Porto Alegre;
- c) o custo da mão de obra que entrou nos orçamentos foi calculado de acordo com o CUB<sup>2</sup> da classe construtiva do prédio;
- d) foi feita uma comparação entre uma instalação de água quente com sistema de aquecimento coletivo efetuado por uma caldeira com recirculação de água e um sistema central privado com aquecedor de passagem a gás e sem recirculação;
- e) o combustível utilizado em ambos os aquecedores foi o gás liquefeito de petróleo – GLP.

---

<sup>1</sup> Instituto Nacional de Meteorologia

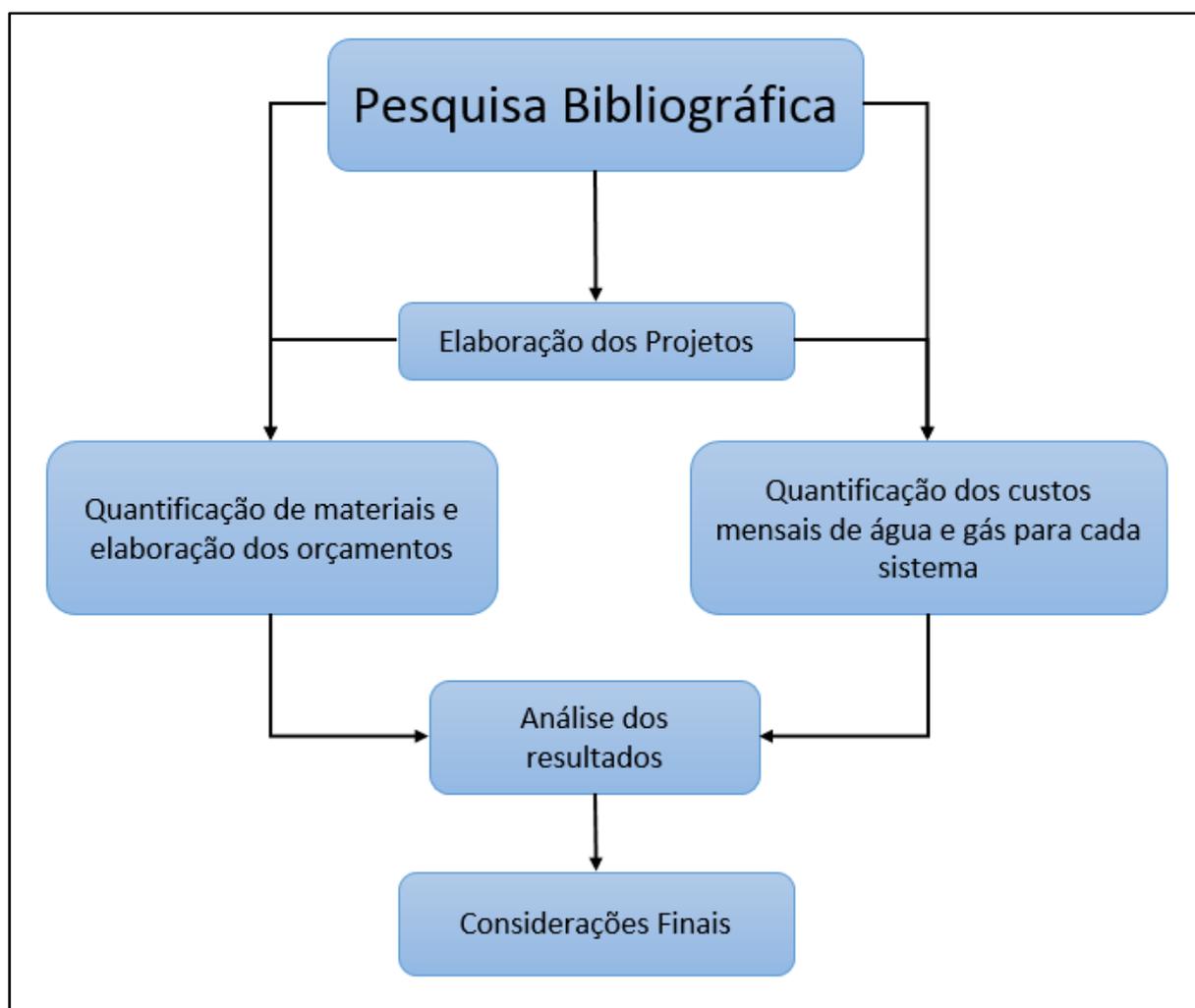
<sup>2</sup> Custo Unitário Básico

## 2.6 DELINEAMENTO

O trabalho foi realizado através das etapas apresentadas a seguir, que estão representadas na figura 1, e são descritas nos próximos parágrafos:

- a) pesquisa bibliográfica;
- b) elaboração dos projetos;
- c) quantificação dos materiais e elaboração dos orçamentos;
- d) quantificação dos custos mensais de água e gás para cada sistema;
- e) análise dos resultados obtidos;
- f) considerações finais.

Figura 1 – Diagrama das etapas do trabalho



(fonte: elaborado pelo autor)

A primeira etapa do trabalho constituiu basicamente da pesquisa bibliográfica, quando se procurou obter profundo conhecimento do assunto abordado através da consulta dos livros de instalação hidráulica, das normas técnicas relacionadas ao tema, dos catálogos de fabricantes de equipamentos hidráulicos e dos decretos e leis aplicáveis à cidade de Porto Alegre, cidade escolhida para a localização do empreendimento hipotético estudado. A pesquisa bibliográfica foi feita com maior intensidade em um primeiro momento, mas se estendeu ao longo de toda elaboração do trabalho, visto que é imprescindível que eventualmente se faça consultas na bibliografia técnica para se tentar contornar questões que surgem ao longo da elaboração dos projetos, orçamentos e das análises de comportamento do sistema.

Na segunda etapa do trabalho foram elaborados os projetos com o auxílio dos softwares Microsoft Excel, para dimensionamentos, e o AutoCAD, para desenhos e detalhamentos de projeto; sendo possível apresentar nesta versão final as soluções adotadas no traçado das instalações dentro do prédio, e para se ter um melhor nível de detalhe que facilitasse a elaboração dos orçamentos e a simulação de eficiência energética das instalações. Juntamente com o dimensionamento das tubulações, foi feita, com o auxílio da planilha eletrônica do Excel, a quantificação do volume interno das tubulações e da taxa de transferência de calor ao longo das mesmas, que posteriormente foram usados na estimativa de consumo mensal de água e gás das instalações.

Após a segunda etapa, quando foram elaborados os dois projetos hidráulicos de água quente, foi dado início à etapa de levantamento de quantitativos e cotação de preços dos materiais junto aos fornecedores localizados na região metropolitana de Porto Alegre. Nesta etapa foram quantificados os custos de instalação dos dois sistemas que entraram na análise final de custos. Paralelamente à orçamentação dos projetos, foi elaborada uma planilha para calcular o consumo mensal de gás e água através dos dados de dissipação de calor e volume interno das tubulações obtidos no dimensionamento da rede.

Por fim, com todos os resultados de custo em mãos, se chegou na etapa de análise dos resultados, onde os dados foram organizados e apresentados em forma de gráficos para facilitar o entendimento. A partir desta etapa pôde se conhecer a resposta à pergunta deste trabalho, de onde se tiraram as conclusões da pesquisa.

### 3 INSTALAÇÕES HIDRÁULICAS PREDIAIS

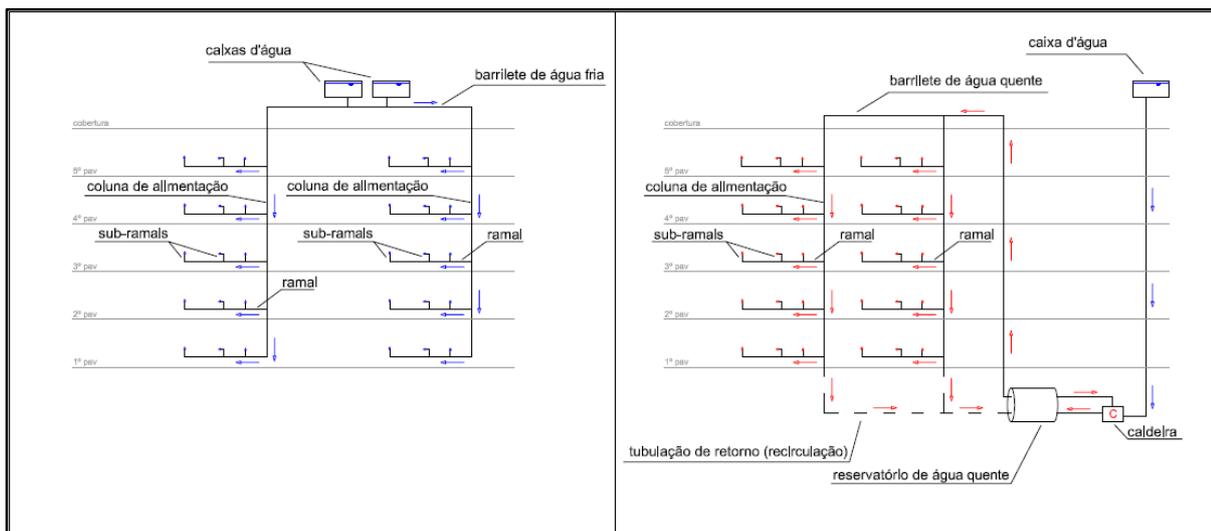
Foi feita nesse capítulo uma revisão geral das instalações hidráulicas prediais de água potável, no que se refere às instalações de água fria – item indispensável em qualquer residência – e às instalações de água quente, que dependem, para seu funcionamento, das instalações de água fria e que são o foco principal deste trabalho.

Abaixo foi feita uma descrição dos componentes de um sistema de distribuição de água, quente e fria, que serão mencionados ao longo do texto (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1998; ILHA et al., 1994; MACINTYRE, 2010):

- a) **barrilete:** tubulação horizontal que fica posicionada geralmente na cobertura do prédio conectada aos reservatórios de água e fazem a distribuição dessa água entre as colunas de alimentação (o barrilete é um item sempre presente em instalações de água fria mas pode aparecer em instalações de água quente com sistema de aquecimento central coletivo, onde a água é aquecida em uma central de aquecimento e distribuída entre os apartamentos por colunas de alimentação);
- b) **colunas de alimentação:** são as tubulações que derivam do barrilete e descem até o primeiro pavimento para distribuir a água – no caso de instalações de água fria ou de distribuição descendente de água quente em sistemas centrais coletivos de aquecimento – ou derivam do reservatório de água quente no térreo para levar a água até o último andar por sistema de bombeamento ou pelo princípio de convecção;
- c) **ramais:** são as tubulações que se originam da coluna de alimentação para alimentar os aparelhos de uma unidade habitacional ou, no caso de sistemas de aquecimento central privado de água, é a tubulação que deriva do aquecedor para distribuir água quente ao conjunto de aparelhos dentro da residência;
- d) **sub-ramais:** são os trechos de tubulação que conectam os pontos de utilização nos ramais.

A figura 2 mostra dois esquemas verticais de instalações hidráulicas, um de água fria e outro de água quente, e seus componentes de distribuição de água.

Figura 2 – Exemplos de sistemas de distribuição de água fria (esquerda) e água quente (direita)



(fonte: elaborado pelo autor)

### 3.1 INSTALAÇÕES PREDIAIS DE ÁGUA FRIA

Segundo Macintyre (2010, p. 1) esse é um item elementar para qualquer construção residencial e responsável por atribuir os mais básicos padrões de higiene e conforto. A NBR 5626 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1998, p. 2) destaca a importância das instalações de água fria na saúde do consumidor da seguinte forma:

[...] preservando o princípio consagrado do enquadramento do saneamento como componente integrado no campo da saúde pública, estabeleceu-se [nesta versão vigente da NBR 5626 de 1998] como ponto obrigatório que as instalações prediais de água fria devem oferecer garantia sanitária. Desta forma, das instalações é exigido o cumprimento das mesmas exigências aplicáveis às demais estruturas físicas do setor de saneamento e, em particular, àquelas relativas às redes públicas de abastecimento de água, dentro da ótica de que elas são parte integrante de todo o sistema de abastecimento de água potável. De fato, as instalações prediais de água fria se constituem em subsistema do sistema de abastecimento de água. Pode ser considerada como a ‘extremidade’ última do sistema público de abastecimento onde concretamente se estabelece o elo de ligação com o usuário final.

Pelo fato das instalações prediais de água fria serem consideradas um subsistema de distribuição que conecta a rede pública ao consumidor final e também promove o suprimento de água para as instalações de água quente; muitas das especificações de dimensionamento de tubulações e de higiene na sua execução são aplicadas também às instalações de água quente.

Nos próximos itens serão apresentadas as possíveis composições de uma instalação predial de água fria, que podem ser determinadas pelos projetistas a partir de alguns critérios como as

condições de abastecimento da rede pública e o padrão construtivo da habitação; e que são também estabelecidos em leis e decretos municipais.

### 3.1.1 Características gerais de uma instalação de água fria

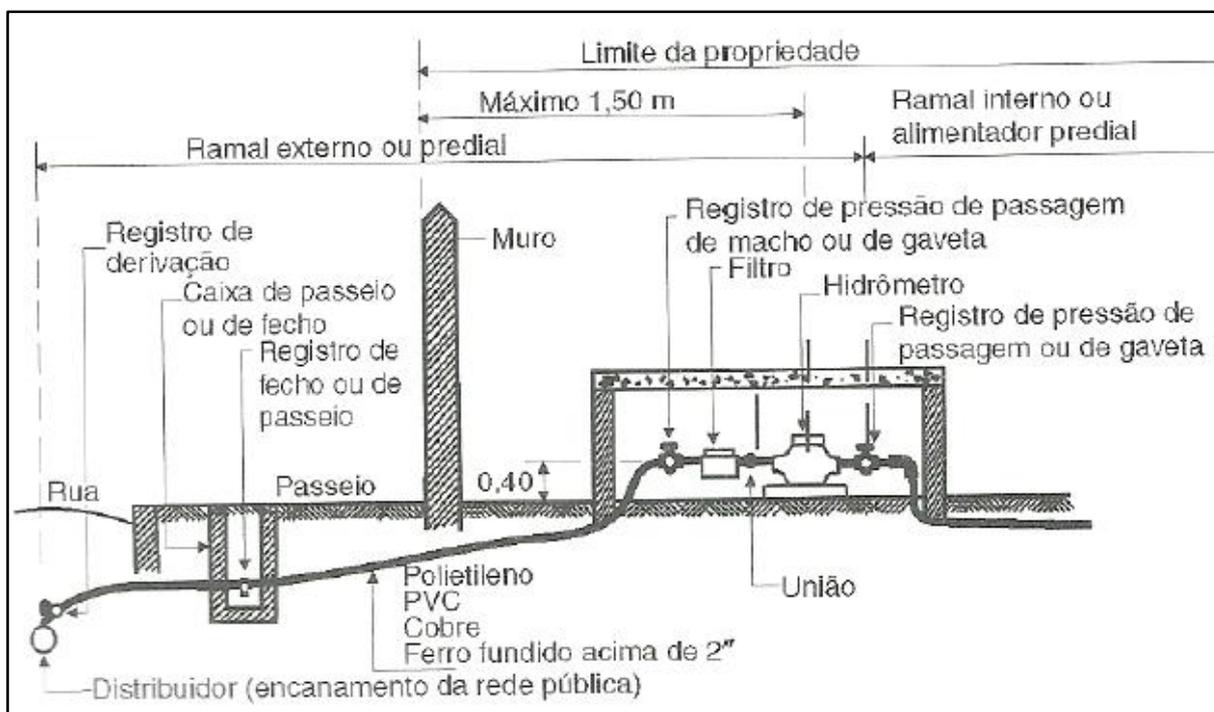
As instalações de água fria são abastecidas a partir da rede pública pelo ramal de abastecimento que pode ser dividido em duas partes, como ilustrado na figura 3 (MACINTYRE, 2010, p. 2):

- a) **ramal predial** é a parte externa que é entroncada na rede pública e termina logo depois do hidrômetro (competência da concessionária local);
- b) **alimentador predial** é o trecho de rede que sai do hidrômetro e se conecta ao sistema de distribuição das instalações (parte das instalações de água fria).

O Decreto n. 9369 (PORTO ALEGRE, 1988) estabelece para a cidade de Porto Alegre:

Art. 18 – A ligação ao distribuidor público inclui todo o ramal predial, inclusive o hidrômetro, sendo a execução desta de competência exclusiva do DMAE [Departamento Municipal de Água e Esgotos de Porto Alegre].

Figura 3 – Detalhe de um ramal de abastecimento



(fonte: MACINTYRE, 2010)

Após a água passar pelo sistema de abastecimento, vindo da rede pública, ela pode ser armazenada em um sistema de reservação – que tem como objetivo principal manter o abastecimento de água do prédio em períodos de falta d’água e garantir uma pressão constante para o funcionamento das instalações – ou é diretamente direcionada ao sistema de distribuição das instalações que trabalharão com as pressões da rede pública. Esses dois sistemas de distribuição são conhecidos como sistema indireto e sistema direto respectivamente, havendo ainda um terceiro sistema conhecido como sistema misto de distribuição que se trata de um híbrido entre os dois primeiros. As instalações prediais de água fria do presente trabalho se enquadram em um sistema de distribuição indireto, portanto este sistema será melhor detalhado abaixo.

### 3.1.2 Características de um sistema indireto de distribuição

O principal motivo levado em conta ao optar pela implantação dos sistemas indiretos de distribuição de água é a garantia de atendimento à demanda de água dos usuários das instalações mesmo em períodos de falta d’água na rede pública, dimensionando os reservatórios para atender no mínimo a demanda diária de água. Outro motivo também relevante é a regularização das pressões nas instalações; pelo fato de que a rede pública pode apresentar grande variação de pressões ao longo do dia decorrente das variações na demanda e da topografia da cidade onde se encontra assentada. Desta forma, levando-se em conta as pressões oferecidas na rede pela concessionária local e a altura da construção, pode ser feita a escolha do sistema indireto mais adequado para a implantação, tendo-se em vista os dois tipos existentes que se diferenciam quanto ao número de reservatórios (MACINTYRE, 2010, p. 4):

- a) **o sistema indireto com apenas um reservatório superior** pode ser utilizado em situações que a pressão da rede pública é suficiente para levar a água até a altura desse reservatório, garantindo assim o abastecimento;
- b) **o sistema indireto com reservatório superior e inferior** é uma solução adotada em projetos hidráulicos de prédios, onde não há pressão suficiente para se levar a água até o reservatório superior e se faz necessária a instalação de um reservatório no nível do logradouro para receber a água da rede pública, que é bombeada até o reservatório superior quando necessário.

Na cidade de Porto Alegre é estabelecido, através do Decreto n°. 9369 (PORTO ALEGRE, 1988) que só pode ser implementado um sistema indireto com apenas um reservatório superior

caso o número de pavimentos acima do nível do logradouro seja inferior a quatro e as condições de pressões na rede sejam favoráveis.

## 3.2 INSTALAÇÕES PREDIAIS DE ÁGUA QUENTE

### 3.2.1 Classificação quanto ao sistema de aquecimento de água

A produção de água quente se dá pela transferência de energia de uma fonte de calor para a água, com a finalidade dela adquirir uma temperatura ideal (MACINTYRE, 2010, p. 328), logo existem várias opções de equipamentos e mecanismos que podem ser empregados em uma instalação de água quente para este fim. Os equipamentos mais utilizados em prédios residenciais são os aquecedores de passagem a gás e elétrico – onde se incluem os chuveiros elétricos –; os aquecedores de acumulação – são popularmente conhecidos como *boilers* e podem funcionar a gás ou a energia elétrica –, e as caldeiras, que se caracterizam por possuírem capacidade de aquecimento de grandes volumes de água, e são usadas como centrais de aquecimento de água de alguns prédios residenciais, abastecendo todas as unidades do prédio com água quente; os combustíveis geralmente utilizados em caldeiras são gás, energia elétrica, óleo e lenha (ILHA et al., 1994; MACINTYRE, 2010).

Os três sistemas de aquecimento de água que podem ser encontrados em prédios residenciais são classificados quanto à quantidade de aparelhos ou apartamentos que o aquecedor atende e estão descritos em mais detalhes abaixo.

#### 3.2.1.1 Sistema de aquecimento individual

Nesta modalidade de aquecimento se encontram os aquecedores que são destinados a aquecer água para somente um aparelho dentro de uma unidade habitacional. Os aquecedores mais populares que se enquadram neste sistema são os chuveiros elétricos e as torneiras elétricas (CARVALHO JÚNIOR, 2011, p. 79); caso em que não é necessário nem ao menos se prever uma instalação hidráulica de água quente (ILHA et al., 1994, p. 3), visto que o aquecedor se encontra no próprio ponto de utilização acoplado à uma tubulação de água fria que o alimenta.

Também há a possibilidade de se ter um sistema de aquecimento individual alimentado por um aquecedor de passagem a gás, onde este fica ao lado ou bem próximo do ponto de utilização –

geralmente o chuveiro da residência – para se evitar ao máximo que haja perdas de calor na tubulação que liga o aquecedor e o ponto de utilização; mas, muitas vezes, o aquecedor de passagem acaba alimentando mais de um ponto (MACINTYRE, 2010, p. 325), o que acaba se caracterizando por um sistema de aquecimento central privado.

#### 3.2.1.2 Sistema de aquecimento central privado

Este sistema se caracteriza pela central de aquecimento de água em comum para uma unidade habitacional (MACINTYRE, 2010, p. 325). Neste caso são geralmente utilizados em apartamentos os aquecedores a gás de passagem ou os aquecedores de acumulação, mas também o aquecimento pode ser feito aproveitando-se uma fonte de calor como o fogão a lenha ou, caso a instalação seja projetada para uma casa, há a possibilidade de se implementar um sistema de aquecimento central privado com aquecimento feito por energia solar (MACINTYRE, 2010). A escolha por este sistema de aquecimento deve ser levada em conta em casos que há a necessidade de se abastecer vários pontos dentro de uma residência com água quente (MACINTYRE, 2010, p. 325).

#### 3.2.1.3 Sistema de aquecimento central coletivo

Esse é o caso onde são utilizadas caldeiras para o aquecimento da água, como mencionado anteriormente. As centrais de aquecimento coletivas podem ser implementadas em casos onde seja difícil, ou até mesmo impossível, alocar um aquecedor dentro de cada apartamento, visto que os aquecedores de passagem a gás geralmente precisam de áreas ventiladas para sua instalação e os aquecedores de acumulação demandam um espaço maior para serem alocados. Este sistema, se utilizado com recirculação – que será discutida mais adiante –, também pode oferecer respostas mais rápidas ao usuário quando este solicita água quente, melhorando as condições de conforto na utilização das instalações hidráulicas (CARVALHO, 2010).

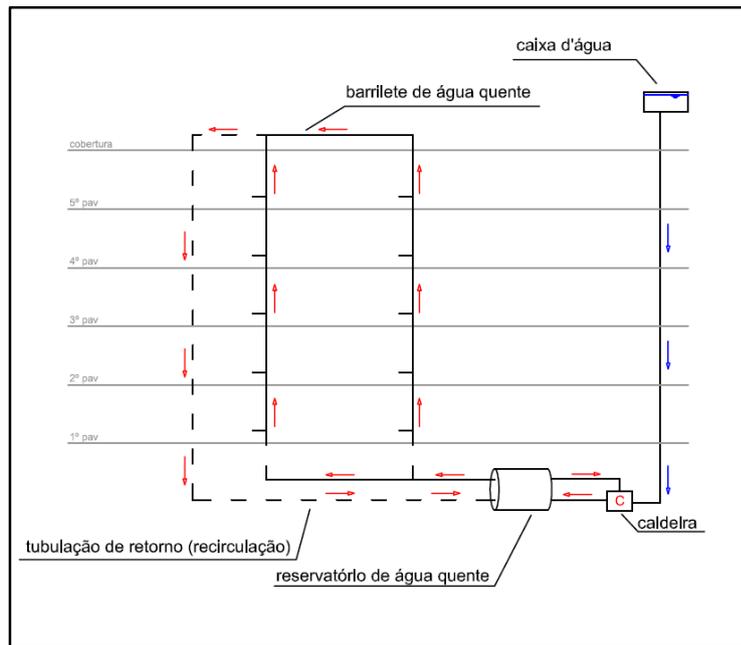
### **3.2.2 Classificação quanto ao sistema de distribuição de água quente**

O estudo da distribuição da água quente até os pontos de consumo dentro de uma residência, e o tipo de sistema de distribuição usado para tal fim, é de fundamental importância dentro do custo das instalações, não só para se reduzir a quantidade de material usado, mas também para se evitar longos períodos de espera na obtenção da água aquecida; diminuindo, conseqüentemente, os desperdícios de água (CARVALHO, 2010; MACINTYRE, 2010).

Antes de se falar da classificação da distribuição de água quente definida com relação a presença ou não de recirculação, deve-se ressaltar que existem outras classificações de distribuição de água dentro do sistema central coletivo de aquecimento que leva em conta o caminho que a água faz no percurso do reservatório até os apartamentos. Abaixo estão listados os três possíveis tipos de distribuição de água no sistema central coletivo, que podem ou não possuir o sistema de recirculação que será discutido nos próximos itens (MACINTYRE, 2010, p. 338):

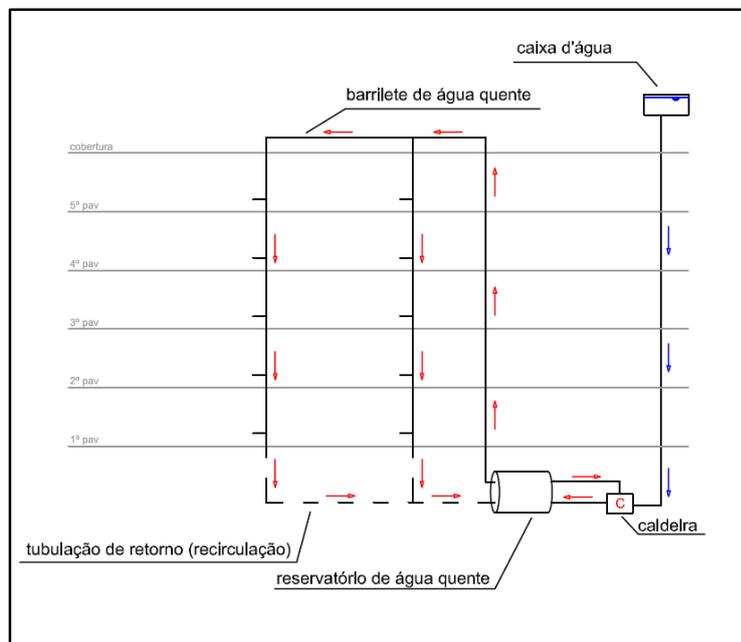
- a) **sistema ascendente de distribuição:** neste sistema a coluna de distribuição de água sai do reservatório de água quente localizado no térreo e dela se derivam os ramais de abastecimento – não precisa de recirculação pois a temperatura acaba se mantendo dentro da coluna pelo princípio de convecção térmica, mas o emprego de recirculação possibilita a implantação de mais de uma coluna de distribuição, fazendo com que os ramais entre a coluna e o ponto de utilização sejam mais curtos e a consequente perda de água por acumulação dentro desses ramais seja menor;
- b) **sistema descendente de distribuição:** neste caso a coluna que deriva do reservatório vai direto até a cobertura do prédio e abastece um barrilete, de onde se derivam as colunas descendentes que alimentarão os ramais dos prédios, e no final essas colunas entroncam em uma tubulação de retorno que leva a água não utilizada de volta para o reservatório – só pode ser implantado com o auxílio da recirculação e uma bomba hidráulica para manter a temperatura ao longo de toda a coluna, pois nesse caso o fenômeno de convecção só provocaria desperdícios;
- c) **sistema misto de distribuição:** sistema híbrido entre os dois anteriores onde se abastece cada pavimento de forma intercalada pela coluna ascendente e pela coluna descendente, e a coluna descendente, assim como no sistema descendente também funciona como coluna de retorno levando a água de volta ao aquecedor – portanto a recirculação também faz parte desse sistema de distribuição.

Figura 4 – Sistema ascendente de distribuição



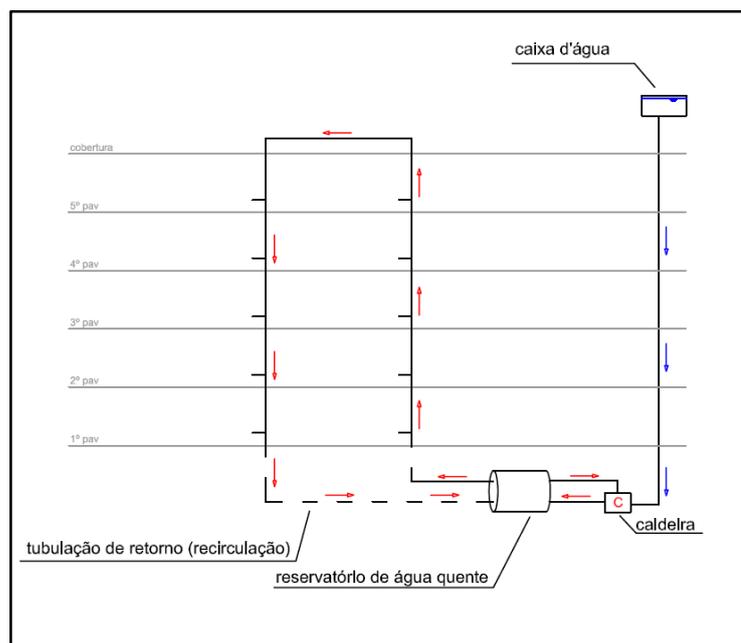
(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 5 – Sistema descendente de distribuição



(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 6 – Sistema misto de distribuição



(fonte: elaborado pelo autor)

Abaixo será discutido com mais detalhes as diferenças entre as distribuições simples e com recirculação e suas aplicabilidades dentro dos tipos de aquecimento de água vistos anteriormente.

### 3.2.2.1 Distribuição simples

A distribuição simples, caracterizada pela ausência de recirculação, é mais utilizada em ramais e sub-ramais, ou seja, na rede de distribuição de água dentro dos apartamentos e residências. No caso geral, onde a distribuição dentro da residência é simples, quando o registro é fechado no ponto de utilização, a água acaba acumulada dentro da tubulação e esfria após um período, fazendo necessária a drenagem dessa água fria de dentro do ramal quando for novamente demandada mais água quente do sistema. Tendo em vista que, em residências unifamiliares, a água quente não é demandada com muita frequência ao longo do dia, e conseqüentemente vai acabar esfriando dentro do ramal, é necessário prever em projeto distâncias curtas entre o aquecedor e o ponto de utilização, ou coluna de alimentação e ponto de utilização, caso esse sistema venha a ser implantado; pois dessa forma o projetista consegue diminuir significativamente o volume de água desperdiçado à cada ciclo de utilização da água quente e melhora a eficiência das instalações (ILHA et al., 1994; MACINTYRE, 2010).

A distribuição simples é muito utilizada em instalações de água quente de pequenas residências com sistema central privado de aquecimento, onde o aquecedor geralmente é um aquecedor de passagem a gás. Neste caso esse sistema pode ser implantado com vantagens, tendo em vista que as distâncias entre aquecedor e ponto de consumo são curtas e, conseqüentemente, os volumes de água fria drenados dos ramais a cada utilização não se tornam relevantes frente à economia obtida na sua construção devido sua maior simplicidade. O menor custo de instalação do sistema simples pode ser atribuído ao fato de não necessitar de um aquecedor de acumulação, o que corresponde à uma economia de espaço – fator significativo em imóveis de grandes centros urbanos que possuem área construída supervalorizada –, e da menor metragem de tubulações usadas (CARVALHO, 2010; ILHA et al., 1994).

### 3.2.2.2 Distribuição com recirculação

O sistema de distribuição com recirculação, no caso da implantação com aquecimento central privado, faz com que a água acumulada no ramal possa voltar ao aquecedor através de uma tubulação de retorno para ser reaquecida, mantendo-se sempre água quente dentro do ramal de distribuição (ILHA et al., 1994; MACINTYRE, 2010).

A recirculação da água, dentro do circuito fechado formado pelo ramal e retorno, é feita por uma bomba hidráulica acionada por um termostato ou, no caso de sistemas centrais coletivos de aquecimento com distribuição ascendente, pode ser feita uma recirculação pelo princípio do termossifão, onde a água quente tende a ir para o topo da coluna e a água fria tende a descer e voltar para a caldeira pela tubulação de retorno em decorrência das diferenças de densidade (ILHA et al., 2010; MACINTYRE, 2010). Segundo Macintyre (2010, p. 337) para se fazer a recirculação pelo princípio do termossifão há a necessidade de se elevar a temperatura da água para se fazer frente às perdas ocasionadas no processo; isto elevaria os gastos em combustível de 10 a 15%.

Quando a recirculação é implantada em uma instalação com aquecimento central coletivo, esta é geralmente feita na coluna principal de distribuição de água e os ramais dos apartamentos ficam com uma distribuição simples; o problema de acúmulo de água fria dentro do ramal pode ser contornado neste caso com a instalação de colunas de distribuição individuais para cada prumada de dependências dos apartamentos que necessitem ser abastecidas – banheiros, cozinhas, lavanderias, etc. –, tornando assim as distâncias entre a coluna e o ponto de utilização desprezíveis (CARVALHO, 2010; MACINTYRE, 2010).

Como já foi dito anteriormente (item 3.2.2.1), o sistema de distribuição com recirculação não é implantado em apartamentos e casas que possuem sistema central privado de aquecimento pois geralmente nestes casos a distância entre o aquecedor e o ponto de utilização não é muito longa e os diâmetros dos ramais são pequenos, o que acarreta em um menor desperdício de água e um menor tempo de espera do usuário. Mas há casos, como em residências de alto padrão, em que as distâncias podem ser muito longas, o que pode vir a justificar a implantação de uma tubulação de retorno para manter a água do ramal aquecida (ILHA et al., 1994).

### **3.2.3 Materiais utilizados em instalações prediais de água quente**

Carvalho (2010, p. 58) indica que a perda de calor que ocorre nas tubulações de água quente, fazendo com que a água acumulada esfrie, é função de vários fatores como o material e a espessura das tubulações e do isolante térmico que as envolve – caso haja isolante –, diâmetro das tubulações e a temperatura ambiente. Portanto é de fundamental importância que se estude essas variáveis na fase de desenvolvimento dos projetos de instalações de água quente para se obter sistemas mais eficientes termicamente e diminuir as perdas de água e o tempo de espera do usuário pela água quente.

A NBR 7198 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1993, p. 3) também destaca a importância que os materiais dos tubos e o isolamento térmico têm dentro de um projeto:

#### **4.3 Isolamento térmico**

**4.3.1** Os aquecedores, reservatórios de água quente e as tubulações devem ser projetadas e executadas de forma a racionalizar o consumo.

**4.3.2** O projetista deve analisar as perdas de calor nas instalações, em função dos materiais utilizados, das técnicas de isolamento térmico recomendadas, na temperatura da água com a qual a instalação deve funcionar adequadamente.

Abaixo serão mostrados os principais materiais utilizados em tubulações para instalações de água quente e os principais isolantes térmicos aplicados nas tubulações para melhoria da eficiência térmica dos sistemas de distribuição.

### 3.2.3.1 Tubulações

A opção mais tradicional de material para tubulações de água quente se trata dos tubos de cobre que, por apresentar elevada condutibilidade térmica, devem sempre ser instalados com isolamento térmica para evitar perdas de calor (CARVALHO, 2010); outra desvantagem das tubulações de cobre segundo Carvalho Junior (2011, p. 95) é a sua instalação, pois suas juntas precisam ser soldadas com estanho, necessitando mão de obra qualificada para tal trabalho. Uma vantagem na aplicação de tubulações de cobre seria suas pequenas espessuras de parede, que resultam em tubulações de diâmetros menores frente às opções de materiais termoplásticos presentes no mercado (CARVALHO JÚNIOR, 2011).

Os principais materiais termoplásticos disponíveis no mercado brasileiro para uso em instalações de água quente são o PEX (polietileno reticulado), o CPVC (policloreto de vinila clorado) e o PPR (polipropileno copolímero random). As principais vantagens deles frente ao tubo de cobre são as baixas condutibilidades térmicas e elétricas, o que permite que eles possam ser instalados muitas vezes sem a necessidade do uso de isolantes térmicos (CARVALHO, 2010; CARVALHO JÚNIOR, 2011). Carvalho (2010, p. 60) alerta que as condutibilidades dos materiais termoplásticos, mesmo sendo baixas, não devem ser comparadas diretamente com a condutibilidade dos tubos de cobre na hora de se estimar a eficiência térmica das tubulações, pois é requisito básico que o cobre esteja isolado nas instalações, e neste caso a condutibilidade térmica do conjunto cobre e isolante se torna até oito vezes menor que as condutibilidades dos materiais termoplásticos; portanto é essencial que se isole também os materiais termoplásticos para se obter bons resultados na eficiência energética das instalações.

Dentre os tubos termoplásticos, o PEX possui uma grande vantagem em relação aos demais por ser flexível e ser vendido em bobinas, dispensando muitas vezes o uso de conexões e permitindo a sua instalação dentro de conduítes embutidos na parede, o que torna possível se fazer manutenções sem a necessidade de quebras (AMANCO BRASIL, 2012; CARVALHO, 2010). As tubulações de PEX, por serem vendidas somente em pequenos diâmetros, são usadas basicamente para se fazer a distribuição dos pontos de consumo das instalações a partir do ramal; ou seja, são usadas como sub-ramais flexíveis (figura 7).

As tubulações de CPVC e PPR são fornecidas em diâmetros de até 110mm, como mostra o quadro 1, logo podem ser usadas em colunas de distribuição de água quente e nos ramais dos apartamentos, de onde se derivariam as tubulações de PEX até os pontos de consumo; ou até

mesmo as tubulações rígidas de CPVC e PPR com diâmetros menores podem ser usadas como sub-ramais.

Quadro 1 – Diâmetros nominais (DN) e internos (DI) de tubulações oferecidas no mercado para diferentes materiais

PPR PN 12		PPR PN 20		PPR PN 25		CPVC		PEX	
DN	DI	DN	DI	DN	DI	DN	DI	DN	DI
32	26.2	20	14.4	20	13.2	15	11.8	16	12.4
40	32.6	25	18	25	16.6	22	18	20	16.2
50	40.8	32	23.2	32	21.2	28	23	25	20.4
63	51.4	40	29	40	26.6	35	28.5	32	26.2
75	61.4	50	36.2	50	33.4	42	33.7		
90	73.6	63	45.8	63	42	54	44.2		
110	90	75	54.4	75	50	73	60		
		90	65.4	90	60	89	73.1		
		110	79.8	110	73.4	114	93.9		

(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 7 – Detalhe de uma instalação de banheiro com tubulações de PEX utilizadas em sub-ramais de água quente e água fria



(fonte: AMANCO BRASIL, 2012, p. 3)

### 3.2.3.2 Isolantes

Esses materiais, como já dito antes, são essenciais em qualquer instalação hidráulica de água quente onde se queira alcançar uma maior eficiência energética, e, portanto, é essencial que se preveja o isolamento de todas as colunas e ramais, principalmente das tubulações embutidas em paredes e forro para se evitar a condensação de ar úmido nestes locais, e eventuais patologias que isso possa gerar (CARVALHO, 2010, p. 61).

Os isolantes mais usados em instalações de água quente, segundo Carvalho (2010, p. 59), são o polietileno expandido e o isopor, respectivamente; mas também há no mercado outras opções com excelente desempenho térmico como a lã de vidro, lã de rocha e o poliuretano; todos, assim como o isopor e o polietileno expandido, fornecidos no formato de tubos ou calhas para serem acoplados ao redor das tubulações. O polietileno expandido é produzido por um fabricante de tubos de cobre – pois é muito utilizado para isolar esse material – e disponibilizado na forma de tubos com espessuras de parede de 5 mm e 10 mm (CARVALHO, 2010, p. 59).

O quadro 2 dá uma noção de grandeza quanto ao coeficiente de condutibilidade térmica de diferentes materiais aplicados em tubulações e isolantes térmicos.

Quadro 2 – Coeficientes de condutibilidade térmica de tubulações e isolantes

Material	Coeficiente de condutividade térmica (W/ m.°C)
Isopor (EPS)	0,025
Polietileno expandido	0,036
Lã de Vidro	0,040
CPVC	0,200
PPR	0,240
PEX	0,430
Cobre	332.000

(fonte: adaptado de CARVALHO, 2010, p. 61)

## 4 DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO E PERDAS DE CALOR

A primeira parte deste capítulo aborda os procedimentos de cálculo que foram utilizados no dimensionamento das instalações de água fria, incluindo os dimensionamentos das tubulações, que são os mesmos aplicados em instalações de água quente e, portanto, não foram abordados novamente na segunda parte, que trata de itens da instalação de água quente como reservatórios de água quente, aquecedores e recirculação. Por fim, na última parte, estão apresentados os procedimentos de cálculo de perda de calor em tubulações, que foram utilizados após a fase de projeto como ferramenta no processo de estimativa do volume de gás desperdiçado e o volume de água fria drenado das tubulações a cada ciclo de utilização das instalações de água quente; os dados obtidos destes cálculos foram utilizados para se calcular as diferenças no consumo mensal de água e gás entre as duas instalações que foram analisadas neste trabalho.

### 4.1 DIMENSIONAMENTO DAS INSTALAÇÕES DE ÁGUA FRIA

Como passo inicial no dimensionamento das instalações de água fria, deve-se estimar o consumo diário de água de acordo com critérios estabelecidos no Decreto n. 9369 (PORTO ALEGRE, 1988); esses consumos são levados em conta no dimensionamento do alimentador predial e dos reservatórios. Primeiramente deve se estimar a população de pessoas que serão atendidas pelas instalações de acordo com o quadro 3 e depois se calcula o consumo diário com os consumos per capita estabelecidos no quadro 4.

Quadro 3 – Estimativa de população em prédios para projeto hidráulico de água fria

Prédio	População
Apartamento e residências	dormitórios de até 12 m <sup>2</sup> 2 pessoas
	dormitórios com mais de 12 m <sup>2</sup> 3 pessoas
Cinemas, teatros e templos	cada 0,7m <sup>2</sup> de área 1 lugar
Escritórios	cada 7 m <sup>2</sup> 1 pessoa
Banco	cada 5 m <sup>2</sup> 1 pessoa
Restaurante	cada 1,5 m <sup>2</sup> 1 pessoa
Sala de hotéis	cada 5,5 m <sup>2</sup> 1 pessoa
Museus e bibliotecas	cada 5,5 m <sup>2</sup> 1 pessoa

(fonte: adaptado de PORTO ALEGRE, 1988, p. 13)

Quadro 4 – Estimativa de consumo de água para projetos hidráulicos de água fria

Prédios	Consumo (litro/dia)
Apartamento e residências	200 per capita
Cinemas, teatros e templos	2 por lugar
Escolas - externatos	50 per capita
Escolas - internatos	200 per capita
Escolas semi-internatos e cheches	100 per capita
Escritórios e lojas	50 per capita
Estabelecimentos de banho ou saunas	300 l/pessoa/banho
Fábricas (excluído o processo industrial)	50 per capita
Garagens para estacionamento de veículos	25 por veículo
Hotéis e motéis	200 por hóspede
Hospitais	250 por leito
Lavanderia	30 por kg de roupa seca
Mercado	5 por m <sup>2</sup> de área
Posto de serviço para automóveis	150 por veículo
Restaurantes e similares	25 por refeição

(fonte: adaptado de PORTO ALEGRE, 1988, p. 12)

#### 4.1.1 Ramal predial e Alimentador predial

Tendo estimado o consumo diário de água para o prédio, pode ser feito então o dimensionamento do ramal predial e do alimentador predial. Para o caso de um sistema de abastecimento indireto, que será tratado nesse trabalho, a vazão de dimensionamento é calculada levando-se em conta o abastecimento contínuo durante as 24 horas do dia (MACINTYRE, 2010, p. 13); a equação 1 fornece essa vazão.

$$q = \frac{CD}{86400s/dia} \quad (\text{equação 1})$$

Sendo:

q = vazão de dimensionamento do ramal predial (l/s);

CD = consumo diário de água do prédio (l/dia).

O diâmetro do ramal é calculado pela equação 2:

$$D_i = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot v}} \quad (\text{equação 2})$$

Sendo:

$D_i$  = diâmetro interno da tubulação que deve ser adotada para o ramal (m);

$Q$  = vazão calculada para o ramal ( $\text{m}^3/\text{s}$ );

$v$  = velocidade de escoamento ( $0,6\text{m/s} < v < 1,0\text{m/s}$ ).

O DMAE oferece ramais prediais de 20 mm e 32 mm para instalação; caso seja necessário um diâmetro maior, esse deverá ser solicitado e fica a critério do departamento analisar o pedido e aceita-lo (PORTO ALEGRE, 1988, p. 8).

#### 4.1.2 Reservatórios

Segundo a NBR 5626 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1998, p. 10) o volume mínimo de reservação de água para um prédio deve ser o consumo diário, desconsiderando as reservas de incêndio. Já no Decreto n. 9369 (PORTO ALEGRE, 1988, p. 9) se estabelece que o reservatório inferior pode ter um volume de 40% a 60% do consumo diário e o reservatório superior deve completar o volume necessário, sendo que o volume de reservação dos dois reservatórios somados não deve ultrapassar três consumos diários.

Macintyre (2010, p. 14) diz que os volumes de reservação que atendem o mínimo estabelecido em norma podem não ser suficientes em muitos casos por interrupções longas no abastecimento que podem ocorrer devido à diversos problemas; portanto, é indicado valores mínimos de reservação que trazem maior segurança no abastecimento: um consumo diário para o reservatório superior; e uma vez e meia o consumo diário para o reservatório inferior.

### 4.1.3 Sistema de recalque

O dimensionamento das bombas responsáveis por abastecer o reservatório superior é iniciado determinando o tempo diário de funcionamento das mesmas. Segundo a NBR 5626 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1998, p. 12) para reservatórios pequenos, o tempo de funcionamento diário do sistema de recalque deverá ser de no máximo uma hora; e para reservatórios grandes esse tempo poderá ser de até seis horas. A vazão de recalque é calculada dividindo-se o volume do reservatório superior pelo tempo diário de funcionamento da bomba e o diâmetro da tubulação de recalque é definido pela equação 3 (MACINTYRE, 2010, p. 36):

$$D_n = 1,3\sqrt{Q} \cdot \sqrt[4]{X} \quad (\text{equação 3})$$

Sendo:

$D_n$  = diâmetro nominal da tubulação de recalque (m);

$Q$  = vazão de descarga da bomba ( $m^3/s$ );

$X$  = tempo de funcionamento da bomba (em horas) dividido por 24 horas.

O diâmetro da tubulação de sucção deverá ser definido como um diâmetro comercial imediatamente acima do diâmetro de recalque calculado (MACINTYRE, 2010, p. 36).

Pare se fazer a escolha do modelo de bomba que deve ser usado é necessário primeiro aplicar a equação 4 para determinação da altura manométrica total que a bomba deverá fornecer para depois se fazer o cálculo da potência necessária para o motor da bomba (MACYNTIRE, 2010, p. 37).

$$H = \left( h_s + J_s + \frac{v_0^2}{2g} \right) + (h_r + J_r) \quad (\text{equação 4})$$

Sendo:

$H$  = altura manométrica total (mca.);

$h_s$  = altura de sucção (m);

$J_s$  = perda de carga na tubulação de sucção (m);

$v_0^2/2g$  = carga cinética fornecida pela bomba na sucção (m);

$h_r$  = altura de recalque (m);

$J_r$  = perda de carga no recalque (m).

A potência da bomba deverá ser calculada com a equação 5 (MACINTYRE, 2010, p. 27):

$$N = \frac{\gamma \cdot Q \cdot H}{75 \cdot \eta} \quad (\text{equação 5})$$

Sendo:

$N$  = potência da bomba (cv);

$\gamma$  = peso específico da água (1000kgf/m<sup>3</sup>);

$Q$  = vazão de recalque (m<sup>3</sup>/s);

$H$  = altura manométrica (mca.);

$\eta$  = rendimento da bomba fornecido em catálogos de fabricantes (varia de 0,4 a 0,75)

#### 4.1.4 Rede de distribuição

O primeiro passo no dimensionamento das tubulações de distribuição é fazer o levantamento de todos os aparelhos ligados na rede e determinar, para cada trecho de tubo, quais os aparelhos abastecidos. Tendo o conhecimento dos aparelhos que cada trecho de tubulação alimenta, pode se fazer o cálculo da soma de pesos para cada trecho segundo o quadro 5 obtido da NBR 5626 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1998, p. 13).

A vazão para cada trecho de tubulação é determinada pela equação 6 que leva em consideração o somatório dos pesos (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1998, p. 28):

$$q = 0,3 \cdot \sqrt{\Sigma P} \quad (\text{equação 6})$$

Sendo:

$q$  = vazão do trecho (l/s);

$\Sigma P$  = somatório de pesos do trecho.

Quadro 5 – Pesos relativos dos 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
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
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 em geral		Torneira	0,20	0,4

(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1998)

O diâmetro deve ser determinado em cada trecho de modo que a velocidade de escoamento resultante (para a vazão calculada acima) seja inferior a 3m/s (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1998, p. 12) e inferior à velocidade obtida pela equação abaixo (MACINTYRE, 2010, p. 327):

$$v = 14\sqrt{D_i} \quad (\text{equação 7})$$

Sendo:

V= velocidade (m/s);

D<sub>i</sub> = diâmetro interno da tubulação considerada (m).

A perda de carga unitária no trecho considerado deve ser calculada para se determinar a perda de carga total do trecho, tornando possível a verificação das pressões em cada ponto da rede com referência às pressões máximas e mínima permitidas em norma. Para um trecho de rede

qualquer, a perda de carga unitária para tubos de plástico deve ser calculada pela equação abaixo (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1998, p. 29):

$$J = 8,69 \times 10^6 \times q^{1,75} \times d_i^{-4,75} \quad (\text{equação 8})$$

Sendo:

J = perda de carga unitária (kPa/m);

q = vazão no trecho calculada pelo somatório de pesos (l/s);

$d_i$  = diâmetro interno do tubo (mm).

A perda de carga total em cada trecho da rede é obtida multiplicando-se a perda de carga unitária pela soma do comprimento real (comprimento da tubulação) com o comprimento equivalente (comprimento fictício atribuído a cada peça para se calcular as perdas impostas por elas – quadro 6). Segundo a NBR 5626 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1998, p. 12) as pressões mínimas e máximas que devem ser atendidas em projeto são:

- pressão estática mínima:** 5kPa para caixa de descarga, 15kPa para válvulas de descarga e 10kPa nos demais pontos de utilização;
- pressão dinâmica mínima:** 5kPa para qualquer ponto da rede predial;
- pressão estática máxima:** 400kPa em qualquer ponto de utilização da rede;
- sobrepessão máxima devido a transientes hidráulicos:** 200kPa.

Quadro 6 – Comprimentos equivalentes para peças de tubulações de plástico.

Diâmetro nominal		Joelho 90°	Joelho 45°	Curva 90°	Curva 45°	Tê 90° Passagem direta	Tê 90° Saída de lado	Tê 90° Saída bilateral	Entrada normal	Entrada de borda	Saída de canaliz.	Válvula de pé e crivo	Válvula retenção		Registro globo aberto	Registro gaveta aberto	Registro ângulo aberto
DN (mm)	Ref. (pol.)																
15	(1/2)	1,1	0,4	0,4	0,2	0,7	2,3	2,3	0,3	0,9	0,8	8,1	2,5	3,6	11,1	0,1	5,9
20	(3/4)	1,2	0,5	0,5	0,3	0,8	2,4	2,4	0,4	1,0	0,9	9,5	2,7	4,1	11,4	0,2	6,1
25	(1)	1,5	0,7	0,6	0,4	0,9	3,1	3,1	0,5	1,2	1,3	13,3	3,8	5,8	15,0	0,3	8,4
32	(1 1/4)	2,0	1,0	0,7	0,5	1,5	4,6	4,6	0,6	1,8	1,4	15,5	4,9	7,4	22,0	0,4	10,5
40	(1 1/2)	3,2	1,3	1,2	0,6	2,2	7,3	7,3	1,0	2,3	3,2	18,3	6,8	9,1	35,8	0,7	17,0
50	(2)	3,4	1,5	1,3	0,7	2,3	7,6	7,6	1,5	2,8	3,3	23,7	7,1	10,8	37,9	0,8	18,5
60	(2 1/2)	3,7	1,7	1,4	0,8	2,4	7,8	7,8	1,6	3,3	3,5	25,0	8,2	12,5	38,0	0,9	19,0
75	(3)	3,9	1,8	1,5	0,9	2,5	8,0	8,0	2,0	3,7	3,7	26,8	9,3	14,5	40,0	0,9	20,0
100	(4)	4,3	1,9	1,6	1,0	2,6	8,3	8,3	2,2	4,0	3,9	28,6	10,4	16,0	42,3	1,0	22,1
125	(5)	4,9	2,4	1,9	1,1	3,3	10,0	10,0	2,5	5,0	4,9	37,4	12,5	19,2	50,9	1,1	26,2
150	(6)	5,4	2,6	2,1	1,2	3,8	11,1	11,1	2,8	5,8	5,5	43,4	13,9	21,4	56,7	1,2	28,9

(fonte: MACINTYRE, 2010)

A pressão dinâmica residual, no final de cada trecho, é calculada subtraindo-se a perda de carga total da pressão dinâmica no ponto inicial do trecho e, como descrito acima, deverá ser superior a 5kPa; a pressão inicial do próximo trecho calculado é definida como a pressão final do anterior acrescida da pressão oferecida pela diferença de cotas entre os trechos, e então todos os passos de cálculo descritos até aqui são repetidos para esse novo trecho.

Além da verificação das pressões dinâmicas deve ser feita a verificação das pressões estáticas, analisando se em algum ponto da instalação há um desnível, com referência ao nível máxima do reservatório superior, maior ou igual a 40 m (referente aos 400kPa previstos em norma). Caso se verifique uma pressão estática acima do permitido, deverão ser previstas válvulas redutoras de pressão (VRP's).

Nas situações onde as pressões dinâmicas mínimas não são atendidas pode se contornar o problema aumentando os diâmetros a montante, para diminuir as perdas de carga, ou elevando o nível mínimo do reservatório, que deve ser considerado como referência para verificação das pressões dinâmicas mínimas. Nesses casos sempre deve se tomar cuidado para que não sejam previstos em projeto diâmetros a jusante da rede superiores a diâmetros a montante.

Outro item que deve ser considerado no dimensionamento da rede de distribuição são os diâmetros mínimos para os sub-ramais, descritos no quadro 7 (MACINTYRE, 2010, p. 328).

Quadro 7 – Diâmetros mínimos para sub-ramais

Peças de utilização	Diâmetro (mm)
Banheira	15
Bidê	15
Chuveiro	15
Lavatório	15
Pia de cozinha	15
Pia de despejo	20
Lavadora de roupa	20

(fonte: adaptado de MACINTYRE, 2010)

## 4.2 DIMENSIONAMENTO DE INSTALAÇÕES DE ÁGUA QUENTE

Para fins de dimensionamento do sistema de aquecimento de água pode se calcular o consumo diário de água quente através do quadro 8 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS<sup>3</sup>, 1982 apud MACINTYRE, 2010, p. 326).

Quadro 8 – Estimativas para consumo diário de água quente

Prédio	Consumo litros/dia
Alojamento provisório de obra	24 por pessoa
Casa popular ou rural	36 por pessoa
Residência	45 por pessoa
Apartamento	60 por pessoa
Quartel	45 por pessoa
Escola (internato)	45 por pessoa
Hotel (sem incluir cozinha e lavanderia)	36 por hóspede
Hospital	125 por leito
Restaurante e similares	12 por refeição
Lavanderia	15 por kgf de roupa seca

(fonte: adaptado de MACINTYRE, 2010)

No caso de instalações de água quente, a estimativa da população do edifício pode ser feita pelo quadro 9.

Quadro 9 – Estimativa da população de edifícios para cálculo do consumo diário de água quente

Prédio	População
apartamento e residências*	dormitórios sociais 2 pessoas
	dormitórios de serviço 1 pessoas
escritórios	cada 3m <sup>2</sup> 1 pessoa
loja	cada 3m <sup>2</sup> 1 pessoa
hotel	cada 15 m <sup>2</sup> 1 pessoa
Hospital	cada 15 m <sup>2</sup> 1 pessoa
* pode ser estimado um número de 5 pessoas por apartamento/residência	

(fonte: adaptado de ILHA et al., 1994)

<sup>3</sup> ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7198**: projeto e execução de instalação predial de água quente. Rio de Janeiro, 1982.

Como já mencionado no início desse capítulo, o dimensionamento da rede de distribuição de água quente é feito da mesma forma que a rede de distribuição de água fria, sendo a pressão no início da rede de água quente igual à pressão de saída do aquecedor – que pode ser fornecida por uma bomba hidráulica, ou até mesmo pela própria pressão da água fria no ponto de alimentação do aquecedor menos a perda de carga que esse aquecedor produz.

#### 4.2.1 Sistema de recirculação

Para se dimensionar as tubulações de retorno que promovem a recirculação da água, evitando que se esfrie dentro da rede de distribuição, é necessário calcular a taxa de calor que deve ser fornecida por esse sistema de recirculação de modo que as temperaturas sejam mantidas em patamares desejados. Ilha et al. (1994, p. 40) indica como se calcular essa taxa de fornecimento de calor através de uma vazão unitária (1l/min) e considerando uma queda de temperatura aceitável entre a fonte de água quente e o ponto de consumo mais distante na rede (equação 9). Com essa taxa de calor fornecida por uma vazão unitária (em kcal/h), deve se calcular a taxa de calor perdida nas tubulações por hora (é a taxa de perda de calor do conjunto tubulação mais isolante, em kcal/h.m, – obtida pela equação 15 multiplicada pelo fator 0,8598 – multiplicada pela metragem total de tubulação) e calcular, através de uma relação linear, como mostra a equação 10, a vazão necessária para se fornecer as calorias perdidas na tubulação mantendo essa diferença de temperatura aceitável entre o início da rede e o ponto de consumo mais distante.

$$k' = 60 \cdot m \cdot C_p \cdot \Delta t \quad (\text{equação 9})$$

Sendo:

$k'$  = taxa de calor (kcal/h);

$m$  = vazão em massa de água referente à 1l/min (1kg/min);

$C_p$  = calor específico da água (1kcal/kg°C);

$\Delta T$  = diferença de temperatura aceitável entre o início da rede e o ponto mais distante (°C).

$$Q_{recirc} = \frac{tk}{k'} \times 1L/min \quad (\text{equação 10})$$

Sendo:

$Q_{recirc}$  = vazão de recirculação necessária (L/min);

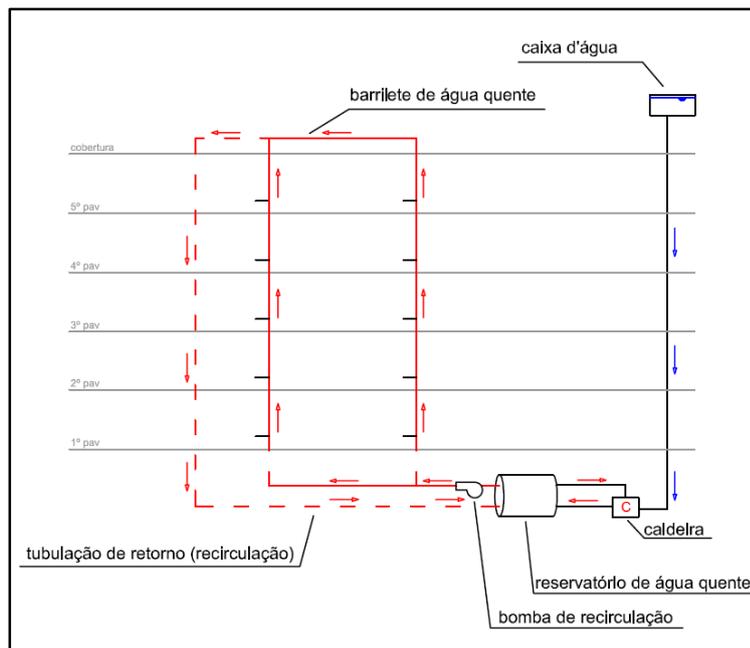
$k'$  = taxa de calor fornecida pela vazão de 1L/min obtida da equação 9 (kcal/h);

$tk$  = perda de calor nas tubulações abordada no item 4.3 (kcal/h).

Após se fazer o cálculo da vazão de recirculação necessária, o diâmetro da tubulação de retorno é determinado levando-se em conta as velocidades máximas aceitáveis para cada diâmetro, que podem ser conferidas diretamente no quadro 10. No item 4.3 será mostrado como se faz o cálculo da taxa de perda de calor nas tubulações com e sem isolamento térmico.

Para se fazer a escolha da bomba de recirculação, a altura manométrica que deverá ser considerada é a perda de carga total dentro do circuito por onde a água passará – representado na figura 8 pelas tubulações em vermelho. Essa perda de carga é calculada da mesma forma que no dimensionamento das tubulações de água fria; multiplicando-se a perda de carga unitária – que neste caso deve estar representada em mca/m – pela soma do comprimento das tubulações com o comprimento equivalente das peças – mostrados no quadro 6 – (ILHA et al., 1994). Com a altura manométrica definida, pode se usar catálogos de fabricantes para escolher o diâmetro mais adequado de rotor e a eficiência relacionada, que entrará no cálculo da potência do motor – equação 5, página 41.

Figura 8 – Representação em vermelho das tubulações que formam o circuito de recirculação considerado no cálculo da bomba de recirculação



(fonte: elaborado pelo autor)

Quadro 10 – Velocidades e vazões máximas em função dos diâmetros das tubulações

Diâmetro		Velocidades máximas	Vazões máximas
(mm)	(pol.)	m/s	l/s
15	1/2	1,60	0,20
20	3/4	1,95	0,55
25	1	2,25	1,15
32	1 1/4	2,50	2,00
40	1 1/2	2,75	3,10
50	2	3,15	6,40
65	2 1/2	3,55	11,20
80	3	3,85	17,60
100	4	4,00	32,50

(fonte: adaptado de MACINTYRE, 2010)

## 4.2.2 Aquecedores

Para a escolha do aquecedor de passagem ideal deve se levar em conta a vazão que esse aquecedor fornece. Segundo Macintyre (2010, p. 337) os aquecedores de passagem a gás geralmente se encontram perto das peças que se deseja abastecer com a água quente, e o ideal é a instalação de um aquecedor de passagem a gás para cada banheiro, um na cozinha e um na lavanderia. Ilha et al. (1994, p. 3) classifica os aquecedores de passagem a gás em dois tipos:

- a) **aquecedor de fluxo balanceado**: utiliza o ar externo ao ambiente que é instalado para a combustão e manda os gases provenientes da combustão também para o exterior do prédio – esse é um aquecedor de passagem que pode ser instalado em locais com permanência longa de pessoas, até mesmo dentro da própria peça onde se encontram os aparelhos que demandam água quente;
- b) **aquecedor com consumo de ar interno**: como o próprio nome diz, este aquecedor consome o ar do ambiente onde se localiza para fazer a combustão do gás, sendo necessária a instalação dele em locais ventilados onde não haja permanência de pessoas por longos períodos.

No caso de aquecedores de passagem de fluxo balanceado há a possibilidade de instalar um por peça, como indica Macintyre (2010, p. 337); mas quando se trata de um aquecedor com consumo de ar interno, este deverá ser instalado em um local ventilado – que pode ser na área de serviço ou do lado de fora da residência – e o aparelho deve ser escolhido de acordo com a máxima vazão de água quente que ele deve atender, assegurando a temperatura ideal para o consumo – para obter essa informação deve se consultar os catálogos dos fabricantes.

Para o cálculo do volume de reservatórios de água quente deve se levar em conta a temperatura que a água é fornecida no reservatório – temperatura da água quente –, a temperatura que a água é consumida – temperatura da água morna –, e a temperatura da água fria. O volume de água calculado com auxílio dos quadros 8 e 9 para residências corresponde ao volume de água morna ideal para o consumo – geralmente estipulado em 42°C –, que leva em conta a mistura da água quente com a água fria no ponto de consumo. Através da equação 11, de mistura de um líquido em diferentes temperaturas, e da equação 12 – equação da continuidade – se obtém a equação 13 de onde pode se determinar o volume de água quente consumido diariamente (ILHA et al., 1994, p. 34):

$$V_{MIST} \times T_{MIST} = V_{AQ} \times T_{AQ} + V_{AF} \times T_{AF} \quad (\text{equação 11})$$

$$V_{MIST} = V_{AQ} + V_{AF} \quad (\text{equação 12})$$

$$V_{AQ} = V_{MIST} \times \frac{(T_{MIST} - T_{AF})}{(T_{AQ} - T_{AF})} \quad (\text{equação 13})$$

Sendo:

$V_{AQ}$  = volume de água quente consumido diariamente (l);

$V_{MIST}$  = volume da água morna – estimado pelas tabelas 5 e 6 – (l);

$T_{MIST}$  = temperatura da água morna (42°C é um valor usual);

$T_{AQ}$  = temperatura da água quente (70°C é um valor usual);

$T_{AF}$  = temperatura da água fria no inverno (15°C é um valor usual – depende da região).

O cálculo da potência calorífica (kcal/h) que uma caldeira ou aquecedor privado de acumulação deve fornecer é calculado de acordo com a temperatura inicial da água – água fria a 15°C –, a temperatura que a água deve atingir após o aquecimento, o volume de água que deverá ser aquecido, e o tempo em que a água deverá ser aquecida. Considerando o calor específico da água de 1kcal/kg°C e a massa específica da água de 1kg/litro, se obtém a equação 14 para a potência calorífica do aquecedor (MACINTYRE, 2010, p. 345):

$$pk = \frac{V_{AQ} \times (T_{AQ} - T_{AF})}{\Delta t} \times c \times \gamma \quad (\text{equação 14})$$

Sendo:

$pk$  = potência calorífica do aquecedor (kcal/h);

$V_{AQ}$  = volume de água quente consumido diariamente (L);

$T_{AQ}$  = temperatura da água quente (70°C é um valor usual);

$T_{AF}$  = temperatura da água fria no inverno (15°C é um valor usual – depende da região);

$\Delta t$  = tempo considerado para se fazer o aquecimento da água (h);

$c$  = calor específico da água (1 kcal/kg°C);

$\gamma$  = peso específico da água (considerado como 1 kg/L).

### 4.3 PERDAS DE CALOR EM TUBULAÇÕES DE ÁGUA QUENTE

O principal parâmetro que deverá ser calculado para se quantificar as perdas de calor nas tubulações e o conseqüente volume de gás<sup>4</sup> desperdiçado é a taxa de transferência de calor. Será usada uma equação de taxa de transferência de calor em cascas cilíndricas longas – situação que caracteriza de forma adequada um panorama de transferência de calor em tubulações de água quente –, onde essa transferência ocorre radialmente. Antes de apresentar a equação da taxa de transferência de calor, é necessário mostrar a equação da resistência térmica dos materiais na situação analisada (BEJAN, 1996, p. 33):

$$R_t = \frac{\ln(r_e/r_i)}{2\pi \cdot k} \quad (\text{equação 15})$$

Sendo:

$R_t$  = resistência térmica por metro de tubulação ou isolante térmico que a envolve (m.°C/W);

$r_e$  = raio externo do tubo ou isolante térmico (mm);

$r_i$  = raio interno do tubo ou isolante térmico (mm);

$k$  = coeficiente de condutibilidade térmica do material – ver quadro 2 – (w/m°C).

A taxa de transferência de calor é obtida pela equação 16 (BEJAN, 1996, p. 33):

$$tk = \frac{T_i - T_e}{R_t} \quad (\text{equação 16})$$

Sendo:

$tk$  = taxa de transferência de calor (w/m);

$T_i$  = temperatura interna do tubo – temperatura da água quente (°C);

$T_e$  = temperatura externa do tubo – temperatura ambiente (°C);

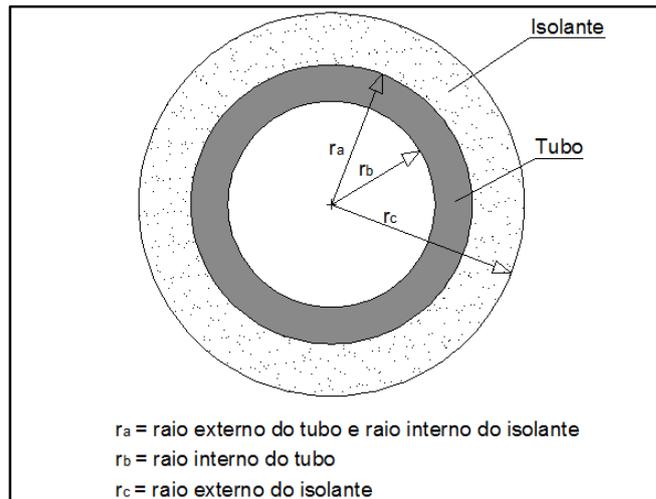
$R_t$  = resistência térmica por metro de tubulação (m.°C/W).

---

<sup>4</sup> Este trabalho trata apenas da eficiência energética de aquecedores a gás.

Caso se deseje calcular a taxa de transferência de calor para um conjunto formado pela tubulação e o isolante que a envolve externamente, deve se usar um  $R_t$  igual a soma das resistências térmicas dos dois materiais, considerando o raio interno do isolante igual ao raio externo do tubo, como detalhado na figura 7.

Figura 9 – Seção transversal de um tubo com isolamento térmico



(fonte: elaborado pelo autor)

O resultado da taxa de transferência de energia obtido pela equação 16 está em watt por metro (w/m); para se fazer a transferência dessa unidade para quilocaloria por hora e por metro (kcal/h.m) é necessário apenas multiplicar o valor pelo fator 0,8598. O resultado em quilocaloria por hora e por metro é mais útil, pois multiplicado pelo comprimento total do tubo se obtém a taxa de calor perdida por hora na rede de distribuição (kcal/h), podendo se utilizar esse dado para calcular o diâmetro da tubulação de retorno – item 4.2.1 –, por exemplo, ou para calcular o volume de gás desperdiçado segundo a equação 17 obtida da NBR 15526 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007, p. 26):

$$V = \frac{tk}{PCI} \quad (\text{equação 17})$$

Sendo:

$V$  = consumo de gás necessário para se fornecer a potência  $pk$  ( $m^3/h$ );

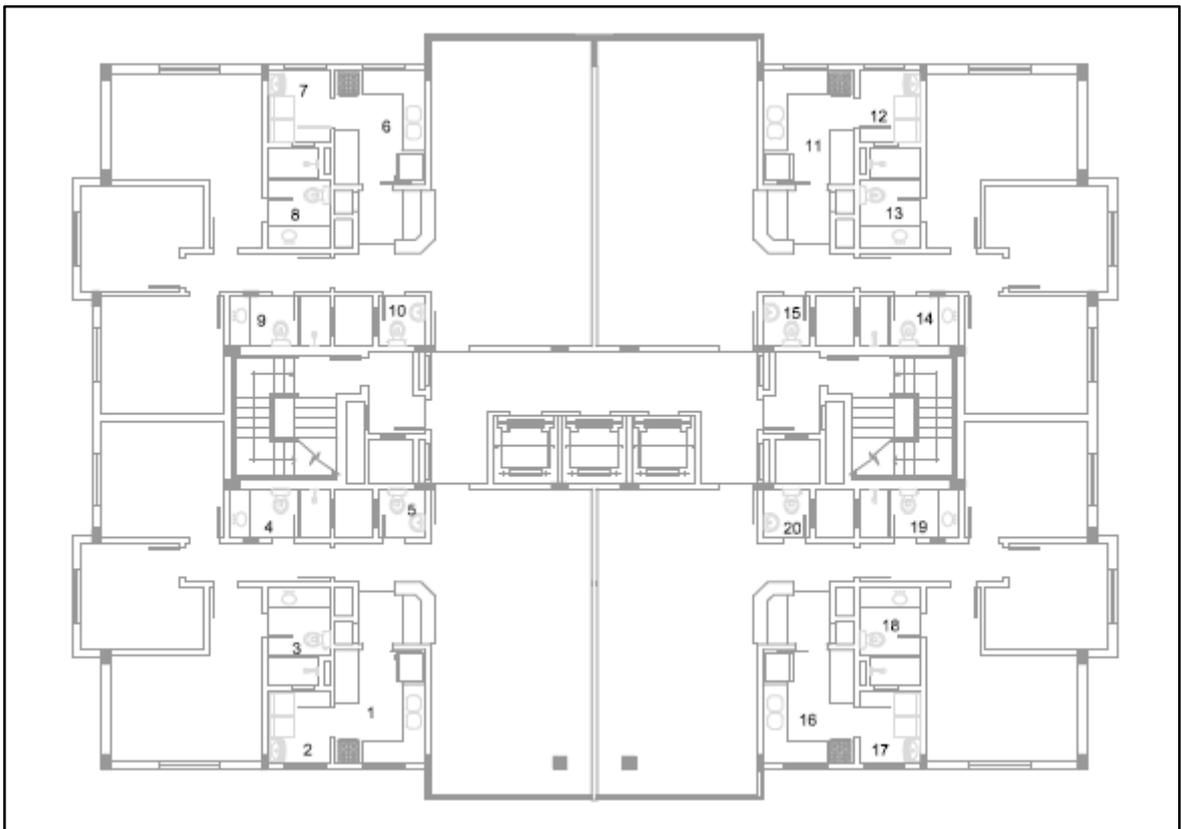
$tk$  = taxa de transferência de calor nas paredes das tubulações (kcal/h);

$PCI$  = é o poder calorífico inferior do gás considerado ( $kcal/m^3$ ).

## 5. PROJETOS HIDRÁULICOS

Para se fazer a análise comparativa entre as duas instalações prediais de água quente foi definida uma arquitetura de um prédio residencial hipotético, com lugar adequado dentro dos apartamentos para a instalação de aquecedores de passagem no projeto que contempla essa modalidade de aquecimento, e com *shafts* espaçosos próximos aos banheiros para que fosse possível prever colunas de água quente próximas aos pontos de utilização no caso do projeto com sistema central coletivo de aquecimento de água, tornando o desperdício de água nessa modalidade o menor possível. A arquitetura da figura 10 foi definida para que todos os quesitos citados fossem atendidos.

Figura 10 – Pavimento tipo do prédio estudado



(fonte: elaborado pelo autor)

Pode se notar a simetria do pavimento tipo em relação à vertical e horizontal, o que torna todos os apartamentos idênticos; dessa forma foi possível otimizar as instalações hidráulicas de ambos

os projetos para um apartamento só, e o volume de água armazenado dentro dos ramais, assim como a energia despendida pelas paredes das tubulações, puderam ser considerados iguais em todas as unidades do condomínio.

A numeração contida na figura 10 corresponde à identificação das peças que possuem instalações hidráulicas nos apartamentos; portanto, apesar de existir 20 números, cada peça pode ser representada por quatro números diferentes – pois se repetem em cada um dos quatro apartamentos. Essa numeração de 1 a 20 foi utilizada para o caso de ser necessária a identificação em projeto de uma unidade em separado.

Os dimensionamentos hidráulicos tanto das instalações de água fria quanto das instalações de água quente foram efetuados pelo método de cálculo por trechos da NBR 5626 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1998) – descrito no capítulo 4.1. Os cálculos foram executados com o auxílio de uma planilha eletrônica com os devidos recursos automáticos de verificação de pressões e velocidades, o que facilitou o lançamento dos diâmetros de rede com o melhor custo-benefício. Para o caso das instalações de água quente, a planilha eletrônica dispunha de um recurso para quantificar as perdas de calor nas tubulações e converte-las em valores monetários mensais, a partir das equações descritas no capítulo 4.3.

## 5.1 PROJETOS HIDRÁULICOS DE ÁGUA FRIA

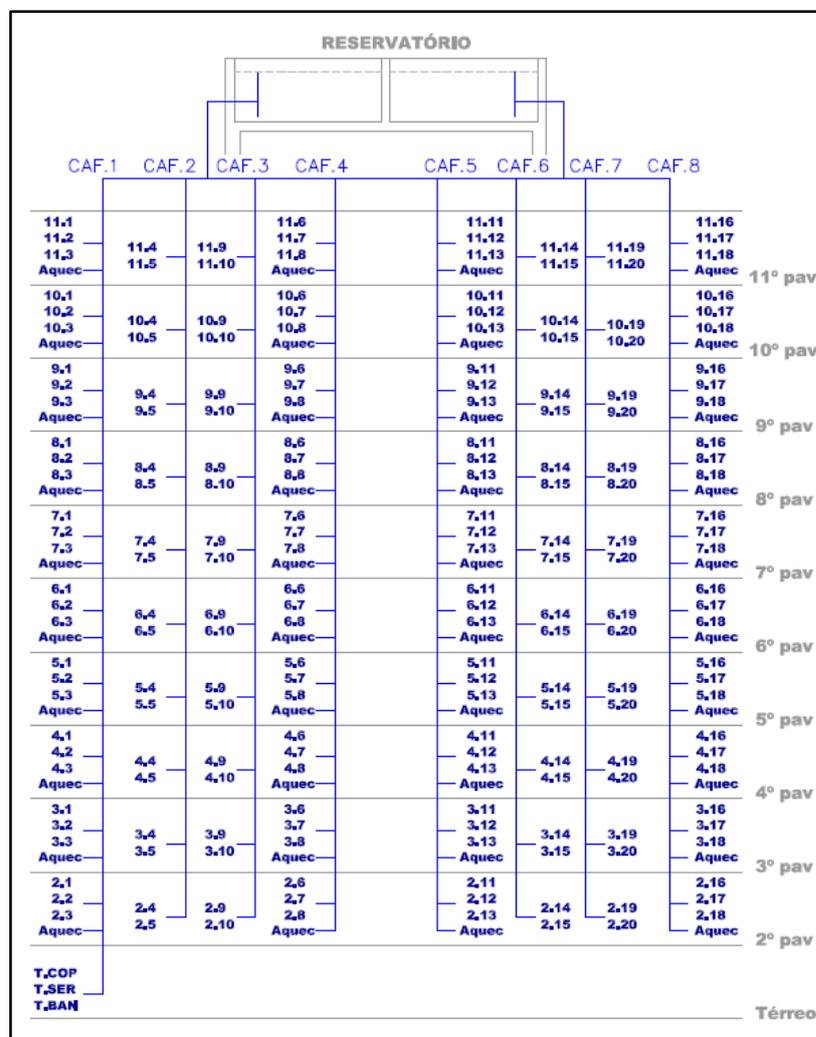
Para cada projeto de água quente que foi desenvolvido, teve também que ser desenvolvido um projeto de água fria compatível para prever o adequado abastecimento dos aquecedores com as pressões exigidas pelos fabricantes e, simultaneamente, garantir as condições ideais de abastecimento de água fria em cada ponto de consumo do prédio.

No projeto com aquecimento central coletivo de água quente teve que ser dimensionada uma coluna de água fria (CAF) exclusiva para alimentação da caldeira, que teve sua localização definida no pavimento térreo. O material escolhido para essa CAF, desde o barrilete de água fria até a entrada de alimentação da caldeira, foi o mesmo das instalações de água quente (PPR) para evitar possíveis danos nessa coluna de alimentação com algum eventual fluxo ascendente de água quente que possa ocorrer por convecção.

Para o projeto hidráulico com aquecimento central privado de água, os aquecedores de passagem foram locados na lavanderia dos apartamentos bem ao lado do *shaft* por onde passa

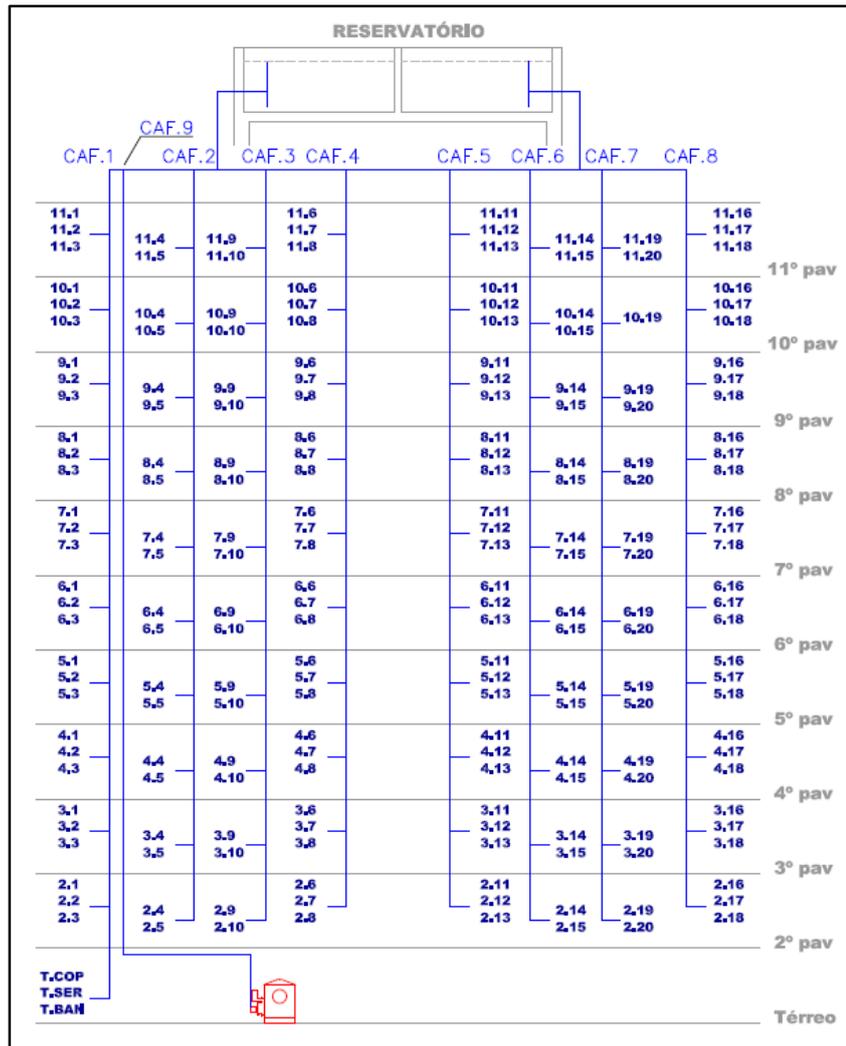
uma CAF, e dessa CAF foi dimensionada uma derivação exclusiva para alimentação desses aquecedores, além da derivação de alimentação dos pontos de consumo; tendo, portanto, duas derivações por andar nessas colunas de água fria. Essa derivação exclusiva para cada aquecedor foi uma solução escolhida para diminuir o comprimento de tubulação entre a CAF e a alimentação de cada aparelho, diminuindo assim o número de apartamentos que necessitariam de pressurizador de água para o adequado funcionamento desses aquecedores de passagem que geralmente necessitam de pressões entre 7 e 10 mca. As figuras 11 e 12 se referem aos esquemas verticais das duas instalações de água fria projetadas.

Figura 11 – Esquema vertical das instalações de água fria do sistema de aquecimento central privado



(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 12 – Esquema vertical das instalações de água fria do sistema de aquecimento central coletivo



(fonte: elaborado pelo autor)

## 5.2 PROJETOS HIDRÁULICOS DE ÁGUA QUENTE

### 5.2.1 Escolha da caldeira

A caldeira do projeto com sistema central coletivo de aquecimento foi escolhida pelo volume do reservatório, calculado pela equação 13, e pela potência do trocador de calor, determinada pela equação 14 considerando-se 45 min como tempo de aquecimento da água. O consumo de água quente calculado foi de 6750L/dia, sendo que o fabricante de caldeiras da região metropolitana de Porto Alegre que foi consultado para orçamento indicou um equipamento com reservatório de 5000L e com trocador de calor de 300.000 kcal/h para atender a demanda do prédio estudado.

### **5.2.2 Escolha do aquecedor de passagem**

O modelo de aquecedor de passagem a gás foi escolhido para esse projeto não levando em conta a potência calorífica do queimador, mas sim a vazão nominal de funcionamento do aparelho sob as condições ideais de pressão, que foram garantidas no projeto de água fria como descrito no início do capítulo 5. A vazão escolhida para este aquecedor foi determinada pensando na equiparação do conforto para dois projetos de água quente analisados nesse trabalho; logo se determinou que eventualmente, em uma família grande, há a necessidade de se usar os dois chuveiros ao mesmo tempo mais um lavatório, o que resultaria em uma demanda de água quente de 27L/min (definida a partir do quadro 5 do item 4.1.4), facilmente suprida no sistema com aquecimento central coletivo; entretanto, ao se fazer a cotação de preços para elaboração do orçamento, optou-se pelo uso de um aquecedor com vazão nominal de 25L/min, considerando que o benefício seria quase o mesmo que o modelo de 27L/min, mas com custo bem inferior.

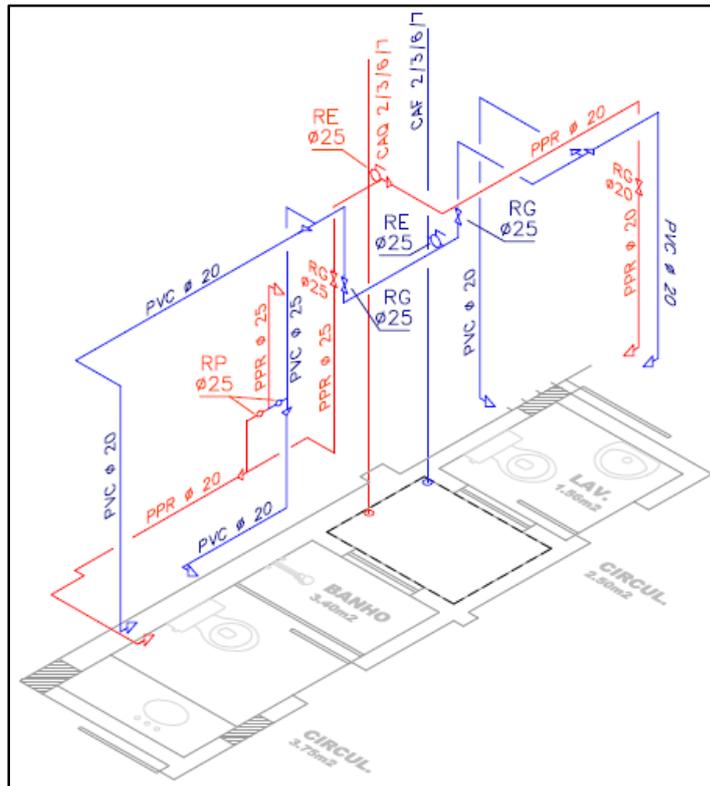
### **5.2.3 Considerações sobre o dimensionamento das tubulações de água quente**

No dimensionamento das redes de água quente do sistema com aquecimento central coletivo não foram utilizados os mesmos pesos apresentados no Quadro 1, referentes às vazões totais de cada aparelho, visto que a caldeira escolhida para a instalação fornece água à temperatura de 60°C, e a temperatura de consumo da água quente é de aproximadamente 42°C; portanto a vazão de água quente determinada para cada aparelho foi equivalente à parcela de água quente à 60°C na mistura com água fria (considerada em 12°C – item 6.2.1) para se obter os 42°C ideais para o consumo. Essa lógica é a mesma usada no cálculo de volume de água quente da caldeira, que foi apresentada na equação 10 do item 4.2.2; portanto, foi utilizada a mesma equação 10 trocando-se os volumes pelas vazões. A partir das vazões de água quente calculadas foram determinados os pesos relativos para cada aparelho (equação 6), usando-os no dimensionamento da rede de água quente.

Para o projeto de água quente com sistema central privado de aquecimento foram considerados os mesmos pesos utilizados no dimensionamento das instalações de água fria, visto que a temperatura de água fornecida pelos aquecedores de passagem geralmente é regulada para a faixa ideal de consumo, não havendo a necessidade de mistura com água fria.

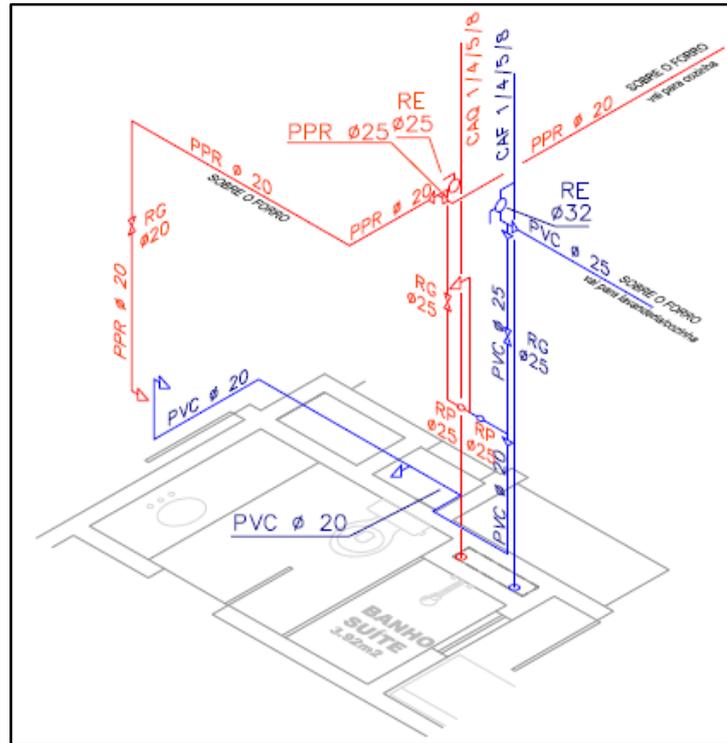
As figuras 13, 14 e 15 se referem aos detalhes isométricos das instalações dos apartamentos para o sistema de aquecimento central coletivo e as figuras 16, 17 e 18 são as isométricas das instalações com sistema central privado de aquecimento.

Figura 13 – Isométrica referente às instalações atendidas pelas CAQ's 2, 3, 6 e 7



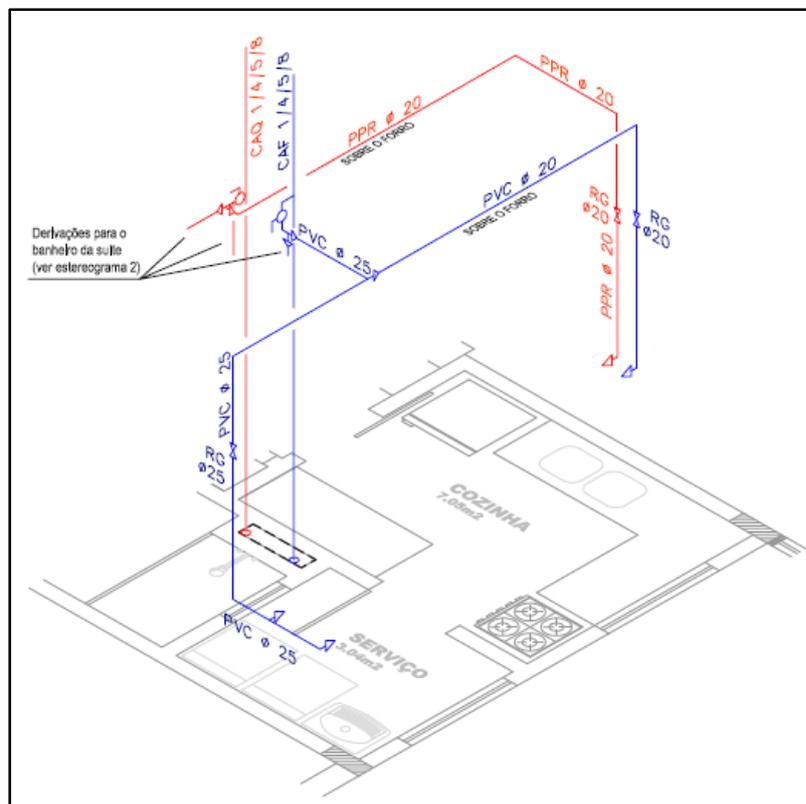
(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 14– Primeira parte das instalações atendidas pelas CAQ's 1, 4, 5 e 8



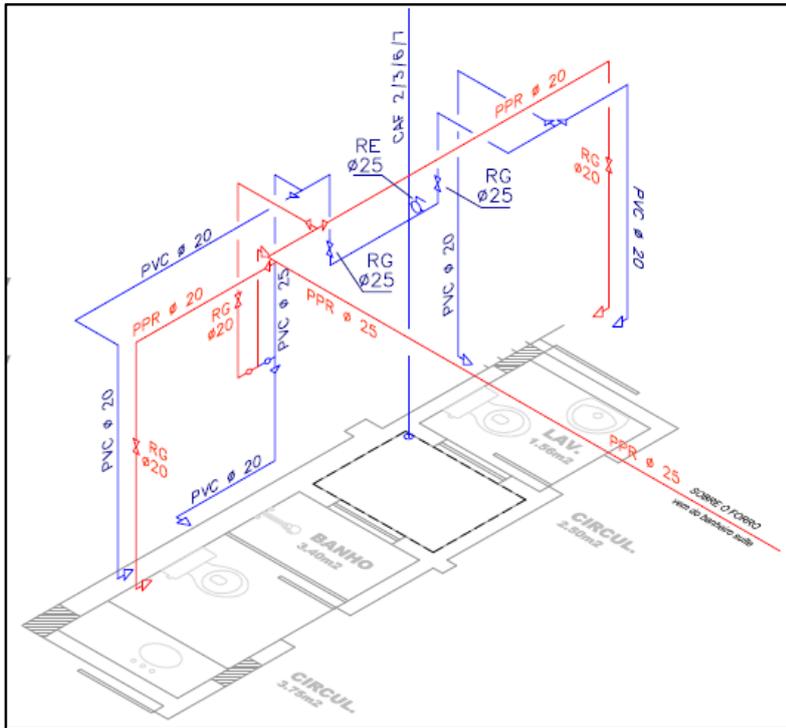
(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 15– Segunda parte das instalações atendidas pelas CAQ's 1, 4, 5 e 8



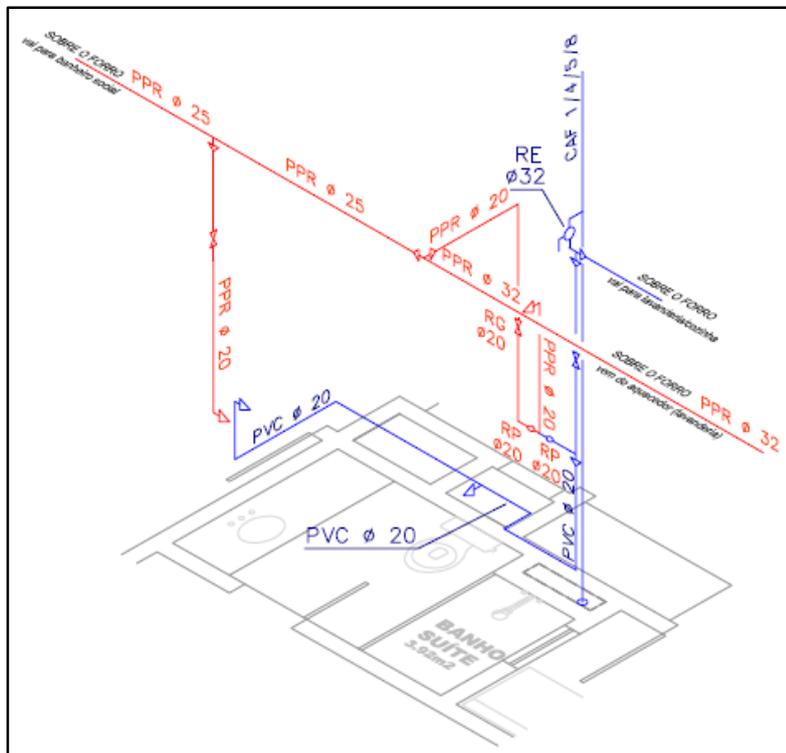
(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 16 – Isométrica 1: CAF's 2, 3, 6 e 7 do sistema central privado



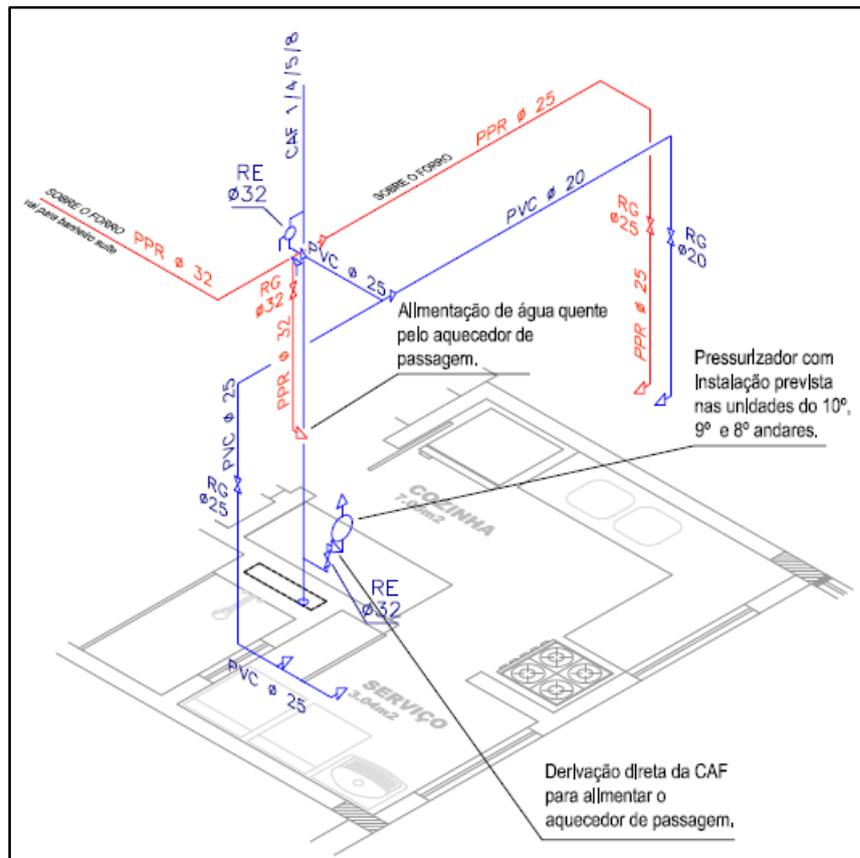
(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 17 – Isométrica 2: CAF's 1, 4, 5 e 8 do sistema central privado



(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 18 – Isométrica 3: CAF's 1, 4, 5 e 8 do sistema central privado



(fonte: elaborado pelo autor)

No apêndice A podem ser conferidos outros detalhes referentes aos projetos hidráulicos com sistema central coletivo de aquecimento de água e recirculação; no apêndice B estão os detalhes dos projetos hidráulicos com sistema central privado de aquecimento de água; e no apêndice C estão apresentados os detalhes dos projetos de água fria que se aplicam a ambos os casos.



## **6 ANÁLISE DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E CONSUMO DE ÁGUA**

### **6.1 CONSUMO DE ÁGUA**

O consumo de água diário é determinado por norma, como visto no início do capítulo 4, mas o desperdício de água gerado na operação de cada instalação estudada depende dos hábitos de cada usuário; por esse motivo teve que ser feita uma análise de uso diário das instalações determinando situações diversas que poderiam ocorrer, e analisou-se o volume de água fria drenado mensalmente dos ramais em cada uma das instalações de água quente.

O primeiro passo nessa análise foi determinar, para cada ponto de consumo dos apartamentos, qual o volume interno total dos ramais que os alimentam; esse volume corresponde ao montante de água que é drenado quando o intervalo entre duas utilizações consecutivas desse aparelho é grande o suficiente para que todo calor da água se dissipe e sua temperatura se torne imprópria para as condições de conforto no uso. O volume interno das tubulações já era calculado automaticamente pela planilha de dimensionamento hidráulico, assim como a dissipação de calor ao longo das tubulações; com isso foi necessário apenas determinar alguns panoramas de uso das instalações, tendo em vista que a população considerada para cada apartamento é de 6 pessoas, segundo o quadro 9 do item 4.2. O quadro 11 mostra quais os volumes internos dos ramais de água quente de cada aparelho, para cada um dos dois projetos, e o quadro 12 mostra quais foram as condições de consumo consideradas para comparar o desperdício de água nos dois casos.

Quadro 11 – Volume interno dos ramais para os projetos com sistema central coletivo de aquecimento e sistema central privado

	Volume Interno dos Ramais ou Sub-Ramais (L)	
	Central Coletivo	Central Privado
Chuveiro Banheiro Suíte	0,69	1,80
Lavatório Banheiro Suíte	0,74	1,76
Chuveiro Banheiro Social	1,16	2,69
Lavatório Banheiro Social	1,18	2,30
Lavatório Lavabo	0,66	2,65
Cozinha	0,86	1,72

(fonte: elaborado pelo autor)

Quadro 12 – Hipóteses de frequências diárias de drenagem dos ramais devido ao possível resfriamento da água

	Número de Drenagens Diárias dos Ramais			
	Hipótese 1	Hipótese 2	Hipótese 3	Hipótese 4
Chuveiro Banheiro Suíte	2	1	2	1
Lavatório Banheiro Suíte	4	2	3	2
Chuveiro Banheiro Social	4	3	3	2
Lavatório Banheiro Social	4	3	2	1
Lavatório Lavabo	2	1	0	1
Cozinha	3	2	3	2

(fonte: elaborado pelo autor)

O número máximo de vezes que um ramal poderia ser drenado foi determinado pelo número de usuários prováveis que cada aparelho teria. O chuveiro do banheiro da suíte, por exemplo, seria exclusivo aos usuários da suíte que, segundo o quadro 9, seriam duas pessoas; portanto o número possível de drenagens diárias do ramal do chuveiro da suíte (considerando que cada usuário toma banho uma vez ao dia) é:

- a) **uma drenagem** – quando os dois usuários tomam banho em sequência, não havendo tempo suficiente para resfriar a água dentro da tubulação;
- b) **duas drenagens** – quando há o resfriamento da água do ramal entre as duas utilizações diárias consideradas.

Os demais pontos de utilização de água quente dos banheiros tiveram o número de drenagens diárias de seus ramais definidas de forma análoga ao chuveiro da suíte. Para a drenagem do

ramal da pia da cozinha foi considerada uma frequência de uso de água quente nesse aparelho de duas a três vezes por dia – uma utilização para cada possível refeição feita em casa.

Essa metodologia descrita acima para a determinação do quadro de hipóteses de frequência de drenagens dos ramais teve como objetivo obter valores razoáveis de desperdício de água para a população considerada por apartamento, pois esses são eventos aleatórios que não podem ser previstos. O importante nessa análise hipotética é a sua aplicação feita de forma igual nas duas instalações estudadas, para que fosse possível uma comparação adequada entre a eficiência das duas instalações. Já pode ser visto de antemão, pelo quadro 11, que o desperdício para a instalação com sistema central privado de aquecimento de água será o dobro que na outra instalação, pois os volumes internos dos ramais nesse projeto ficaram aproximadamente duas vezes maiores que no outro projeto.

## 6.2 CONSUMO DE GÁS

### 6.2.1 Temperatura ambiente considerada nas simulações de consumo de gás

Como citado no capítulo de limitações desse trabalho, a temperatura ambiente que foi considerada nos cálculos de dissipação de calor, assim como nos cálculos de volume da caldeira, é a menor média mensal de temperaturas médias diárias obtidas de uma série histórica de 30 anos da cidade de Porto Alegre.

Os dados foram obtidos do Instituto Nacional de Meteorologia (Inmet), onde, para cada dia do ano, são marcadas as temperaturas mínima e máxima registradas. O primeiro passo no tratamento desses dados foi excluir da planilha os meses que haviam falhas de marcação, deixando apenas os meses que haviam todos os registros; em seguida foram calculadas as temperaturas médias para cada dia de registro – média aritmética entre as temperaturas máxima e mínima – e se fez a média mensal dessas médias diárias para todos os 30 anos de dados. A menor média mensal obtida foi de 12,25°C, referente ao mês de julho de 1996, temperatura comumente registrada nos termômetros de Porto Alegre no auge do inverno e, portanto, foi considerada como adequada na análise de um cenário crítico de consumo energético mensal de uma instalação de água quente projetada nesta cidade; como simplificação, foi utilizado um valor arredondado de 12°C para a temperatura ambiente.

## 6.2.2 Procedimentos de cálculo do consumo mensal de gás

A análise do consumo de gás se baseou na potência calorífica que deveria ser fornecida pelos trocadores de calor dos aquecedores para aquecer a água da temperatura ambiente (12°C) até a temperatura de fornecimento de água quente de cada equipamento (42°C para os aquecedores de passagem e 60°C para a caldeira) e, no caso da instalação com sistema central coletivo de aquecimento e recirculação, se considerou o gás desperdiçado referente à potência calorífica dissipada ao longo das colunas de água quente e da tubulação de retorno. O volume de água a ser aquecida foi considerado como o volume demandado pelos usuários para consumo acrescido do volume desperdiçado nas drenagens dos ramais – foi escolhido a hipótese 1 de desperdício do quadro 12. Dentro desta análise de consumo pode se identificar os dois principais motivos de desperdício de gás dentro da instalação:

- a) **desperdício de gás na drenagem da água fria dos ramais:** como a água é drenada do ramal após ter esfriado, o volume de gás que foi utilizado previamente no seu aquecimento também é considerado desperdício;
- b) **desperdício de gás na dissipação de calor nas paredes das tubulações:** esse é o desperdício de gás resultante da implantação de um sistema de distribuição de água com recirculação, onde se faz necessário o dispêndio de energia para manter a água dentro das tubulações na temperatura ideal de consumo durante todo o dia.

Para efetuar o cálculo da potência calorífica demandada no aquecimento do volume total de água (consumo mais desperdício) foi utilizada a equação 14, reescrita na equação 18 para esse caso em especial.

$$pk = V_{AQ} \times (T_{AQ} - T_{AF}) \times c \times \gamma \quad (\text{equação 18})$$

Sendo:

$pk$  = energia demandada do aquecedor de água no período (kcal/dia ou kcal/mês);

$V_{AQ}$  = volume de água quente consumido e desperdiçado no período (L/dia ou L/mês);

$T_{AQ}$  = temperatura da água quente fornecida pelo aquecedor (°C);

$T_{AF}$  = temperatura da água fria na situação analisada (°C);

$c$  = calor específico da água (1 kcal/kg°C);

$\gamma$  = peso específico da água (considerado como 1 kg/L).

O volume de gás consumido no aquecimento foi calculado pela equação 17, que também foi utilizada no cálculo do volume de gás dispendido nas instalações com recirculação de água quente para manter a água das tubulações aquecidas, onde o  $t_k$  é substituído pelo  $p_k$  calculado na equação 18.

#### 6.2.2.1 Cálculo do consumo de gás para o sistema central coletivo de aquecimento

O volume de água quente consumido diariamente foi considerado, para calcular o consumo de gás, como sendo os 6750L, calculados anteriormente na determinação do modelo de caldeira, e a este volume foi somado o desperdício resultante da hipótese 1 do quadro de frequências diárias de drenagens dos ramais.

Para o cálculo da taxa de transferência de calor pelas tubulações foram considerados três diferentes tipos de isolante revestindo as tubulações de PPR da classe PN 20 – não foi feito um estudo de eficiência energética aplicando-se as tubulações de PPR da classe PN 25 pelo fato de cálculos preliminares mostrarem que sua maior espessura em relação à classe PN 20 não apresentaria ganho significativo em economia de gás. Os três isolantes que foram aplicados ao circuito de recirculação (ver figura 8) são:

- a) **Polietileno** (10mm de espessura): esse isolante vendido em forma de tubos flexíveis é de fácil acesso em qualquer loja especializada em materiais hidráulicos, possui baixo custo por metro linear e é de fácil aplicação pelo fato de ser flexível e não necessitar de abraçadeira ou cola para fixá-lo ao redor das tubulações;
- b) **Lã de Vidro** (50mm de espessura): isolante encontrado em lojas mais especializadas em isolamento térmico, é vendido em tubos com um metro de comprimento e seu custo é bem superior ao do polietileno tradicional; ainda que possua uma condutibilidade térmica ligeiramente maior que do polietileno –  $0,04\text{W/m}\cdot^{\circ}\text{C}$  –, possui alta capacidade de isolamento devido sua maior espessura;
- c) **Isopor** (50mm de espessura): material rígido vendido em calhas para se acoplar ao redor das tubulações; possui baixíssima condutibilidade térmica –  $0,024\text{W/m}\cdot^{\circ}\text{C}$  – e custo próximo ao do polietileno.

A temperatura da água considerada nesses cálculos foi a temperatura padrão de fornecimento da caldeira ( $60^{\circ}\text{C}$ ).

#### 6.2.2.2 Cálculo do consumo de gás para o sistema central privado de aquecimento

Nesse caso foi considerada a demanda total de água quente, definida pelos quadros 8 e 9 do capítulo 4.2, e à essa demanda também foi somado o volume de desperdício de água referente à hipótese 1 do quadro de frequências diárias de drenagens dos ramais, para o cálculo do volume de gás necessário ao aquecimento.

## 7 ELABORAÇÃO DOS ORÇAMENTOS

Foram gerados três orçamentos para as instalações com sistema central coletivo de aquecimento, onde cada orçamento se diferencia apenas pelos materiais empregados no isolamento do circuito de recirculação (como já mencionado no item 6.2.2.1). Esse cálculo de custos para cada tipo de isolante foi feito com o intuito de se analisar qual o melhor material a ser empregado em instalações com recirculação de água quente, visando encontrar a melhor relação entre custo de instalação e desempenho energético.

Para as instalações com sistema central privado de aquecimento de água foi elaborado apenas um orçamento visto que nesse projeto não foram usados isolantes nas tubulações dos ramais de água quente por não possuírem recirculação de água e, por consequência, o desperdício de gás deste sistema está relacionado apenas ao desperdício de água drenada dos ramais.

Nos dois casos foram orçadas as instalações de água fria, incluindo alimentador, reservatório superior e inferior, sistema de recalque e o sistema de distribuição; e as instalações de água quente, onde se incluíam, além das tubulações e aquecedores, a bomba de recirculação e os isolantes térmicos, onde necessário.

Nos apêndices D e E desse trabalho podem ser conferidos os quantitativos levantados para os dois projetos, e no capítulo de resultados foi feita uma análise mais detalhada sobre os custos correspondentes à cada orçamento.



## 8. RESULTADOS

### 8.1 CUSTO DO DESPERDÍCIO MENSAL DE ÁGUA

Os resultados de desperdício diário e mensal de água calculados a partir das hipóteses do quadro 12, que tratava de possíveis frequências diárias de drenagem nos ramais de cada aparelho, podem ser analisados no quadro 13.

Quadro 13 – Desperdício hipotético diário e mensal de água nas duas instalações considerando condições iguais de uso para ambas

		Volumes de Água Drenados Diariamente e Mensalmente por Apartamento(L)							
		Hipótese 1		Hipótese 2		Hipótese 3		Hipótese 4	
		Diário	Mensal	Diário	Mensal	Diário	Mensal	Diário	Mensal
Central Coletivo com Recirculação	Chuveiro Banheiro Suíte	1.4	41.2	0.7	20.6	1.4	41.2	0.7	20.6
	Lavatório Banheiro Suíte	3.0	89.3	1.5	44.7	2.2	67.0	1.5	44.7
	Chuveiro Banheiro Social	4.6	138.9	3.5	104.2	3.5	104.2	2.3	69.5
	Lavatório Banheiro Social	4.7	142.0	3.5	106.5	2.4	71.0	1.2	35.5
	Lavatório Lavabo	1.3	39.3	0.7	19.7	0.0	0.0	0.7	19.7
	Cozinha	2.6	77.3	1.7	51.5	2.6	77.3	1.7	51.5
	<b>Total:</b>	<b>17.6</b>	<b>528.1</b>	<b>11.6</b>	<b>347.2</b>	<b>12.0</b>	<b>360.7</b>	<b>8.0</b>	<b>241.4</b>
Central Privado	Chuveiro Banheiro Suíte	3.6	108.2	1.8	54.1	3.6	108.2	1.8	54.1
	Lavatório Banheiro Suíte	7.0	210.8	3.5	105.4	5.3	158.1	3.5	105.4
	Chuveiro Banheiro Social	10.8	323.1	8.1	242.3	8.1	242.3	5.4	161.5
	Lavatório Banheiro Social	9.2	275.9	6.9	207.0	4.6	138.0	2.3	69.0
	Lavatório Lavabo	5.3	159.2	2.7	79.6	0.0	0.0	2.7	79.6
	Cozinha	5.2	154.9	3.4	103.3	5.2	154.9	3.4	103.3
	<b>Total:</b>	<b>41.1</b>	<b>1232.1</b>	<b>26.4</b>	<b>791.6</b>	<b>26.7</b>	<b>801.4</b>	<b>19.1</b>	<b>572.9</b>

Dentro do panorama de custos esses volumes mensais desperdiçados por apartamento podem não ser significativos, considerando-se a tarifa de água cobrada pelo DMAE em Porto Alegre que é de R\$2,74/m<sup>3</sup>, resultando no pior caso (hipótese 1 aplicada à instalação com sistema central privado de aquecimento) em um desperdício mensal de R\$3,37.

### 8.2 CUSTO ENERGÉTICO MENSAL DAS INSTALAÇÕES

Para a melhor análise dos custos de consumo de energia foi elaborado o quadro 14, onde os custos de aquecimento da água de consumo, aquecimento da água desperdiçada nas drenagens

dos ramais e dissipação de calor são apresentados separadamente, considerando para tal cálculo um custo de R\$5,00 por quilograma de GLP.

Quadro 14 – Custos mensais de GLP

	Custos mensais de GLP por apartamento para as duas instalações					
	Aquecimento de água		Dissipação de calor na recirculação da água quente			
	Água de consumo	Água desperdiçada (Hipótese 1)	Polietileno 10mm espessura	Lã de Vidro 50mm espessura	Isopor 50mm espessura	
Central Coletivo	R\$ 106,58	R\$ 11,12	R\$ 65,37	R\$ 25,07	R\$ 15,93	
Central Privado	R\$ 106,58	R\$ 16,21	-			

(fonte: elaborado pelo autor)

No quadro 14 fica claro que os custos de aquecimento de água para consumo teriam que ser iguais, pois a demanda para ambos os casos é a mesma, logo o que diferencia cada sistema dentro de uma análise de eficiência energética são os custos de gás relativos aos desperdícios impostos pelas instalações. O custo de aquecimento de água desperdiçada está relacionado ao aquecimento da água que é drenada dos ramais após seu resfriamento.

### 8.3 CUSTO DE IMPLANTAÇÃO DE CADA SISTEMA

Os valores finais de cada orçamento podem ser conferidos no quadro 15, onde estão detalhados também os custos relativos à alguns itens de cada orçamento, permitindo se analisar quais desses itens tem maior peso dentro de cada projeto.

Quadro 15 – Detalhe dos custos de implantação dos projetos hidráulicos estudados

Instalações	Itens	Projetos					
		Sistema Central Coletivo Polietileno/10mm		Sistema Central Coletivo Lã de Vidro/50mm		Sistema Central Coletivo Isopor/50mm	
Água Quente	Tubos	R\$ 11.923,52	R\$ 11.923,52	R\$ 11.923,52	R\$ 5.946,80		
	Conexões	R\$ 11.018,31	R\$ 11.018,31	R\$ 11.018,31	R\$ 9.485,60		
	Registros	R\$ 14.191,80	R\$ 14.191,80	R\$ 14.191,80	R\$ 10.154,80		
	Isolamento Térmico	R\$ 1.655,75	R\$ 20.328,88	R\$ 2.824,10	R\$ 0,00		
	Aquecedor	R\$ 55.560,00	R\$ 55.560,00	R\$ 55.560,00	R\$ 83.960,00		
	Motobombas	R\$ 850,00	R\$ 850,00	R\$ 850,00	R\$ 4.140,00 *		
Água Fria	Tubos	R\$ 5.947,72	R\$ 5.947,72	R\$ 5.947,72	R\$ 6.295,96		
	Conexões	R\$ 5.070,72	R\$ 5.070,72	R\$ 5.070,72	R\$ 7.481,82		
	Registros	R\$ 9.890,00	R\$ 9.890,00	R\$ 9.890,00	R\$ 9.854,10		
	Reservatório Concreto	R\$ 30.800,00	R\$ 30.800,00	R\$ 30.800,00	R\$ 30.800,00		
	Motobombas	R\$ 5.600,00	R\$ 5.600,00	R\$ 5.600,00	R\$ 5.600,00		
	Custo total de Material	R\$ 152.507,82	R\$ 171.180,96	R\$ 153.676,17	R\$ 173.719,08		
Custo total de Mão de Obra (Sinduscon CUB/SET)	R\$ 172.333,84	R\$ 193.434,48	R\$ 173.654,08	R\$ 196.302,56			
<b>Total dos Orçamentos</b>	<b>R\$ 324.841,67</b>	<b>R\$ 364.615,44</b>	<b>R\$ 327.330,25</b>	<b>R\$ 370.021,65</b>			

\* no item "Motobombas" das instalações de água quente do sistema central privado também estão inclusos todos os pressurizadores de água

(fonte: elaborado pelo autor)

Pode se analisar através do quadro 15 que, apesar das instalações com sistema central coletivo de aquecimento possuírem um custo de tubulações aproximadamente duas vezes maior que da outra instalação estudada, o item que deu maior peso aos orçamentos, fazendo com que as instalações com sistema central privado tivessem o maior custo orçado, foi o aquecedor.

#### 8.4 ANÁLISE GERAL DOS CUSTOS DE INSTALAÇÃO E OPERAÇÃO

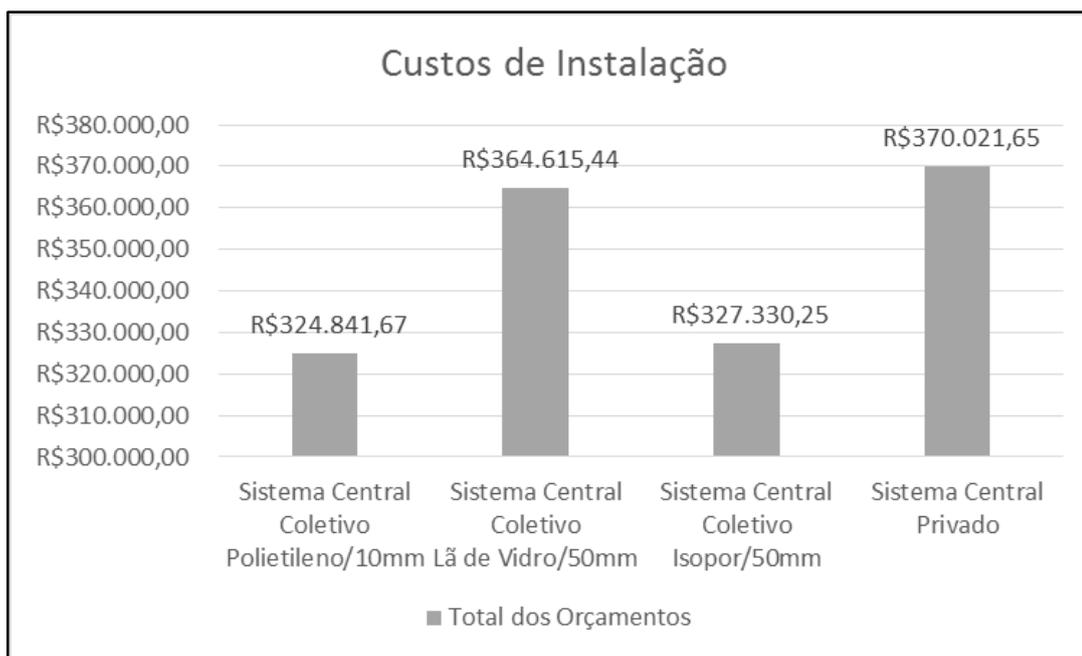
Para que se possa analisar de forma mais eficiente as características de consumo das instalações estudadas, comparando com os custos de instalação e apontando qual seria a melhor opção a ser implantada, foram elaborados o quadro 16 e as figuras 19 e 20 que apresentam de forma mais nítida os custos desses sistemas.

Quadro 16 – Resumo dos custos referentes à cada sistema

CUSTOS MENSIS DE OPERAÇÃO E CUSTOS DE INSTALAÇÃO DOS SISTEMAS PARA TODO PRÉDIO							
	Sistema Central Coletivo Polietileno/10mm		Sistema Central Coletivo Lã de Vidro/50mm		Sistema Central Coletivo Isopor/50mm		Sistema Central Privado
Desperdício Mensal de Água (Hipótese 1)	R\$	57,88	R\$	57,88	R\$	57,88	R\$ 135,04
Desperdício Mensal de GLP	R\$	3.059,53	R\$	1.447,53	R\$	1.081,93	R\$ 648,47
Custo Total Mensal de Operação	R\$	3.117,42	R\$	1.505,42	R\$	1.139,82	R\$ 783,51
Total dos Orçamentos	R\$	324.841,67	R\$	364.615,44	R\$	327.330,25	R\$ 370.021,65

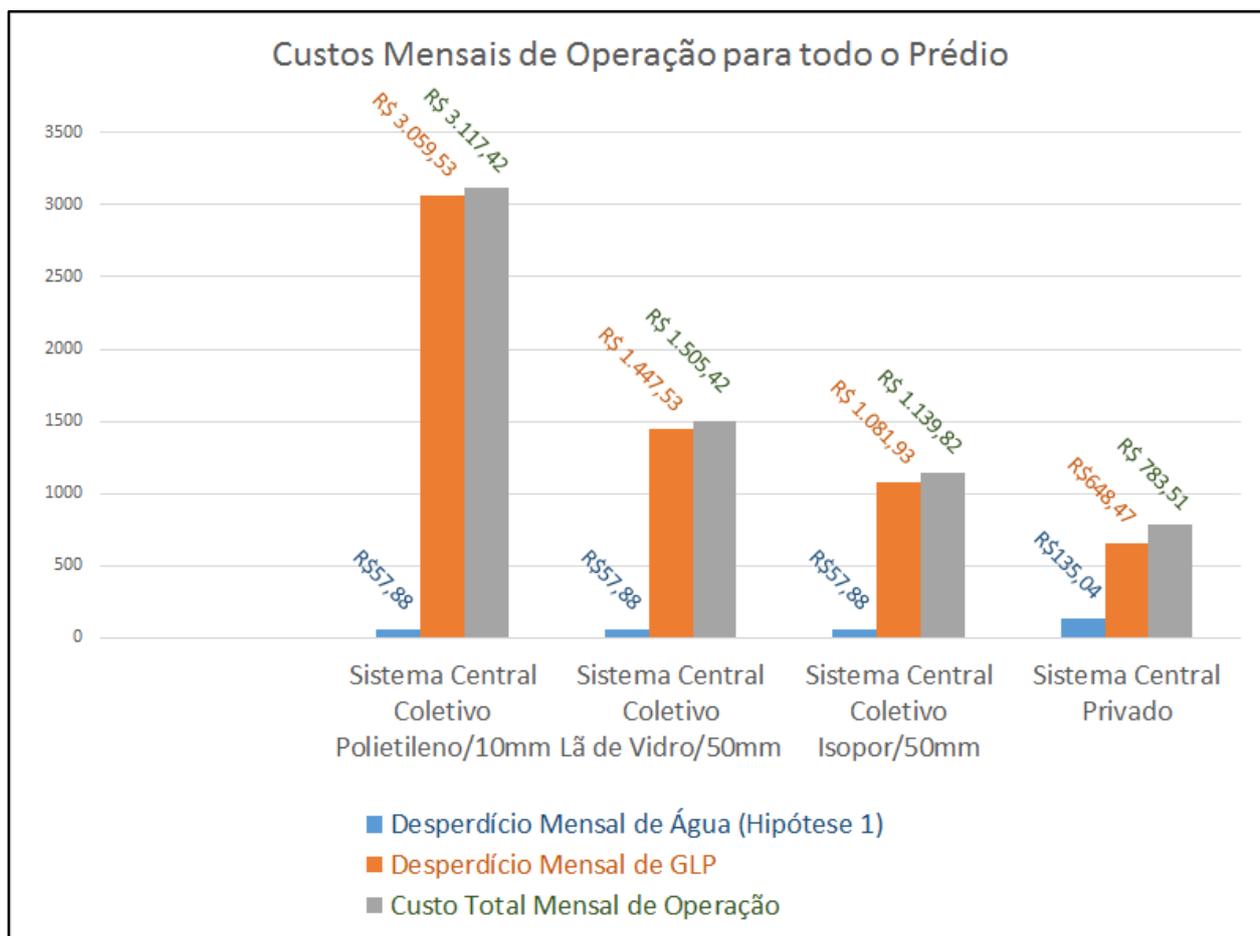
(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 19 – Gráfico comparativo de custos de instalação de cada sistema



(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 20 – Gráfico comparativo de custos de operação de cada sistema



(fonte: elaborado pelo autor)

Os gráficos mostram a excelência do isopor na aplicação em sistemas de recirculação de água, pois o baixo custo desse material não pesa significativamente no orçamento e sua baixa condutibilidade térmica proporciona ao sistema uma excelente eficiência energética, chegando a valores próximos aos do sistema central privado que não possui as perdas de calor provenientes da recirculação de água.

Apesar da terceira alternativa do gráfico da figura 19 (circuito de recirculação isolado por isopor) possuir um ótimo custo de instalação combinado à uma excelente eficiência térmica, os custos menores de operação das instalações com sistema central privado de aquecimento, que representam aproximadamente R\$8,90 de economia por mês por apartamento, tornam essa a opção mais barata dentro de um horizonte de tempo de 19 anos, considerando-se como referência uma aplicação bancária de baixo risco com rendimento de 8,0% ao ano (cálculo feito a partir da técnica de *payback* composto).

## 9. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos com esse trabalho mostram que as instalações de água quente que possuem central coletiva de aquecimento e recirculação de água podem apresentar custos de operação muito elevados em relação ao sistema central privado, um exemplo disso foi o projeto que teve a eficiência térmica do sistema de recirculação calculado considerando-se o isolamento das tubulações com polietileno. Porém, se bem projetadas e isoladas termicamente, diminuindo o desperdício de água e gás, esta pode ser uma boa solução para se implantar em um prédio de padrão normal de acabamento, aumentando o conforto do usuário sem que haja um acréscimo considerável no custo mensal de operação das instalações, quando comparado ao sistema tradicional baseado em aquecedores de passagem a gás; neste caso deve se prever *shafts* especialmente dimensionados para a alocação das colunas de água quente, pois estas chegam a triplicar de diâmetro com a aplicação de camadas grossas de isolante para se garantir a boa eficiência.

Pôde se analisar também que o custo mensal devido ao desperdício de água gerado nas drenagens dos ramais é irrelevante frente ao desperdício de energia que as instalações representam no seu todo; porém, o custo mensal do gás utilizado para o aquecimento da água desperdiçada é de grande relevância dentro do panorama de eficiência energética das instalações, sendo indispensável a previsão em projeto de ramais curtos entre a fonte de água quente e o ponto de consumo para se obter uma instalação de baixo custo operacional.

Ainda que só tenham sido considerados custos nas análises de viabilidade de instalação de cada sistema, deve também se levar em consideração a implantação de um sistema central coletivo com recirculação com o intuito de diminuir o impacto da edificação no consumo de água do município em que esta se encontra; contribuindo dessa forma para uma melhoria futura da oferta e distribuição de água potável dentro da sociedade.



## REFERÊNCIAS

AMANCO BRASIL. **Manual Técnico**: Linha Amanco PEX. Joinville, 2012. Disponível em: [http://www.amanco.com.br/web/image/catalogo/segmentos/catalogos/baixa\\_amco\\_manual\\_tecnico\\_amanco\\_pex\\_atualizacao\\_v1\\_FINAL.pdf](http://www.amanco.com.br/web/image/catalogo/segmentos/catalogos/baixa_amco_manual_tecnico_amanco_pex_atualizacao_v1_FINAL.pdf).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5626**: instalação predial de água fria. Rio de Janeiro, 1998.

\_\_\_\_\_. **NBR 7198**: projeto e execução de instalação predial de água quente. Rio de Janeiro, 1993.

\_\_\_\_\_. **NBR 15526**: redes de distribuição interna para gases combustíveis em instalações residenciais e comerciais – projeto e execução. Rio de Janeiro, 2007.

BEJAN, Adrian. **Transferência de calor**. São Paulo: Edgard Blücher, 1996.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Resenha Energética**: exercício 2013. Brasília, 2014. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/web/guest/publicacoes-e-indicadores/balanco-energetico-nacional>>. Acesso em: 12 abr.2015.

CARVALHO, W. F. **Medição individualizada de água em apartamentos**. 2010. 95 f. Monografia (Especialização em Construção Civil) – Curso de Especialização em Construção Civil, Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.

CARVALHO JÚNIOR, Roberto de. **Instalações hidráulicas e o projeto de arquitetura**. 4. ed. São Paulo: Blucher, 2011.

ILHA, M. S. O.; GONÇALVES, O. M.; KAVASSAKI, Y. **Sistemas Prediais de Água Quente**. São Paulo: EPUSP, 1994. Boletim Técnico PCC n. 09.

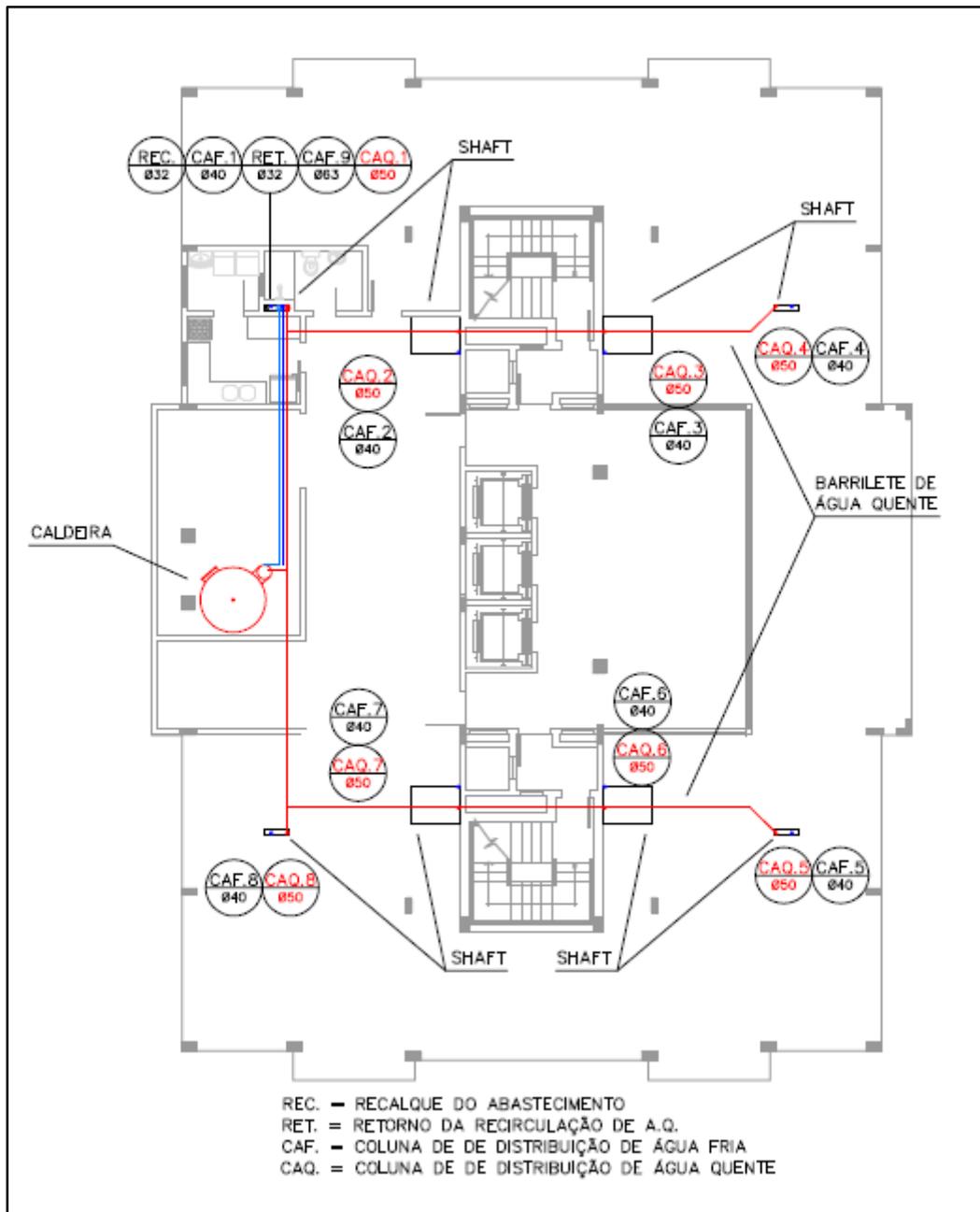
MACINTYRE, A. J. **Instalações hidráulicas**: prediais e industriais. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2010.

PORTO ALEGRE. Prefeitura Municipal de Porto Alegre. **Decreto n. 9369**, de 29 de dezembro de 1988. Regulamenta a Lei Complementar n. 170 de 31 de dezembro de 1987, alterada parcialmente pela Lei Complementar n. 180 de 18 de agosto de 1988. Estabelece normas para instalações hidrossanitárias e serviços públicos de abastecimento de água e esgoto sanitário prestados pelo Departamento Municipal de Água e Esgotos. Porto Alegre, RS, 3 de março de 2004. Disponível em: [http://proweb.procempa.com.br/pmpa/prefpoa/dmae/usu\\_doc/cip9369-decreto.pdf](http://proweb.procempa.com.br/pmpa/prefpoa/dmae/usu_doc/cip9369-decreto.pdf)

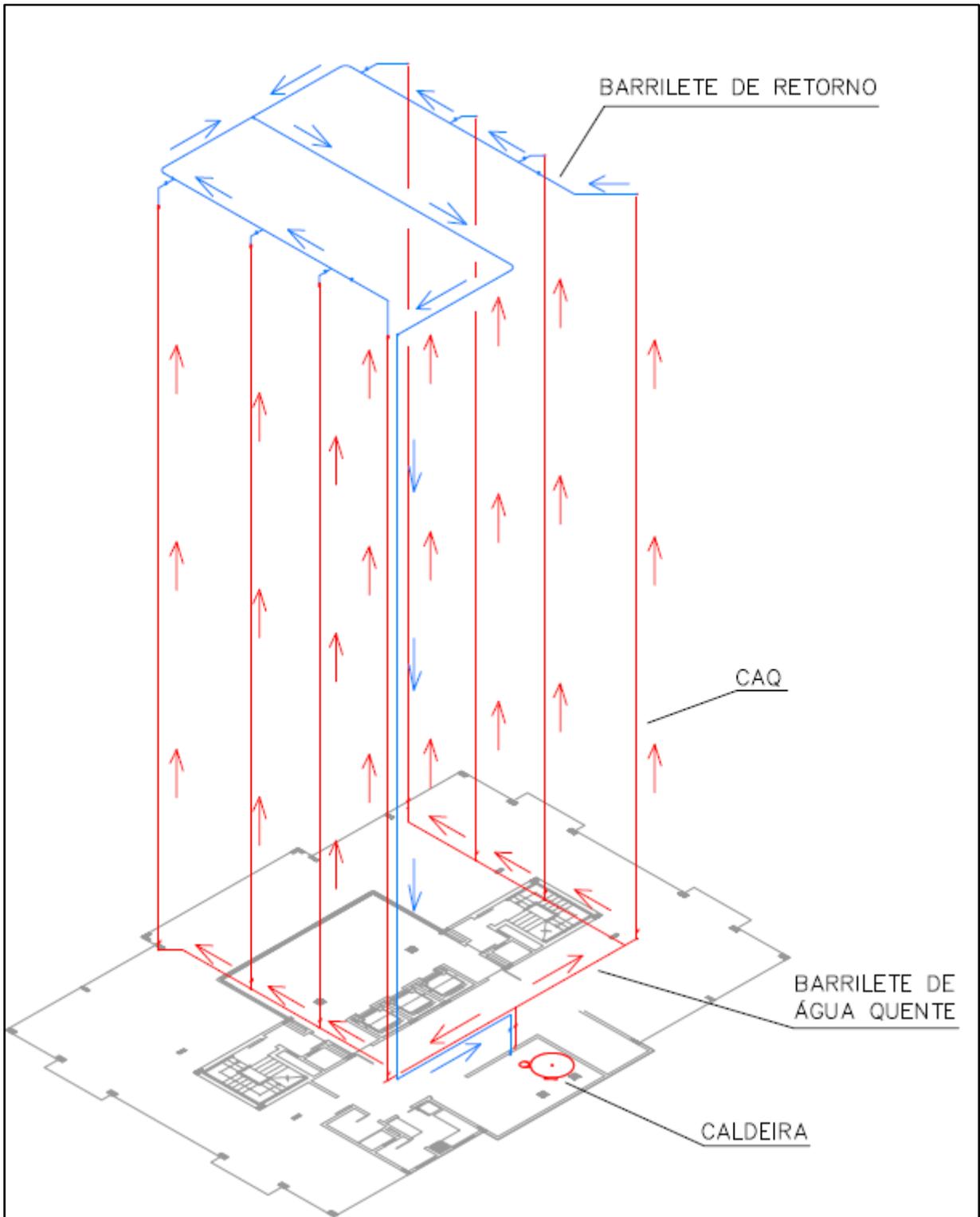


**APÊNDICE A – Projeto de água quente com sistema central coletivo de aquecimento de água**

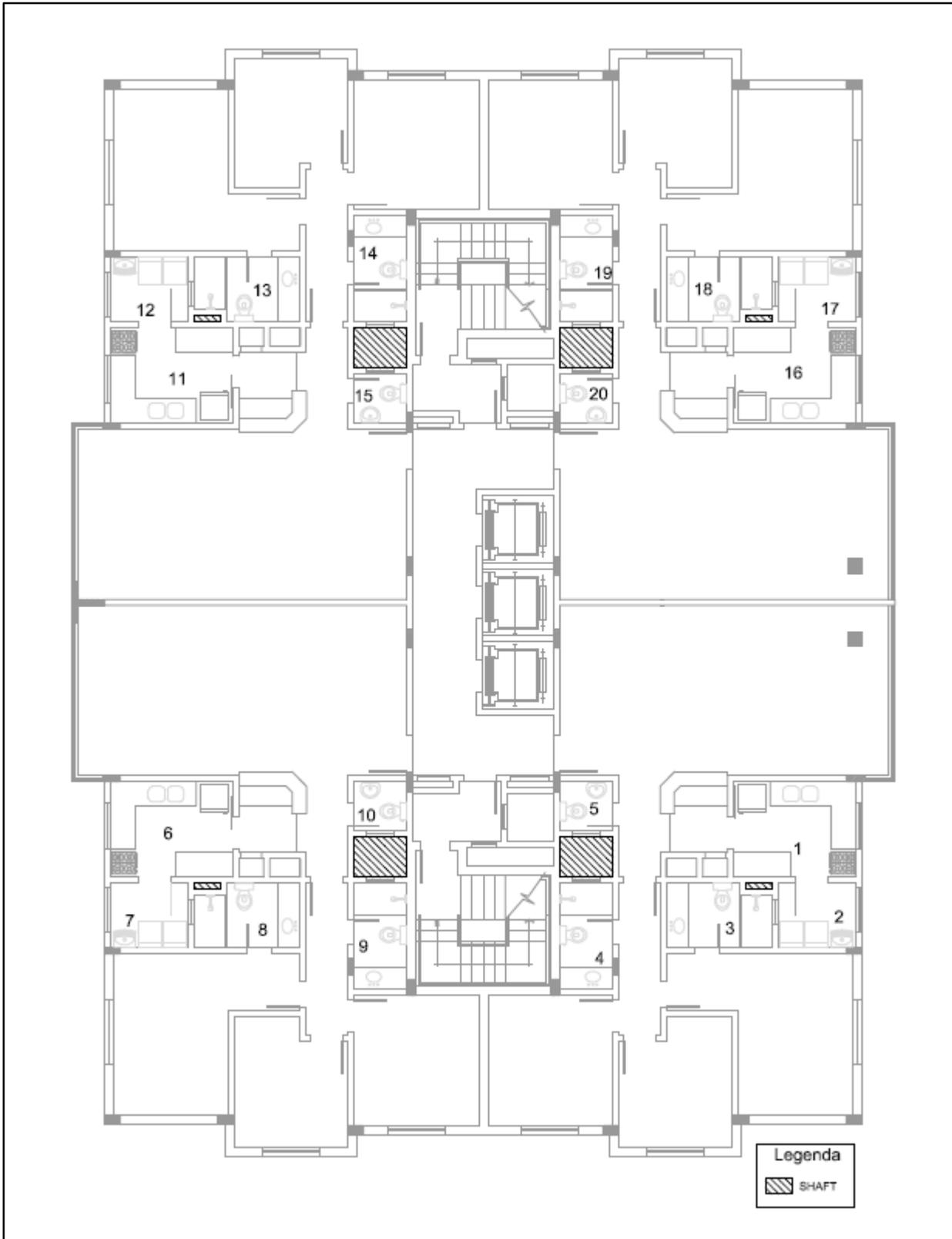
## Instalações de água quente no térreo em planta baixa



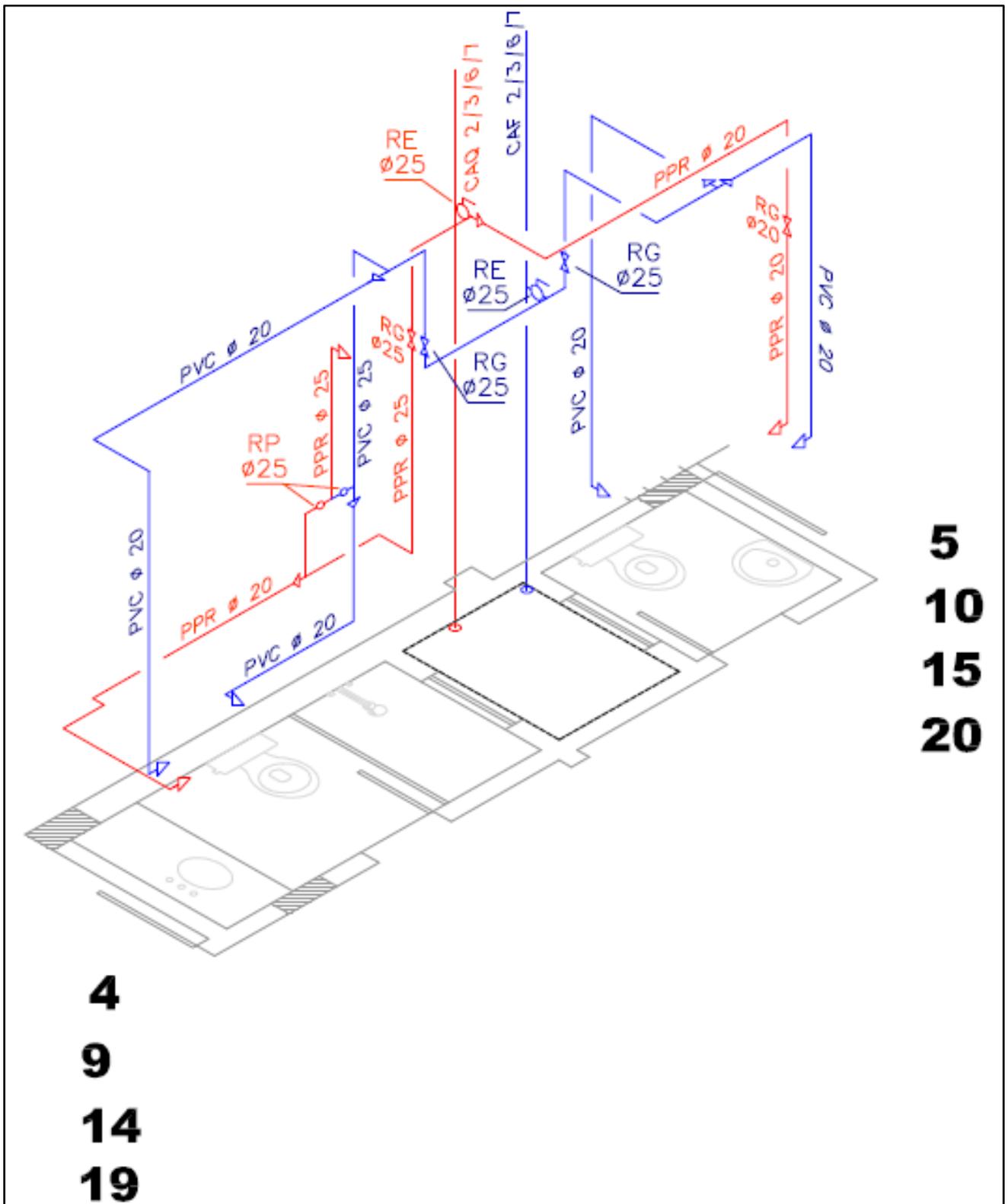
Isométrica geral do circuito de recirculação com as setas indicando o fluxo da água –  
Sistema Ascendente de Distribuição



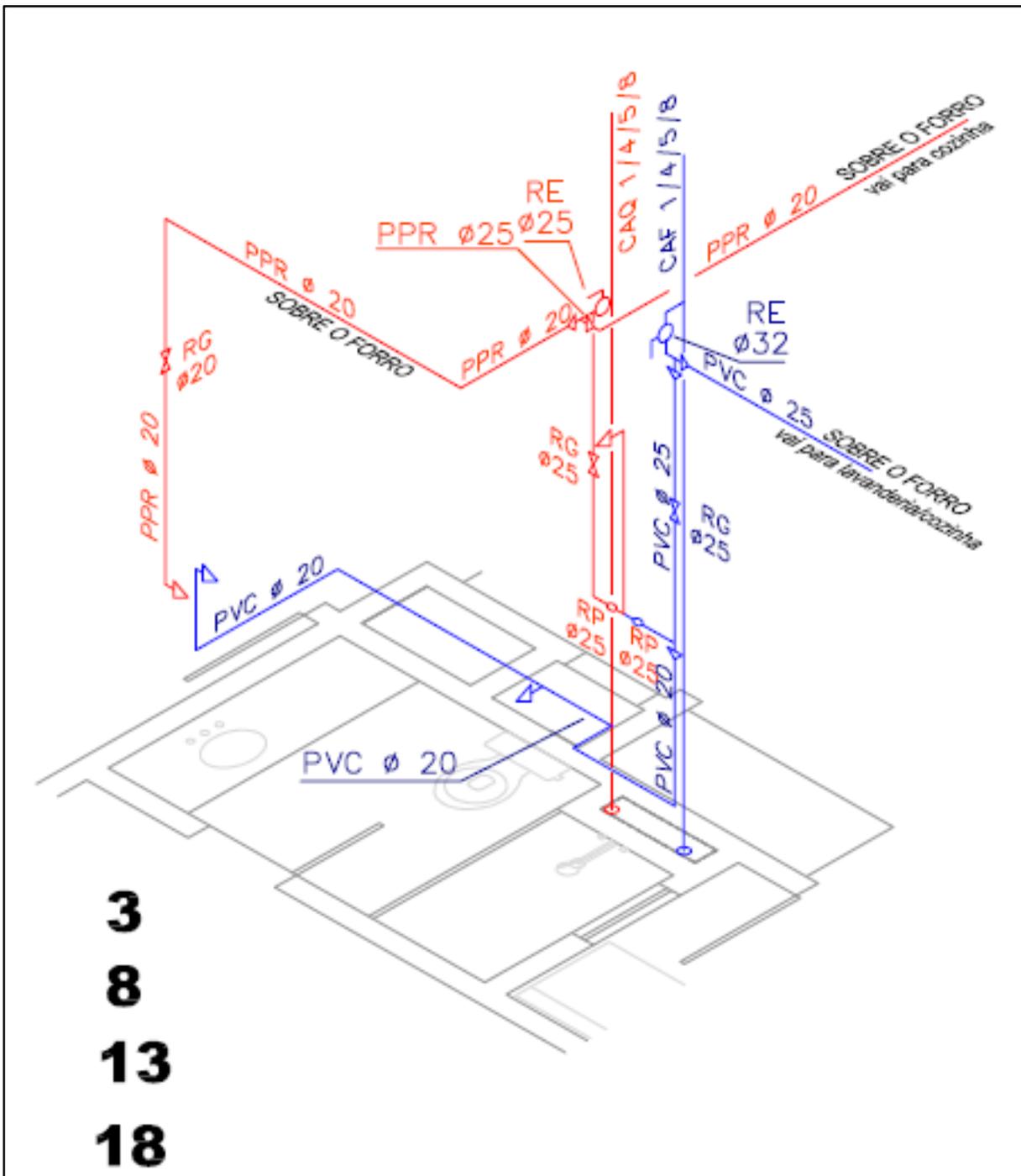
Planta baixa do pavimento tipo com a numeração das instalações e a identificação dos shafts com hachura



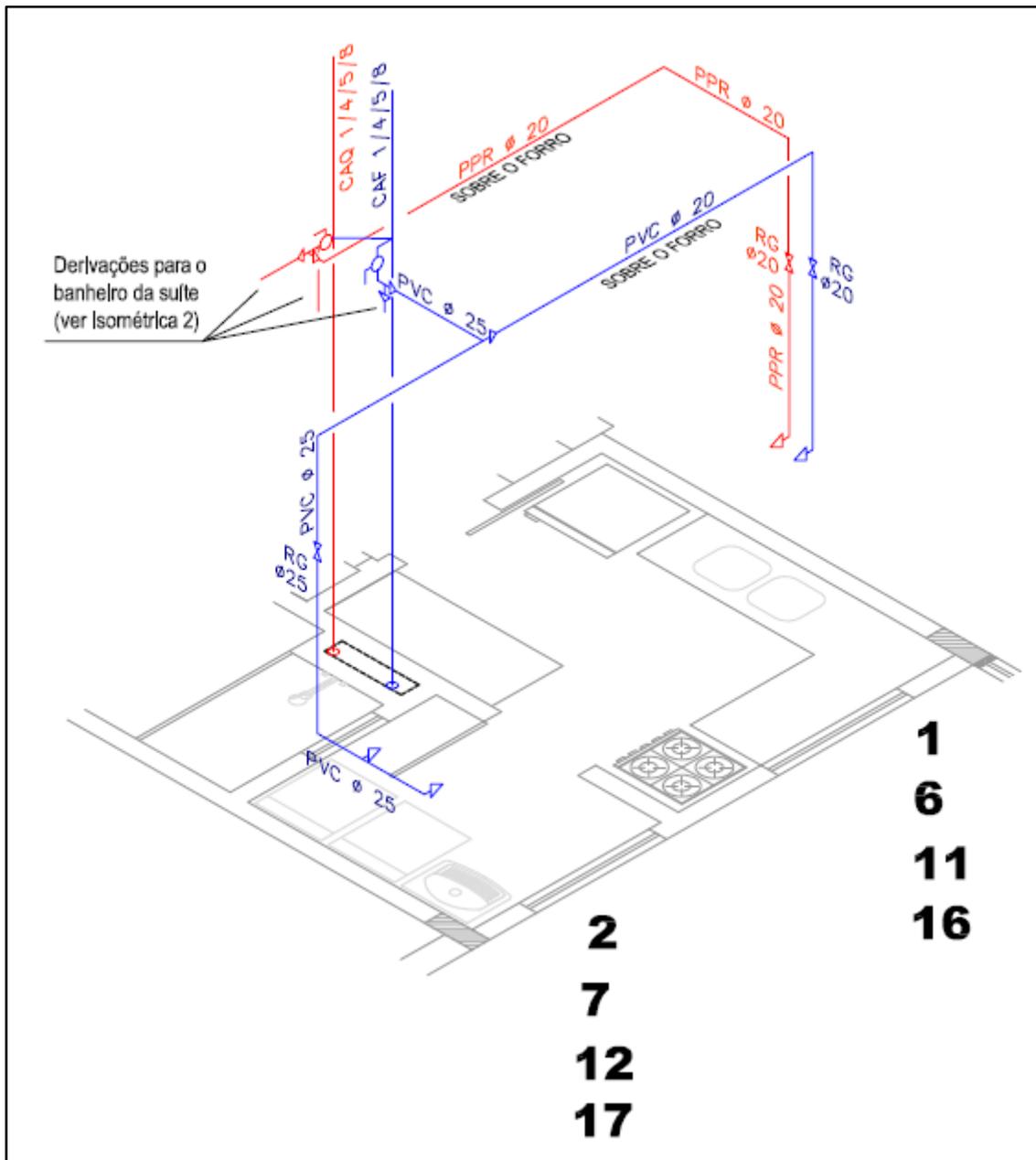
Isométrica 1 – instalações do banheiro social e lavabo



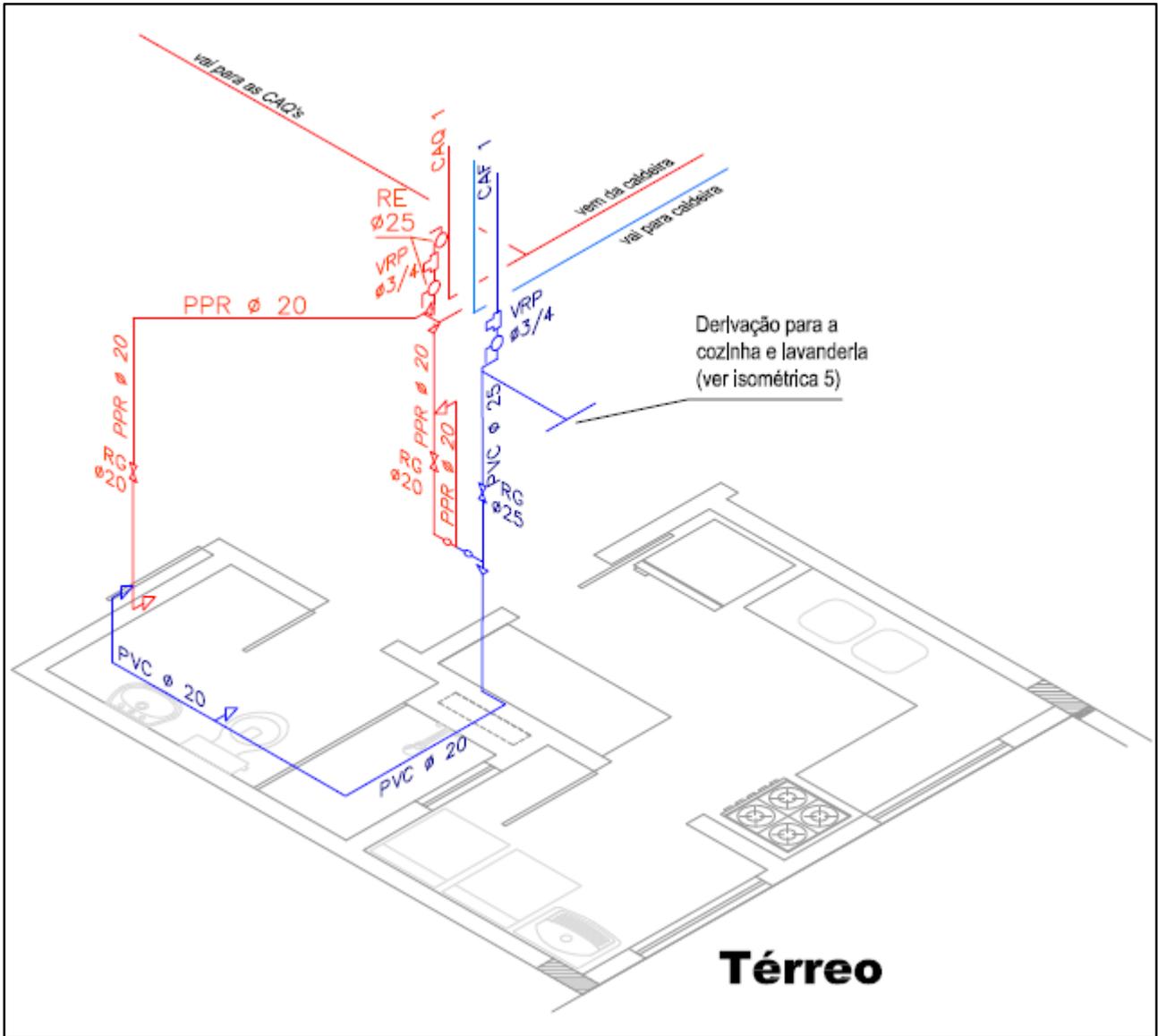
Isométrica 2 – instalações do banheiro da suíte



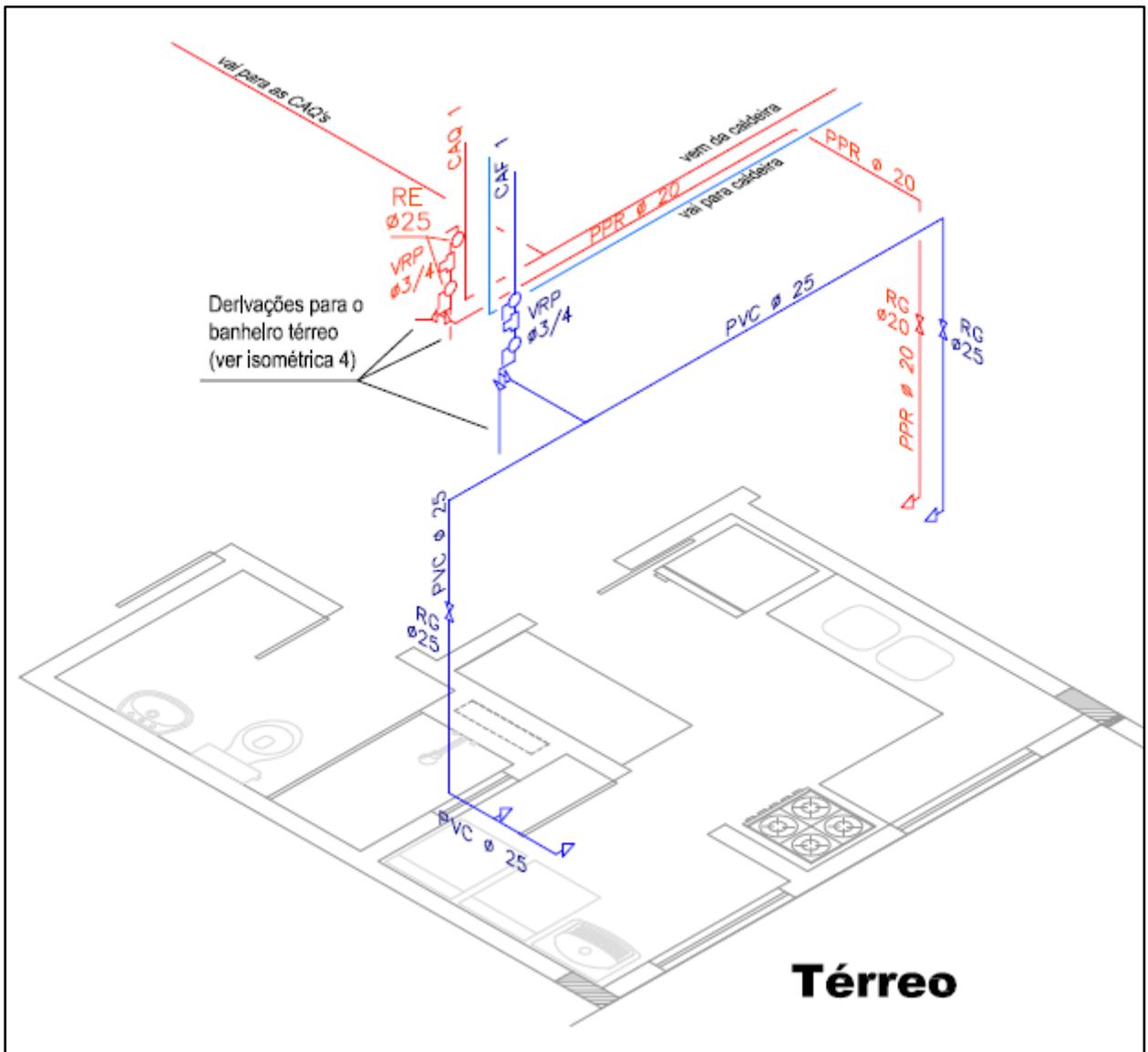
Isométrica 3 – lavanderia e cozinha



Isométrica 4 – instalações do banheiro de serviço do térreo



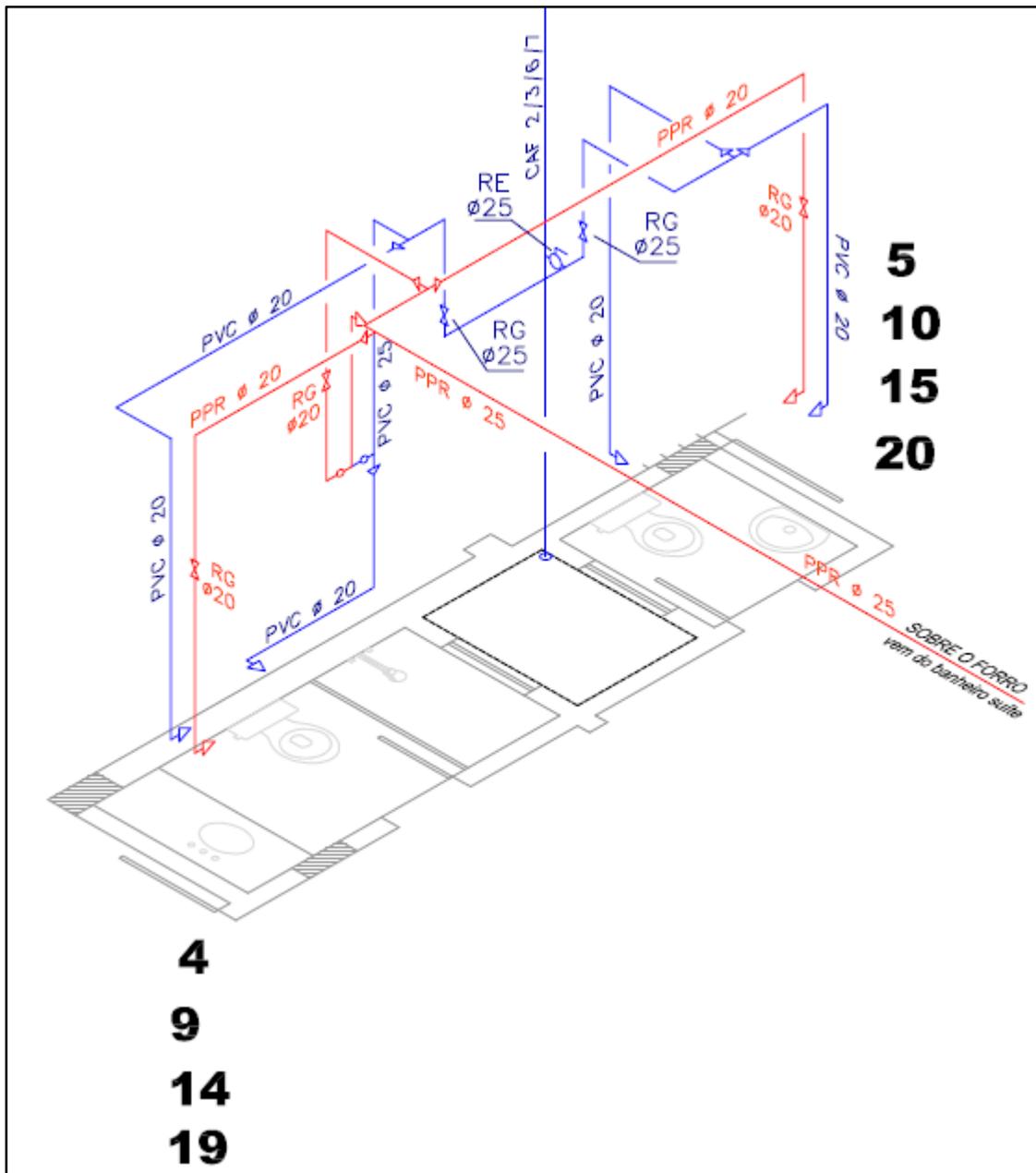
Isométrica 5 – instalações da cozinha e lavanderia de serviço no térreo



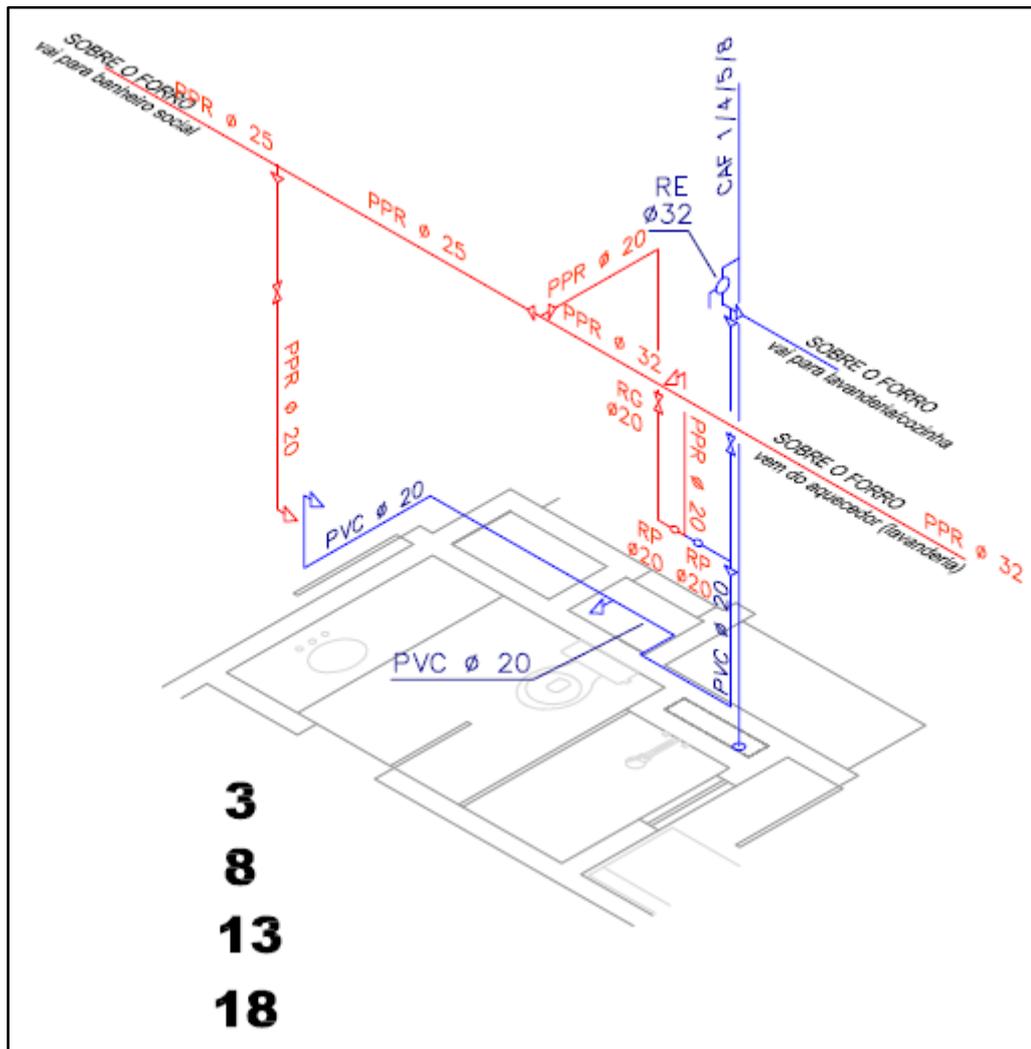


**APÊNDICE B – Projeto de água quente com sistema central privado de aquecimento de água**

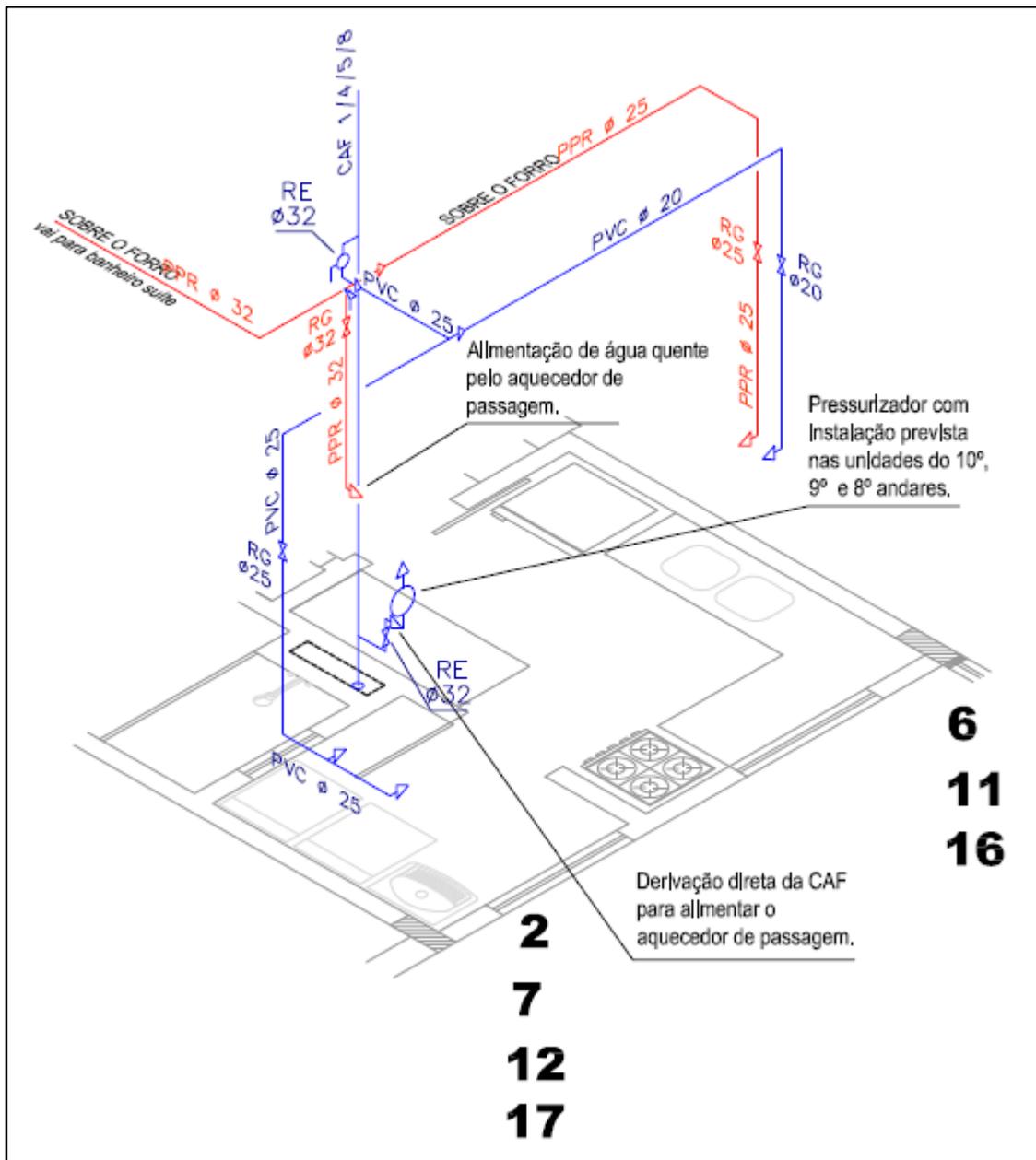
Isométrica 1 – instalações do banheiro social e do lavabo



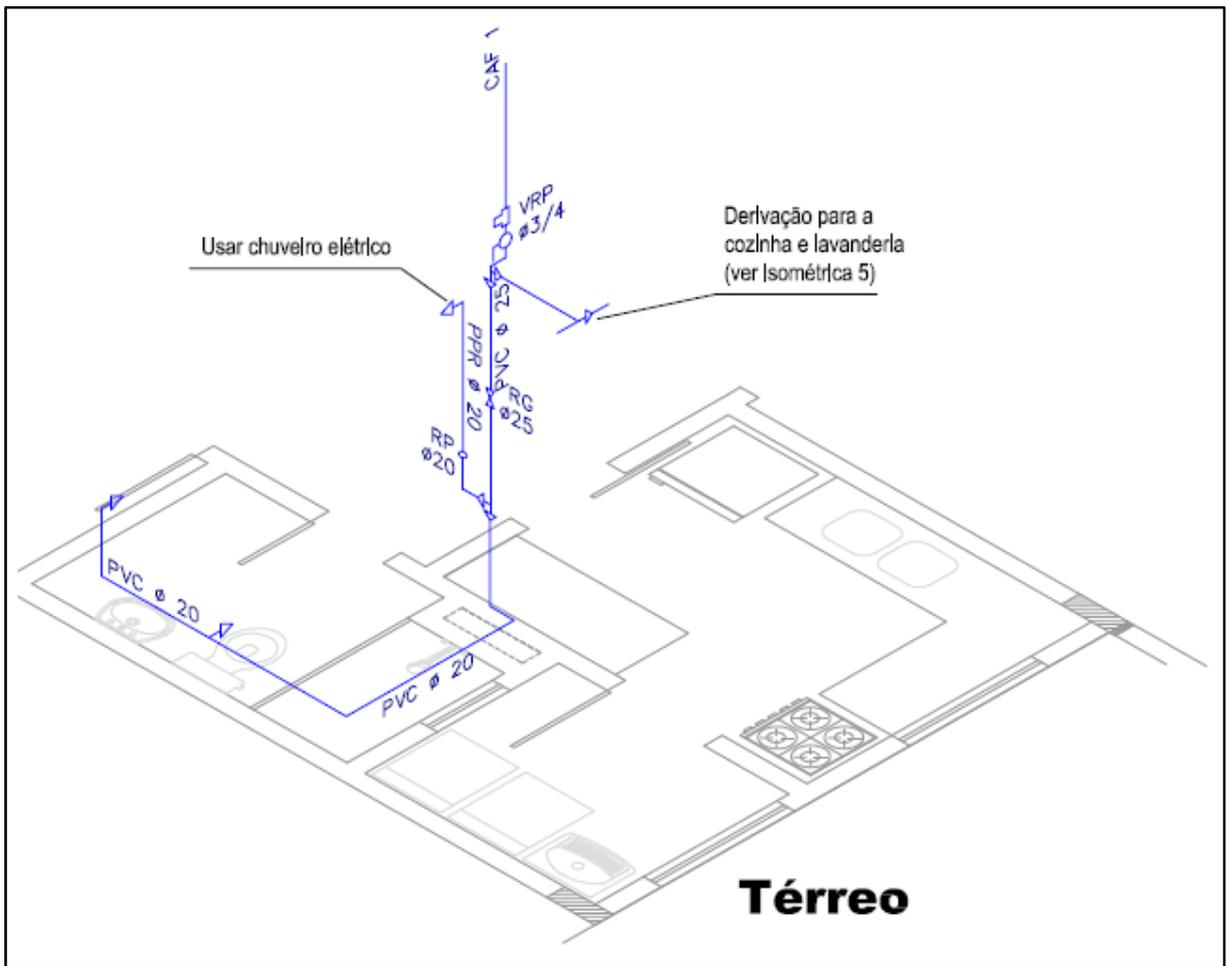
Isométrica 2 – instalações do banheiro da suíte



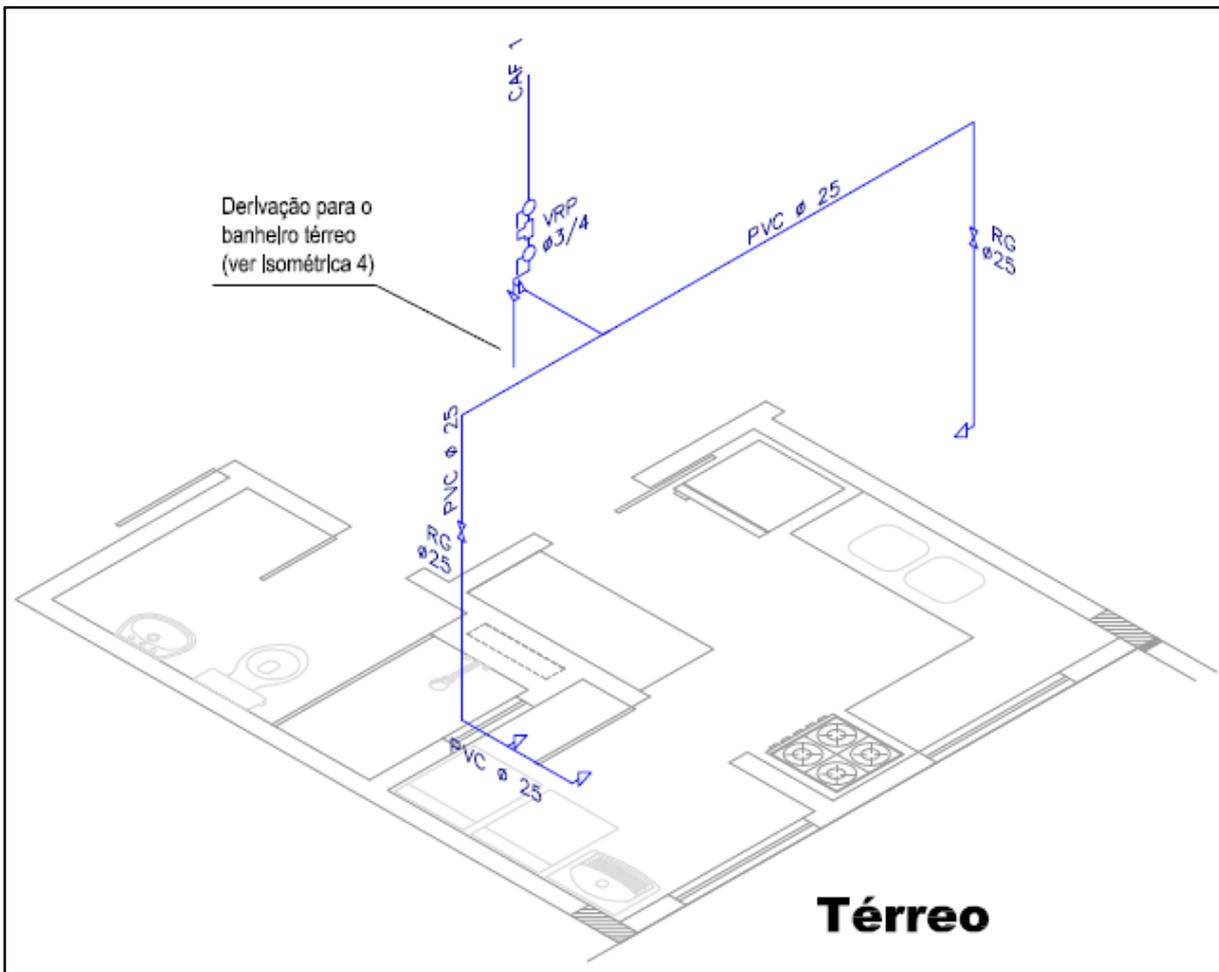
Isométrica 3 – instalações da lavanderia e cozinha



Isométrica 4 – instalações do banheiro de serviço do pavimento térreo

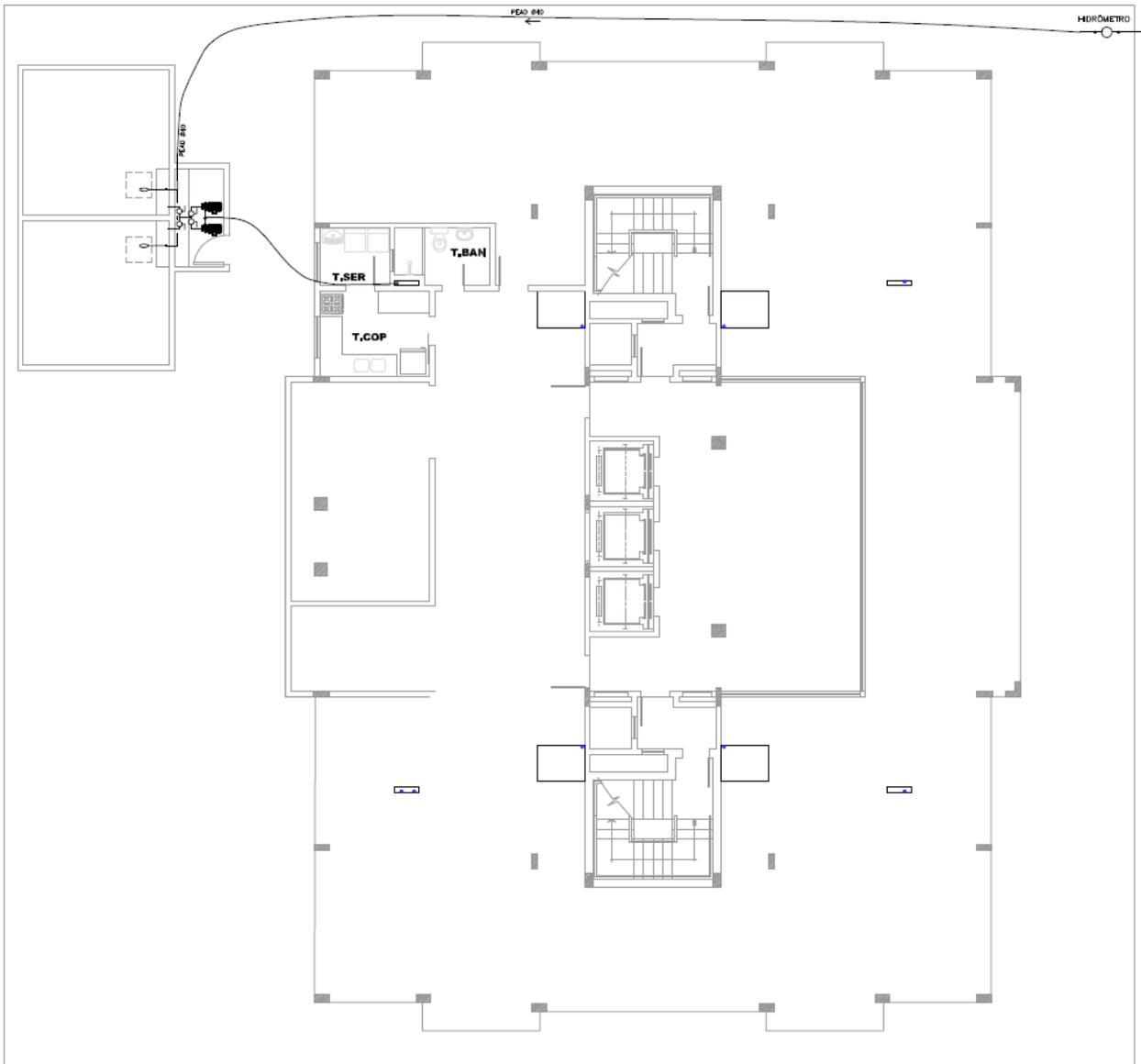


Isométrica 5 – instalações da lavanderia e cozinha de serviço no pavimento térreo



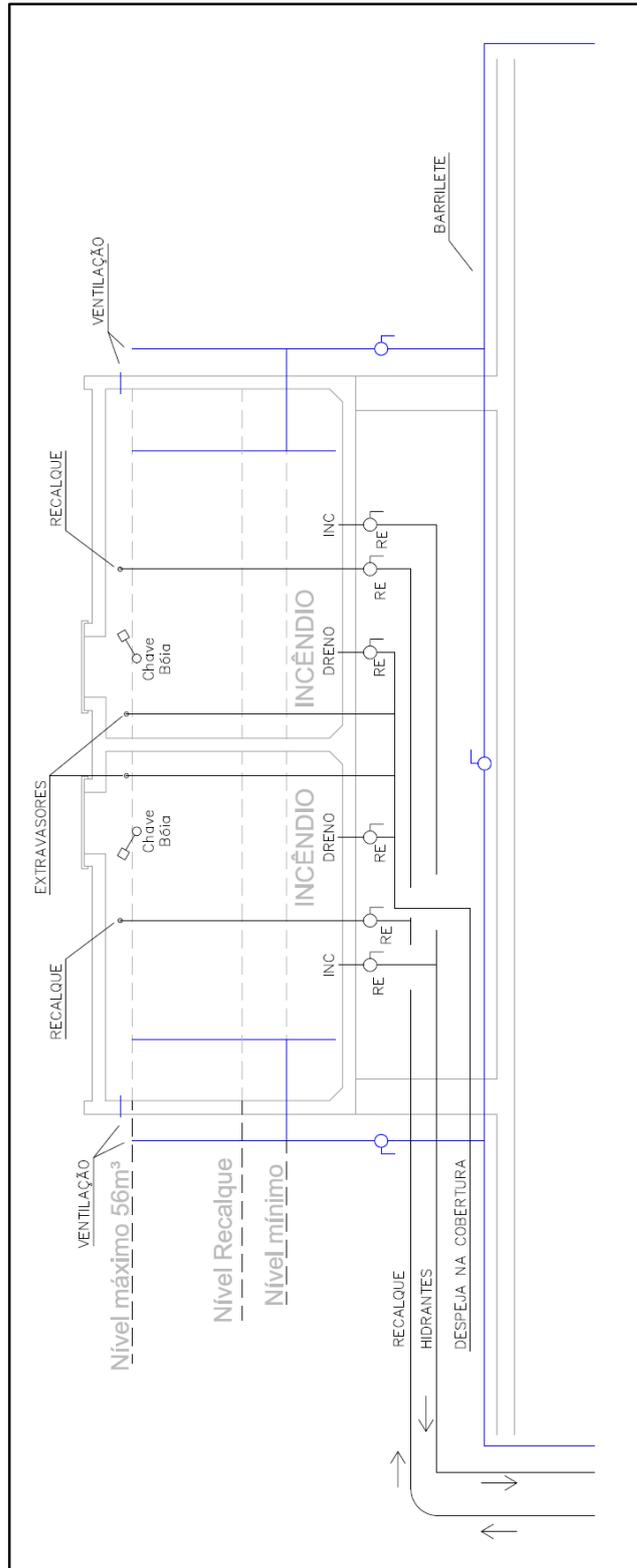
**APÊNDICE C – Detalhes das instalações de água fria em comum aos dois projetos**

## Esquema da alimentação chegando ao reservatório inferior

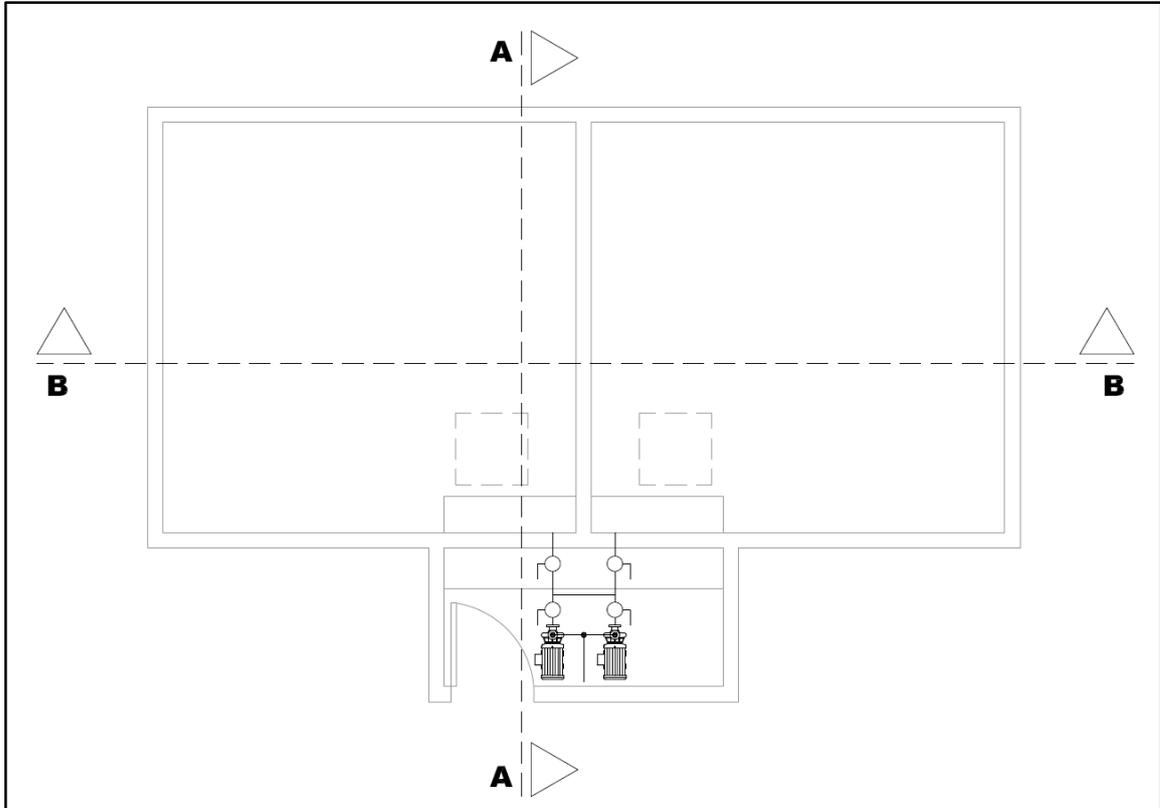




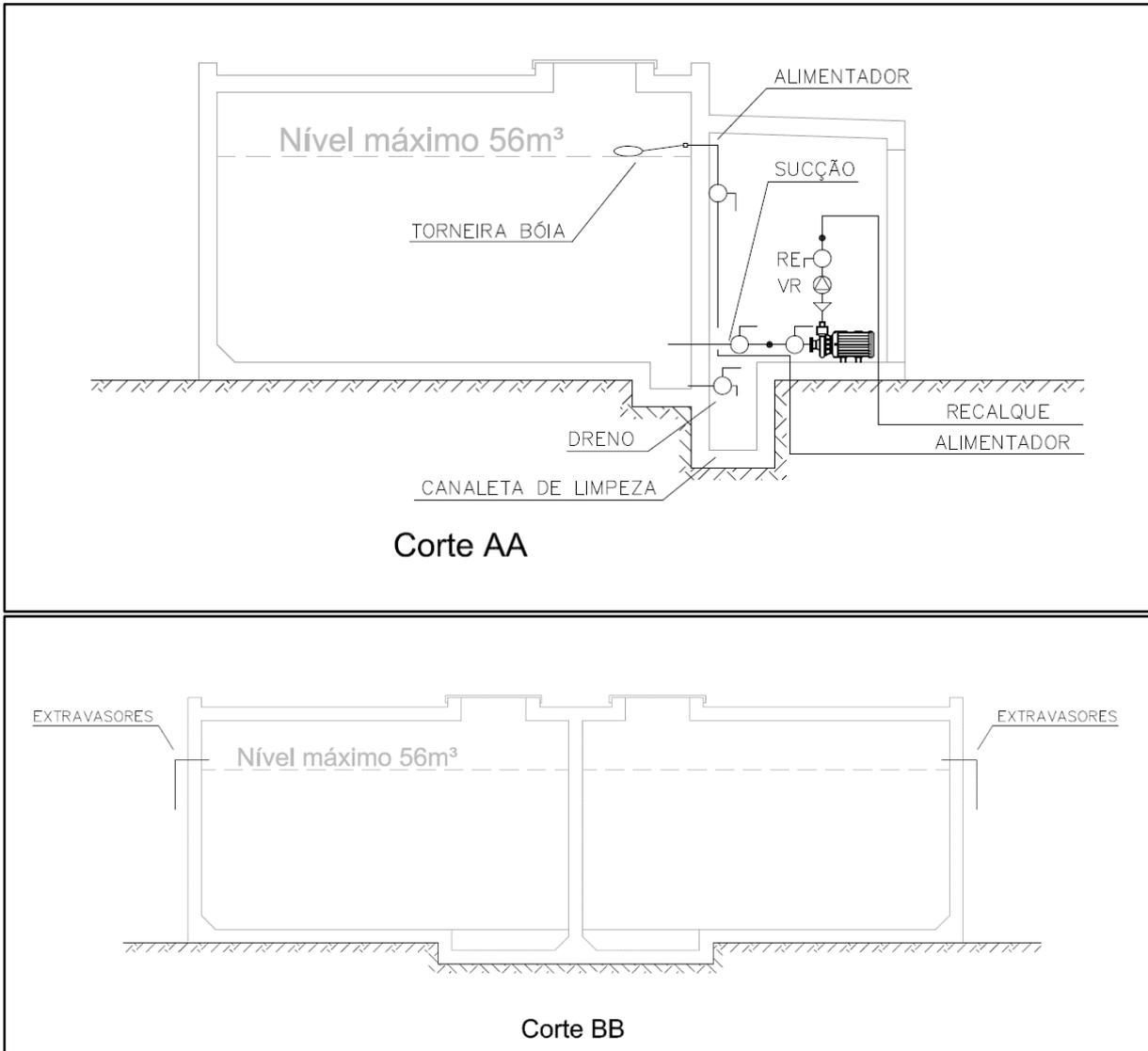
Esquema de instalação no reservatório superior



Planta baixa do reservatório inferior



Detalhes do reservatório inferior



**APÊNDICE D – Relação de peças e equipamentos previstos no orçamento  
do projeto com sistema central coletivo de aquecimento de água**

<b>Relação de peças e equipamentos das Instalações Hidráulicas com Sistema Central Coletivo de Aquecimento e Recirculação de Água</b>			
<b>Material</b>	<b>Item</b>	<b>DN</b>	<b>Quantidade</b>
PVC Soldável	Válvula de Retenção Roscável	1"	2 un
PVC Soldável	Válvula de Esfera Roscável Latão Niquelado Mipel	2.1/2"	1 un
PVC Soldável	Válvula de Esfera Roscável Latão Niquelado Mipel	3"	2 un
PVC Soldável	Tubo Soldável 6 Metros	20	784 m
PVC Soldável	Tubo Soldável 6 Metros	25	462 m
PVC Soldável	Tubo Soldável 6 Metros	32	74,2 m
PVC Soldável	Tubo Soldável 6 Metros	40	114 m
PVC Soldável	Tubo Soldável 6 Metros	50	94,9 m
PVC Soldável	Tubo Soldável 6 Metros	60	9 m
PVC Soldável	Tubo Soldável 6 Metros	75	9,4 m
PVC Soldável	Tubo Soldável 6 Metros	85	3,6 m
PVC Soldável	Torneira bóia para caixa d'água Deca	1 1/2"	2 un
PVC Soldável	Tê Soldável e com Bucha de Latão na Bolsa Central	20X1/2"	41 un
PVC Soldável	Tê Soldável e com Bucha de Latão na Bolsa Central	25X1/2"	41 un
PVC Soldável	Tê Soldável	25	243 un
PVC Soldável	Tê Soldável	32	2 un
PVC Soldável	Tê Soldável	40	3 un
PVC Soldável	Tê Soldável	50	3 un
PVC Soldável	Tê Soldável	60	5 un
PVC Soldável	Tê Soldável	75	2 un
PVC Soldável	Tê Soldável	85	2 un
PVC Soldável	Tê de Redução Soldável	32X25	56 un
PVC Soldável	Tê de Redução Soldável	40X25	20 un
PVC Soldável	Tê de Redução Soldável	40X32	16 un
PVC Soldável	Tê de Redução Soldável	50X32	21 un
PVC Soldável	Registro de Gaveta	20	40 un
PVC Soldável	Registro de Gaveta	25	162 un
PVC Soldável	Registro de Esfera Soldável	40	2 un
PVC Soldável	Registro de Esfera Soldável	50	2 un
PVC Soldável	Registro de Esfera Roscável	1"	42 un
PVC Soldável	Registro de Esfera Roscável	1.1/4"	4 un
PVC Soldável	Registro de Esfera Roscável	2"	5 un
PVC Soldável	Registro de Esfera Roscável	3/4"	41 un
PVC Soldável	Joelho 90° Soldável c/ Bucha de Latão	20X1/2"	241 un
PVC Soldável	Joelho 90° Soldável c/ Bucha de Latão	25X1/2"	2 un
PVC Soldável	Joelho 90° Soldável c/ Bucha de Latão	25X3/4"	40 un
PVC Soldável	Joelho 90° Soldável	20	404 un
PVC Soldável	Joelho 90° Soldável	25	324 un
PVC Soldável	Joelho 90° Soldável	32	88 un
PVC Soldável	Joelho 90° Soldável	40	8 un
PVC Soldável	Joelho 90° Soldável	50	11 un
PVC Soldável	Joelho 90° Soldável	60	1 un
PVC Soldável	Bucha de Redução Soldável longa	60X40	4 un

<b>Relação de peças e equipamentos das Instalações Hidráulicas com Sistema Central Coletivo de Aquecimento e Recirculação de Água</b>			
<b>Material</b>	<b>Item</b>	<b>DN</b>	<b>Quantidade</b>
PVC Soldável	Bucha de Redução Soldável Curta	25X20	241 un
PVC Soldável	Bucha de Redução Soldável Curta	32X25	44 un
PVC Soldável	Bucha de Redução Soldável Curta	40X32	8 un
PVC Soldável	Bucha de Redução Soldável Curta	50X40	1 un
PVC Soldável	Bucha de Redução Soldável Curta	60X50	4 un
PVC Soldável	Bucha de Redução Soldável Curta	75X60	4 un
PVC Soldável	Bucha de Redução Soldável Curta	85X75	4 un
PVC Soldável	Adaptador Soldável Longo com Flanges Livres para Caixa D'Água	32X1"	2 un
PVC Soldável	Adaptador Soldável Longo com Flanges Livres para Caixa D'Água	40X1 1/4"	4 un
PVC Soldável	Adaptador Soldável Longo com Flanges Livres para Caixa D'Água	50X1 1/2"	6 un
PVC Soldável	Adaptador Soldável Longo com Flanges Livres para Caixa D'Água	85X3"	2 un
PVC Soldável	Adaptador Soldável Curto com bolsa e Rosca para Registro	25X3/4"	166 un
PVC Soldável	Adaptador Soldável Curto com bolsa e Rosca para Registro	32X1"	94 un
PVC Soldável	Adaptador Soldável Curto com bolsa e Rosca para Registro	40 X 1 1/2"	5 un
PVC Soldável	Adaptador Soldável Curto com bolsa e Rosca para Registro	40X1 1/4"	10 un
PVC Soldável	Adaptador Soldável Curto com bolsa e Rosca para Registro	60X2"	11 un
PVC Soldável	Adaptador Soldável Curto com bolsa e Rosca para Registro	75X2 1/2"	4 un
PVC Soldável	Adaptador Soldável Curto com bolsa e Rosca para Registro	85X3"	8 un
PVC Roscável	Luva Roscável	1 1/2"	2 un
PPR	Tubo PPR PN 20	50	163 m
PPR	Tubo PPR PN 20	40	104 m
PPR	Tubo PPR PN 20	63	54,2 m
PPR	Tubo PPR PN 20	32	60 m
PPR	Tubo PPR PN 20	25	733 m
PPR	Tubo PPR PN 20	20	290 m
PPR	Tê F/F/F Redução Extrema	25x25x20	1 un
PPR	Tê F/F/F Redução Centrada	50X25X50	48 un
PPR	Tê F/F/F Redução Centrada	40X25X40	32 un
PPR	Tê F/F/F Redução Centrada	63X50X63	2 un
PPR	Tê F/F/F Redução Centrada	25X20X25	40 un
PPR	Tê F/F/F	50	4 un
PPR	Tê F/F/F	63	1 un
PPR	Tê F/F/F	20	7 un

<b>Relação de peças e equipamentos das Instalações Hidráulicas com Sistema Central Coletivo de Aquecimento e Recirculação de Água</b>			
<b>Material</b>	<b>Item</b>	<b>DN</b>	<b>Quantidade</b>
PPR	Tê F/F/F	25	81 un
PPR	Registro de Pressão	25	160 un
PPR	Registro de Pressão	20	2 un
PPR	Registro de Gaveta	25	80 un
PPR	Registro de Gaveta	20	123 un
PPR	Registro de Esfera	50	8 un
PPR	Registro de Esfera	63	2 un
PPR	Registro de Esfera	20	8 un
PPR	Registro de Esfera	32	1 un
PPR	Registro de Esfera	25	82 un
PPR	Misturador F/F/F	25X3/4"	80 un
PPR	Misturador F/F/F	20X1/2"	1 un
PPR	Joelho 90° F/F c/ Inseto Metálico	25X3/4"	40 un
PPR	Joelho 90° F/F c/ Inseto Metálico	20X1/2"	163 un
PPR	Joelho 90° F/F c/ Inseto Metálico	25X1/2"	40 un
PPR	Joelho 90° F/F	20	413 un
PPR	Joelho 90° F/F	50	4 un
PPR	Joelho 90° F/F	32	3 un
PPR	Joelho 90° F/F	25	201 un
PPR	Joelho 90° F/F	63	3 un
PPR	Joelho 45° F/F	20	9 un
PPR	Curva 90° F/F	25	2 un
PPR	Curva 90° F/F	32	1 un
PPR	Bucha de Redução M/F	40X25	8 un
PPR	Bucha de Redução M/F	25X20	131 un
PPR	Bucha de Redução M/F	50X40	8 un
PPR	Bucha de Redução M/F	63X50	2 un
PPR	Bucha de Redução M/F	32X25	1 un
PPR	Bucha de Redução M/F	50X32	1 un
PPR	Adaptador de Transição F/M	50X1 1/2"	1 un
PPR	Adaptador de Transição F/M	25X3/4"	160 un
PPR	Adaptador de Transição F/F	63X2"	3 un
PPR	Adaptador de Transição F/F	25X3/4"	80 un
PEAD	Tubo PEAD SDR11	32	47 m
PEAD	Tubo PEAD SDR11	40	28 m
PEAD	Transição PEAD rosca fêmea	32x1"	1 un
PEAD	Joelho Transição PEAD rosca fêmea	32x1"	1 un
PEAD	Joelho Transição PEAD rosca fêmea	40x1 1/2"	1 un
Motobomba	Motobomba BC - 92AV 1CV	3/4"x3/4"	1 un
Motobomba	Motobomba BC - 22R 1B 7.5CV	1.1/4"x1"	2 un
Isolamento	Polietileno 10mm/Lã de Vidro 50mm/Isopor 50mm	63	15 m
Isolamento	Polietileno 10mm/Lã de Vidro 50mm/Isopor 50mm	50	164 m
Isolamento	Polietileno 10mm/Lã de Vidro 50mm/Isopor 50mm	40	103 m

<b>Relação de peças e equipamentos das Instalações Hidráulicas com Sistema Central Coletivo de Aquecimento e Recirculação de Água</b>			
<b>Material</b>	<b>Item</b>	<b>DN</b>	<b>Quantidade</b>
Isolamento	Polietileno 10mm/Lã de Vidro 50mm/Isopor 50mm	32	120 m
Isolamento	Polietileno 10mm/Lã de Vidro 50mm/Isopor 50mm	25	12 m
Isolamento	Polietileno 10mm/Lã de Vidro 50mm/Isopor 50mm	20	38 m
Elétrico	Chave Bóia		2 un
Concreto	Reservatórios de água fria		44 m <sup>3</sup>
Aquecedor	Aquecedor de Acumulação 5000L 300.000kcal/h		1 un



**APÊNDICE E – Relação de peças e equipamentos previstos no orçamento  
do projeto com sistema central privado de aquecimento de água**

<b>Relação de peças e equipamentos das instalações hidráulicas com sistema central privado de aquecimento de água</b>			
<b>Material</b>	<b>Item</b>	<b>DN</b>	<b>Quantidade</b>
PVC Soldável	Válvula de Retenção Roscável	1"	2 un
PVC Soldável	Válvula de Esfera Roscável Latão Niquelado Mipel	2.1/2"	1 un
PVC Soldável	Válvula de Esfera Roscável Latão Niquelado Mipel	3"	2 un
PVC Soldável	Tubo Soldável 6 Metros	85	3,6 m
PVC Soldável	Tubo Soldável 6 Metros	75	11,6 m
PVC Soldável	Tubo Soldável 6 Metros	60	34 m
PVC Soldável	Tubo Soldável 6 Metros	50	83 m
PVC Soldável	Tubo Soldável 6 Metros	40	97,2 m
PVC Soldável	Tubo Soldável 6 Metros	32	102,2 m
PVC Soldável	Tubo Soldável 6 Metros	25	461,8 m
PVC Soldável	Tubo Soldável 6 Metros	20	785,5 m
PVC Soldável	Torneira bóia para caixa d'água Deca	1 1/2"	2 un
PVC Soldável	Tê Soldável e com Bucha de Latão na Bolsa Central	25X1/2"	41 un
PVC Soldável	Tê Soldável e com Bucha de Latão na Bolsa Central	20X1/2"	41 un
PVC Soldável	Tê Soldável	85	2 un
PVC Soldável	Tê Soldável	75	2 un
PVC Soldável	Tê Soldável	60	8 un
PVC Soldável	Tê Soldável	25	243 un
PVC Soldável	Tê Soldável	32	2 un
PVC Soldável	Tê Soldável	40	3 un
PVC Soldável	Tê Soldável	50	3 un
PVC Soldável	Tê de Redução Soldável	50X32	40 un
PVC Soldável	Tê de Redução Soldável	40X32	33 un
PVC Soldável	Tê de Redução Soldável	40X25	16 un
PVC Soldável	Tê de Redução Soldável	32X25	60 un
PVC Soldável	Registro de Pressão	20	1 un
PVC Soldável	Registro de Gaveta	25	162 un
PVC Soldável	Registro de Gaveta	20	40 un
PVC Soldável	Registro de Esfera Soldável	40	2 un
PVC Soldável	Registro de Esfera Soldável	50	2 un
PVC Soldável	Registro de Esfera Roscável	2"	4 un
PVC Soldável	Registro de Esfera Roscável	3/4"	41 un
PVC Soldável	Registro de Esfera Roscável	1"	42 un
PVC Soldável	Registro de Esfera Roscável	1.1/4"	4 un
PVC Soldável	Joelho de Redução 90° Soldável	32X25	5 un
PVC Soldável	Joelho 90° Soldável c/ Bucha de Latão	20X1/2"	242 un
PVC Soldável	Joelho 90° Soldável c/ Bucha de Latão	20X1/2"	242 un
PVC Soldável	Joelho 90° Soldável c/ Bucha de Latão	25X3/4"	40 un
PVC Soldável	Joelho 90° Soldável c/ Bucha de Latão	32X3/4"	40 un
PVC Soldável	Joelho 90° Soldável c/ Bucha de Latão	25X1/2"	2 un
PVC Soldável	Joelho 90° Soldável	60	8 un
PVC Soldável	Joelho 90° Soldável	40	8 un

<b>Relação de peças e equipamentos das instalações hidráulicas com sistema central privado de aquecimento de água</b>			
<b>Material</b>	<b>Item</b>	<b>DN</b>	<b>Quantidade</b>
PVC Soldável	Joelho 90° Soldável	25	324 un
PVC Soldável	Joelho 90° Soldável	20	404 un
PVC Soldável	Joelho 90° Soldável	32	84 un
PVC Soldável	Joelho 90° Soldável	50	3 un
PVC Soldável	Bucha de Redução Soldável longa	60X40	4 un
PVC Soldável	Bucha de Redução Soldável longa	60X32	4 un
PVC Soldável	Bucha de Redução Soldável Curta	85X75	4 un
PVC Soldável	Bucha de Redução Soldável Curta	75X60	4 un
PVC Soldável	Bucha de Redução Soldável Curta	60X50	4 un
PVC Soldável	Bucha de Redução Soldável Curta	50X40	4 un
PVC Soldável	Bucha de Redução Soldável Curta	40X32	8 un
PVC Soldável	Bucha de Redução Soldável Curta	25X20	241 un
PVC Soldável	Bucha de Redução Soldável Curta	32X25	40 un
PVC Soldável	Adaptador Soldável Longo com Flanges Livres para Caixa D'Água	85X3"	2 un
PVC Soldável	Adaptador Soldável Longo com Flanges Livres para Caixa D'Água	40X1 1/4"	4 un
PVC Soldável	Adaptador Soldável Longo com Flanges Livres para Caixa D'Água	32X1"	2 un
PVC Soldável	Adaptador Soldável Longo com Flanges Livres para Caixa D'Água	50X1 1/2"	6 un
PVC Soldável	Adaptador Soldável Curto com bolsa e Rosca para Registro	75X2 1/2"	2 un
PVC Soldável	Adaptador Soldável Curto com bolsa e Rosca para Registro	85X3"	4 un
PVC Soldável	Adaptador Soldável Curto com bolsa e Rosca para Registro	60X2"	8 un
PVC Soldável	Adaptador Soldável Curto com bolsa e Rosca para Registro	25X3/4"	166 un
PVC Soldável	Adaptador Soldável Curto com bolsa e Rosca para Registro	32X1"	174 un
PVC Soldável	Adaptador Soldável Curto com bolsa e Rosca para Registro	40X1 1/4"	10 un
PVC Soldável	Adaptador Soldável Curto com bolsa e Rosca para Registro	40 X 1 1/2"	5 un
PVC Roscável	Luva Roscável	1 1/2"	2 un
PPR	Tubo PPR PN 20	32	144 m
PPR	Tubo PPR PN 20	25	340 m
PPR	Tubo PPR PN 20	20	644 m
PPR	Tê F/F/F Redução Extrema e Centrada	32X20X25	40 un
PPR	Tê F/F/F Redução Extrema	32X32X25	40 un
PPR	Tê F/F/F Redução Extrema	20X20X25	40 un
PPR	Tê F/F/F Redução Centrada	25X20X25	80 un
PPR	Registro de Pressão	20	160 un
PPR	Registro de Gaveta	25	40 un
PPR	Registro de Gaveta	20	200 un
PPR	Misturador F/F/F	20X1/2"	80 un
PPR	Joelho 90° F/M c/ Inseto Metálico	32X3/4"	40 un
PPR	Joelho 90° F/F c/ Inseto Metálico	25X1/2"	40 un
PPR	Joelho 90° F/F c/ Inseto Metálico	20X1/2"	200 un
PPR	Joelho 90° F/F	25	120 un
PPR	Joelho 90° F/F	20	240 un

<b>Relação de peças e equipamentos das instalações hidráulicas com sistema central privado de aquecimento de água</b>			
<b>Material</b>	<b>Item</b>	<b>DN</b>	<b>Quantidade</b>
PPR	Adaptador de Transição F/M	20X1/2"	160 un
PPR	Adaptador de Transição F/M	32X1"	80 un
PPR	Adaptador de Transição F/F	20X3/4"	80 un
PEAD	Tubo PEAD SDR11	32	47 m
PEAD	Tubo PEAD SDR11	40	28 m
PEAD	Transição PEAD rosca fêmea	32x1"	1 un
PEAD	Joelho Transição PEAD rosca fêmea	32x1"	1 un
PEAD	Joelho Transição PEAD rosca fêmea	40x1 1/2"	1 un
Motobomba	Motobomba BC - 22R 1B 7.5CV	32x1"	2 un
Motobomba	Pressurizador Schneider para aquecedor de passagem	32	12 un
Latão	Registro de Gaveta Docol/Deca	1"	12 un
Elétrico	Chave Bóia		2 un
Concreto	Reservatórios de água fria		44 m <sup>3</sup>
Aquecedor	Aquecedor de Passagem a gás 25l/min		40 un