

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

GUILHERME GATTAS IRANI

ANÁLISE TÉCNICO-ECONÔMICA EM INSTALAÇÕES DE  
AQUECIMENTO DE ÁGUA RESIDENCIAL COLETIVO  
COMBINANDO SISTEMA SOLAR E À GÁS

SÃO PAULO  
2014

GUILHERME GATTAS IRANI

ANÁLISE TÉCNICO-ECONÔMICA EM INSTALAÇÕES DE  
AQUECIMENTO DE ÁGUA RESIDENCIAL COLETIVO  
COMBINANDO SISTEMA SOLAR E À GÁS

Trabalho de Formatura apresentado à  
Escola Politécnica da Universidade de  
São Paulo para obtenção do título de  
graduação em Engenharia

Área de Concentração: Engenharia  
Mecânica

Orientador: Prof. Alberto Hernandez  
Neto

SÃO PAULO

2014

**Irani, Guilherme Gattas**

**Análise técnico-econômica em instalações de aquecimento  
água residencial coletivo combinando sistema solar e à gás /  
G.G. Irani. – São Paulo, 2014.  
66 p.**

**Trabalho de Formatura - Escola Politécnica da Universidade  
de São Paulo. Departamento de Engenharia Mecânica.**

**1.Aquecimento à gás 2.Aquecimento solar 3.Edifícios resi-  
denciais I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Depar-  
tamento de Engenharia Mecânica II.t.**

## RESUMO

O presente trabalho de conclusão de curso consiste no desenvolvimento de um projeto de aquecimento central de água de edifício residencial por meio do uso de dois combustíveis: radiação solar e gás natural. A configuração do sistema foi definida analisando todas as possibilidades que eram compatíveis com a proposta do trabalho de centralizar o sistema de aquecimento. Também será feita análise técnica do sistema, considerando variações na demanda buscando assim definir a sensibilidade do modelo proposto. Na sequência será feito o estudo econômico da solução proposta com levantamento dos custos de implementação, operação e manutenção do sistema escolhido. Essas duas últimas etapas do trabalho têm papel fundamental na determinação da viabilidade técnico-econômica do projeto. Por fim haverá a comparação do projeto com as soluções já usadas no mercado imobiliário brasileiro e com outras soluções propostas. O principal objetivo do trabalho é estudar a viabilidade do uso de sistemas de aquecimento centrais, analisando criticamente o uso desses sistemas sob a ótica técnica e econômica, buscando assim desenvolver não só um projeto de engenharia, como também uma alternativa de inovação para o setor da construção civil nacional.

## ABSTRACT

The present work of completion is based on the development of a water central heating project of residential building through the use of two fuels: solar radiation and natural gas. To set the system configuration, several existing and proposed academically configurations were analyzed. The main goal is to study the feasibility of using central heating systems, using a critical analysis based on the technical and economic points of view, as well as seeking to develop not only an engineering project but also an alternative innovation to the national building sector.

The alternative proposed will be compared to the alternatives commonly used in Brazil nowadays, which are mostly individual systems with the use of electrical electricity or natural gas.

It's critical for the current analysis to investigate all types of cost related to the implementation and operation of the proposed system and compared to existing alternatives. For that reason, in the economic analysis will be considered costs of maintenance and operations, additionally to the implementation costs.

The current analysis concluded that the centralized system proposed is feasible technically as well as economically, with significant gains comparing to the individual system.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1: Aquecedor de passagem (SUZUKI,2013) .....</b>	15
<b>Figura 2: Aquecedor de Acumulação (ECAL,2013) .....</b>	16
<b>Figura 3: Coletor solar de placa plana (COMGAS, 2011) .....</b>	17
<b>Figura 4: Coletor Solar tubo à vácuo (SOLAR FOZ, 2013).....</b>	18
<b>Figura 5: Bomba Hidráulica (Hidraulicart,2013).....</b>	19
<b>Figura 6: Sistema a gás individual com coletores solar coletivos (COMGAS, 2011) .....</b>	21
<b>Figura 7: Aquecedores a gás e reservatórios individuais com coletores solar coletivos (COMGAS, 2011).....</b>	22
<b>Figura 8: Sistema à gás e solar centralizado (COMGAS,2011).....</b>	24
<b>Figura 9: Sistema Central com modularização do sistema de aquecimento a gás (Adaptado de COMGAS, 2011) .....</b>	26
<b>Figura 10 Tubulação Aquaterm para Água quente Predial (Tigre, 2014) ...</b>	34
<b>Figura 11 Perdas Térmicas Tubulação (Leite, 2011) .....</b>	35
<b>Figura 12 Esquema Tubulação (Adaptado de Leite, 2011) .....</b>	37
<b>Figura 13 Temperatura Média de São Paulo (IAG-USP, 2013) .....</b>	37
<b>Figura 14 Conexões e comprimento relativo para diferentes diâmetros de tubulação (Tigre, 2014) .....</b>	41
<b>Figura 15 Radiação Solar mensal (COMGAS, 2011).....</b>	59
<b>Figura 16 Bombas Hidráulicas (Schneider, 2014) .....</b>	60
<b>Figura 17 Aquecedor a Gás KO 12 Komeco.....</b>	60
<b>Figura 18 Aquecedor a Gás KO 43 Komeco.....</b>	61
<b>Figura 19 Aquecedor a Gás KO 12 Komeco.....</b>	61

## **LISTA DE GRÁFICOS**

<b>Gráfico 1 Unidades habitacionais comercializadas na Região Metropolitana de São Paulo (Secovi, 2013) .....</b>	<b>29</b>
<b>Gráfico 2 Demanda de água quente durante o dia apto 1 dorm.....</b>	<b>32</b>
<b>Gráfico 3 Demanda de água quente durante o dia apto 2 dorm.....</b>	<b>32</b>
<b>Gráfico 4 Demanda de água quente durante o dia apto 3 dorm.....</b>	<b>33</b>

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1 Tipologias adotadas .....</b>	30
<b>Tabela 2 ABNT NBR 1269 .....</b>	31
<b>Tabela 3 Demanda de água quente por tipologia .....</b>	31
<b>Tabela 4 Demanda de água quente por tipologia .....</b>	31
<b>Tabela 5 Demanda Energética Útil Tipologia I .....</b>	43
<b>Tabela 6 Demanda Energética Útil Tipologia II .....</b>	43
<b>Tabela 7 Demanda Energética Útil Tipologia III .....</b>	44
<b>Tabela 8 Tipologia I Planilha de Cálculo .....</b>	47
<b>Tabela 9 Tipologia II Planilha de Cálculo .....</b>	47
<b>Tabela 10 Tipologia III Planilha de Cálculo .....</b>	48
<b>Tabela 11 Equipamentos selecionados para Tipologia I .....</b>	49
<b>Tabela 12 Equipamentos selecionados para Tipologia II .....</b>	49
<b>Tabela 13 Equipamentos selecionados para Tipologia III .....</b>	49
<b>Tabela 14 Aquecedor a Gás Sistema Individual .....</b>	50
<b>Tabela 15 Sistema Elétrico Backup .....</b>	51
<b>Tabela 16 Cotações tipologia I .....</b>	52
<b>Tabela 17 Cotações tipologia II .....</b>	52
<b>Tabela 18 Cotações tipologia III .....</b>	52
<b>Tabela 19 Cotação sistema individual .....</b>	52
<b>Tabela 20 Tarifa gás canalizado segmento residencial (COMGAS, 2014) .....</b>	53
<b>Tabela 21 Tarifa gás canalizado segmento coletivo (COMGAS, 2014) .....</b>	53
<b>Tabela 22 VPL para Tipologia I .....</b>	56
<b>Tabela 23 VPL para Tipologia II .....</b>	56
<b>Tabela 24 VPL para Tipologia III .....</b>	56

# SUMÁRIO

<b>1 Introdução.....</b>	<b>11</b>
<b>2 Revisão bibliográfica.....</b>	<b>12</b>
<b>3 Descrição dos equipamentos .....</b>	<b>14</b>
<b>3.1 Aquecedores à gás .....</b>	<b>14</b>
3.1.1 Aquecedores de passagem.....	14
3.1.2 Aquecedores de acumulação .....	15
<b>3.2 Coletores solares.....</b>	<b>16</b>
3.2.1 Coletores de placa plana .....	16
3.2.2 Coletores tubos à vácuo .....	17
<b>3.3 Bombas hidráulicas .....</b>	<b>18</b>
<b>3.4 Reservatórios.....</b>	<b>19</b>
<b>4 Configurações do sistema .....</b>	<b>20</b>
<b>4.1 Aquecedores à gás de acumulação individual.....</b>	<b>20</b>
<b>4.2 Aquecedores à gás de acumulação individuais e reservatórios térmicos individuais ...</b>	<b>21</b>
<b>4.3 Sistema centralizado com aquecedor de acumulação .....</b>	<b>22</b>
<b>4.4 Sistema central com aquecedores de passagem coletivos.....</b>	<b>24</b>
<b>5 Definição da configuração.....</b>	<b>27</b>
<b>6 Definição da demanda de água quente .....</b>	<b>29</b>
<b>7 Seleção dos equipamentos .....</b>	<b>33</b>
<b>7.1 Tubulação .....</b>	<b>33</b>
<b>7.2 Reservatório .....</b>	<b>38</b>
<b>7.3 Aquecedores a gás .....</b>	<b>39</b>
<b>7.4 Bombas .....</b>	<b>40</b>
<b>7.5 Coletor solar .....</b>	<b>42</b>
<b>7.6 Sumário da seleção de equipamentos.....</b>	<b>49</b>
<b>8 Análise econômica.....</b>	<b>50</b>
<b>8.1 Sistema individual para comparação.....</b>	<b>50</b>
<b>8.2 Cotação dos componentes do sistema coletivo .....</b>	<b>51</b>
<b>8.3 Cotações do sistema individual.....</b>	<b>52</b>
<b>8.4 Custos de operação.....</b>	<b>53</b>

8.5 Custos de manutenção .....	54
8.6 Método de comparação econômica através de análise de valor presente .....	55
<b>9 Conclusão .....</b>	<b>57</b>
<b>ANEXO .....</b>	<b>59</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>62</b>

## 1 Introdução

Segundo dados do Banco Central do Brasil, nos últimos 5 anos o Brasil teve um crescimento de 27% do PIB. Particularmente, o setor imobiliário nacional tem apresentado nos últimos anos crescimento sólido, apenas de Janeiro a Agosto de 2013, na cidade de São Paulo, houve um crescimento de 45% na venda de imóveis, de acordo com a Sindicato da Habitação de São Paulo (SECOVI, 2013), gerando uma maior demanda por energia.

Nesse cenário encontra-se a Lei nº 10.295, denominada de Lei da Eficiência Enérgica, que tem como objetivo guiar o país na busca por um aumento na eficiência enérgica de máquinas e equipamentos consumidores de energia. Um exemplo de gasto de energia está no processo de aquecimento de água. Segundo o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL, 2013), 24% de toda a energia elétrica brasileira é usada para aquecer água para banho.

Nesse sentido, o presente trabalho busca analisar a viabilidade de uma forma alternativa de projeto de aquecimento de água, de forma que o resultado apresente vantagens técnicas e econômicas e que possa ser utilizado nos empreendimentos imobiliários.

Nesse sentido o trabalho busca mais do que apenas o dimensionamento do sistema de aquecimento. Busca-se desenvolver o sistema analisando criticamente todos os pontos do projeto desenvolvido, de forma que o trabalho consiga ser o mais fiel possível na análise da viabilidade do projeto.

## 2 Revisão bibliográfica

A revisão bibliográfica teve por objetivo levantar o máximo de informação possível de temas relacionados ao trabalho, de forma que pudesse agregar valor ao projeto desenvolvido.

Chaguri Junior (2009) buscou desenvolver parâmetros para o dimensionamento otimizado de sistemas de aquecimento à gás. Para isso o autor levantou informações sobre as fontes de energia usadas no país, além da caracterização dos sistemas de aquecimento, individuais e coletivos. A dissertação também teve uma importante função de definir a demanda de água quente e analisar casos em que há simultaneidade do uso do sistema de água quente. Essa análise foi importante, pois determinou-se a existência de uma relação probabilística dos aparelhos estarem ligados simultaneamente. Essa relação afeta o dimensionamento dos equipamentos e expressa nos cálculos através de fatores de multiplicação descobertos pelo autor.

No dimensionamento dos equipamentos destaca-se também a determinação dos aquecedores de passagem e de acumulação. Por fim, o estudo define os sistemas de distribuição e os sistemas de gerenciamento e controle, o que é de vital importância na operação de sistemas de aquecimento a gás grandes e complexos.

Raimo et al. (2007), apresenta um estudo econômico de sistema de aquecimento a gás e elétrico. Para isso são definidas três tipologias de edificações de forma que essas edificações conseguissem representar de forma fidedigna o mercado imobiliário da cidade de São Paulo.

Para efeitos de comparação, levantou-se os custos associados ao serviço de fornecimento de água quente durante a vida útil do equipamento. O custo total foi obtido através da soma do custo de investimento, custo de energia para a operação e o custo de manutenção. Uma das conclusões do estudo foi que a solução de menor de custo de infraestrutura para a disponibilização de água quente foi a do sistema que utiliza gás natural em um sistema coletivo. Porém

soluções individualizadas de sistemas de aquecimento a gás foram as de menor custo total, sendo economicamente as mais vantajosas.

Aita (2006) estuda um sistema de aquecimento de água utilizando coletores solares planos como principal fonte de energia e gás como fonte secundaria. A cidade analisada foi Porto Alegre, RS, assim todos os dados climáticos usados são dessa cidade. O trabalho teve bastante enfoque nas simulações numéricas feitas a partir do software *Termosim*. O sistema de aquecimento analisado era central e utilizava os coletores solares ligados em série com o aquecimento a gás, assim só se utilizava gás quando a energia solar não era suficiente para suprir a demanda por água quente. O principal objetivo desse trabalho era verificar a influência dos diversos equipamentos sobre a eficiência do sistema. Entre os parâmetros que influenciam o sistema, destaca-se o número e a qualidade dos coletores solares, as características geométricas e de construção do reservatório e a demanda de água quente.

Oliveira Jr et al. (2003) desenvolveram um estudo sobre o consumo de água em 21 casas em Pindamonhangaba, SP. As casas faziam parte de um Conjunto Habitacional, caracterizado por uma população de baixa renda. A importância desse estudo no presente trabalho se dá através do levantamento de campo feito, no qual se determinou o perfil do consumo dos usuários ao longo de um dia. Apesar do estudo ter uma tipologia específica e o consumo de água quente ter influência socioeconômica, esse estudo teve relevância no fato que o levantamento concluiu que haviam durante o dia dois picos de consumo, um no período da manhã e outro à tarde. Além disso, através desse estudo se torna mais simples determinar a distribuição de demanda de água quente durante um dia, apesar do uso das vazões diferirem bastante quanto a outras tipologias.

Leite (2011) apresenta avaliação de sistema de aquecimento central. O autor fez a caracterização das diversas fontes de energia e, por meio de uma matriz de decisão, definiu a bomba de calor como sistema de aquecimento . O estudo aprofundou-se na determinação de demanda de água quente em três tipologias diferentes. Esses resultados serviram de base para o dimensionamento dos equipamentos utilizados. Além disso, fez-se um estudo econômico através do método do valor presente. Por fim, comparou os

resultados com o sistema individualizado. A conclusão foi de que o sistema central era mais vantajoso. Esse trabalho é importante no presente trabalho, pois levantamentos feitos quanto à demanda de água serão utilizados, além da metodologia de cálculo.

Outros estudos foram utilizados indiretamente nesse trabalho com destaque para Ilha (1991), cujo trabalho é largamente utilizado no meio acadêmico para determinação da demanda de água quente e aspectos operacionais relacionados ao sistema de distribuição de água quente em edificações.

### **3 Descrição dos equipamentos**

Nesta seção será feito uma caracterização dos equipamentos a serem projetados no trabalho. Serão caracterizados as condições operacionais e principais características construtivas.

#### **3.1 Aquecedores à gás**

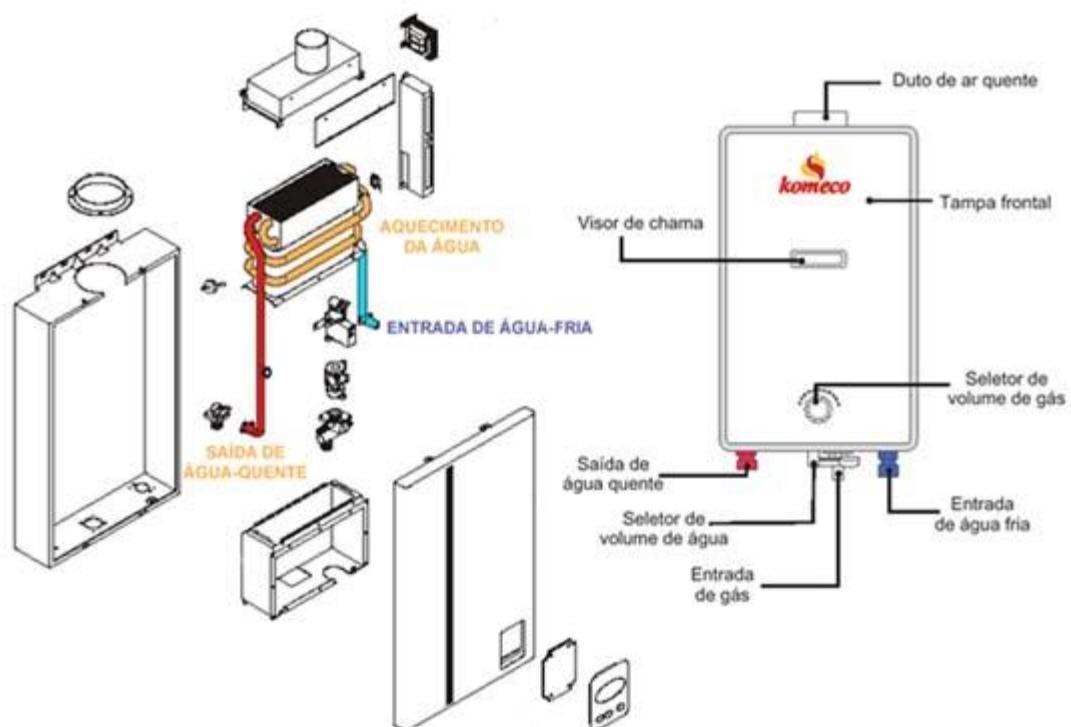
Aquecedores à gás tem como principal objetivo aquecer água por meio da queima de combustível gasoso. Esse combustível pode ser Gás Natural (GN) ou Gás Liquefeito de Petróleo (GLP). O Gás Natural tende a ser mais utilizado, pois apresenta como vantagens o fato de ter um elevado rendimento energético, combustão mais limpa e regulável, rápida dispersão de vazamentos, disponibilidade ampla e preços competitivos.

Segundo Raimo (2007), os aquecedores podem ser divididos em de passagem (instantâneos) ou de acumulação.

##### **3.1.1 Aquecedores de passagem**

Aquecedores de passagem aquecem água a partir do momento em que há demanda por água quente. Por não haver armazenamento da água aquecida,

esses equipamentos são mais compactos, porém sua utilização em sistemas de grande consumo de água quente fica dificultada. Esses aquecedores possuem um local para a queima do combustível e um trocador de calor para transferir o calor produzido na combustão para a água. Existem outros sistemas dentro desses equipamentos, como sistemas de controle de temperatura, entrada de água fria, medição da temperatura de saída, entre outros.



**Figura 1: Aquecedor de passagem (SUZUKI,2013)**

### 3.1.2 Aquecedores de acumulação

Aquecedores de acumulação se diferenciam dos aquecedores de passagem por possuírem reservatório para armazenamento da água aquecida. Por isso, também, são caracterizados por possuírem um porte maior do que os aquecedores de passagem. Os reservatórios são projetados para minimizarem

as perdas de calor para o ambiente, devendo-se projetar o isolamento térmico nos reservatórios. Além disso, aquecedores de acumulação são diferenciados quanto ao contato da superfície na qual está contida a água com a fonte de calor. Aquecedores de acumulação diretos possuem contato direto da fonte de calor com essa superfície, já nos indiretos a fonte de calor transfere calor para um outro fluido e então há a troca de calor final para o aquecimento da água. Em geral sistemas indiretos tem maior durabilidade, porém sistemas diretos possuem projetos mais simples.



**Figura 2: Aquecedor de Acumulação (ECAL,2013)**

### **3.2 Coletores solares**

Coletores solares são trocadores de calor cujo objetivo é transferir energia fornecida pelo Sol para aquecer água. Seu uso é valorizado atualmente por não haver emissão de poluente, substâncias tóxicas ou qualquer substância nociva ao meio. Os coletores solares apresentam ainda um alto custo de investimento, porém proporcionam grande economia na sua operação. Contudo, o aproveitamento da energia solar está diretamente relacionado às condições climáticas locais, o que torna necessário criar sistemas de aquecimento alternativos de retaguarda, caso não exista disponibilidade de energia solar. Os coletores são divididos entre coletores de placas planas e tubo à vácuo.

#### **3.2.1 Coletores de placa plana**

Coletores de placa plana caracterizam-se por receber radiação solar incidente e aquecer a água que se encontra em circulação na tubulação do sistema. O sistema como um todo é feito para maximizar a absorção da radiação solar incidente, assim mesmo quando as condições climáticas não são ideais ainda há possibilidade de haver aquecimento de água. Os coletores solares de placa plana podem ter ou não cobertura. A cobertura retém parte da radiação emitida pela placa absorvedora, garantindo assim uma operação mais eficiente. A figura 3 apresenta um coletor solar de placa plana e seus componentes.

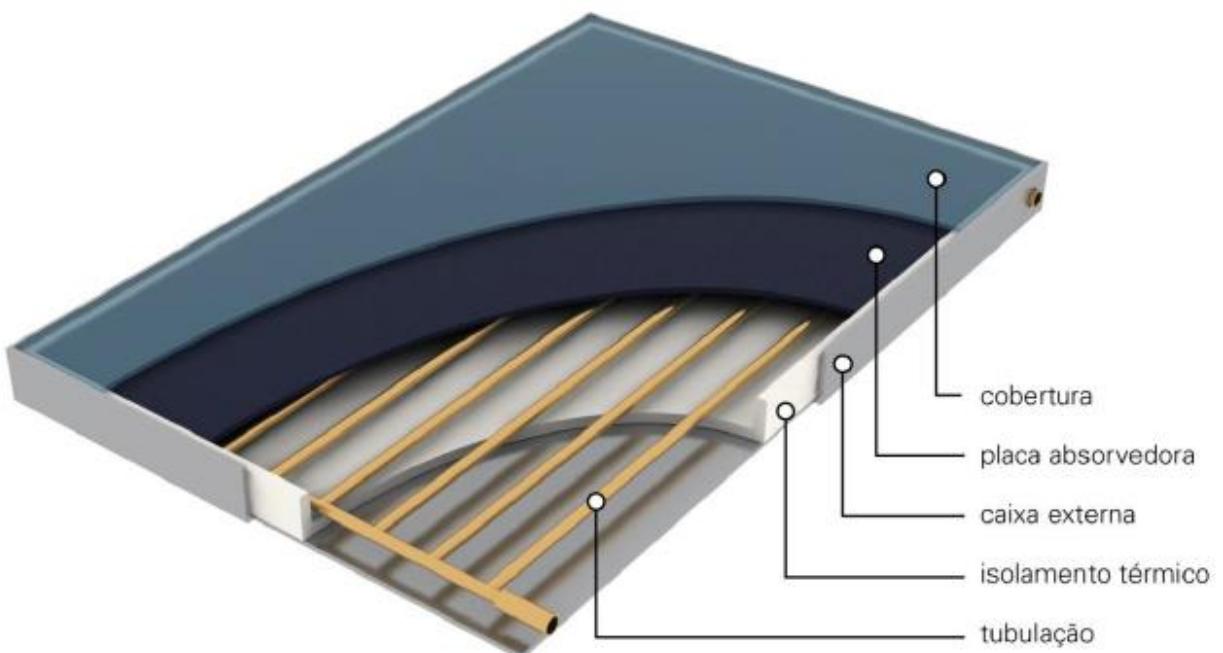


Figura 3: Coletor solar de placa plana (COMGAS, 2011)

### 3.2.2 Coletores tubos à vácuo

Coletores solares de tubo à vácuo são utilizados para coletar a radiação solar e transferi-la para a água. O tubo à vácuo é formado por dois tubos de vidro concêntrico e no meio deles há vácuo. O tubo externo é transparente, o que permite a passagem da radiação incidente com pouco reflexo. O vácuo faz com que as perdas por convecção para o meio sejam minimizadas. Por fim, o tubo interno é feito por boro-silicato e possui uma película seletiva com alto poder

absorvente. O sistema como um todo possui alta eficiência, porém muitos problemas construtivos ainda são encontrados em coletores de tubo ao vácuo, ocasionados principalmente pela dificuldade de manter o vácuo com materiais sujeitos à diferentes dilatações. Além disso, os coletores de tubo ao vácuo apresentam um alto custo no Brasil, dificultando ainda mais o seu uso.



**Figura 4: Coletor Solar tubo à vácuo (SOLAR FOZ, 2013)**

### **3.3 Bombas hidráulicas**

Bombas são dispositivos cuja função é realizar a movimentação do fluido dentro de um sistema e/ou equipamento. O objetivo do uso de bombas no sistema de aquecimento é permitir que a água quente circule no sistema em determinada vazão, garantindo o funcionamento adequado do sistema, e possibilitando o fluido chegar em andares mais altos em edificações.



**Figura 5: Bomba Hidráulica (Hidraulicart,2013)**

### **3.4 Reservatórios**

Os reservatórios de água quente são de extrema importância para sistemas de aquecimento de água centrais, pois apenas com armazenamento de água quente é possível atender toda a demanda de uma edificação. Os reservatórios são usados para armazenamento de água quente, assim devem possuir um bom isolamento térmico, reduzindo assim troca de calor da água do sistema com o ambiente. Os reservatórios em geral são feitos de aço inox ou aço vitrificado, possuem um isolamento térmico e uma superfície externa. Esses equipamentos podem possuir trocadores de calor, permitindo o armazenamento por mais tempo da água quente. O dimensionamento dos reservatórios é feito

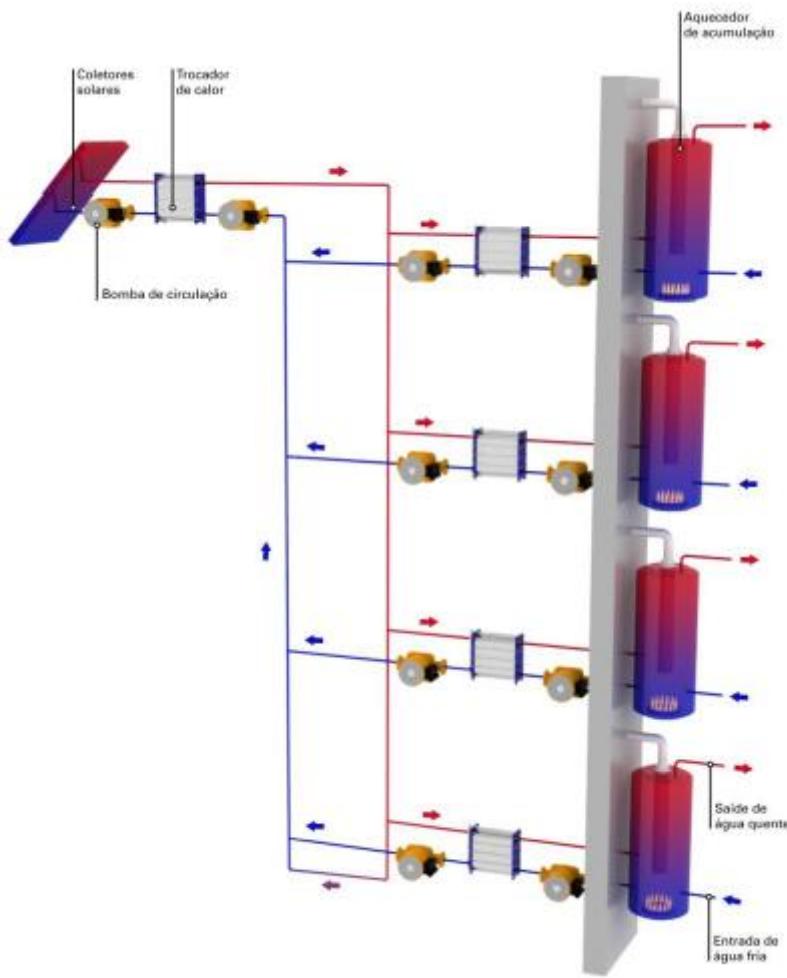
utilizando dados das vazões do sistema e do volume a ser armazenado. Além disso, são consideradas no dimensionamento as variações de temperaturas pelas quais o reservatório deverá resistir.

## **4 Configurações do sistema**

O sistema de aquecimento de água proposto no presente trabalho é do tipo central e composto por aquecedores à gás e coletores solares. Porém existem diferentes configurações de sistemas. Logo deve-se inicialmente definir a configuração do sistema a ser estudado. Foram feitos levantamentos quanto às possibilidades já existentes com base nas informações fornecidas e nesse sentido o trabalho COMGAS (2011) foi de grande valia.

### **4.1 Aquecedores à gás de acumulação individual**

Essa configuração consiste no uso de coletores solares para pré-aquecimento da água (vide Fig. 6). Esses coletores ficariam localizados nas áreas comuns da edificação, servindo todas as unidades habitacionais. Neste sistema o subsistema de aquecimento a gás serviria como complemento para o aquecimento da água e os aquecedores seriam individuais. O sistema solar é acionado quando a temperatura da água presente no seu interior tivesse temperatura maior do que a da rede. Outros equipamentos seriam usados nessa configuração, como bombas e trocadores de calor. Apesar de não ser necessária o uso dos trocadores de calor nessa configuração, o seu uso dispensa o uso de aditivos na água e aumenta a durabilidade dos coletores solares.

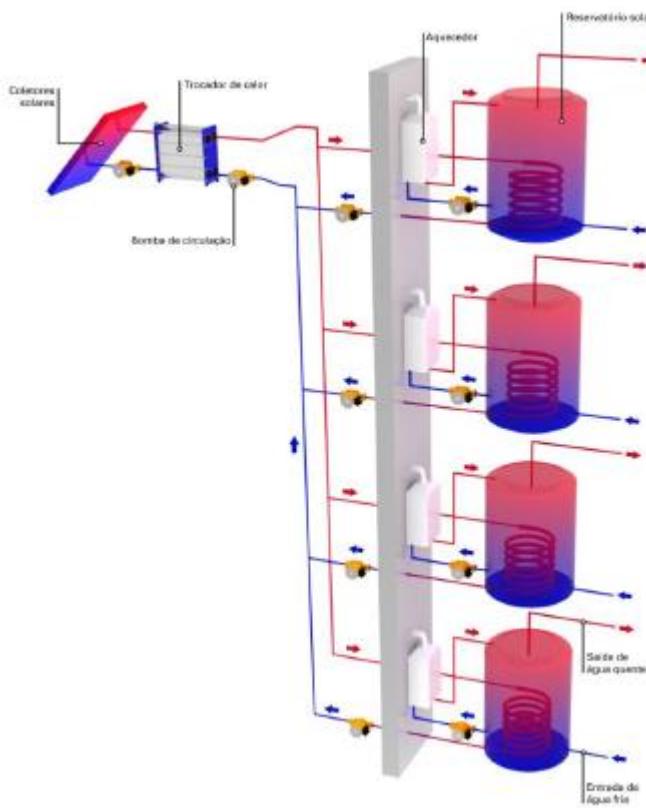


**Figura 6: Sistema a gás individual com coletores solar coletivos (COMGAS, 2011)**

#### **4.2 Aquecedores à gás de acumulação individuais e reservatórios térmicos individuais**

Essa configuração apresentada na Fig. 7 tem funcionamento muito similar à configuração descrita na seção 4.1, a menos da presença de reservatório individual. Esse sistema permite que haja armazenamento de água quente em cada unidade habitacional. Quando a temperatura da água no reservatório é inferior a temperatura da água na rede há uma bomba de circulação que permite que a água da rede troque calor com o trocador de calor de cada reservatório, aumentando assim a temperatura da água no reservatório. Por essa configuração não há consumo direto de

água quente advinda do coletor solar, pois essa água só serve para troca de calor e não para consumo, logo não é necessário medição do consumo individualizado dessa água quente.



**Figura 7: Aquecedores a gás e reservatórios individuais com coletores solar coletivos (COMGAS, 2011)**

#### **4.3 Sistema centralizado com aquecedor de acumulação**

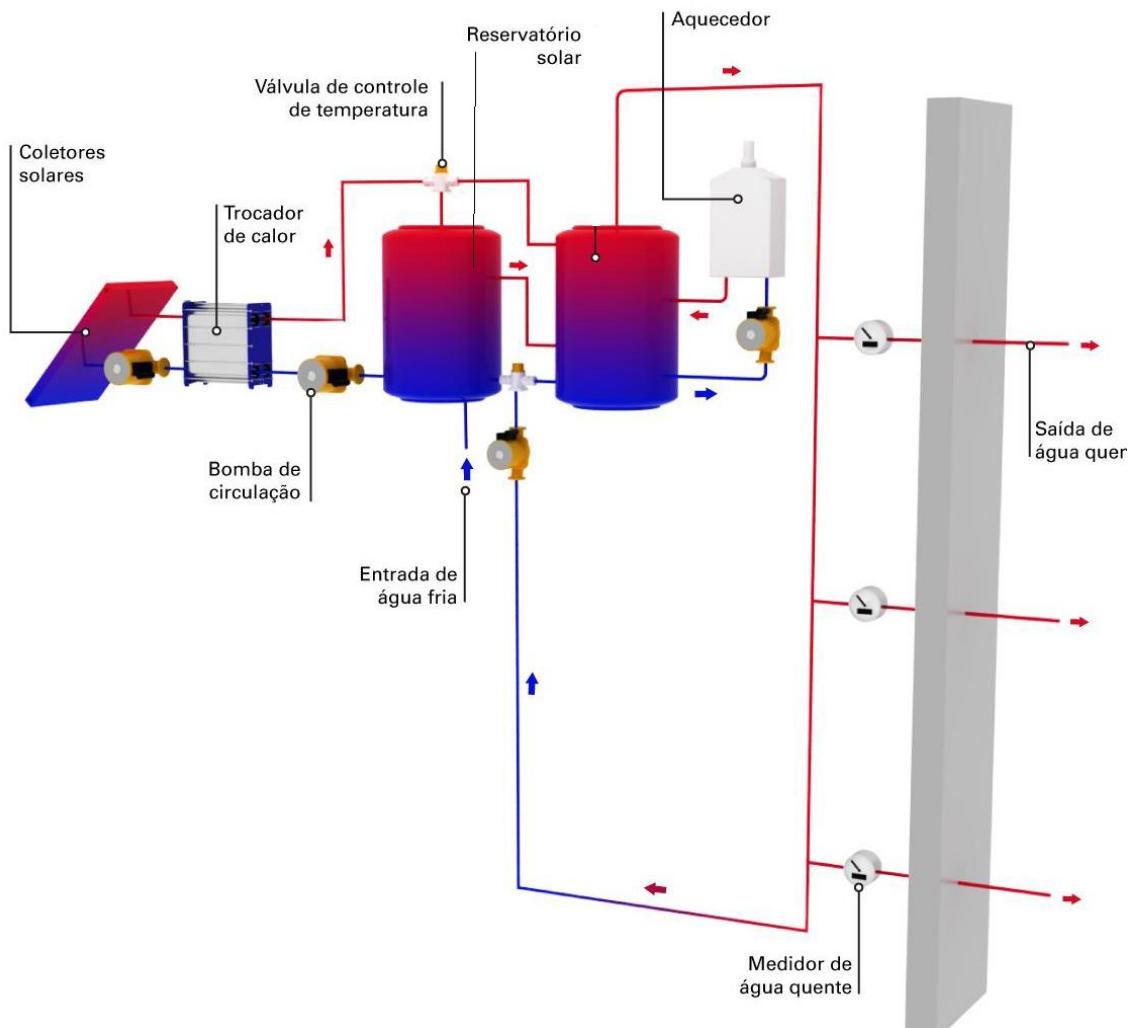
Essa configuração (Figura. 8) é baseada na utilização de um sistema de aquecimento solar central e de aquecedor de passagem a gás. O sistema solar é usado como ferramenta principal para aquecimento da água. Já o sistema à gás é utilizado para complementar esse aquecimento.

O sistema solar entra em funcionamento quando temperatura do coletor solar for superior à temperatura da água fria do reservatório solar, mostrado na Figura 8. Quando isso ocorre, as bombas de circulação, situadas entre coletor - trocador de calor e trocador de calor-reservatório solar, entram em

funcionamento. A partir desse momento, um complexo sistema de controle entra em operação. O reservatório do sistema coletivo a gás é instalado em série ao reservatório solar. Assim, a água quente que saiu do coletor solar passa por uma válvula controladora de temperatura. Essa válvula tem a função de verificar a temperatura da água e direciona-la algum dos reservatórios. O direcionamento é feito para que se a água proveniente do coletor solar estiver a uma temperatura maior que a água presente no reservatório do sistema coletivo a gás, então ela é direcionada para esse reservatório, aumentando a temperatura média deste de forma mais rápida, evitando a entrada em operação dos aquecedores. Caso contrário, a água proveniente do coletor solar é direcionada para o reservatório solar.

Essa água quente pode ser usada no consumo dos condôminos ou usada para circulação na rede com o objetivo de manter uma temperatura mínima da água na rede. A água sai do ponto mais alto do reservatório do sistema a gás, onde a temperatura é maior. Já a água mais quente do reservatório solar entra no ponto mais baixo do reservatório do sistema a gás para que posteriormente seja aquecida, se necessário, pelo aquecedor.

O sistema de medição tem por objetivo medir o consumo de água quente e fazer o rateio do gás junto às unidades habitacionais. O coletor solar é usado como fonte de calor, assim não é necessário fazer medição individualizada da água aquecida por esse equipamento.



**Figura 8: Sistema à gás e solar centralizado (COMGAS,2011)**

#### 4.4 Sistema central com aquecedores de passagem coletivos

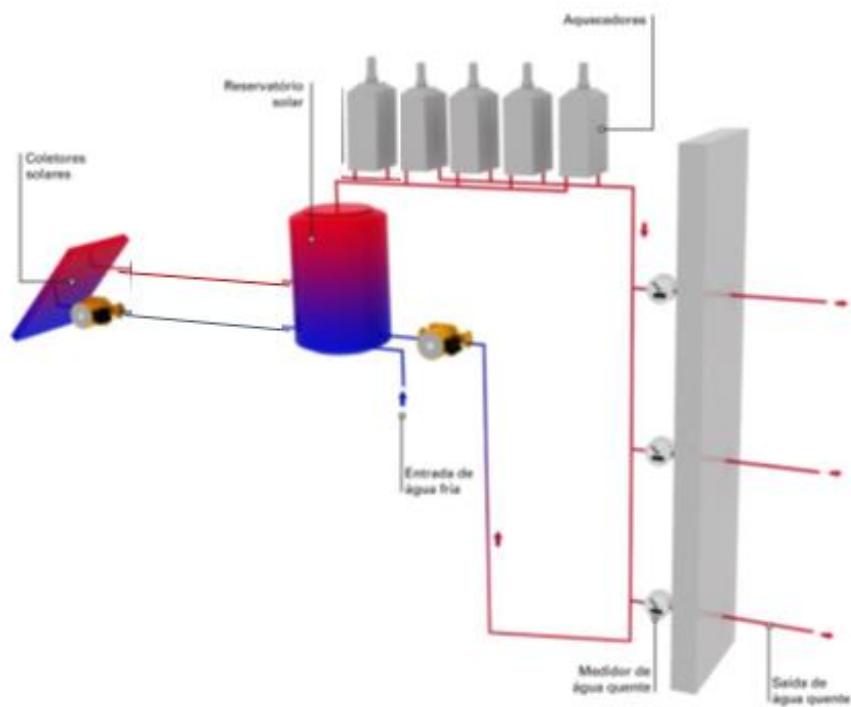
Essa configuração (Figura. 9) é baseada na utilização de um sistema de aquecimento solar central e de um conjunto de aquecedores de passagem a gás. O sistema solar é usado como ferramenta principal para aquecimento da água. Já o sistema à gás é utilizado para complementar esse aquecimento.

O sistema solar entra em funcionamento quando temperatura do coletor solar for superior à temperatura da água fria do reservatório solar, mostrado na Figura 9. Quando isso ocorre, as bombas de circulação, situadas entre coletor - trocador de calor e trocador de calor-reservatório solar, entram em

funcionamento, promovendo o aquecimento da água do reservatório solar. A próxima etapa do funcionamento do sistema é a saída da água quente da parte superior do reservatório solar, local em que a água apresenta maior temperatura, e passa pelos aquecedores de passagem. Essa água quente pode ser usada no consumo dos condôminos ou usada para circulação na rede com o objetivo de manter uma temperatura mínima da água na rede.

Os aquecedores de passagem têm como função completar o aquecimento da água. O número de aquecedores acionados dependerá da demanda por água quente, porém é necessário haver um revezamento no uso dos aquecedores de forma que nenhum deles tenha uma deterioração mais rápida que os demais.

A diferença marcante entre as soluções das figuras 8 e 9 é decorrente do uso de mais de um aquecedor à gás no sistema. A utilização de múltiplos aquecedores permite uma maior segurança do ponto de vista operacional. Caso haja algum problema técnico com alguns dos aquecedores, o sistema ainda é capaz de abastecer a demanda energética do edifício, enquanto no uso de apenas um aquecedor, a ocorrência de um problema técnico compromete o atendimento a demanda energética.



**Figura 9: Sistema Central com modularização do sistema de aquecimento a gás**  
 (Adaptado de COMGAS, 2011)

## 5 Definição da configuração

O presente trabalho visa determinar a configuração mais adequada entre as citadas na seção 4 para diferentes demandas de água quente para banho em condomínios residenciais. Todas atendem de alguma forma uma das necessidades do projeto, pois associam aquecimento à gás e aquecimento solar, de forma centralizada. Vale ressaltar porém que as soluções 4.1 e 4.2 apresentam apenas o sistema solar centralizado. Assim, por essas soluções ainda é necessário haver componentes do sistema de aquecimento no interior das unidades habitacionais. Esse fator é usado no critério de solução do presente trabalho, pois procura-se sistemas totalmente centralizados, nos quais não há a necessidade de componentes internos às unidades habitacionais. Portanto apenas duas conseguem atender ao critério de possuir todo o sistema de aquecimento totalmente centralizado. Porém ainda é necessário definir uma das configurações.

A diferença entre as soluções 4.3 e 4.4 refere-se à modularização do sistema de aquecimento a gás. Na solução 4.3, o sistema de aquecimento à gás apresenta apenas um aquecedor. Já na solução 4.4 ocorre a modularização do sistema, ou seja, são usados mais de um aquecedor. O uso de diversos aquecedores traz benefícios, como por exemplo o uso de equipamentos de menor porte e maior segurança operacional, caso algum dos equipamentos apresente falhas ainda existem outros para manter a operação do sistema e atender a demanda energética. É válido ressaltar que o sistema modularizado apresenta também custos maiores, como o maior valor de investimento inicial e maior custo de manutenção. Porém o objetivo fundamental do presente estudo é apresentar uma alternativa viável técnica e economicamente para sistemas centralizados em edifícios, e portanto escolhe-se a solução apresenta na seção 4.4, Sistema Central com Aquecedores de Passagem Coletivos que apresenta uma solução mais robusta, tornando o sistema mais confiável.

Essa configuração apresenta sistema de gerenciamento e controle mais bem definidos, sendo mais plausível o seu uso em um empreendimento imobiliário. Além disso, outros trabalhos acadêmicos como Aita (2006) utilizam

configurações semelhantes. Será utilizado como combustível Gás Natural pelo seu uso crescente em regiões metropolitanas no Brasil, devido ao desenvolvimento de infraestrutura de encanamento do gás. Já os coletores solares, serão utilizados os de placa plana devido ao seu maior uso no cenário atual e seu menor valor de investimento inicial.

Esse sistema será projetado, buscando o dimensionamento dos equipamentos e o levantamento dos custos associados. Também será desenvolvido o sistema de aquecimento à gás individualizado com sistema elétrico de *back-up*, de forma que ao final do projeto seja possível comparar os dois sistemas projetados e descobrir qual é o mais vantajoso economicamente.

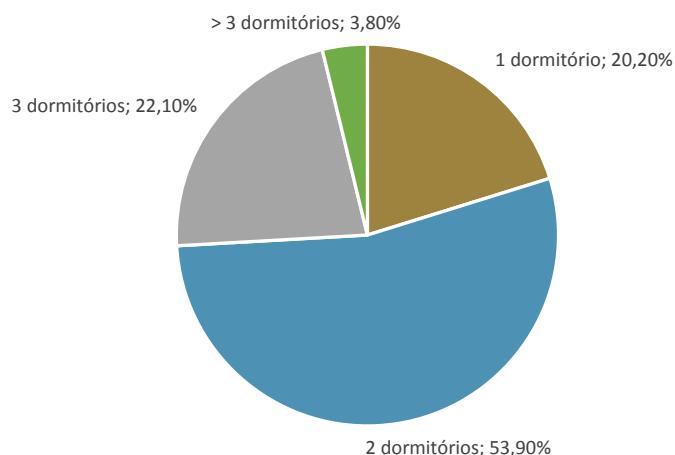
No presente estudo é necessário definir também um local, pois isto definirá o dimensionamento dos coletores solar. Portanto define-se a Região Metropolitana de São Paulo. Os critérios usados nessa definição foram:

- i) Região do país mais importante economicamente
- ii) Maior número de habitantes e de edifícios
- iii) Dados sobre habitação disponíveis e confiáveis
- iv) Maior número de novos empreendimentos
- v) Clima subtropical, o que permite replicar o estudo com facilidade para outros locais com intensa atividade econômica como Rio de Janeiro, Minas Gerais, Paraná, entre outros

## 6 Definição da demanda de água quente

A definição da demanda de água quente é de fundamental importância para o presente projeto. O dimensionamento de todos os equipamentos do sistema será influenciado diretamente por essa demanda.

Primeiramente define-se as tipologias que serão usadas para estudo. A região escolhida para estudo foi a Região Metropolitana de São Paulo pelas razões apresentadas na seção 5. Assim o passo seguinte é a definição das tipologias. Analisou-se a comercialização de imóveis novos na Região Metropolitana de São Paulo durante o ano de 2013, o que pode ser visto no Gráfico 1.



**Gráfico 1 Unidades habitacionais comercializadas na Região Metropolitana de São Paulo (Secovi, 2013)**

Pelo Gráfico 1 fica evidente que a comercialização de apartamentos novos na Região Metropolitana de São Paulo é majoritariamente feita através de apartamentos de 1, 2 e 3 dormitórios, representando 96.2% de todas as unidades comercializadas.

Assim no presente projeto será usado essas tipologias para estudo. Para a definição do número de apartamentos será usado padrão igual ao de Ilha (1991). Assim será usado como padrão prédios de 16 andares com 4

apartamentos por andar. Leite (2011) para a realização de seus estudos usou-se desse mesmo padrão. Segundo (Ilha, 1991) para a definição do número de pessoas residentes dos prédios, usa-se usualmente em projetos a seguinte expressão:

$$\text{número de pessoas} = \text{número de dormitórios} + 1$$

Logo para as tipologias adotadas tem-se o seguinte número de pessoas:

**Tabela 1 Tipologias adotadas**

	1 dormitório	2 dormitórios	3 dormitórios
<b>Número de Apartamentos</b>	64	64	64
<b>Número de Pessoas Residentes</b>	128	192	256

Para a definição da demanda de água quente existem diferentes métodos para se fazer as estimativas. COMGAS (2011) levantou diferentes métodos usados por projetistas. Dentre os métodos destacam-se:

- i) Método das vazões dos pontos de consumo
- ii) Método do volume médio
- iii) Método das vazões máximas

No presente estudo será utilizado o Método do volume médio por ser o método mais utilizado possuir uma quantidade dados maior e mais confiáveis, além de existirem normas brasileiras e internacionais referentes a esse método. Por esse método determina-se o volume total de água quente consumido diariamente na edificação através da utilização de uma estimativa do consumo por pessoa. Para se obter o volume total de água quente consumido diariamente por pessoa usa-se a norma ABNT NBR 1269. Por essa norma tem-se:

**Tabela 2 ABNT NBR 1269**

	<b>Volume (L/dia)</b>	<b>Volume usado no projeto (L/dia)</b>
<b>Chuveiro (ABNT NBR 1269)</b>	66 a 120	80
<b>Lavatório (ABNT NBR 1269)</b>	6 a 9,6	7,8

Para determinar o volume usado no projeto usou-se o ponto médio do intervalo determinado pela norma. Assim, usa-se volume de 93 l/dia para chuveiro e 7,8 l/dia para lavatório. Portanto o volume por dia consumido é 100,8 l.

Assim o volume total de água quente consumido nas tipologias adotadas é dado por:

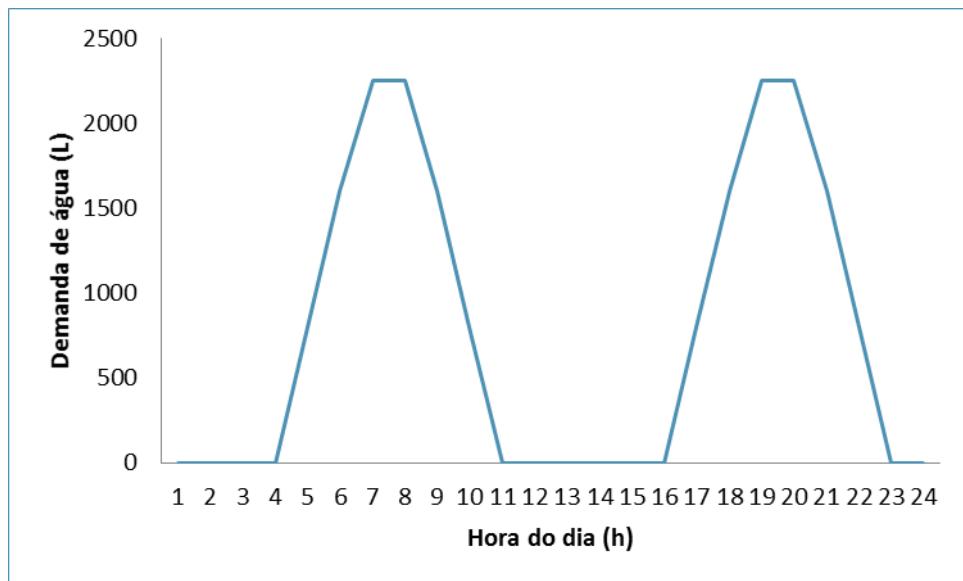
**Tabela 3 Demanda de água quente por tipologia**

	<b>1 dormitório</b>	<b>2 dormitórios</b>	<b>3 dormitórios</b>
<b>Número de Pessoas Residentes</b>	128	192	256
<b>Volume Diário Consumido por pessoa (l)</b>	100,8	100,8	100,8
<b>Demandas de água quente por dia (l)</b>	12902,4	19353,6	25804,8
<b>Demandas de água quente por apto (l)</b>	201,6	302,4	403,2

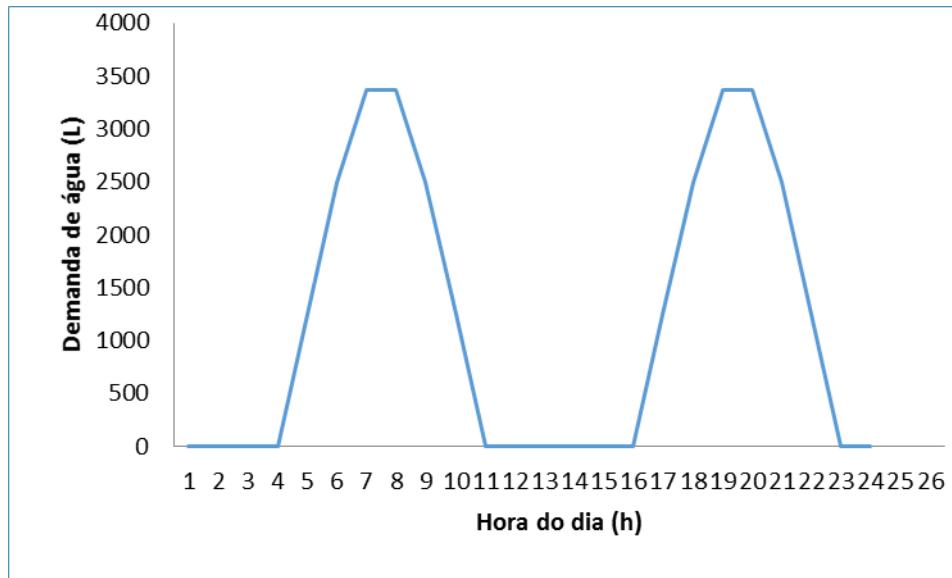
**Tabela 4 Demanda de água quente por tipologia**

Dentro do estudo é importante também definir a distribuição do consumo de água quente durante o dia. Essa distribuição influenciará no dimensionamento de componentes, influenciando o sistema como um todo. Assim o trabalho de Leite (2011) tem uma importância. Para determinar a distribuição, o autor usou-se do seguinte método, “pode ser observado na pesquisa de Procel (2007), a rede é mais exigida nos intervalos entre 5 e 9 horas e 17 e 21 horas. Portanto admite-se que metade da demanda é consumida no primeiro intervalo, e a outra metade no segundo. Além disso, dentro de cada intervalo de quatro horas, considerou-se nas duas horas “centrais” uma demanda 50% maior comparada às demandas da primeira e última hora do intervalo”. Essa citação do próprio autor explica a determinação da distribuição bem como a metodologia usada.

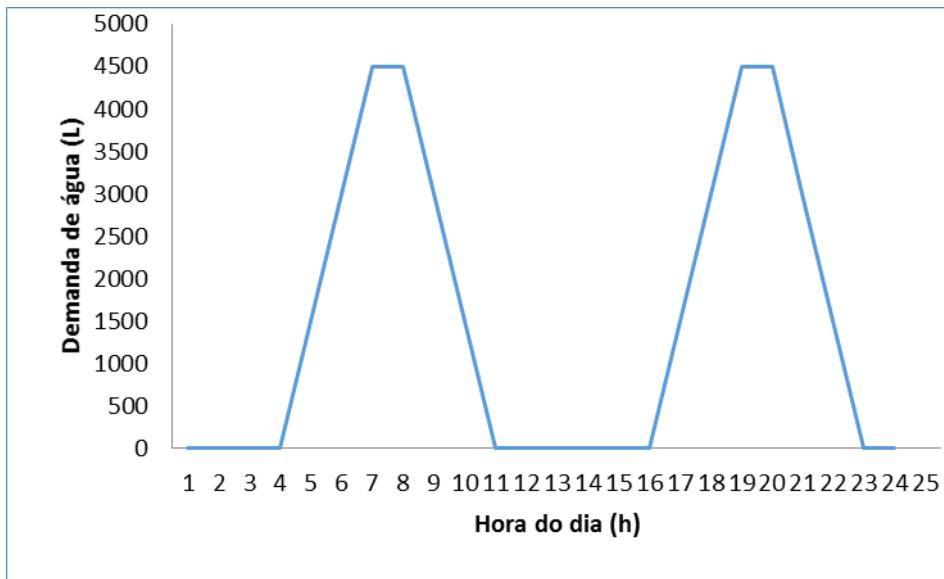
Logo tem-se as seguintes distribuições para as tipologias adotadas:



**Gráfico 2 Demanda de água quente durante o dia apto 1 dorm.**



**Gráfico 3 Demanda de água quente durante o dia apto 2 dorm.**



**Gráfico 4 Demanda de água quente durante o dia apto 3 dorm.**

## 7 Seleção dos equipamentos

### 7.1 Tubulação

Definido a configuração do sistema e a demanda de água quente, o próximo passo consiste na determinação dos equipamentos. Primeiramente define-se o diâmetro da tubulação.

De acordo com a norma NBR 7198, da ABNT (1993) devem ser utilizadas as seguintes uma velocidade máxima, pressão estática máxima e pressão dinâmica mínima:

$$V_{max} = 3,0 \frac{m}{s}$$

$$P_{max} = 400 \text{ kPa} = 40,8 \text{ m. c. a.}$$

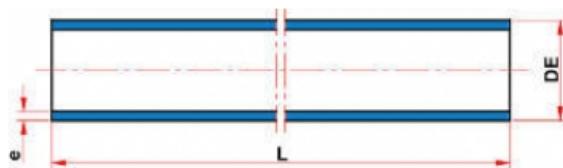
$$P_{min} = 5 \text{ kPa} = 0,51 \text{ m. c. a.}$$

A equação que relaciona o diâmetro da tubulação com a velocidade da água é dada por:

$$Q_n = V \cdot \pi \cdot \frac{D^2}{4}$$

Onde,  $D$  é o diâmetro do tubo, em  $m$ ,  $V$  é a velocidade, em  $m/s$  e  $Q_n$  é a vazão para cada uma das tipologias, em  $m^3/s$ .

Para a determinação do diâmetro da tubulação utilizou-se a velocidade máxima da água na tubulação que ocorre quando a máxima demanda de água quente é requisitada. Considerando o diâmetro definido anteriormente e os diâmetros disponíveis em na figura 10, definiu-se os diâmetros internos de 22mm para as três tipologias.



Bitola	L	e	DE
15	3000	1,6	15
22	3000	2,0	22
28	3000	2,5	28,1
35	3000	3,2	34,9
42	3000	3,8	41,3
54	3000	4,9	54
73	3000	6,6	73,1
89	3000	8,1	89
114	3000	10,4	114,4

**Figura 10 Tubulação Aquaterm para Água quente Predial (Tigre, 2014)**

Um fator correlacionado com a tubulação de fundamental importância ao projeto são as perdas térmicas envolvidas na circulação da água quente. De acordo com as perdas térmicas e a temperatura de consumo de água quente, determina-se a temperatura que a água deve ser aquecida, determinando assim a seleção do aquecedor a gás e dos coletores solares. Existem 2 maneiras de

se determinar essas perdas térmicas, através do modelo teórico e do modelo desenvolvido pelo fabricante, ou seja, experimental.

O modelo teórico é baseado na análise de um volume de controle de um tubo com fluido em movimento, ocorrendo perdas por condução, convecção e condução, como pode ser visto pela figura 11.

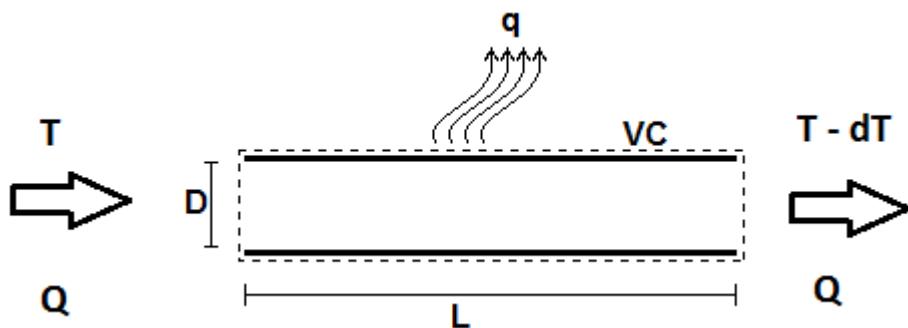


Figura 11 Perdas Térmicas Tubulação (Leite, 2011)

Segundo (Leite, 2011) usando o volume de controle (VC) indicado obtém-se a seguinte expressão:

$$q = \dot{m} \cdot c_p \cdot dT \quad (\text{I})$$

Onde:

$q$  é a taxa de transferência de calor, em  $W$ ;

$\dot{m}$  é a vazão mássica de água, em  $\frac{kg}{s}$ ;

$c_p$  é o calor específico da água, em  $\frac{J}{kg \cdot K}$ ;

$dT$  é a diferença de temperatura da água entre a entrada e a saída do VC, em  $K$ .

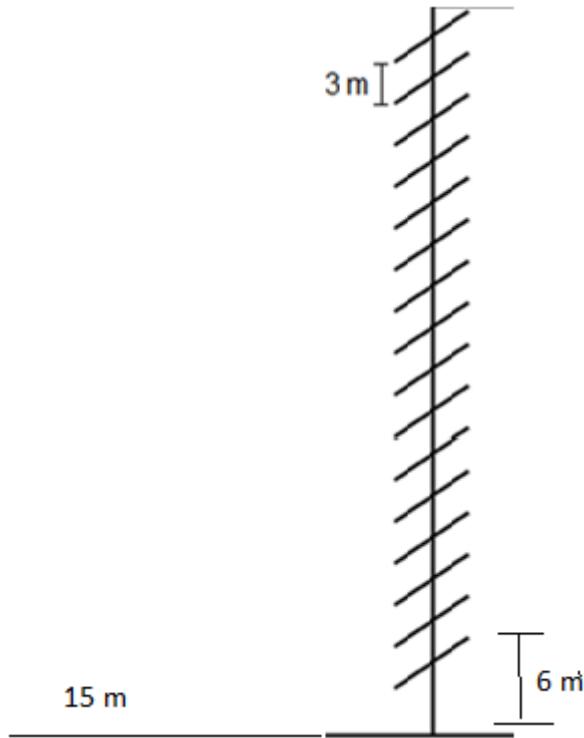
Por meio dessa expressão é possível determinar a diferença de temperatura a partir da troca de calor, da vazão mássica e de propriedades do escoamento. Porém o uso desse modelo apresenta dificuldades. Para a determinação do calor trocado devem ser obtidos diversos dados como velocidade média do escoamento, viscosidade cinemática, difusividade térmica, coeficiente de expansão volumétrica, entre diversos outros, os quais não há

informações precisas disponíveis, portanto o resultado pode apresentar distorções ou imprecisões grandes. Assim optou-se no presente trabalho por usar expressão determinada pelo fabricante (Tigre, 2014), realizado através de estudos empíricos, testando diferentes vazões e condições de escoamento, realizando sempre com o material dos tubos. A expressão sugerida pela fabricante é a seguinte:

$$T_{cons} = \frac{(69,67 * Q * T_{arm}) - [(\frac{F}{2}) * L * (T_{arm} - 2 * T_{amb})]}{(\frac{F}{2}) * L + 69,67 * Q}$$

Onde  $T$  é a temperatura do ponto de consumo, em °C,  $Q$  é vazão, em l/min,  $T_{arm}$  é a temperatura de armazenamento, em °C,  $T_{amb}$  é a temperatura ambiente, °C,  $F$  é o fator de diâmetro, em  $m^{-1}$  e  $L$  é o comprimento da tubulação.

A temperatura do ponto de consumo é de 45°. De acordo com (COMGAS, 2011) essa é a temperatura a ser considerado em um projeto devido ao seu uso mais frequente em uso de água quente sanitário. Para vazão será usada a maior vazão durante o dia para cada uma das tipologias. O fator de diâmetro é definido pela fabricante, e no caso de tubulação de diâmetro de 22mm, o fator é igual a 0,77. O comprimento da tubulação foi feito considerando o seguinte esquema da figura 12.



**Figura 12 Esquema Tubulação (Adaptado de Leite, 2011)**

A temperatura ambiente é dada por (IAG-USP, 2013) para a cidade de São Paulo, podendo ser verificado pela figura 13 na figura 13. Utilizou-se a temperatura média referente ao ano de 2013.

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	ANUAL
Normal (1933-1960)	21	21	20,3	18,2	16,3	15,1	14,4	15,6	16,4	17,5	18,3	19,7	17,8
Normal (1961-1990)	21,6	22	21,2	19,2	17,1	15,8	15,3	16,5	17,1	18,3	19,6	20,7	18,7
Média (1933-2013)	21,6	21,8	21,1	19,2	17	15,8	15,2	16,3	17,1	18,3	19,4	20,6	18,6
2012	20,7	23,4	21,6	20,5	17,4	17	16,4	17,8	18,9	21,1	20	23,7	19,9
2013	21,2	22,7	21,4	19,3	17,8	17,5	15,4	16,5	18	18,9	20,7	22,3	19,3
Fração(%)	-1,9	4,1	1,4	0,5	4,7	10,8	1,3	1,2	5,3	3,3	6,7	8,3	3,8

**Figura 13 Temperatura Média de São Paulo (IAG-USP, 2013)**

Após a realização dos cálculos, com o auxílio de uma planilha de cálculo, concluiu-se que as perdas térmicas não ultrapassavam o valor de 4°C, calculando o valor para as três vazões. Portanto admitindo-se uma temperatura de consumo de 45 °C e uma temperatura de armazenamento em 50°C, o projeto

estaria trabalhando com margem de incerteza plausível. Logo para os cálculos de determinação dos coletores solar e o aquecedor a gás foram utilizados esses valores de temperatura.

## 7.2 Reservatório

De acordo com (COMGAS, 2011) e (Chaguri, 2009), é possível determinar o volume necessário do reservatório solar através da seguinte expressão:

$$V_{arm} = \frac{V_{cons} * (T_{cons} - T_{af})}{(T_{arm} - T_{af})}$$

Onde  $V_{arm}$  é o volume de armazenamento, em litros,  $V_{cons}$  é o volume de consumo no horário de pico de demanda de água quente em um dia, dado em litros,  $T_{cons}$  é a temperatura de consumo, dado em °C,  $T_{af}$  é a temperatura da água fria provinda da rede, dada em °C e  $T_{arm}$  é a temperatura de armazenamento.

Seguindo critério de projeto definido por (COMGAS, 2011) utiliza-se  $T_{af}$  como sendo igual a 20°C. Apesar de ser uma simplificação de projeto, essa definição pode ser adotada com bastante precisão, pois a variação de temperatura da água ao longo do ano não é grande, inferior a 10%.

### 7.3 Aquecedores a gás

A determinação dos aquecedores a gás depende de alguns fatores. Primeiramente, define-se no presente projeto que o combustível a ser utilizado no aquecedor é o Gás Natural.

Por critério de projeto, determina-se que os aquecedores a gás, para as três tipologias, devem ser dimensionados para suportar toda a demanda de água quente. Assim, o sistema de aquecimento tem um back-up, caso as condições climáticas não sejam favoráveis, ou seja, baixa radiação solar incidindo nos coletores solares. Portanto, além de fornecer a energia necessária para o aquecimento da água na temperatura adequada, os aquecedores também deve suportar a vazão de água escoando.

Definido esses fatores, determina-se a potência necessária para os aquecedores a gás. Por meio da seguinte expressão apresentada por (COMGAS, 2011) e pela fabricante (Bosch, 2014) determina-se a potência:

$$Potência = Qmáx * c * (Tarm - Taf)$$

Onde  $Qmáx$  é a vazão máxima demandada de água quente, dada em litros/hora,  $c$  é a capacidade calorífica da água, dada em  $\text{kcal} \cdot \text{l} / ^\circ\text{C}$ ,  $Tarm$  é a temperatura de armazenamento, dada em  $^\circ\text{C}$ , e  $Taf$  é a temperatura da água fria provinda da rede, dada em  $^\circ\text{C}$ . A potência é dada em  $\text{Kcal/h}$ . Outra relação importante usada foi a transformação de  $\text{kcal/h}$  para  $\text{kW}$ , e é dada por:

$$1 \frac{\text{kcal}}{\text{h}} = 0,001163 \text{ kW}$$

A análise do número de aquecedores que devem ser usados no sistema deve ser feita de forma iterativa. Quanto maior o número de aquecedores maior

o investimento inicial e os custos de manutenção. No presente trabalho após levantamento de cotações junto aos fornecedores, conclui-se que com 5 aquecedores à gás, sendo 4 em operação e 1 para back-up, o sistema estaria otimizado em função do espaço ocupado pelos equipamentos, custos associados à operação e valor de investimento inicial.

#### **7.4 Bombas**

Para determinação das bombas utiliza-se o manual do fabricante, (Schneider, 2013) sobre a seleção dos equipamentos. De acordo com o manual segue-se os seguintes passos:

1) Dados da instalação

Define-se a altura de sucção, ou seja o desnível entre a bomba e a lâmina d'água do reservatório, supondo a bomba acima do nível do reservatório. A altura de recalque, que é o desnível entre a bomba e o ponto mais alto da instalação. Por fim, define-se o comprimento da tubulação, cujo valor é influenciado pelo comprimento dos tubos e o comprimento relativo de partes correlacionadas a tubulação, podendo ser visto pela figura 15.

Diâmetro	Conexões			
	Tê lateral	Tê Central	Joelho 90°	Joelho 45°
1/2"	0,3048	1,15824	0,4572	0,24384
3/4"	0,42672	1,49352	0,6096	0,33528
1"	0,51816	1,8288	0,762	0,42672
1 1/4"	0,70104	2,22504	1,15824	0,54864
1 1/2"	0,82296	2,56032	1,2192	0,64008
2"	1,21092	3,6576	1,73736	0,79248
2 1/2"	1,49352	4,48056	2,10312	0,94448
3"	1,85928	4,99872	2,40792	1,2192
4"	2,40792	6,7056	3,47472	1,55448

**Figura 14 Conexões e comprimento relativo para diferentes diâmetros de tubulação (Tigre, 2014)**

## 2) Determinação da vazão

De acordo com as tipologias analisadas, determina-se as bombas por meio da análise da vazão máxima.

## 3) Perda de carga em tubulações

Por meio de valores tabelados, a fabricante indica a perda de carga na tubulação utilizada. A tabela utilizada pode ser encontrada no Anexo do presente estudo. A perda de carga é influenciada pelo comprimento da tubulação, material da tubulação e condições de escoamento.

## 4) Determinação da altura manométrica (AMT)

A altura manométrica (AMT) é dada pela seguinte expressão:

$$AMT = Altura\ de\ sucção + altura\ de\ recalque + perdas\ de\ carga$$

## 5) Seleção do equipamento

Por meio da altura manométrica (AMT) e da vazão para cada tipologia, determina-se o equipamento.

### 7.5 Coletor solar

De acordo com (COMGAS, 2011), a seleção do equipamento do sistema de aquecimento solar é usualmente baseada na metodologia F-Chart, modelo mais utilizado e difundido no mundo para o dimensionamento desse tipo de sistema destacando-se a adoção de simplificações encontradas em manuais de fabricantes, como também na Norma ABNT NBR 15569.

O modelo F-Chart consiste na determinação da fração solar anual ou porcentagem da demanda energética que é coberta pela instalação solar. Por critério de projeto define-se que o sistema de aquecimento solar disponibilize 60% do total de energia demandado por cada tipologia. Sendo assim segue o dimensionamento.

Primeiramente calcula-se a demanda de energia útil. O cálculo da energia solar considera os valores de radiação solar mês a mês, o que permite uma análise mais precisa do aproveitamento térmico solar ao longo do ano, permitindo uma programação de oscilação de energia conforme as diferentes estações climáticas, utilizando a seguinte expressão:

$$DEMês = Qdia * N * (Tcons - Taf) * 0,0016$$

Onde  $DEMês$  é demanda energética, dada em (kWh/mês),  $Qdia$  é a demanda de água quente por dia, dada em litros/dia,  $N$  é o número de dias de cada mês,  $Tcons$  é a temperatura de consumo, dada em °C, e  $Taf$  é a temperatura da água fria provinda da rede, dada em °C.

As seguintes tabelas referem-se ao cálculo da demanda de energia útil para cada uma das tipologias.

**Tabela 5 Demanda Energética Útil Tipologia I**

Mês	N (dias/mês)	T <sub>F</sub> (°C)	DE <sub>mês</sub> (kWh/mês)
Jan	31	20	11599,258
Fev	28	20	10476,749
Mar	31	20	11599,258
Abr	30	20	11225,088
Mai	31	20	11599,258
Jun	30	20	11225,088
Jul	31	20	11599,258
Ago	31	20	11599,258
Set	30	20	11225,088
Out	31	20	11599,258
Nov	30	20	11225,088
Dez	31	20	11599,258
<b>Total</b>			<b>136571,9</b>

**Tabela 6 Demanda Energética Útil Tipologia II**

Mês	N (dias/mês)	T <sub>F</sub> (°C)	DE <sub>mês</sub> (kWh/mês)
Jan	31	20	17398,886
Fev	28	20	15715,123
Mar	31	20	17398,886
Abr	30	20	16837,632
Mai	31	20	17398,886
Jun	30	20	16837,632
Jul	31	20	17398,886
Ago	31	20	17398,886
Set	30	20	16837,632
Out	31	20	17398,886
Nov	30	20	16837,632
Dez	31	20	17398,886
<b>Total</b>			<b>204857,86</b>

**Tabela 7 Demanda Energética Útil Tipologia III**

Mês	N (dias/mês)	T <sub>F</sub> (°C)	DE <sub>mês</sub> (kWh/mês)
Jan	31	20	23198,515
Fev	28	20	20953,498
Mar	31	20	23198,515
Abr	30	20	22450,176
Mai	31	20	23198,515
Jun	30	20	22450,176
Jul	31	20	23198,515
Ago	31	20	23198,515
Set	30	20	22450,176
Out	31	20	23198,515
Nov	30	20	22450,176
Dez	31	20	23198,515
<b>Total</b>			<b>273143,81</b>

O próximo passo é calcular a produção energética de uma instalação, através da seguinte expressão:

$$EImês = Hdia * N$$

Onde  $EImês$  é a produção energética, dada em (kWh/m<sup>2</sup>),  $Hdia$  é a radiação solar incidente no plano inclinado, dada em (kWh/(m<sup>2</sup> \*dia)) e  $N$  é o número de dias de cada mês.

Os valores de  $Hdia$  são tabelados, variando por cada cidade, e os valores para a cidade de São Paulo podem ser encontradas no Anexo.

Calculado a produção energética, calcula-se agora a energia absorvida pelo coletor, dada pela seguinte expressão:

$$EAmês = Sc * F'r(\tau\alpha) * EImês$$

Onde  $EAmês$  é a energia absorvida pelo coletor, dada em kWh/mês,  $Sc$  é a área do coletor, dada em  $m^2$ .  $F'r(\tau\alpha)$  é um fator adimensional, dado pela seguinte expressão:

$$F'r(\tau\alpha) = Fr(\tau\alpha) * \left(\frac{\tau\alpha}{\tau\alpha n}\right) * \frac{F'r}{Fr}$$

Onde  $Fr(\tau\alpha)$  é o fator de eficiência óptica do coletor, disponível na tabela de eficiência do coletor do INMETRO,  $\left(\frac{\tau\alpha}{\tau\alpha n}\right)$  é modificador do ângulo de incidência, na ausência desta informação pode-se adotar 0,96 para coletores com cobertura de vidro e  $\frac{F'r}{Fr}$  é fator de correção do conjunto coletor – trocador, na ausência desta informação pode-se adotar 0,95.

Para a realização dos cálculos foi utilizado planilhas de cálculo, assim é possível supor um valor para a área do coletor solar e verificar se o critério de projeto, suprir 50% da demanda energética, foi atendido.

O modelo de F-Chart busca atender a seguinte expressão:

$$f = 1,029 * D1 - 0,065 * D2 - 0,245 * D1^2 + 0,0018 * D2^2 + 0,215 * D1^3$$

Portanto é necessário encontrar os valores dos parâmetros D1 e D2.

D1 é dado pela seguinte expressão

$$D1 = \frac{EAmês}{DEmês}$$

Já D2 é dado pela seguinte expressão:

$$D2 = \frac{EPmês}{DEmês}$$

Sendo,

$$EPmês = Sc * F'rUl * (100 - Tamb) * Tempo * k1 * k2$$

Onde  $EPmês$  é a energia mensal não aproveitada pelos coletores, dada em kWh/mês,  $Sc$  é a área dos coletores, dada em  $m^2$ , tempo é a quantidade em horas de um mês,  $F'rUl$  é o coeficiente global de perdas do coletor dado por:

$$F'rUl = FrUl * \frac{Fr}{F'r} * 0,001$$

O fator  $k1$  é dado por:

$$k1 = \frac{V}{75 * Sc}^{-0,25}$$

Onde  $V$  é o volume de armazenamento, dado em litros. O fator  $k2$  é dado por:

$$k2 = \frac{(11,16 + 1,18 * Tcons + 3,86 * Taf - 2,32 * Tamb)}{(100 - Tamb)}$$

Com os valores apresentados calcula-se  $f$  e a partir desse valor calcula-se a energia útil mensal coletada, dada em kWh/mês, por meio da seguinte expressão:

$$EUmês = f * DEMês$$

Com isso, a fração fração solar anual  $F$  que a superfície dos coletores  $Sc$  proporciona é igual a:

$$F = \frac{\sum_{1}^{12} EUmês}{\sum_{1}^{12} DEMês}$$

As seguintes tabelas apresentam os cálculos para as três tipologias. Para tipologia I usou-se uma área de 105m<sup>2</sup> que proporciona uma fração solar anual de 50,7%. Na tipologia II se uma área de 160m<sup>2</sup> que proporciona uma fração solar anual de 51,5%. Na tipologia III se uma área de 210m<sup>2</sup> que proporciona uma fração solar anual de 50,7%.

**Tabela 8 Tipologia I Planilha de Cálculo**

Mês	N (dias/mês)	H <sub>sa</sub> (kWh/(m <sup>2</sup> xdia))	E <sub>mês</sub> (kWh/m <sup>2</sup> )	E <sub>Amês</sub> (kWh/mês)	D1	T <sub>amb</sub> (°C)	K1	K2	Tempo (horas)	E <sub>Pmês</sub> (kWh)	D2	f	E <sub>Umês</sub> (kWh)
Jan	31	4,50	139,50	12006,77	1,035132197	21,6	0,9663639	1,2038265	744	37999,829	3,276057	0,6328553	7340,6518
Fev	28	5,00	140,00	12049,80	1,150146885	21,8	0,9663639	1,2012788	672	34162,415	2,3365385	0,7500692	7858,2861
Mar	31	4,06	125,86	10832,77	0,933919271	21,1	0,9663639	1,2101394	744	38442,717	2,3212733	0,6236421	7233,7852
Abr	30	3,61	108,30	9321,38	0,830406051	19,2	0,9663639	1,2334158	720	38831,316	2,3259677	0,5564039	6245,6832
Mai	31	3,19	98,89	8511,46	0,733793713	17,0	0,9663639	1,2590361	744	42074,402	2,3212733	0,4904638	5689,0163
Jun	30	2,94	88,20	7591,37	0,676286369	15,8	0,9663639	1,2724466	720	41745,808	2,3259677	0,4490451	5040,5711
Jul	31	3,22	99,82	8591,51	0,740694594	15,2	0,9663639	1,2790094	744	43668,801	2,3212733	0,4953138	5745,2726
Ago	31	3,72	115,32	9295,59	0,855709283	16,3	0,9663639	1,2669056	744	42694,446	2,3212733	0,5734142	6651,1788
Set	30	3,75	112,50	9682,88	0,862610164	17,1	0,9663639	1,2579011	720	40631,443	2,3259677	0,5776727	6484,4268
Out	31	4,03	124,93	10752,73	0,92701839	18,3	0,9663639	1,2440636	744	40922,892	2,3212733	0,619302	7183,4438
Nov	30	5,00	150,00	12910,50	1,150146885	19,4	0,9663639	1,2310174	720	38659,875	2,3259677	0,7506675	8426,3092
Dez	31	4,53	140,43	12086,81	1,042033078	20,6	0,9663639	1,2163728	744	38885,606	2,3212733	0,68933658	7996,1321
<b>Total</b>													81894,757

**Tabela 9 Tipologia II Planilha de Cálculo**

Mês	N (dias/mês)	H <sub>sa</sub> (kWh/(m <sup>2</sup> xdia))	E <sub>mês</sub> (kWh/m <sup>2</sup> )	E <sub>Amês</sub> (kWh/mês)	D1	T <sub>amb</sub> (°C)	K1	K2	Tempo (horas)	E <sub>Pmês</sub> (kWh)	D2	f	E <sub>Umês</sub> (kWh)
Jan	31	4,50	139,50	18250,28	1,048933959	21,6	0,9695241	1,2038265	744	57948,622	3,3305937	0,6380805	11101,89
Fev	28	5,00	140,00	18315,70	1,165482177	21,8	0,9695241	1,2012788	672	52096,678	2,3365385	0,758475	11919,528
Mar	31	4,06	125,86	16465,81	0,946371528	21,1	0,9695241	1,2101394	744	58624,014	2,3212733	0,631429	10986,161
Abr	30	3,61	108,30	14168,50	0,841478132	19,2	0,9695241	1,2334158	720	59216,615	2,3259677	0,5637609	9492,398
Mai	31	3,19	98,89	12937,42	0,743577629	17,0	0,9695241	1,2590361	744	64162,227	2,3212733	0,4973345	8653,0661
Jun	30	2,94	88,20	11538,89	0,68530352	15,8	0,9695241	1,2724466	720	63661,13	2,3259677	0,4555853	7670,978
Jul	31	3,22	99,82	13059,09	0,750570522	15,2	0,9695241	1,2790094	744	66593,638	2,3212733	0,502222	8738,1042
Ago	31	3,72	115,32	15086,90	0,86711874	16,3	0,9695241	1,2669056	744	65107,775	2,3212733	0,5808847	10106,748
Set	30	3,75	112,50	14717,97	0,874111633	17,1	0,9695241	1,2579011	720	61961,757	2,3259677	0,5851733	9852,932
Out	31	4,03	124,93	16344,14	0,939378635	18,3	0,9695241	1,2440636	744	62406,208	2,3212733	0,6270631	10910,199
Nov	30	5,00	150,00	19623,96	1,165482177	19,4	0,9695241	1,2310174	720	58955,173	2,3259677	0,7590734	12780,998
Dez	31	4,53	140,43	18371,95	1,055926852	20,6	0,9695241	1,2163728	744	59299,405	2,3212733	0,6975072	12135,849
<b>Total</b>													124348,85

**Tabela 10 Tipologia III Planilha de Cálculo**

Mês	N (dias/mês)	H <sub>des</sub> (kWh/(m <sup>2</sup> xdia))	E <sub>mês</sub> (kWh/m <sup>2</sup> )	E <sub>Amês</sub> (kWh/mês)	D1	T <sub>amb</sub> (°C)	K1	K2	Tempo (horas)	E <sub>Pmês</sub> (kWh)	D2	f	E <sub>Umês</sub> (kWh)
Jan	31	4,50	139,50	24013,53	1,035132197	21,6	0,9663265	1,2038265	744	75996,715	3,2759301	0,6328621	14681,46
Fev	28	5,00	140,00	24099,60	1,150146885	21,8	0,9663265	1,2012788	672	68322,184	2,3365385	0,7500692	15716,572
Mar	31	4,06	125,86	21665,54	0,933919271	21,1	0,9663265	1,2101394	744	76882,457	2,3212733	0,6236421	14467,57
Abr	30	3,61	108,30	18642,76	0,830406051	19,2	0,9663265	1,2334158	720	77659,628	2,3259677	0,5564039	12491,366
Mai	31	3,19	96,89	17022,92	0,733793713	17,0	0,9663265	1,2590361	744	84145,547	2,3212733	0,4904638	11378,033
Jun	30	2,94	88,20	15182,75	0,676286369	15,8	0,9663265	1,2724466	720	83488,383	2,3259677	0,4490451	10081,142
Jul	31	3,22	99,82	17183,01	0,740694594	15,2	0,9663265	1,2790094	744	87334,22	2,3212733	0,4953138	11490,545
Ago	31	3,72	115,32	19851,18	0,855709283	16,3	0,9663265	1,2669056	744	85385,586	2,3212733	0,5734142	13302,358
Set	30	3,75	112,50	19365,75	0,862610164	17,1	0,9663265	1,2579011	720	81259,74	2,3259677	0,5776727	12968,854
Out	31	4,03	124,93	21505,45	0,92701839	18,3	0,9663265	1,2440636	744	81842,616	2,3212733	0,619302	14366,888
Nov	30	5,00	150,00	25821,00	1,150146885	19,4	0,9663265	1,2310174	720	77316,757	2,3259677	0,7506675	16852,618
Dez	31	4,53	140,43	24173,62	1,042033078	20,6	0,9663265	1,2163728	744	77768,2	2,3212733	0,6893658	15992,264
<b>Total</b>													163789,67

## 7.6 Sumário da seleção de equipamentos

As tabelas a seguir apresentam a seleção de equipamentos por cada uma das tipologias adotadas.

**Tabela 11 Equipamentos selecionados para Tipologia I**

Tubulação	Tigre Aquaterm 22mm
Bombas	Schneider BCR2010-0.5cv
Reservatório solar	Jelly Fisch 5000 litros
Aquecedores a gás	KO 22D Komeco
Medidor de água	SA MTC
Área do coletor solar	105 m <sup>2</sup> -RSC-1400V Rinnai

**Tabela 12 Equipamentos selecionados para Tipologia II**

Tubulação	Tigre Aquaterm 22mm
Bombas	Schneider BCR2010-0.75cv
Reservatório solar	Jelly Fisch 8000 litros
Aquecedores a gás	KO 22D Komeco
Medidor de água	SA MTC
Área do coletor solar	160 m <sup>2</sup> -RSC-1400V Rinnai

**Tabela 13 Equipamentos selecionados para Tipologia III**

Tubulação	Tigre Aquaterm 22mm
Bombas	Schneider BCR2010-1cv
Reservatório solar	Jelly Fisch 10000 litros
Aquecedores a gás	KO 43D Komeco
Medidor de água	SA MTC
Área do coletor solar	210 m <sup>2</sup> -RSC-1400V Rinnai

## 8 Análise econômica

### 8.1 Sistema individual para comparação

Para determinar da viabilidade econômica do sistema centralizado, o presente trabalho deve comparar a análise econômica do sistema centralizado com um sistema individual padrão. Como analisa-se sistemas de aquecimento onde há o uso de aquecedor à gás, determina-se que o sistema individual será composto por uma aquecedor à gás e um resistor elétrico, que servirá como backup em caso de parada de funcionamento do aquecedor à gás.

O dimensionamento do aquecedor à gás para cada unidade habitacional das três tipologias obedece a seguinte expressão:

$$Potência = Qmáx * c * (Tarm - Taf)$$

Seguindo os valores fornecidos de vazão de água quente por apartamento nas horas mais solicitadas e a vazão suportada pelo equipamento definiu-se o seguinte equipamento para as três tipologias.

**Tabela 14 Aquecedor a Gás Sistema Individual**

Modelo	KO 12 Komeco
Capacidade de Vazão (l/min)	12
Tipo de Gás	Natural (GN)
Potência (kcal/h)	16,994
Rendimento	86%

Mais informações sobre o equipamento podem ser encontradas no anexo.

Quanto ao backup foi determinado que seriam feitos a partir de sistemas elétrico, caso haja falha na operação do sistema a gás. Definiu-se no presente trabalho que na tipologia I, haveria um ponto de chuveiro enquanto nas demais haveriam 2 pontos de chuveiro.

Assim dimensionou-se o seguinte equipamento para o backup.

**Tabela 15 Sistema Elétrico Backup**

Modelo	Lorenzetti Top Jet
Capacidade de Vazão (l/min)	3,1
Voltagem (V)	220
Potência Nominal (kW)	7,5
Potência Econômica (kW)	2,1

## **8.2 Cotação dos componentes do sistema coletivo**

A cotação dos componentes do sistema coletivo foi feita através de contato telefônico e por meio de websites de grandes empresas de varejo revendedoras dos produtos.

Para a confecção do presente trabalho houve certa dificuldade no levantamento de informações, principalmente referente aos preços dos componentes. Utilizou-se alguns valores baseados nos preços fornecidos por grandes redes de varejo nacionais. Porém é válido mencionar que empresas de construção civil tem potencialmente mais poder de barganha junto aos fabricantes, eliminando o agente intermediário das negociações (redes de varejo nacionais), obtendo-se assim melhores preços. Todavia, o presente trabalho conseguiu levantar dados suficientes e confiáveis para a formulação correta da análise econômica.

Sendo assim levantou-se os valores presentes nas tabelas 15, 16 e 17 para o sistema de aquecimento coletivo para as três tipologias:

**Tabela 16 Cotações tipologia I**

Aquecedores à gás	R\$	8,995.0
Tubulação	R\$	2,990.0
Coletor Solar	R\$	23,800.0
Bombas Hidráulicas	R\$	1,322.4
Reservatório	R\$	31,270.0
Medidor de Água	R\$	795.0

**Tabela 17 Cotações tipologia II**

Aquecedores à gás	R\$	8,995.0
Tubulação	R\$	2,990.0
Coletor Solar	R\$	36,380.0
Bombas Hidráulicas	R\$	814.0
Reservatório	R\$	55,030.0
Medidor de Água	R\$	795.0

**Tabela 18 Cotações tipologia III**

Aquecedores à gás	R\$	16,495.0
Tubulação	R\$	3,200.0
Coletor Solar	R\$	47,600.0
Bombas Hidráulicas	R\$	1,730.0
Reservatório	R\$	62,540.0
Medidor de Água	R\$	795.0

### 8.3 Cotações do sistema individual

Já a cotação do sistema individual é dada pela tabela 18.

**Tabela 19 Cotação sistema individual**

Aquecedores à gás	R\$	652.9
Medidor de Gás	R\$	189.0
Backup Elétrico	R\$	179.0
Medidor de Água	R\$	795.0

## 8.4 Custos de operação

Para o levantamento dos custos de operação foram levantados dados referentes ao custo do m<sup>3</sup> de gás natural canalizado na cidade de São Paulo. De acordo com (COMGAS, 2014), a tarifa do gás canalizado deve ser divido entre residencial e coletivo. Esses dados são apresentados nas tabelas 19 e 20, respectivamente.

**Tabela 20 Tarifa gás canalizado segmento residencial (COMGAS, 2014)**

Classes	Volume m <sup>3</sup> /mês	Valores sem ICMS		Valores com ICMS	
		Fixo - R\$/mês	Variável - R\$/m <sup>3</sup>	Fixo - R\$/mês	Variável - R\$/m <sup>3</sup>
1	0,00 a 1,00 m <sup>3</sup>	6,93	-	7,88	-
2	1,01 a 3,00 m <sup>3</sup>	6,93	4,446263	7,88	5,052572
3	3,01 a 7,00 m <sup>3</sup>	6,93	2,029621	7,88	2,306388
4	7,01 a 14,00 m <sup>3</sup>	6,93	3,449091	7,88	3,919422
5	14,01 a 34,00 m <sup>3</sup>	6,93	3,853947	7,88	4,379485
6	34,01 a 600,00 m <sup>3</sup>	6,93	4,147591	7,88	4,713172
7	600,01 a 1.000,00 m <sup>3</sup>	6,93	3,552981	7,88	4,037478
8	>1.000,00 m <sup>3</sup>	6,93	2,424047	7,88	2,754599

**Tabela 21 Tarifa gás canalizado segmento coletivo (COMGAS, 2014)**

Classes	Volume m <sup>3</sup> /mês	Valores sem ICMS		Valores com ICMS	
		Fixo - R\$/mês	Variável - R\$/m <sup>3</sup>	Fixo - R\$/mês	Variável - R\$/m <sup>3</sup>
1	até 500,00 m <sup>3</sup>	33,86	3,092500	38,48	3,514205
2	500,01 a 2.000,00 m <sup>3</sup>	33,86	2,962703	38,48	3,366708
3	> 2.000,00 m <sup>3</sup>	33,86	2,825686	38,48	3,211007

A partir deste dado, calcula-se o consumo de gás nas diferentes configurações através da seguinte equação

$$V_{GN} \cdot PC_{GN} \cdot \eta = m_{água} \cdot c_p \cdot \Delta T \quad \rightarrow \quad V_{GN} = \frac{m_{água} \cdot c_p \cdot \Delta T}{PC_{GN} \cdot \eta}$$

Sendo que  $V_{GN}$  é o volume de gás consumido, em  $m^3$ ;  $m_{água}$  é a massa de água aquecida, em  $kg$ ;  $c_p$  é o calor específico da água, em  $J/kg \cdot K$ ;  $\Delta T$  é a diferença de temperatura de entrada e saída da água do aquecedor, em  $K$ ;  $\eta$  é o rendimento do aquecedor, adimensional e  $PC_{GN}$  é o poder calorífico superior do gás natural.

O poder calorífico superior do gás natural é fornecido por (COMGAS, 2014) igual a 9.400 kcal/ $m^3$ , nas condições de 293.25 Kelvin de temperatura e pressão atmosférica de 101.325 Pa. Adotou-se esse valor nas equações do presente trabalho.

## 8.5 Custos de manutenção

Através de contato telefônico com diversos fornecedores, não foi possível concluir um dado exato em relação ao custo de manutenção dos equipamentos utilizados.

Especificamente com fornecedores de coletores solares, foi informado a necessidade de limpeza semanal dos equipamentos de forma que a absorção da radiação solar não ficasse prejudicada por impurezas presentes no coletor. Porém a limpeza não exigiria a contratação de serviço especializado, ou seja, a própria equipe de manutenção do condomínio residencial pode fazer a limpeza. Sendo assim, não foram considerados custos de manutenção com o sistema de aquecimento solar.

Já para o sistema de aquecimento a gás houveram mais dificuldades com a coleta de informações. Não houve um consenso entre os fornecedores e revendedores referente ao custo de manutenção dos equipamentos. Assim foi utilizado à instrução da ABRAVA de considerar 0.5% do valor do equipamento como o custo anual de manutenção.

## **8.6 Método de comparação econômica através de análise de valor presente**

Com a determinação de todos os equipamentos e as cotações relativas definidas para todas as configurações, resta agora determinar a viabilidade econômica das soluções propostas. A partir desta análise será possível determinar qual opção é mais interessante para o consumidor final.

Para a comparação econômica das soluções será utilizado o Método do Valor Presente Líquido descrito por Ehrlich (1989). Este método é capaz de determinar o valor presente de pagamentos futuros descontados a uma taxa de juros apropriada. Basicamente, é o cálculo de quanto os futuros pagamentos somados a um custo inicial estariam valendo atualmente. De acordo com Ehrlich (1989), o valor presente de um pagamento realizado num período no futuro é:

$$VP = \sum_{t=0}^n \frac{VF}{(1+i)^n}$$

Onde:

$VP$  é o valor presente do pagamento, em R\$;  $VF$  é o valor futuro do pagamento, em R\$;  $i$  é a taxa de juros corrente no período, adimensional e  $n$  é a diferença entre o ano presente e o ano de análise futura.

No presente estudo analisou-se a operação por 15 anos, pois é o tempo estimado de vida dos equipamentos. Assim a análise econômica se dará por um ciclo de equipamentos utilizados nas configurações. O ano de início em que acontece o investimento inicial foi determinado como sendo 2014.

As tarifas de gás natural foram reajustadas ano a ano pela projeção do índice de preços gerais amplo (IPCA) divulgada pelo (Sistema de Expectativa Bacen, 2014). Estavam disponíveis projeções até o ano de 2018 e portanto do ano 2019 até o ano 2030 (fim da análise) foram utilizadas projeções de IPCA iguais ao do ano 2018.

Para a taxa de juros correntes foi determinado igual a 11%, sendo este o atual valor da taxa SELIC determinada pelo Banco Central e que tem a função de balizar as taxas de juros praticadas no Brasil.

Sendo assim, a análise econômica da operação por 30 anos do sistemas de aquecimentos descritos no presente trabalho através do valor presente líquido para cada uma das tipologias pode ser vista nas tabelas abaixo.

**Tabela 22 VPL para Tipologia I**

Sistema coletivo	Sistema individual
R\$ 97.070,50	R\$ 192.614,42

**Tabela 23 VPL para Tipologia II**

Sistema coletivo	Sistema individual
R\$ 146.918,51	R\$ 237.593,21

**Tabela 24 VPL para Tipologia III**

Sistema Coletivo	Sistema Individual
R\$ 188,490.31	R\$ 280,818.83

## 9 Conclusão

O presente trabalho se propôs a estudar a viabilidade da implantação de sistema central de aquecimento de água com uso de duas tecnologias ainda pouco exploradas no Brasil. Historicamente, o Brasil deu preferência ao uso de energia elétrica para aquecimento residencial. O gás natural tinha problemas operacionais pois não havia a estrutura de encanamento do gás nas cidades brasileiras. Esse cenário alterou-se com a recente implantação de canalização do gás nas principais cidades, destacando-se São Paulo, a mais importante delas em termos populacionais e econômicos. O uso de energia solar ainda é pouco explorado no Brasil, apesar do crescente mercado, a principal barreira de penetração do sistema no país refere-se ainda ao custo mais elevado de implantação. Além disso o uso de sistema centralizado também é pouco explorado no país. Porém foi demonstrado que o uso combinado desses sistemas pode levar a uma solução muito vantajosa para moradores de condomínios residenciais verticalizados.

Em relação ao projeto de engenharia, concluiu-se que o projeto é viável. O dimensionamento dos equipamentos demonstrou que todos os equipamentos usados no projeto são facilmente encontrados no mercado, fabricados por diversos empresas. Não houve a necessidade do uso de nenhum componente feito sob medida que pudesse trazer dificuldades adicionais em relação à fabricação.

Do ponto de vista da engenharia civil, a implementação do projeto não traz grandes desafios. Apenas a necessidade de planejar a alocação dos coletores solares na área social do condomínio residencial de forma que o sistema solar consiga fornecer a energia determinada em projeto. Outro ponto a ser contemplado no projeto de construção civil é a tubulação para passagem de água quente. Assim como a água fria da rede possui tubulação em prédios, a tubulação de água quente também deverá possuir e não apresenta desafios maiores para implementação.

Sob a ótica econômica o presente estudo também demonstrou a viabilidade do projeto. Após o dimensionamento dos equipamentos e o levantamento dos custos associados, o projeto mostrou-se economicamente muito mais vantajoso que o esperado. Anteriormente ao início do projeto esperava-se que o valor do investimento inicial fosse superior no sistema centralizado e que a viabilidade do projeto dependeria da economia durante a operação. Porém, após o projeto verificou-se que o sistema centralizado apresenta vantagens tanto na operação como no menor valor de investimento inicial.

Os equipamentos utilizados no sistema coletivo possuem valores econômicos que não diferem substancialmente dos equipamentos utilizados no sistema individual. Porém no sistema individual são necessárias quantidades muito maiores de equipamentos, o que acarreta em aumento do investimento inicial. Logo, o presente trabalhou concluiu que para as tipologias utilizadas, a economia durante 15 anos de operação pode chegar até a 98% através do uso de sistema centralizado.

Por fim, vale ressaltar que o uso de sistema centralizado através da utilização de gás natural e energia solar como combustíveis é viável e além disso mostra-se muito vantajosa quando comparada com o sistema individual. Pelas características de projeto ainda vale destacar que não há a necessidade de utilização de energia elétrica para aquecimento de água, portanto o presente trabalho apresenta uma forma sustentável de grandes cidades brasileiras conseguirem alterar de forma sustentável a matriz enérgica e a dependência da energia elétrica.

## ANEXO

Dados da radiação solar em diversas cidades do Estado de São Paulo.

Lat.	Long.	Localidade	UF.	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	AGO	Set	Out	Nov	Dez	Média
-23,11	48,11	Avaré	SP	5,75	5,33	5,31	4,56	4,05	3,36	4,06	4,67	4,64	5,39	5,72	5,75	4,88
-20,55	48,57	Barreiros	SP	5,50	5,67	5,58	4,44	4,28	4,08	4,44	4,83	5,83	5,81	5,44	5,07	5,07
-22,33	49,09	Bauru	SP	5,97	5,44	5,42	4,72	4,25	3,69	4,25	4,61	4,67	5,69	5,97	5,86	5,05
-20,86	41,12	Cachoeiro de Itapemirim	SP	6,06	5,78	5,47	4,39	3,94	3,58	3,89	4,31	4,36	4,86	4,89	5,47	4,76
-22,90	47,90	Caraguatatuba	SP	5,33	5,56	5,22	4,53	4,06	3,58	4,19	4,50	4,75	5,56	5,86	5,53	4,96
-22,74	45,59	Campos do Jordão	SP	4,75	4,83	4,64	4,00	3,83	3,33	3,97	4,28	4,33	4,97	5,06	4,81	4,46
-25,00	47,94	Caçapava	SP	5,03	4,72	4,38	3,58	3,26	2,78	3,08	3,44	3,33	4,31	4,94	4,75	3,97
-21,09	48,80	Caetanópolis	SP	5,50	5,78	5,36	4,64	4,31	3,92	4,53	4,81	4,83	5,83	5,94	5,47	5,06
-20,72	48,49	Colina	SP	5,81	5,03	5,69	5,11	4,50	3,97	4,44	4,92	4,83	5,83	5,81	5,92	5,16
-20,55	47,72	Francisco Morato	SP	5,39	5,44	5,39	4,61	4,19	4,00	4,50	4,83	4,83	5,47	5,22	4,98	4,98
-24,71	47,51	Iguape	SP	5,11	4,92	4,56	3,72	3,25	2,75	3,00	3,22	3,26	4,31	4,94	5,19	4,02
-23,63	48,04	Itapejatinga	SP	5,44	5,11	4,44	3,94	3,31	3,75	4,22	4,36	5,06	5,88	6,00	4,72	4,72
-23,98	48,87	Japoticatubá	SP	5,33	5,22	4,97	4,33	3,78	3,14	3,78	4,03	4,36	5,26	5,75	5,56	4,63
-24,25	49,72	Jaguariúna	SP	5,22	5,33	4,89	4,39	3,92	3,22	3,72	4,25	4,36	5,47	5,75	5,89	4,70
-19,40	51,15	Limeira	SP	6,14	5,56	5,19	4,47	4,19	3,69	3,94	4,17	4,14	4,67	4,89	5,44	4,71
-21,67	49,76	Lins	SP	5,17	5,67	5,56	4,69	4,33	3,72	4,19	4,61	4,81	5,83	6,06	5,61	5,02
-22,73	47,59	Pedraembuçu	SP	5,00	4,61	4,61	3,81	3,28	2,78	3,22	3,78	4,03	4,22	5,06	5,17	4,53
-22,73	47,59	Pratissópolis	SP	5,42	5,38	5,14	4,58	4,11	3,39	3,89	4,53	4,58	5,17	6,08	5,28	4,78
-22,13	51,40	Presidente Prudente	SP	5,42	5,56	5,33	4,75	4,14	3,44	4,05	4,25	4,50	5,72	5,94	5,97	4,53
-21,17	47,61	Ribeirão Preto	SP	5,37	5,35	5,14	4,75	4,08	3,60	4,05	4,71	4,87	5,47	5,77	5,35	4,89
-23,70	46,66	São Bernardo do Campo	SP	4,89	4,81	4,69	4,03	3,44	3,06	3,53	3,93	4,53	5,17	5,06	4,24	4,24
-22,02	47,98	São Carlos	SP	5,42	5,42	5,25	4,58	4,22	3,69	4,22	3,44	4,78	5,61	5,39	4,86	4,86
-23,20	45,59	São José dos Campos	SP	5,22	4,92	4,81	4,14	3,64	3,22	3,64	4,17	4,19	4,75	5,39	5,26	4,45
-23,55	46,93	São Paulo	SP	4,50	5,00	4,95	3,61	3,19	2,94	3,22	3,72	3,75	4,03	5,09	4,53	3,96
-21,48	47,55	Saloá	SP	5,39	5,25	5,36	4,78	4,33	3,86	4,33	4,85	4,81	5,50	5,72	5,47	4,97
-23,95	46,32	Santos	SP	4,89	5,03	4,39	3,63	3,50	3,03	3,39	3,56	4,31	4,94	5,08	4,13	4,13
-23,03	45,56	Tejubá	SP	5,22	5,03	4,81	4,06	3,72	3,22	3,72	4,11	4,19	4,75	5,28	5,28	4,45
-22,97	45,55	Tremembé	SP	5,00	4,92	4,72	4,14	3,64	3,22	3,64	4,17	4,28	4,64	5,39	5,08	4,40
-23,43	45,07	Ubatuba	SP	4,92	4,92	4,61	3,67	3,39	2,94	3,61	3,67	4,11	4,28	4,72	5,06	4,16
-20,26	40,42	Vitória	SP	6,14	5,97	5,50	4,58	4,17	3,67	3,69	4,53	4,31	5,11	5,00	5,67	4,08
-20,41	49,38	Volta Redonda	SP	5,28	6,19	5,47	4,78	4,25	3,81	4,50	4,32	4,83	5,83	5,92	5,58	5,41

Figura 15 Radiação Solar mensal (COMGAS, 2011)

## Características das bombas selecionadas:

MODELO	Polegada (kg)	Monofásico	Ø Succión (pol)	Ø Desague (pol)	Perda de carga sem vazão (m c.a.)	Altura máxima de surto (m c.a.)	Ø Saída (mm)	CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS																	
								ALTURA MANOMÉTRICA TOTAL (m c.a.)																	
								9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24		
BCR-2010	1/2	x	1	1	26	8	128	4,7	4,5	4,3	4,2	4,0	3,8	3,6	3,4	3,2	3,0	2,8	2,5	2,2	2,0	1,6	1,3		
	3/4	x	1	1	28	8	128	*	*	*	5,2	5,0	4,8	4,6	4,4	4,2	4,0	3,7	3,5	3,2	2,9	2,6	2,3		
	1	x	1	1	31	8	128	*	*	*	*	5,9	5,7	5,5	5,3	5,1	4,9	4,7	4,5	4,2	4,0	3,7	3,4	2,8	2,0

Figura 16 Bombas Hidráulicas (Schneider, 2014)

## Dados dos aquecedores a gás:



Figura 17 Aquecedor a Gás KO 12 Komeco

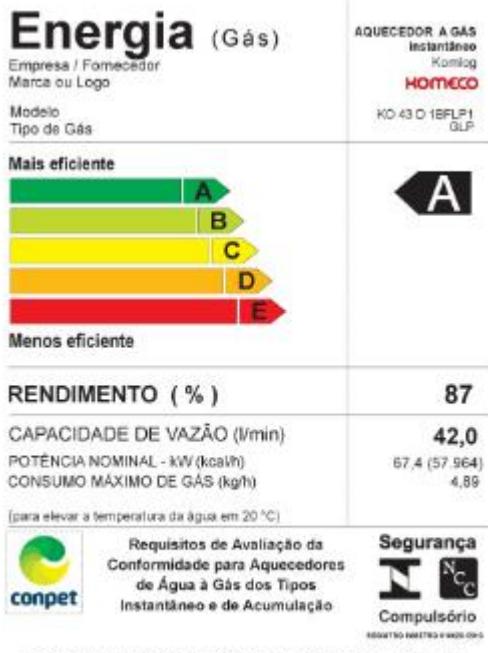


Figura 18 Aquecedor a Gás KO 43 Komeco



Figura 19 Aquecedor a Gás KO 12 Komeco

## REFERÊNCIAS

AITA, F; Estudo do desempenho de um sistema de aquecimento de água por energia solar e gás. Dissertação de Mestrado, UFRGS, Porto Alegre., , 128 páginas, 2006.

Banco Central do Brasil. Disponível em:  
<http://www.sistemadeexpecatativa.org.br>. Acessado em 10/09/2014.

C&C. Revenda de equipamentos. [www.cec.com.br](http://www.cec.com.br). Acessado em 14/08/2014

Bosch, Aquecedores a gás de passagem. Disponível em [www.bosch.com.br](http://www.bosch.com.br). Acessado em 10/05/2014.

CHAGURI JUNIOR, J. J.; Sistemas prediais de aquecimento de água a gás: parâmetros de dimensionamento e gerenciamento. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2009.109 páginas.

Ecal. Aquecedor de acumulação. Disponível em [www.ecal.com](http://www.ecal.com). Acessado em 24/10/2013.

Hidraulicart. Bombas hidráulicas. Disponível em [www.hidraulicart.com.br](http://www.hidraulicart.com.br). Acessado em 20/10/2013.

Jellyfisch. Reservatórios térmicos. Disponível em [www.jellyfisch.com.br](http://www.jellyfisch.com.br). Acessado em 20/10/2013

LEITE, T., L. S. . **Avaliação de sistema central de aquecimento de água para condomínios residenciais**, Trabalho de Conclusão de Curso, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2011. 66 páginas.

ILHA, M. S. O.; **Estudo de parâmetros relacionados com à utilização de água quente em edifícios residenciais.** Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1991.120 páginas.

Oliveira, O.B.J, Ilha, M.S.O, Gonçalves, O.M. **Análise do perfil de consumo de água em edificações unifamiliares de baixa renda.** São Paulo. Artigo Científico, 2002. 155 páginas.

PROGRAMA COMGAS PARA PESQUISA E DESENVOLVIMENTO TÉCNOLÓGICO, CONSERVAÇÃO E RACIONALIZAÇÃO DO USO DE GÁS NATURAL. Sistemas de aquecimento de água para edifícios através da associação de energia solar e gás natural. São Paulo, 2011. 61 páginas.

PROCEL – PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA. Pesquisa de Posse de Equipamento e Hábitos de Uso – Ano de base 2012: Classe Residencial, Relatório Brasil. Rio de Janeiro, NÚMERO DE PÁGINAS 235, 2013.

Raimo, P. A, Chaguri, J.J, Romano, F, Faga, M.T.W **Análise Econômica das alternativas para aquecimento de água em edificações.** São Paulo: Artigo Científico apresentada à Escola Politécnica, 2007, 150 páginas.

Schneider, Bombas Hidráulicas. Disponível em [www.schneider.com.br](http://www.schneider.com.br). Acessado em 05/05/2014.

SECOVI-SP. Mercado Imobiliário Paulista. Disponível em:  
<http://www.secovi.com.br>. Acessado em 03/03/2014

Solar Foz. Coletores tubo à vácuo. Disponível em [www.solarfoz.com.br](http://www.solarfoz.com.br). Acessado em 25/10/2013.

Suzuki, Aquecedor à gás de passagem. Disponível em [www.suzuki.com.br](http://www.suzuki.com.br). Acessado em 24/10/2013.

TA Hydronics, Válvulas Termostáticas. Disponível em [www.tahydraulics.com.br](http://www.tahydraulics.com.br). Acessado em 25/05/2014.

Tigre, Tigre tubulação para água quente sanitária Aquaterm. Disponível em [www.tigre.com.br](http://www.tigre.com.br). Acessado em 25/05/2014.