UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
USP

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENERGIA
PPGE
(EP/FEA/IEE/IF)

JOSÉ JORGE CHAGURI JUNIOR

SISTEMAS PREDIAIS DE AQUECIMENTO DE ÁGUA A GÁS: PARÂMETROS DE
DIMENSIONAMENTO E GERENCIAMENTO

São Paulo
2009

JOSÉ JORGE CHAGURI JUNIOR

SISTEMAS PREDIAIS DE AQUECIMENTO DE ÁGUA A GÁS: PARÂMETROS DE
DIMENSIONAMENTO E GERENCIAMENTO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-
Graduação em Energia (IEE/EP/IF/FEA) da
Universidade de São Paulo para a obtenção
do título de Mestre em Energia.

Orientador: Prof. Dr. Murilo Tadeu Werneck
Fagá

São Paulo
2009

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTES
TRABALHOS, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA
FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE

FICHA CATALOGRÁFICA

Chaguri Junior, José Jorge

Sistemas prediais de aquecimento de água a gás: parâmetros de
dimensionamento e gerenciamento / José Jorge Chaguri Junior;

Orientador: Murilo Tadeu Werneck Fagá – São Paulo, 2009.

104 p.: il; 30 cm.

Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Energia – EP /
FEA / IEE / IF da Universidade de São Paulo

1. Sistemas de aquecimento de água 2. Gás natural 3. Eficiência
energética 4. Sistemas prediais I. Título

A minha esposa Cintia, pela paciência e
compreensão.

Aos meus pais, por fazerem parte de tudo
que conquistei até hoje.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador e amigo, Prof. Dr. Murilo Tadeu Werneck Fagá, pela imensurável contribuição a este trabalho.

Ao Eng^o José Jorge Chaguri, meu pai, por ser o alicerce de todos os meus conhecimentos adquiridos até hoje.

Ao Eng^o Alberto José Fossa, pelo apoio e incentivo ao alcance dos meus objetivos.

À Eng.^a Cássia Lago da Cunha, minha amiga, pela paciência em me auxiliar nas dúvidas independentemente do horário. Ao meu grande amigo Eng^o Alexandre Robles Pinto, pelo incentivo.

Ao Prof. Dr. Edmilson Moutinho dos Santos, pelas críticas construtivas.

À Cintia Caldeira Chaguri, minha esposa, pelo apoio e compreensão.

À Vivian, pela imensa paciência na revisão do texto.

Aos meus amigos e colegas da MDJ, pelo apoio e incentivo.

Aos meus amigos e colegas da Empresa Metropolitana de Águas e Energia (EMAE) que sempre me incentivaram para a minha formação.

Aos meus amigos do IEE, Clara Bonomi Barufi, Munir Soares e Patricia Raimo, muito obrigado.

A toda minha família, pelo apoio à minha experiência acadêmica, em particular aos meus irmãos Fernando e Samira, meus “pais” Edmir e Eduardo, e à Surahia Maria Jacob Chaguri, minha mãe, que sempre me incentivou ao máximo.

RESUMO

CHAGURI JUNIOR, J. J. **Sistemas prediais de aquecimento de água a gás: parâmetros de dimensionamento e gerenciamento**. 2009. 104 p. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Energia, Universidade de São Paulo, 2009.

Os sistemas prediais de aquecimento de água são responsáveis por uma parcela significativa no consumo de energia do país, sendo que a eficiência do uso desta energia está relacionada com a qualidade dos projetos e de alternativas construtivas que possibilitam racionalizar o uso dos recursos naturais. Com a tendência de incorporação da medição individualizada de água e do aquecimento solar, algumas concepções de projetos hidráulicos foram alteradas, entre elas, a introdução de sistemas centrais coletivos de aquecimento de água no setor residencial. Porém, os métodos de dimensionamento destes sistemas são restritos à determinação do estado estático da infraestrutura e dos equipamentos envolvidos. Conhecendo as características de uso da população é possível introduzir sistemas de monitoração e gestão que alterem o dimensionamento das centrais de aquecimento, conforme a demanda instantânea, gerando reduções de perdas térmicas. Este trabalho consiste em analisar as variáveis de um sistema predial de aquecimento central a gás e o impacto na implantação de sistemas de monitoração e gestão.

Palavras-chave: sistema predial de aquecimento de água, aquecedores a gás, infraestrutura de distribuição de água e gás.

ABSTRACT

CHAGURI JUNIOR, J. J. Building systems of gas water heating: parameters of design and management. 2009. 104 p. Master Dissertation – Program of Pos Graduation In Energy., Universidade de São Paulo, 2009.

The building systems of water heating are responsible for a significant parcel of energy consumption in country, and the efficiency of use of this energy is related to the quality of projects and constructive alternatives that allow rationalizing the use of natural resources. With the trend of incorporating the measurement of individual water and solar heating, some conceptions of hydraulic projects were changed including the introduction of collective central heating water in the residential sector. However, the methods of these systems are restricted to the determination of the static state of infrastructure and equipment involved. Knowing the characteristics of population's use is possible to introduce systems of monitoring and management to change the design of central heating as the instant demand, causing reductions in thermal losses.

Keywords: hot water building system, gas water heater, water and gas infrastructure of distribution

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Curva de carga residencial no sistema CEMIG	20
Figura 2 - Consumo final de gás natural por setor (bilhões de m ³)	22
Figura 3 – Reserva e vida útil de Gás Natural no Brasil	23
Figura 4 – Consumo residencial de gás natural em milhões de m ³	24
Figura 5 – Consumo residencial de gás natural e GLP no Brasil	24
Figura 6 – Consumo residencial de lenha e GLP no Brasil	25
Figura 7 – Evolução do consumo de eletricidade no Brasil	26
Figura 8 – Resumo das alternativas de sistemas de aquecimento	31
Figura 9 – Esquema de classificação dos sistemas de aquecimento.....	32
Figura 10 – Esquema de funcionamento dos aquecedores a gás	37
Figura 11 – Exemplo de um sistema de aquecimento central de passagem	39
Figura 12 – Exemplo de aquecedor de Fluxo Balanceado	40
Figura 13 – Planilha de medições em aquecedores de acumulação conjugado.....	43
Figura 14 – Esquema do aquecedor de acumulação a gás.....	44
Figura 15 – Detalhe da troca de calor no aquecedor de acumulação	45
Figura 16 – Esquema do sistema conjugado individual	47
Figura 17 – Exemplo de uma central de aquecimento do tipo aquatubular	48
Figura 18 – Exemplo de uma central de aquecimento de contato indireto com serpentina	49
Figura 19 – Exemplo de reservatórios com troca de calor do tipo indireto	49
Figura 20 – Efeitos da concentração de monóxido de carbono	51
Figura 21 – Sistema de distribuição em sistema central privado	54
Figura 22 – Esquema hidráulico com alimentação descendente e um nível de pressão	59
Figura 23 – Esquema hidráulico com alimentação descendente e três zonas de pressão.....	60
Figura 24 – Rede individual de distribuição de gás combustível	62
Figura 25 - Rede coletiva de distribuição de gás combustível	62
Figura 26 – Curva de vazão e pressão de um modelo de ducha “X”	64

Figura 27 – Curva de vazão e pressão de um modelo de ducha “Y”	65
Figura 28 – Relação entre a temperatura ambiente da cidade de São Paulo e a vazão do aquecedor.....	71
Figura 29 – Consumo de gás natural por dia durante uma semana	84
Figura 30 – Consumo de gás por dia durante a segunda semana	85
Figura 31 – Consumo de gás por dia durante a segunda semana	86
Figura 32 – Esquema para implantação da gestão de centrais de aquecimento	93
Figura 33 – Comportamento da temperatura ao longo do dia	96

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Consumo de gás natural por residência	22
Tabela 2 – Alternativas para o aquecimento de água no setor residencial	32
Tabela 3 – Relação de custo de instalação de sistemas elétricos e a gás	33
Tabela 4 – Volume de água por metro de tubo	56
Tabela 5 – Condutividade térmica dos materiais	75
Tabela 6 – Perdas térmicas, por metro linear, sem isolamento térmico	76
Tabela 7 – Perdas térmicas, por metro linear, com isolamento térmico de 0,05 m do tipo polietileno expandido ($\lambda = 0,035 \text{ kcal}/(\text{m.k})$)	77
Tabela 8 – Perdas térmicas, por metro linear, com isolamento térmico de 0,10 m, do tipo polietileno expandido ($\lambda = 0,035 \text{ kcal}/(\text{m.k})$)	77
Tabela 9 – Testes no sistema de recirculação	87
Tabela 10 – Resultados de análise dos sistemas de aquecimento	95

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Distribuição do consumo de água em residências.....	18
Gráfico 2 – Perfil de consumo residencial de água	19
Gráfico 3 – Consumo de gás natural ao longo do dia.....	68
Gráfico 4 – Comparativo das perdas térmicas com e sem isolamento	78
Gráfico 5 – Relação de perdas na tubulação e a diferença de temperatura entre a água e o ambiente	79
Gráfico 6 – Variação das perdas térmicas com a temperatura ambiente – média mensal em São Paulo.	80
Gráfico 7 - Consumo de gás do Edifício Del Rey	81
Gráfico 8 - Consumo de gás do Edifício Belle Époque.....	82
Gráfico 9 - Consumo de gás do Hotel International Plaza Transamérica	82
Gráfico 10– Relação entre o custo de instalação de redes individuais de gás e a potência instalada.....	89
Gráfico 11– Relação entre o custo de instalação de redes coletivas de gás e a potência instalada.....	90
Gráfico 12— Exemplo de consumo de água quente e previsão do reservatório	91

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
COMGÁS	Companhia de Gás de São Paulo
GLP	Gás Liquefeito de Petróleo
GN	Gás Natural
GNL	Gás Natural Liquefeito
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial
NBR	Norma Brasileira
PBE	Programa Brasileiro de Etiquetagem
PNE	Plano Nacional de Energia

LISTA DE SIGLAS

CO	Monóxido de carbono
CO ₂	Dióxido de carbono
O ₂	Oxigênio
PCI	Poder Calorífico Inferior do gás, sendo adotado para o gás natural o valor de 8.600 kcal/m ³ e para o GLP 24.000 kcal/h

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	Objetivos.....	17
1.1.1	Objetivo Geral.....	17
1.1.2	Objetivo Específico.....	17
1.2	Justificativa.....	17
1.2.1	Consumo de água quente no setor residencial	18
1.2.2	A oferta dos gases combustíveis para aquecimento de água no setor residencial	19
1.2.3	Mudanças na concepção dos projetos hidráulicos	26
1.3	Metodologia.....	28
2	SISTEMAS PREDIAIS DE AQUECIMENTO DE ÁGUA	29
2.1	Fontes de energia	29
2.2	Sistemas de aquecimento de água	30
2.2.1	Classificação dos sistemas de aquecimento	31
2.2.1.1	Sistema individual	33
2.2.1.2	Sistema central privado	34
2.2.1.3	Sistema central coletivo	34
2.3	Sistema de distribuição de água.....	35
2.4	Sistema de abastecimento de gás.....	35
3	GERAÇÃO DE ÁGUA QUENTE.....	35
3.1	Aquecedores de passagem	35
3.2	Aquecedores de acumulação	40
3.2.1	Estudo de caso de análise das perdas térmicas em aquecedores de acumulação.....	42
3.2.2	Aquecedor de acumulação com queimador incorporado.....	43
3.2.3	Aquecedor conjugado	46
3.3	Sistemas de troca de calor	47
3.4	Requisitos dos ambientes para instalação de equipamentos a gás combustível	50
4	DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA QUENTE.....	52
4.1	Distribuição para sistema de água quente individual	53
4.2	Distribuição para sistema de aquecimento central privado	53
4.2.1	Estudo de caso do tempo da chegada da água quente no ponto de consumo	57
4.3	Distribuição para sistema de aquecimento central coletivo.....	57
5	SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO DE GÁS	61
6	PRINCÍPIOS DE DIMENSIONAMENTO	63
6.1	Determinação da demanda de água quente.....	63
6.2	Análise do Fator de Simultaneidade no sistema central de aquecimento.....	66

6.2.1	Estudo de caso de análise do Fator de Simultaneidade	67
6.3	Dimensionamento dos equipamentos	69
6.3.1	Aquecedor de passagem.....	69
6.3.2	Aquecedor de acumulação	71
6.3.3	Sistema central coletivo	74
6.4	Análise das perdas térmicas do sistema.....	74
6.4.1	Perdas térmicas teóricas nas tubulações	75
6.4.1.1	Estudo de caso relacionando consumo de gás e temperatura ambiente	80
6.4.2	Perdas térmicas do sistema hidráulico em estudo de caso	83
6.5	Impacto do dimensionamento na infraestrutura das redes de gás	87
7	GERENCIAMENTO DE CENTRAIS DE AQUECIMENTO COM ANÁLISE DAS NECESSIDADES TÉRMICAS PARA CONSUMO.....	91
7.1	Conceito do sistema de gestão.....	92
7.2	Implantação de monitoração e gestão em sistemas centrais coletivos de água quente .	92
7.2.1	Configuração dos sistemas implantados	95
7.3	Configuração do sistema de monitoração e gestão.....	96
8	CONCLUSÃO	97
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	100

1 INTRODUÇÃO

A eficiência energética deve ser vista muito além da análise pontual da transformação da energia final em energia útil. Toda a cadeia - desde a fonte primária até a energia final, bem como sua disponibilidade, transformação e distribuição, inclusive as características de consumo - é essencial.

A análise de eficiência no aquecimento de água nos sistemas prediais - que é objeto da presente pesquisa - pode ser feita por meio de intervenções em sistemas já construídos e em operação, porém, com ações limitadas fisicamente e com custos altos de implantação, ou ainda, esta análise poderá ser feita na intervenção em projetos de edificações a serem construídos, facilitando técnica e economicamente a incorporação.

Discussões em torno de usos finais de energia são válidas e devem ser ampliadas, porém, elas devem ser feitas incorporando análises sobre os projetos de construção da infraestrutura que vão determinar as características do uso final na edificação ao longo de sua vida útil. Essa visão impõe desafios aos projetistas e construtores no que diz respeito à incorporação desta preocupação com eficiência energética, mas por outro lado, evitaria o ônus na operação e manutenção de edifícios ineficientes.

Os sistemas de aquecimento de água são idealizados - no que se refere aos projetos hidráulicos - considerando paradigmas de dimensionamento da infraestrutura e dos equipamentos. Neste ponto é necessário um questionamento, para assim garantir o conforto, eficiência e segurança ao menor custo.

O usuário por sua vez, por desconhecimento do processo e dos conceitos agregados aos sistemas, não possui embasamento técnico para discutir e buscar novas soluções, ficando refém do sistema instalado, arcando com os custos de operação e manutenção. E, no caso da necessidade de reanálise do sistema, os custos envolvidos para a reengenharia são muito altos se comparado com a alteração feita ainda na fase de projeto.

Porém, os estudos e as implantações de soluções em sistemas prediais de aquecimento não ficam restritos aos projetos e dimensionamento, pois nesta etapa têm-se apenas uma ideia das características de uso tais como o comportamento dos usuários, das características dos aparelhos utilizados, do clima, da cultura local, da qualidade do serviço de instalação, entre outras variáveis que fogem à capacidade de um projetista conseguir definir com precisão na concepção do projeto.

Contudo, mesmo com um projeto bem definido, baseado em dados válidos, consistentes e atualizados, o sistema pode não atender a demanda, ou estar superdimensionado. Por isso, mesmo com o desenvolvimento de novas metodologias e conceitos de cálculo para o dimensionamento da infraestrutura, é imprescindível adequar a estrutura disponibilizada para uma demanda que varia ao longo do tempo. Essa adequação possui limitações técnicas devido à infraestrutura se tratar de um elemento estático.

Num sistema predial de aquecimento de água central coletivo - onde a demanda é suprida em condições determinadas pela temperatura e vazão da água quente e fria - verifica-se, portanto, flexibilidade, permitindo a satisfação do consumidor, sem a necessidade de intervenções na infraestrutura, sendo suficiente apenas o ajuste de temperatura da água quente fornecida.

A intervenção na temperatura da água quente é possível mediante sistemas de monitoração e gestão das centrais de aquecimento. Com a utilização destes meios, permite-se a análise constante do comportamento dos sistemas, o que auxilia na evolução dos conceitos de dimensionamento desses sistemas, permitindo uma melhor adequação da energia disponível à demanda real da população. Com esta contribuição para a gestão dos sistemas centrais coletivos, o controle da temperatura da água quente, tendo em vista os hábitos de consumo, permite, em determinados horários, a diminuição da diferença de temperatura entre a rede de distribuição de água quente e a temperatura ambiente, reduzindo-se assim as perdas térmicas inerentes ao sistema. Além disso, a disponibilidade destes conhecimentos representa acervo de informações relevantes para o conhecimento dos hábitos de consumo, tendo em vista as peculiaridades de cada segmento social em determinada região, contribuindo assim como ferramenta essencial para a concepção de novos projetos em edificações similares.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo deste trabalho é contribuir para a racionalização energética auxiliando na redução do custo do aquecimento de água a gás no setor residencial. Deste modo, sugerir alterações nos parâmetros de projetos, no procedimento de dimensionamento da infraestrutura e dos equipamentos (para todos os tipos de sistemas de aquecimento), também, demonstrar a importância da incorporação do gerenciamento de operação do sistema de aquecimento central coletivo e ainda, subsidiar as bases no desenvolvimento de um procedimento de gerenciamento.

1.1.2 Objetivo Específico

Descrever os sistemas de aquecimento de água no que se refere aos equipamentos e aos conceitos construtivos de distribuição de água e gases combustíveis.

Contribuir para o aprimoramento de um programa de monitoração e gestão que foi utilizado neste trabalho para quantificar as perdas térmicas e as características de uso de um sistema central de aquecimento coletivo.

1.2 Justificativa

A disponibilidade de água quente para uso hidrossanitário, para muitos, é considerada uma necessidade básica (BORGES, 2000), e para isso é necessário um sistema de aquecimento de água composto de equipamentos e infraestrutura de forma a fornecer água na temperatura, pressão e vazão desejada. Contudo, esse sistema possui perdas inerentes, seja pela eficiência dos equipamentos, pelas transferências de calor etc, gerando custos para o consumidor.

Como justificativa de relevância deste trabalho está a representatividade do consumo de energia para obtenção de água quente e o potencial que uma redução de consumo representa em economia para o país. Justifica-se também pelas perspectivas de crescimento do uso dos gases combustíveis associado à obtenção de calor para aquecimento de água, bem como as alterações nas concepções de projetos devido à necessidade de incorporação de novos dispositivos.

1.2.1 Consumo de água quente no setor residencial

Para a análise da importância de trabalhos relacionados com a eficiência em sistemas de aquecimento de água no setor residencial é importante avaliar o consumo de água quente residencial no país.

O consumo de água quente no setor residencial está diretamente relacionado ao consumo de água para banho, alterando, conforme as características de uso, apenas a proporção de vazão e temperatura de água fria e de água quente. Com isso, em grande parte das residências há um sistema de aquecimento de água com o objetivo de fornecer água na temperatura de conforto para banho, que segundo Kieling (1996) é em torno de 36°C a 40°C, com exceção de algumas regiões que, com temperatura ambiente média elevada, é dispensável o uso de aquecedores de água. Em estudos realizados por Ilha (1991), a temperatura de banho medida foi de 34°C.

Contudo, há outras aplicações de água quente além do abastecimento de duchas, podendo ser utilizada em pias de cozinha, tanques, lavadoras de roupas, lavadoras de pratos e outros, ou ainda ser utilizada em sistemas de climatização, com o objetivo de conforto térmico, tais como refrigeração e aquecimento.

Quando se analisa o consumo geral de água no setor residencial, o valor do consumo de água quente pode ser estimado. O consumo de água em usos domésticos, segundo o World Resource Institute (2003), representa em torno de 21% do consumo de água no Brasil. Este volume de água pode distribuir-se, segundo estudos de Mieli (2001), em diversas aplicações, conforme Gráfico 1.

Gráfico 1 – Distribuição do consumo de água em residências

Fonte: Adaptado de MIELI (2001).

Em levantamentos de campo, desenvolvidos por Rocha, Barreto e Ioshimoto (1997), o perfil de consumo - específico para um perfil de consumidor da cidade de São Paulo - é conforme o Gráfico 2.

Gráfico 2 – Perfil de consumo residencial de água

Fonte: Adaptado de Rocha, Barreto e Ioshimoto (1997)

As diferenças entre os dois modelos podem ser explicadas por diversos motivos, entre eles estão as características dos aparelhos hidrossanitários em relação ao volume de água consumido, o perfil dos usuários, suas regiões e o sistema de aquecimento de água utilizados nas residências estudadas.

Com isso, o volume de água consumida exclusivamente para banho pode representar aproximadamente de 6% a 12% do consumo total no Brasil.

1.2.2 A oferta dos gases combustíveis para aquecimento de água no setor residencial

O mercado residencial de aquecimento de água para banho no Brasil tem em sua grande maioria o chuveiro elétrico como equipamento responsável por esta função. Um dos motivos, além do baixo custo de aquisição e instalação dos aparelhos é, segundo Santos et. al (2001), devido ao fato que *“No passado, a eletrotermia foi incentivada no Brasil, pois havia abundância de geração hidroelétrica e o petróleo importado era caro. Atualmente, a eletrotermia representa um ônus para o setor elétrico”*.

O chuveiro elétrico teve no passado e ainda tem hoje uma grande importância na acessibilidade de conforto de água quente para praticamente toda a população brasileira, fato

este raro na maioria dos países. Contudo, o uso transcende o mercado de classes sociais de menor renda.

Com isso, à medida que a proliferação do uso de chuveiros elétricos atingiu um grande mercado, provocou-se um considerável ônus para o setor elétrico, devido principalmente à concentração do uso em determinados horários, os chamados “horários de pico”, conforme ilustrado na Figura 1, figura esta referente ao sistema CEMIG.

Esse consumo de carga é um problema para o sistema elétrico inteiro, desde a geração, transmissão e distribuição, pois é uma energia consumida em curto espaço de tempo, o que representa pouca receita, porém, obriga o sistema a manter uma infraestrutura disponível para atender esta demanda diária durante poucas horas.

É possível concluir que a substituição do chuveiro elétrico por outras fontes de energia para o aquecimento de água para banho permite um ganho na curva de carga da concessionária. A participação do uso do chuveiro elétrico na curva de carga do setor residencial é algo em torno de 25%. (ORTEGOSA, 2006)

Figura 1 – Curva de carga residencial no sistema CEMIG

Fonte: GRUPO DE ESTUDOS EM ENERGIA, 2004.

Essa situação tem contribuído para que as concessionárias de distribuição de eletricidade invistam na substituição de chuveiros elétricos por sistemas de acumulação com aquecimento solar e elétrico, permitindo a postergação dos investimentos necessários para expansão da infraestrutura.

Em contrapartida, o mercado de gás combustível, que é uma opção para a substituição dos chuveiros elétricos, tem, nos últimos anos, apresentado expansão significativa, o que proporciona, em determinados usos, uma maior competitividade com relação à eletricidade, principalmente no aquecimento de água residencial. Essencialmente, esta competitividade é também devido à semelhança no que se refere à facilidade de manipulação e controle por parte dos consumidores (SANTOS et. al, 2001).

A expansão do setor de gás - principalmente o de gás natural, que exige um alto investimento em infraestrutura, com a introdução de novas redes ou substituição de redes antigas - necessita de alta demanda de consumo para que o período de retorno do investimento seja atrativo. A obtenção de consumos elevados no setor residencial obriga as concessionárias a não ficar restrita ao fornecimento de gás apenas para cocção, exigindo um esforço para a incorporação de aquecimento de água para banho com aparelhos a gás natural.

Segundo Fossa et. al (2008), na área de concessão da Comgás, em abril de 2008, foi alcançado o registro de 700 mil consumidores residenciais conectados à rede, ou seja, cerca de 10% do número total de residências existentes na área de concessão da empresa. Porém, segundo informações da Comgás, o consumo médio dessas residências continua relativamente baixo – 14 m³/mês por consumidor.

Comparando-se o consumo médio de gás natural por residência na área de concessão da Comgás com os dados mostrados por Ilha (1996) sobre o volume consumido (no que se refere aos equipamentos utilizados), conforme Tabela 1, é possível quantificar o que representa, em relação à disponibilidade de uso do gás, a média de consumo residencial na área de concessão da Comgás.

Tabela 1 – Consumo de gás natural por residência

Casos	Consumo por unidade (m ³ /mês)	Equipamento
Edifício 1	1,99	fogão
Edifício 2	183,28	fogão + aquecedor de passagem
Edifício 3	11,95	fogão + aquecedor de passagem
Edifício 4	15,56	fogão
Edifício 5	56,18	fogão + aquecedor de passagem
Edifício 6	72,10	fogão + aquecedor de passagem

Fonte: adaptado¹ de ILHA (1996)

Comparando-se o mercado nacional com mercados mais maduros, como o dos Estados Unidos, vê-se, como nos aponta Fossa et. al (2008), que o número de consumidores residenciais de gás natural supera os 50 milhões, sendo que mais de 70% dos lares tem acesso a este combustível.

Apesar da expansão no Brasil do uso de gás natural no setor residencial, este mercado ainda representa uma pequena parcela do consumo total de gás, girando em torno de 2%, conforme Figura 2. Porém, conforme visto anteriormente, o mercado disponível para crescimento ainda é muito grande, se comparado com os mercados mais maduros.

Figura 2 - Consumo final de gás natural por setor (bilhões de m³)

Fonte: BEN (Boletim Energético Nacional), 2008 – Ministérios de Minas e Energia

¹ O estudo original é considerando o consumo total do edifício, com gás de nafta (PCI = 4220 kcal/m³). Nesta adaptação foi convertido o consumo de gás de nafta para gás natural, utilizando o PCI = 8600 kcal/m³ e dividindo o consumo pelo número de apartamentos.

Contudo, para além do setor residencial, há também perspectivas de crescimento do uso de gás natural em diversos setores da economia brasileira, principalmente devido às descobertas de novas reservas de gás, o que gera no mercado confiança na conversão e/ou substituição para este combustível. Na Figura 3 é mostrada a evolução das reservas já comprovadas de gás natural e a perspectiva de vida útil dessas reservas. Porém, ainda não foram consideradas as reservas de gás natural que foram descobertas no último ano, já que seu volume real ainda não foi comprovado, havendo apenas a previsão de que estas reservas tripliquem o valor atual.

Figura 3 – Reserva e vida útil de Gás Natural no Brasil

Fonte: BEN (Boletim Energético Nacional), 2008 – Ministérios de Minas e Energia

Ao mesmo tempo que as reservas comprovadas aumentam, o consumo acompanha as perspectivas de crescimento da capacidade de fornecimento, conforme Figura 4.

Figura 4 – Consumo residencial de gás natural em milhões de m³

Fonte: BEN (Boletim Energético Nacional), 2008 – Ministérios de Minas e Energia

Contudo, o consumo de gás natural ainda é muito inferior ao consumo de GLP, conforme nos mostra a Figura 5. Devido principalmente à mobilidade, o GLP tem alcançado as regiões mais distantes, cobrindo praticamente todo o território nacional.

O consumo de GLP, especificamente no caso do botijão de 13 kg, é incentivado pelo governo, pois ainda é considerado como um gás “social”, fazendo parte dos insumos básicos da população por estar associado à cocção, inclusive é popularmente chamado de “gás de cozinha”.

Figura 5 – Consumo residencial de gás natural e GLP no Brasil

Fonte: BEN (Boletim Energético Nacional), 2008 – Ministérios de Minas e Energia

A partir da Figura 5 é possível avaliar a disparidade de consumo entre os gases combustíveis. Vê-se a tendência de crescimento do consumo, com o gás natural apresentando um crescimento constante, enquanto o GLP apresenta variações de consumo, variações estas relacionadas ao aumento do preço no mercado.

A correlação entre o consumo de GLP e a cocção é percebida se compararmos os gráficos de consumo do gás com a lenha, conforme Figura 6, onde, em épocas em que há um aumento do custo do GLP, como por exemplo no ano de 2002, é reduzido automaticamente o consumo deste combustível, sendo substituído pelo uso da lenha.

Figura 6 – Consumo residencial de lenha e GLP no Brasil

Fonte: BEN (Boletim Energético Nacional), 2008 – Ministérios de Minas e Energia

Analisando a curva de crescimento do gás natural (Figura 4) e da eletricidade (Figura 7) é possível verificar que o gás natural teve nos últimos oito anos um crescimento médio de 16,23%, ante 1,56% da eletricidade. Isso mostra que o gás natural, além de estar incorporado nas novas residências, está sendo contemplados em programas de substituição de energéticos em edificações já existentes.

Figura 7 – Evolução do consumo de eletricidade no Brasil

Fonte: BEN (Boletim Energético Nacional), 2008 – Ministérios de Minas e Energia

1.2.3 Mudanças na concepção dos projetos hidráulicos

Até a década de 90 os aquecedores de passagem a gás eram de baixa potência e com pouca tecnologia incorporada, sua utilização era limitada ao pleno abastecimento de apenas um ponto de consumo, não permitindo satisfação para o abastecimento de pontos simultâneos.

Com isso, a localização dos aquecedores de passagem a gás estava restrita ao banheiro (atualmente a ABNT NBR 13103, de 2006, restringe este tipo de instalação) ou muito próximo desse ponto de uso, isto é, com uma pequena distância do aparelho até o ponto de consumo. Essa limitação exigiu que a solução, nos casos de grande demanda e grandes distâncias, fosse um sistema de aquecimento central privado com acumuladores a gás, localizado na área de serviço, ou o uso de equipamentos elétricos, de passagem ou de acumulação, localizados próximos aos pontos de consumo.

A realidade dos grandes centros urbanos, com o alto custo da área do imóvel, e a consequente valorização da área útil, impôs a construção de unidades cada vez mais compactas, o que representou um limitante para os aquecedores de acumulação. Muitas vezes, a solução encontrada foi o uso de sistemas centrais de aquecimento, que deslocavam o aparelho de dentro dos apartamentos para uma área comum do edifício, mantendo a qualidade do fornecimento de água quente, porém transferindo a operação para o condomínio.

Esta solução ainda permitia na época a utilização de combustíveis mais baratos que os gases combustíveis (nafta, GLP ou gás natural), como era o caso do óleo combustível, que possuía preço mais baixo.

Este sistema possuía desvantagens quanto à divisão dos custos do combustível, não sendo proporcional ao consumo real de água quente das unidades.

Apesar da água e combustível não serem divididos proporcionalmente, os custos dos combustíveis para aquecimento de água representavam a parcela mais significativa dos custos de operação do sistema, gerando resistências com relação ao sistema coletivo.

Com a abertura para a importação de equipamentos, o mercado nacional contou com aquecedores de passagem com características técnicas que ampliaram sua aplicação. Essas características - como, por exemplo, maior potência, sistemas de proteção e segurança, e variadores da potência - contribuíram para a expansão do uso deste sistema. Além disso, para o construtor havia a vantagem de transferir para o morador a responsabilidade da compra do equipamento, como era o caso do chuveiro elétrico.

Recentemente, algumas leis municipais e estaduais colocaram em discussão mudanças de concepções, principalmente hidráulica, pois tais leis obrigam a construtora a prever uma infraestrutura, ou até mesmo a instalação de medição de consumo individual para cada unidade e sistemas de aquecimento solar em edifícios.

A incorporação da individualização de água em condomínios tem alterado a configuração dos sistemas de distribuição predial de água fria e quente. Sem a necessidade de individualização, os edifícios eram concebidos com diversas prumadas de distribuição de água localizadas uma em cada ambiente sanitário, reduzindo o custo da distribuição horizontal nos apartamentos. Com a necessidade de individualização há apenas uma entrada de água por apartamento, sendo a distribuição para todos os pontos de consumo feitos por meio de tubulações horizontais.

A mudança de concepção das instalações altera também as metodologias de cálculo para dimensionamento, principalmente devido às alterações da simultaneidade de uso dos aparelhos. Essas alterações não foram acompanhadas pelas Normas Técnicas vigentes.

Com a individualização da água é resolvido um dos motivos de rejeição para implantação dos sistemas de aquecimento central coletivo, com a possibilidade da divisão proporcional do consumo de água fria, quente e gás.

Com relação à incorporação dos sistemas de aquecimento solar em edifícios, essa alternativa induz a utilização de reservatórios centrais de água quente, sendo para isso necessária a instalação de toda a infraestrutura para sua distribuição.

Dessa forma, os sistemas centrais começam a ser uma alternativa viável em edifícios residenciais, indo muito além dos edifícios onde é imprescindível a operação e controle do sistema de aquecimento feito pelo condomínio, como por exemplo, em hotéis, motéis e flats.

Além disso, a necessidade de maximização de espaço útil está tornando os aquecedores de passagem, e principalmente os de acumulação privado, um objeto indesejado, uma vez que ocupa espaços cada vez mais valorizados.

1.3 Metodologia

Este trabalho foi desenvolvido inicialmente com uma análise dos sistemas de aquecimento de água e gás, e das características dos equipamentos envolvidos, mediante pesquisas bibliográficas e junto aos profissionais do mercado.

Caracterizada a infraestrutura dos sistemas, foram expostas as metodologias de cálculo para o dimensionamento dos sistemas prediais de aquecimento de água, e as influências do dimensionamento da infraestrutura predial, inclusive com cálculos de perdas térmicas nos sistemas.

Com objetivo de quantificar as perdas térmicas envolvidas nas redes de água quente, e também o consumo de água quente associado à demanda de gás, foram coletados dados em estudos de caso.

Por meio de um programa computacional desenvolvido foi simulada a influência das variações de temperatura nas perdas térmicas do sistema central de aquecimento predial, isto, com o intuito de quantificar a redução da perda de temperatura/hora com a incorporação de sistemas de monitoração e gestão dessas centrais.

2 SISTEMAS PREDIAIS DE AQUECIMENTO DE ÁGUA

O sistema predial de aquecimento de água para uso hidrossanitário é um conjunto de aparelhos, dispositivos e acessórios destinados a fornecer água quente para consumo, sem influir na potabilidade, nem oferecer riscos ao usuário, fornecendo água na pressão e temperatura projetada.

Segundo Lobato (2005), “O edifício é composto de subsistemas que se inter-relacionam, sendo estes subsistemas classificados de acordo com a função que desempenham”.

Quando se projeta cada subsistema deve-se levar em consideração todas as diversas interações existentes entre eles, de forma a garantir a harmonia funcional solicitada pelo usuário, harmonia esta caracterizada pelo relacionamento adequado entre o homem, o edifício e o meio ambiente. (LOBATO, 2005)

Para o funcionamento de um sistema predial de aquecimento são necessários três subsistemas básicos: o de aquecimento de água, o de distribuição de água quente e o de abastecimento de energia.

Para a configuração do sistema predial de aquecimento e dos subsistemas envolvidos é necessário definir a fonte de energia para o aquecimento da água.

2.1 Fontes de energia

Os equipamentos de aquecimento de água podem funcionar conforme uma variedade de fontes de energia, podendo ser gás combustível - tais como gás natural (GN) e gás liquefeito de petróleo (GLP) – ou ainda eletricidade, lenha, carvão e óleo combustível.

Para uso residencial, os combustíveis sólidos e líquidos, se comparados com os gases combustíveis, são pouco utilizados, principalmente devido à necessidade de espaço disponível para armazenamento, manipulação e operação. Santos et. al (2002) ainda acrescenta, se referindo ao gás natural e podendo ser estendido também ao gás liquefeito de petróleo que:

O gás natural apresenta [...] vantagens em relação aos combustíveis mais tradicionais como o óleo combustível ou carvão. Sua utilização possibilita elevado rendimento térmico (pois a operação se faz com o excesso de mínimo de ar); controle e regulação simples da combustão (com perfeita dosagem de gás e ar para obtenção de combustão completa por meio de uma mistura mais adequada entre combustível e comburente).

A escolha da energia final que alimentará o sistema de aquecimento deve ser feita em função da disponibilização do combustível, do custo de instalação e operação do sistema, da adequação do ambiente e de fatores culturais, tais como disponibilidade de mão-de-obra qualificada para instalar e operar de forma segura, e ainda as restrições existentes, ou não, no que diz respeito aos usuários.

Há equipamentos que possuem duas ou mais fontes de energia acopladas que funcionam de forma complementar, como por exemplo, o sistema de aquecimento solar com apoio a gás e/ou elétrico, ou ainda as centrais de aquecimento a gás com apoio elétrico.

Mesmo com o crescente mercado de gás combustível e as previsões de expansão nos principais centros urbanos do país, este trabalho se restringe à aplicação deste combustível nos sistemas de aquecimento de água apenas no setor residencial.

2.2 Sistemas de aquecimento de água

Os aquecedores de água são equipamentos que têm como objetivo fornecer água quente suficiente para todos os pontos de consumo, na temperatura e vazão desejada, conforme projeto específico.

Podemos dividir os equipamentos em dois grupos, conforme as características de funcionamento: em instantâneo (ou passagem) e de acumulação, conforme Figura 8. Os aquecedores de acumulação podem ser do tipo conjugado, quando há a junção entre um reservatório e um aquecedor de passagem, ou ainda com queimador acoplado, sendo que a transferência de calor entre a fonte de energia (aquecedor de passagem ou queimador) e o reservatório pode ser feita através de trocadores de calor de contato direto ou indireto.

Figura 8 – Resumo das alternativas de sistemas de aquecimento

Fonte: Elaboração do autor

Os aquecedores de passagem ficam restritos ao equipamento, enquanto que os sistemas de acumulação incorporam diversas configurações e alternativas de sistemas, conforme as características da demanda. Contudo, independentemente do sistema adotado, estes equipamentos podem ser incorporados em diversas aplicações, desde que considerados as suas limitações técnicas.

2.2.1 Classificação dos sistemas de aquecimento

Os sistemas de aquecimento são divididos conforme as características da infraestrutura hidráulica, e, segundo Ilha et al. (1994), “*Os sistemas prediais de água quente podem ser classificados em sistemas individual, central privado e central coletivo*”. Essa classificação considera a dimensão do sistema de distribuição de água quente, conforme a Figura 9.

Nos três tipos de sistemas - individual, central privado e central coletivo - é possível utilizar aquecedores idênticos, desde que consideradas as particularidades dos sistemas com relação ao comportamento de uso, instalação e operação.

Figura 9 – Esquema de classificação dos sistemas de aquecimento

Fonte: Elaboração do autor

Na Figura 9 é possível compreender os três sistemas de aquecimento, sendo que o sistema individual é constituído apenas de um aquecedor (equipamento), e quando incorporado a uma rede de distribuição interna à unidade habitacional, há um sistema central privado, e este, quando incorporado a uma rede de distribuição externa à unidade habitacional, há um sistema central coletivo.

A escolha do sistema mais adequado deve considerar diversos aspectos, inclusive as características da edificação, os custos de instalação, manutenção e operação.

Com relação aos custos de implantação, em estudo realizado por Fossa, Pierrobon Neto e Chaguri (2000), em um edifício residencial de 22 andares, com 84 apartamentos, sendo cada apartamento com 90 m², 2 dormitórios, 2 banheiros sociais e 1 banheiro de serviço, foram desenvolvidos diversos projetos, considerando variadas configurações de instalação, e variados equipamentos, conforme Tabela 2.

Tabela 2 – Alternativas para o aquecimento de água no setor residencial

	Banheiros sociais (2)	Banheiro serviço	Cozinha e serviço
Alternativa 1	Chuveiro elétrico		Aquecedor elétrico
Alternativa 2	Aquecedor a gás instantâneo individual		
Alternativa 3	Aquecedor a gás para todo o edifício		

Fonte: adaptado de Fossa, Pierrobon Neto e Chaguri (2000)

Nesse estudo foi quantificado o custo de investimento para a incorporação de alternativas de sistemas de aquecimento. Comparou-se os custos de infraestrutura dos sistemas elétricos, água fria, água quente e gás para atender às instalações de chuveiros e aquecedor elétrico, aquecedores a gás de passagem (central privado); ou ainda aquecedores centrais a gás (central coletivo), considerou-se aqui todos os custos de materiais e mão-de-obra. Os resultados são mostrados na Tabela 3.

Tabela 3 – Relação de custo de instalação de sistemas elétricos e a gás

Alternativas	Descrição	(%)
1 – Eletricidade	Chuveiro elétrico e Aquecedor elétrico	100
2 – Sistema central privado	Aquecedor a gás individual	67
3 – Sistema central coletivo	Aquecedor a gás central	30

Fonte: adaptado de Fossa, Pierrobon Neto e Chaguri (2000)

Os valores percentuais considerados com base nos custos do sistema com chuveiro e aquecedor elétrico foram apenas uma referência. Esse resultado apresentado refere-se a um edifício construído na cidade de São Paulo, edifício este onde há a obrigatoriedade da instalação de rede de água quente, prevendo-se o uso de aquecedores a gás, com isso, parte da infraestrutura de água quente e gás foi considerada como inerente à edificação.

2.2.1.1 Sistema individual

Conforme Ilha et al. (1994), “*O sistema individual é caracterizado pela não utilização de uma rede de distribuição [de água quente], pois a alimentação se apresenta em um único ponto de utilização.*”

Nesse sistema o equipamento é instalado no ponto de consumo, ou próximo deste, com o fornecimento de água quente exclusivo para o ponto. O chuveiro elétrico, ou a gás, é um exemplo de equipamento de sistema individual.

Porém, mesmo com pequenos trechos de água quente para alimentação do ponto de consumo, o sistema individual necessita de uma infraestrutura de alimentação da água fria para o aquecedor - que pode ser apenas uma derivação de um ponto de consumo de água fria - e necessita também da rede de abastecimento de gás ou outra fonte de energia.

Geralmente, esse sistema é aplicado em residências que possuem apenas um ponto de consumo de água quente, como exemplo, os apartamentos com um banheiro, quitinetes e flats.

2.2.1.2 Sistema central privado

Segundo Ilha et al. (1994), “*O central privado é composto de uma rede de distribuição e um equipamento de aquecimento, o qual fornece água quente para diversos pontos de utilização de uma mesma unidade, por exemplo, um apartamento*”.

Nesse sistema é possível utilizar apenas um equipamento para fornecer água quente para diversos pontos de consumo, simultâneos ou não, mantendo a fonte de calor em uma área específica para o equipamento.

Esse sistema é aplicável quando há a necessidade de fornecimento de água quente para mais de um ponto de consumo dentro de uma mesma residência, porém, mantendo o equipamento sob supervisão e operação do morador, inclusive no que diz respeito aos custos operacionais.

2.2.1.3 Sistema central coletivo

De acordo com Ilha et al. (1994), “*O central coletivo, da mesma forma que o anterior [sistema central privado], se caracteriza pela existência de uma rede de distribuição e um equipamento de aquecimento [ou vários equipamentos], porém, neste sistema, o atendimento é realizado para diversas peças de utilização existentes em mais de uma unidade, por exemplo, um prédio de apartamentos.*”

O sistema central coletivo possui, geralmente, o(s) aquecedor(es) localizados em um área comum do condomínio, com as redes de distribuição de água quente alimentando todos os pontos de consumo de todas as unidades da edificação.

Nesse sistema a responsabilidade de operação e manutenção do sistema é do condomínio, a exemplo dos hotéis e motéis.

Porém, em algumas aplicações pode haver divergência quanto ao conceito de sistemas individuais e coletivos, como, por exemplo, em aplicações comerciais como academias, clubes e outras que atendem certa diversidade de usuários, porém sendo apenas uma unidade autônoma.

2.3 Sistema de distribuição de água

O sistema de distribuição de água consiste de equipamentos, dispositivos, materiais e acessórios com a finalidade de abastecer com água fria os aquecedores - conforme as características funcionais dos componentes - e transportar a água quente até os pontos de consumo.

A complexidade da infraestrutura está relacionada com as características construtivas da edificação e do sistema de aquecimento adotado, podendo ser classificada conforme a funcionalidade.

2.4 Sistema de abastecimento de gás

Para o abastecimento de gás combustível nos aquecedores é necessário uma infraestrutura, capaz de suprir a demanda dos aparelhos no momento de maior consumo, que é a situação mais crítica de operação. Essa infraestrutura é projetada conforme as características do sistema de aquecimento, a configuração da edificação e os custos de implantação.

A infraestrutura de gás é composta de uma rede de distribuição, acessórios, dispositivos e componentes, com o objetivo de atender os aparelhos de consumo com a pressão e vazão determinadas em projeto, garantindo a segurança de uso ao longo da vida útil da rede.

3 GERAÇÃO DE ÁGUA QUENTE

Os sistemas de aquecimento de água são equipamentos, dispositivos e acessórios com o objetivo de converter a fonte de energia em calor e transferi-lo para a água a ser consumida, na quantidade e temperatura desejada, sendo o aquecedor o elemento principal deste sistema.

Os aquecedores podem ser divididos em aquecedores instantâneos (ou de passagem) e aquecedores de acumulação. Podem atender exclusivamente uma unidade autônoma - por meio de sistemas individuais ou centrais privados, independentemente dos pontos de consumo e número de usuários - ou o abastecimento de um conjunto de unidades autônomas, os sistemas centrais coletivos.

3.1 Aquecedores de passagem

A utilização de aquecedores individuais de passagem foi difundida principalmente pela facilidade de implantação em residências e a necessidade de pouco espaço a ser ocupado, se

comparados aos sistemas de acumulação. Além da facilidade em individualização da conta de gás combustível e a opção do construtor em transferir para o morador a responsabilidade na aquisição do equipamento.

Os aquecedores instantâneos ou de passagem são aparelhos que funcionam para atender um consumo imediato, apenas a demanda no instante da solicitação. O acionamento destes aparelhos é feito por meio do fluxo da água que percorre pela tubulação, ocorrendo no momento da solicitação de água no ponto de consumo, e acaba quando o ponto de consumo é fechado, quando desligado o aparelho. Na existência de sistemas de recirculação, quando a distância do aquecedor até os pontos de consumo causam desconforto aos usuários, as bombas utilizadas fazem a operação de acionamento e desligamento do aparelho por meio do fluxo.

O acionamento e o desligamento do queimador nos aquecedores de passagem são feitos por meio de um queimador piloto que fica constantemente aceso para, quando solicitado, inflar o queimador principal. Contudo, novas tecnologias permitem que este acionamento seja feito através da ignição provocada por uma pilha, ou por uma fonte de energia elétrica, permitindo que o sistema não mantenha um consumo de gás permanente, inutilizando a função do queimador piloto.

Os aquecedores de passagem que utilizam gás e possuem o queimador piloto não são mais comercializados, pois possuem custos de operação maior que os sem chama piloto, que é um dos equipamentos mais utilizados entre os aquecedores a gás.

Podemos simplificar o conceito dos aquecedores de passagem visualizando-o como uma serpentina, onde a água que passa por dentro é aquecida por meio do calor gerado pelo queimador localizado na parte de baixo do equipamento, conforme a Figura 10.

Figura 10 – Esquema de funcionamento dos aquecedores a gás

Fonte: Chaguri (2001)

Além da serpentina e do queimador, o aquecedor de passagem é constituído de um sistema de controle de fluxo e segurança - que faz o acionamento e o bloqueio de água e gás - e um sistema de exaustão, por meio de elementos fixos, permitindo a saída dos gases queimados para a chaminé da forma mais eficiente.

Devido à sensibilidade dos dispositivos de controle e segurança que reduz os riscos de operação, e às perdas de carga do aparelho, estes funcionam com uma pressão mínima na entrada de água fria, podendo variar de 5 a 20 mca (0,5 a 2,0 bar), o que dificulta a sua aplicação em redes com pouca pressão de água, como é o caso de casas e andares altos de edifícios. Em alguns casos é realizada a pressurização dos últimos andares apenas para possibilitar a instalação de aquecedores de passagem.

Este equipamento, apesar da economia gerada, se comparado com os sistemas de acumulação, possui limitações físicas em função da relação vazão instantânea da água que passa pelo aparelho, da potência e da temperatura.

Essa limitação de vazão pode ser restritiva quando se deseja dimensionar o sistema para o consumo simultâneo de diversos pontos de aquecimento, ou até mesmo a utilização para aquecimento de banheiras, quando são necessárias grandes vazões para o enchimento em pequeno espaço de tempo.

Alguns modelos de aparelhos possuem dispositivos que variam a potência conforme a vazão solicitada, o chamado chama modulável. Com isso, evita-se que pequenas vazões gerem

consumos desnecessários, ou que um superdimensionamento do aparelho resulte em aumento de consumo. Para o dimensionamento dos aquecedores de passagem é importante analisar o rendimento desses aparelhos, sendo o “*rendimento de um aparelho [...] dado pela razão entre o poder calorífico superior do gás combustível usado e a quantidade de calor transferida para a água*” (BRESOLIN, 2002).

Devido a esta característica, os aquecedores são dimensionados para o pico de consumo, no instante em que ocorre a maior vazão.

Estes aparelhos, apesar de considerados por muitos autores como aquecedores individuais, podem ser aplicáveis em sistemas coletivos de aquecimento, aquecimento de piscina e outras aplicações específicas, desde que consideradas as características especificidades dos aparelhos.

O aquecimento de passagem coletivo é utilizado quando a somatória das potências dos aquecedores de passagem é maior que a demanda de energia calculada para o horário de pico do sistema.

Para esta aplicação, os aquecedores de passagem utilizam trocadores de calor, principalmente devido à limitação de vazão dos aparelhos, com o objetivo de transferir a energia gerada pelos aquecedores para a água de consumo. Com isso, não há contato da água do sistema de distribuição, que atende os pontos de consumo, com a água do sistema de aquecimento, que interliga os aquecedores com os trocadores de calor.

Na Figura 11 há um exemplo de um sistema instalado em um edifício com aproximadamente 130 metros de altura, onde cada dois trocadores de calor atendem uma região específica do edifício, com pressões de trabalho distintas.

Figura 11 – Exemplo de um sistema de aquecimento central de passagem

Fonte: Acervo próprio

Com isso, os aquecedores de passagem mantêm a rede de distribuição de água quente sempre aquecida, sem a necessidade de reservatórios térmicos.

Em alguns casos específicos pode-se calcular o volume da rede de distribuição de água quente e computá-la como volume armazenado no cálculo do sistema central coletivo de aquecimento de água quente..

Com relação às limitações de instalação em ambientes confinados ou em banheiros, segundo a ABNT NBR 13103 (2006), para a instalação de um aquecedor a gás é possível a utilização de aquecedores do tipo fluxo balanceado. O sistema de fluxo balanceado, conforme Figura 12, consiste de um sistema hermeticamente fechado, não havendo contato entre o interior do aparelho e o ambiente, sendo que a sucção de ar e a exaustão dos gases queimados ocorrem com o ambiente externo, conforme a localização da chaminé.

Figura 12 – Exemplo de aquecedor de Fluxo Balanceado

Fonte: Chaguri (2001)

Dessa forma, evita-se a contaminação do ambiente com as emissões de monóxidos de carbono gerados pela combustão do aquecedor.

3.2 Aquecedores de acumulação

Os aquecedores de acumulação são aparelhos com a característica de manter um volume de água quente armazenado, disponível para atender a demanda nos horários de maior consumo, sendo para isso constituído de um reservatório, uma unidade de aquecimento e acessórios.

Em um aquecedor de acumulação, o tamanho do reservatório e a vazão de água quente fornecida são fatores importantes no dimensionamento. (FOSSA et. al, 2008).

No sistema de acumulação há uma entrada de água fria, que ocorre na parte de baixo do reservatório (parte mais fria) e uma saída na parte superior de água quente, que distribui para os pontos de consumo a água com a temperatura mais elevada do reservatório. Essa diferença de temperatura ocorre devido à diferença de densidade entre a água fria (mais pesada) e a água quente (mais leve), provocando sempre a estratificação térmica do reservatório em diferentes níveis.

Alguns dispositivos e acessórios são instalados com o objetivo de garantir o bom funcionamento do sistema, como, por exemplo, as válvulas de segurança, sifão e válvulas eliminadoras de ar.

As válvulas de segurança são instaladas com o objetivo de proteger o reservatório no caso de uma sobrepressão, acima da permitida pelo sistema. Essa sobrepressão pode ocorrer por uma desregulagem na pressão da rede de água fria, ou devido à expansão da água durante o processo de aquecimento do reservatório. Para evitar dano ao equipamento devido à expansão, além da necessidade da válvula de segurança, é proibida a instalação de válvulas de retenção na entrada de água fria do equipamento, conforme ABNT NBR 7198 (1993), permitindo assim a expansão da água quente para a rede de água fria.

Como o reservatório mantém a água quente constantemente armazenada, estes equipamentos são isolados termicamente para reduzir as perdas térmicas com o ambiente. O material utilizado na maioria dos casos é a lã de vidro ou o poliuretano expandido.

Alguns fabricantes mencionam que as perdas térmicas dos reservatórios são da ordem de 1°C/hora. Consoante Golçalves et. al (1989), foi realizado à época um levantamento de todos os fabricantes nacionais e internacionais de aquecedores a gás e elétrico, e a única informação coletada com relação às perdas térmicas foi 1,4 °C/hora. Contudo, não são mencionadas as temperaturas das medições e as condições de ensaio.

O aquecedor de acumulação é dimensionado conforme o padrão de uso a que se destina, podendo atender à variadas demandas de água quente, desde uma residência com apenas um morador até centros hoteleiros inteiros. O que diferencia os dois extremos é a quantidade de água quente armazenada (volume armazenado) e a potência do(s) aquecedor(es), ou a capacidade de recuperação do volume armazenado conforme a demanda (FOSSA et. al, 2008).

Conforme as características de uso do sistema de aquecimento é possível a utilização de um fator de simultaneidade que prevê o uso concomitante - definido probabilisticamente da demanda dos pontos de consumo, podendo ser previsto o atendimento de apenas uma parte da demanda instalada.

Pode-se dividir os aquecedores de acumulação em aquecedor com queimador incorporado - onde há a queima do combustível em contato direto com o reservatório - e aquecedor conjugado, que utiliza aquecedor(es) de passagem para manter a temperatura no(s) reservatório(s).

3.2.1 Estudo de caso de análise das perdas térmicas em aquecedores de acumulação

Para comparar os valores teóricos fornecidos por fabricantes com sistemas instalados, foram realizadas duas medições em um sistema de aquecimento central privado, do tipo acumulação conjugado com reservatório de 150 litros, em um apartamento residencial, na cidade de Ribeirão Preto (SP).

Neste estudo de caso foram realizadas diversas medições de temperatura, em diferentes períodos, simulando um sistema de água quente estagnado, resultando em perdas térmicas exclusivas do reservatório. As medições ocorreram com a introdução de termômetros na entrada de água fria do reservatório (1), na saída de água fria para o aquecedor de passagem (2), na saída de água quente para consumo (3), na saída de água quente do aquecedor de passagem para o reservatório (4), no retorno da recirculação interna do apartamento (5) e no ponto de medição de temperatura do reservatório (6).

A primeira medição foi realizada no dia 10 de julho de 2008 às 14:00h, quando o sistema marcava, no mostrador digital que mede a temperatura dentro do reservatório, a temperatura de 35°C, sendo registradas as temperaturas nos diversos pontos medidos, e em seguida desligado o sistema, não permitindo a recuperação da temperatura pelo aquecedor e nem o consumo de água quente pelos moradores. No dia 11 de julho de 2008 às 11:00h, vinte e uma horas depois do início dos testes, foram registradas as temperaturas dos pontos de medição.

Na segunda medição, iniciada no dia 12 de julho de 2008 às 14:00h, repetiu-se o procedimento do primeiro teste, porém com o reservatório aquecido até a temperatura de 41°C indicado no mostrador digital. Esta medição foi finalizada no dia 13 de julho de 2008 às 15:00h, vinte e cinco horas depois do início dos testes.

Em seguida foi montada uma planilha (Figura 13) de controle das temperaturas nas duas situações.

Data	Tempo Banho	Temperatura (°C)					
		Entrada de água fria (1)	Saída p/ aquecim. (2)	Saída p/ consumo (3)	Aquecedor p/ boiler (4)	Retorno (5)	Digital (6)
sistema desligado digital 41 °C							
12/07/2008	14:00 h	36	35	44	42	52	38,3
13/07/2008	15:00 h	33	33	38	37	37	26,8
sistema desligado digital 35 °C							
10/07/2008	14:00 h	49	35	49	47	33	30,9
11/07/2008	11:00 h	30	24	30	30	22	24,4

Figura 13 – Planilha de medições em aquecedores de acumulação conjugado

Fonte: Elaboração do autor

Como cada ponto de medição representa uma condição diferente do reservatório, foi utilizado para comparação, o dado medido dentro do reservatório (6). Considerando a perda de temperatura linear com o tempo, nos dois casos medidos, a perda foi de aproximadamente 0,40°C/h.

A diferença da temperatura medida e os dados encontrados na literatura podem ser justificados por diferenças construtivas entre os reservatórios, ou devido a metodologia para a determinação destas informações. Infelizmente, o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) do INMETRO não quantifica estas perdas a fim de orientar o consumidor, o que impossibilita a consideração destas perdas nos projetos ou a incorporação de sistemas que contribuem para a redução destes valores.

3.2.2 Aquecedor de acumulação com queimador incorporado

Os aquecedores de acumulação que possuem queimador incorporado são constituídos basicamente de reservatório, de queimador localizado na parte de baixo do aquecedor, de isolamento térmico para evitar a perda de calor para o ambiente, de um sistema de controle de temperatura que aciona e desliga o queimador e de um duto de saída dos gases queimados que passa por dentro do reservatório, conforme a Figura 14.

Figura 14 – Esquema do aquecedor de acumulação a gás

Fonte: Revista Técnica (2008)²

O sistema de controle gerencia a temperatura do reservatório, quando a temperatura está mais baixa que a temperatura programada no termostato, o controle aciona o queimador que aquece a água até a o valor programado. Quando o sistema chega à temperatura desejada o controle desliga o queimador.

Conforme ocorrem as perdas de temperatura do reservatório com o ambiente, ou quando há consumo de água quente, provocando a entrada de água fria no reservatório, a temperatura do reservatório cai, acionando o sistema de controle, e automaticamente o queimador, que fica ligado, recupera o calor até atingir a temperatura desejada.

Em geral, o sistema de combustão é acionado por um pequeno queimador, chamado de piloto, que permanece constantemente aceso, e insufla o queimador quando o gás é liberado. Quando é atingida a temperatura programada o termostato envia um sinal para cortar o gás do queimador, permanecendo o queimador piloto aceso.

Caso o queimador piloto esteja apagado, não é enviado gás para o queimador principal, mantendo o sistema sempre apagado.

² Disponível em: <http://www.revistatechne.com.br/engenharia-civil/117/artigo39272-5.asp>

Devido à necessidade de manter o queimador piloto aceso constantemente, há um consumo de gás permanente, em torno de 0,16 m³/h. Este consumo do queimador piloto não é totalmente perdido, pois, parte do calor gerado é transferida para a água no reservatório.

A troca de calor ocorre na parte de baixo do reservatório, onde há o contato entre o queimador e a água mais fria do tanque, e mediante um duto de exaustão dos gases queimados, na parte central do reservatório, conforme a Figura 15.

Figura 15 – Detalhe da troca de calor no aquecedor de acumulação

Fonte: Chaguri (2001)

O duto interno de exaustão dos gases queimados, além de direcionar o gás queimado para uma chaminé, aproveita a temperatura dos gases para trocar calor com a água reservada, o que aumenta o aproveitamento térmico do sistema. Porém, quando o queimador é desligado, ocorre o fluxo interno de ar quente para o exterior, puxando do ambiente o ar frio, esse arraste de ar frio rouba calor da água armazenada, esfriando o reservatório. Este é um dos fatores que tornam o sistema menos eficiente que o sistema com reservatório fechado.

Os materiais dos reservatórios dos aquecedores de acumulação são constantemente submetidos a esforços térmicos, devido o constante acionamento e desligamento do queimador. Além do efeito da chama do queimador, há a diferença de temperatura entre a chama do queimador, que pode chegar a mais de 260°C, de um lado do material, e a água fria que entra no reservatório, com a temperatura aproximadamente igual à ambiente, do outro lado do material.

Além de esforços térmicos, os reservatórios são submetidos à deposição de materiais sólidos, que muitas vezes provocam corrosão no material. Para reduzir a corrosão do material, em alguns equipamentos são instalados “bastão de sacrifício” ou “bastão de ânodo”, que atraem materiais corrosivos para si, evitando que corroam o reservatório. Este tipo de dispositivo exige que o equipamento possua uma manutenção preventiva constante, onde é monitorada a integridade do bastão, e se necessário, ele é trocado.

3.2.3 Aquecedor conjugado

Como alternativa aos aquecedores de passagem e de acumulação com queimador incorporado, há os sistemas chamados de conjugados, constituído de um reservatório térmico fechado, e também os aquecedores de passagem que fazem o aquecimento deste reservatório.

O princípio de funcionamento é similar aos aquecedores de acumulação, contudo, quem exerce a função do queimador é um ou mais aquecedores de passagem, possibilitando que o reservatório esteja distante do aquecedor, permitindo uma maior flexibilidade de instalação.

Os aquecedores de passagem utilizados com esta finalidade devem possuir características e dispositivos que suportem temperaturas mais elevadas na entrada do equipamento.

O controle de temperatura do reservatório é feito por meio de um termostato, que ao ser acionado liga uma bomba de recirculação, que é a responsável pelo acionamento do aquecedor de passagem, e consequentemente, o aquecimento do reservatório, conforme Figura 16.

Comparando com os aquecedores de acumulação com queimador incorporado, o sistema conjugado não possui o duto de exaustão dos gases queimados no interior do reservatório, o que reduz as perdas por convecção. Contudo, como o aquecedor não está acoplado ao sistema, há perdas térmicas nas tubulações que interligam os aquecedores de passagem e o reservatório térmico.

O sistema possui flexibilidade de montagem; é possível a utilização de reservatórios de variadas dimensões e posições (verticais e horizontais), e também aquecedores de passagem com diversas potências, ou ainda, diversos aquecedores funcionando em um ou mais reservatórios. Os aquecedores de passagem podem ficar distantes do reservatório, o que permite localizar os tanques próximos aos pontos de consumo.

Figura 16 – Esquema do sistema conjugado individual

Fonte: Elaboração do autor

Os aquecedores de passagem possuem limitações de temperaturas de trabalho, que segundo a Norma ABNT NBR 8130 (2004), é de 55°C acima da temperatura de entrada de água. Porém, há aparelhos que possuem dispositivos que limitam a temperatura a 80°C, evitando que no sistema haja evaporação ou formação de ar, a partir da água.

Com essa limitação evita-se que haja um superaquecimento do reservatório, funcionando essa restrição como um dispositivo de proteção do sistema.

3.3 Sistemas de troca de calor

Os sistemas de troca de calor entre as fontes de calor e os reservatórios podem ser do tipo indireto ou direto.

Os equipamentos de contato direto de aquecimento são aparelhos que possuem a chama do queimador em contato direto com a chapa que o separa da água de consumo. Dessa forma, sempre ocorre uma grande diferença de temperatura entre a chama e a água do reservatório gerando grandes esforços térmicos no material.

A forma de transmissão de calor de contato direto, isto é, entre o queimador e a água armazenada, pode ser do tipo flamotubular, onde a chama do queimador passa por dentro de tubulações que estão imersas na água do reservatório, ou ainda, podem ser do tipo aquatubular, onde tubos com água que ficam próximo ao queimador e são responsáveis pela troca de calor, com isso a chama do queimador passa pela parte externa da tubulação, conforme a Figura 17.

Figura 17 – Exemplo de uma central de aquecimento do tipo aquatubular

Fonte: Chaguri (2001)

Nas duas situações, tanto nos sistemas tipo flamotubular como no aquatubular, o contato da chama e da chapa do reservatório (com grandes diferenças de temperatura) provoca esforços térmicos no material. Além disso, o desligamento e o acionamento constante do queimador provocam variações bruscas de temperatura ao longo do tempo, majorando os esforços.

Outro fator de desgaste ocorre quando a chama entra em contato direto com a chapa, causando evaporações concentradas da água, próximas à área de contato, gerando pequenas bolhas no trocador de calor, que com o tempo corroem o material. Além disso, a evaporação da água reduz a capacidade de troca de calor nestes pontos, gerando superaquecimento pontual. Estas tensões comprometem a vida útil do equipamento, exigindo constante manutenção.

No sistema de aquecimento de contato indireto, o queimador, ou a fonte de calor, aquece um fluido de transferência de calor, que pode ser água, e esse fluido aquecido transfere calor para a água de consumo, sem entrar em contato de forma direta, conforme Figura 18.

Dessa forma, o fluido de transferência de calor pode ter tratamento específico para reduzir os danos ao reservatório, e geralmente trabalha com temperaturas mais elevadas, o que reduz a diferença de temperatura com a chama do queimador.

Figura 18 – Exemplo de uma central de aquecimento de contato indireto com serpentina

Fonte: Chaguri (2001)

O reservatório térmico pode ser aquecido de diversas formas, tanto com serpentinas internas, ou com reservatórios simples com trocadores de calor externo ou ainda por meio dos chamados reservatórios “com camisa”, onde há um dentro de outro, sendo o reservatório externo o responsável pelo aquecimento do interno, conforme Figura 19.

Figura 19 – Exemplo de reservatórios com troca de calor do tipo indireto

Fonte: EDIC (2005)

Com a separação do reservatório e do aquecedor de água, é necessária a instalação de bombas de recirculação e dispositivos de controle, que monitoram a temperatura do reservatório e acionam o aquecedor de água para manter o sistema na temperatura programada.

Como a fonte de calor pode ser distanciada do reservatório, há uma maior flexibilidade de instalação, permitindo que o aquecedor seja instalado em locais ventilados distantes dos pontos de consumo, e os reservatórios instalados próximos aos pontos de consumo.

3.4 Requisitos dos ambientes para instalação de equipamentos a gás combustível

A queima de um combustível fóssil, ou materiais com carbono, emite na atmosfera diversos gases, entre eles o CO_2 . A formação completa do CO_2 está relacionada a uma combustão perfeita, onde a relação de combustível e ar na combustão é adequada. Quando esta situação não ocorre, há a formação de monóxido de carbono (CO) no ambiente. Como a condição de queima perfeita é apenas teórica, na prática, há emissões de monóxido de carbono.

A preocupação com o monóxido de carbono está no risco que a inalação de grandes concentrações deste gás por períodos prolongados pode causar à saúde de um ser humano. Além disso, outro risco da concentração do CO no ambiente está na não percepção do usuário da presença deste gás, pois segundo Albuquerque Neto (2005) “o monóxido de carbono (CO) é um gás incolor, inodoro e insípido”.

O CO , quando inalado é transportado pelo sistema respiratório, da mesma maneira que o transporte de oxigênio (O_2), principalmente pela reação com moléculas de hemoglobina, porém com uma afinidade cerca de 250 vezes maior que o O_2 . O excesso de monóxido no sistema respiratório provoca a falta de O_2 nos tecidos, gerando intoxicação (ALBUQUERQUE NETO, 2005).

A Figura 20 é uma referência sobre a relação entre o tempo de inalação do monóxido de carbono e os danos que podem ser causados em função da concentração do gás no ambiente.

Figura 20 – Efeitos da concentração de monóxido de carbono

Fonte: Fórum da construção³ (2009)

Em geral, os acidentes relacionados ao uso de aquecedores a gás estão relacionados à inalação de monóxido de carbono devido às instalações inadequadas dos aparelhos, falta de ventilação no ambiente ou falta de manutenção nos aparelhos a gás.

Com relação às emissões nos aparelhos de passagem, segundo a Norma ABNT NBR 8130 (2004), o controle de emissões de monóxido de carbono dos aquecedores de passagem a gás é realizado mediante um ensaio de teor de CO em um compartimento padrão, onde são feitas medições do nível de CO no ambiente com o aquecedor ligado durante 30 minutos, esse valor medido não pode ultrapassar 0,0025% em volume (25 ppm).

Contudo, é preciso ressaltar que as condições de ensaio são feitas para aparelhos novos, instalados em ambientes ventilados, com chaminé de tiragem dos gases queimados para o exterior sem influência de intempéries ou ação de ventos, com a temperatura ambiente controlada entre 17°C e 27°C e sem a interferência do desgaste natural dos componentes do queimador devido o tempo de uso, o que pode interferir na qualidade da combustão, provocando um aumento nas emissões de CO para o ambiente.

³ disponível em: www.forumdaconstrucao.com.br

Com isso, os ambientes devem ser adequados para a instalação de um aparelho a gás, que segundo Fossa et. al (2008) *“São principalmente os aspectos de segurança que definem as configurações (ou conformações) dos ambientes nessas instalações.”*.

Para garantir a segurança dos usuários, com relação às emissões de monóxido de carbono, a Norma ABNT NBR 13103 (2006) define os requisitos básicos de ambiente para a instalação de aparelhos a gás, inclusive os requisitos de exaustão dos gases queimados, por meio da instalação de chaminés de tiragem, exceto para fogões com potência de até 360 kcal/min e aquecedores de passagem com potência de até 4000 kcal/min ou 10000 kcal/min, onde deve haver um sensor que bloqueie o gás quando o nível de O₂ no ambiente estiver abaixo de 18%.

Segundo Fossa et. al (2008), *“A exaustão pode ocorrer por meio da utilização de dutos individuais para cada aparelho; ou através de chaminés coletivas, que servem a mais de um aparelho, ou mesmo a mais de uma unidade habitacional autônoma. Além disso, pode-se adotar a exaustão natural ou a exaustão forçada por meio de ventoinhas.”*

Com relação à ventilação de ambiente, a Norma ABNT NBR 13103 (2006) exige que o ambiente onde estão instalados os aparelhos a gás tenha uma ventilação permanente, permitindo a constante renovação do ar, sendo a ventilação e a exaustão intervenções fundamentais para se garantir a adequação dos ambientes .

A ventilação é o movimento intencional de renovação do ar interno de um ambiente pelo ar externo, em geral vindo (totalmente ou parcialmente) de fora de uma edificação. Esta renovação de ar evita que haja falta de oxigênio para a combustão, que geraria uma quantidade maior de monóxido de carbono (FOSSA et al, 2008).

4 DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA QUENTE

O sistema de distribuição de água - que inclui o fornecimento de água fria para os aquecedores e a distribuição de água quente para os pontos de consumo - possui requisitos, características, dispositivos e acessórios conforme a característica do sistema de aquecimento adotado.

Para um sistema predial de aquecimento de água, a ABNT NBR 7198 (1993) cita que *“As instalações de água quente [e fria] devem ser projetadas e executadas de modo a garantir o fornecimento de água de forma contínua, em quantidade suficiente e temperatura controlável, com segurança, aos usuários, com as pressões e velocidades compatíveis com o perfeito*

funcionamento dos aparelhos sanitários e das tubulações; preservar a potabilidade da água; proporcionar o nível de conforto aos usuários; e racionalizar o consumo de energia.”.

Todo sistema de aquecimento de água, com exceção dos sistemas individuais de aquecimento, deve possuir um sistema de distribuição de água quente, de forma a levar até o ponto de consumo a água quente gerada. Este sistema possui complexidade conforme a aplicação, o número de pontos de consumo alimentados, a quantidade de níveis de pressão utilizada etc.

Podemos dividir os tipos de distribuição de água quente conforme a característica do sistema de aquecimento adotado, podendo ser sistema individual, central privado e central coletivo.

4.1 Distribuição para sistema de água quente individual

Para equipamentos destinados a aquecer apenas um ponto de consumo, o sistema de aquecimento individual pode ou não existir, pois há equipamentos que são instalados no próprio ponto de consumo, a exemplo dos chuveiros elétricos.

Quando o sistema para o aquecimento individual necessita de uma rede de distribuição interna, essa deve ser a menor possível, de forma a evitar as perdas térmicas inerentes ao sistema.

Mesmo com essas características, com a vantagem de execução da rede de distribuição externa à unidade de água quente, esta configuração não dispensa a rede de alimentação de água fria para o aparelho e o abastecimento da fonte de energia.

4.2 Distribuição para sistema de aquecimento central privado

No sistema central privado, a rede de distribuição de água quente fica restrita à distribuição dentro da unidade autônoma, transportando a água quente do aquecedor central até os pontos de consumo, conforme Figura 21.

Figura 21 – Sistema de distribuição em sistema central privado

Fonte: adaptado de Chaguri (2001)

Essa rede também pode ser definida como ramal horizontal de alimentação, pois não envolve a transposição de andares.

Conforme o comprimento da rede pode haver a necessidade de sistema de recirculação interna à unidade autônoma, com o objetivo de manter a rede de distribuição constantemente com água quente, reduzindo o tempo de chegada da água quente até os pontos de consumo.

Para a construção da rede de recirculação é necessário ter uma tubulação que sai do ponto mais distante da rede e retorna novamente no aquecedor. O controle da recirculação é feito por uma bomba, que apenas recircula a água, sem gerar pressurização do sistema, controlada por um termostato, que liga e desliga a bomba conforme a temperatura da rede.

O funcionamento deste sistema está baseado apenas na compensação térmica da rede de distribuição interna, ou seja, quanto maior o tempo de funcionamento da bomba de recirculação durante o dia, maior são as perdas térmicas inerentes à rede.

A tomada de decisão para a necessidade do sistema de recirculação está relacionada não só com o volume de água existente na tubulação e com o tempo de deslocamento da água quente do aparelho até o ponto de consumo mais distante, mas também à energia necessária para manter toda a tubulação aquecida constantemente.

Em um sistema sem recirculação podemos, por meio de uma tabela de materiais e diâmetros nominais (Tabela 4), obter qual o volume de água por metro linear no sistema. Além do volume de água desperdiçada, deve-se calcular a energia para aquecimento da água que fica estagnada na tubulação após o fechamento do registro de consumo. Essa energia é calculada por meio do volume de água e a diferença de temperatura entre a água quente e a água fria.

Os custos de operação com o sistema de recirculação é o custo da energia perdida na tubulação ao longo do dia e também o custo da energia elétrica consumida pela bomba de recirculação. No exemplo a seguir não está sendo considerada a resistência de convecção do tubo e do isolante térmico.

Para a comparação entre as duas alternativas foram desenvolvidas as seguintes equações:

$$\underbrace{(V_1 \times t_a) + \left(\frac{V_1 \times \Delta T}{PCI} \times t_g\right)}_{\text{sistema sem recirculação}} \leftrightarrow \underbrace{\left(\frac{E_r}{PCI} \times t_g\right) + (E_b \times t_e)}_{\text{sistema com recirculação}}$$

onde,

$$E_r = \left[\Delta T \times L \times \left(\frac{1}{k_1 \times A_1} + \frac{1}{k_2 \times A_2} \right) \right]$$

$$E_b = P_b \times T_{uso}$$

sendo,

V_1 = volume de água na tubulação do aquecedor até o ponto de consumo (litros/dia)

t_a = tarifa de água (R\$/litros)

t_g = tarifa do gás utilizado (R\$/m³)

t_e = tarifa de energia elétrica (R\$/kWh)

ΔT = diferença de temperatura da água quente e do ambiente (°C)

PCI = poder calorífico inferior do gás utilizado (kcal/m³)

E_r = energia térmica perdida por condução na recirculação (kcal/dia)

E_b = energia desprendida na recirculação (kcal/dia)

P_b = potência da bomba de recirculação (kW)

T_{uso} = tempo de uso da bomba de recirculação por dia (h/dia)

L = comprimento da rede de recirculação (metros)

k_1 = condutividade térmica do tubo (kcal/h.m.°C)

k_2 = condutividade térmica do isolante térmico (kcal/h.m.°C)

A_1 = área da seção do tubo por meio da qual o calor flui, medida perpendicularmente à direção do fluxo (m²)

A_2 = área da seção do isolante térmico por meio da qual o calor flui, medida perpendicularmente à direção do fluxo (m²)

Na alternativa do sistema de distribuição sem recirculação deve-se considerar ainda o tempo e a energia para aquecimento do tubo, que varia conforme o material.

Tabela 4 – Volume de água por metro de tubo

	Aço galvanizado			Cobre			CPVC			PP-R (PN20)			PEX		
Diâmetro nominal	Diâmetro interno (mm)	Área (m ²)	Volume (litros/metro)	Diâmetro interno (mm)	Área (m ²)	Volume (litros/metro)	Diâmetro interno (mm)	Área (m ²)	Volume (litros/metro)	Diâmetro interno (mm)	Área (m ²)	Volume (litros/metro)	Diâmetro interno (mm)	Área (m ²)	Volume (litros/metro)
½"	16,8	0,000222	0,22	14,0	0,000154	0,15	15,0	0,000177	0,18	13,2	0,000137	0,14	16,2	0,000206	0,21
¾"	22,4	0,000394	0,39	20,8	0,000340	0,34	22,0	0,000380	0,38	16,6	0,000216	0,22	20,4	0,000327	0,33
1"	28,4	0,000633	0,63	26,8	0,000564	0,56	28,1	0,000620	0,62	21,2	0,000353	0,35	26,2	0,000539	0,54
1 ¼"	37,1	0,001081	1,08	33,6	0,000887	0,89	34,9	0,000957	0,96	26,6	0,000556	0,56	32,6	0,000835	0,83
1 ½"	42,3	0,001405	1,41	40,4	0,001282	1,28	41,3	0,001340	1,34	33,2	0,000866	0,87	40,8	0,001307	1,31
2"	54,3	0,002316	2,32	52,2	0,002140	2,14	54,0	0,002290	2,29	42,0	0,001385	1,39	51,6	0,002091	2,09
2 ½"	69,4	0,003783	3,78	64,7	0,003288	3,29	73,0	0,004185	4,19	50,0	0,001963	1,96	61,4	0,002961	2,96
3"	82,2	0,005307	5,31	77,0	0,004657	4,66	88,9	0,006207	6,21	60,0	0,002827	2,83	73,6	0,004254	4,25
4"	106,8	0,008958	8,96	102,4	0,008235	8,24	114,3	0,010261	10,26	79,8	0,005001	5,00	90,0	0,006362	6,36

Fonte: Elaboração do autor

Ao custo de operação deve ser acrescido o custo de instalação - que no caso do sistema com recirculação as distâncias da rede são maiores - além da instalação de dispositivos e acessórios tais como bombas de recirculação, termostato de controle e a adaptação no aquecedor ou no reservatório.

Os custos relacionados aos dois sistemas configuram-se apenas como uma possibilidade na tomada de decisão sobre a incorporação ou não do sistema de recirculação em redes internas à edificação. Porém, o tempo que a água quente demora a percorrer o trecho de rede do aquecedor até o ponto de consumo mais distante pode ser um fator decisivo para o usuário definir a escolha do sistema, independentemente da análise econômica.

Gonçalves et. al (1999) em uma análise, específica para um determinado estudo de caso, registrou que o tempo de percurso da água quente entre o aquecedor e o ponto de consumo mais distante do apartamento foi de 70 segundos, desperdiçando aproximadamente 13 litros de água.

Esse tempo pode ser tolerável para alguns usuários, uma vez que teriam como compensação a economia de energia na ausência do sistema de recirculação. Para outros, o gasto de energia para manter o sistema sempre aquecido compensaria o desconforto com o tempo e a perda de água.

Quando se opta pelo uso do sistema de recirculação, há a possibilidade de incorporação de dispositivos - tais como timer ou acionadores remotos - com o objetivo de reduzir o tempo de funcionamento do sistema e conseqüentemente os custos relacionados à operação da recirculação.

4.2.1 Estudo de caso do tempo da chegada da água quente no ponto de consumo

Como exemplo prático, foi realizado um teste em um apartamento situado na cidade de Ribeirão Preto (SP), com uma rede de distribuição interna de 27 metros de comprimento (do aquecedor até a ducha) em polipropileno (PP-R) com diâmetro nominal de $\frac{3}{4}$ ".

Foi calculado o tempo e o volume de água fria desperdiçada entre o instante de abertura do registro de água quente no banheiro até a chegada da água quente no ponto de consumo. No teste realizado, o tempo calculado para que a água quente chegasse ao ponto de consumo foi de 76 segundos, consumindo 10 litros de água que estava estagnada na rede.

4.3 Distribuição para sistema de aquecimento central coletivo

No sistema de aquecimento central coletivo é necessário uma infraestrutura de água quente para o abastecimento de todos os pontos de consumo da edificação. Geralmente, os

reservatórios ou as fontes de calor são localizados na área comum do edifício, permitindo o fácil acesso para operação e manutenção.

A localização do sistema de aquecimento depende da configuração do sistema hidráulico e da arquitetura da edificação, podendo estar na parte inferior do edifício, na cobertura ou em ambos, por meio de um sistema misto, com reservatório(s) na cobertura e na parte de baixo do edifício.

O sistema de distribuição de água para os aquecedores centrais coletivos é composto de rede de alimentação de água fria para os aquecedores, rede de distribuição de água quente para os apartamentos e rede de recirculação de água quente devido às distâncias entre os aquecedores e os pontos de consumo.

A rede de alimentação de água fria para os aquecedores é de uso exclusivo para este sistema, evitando que haja variações de pressões e vazões originadas no sistema de distribuição de água fria para consumo.

Na saída de água quente dos aquecedores inicia a rede de distribuição de água quente até os pontos de consumo. Essa distribuição pode ser do tipo:

- ascendente: a rede de distribuição sai do aquecedor, em seguida é derivada em diversas prumadas, e então sobe alimentando os pontos de consumo até a cobertura;
- descendente: quando a rede sobe até a cobertura, deriva em diversas prumadas e desce alimentando todos os pontos de consumo;
- mista: quando a rede de água quente sobe alimentando alguns pontos de consumo, na cobertura é derivada em diversas prumadas, e desce alimentando os demais pontos de consumo do edifício.

No ponto mais distante das redes de água quente é iniciada a rede de circulação de água, rede esta que unifica todas as prumadas de distribuição até os aquecedores centrais que, com ajuda de uma bomba de recirculação, mantém toda a rede aquecida.

Na Figura 22 há um esquema de um sistema de distribuição de água quente com uma zona de pressão de alimentação do tipo descendente.

Figura 22 – Esquema hidráulico com alimentação descendente e um nível de pressão

Fonte: Elaboração do autor

Porém, segundo a ABNT NBR 7198 (1993), “A pressão estática máxima nos pontos de utilização não deve ser superior a 400 kPa”, ou aproximadamente 4,0 kgf/cm². Devido à esta limitação, em edifícios com mais de 40 metros de altura, entre o ponto de consumo e o nível de água mais alto da caixa d’água deve-se reduzir a pressão da rede antes de entrar nos apartamentos.

Dessa forma, o sistema de distribuição em edifícios altos é dividido em zonas de pressão, sendo que estes sistemas devem ser totalmente independentes, com controle de pressões específicas, de forma a evitar a mistura das pressões na rede.

Além da rede, os sistemas de aquecimento devem ser independentes, operando com as pressões de trabalho específicas para cada nível de pressão, conforme a Figura 23.

Figura 23 – Esquema hidráulico com alimentação descendente e três zonas de pressão

Fonte: Elaboração do autor

Para manter a pressão dentro dos limites estabelecidos para os andares mais baixos, são utilizadas válvulas redutoras de pressão, que a reduzem conforme as necessidades de uso, mantendo o sistema com a configuração estabelecida.

Outras opções podem ser utilizadas, como por exemplo, a utilização de trocadores de calor em cada andar, separando as pressões da rede de distribuição do edifício com a rede interna de água, permitindo assim que a rede de distribuição de central de água quente trabalhe com uma pressão única em todo o edifício.

A definição da melhor configuração do sistema de distribuição deve levar em consideração diversos fatores, desde a concepção de projeto, instalação, manutenção e operação. Com relação à operação, dependendo da aplicação podem ser adotados sistemas que possibilitem maior eficiência no funcionamento.

Um exemplo desta aplicação é o sistema de aquecimento de um hotel. Os hotéis possuem flutuações de ocupação, possuindo em determinados momentos diversos apartamentos vazios, não sendo necessária a manutenção de um sistema de recirculação de água quente para estes pontos de consumo em determinados momentos.

Conforme a metodologia para a alocação dos hóspedes, a configuração do sistema de distribuição pode permitir o fechamento parcial da rede de água quente e de recirculação, evitando a manutenção do sistema em regiões do edifício onde não há ocupação. Como exemplo, pode-se prever a rede de distribuição de água quente alimentando todos os apartamentos dos andares por meio de uma única prumada, com uma válvula de solenóide instalada na saída da prumada para os apartamentos.

Com isso, um sistema de gestão pode remotamente fechar a válvula da alimentação de água quente de cada andar (de modo individual) conforme a ausência de hóspedes em determinados andares, permitindo a isolamento do sistema de distribuição nos andares desocupados, diminuindo o comprimento da rede de distribuição e recirculação, e consequentemente reduzindo as perdas térmicas na rede.

5 SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO DE GÁS

A rede de distribuição de gás consiste no transporte do gás combustível desde o ponto de entrega do gás, podendo ser reservatórios ou rede, até os pontos de consumo. A configuração destas redes pode ser basicamente de duas formas, com rede de distribuição individual ou coletiva.

No sistema de distribuição individual, os medidores de consumo ficam localizados na área comum do edifício e, a partir dos medidores há uma rede de alimentação exclusiva para cada apartamento, conforme Figura 24.

Figura 24 – Rede individual de distribuição de gás combustível

Fonte: RIP Comgás (2001)

No sistema de distribuição coletiva, os medidores são instalados próximos aos pontos de consumo das unidades, tendo apenas uma tubulação que alimenta todos os medidores, conforme Figura 25. A partir do medidor há uma rede de distribuição interna que alimenta os aparelhos de consumo.

Figura 25 - Rede coletiva de distribuição de gás combustível

Fonte: RIP Comgás (2001)

A diferença entre os dois sistemas está na concepção de medição dos consumos, no caso de sistema com prumadas individuais, os medidores podem ser facilmente consultados pela concessionária, pois são concentradas em uma área de fácil acesso. No sistema de prumadas coletivas, os medidores, dependendo do local de instalação, precisam de um sistema que meçam o consumo à distância, principalmente quando instalados dentro dos apartamentos.

6 PRINCÍPIOS DE DIMENSIONAMENTO

Para o dimensionamento dos sistemas prediais de aquecimento de água quente, que engloba os sistemas de distribuição de água quente, água fria, abastecimento de gás e dos equipamentos, é necessário analisar, para cada aplicação, as diversas variáveis que envolvem estes sistemas.

6.1 Determinação da demanda de água quente

A determinação da demanda de água quente, assim como a demanda de outros insumos, é uma variável muito discutida nos diversos trabalhos sobre sistemas prediais, pois é a partir deste dado que é definido o dimensionamento das redes.

Para o cálculo da demanda deve ser considerado o número de apartamentos, a quantidade de pessoas por apartamento que utilizam água quente, totalizando a população local, e também o volume de água quente consumida por pessoa por dia.

Desses três parâmetros, apenas o número de apartamentos é possível determinar com precisão, os demais são estimativas de ocupação e consumo.

Com relação à ocupação, na maioria dos cálculos consultados, é definida a quantidade de pessoas conforme o número de dormitórios. Chaguri (2001) define como população padrão dos apartamentos duas pessoas por dormitório, porém, conforme consulta com alguns projetistas da cidade de São Paulo, o número de moradores considerado é igual ao número de dormitórios mais uma pessoa. Dessa forma, se um apartamento possui dois dormitórios, considera-se três moradores.

Porém, é preciso considerar as disparidades regionais e sociais, algo que não é incorporado na análise da população. Como uma referência das diferenças do número de moradores por classe social, segundo o IBGE (2009), a média do número de moradores por domicílio

particular permanente, na região sudeste, com $\frac{1}{4}$ de salário mínimo *per capita* é de 4,1, enquanto que para residências com mais de três salários mínimos *per capita*, a média é de 2,9 moradores por residência. É preciso considerar também, que a população de um edifício é variável ao longo do tempo.

A definição do consumo de água quente por habitante por dia leva em consideração os aparelhos que irão disponibilizar água quente para o usuário - tais como duchas e torneiras – e também o tempo e a frequência de uso por habitante por dia.

Cada aparelho deve possuir uma curva que relaciona a vazão com a pressão da rede. Dessa forma, é possível calcular a vazão real de cada aparelho conforme as características da instalação.

Como as vazões dos aparelhos variam conforme a pressão da rede, cada apartamento possui uma característica de vazão diferente. Na Figura 26 há um exemplo das características de uma ducha comercializada, com vazões que variam de 12 l/min a 52 l/min.

Figura 26 – Curva de vazão e pressão de um modelo de ducha “X”

Fonte: Deca (2009)

Consultando as características de outras duchas comercializadas, na Figura 27, verifica-se que a curva varia de 8 l/min a 36 l/min. Entre essas duas curvas é possível calcular uma diferença de mais de 30%.

Figura 27 – Curva de vazão e pressão de um modelo de ducha “Y”

Fonte: Deca (2009)

Conforme a Norma ABNT NBR 5626 (1999), a pressão dinâmica mínima nos pontos de utilização é de 0,5 kgf/cm² (no caso de ducha) e a pressão estática máxima é de 40 kgf/cm². Por isso, os valores de pressão conforme o andar do apartamento variam consideravelmente, podendo chegar a 4 vezes mais nos andares com maiores pressões. A Norma ABNT NBR 5626 (1999) utiliza como referência para cálculo as vazões de ducha igual a 0,20 l/s, que representa 12 l/min.

Contudo, os edifícios novos, na entrega dos apartamentos, nem sempre possuem duchas instaladas, ficando de responsabilidade do proprietário a instalação desses aparelhos. Dessa forma, há um descontrole dos aparelhos instalados, agregado com a falta de informação das características técnicas das duchas na hora da compra. O mesmo problema ocorre com a substituição das duchas ao longo da vida útil da edificação, sem a possibilidade de um controle do projetista, construtor ou condomínio, o que poderia evitar uma demanda não prevista.

As características de consumo, que envolvem a frequência e o tempo de utilização dos aparelhos não são possíveis de se determinar com precisão, pois as variáveis envolvem cultura, educação de uso, rotinas diárias, idade, condições climáticas etc. Para o uso destas informações são utilizados dados empíricos de técnicos especialistas na área e estudos pontuais.

Dessa forma, podemos expressar a demanda de água quente por dia de um edifício da seguinte forma:

$$D = (N_{\text{apto}} \times N_{\text{pessoas}}) \times \sum (Q_{\text{aparelho}} \times F_{\text{uso}} \times T_{\text{uso}})$$

D	demanda de água quente por dia (litros por dia)
N_{apto}	número de apartamentos no edifício
N_{pessoas}	número de moradores por apartamento
Q_{aparelho}	vazão do aparelho de consumo (litros por segundo)
F_{uso}	frequência de uso do aparelho por pessoa por dia
T_{uso}	tempo de uso do aparelho por pessoa

6.2 Análise do Fator de Simultaneidade no sistema central de aquecimento

O Fator de Simultaneidade é um coeficiente de minoração utilizado em dimensionamento de redes de gás combustível e água. É utilizado em trechos de rede que alimentam mais que um ponto de consumo e onde não existem relações de uso dos aparelhos destes pontos, o que faz com que a quantidade de aparelhos ligados ao mesmo tempo seja uma variável probabilística.

A importância do fator de simultaneidade em sistemas prediais é descrito por Gonçalves e Graça (1986) da seguinte forma:

“Se considerarmos todos os pontos de utilização funcionando simultaneamente, o dimensionamento das tubulações se resumiria à aplicação de Mecânica dos Fluidos, cujos desenvolvimentos teóricos atingiram níveis avançados, em aspectos referentes aos problemas de escoamento em condutos forçados. No entanto, é bastante improvável que todos os pontos de utilização estejam funcionando simultaneamente e a realização de um projeto baseado em tão rara circunstância conduziria à soluções francamente anti-econômicas, pois as instalações estariam, em grande parte do tempo, ociosas.”

Dessa forma, quando dimensionado sistemas centrais coletivos, é incorporado nos cálculos esse fator de minoração, com o objetivo de otimização no uso de água quente.

Porém, em cada subsistema que consiste o sistema predial de aquecimento de água, existe uma metodologia de aplicação do fator de simultaneidade, apesar de trabalharem com a mesma característica de demanda.

Na Norma ABNT NBR 7198 (1993), de rede de distribuição predial de água quente, a única citação sobre o dimensionamento é que “*As tubulações devem ser projetadas e executadas tendo em vista as particularidades do tipo de material escolhido e especificado pelo projetista.*”, não definindo parâmetros de cálculo e dimensionamento. Neste caso é utilizada como referência a Norma ABNT NBR 5626 (1999), de rede de distribuição predial de água fria, onde o método de dimensionamento está baseado na introdução de “pesos” aos diversos pontos de consumo, conforme a característica de vazão. Somado os “pesos” da rede à jusante, é extraída a raiz quadrada dessa somatória e multiplicada por 0,3.

Essa metodologia gera dúvidas com relação às características do sistema de distribuição de água fria, pois, conforme Gonçalves (2008) há uma mudança de concepção de projeto. No passado, os projetos eram concebidos com a alimentação dos pontos de consumo por meio de uma prumada de alimentação para cada “região” de consumo, mantendo aparelhos com características de funcionamento similares em uma mesma prumada.

Atualmente, devido à necessidade de individualização de água, os projetos são concebidos com redes que devem abastecer as unidades autônomas com apenas uma entrada de alimentação, possibilitando a instalação de medidores individuais, porém, atendendo aparelhos com características de funcionamento diferentes, não sendo acompanhado pelos métodos de dimensionamento, inclusive os fatores de simultaneidade.

O sistema de distribuição de água quente, além de não acompanhar as mudanças de conceitos de projetos, é baseado na mesma metodologia de cálculo do sistema de distribuição de água fria, apesar das diferenças de demanda e características dos aparelhos.

A Norma ABNT NBR 15526 (2009), de redes de distribuição interna para gases combustíveis em instalações residenciais e comerciais, define o fator de simultaneidade baseado na potência instalada dos aparelhos, independentemente da quantidade de aparelhos.

Quando dimensionado uma rede de distribuição de gás para o atendimento de aquecedores de água, o fator de simultaneidade não condiz com o coeficiente de minoração aplicado às redes de distribuição de água fria e quente.

6.2.1 Estudo de caso de análise do Fator de Simultaneidade

Para comparar as demandas e os fatores de simultaneidade de projeto com a demanda real, foi realizado um estudo, em um condomínio de apartamentos localizado na região oeste da cidade

de São Paulo, por um período de um ano e dois meses. Analisou-se o consumo individual de gás natural para aquecedores a gás de 128 apartamentos residenciais, divididos em quatro torres de oito andares com quatro apartamentos por andar.

O estudo consistiu em coletar, durante o período de dezembro de 2006 a fevereiro de 2008, medições dos consumos de gás natural de todos os apartamentos, por meio de sistemas de medição remota, programado para o registro das informações com intervalo de um minuto.

Durante todo o período de análise foi identificado os pontos de maior consumo da rede de distribuição de gás, o que caracteriza a vazão crítica da rede. Foi elaborado um gráfico (Gráfico 3) com as informações unificadas de todas as unidades de consumo.

Gráfico 3 – Consumo de gás natural ao longo do dia

Fonte: Elaboração do autor

Neste gráfico, do dia 29 de Agosto de 2007, foi identificada a maior vazão do período analisado, com a vazão de 0,49 m³/min, registrada às 06:28h.

Na mesma estrutura de distribuição de gás natural foram dimensionadas as vazões que seriam consideradas em projeto, conforme a Norma ABNT NBR 15526 (2009). O condomínio possui apartamentos de três dormitórios com dois banheiros cada, que devem ser abastecidos por aquecedores a gás que atendem simultaneamente ao consumo de duas duchas, duchas estas que possuem, conforme informações de projetistas, potência aproximada de 28.800 kcal/h.

Somado com a potência do fogão, que segundo a Norma ABNT NBR 15526 (2009) podemos considerar 11.000 kcal/h, teremos em cada apartamento uma potência instalada de aparelhos a

gás de 39.800 kcal/h. Multiplicada a potência individual pelo número de apartamentos, num total de 126 unidades, tem-se no condomínio a potência instalada de 5.094.400 kcal/h.

Para esta potência, segundo a Norma ABNT NBR 15526 (2009), é usado um fator de simultaneidade de 23%, o que representa, para cálculo, a potência de 1.171.712 kcal/h. Com o poder calorífico inferior (PCI) do gás natural igual a 8.600 kcal/m³, tem-se uma vazão calculada de 136,24 m³/h, ou 2,27 m³/min.

Comparando as vazões totais de projeto (2,27 m³/min) com as vazões totais medidas (0,49 m³/min) a diferença é de quatro vezes mais nas vazões de projeto, o que comprova a tendência de superdimensionamento das redes.

Neste exemplo específico, é possível verificar que as metodologias de cálculo e os fatores de simultaneidade aplicados não conseguem atender com precisão todas as variações possíveis de um sistema, o que exige revisões constantes nestas metodologias e a implantação de sistemas que permitem gerir o uso, conforme a infraestrutura disponível.

6.3 Dimensionamento dos equipamentos

Os dimensionamentos dos equipamentos influem diretamente sobre os custos da infraestrutura e os do consumo de energia associado ao abastecimento de água quente. Para a definição do equipamento a ser considerado no projeto é preciso conhecer as características de funcionamento de cada um.

6.3.1 Aquecedor de passagem

Os aquecedores de passagem, devido às suas características de funcionamento e limitações, são dimensionados conforme a demanda instantânea dos pontos de consumo no momento mais crítico de uso, o “horário de pico”.

A quantidade de pontos simultâneos de uso não é em função da quantidade de pontos com disponibilidade de água quente, e sim da finalidade do ponto e dos hábitos dos usuários. Como exemplo, um apartamento com quatro dormitórios e quatro banheiros, pode haver apenas um casal morando, portanto, o número de pontos simultâneos pode ser apenas dois. Além disso, é preciso considerar a distribuição do horário de banho de cada morador.

A potência a ser adotada para o aquecedor deve levar em consideração a vazão de uso dos pontos de consumo que serão utilizados simultaneamente, a temperatura de banho a ser considerada, a temperatura ambiente e as perdas da rede de distribuição de água quente.

Para definir a potência do aquecedor de passagem pode-se utilizar a seguinte fórmula:

$$Q = \left[\frac{m_{\text{máxima}} \times 60 \times c \times (T_{\text{consumo}} - T_{\text{água fria}})}{\eta} \right] + \text{perdas} \quad (1)$$

onde,

Q	potência nominal do(s) aquecedor(es) em kcal/h;
$m_{\text{máxima}}$	vazão máxima de água demandada simultaneamente, em litros/min;
c	calor específico da água, podendo ser considerado 1 kcal/kg x °C;
T_{consumo}	temperatura de consumo de utilização em °C;
$T_{\text{água fria}}$	temperatura da água na entrada do aquecedor em °C;
η	rendimento do aquecedor de passagem (%).

As perdas podem ser calculadas por meio das características dos sistemas, da distância do aquecedor até o ponto mais distante, dos materiais e dos isolantes térmicos, conforme descrito no item 4.2.

A potência e o rendimento do aparelho podem ser consultados na tabela de eficiência divulgada pelo INMETRO, por meio do PBE, para aparelhos a gás submetidos a ensaios específicos conforme as Normas ABNT NBR 8130 (2004) e ABNT NBR 10674 (1989). Porém, é preciso considerar no dimensionamento que os ensaios são realizados para uma diferença de temperatura de 20°C entre a entrada e saída de água no aquecedor, ou seja, para uma temperatura de água quente de 38°C a temperatura da água na entrada do aquecedor é de 18°C (sem considerarmos as perdas térmicas na distribuição de água). Corrigindo as temperaturas conforme as características climáticas da região, a capacidade do aquecedor pode diminuir ou aumentar.

Outro parâmetro que deve ser analisado é a temperatura da água fria e a temperatura da água quente para banho. Para o cálculo da temperatura da água quente para banho devem ser consideradas as características de uso da água quente e a temperatura ambiente. Contudo as temperaturas de banho podem ser caracterizadas como específicas para cada usuário, devido à percepção de conforto individual.

Com relação a água fria, alguns fabricantes e projetistas utilizam a temperatura ambiente como a temperatura da água na entrada do aquecedor. Essa metodologia é muito questionada, pois a temperatura da água fria pode não corresponder à temperatura ambiente.

Tendo como referência a temperatura ambiente igual à temperatura da água fria, é possível analisar a influência da temperatura na vazão máxima da água quente. Como exemplo, se considerarmos um aquecedor de passagem com a potência de 52.861 kcal/h e rendimento de 84%, funcionando para fornecer água quente para banho à temperatura de 40°C, independentemente da temperatura ambiente, calculando-se com base na média da temperatura ambiente da cidade de São Paulo, a variação da vazão do aparelho será conforme a Figura 28.

Meses	Média (°C) (1980 - 2001)	Vazão aquecedor (lts/min)
Janeiro	22,3	41,8
Fevereiro	22,4	42,0
Março	21,7	40,4
Abril	20,1	37,2
Maio	17,7	33,2
Junho	16,2	31,1
Julho	15,7	30,5
Agosto	16,6	31,6
Setembro	17,1	32,3
Outubro	19,0	35,2
Novembro	20,4	37,8
Dezembro	21,5	40,0

Figura 28 – Relação entre a temperatura ambiente da cidade de São Paulo e a vazão do aquecedor

Fonte: Elaboração do autor

Com a temperatura da água quente na saída do aquecedor fixa em 40°C, ao longo do ano, a vazão varia de 30,5 a 42,0 l/min. A referência fornecida pelo fabricante é uma vazão de 37,0 l/min, calculada por meio de uma diferença de temperatura de 20°C.

6.3.2 Aquecedor de acumulação

Diferentemente dos aquecedores de passagem, os aquecedores de acumulação não possuem restrições de vazão, sendo o limitante apenas o dimensionamento hidráulico da distribuição de água para os pontos de consumo. Contudo, a capacidade de fornecimento de água é limitada pela relação entre o volume armazenado e a potência de recuperação do queimador.

Inicialmente é preciso definir o volume de água quente a ser consumida durante um dia, sendo determinado em função do consumo total de água para banho, corrigido pela temperatura de banho e a temperatura que a água será armazenada. Dessa forma, quanto maior é a temperatura armazenada, menor é o volume necessário de água quente sendo, portanto:

$$V_{diária} = \frac{V_{individual} \times (T_{consumo} - T_{água.fria})}{(T_{armaz} - T_{água.fria})}$$

onde,

$V_{diário}$	volume de água quente consumido por dia, em litros;
$V_{individual}$	volume de consumo diário por apartamento, em litros;
$T_{consumo}$	temperatura de consumo de utilização em °C;
T_{armaz}	temperatura de armazenamento da água em °C ($T_{armaz} \geq T_{consumo}$);
$T_{água.fria}$	temperatura da água fria do local de instalação.

Com o volume de água quente necessário diariamente por apartamento, é determinado o consumo de água quente no horário de maior uso, ou o “horário de pico”, por meio da utilização de um Fator de Simultaneidade (FS), específico para cada aplicação, região e etc. Com isso, tem-se:

$$V_{pico} = V_{diário} \times FS_{individual}$$

onde,

V_{pico}	volume de água quente máximo consumido em uma hora em litros;
$V_{diário}$	volume diário consumido de água quente em litros;
$FS_{individual}$	fator que representa a simultaneidade de uso em uma hora;

Conforme a região de aplicação do sistema e as experiências de alguns especialistas há alterações dos valores do fator de simultaneidade adotado, pois não há referências Normativas.

Com o volume calculado para o horário de maior consumo é definido, deste total calculado, o volume a ser armazenado.

$$V_{armaz,gás} = V_{pico} \times F_{armaz}$$

onde,

$V_{armaz,gás}$	volume de armazenamento do sistema de aquecimento a gás em litros;
V_{pico}	volume de água quente máximo consumido em uma hora em litros;
F_{armaz}	fator de minoração para determinar o volume necessário para armazenamento.

Com estas características, os acumuladores são dimensionados em duas partes, contemplando a energia armazenada e a potência do queimador para recuperação do sistema. A energia armazenada é o volume do reservatório, considerando a estratificação térmica do reservatório, ou seja, o volume útil de armazenamento.

A diferença entre o volume de água quente necessário para suprir a demanda no instante de maior consumo e o volume armazenado é o volume que o queimador (ou aquecedor) deve fornecer neste período de tempo, dessa forma, tem-se:

$$V_{recup} = V_{diário} - V_{armaz,gás}$$

Onde,

V_{recup}	volume necessário para recuperação do sistema na hora mais crítica em litros/hora;
$V_{diário}$	volume de água quente consumido por dia, em litros;
$V_{armaz,gás}$	volume de armazenamento do sistema de aquecimento a gás, em litros;

Definido o volume necessário de recuperação do sistema é preciso calcular as potências do queimador (ou aquecedor) que atende a estas condições, da seguinte forma:

$$Q = V_{recup.} \times c \times \Delta T$$

onde:

Q	potência do(s) aquecedor(es) em kcal/h;
V_{recup}	volume necessário para recuperação do sistema na hora mais crítica em litros/hora;
c	calor específico da água, podendo ser considerado 1 cal/gx°C;

ΔT diferença de temperatura entre a água fria (que entra no reservatório) e a temperatura da água armazenada. Considera-se o valor da temperatura definida no cálculo da demanda de água quente;

Concluído o cálculo, é feita uma interação entre potência do queimador e volume armazenado, adequando os dados aos valores comercializados.

No caso do sistema de aquecimento conjugado, conforme o aquecedor a ser instalado, é dimensionada a bomba de acionamento do sistema, considerando as pressões de acionamento e as vazões máximas no aquecedor.

6.3.3 Sistema central coletivo

No sistema central de aquecimento coletivo, a metodologia para a determinação do reservatório e as potências dos queimadores (ou aquecedores) é similar ao sistema central privado de acumulação.

Porém, as demandas de água quente consideradas, assim como o fator de simultaneidade, devem contemplar as diversidades dos moradores de cada apartamento.

6.4 Análise das perdas térmicas do sistema

O sistema central coletivo, devido à necessidade de distribuição de água quente até os pontos de consumo, possui redes longas, que majoram as perdas térmicas do sistema.

Nessa distribuição de água, devido aos processos naturais de transferência de calor, há perdas térmicas da água quente com o ambiente, por meio da condução de calor nas paredes da tubulação entre a água quente e o ambiente.

Na ABNT NBR 7198 (1993), no item isolamento térmico, é citado que “*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.*”.

Para a análise das perdas térmicas nas tubulações, diversas variáveis deverão ser consideradas, e muitas delas são de difícil levantamento, tais com a real temperatura ambiente, a qualidade do isolamento térmico da tubulação, o cálculo das perdas em conexões (devido o não isolamento dessas peças) e a determinação da temperatura da água distribuída

em cada ponto da rede, variando conforme as perdas, a convecção, o processo de termossifão etc.

6.4.1 Perdas térmicas teóricas nas tubulações

As perdas de calor ocorrem por condução entre a água quente e o ambiente, e também por convecção entre a água quente e a parede interna do tubo, e ainda pelo ambiente e a parede externa do isolamento térmico (ou da tubulação quando inexistente isolamento). Para um aumento de eficiência do sistema de distribuição são isolados termicamente os tubos de condução do fluido.

Para a condução da água quente são utilizados materiais que resistem à temperaturas de água quente, compatíveis com as temperaturas de saída dos aquecedores de água.

Em geral, para isolamento é utilizado o polietileno expandido, específico para esta aplicação, havendo também outros materiais tais como, lã de vidro, lã de rocha etc. Comparativamente, foi elaborada a Tabela 5 com os coeficientes térmicos de cada material utilizado na condução de água quente em sistemas prediais e com o coeficiente de um isolante térmico.

Tabela 5 – Condutividade térmica dos materiais

Material/k	λ (kcal/hm°C)
Cobre	332
Aço galvanizado	32,8
PP-R	0,2064
CPVC	0,1376
PEX	0,36
Multicamada	0,19
Isolante: polietileno expandido	0,035

Fonte: Elaboração do autor

Como pode ser observado, o isolamento térmico é imprescindível, principalmente em tubulações metálicas, devido à alta capacidade de transferência de calor desses materiais.

Para análise comparativa das perdas térmicas destes materiais, considerando uma diferença de temperatura entre a água quente e o ambiente, é utilizada a seguinte equação:

$$\dot{q} = \frac{k.A}{L} \Delta T$$

onde,

q = fluxo de calor por condução (kcal/h)

k = condutividade térmica do material (kcal/h.m.°C)

A = área da seção por meio da qual o calor flui, medida perpendicular à direção do fluxo (m²)

L = espessura da parede (m)

ΔT = diferença de temperatura entre a parede interne e externa (°C)

O cálculo das perdas térmicas de uma rede de água quente, considerando a diferença de temperatura entre a água quente e o ambiente de 20 °C, por metro linear de tubo, é conforme Tabela 6.

Tabela 6 – Perdas térmicas, por metro linear, sem isolamento térmico

	Aço galvanizado			Cobre			CPVC			PP-R (PN20)			PEX		
Diâmetro nominal	Diâmetro interno (mm)	Espessura (mm)	Perdas (kcal/hm)	Diâmetro interno (mm)	Espessura (mm)	Perdas (kcal/hm)	Diâmetro interno (mm)	Espessura (mm)	Perdas (kcal/hm)	Diâmetro interno (mm)	Espessura (mm)	Perdas (kcal/hm)	Diâmetro interno (mm)	Espessura (mm)	Perdas (kcal/hm)
½"	16,8	2,25	15.387,93	14,0	0,50	584.084,41	11,8	1,60	63,76	13,2	3,40	50,35	16,2	1,90	192,86
¾"	22,4	2,25	20.517,24	20,8	0,60	723.152,13	18,0	2,00	77,81	16,6	4,20	51,26	20,4	2,30	200,62
1"	28,4	2,65	22.086,44	26,8	0,60	931.753,71	23,1	2,50	79,89	21,2	5,40	50,91	26,2	2,90	204,36
1 ¼"	37,1	2,65	28.852,36	33,6	0,70	1.001.287,56	28,5	3,20	77,00	26,6	6,70	51,49	32,6	3,70	199,30
1 ½"	42,3	3,00	29.058,45	40,4	0,80	1.053.437,96	33,7	3,80	76,67	33,2	8,40	51,26	40,8	4,60	200,62
2"	54,3	3,00	37.301,98	52,2	0,90	1.209.889,14	44,2	4,90	77,99	42,0	10,50	51,87	51,6	5,70	204,77
2 ½"	69,4	3,35	42.694,11	64,7	1,00	1.349.652,20	60,0	6,50	79,81	50,0	12,50	51,87	61,4	6,80	204,24
3"	82,2	3,35	50.568,53	77,0	1,20	1.338.526,78	73,1	7,90	80,00	60,0	15,00	51,87	73,6	8,20	203,02
4"	106,8	3,75	58.693,95	102,4	1,20	1.780.066,78	93,9	10,20	79,59	79,8	15,10	68,54	90,0	10,00	203,58

Fonte: Elaboração do autor

Considerando o isolamento térmico desses materiais, o cálculo do fluxo de calor é feito levando-se em conta os dois materiais (o tubo e o isolante) como resistências térmicas em série, e pode ser simplificado da seguinte forma:

$$T_1 - T_4 = \frac{\dot{q} \cdot L_1}{k_1 \cdot A_1} + \frac{\dot{q} \cdot L_2}{k_2 \cdot A_2}$$

Assim, considerando o isolamento térmico das tubulações de condução de água quente em polietileno expandido e espessura de 0,05 m, com uma diferença de temperatura entre a água quente e o ambiente de 20°C, é conforme Tabela 7.

Tabela 7 – Perdas térmicas, por metro linear, com isolamento térmico de 0,05 m do tipo polietileno expandido ($\lambda = 0,035 \text{ kcal/(m.k)}$)

Diâmetro nominal	Aço galvanizado			Cobre			CPVC			PP-R (PN20)			PEX		
	Diâmetro interno (mm)	Espessura (mm)	Perdas (kcal/hm)	Diâmetro interno (mm)	Espessura (mm)	Perdas (kcal/hm)	Diâmetro interno (mm)	Espessura (mm)	Perdas (kcal/hm)	Diâmetro interno (mm)	Espessura (mm)	Perdas (kcal/hm)	Diâmetro interno (mm)	Espessura (mm)	Perdas (kcal/hm)
½"	16,8	2,25	0,74	14,0	0,50	0,62	11,8	1,60	0,51	13,2	3,40	0,57	16,2	1,90	0,71
¾"	22,4	2,25	0,99	20,8	0,60	0,91	18,0	2,00	0,78	16,6	4,20	0,72	20,4	2,30	0,89
1"	28,4	2,65	1,25	26,8	0,60	1,18	23,1	2,50	1,00	21,2	5,40	0,92	26,2	2,90	1,15
1 ¼"	37,1	2,65	1,63	33,6	0,70	1,48	28,5	3,20	1,23	26,6	6,70	1,14	32,6	3,70	1,42
1 ½"	42,3	3,00	1,86	40,4	0,80	1,78	33,7	3,80	1,45	33,2	8,40	1,42	40,8	4,60	1,78
2"	54,3	3,00	2,39	52,2	0,90	2,30	44,2	4,90	1,90	42,0	10,50	1,78	51,6	5,70	2,24
2 ½"	69,4	3,35	3,05	64,7	1,00	2,85	60,0	6,50	2,55	50,0	12,50	2,11	61,4	6,80	2,67
3"	82,2	3,35	3,62	77,0	1,20	3,39	73,1	7,90	3,09	60,0	15,00	2,51	73,6	8,20	3,19
4"	106,8	3,75	4,70	102,4	1,20	4,50	93,9	10,20	3,93	79,8	15,10	3,34	90,0	10,00	3,88

Fonte: Elaboração do autor

Se a aplicação do isolamento térmico for realizada com uma espessura de 0,10 m, mantendo as mesmas condições anteriores, as perdas são conforme a Tabela 8.

Tabela 8 – Perdas térmicas, por metro linear, com isolamento térmico de 0,10 m, do tipo polietileno expandido ($\lambda = 0,035 \text{ kcal/(m.k)}$)

Diâmetro nominal	Aço galvanizado			Cobre			CPVC			PP-R (PN20)			PEX		
	Diâmetro interno (mm)	Espessura (mm)	Perdas (kcal/hm)	Diâmetro interno (mm)	Espessura (mm)	Perdas (kcal/hm)	Diâmetro interno (mm)	Espessura (mm)	Perdas (kcal/hm)	Diâmetro interno (mm)	Espessura (mm)	Perdas (kcal/hm)	Diâmetro interno (mm)	Espessura (mm)	Perdas (kcal/hm)
½"	16,8	2,25	0,37	14,0	0,50	0,31	11,8	1,60	0,26	13,2	3,40	0,29	16,2	1,90	0,36
¾"	22,4	2,25	0,49	20,8	0,60	0,46	18,0	2,00	0,39	16,6	4,20	0,36	20,4	2,30	0,45
1"	28,4	2,65	0,62	26,8	0,60	0,59	23,1	2,50	0,50	21,2	5,40	0,46	26,2	2,90	0,57
1 ¼"	37,1	2,65	0,82	33,6	0,70	0,74	28,5	3,20	0,62	26,6	6,70	0,58	32,6	3,70	0,71
1 ½"	42,3	3,00	0,93	40,4	0,80	0,89	33,7	3,80	0,73	33,2	8,40	0,72	40,8	4,60	0,89
2"	54,3	3,00	1,19	52,2	0,90	1,15	44,2	4,90	0,96	42,0	10,50	0,91	51,6	5,70	1,13
2 ½"	69,4	3,35	1,53	64,7	1,00	1,42	60,0	6,50	1,30	50,0	12,50	1,08	61,4	6,80	1,34
3"	82,2	3,35	1,81	77,0	1,20	1,69	73,1	7,90	1,58	60,0	15,00	1,29	73,6	8,20	1,61
4"	106,8	3,75	2,35	102,4	1,20	2,25	93,9	10,20	2,01	79,8	15,10	1,71	90,0	10,00	1,96

Fonte: Elaboração do autor

Dessa forma, a comparação das perdas térmicas nas tubulações de água quente sem e com isolamento térmico, de 0,05 m e 0,10 m, são conforme o Gráfico 4.

Gráfico 4 – Comparativo das perdas térmicas com e sem isolamento

Fonte: Elaboração do autor

Comparando as três situações, pode-se verificar os ganhos de eficiência com os isolamentos térmicos em sistemas prediais de água quente. O aumento das perdas resulta em aumento de consumo de gás combustível para manter o sistema de distribuição sempre aquecido.

Além do isolamento térmico, é possível reduzir as perdas térmicas com a redução da temperatura da água que circula constantemente no sistema, diminuindo a diferença de temperatura entre a parede interna da tubulação e a parede externa do tubo (ou do isolamento), reduzindo assim o fluxo de calor por condução.

No Gráfico 5 foi simulado o aumento do fluxo de calor com o aumento da diferença de temperatura entre a água quente estagnada no sistema e o ambiente.

Gráfico 5 – Relação de perdas na tubulação e a diferença de temperatura entre a água e o ambiente

Fonte: Elaboração do autor

Para cálculos precisos é necessário considerar que o sistema de recirculação possui temperaturas variadas ao longo da rede, desde a saída até a entrada no reservatório, que normalmente é em menor temperatura.

Além das perdas relacionadas à variação da temperatura da água quente, podem ser analisadas as perdas em relação à variação da temperatura ambiente. Foram calculadas as perdas - considerando-se no sistema de recirculação uma temperatura da água fixa em 40 °C - para a variação da temperatura média mensal da cidade de São Paulo, ao longo de um ano, conforme o Gráfico 6.

Gráfico 6 – Variação das perdas térmicas com a temperatura ambiente – média mensal em São Paulo.

Fonte: Elaboração do autor

Levando-se em conta apenas as variações de temperatura ambiente, as perdas térmicas variam mais de 35%.

É importante ressaltar que as variações da temperatura do ambiente externo não influem necessariamente na mesma proporção, na temperatura ao redor da tubulação, que geralmente está embutida.

6.4.1.1 Estudo de caso relacionando consumo de gás e temperatura ambiente

Foram realizados alguns levantamentos de consumo de gás em edifícios com diferentes características; tais levantamentos, considerando a temperatura média na cidade de São Paulo, verificam a relação entre o consumo e a temperatura ambiente e mostram que há variações nos consumos, variações estas que estão incorporadas no volume de gás, tais como o tempo e a temperatura da água de banho.

Na primeira análise, foi verificado o consumo de gás de um edifício residencial próximo ao centro da cidade de São Paulo. Este edifício possui 20 andares e quatro apartamentos por andar, sendo que cada apartamento possui quatro dormitórios e três banheiros.

Gráfico 7 - Consumo de gás do Edifício Del Rey

Fonte: Elaboração do autor

É importante observar as variações no consumo de gás no mês de Julho, que podem possivelmente ser explicadas pelo mês de férias escolares, onde parte da população do edifício viaja.

Em outro edifício residencial com 10 andares e dois apartamentos por andar, com quatro dormitórios e três banheiros, o comportamento do consumo de gás em relação à temperatura ambiente é o mesmo, com reduções significativas nos períodos de férias (Julho, Dezembro e Janeiro).

Gráfico 8 - Consumo de gás do Edifício Belle Époque

Fonte: Elaboração do autor

De maneira similar, o Gráfico 9 apresenta o consumo de gás e a temperatura para um hotel com 32 andares e 20 apartamentos por andar, onde as características de consumo são distintas dos edifícios residenciais.

Gráfico 9 - Consumo de gás do Hotel International Plaza Transamérica

Fonte: Elaboração do autor

É possível verificar que o consumo de gás está relacionado, além da temperatura ambiente, com a demanda de hóspedes, que varia ao longo do ano. O hotel analisado, devido à sua localização, próxima a centros comerciais, tem a população variável em função dos principais eventos comerciais, tais como fóruns, seminários etc., com períodos de férias apenas nos meses de Dezembro e Janeiro.

Mesmo com características distintas dos edifícios residenciais, os hotéis também possuem variação de consumo conforme as variações da temperatura ambiente, o que pode caracterizar a relação com as perdas térmicas inerentes à infraestrutura do sistema.

Verifica-se que as diversas variáveis do sistema, tais como a temperatura ambiente externa à rede, a qualidade na instalação dos isolamentos térmicos, a análise das perdas térmicas em conexões etc., dificultam um tratamento teórico preciso. Devido a isso, foram analisadas algumas instalações para quantificar as perdas térmicas reais.

6.4.2 Perdas térmicas do sistema hidráulico em estudo de caso

Para comparar as perdas térmicas teóricas do sistema de aquecimento central coletivo, demonstrado em 6.4.1, com os valores reais, foram estudados alguns condomínios residenciais, analisando a variação do consumo de gás relacionado às variações nas temperaturas do reservatório térmico.

O primeiro caso analisado foi um condomínio com dois edifícios de 32 andares cada, e dois apartamentos por andar. Devido à altura do edifício, com mais de noventa metros, o sistema de distribuição de água quente é dividido em três zonas de pressão, porém, abastecido com apenas um reservatório localizado na cobertura do edifício. Há, por edifício, dois sistemas de aquecimento instalados, sendo que cada um abastece metade dos apartamentos, finais ímpares e pares.

Cada sistema de aquecimento, que é do tipo conjugado, é composto de um reservatório térmico de 1.500 litros e três aquecedores de passagem com 51.600 kcal/h os quais mantêm o reservatório aquecido por meio de um termostato que aciona e desliga a bomba de recirculação dos aquecedores.

A rede de distribuição de água quente é do tipo descendente, onde o abastecimento ocorre de cima para baixo, com sistemas de recirculação que mantêm toda a rede aquecida permanentemente.

Neste edifício foi levantado o consumo diário de gás natural nos dois medidores de entrada, um para cada edifício, que inclui no consumo o sistema de aquecimento central e o consumo para cocção.

O sistema estava configurado para manter a temperatura do reservatório entre 45°C e 50°C e a recirculação entre 40°C e 45°C, medida no ponto mais distante do reservatório. O consumo de gás foi monitorado todos os dias da semana, conforme a Figura 29.

Figura 29 – Consumo de gás natural por dia durante uma semana

Fonte: Elaboração do autor

Esse levantamento foi realizado pelo período de uma semana, para possibilitar a comparação com as alterações, sem haver significativas mudanças climáticas que poderiam influenciar os resultados. Além disso, é possível verificar oscilações conforme o dia da semana, o que representa em uma mesma população variações de consumo, conforme o comportamento de uso. Nesta primeira semana o consumo global de gás natural foi de 1.112,25 m³.

Em seguida, foram reduzidas as temperaturas dos reservatórios, de 45°C para 40°C, e do sistema de recirculação, de 40°C para 38°C. A Figura 30 mostra os resultados obtidos na segunda semana de testes.

Figura 30 – Consumo de gás por dia durante a segunda semana

Fonte: Elaboração do autor

Com as alterações realizadas, o consumo total de gás natural na segunda semana foi de 900,25 m³, o que representa uma redução na média de consumo de gás de 212,03 m³, aproximadamente 20% de economia.

De forma a quantificar apenas as perdas no sistema de distribuição de água quente, a temperatura mínima do sistema de recirculação foi elevada em 2°C, passando para 40°C, conforme a Figura 31.

Figura 31 – Consumo de gás por dia durante a segunda semana

Fonte: Elaboração do autor

Com a alteração, o consumo de gás variou de 900,25 para 922,52 m³, um aumento de quase 2,5%. Neste caso específico, cada grau de aumento da temperatura representou um consumo de 11,13 m³ de gás por semana, ou R\$ 131,01⁴. Nas três semanas analisadas, a temperatura média na cidade de São Paulo foi praticamente constante, de acordo com o CIIAGRO⁵.

O segundo teste foi em um apartamento situado na cidade de Ribeirão Preto, onde foram realizados dois testes no sistema de recirculação de um sistema central privado, com uma rede de 74 metros de comprimento e diâmetro da tubulação de 3/4". O teste teve como objetivo quantificar as perdas térmicas desse sistema, variando em cada teste a temperatura do reservatório. Os resultados são apresentados na Tabela 9.

⁴ Considerando os custos de gás natural, na área de concessão da Comgás, a R\$ 2,942809/m³ com ICMS.

⁵ CIIAGRO – Instituto Agrônomo, banco de dados de temperaturas médias.

Tabela 9 – Testes no sistema de recirculação

Termostato (°C)	Saída do aquecedor (°C)	Tempo (horas)	Vazão de consumo (l/min)	Recirculação	Consumo GLP (m³)
35	35	23	0	Ligado	24
41	56	21:30	0	Ligado	52

Fonte: Elaboração do autor

No primeiro dia de teste, o reservatório foi programado para a temperatura de 35°C, funcionando durante 23 horas sem consumo de água quente. O consumo registrado de GLP foi de 24 m³, o que representou 1,0435 m³/h. Como não houve consumo de água quente, o consumo de gás representa apenas as perdas térmicas do sistema (rede de distribuição e aquecedor).

No segundo dia de teste, o reservatório foi programado para a temperatura de 41°C, funcionando durante 21:30h, registrando um consumo de 2,4186 m³/h, ou seja, 132% de aumento se comparado ao primeiro teste.

Ao relacionar o consumo de gás nas duas situações com a temperatura do reservatório, considerando que não houve variações significativas da temperatura ambiente, conforme dados do CIIAGRO⁶, a variação foi de 0,2291 m³/h°C (80,88 kcal/mh°C⁷).

Comparando com o consumo de gás registrado nos ensaios - um fogão de 6 bocas, com forno, funcionando com a capacidade máxima consome 0,458 m³/h de gás GLP, segundo a ABNT NBR 15526 (2009) - verifica-se que o sistema de recirculação representa a metade do consumo de um fogão funcionando vinte e quatro horas por dia.

6.5 Impacto do dimensionamento na infraestrutura das redes de gás

Para a análise do impacto do dimensionamento na infraestrutura, este trabalho está restringindo a análise para as redes de gás, apenas com o objetivo de demonstrar as variações

⁶ CIIAGRO – Instituto Agrônomo, banco de dados de temperaturas médias.

⁷ Considerando o poder calorífico do gás (PCI) do GLP igual a 24.000 kcal/m³.

de custo em relação ao dimensionamento. O mesmo conceito é aplicável a outros insumos, tais como a água fria, água quente, energia elétrica e etc.

Um sistema de distribuição de gás é dimensionado e projetado para atender à determinada demanda, conforme as características definidas no projeto. Porém, a compra e a gestão dos equipamentos e acessórios, muitas vezes, são de responsabilidade dos moradores, o que impede o controle do projetista no cumprimento ou não das especificações de projeto.

Devido à falta de controle das instalações, os projetistas são obrigados a superdimensionar as redes, o que onera o custo do sistema, prevenindo-se de um possível subdimensionamento, que pode gerar riscos⁸ para os usuários e os equipamentos.

Na análise do impacto do dimensionamento dos equipamentos na infraestrutura das redes de gás foi considerado o dimensionamento - com sistema de distribuição individual (medidores independentes no térreo e uma tubulação para cada apartamento) - de um edifício com 16 andares, com quatro apartamentos por andar, totalizando 64 apartamentos, sendo que cada apartamento possui dois banheiros que podem ser utilizados simultaneamente.

Na primeira situação foi dimensionada uma rede de gás para atender um equipamento com a potência consoante a necessidade do usuário e, portanto, capaz de atender até dois pontos de consumo simultâneos, ou seja, com potência aproximada de 29.000 kcal/h. Somando-se a potência do aquecedor com a potência de um fogão com seis bocas e forno, de 11.000 kcal/h, a potência instalada em cada apartamento é de 40.000 kcal/h.

Na segunda situação foi dimensionado um aquecedor a gás, prevendo-se que os moradores pudessem instalar aparelhos com capacidade acima do necessário. Definindo a pior situação, com o maior aquecedor homologado pelo INMETRO, foi escolhido um aparelho com potência aproximada de 45.000 kcal/h. Somando-se com a potência de um fogão de seis bocas com forno, de 11.000 kcal/h, a potência instalada em cada apartamento é de 56.000 kcal/h.

Foi construído, para este edifício específico, um gráfico com a variação dos custos de materiais e mão-de-obra, conforme a potência instalada nos apartamentos (Gráfico 10).

⁸ Os riscos estão associados à possibilidade de baixa pressão na rede, que pode ocasionar a extinção da chama nos aparelhos a gás, principalmente em fogões que não possuem dispositivos de detecção de chama, não bloqueando o fornecimento e ocasionando vazamento no ambiente.

Gráfico 10– Relação entre o custo de instalação de redes individuais de gás e a potência instalada

Fonte: Elaboração do autor

Comparando os custos de cada alternativa, com base no Gráfico 10, a instalação de um aquecedor a gás de 29.000 kcal/h tem um custo estimado de R\$ 139.679,04. No caso da instalação de um aquecedor a gás de 45.000 kcal/h, um custo estimado de R\$ 191.324,95. Uma diferença de R\$ 51.645,91 no custo total de implantação, ou seja, R\$ 806,97 por apartamento.

Em muitos casos, o acréscimo realizado para as redes, para suportar uma demanda superior a de projeto, é maior do que o custo dos equipamentos, o que pode ser uma vantagem para o construtor entregar os apartamentos com os aquecedores instalados. Mesmo assim, não há garantias de que o morador troque o aparelho instalado por um de potência maior.

Através da análise da curva de custos em função da potência dos aquecedores instalados, é possível determinar qual é o melhor aquecedor para determinadas configurações de redes, pois, para determinada configuração é possível reduzir a potência previamente dimensionada, provocando significativas reduções de custos; ou aumentar as potências, introduzindo novas disponibilidades de uso sem influenciar nos custos da rede, como é o caso anteriormente simulado conforme Gráfico 10.

Considerando-se a metodologia do cálculo anteriormente feito, porém, utilizando os custos de uma rede de distribuição de gás do tipo coletivo, conforme Gráfico 11, o custo de material e

mão-de-obra da instalação é de R\$ 30.517,62 para a potência instalada de 40.000 kcal/h, e R\$ 33.648,56 para a potência instalada de 56.000 kcal/h.

Gráfico 11– Relação entre o custo de instalação de redes coletivas de gás e a potência instalada

Fonte: Elaboração do autor

Apesar dos custos de instalação do sistema de distribuição coletiva representar apenas 20% dos custos de uma rede de distribuição individual, calculado neste caso específico, é preciso incorporar os custos do sistema de medição remota, possibilitando o rateio do consumo entre os moradores.

O superdimensionamento dos equipamentos, além de encarecer a infraestrutura de distribuição de gás, gera mais custos para a aquisição dos acessórios, entre eles o medidor de consumo. Se a rede está projetada para atender, em cada residência, uma potência de 40.000 kcal/h, isso representa uma vazão de gás natural de 4,65 m³/h. Com essa vazão é necessário instalar um medidor do tipo G-4, que tem a capacidade de fornecimento de até 6,0 m³/h.

Se a rede for dimensionada para atender a uma potência de 56.000 kcal/h, a vazão máxima em cada residência com gás natural é de 6,51 m³/h, sendo necessária a instalação de um medidor do tipo G-6, que tem a capacidade de vazão máxima de 10 m³/h.

Pesquisando os preços de medidores do tipo diafragma com o fabricante Actaris, para entrega na cidade de São Paulo no dia 30 de Janeiro de 2009, o custo para a aquisição de cada

medidor é de R\$ 251,13; para o medidor tipo G-6 e R\$ 543,13; para o medidor tipo G-10, uma diferença de 116,3 %.

7 GERENCIAMENTO DE CENTRAIS DE AQUECIMENTO COM ANÁLISE DAS NECESSIDADES TÉRMICAS PARA CONSUMO

Um sistema de aquecimento central coletivo está baseado na reservação de água quente para atender o consumo do sistema ao longo da vida útil da edificação. Para esse sistema atender de forma satisfatória o consumo a qualquer momento do dia, deve ser dimensionado prevendo o período mais crítico.

Com isso o sistema funciona concomitantemente, prevendo a maior demanda, o que representa a manutenção de um reservatório com temperaturas altas no aguardo de um consumo específico de um determinado momento.

No Gráfico 12 é possível observar um exemplo de curva de consumo de gás para aquecimento de água, consequentemente, o consumo de água quente durante vinte e quatro horas. Utilizando este caso como exemplo, o dimensionamento do sistema de aquecimento de água utilizaria o horário de maior consumo, acrescido das perdas térmicas inerentes ao sistema e de uma margem de segurança, prevendo uma mudança de comportamento da população de forma pontual.

Gráfico 12— Exemplo de consumo de água quente e previsão do reservatório

Fonte: Elaboração do autor

Com isso, excluindo apenas o momento de maior consumo, há uma carga térmica armazenada para uma demanda muito abaixo da necessária, o que representa temperaturas mais elevadas na maioria do tempo e, conseqüentemente, maiores perdas térmicas do sistema.

7.1 Conceito do sistema de gestão

O sistema de gestão de centrais de aquecimento permite a adaptação de sistemas, anteriormente considerados fixos, para sistemas adaptáveis à demanda instantânea.

Para isso é necessário analisar todos os componentes e equipamentos envolvidos para redimensionar os sistemas de aquecimento. Como por exemplo, a população existente, o perfil de consumo, as características das peças de utilização de água e demais variáveis que são apenas definidas durante a ocupação, atualizando os parâmetros utilizados para a definição da estrutura no projeto.

Além do redimensionamento do sistema conforme a demanda instantânea do sistema, variando ao longo do mês, da semana, do dia e durante horas, de forma a adequar a disponibilidade de água quente ao consumo, o sistema pode contribuir com dados precisos para futuras mudanças de parâmetros para dimensionamento da infraestrutura.

7.2 Implantação de monitoração e gestão em sistemas centrais coletivos de água quente

Foi desenvolvido um programa computacional para gerenciar as centrais de aquecimento coletivo, por meio de programação utilizando a linguagem *Pascal*. Este programa computacional recebe as informações dos termostatos digitais localizados nas centrais de aquecimento e as registra em um banco de dados. Além disso, conforme a configuração selecionada, o programa computacional envia para o termostato digital as temperaturas que o sistema deve operar, independentemente do dia e horário.

A implantação de um sistema de gestão deve ser realizada após uma análise prévia da infraestrutura instalada, das características do consumo e de um levantamento dos possíveis ganhos de eficiência no sistema.

Pode-se simplificar as etapas de implantação, monitoração e gestão do sistema conforme a Figura 32.

Figura 32 – Esquema para implantação da gestão de centrais de aquecimento

Fonte: Elaboração do autor

A primeira ação para a implantação de um sistema de gestão de centrais de aquecimento coletivo de água quente é o levantamento das características construtivas do edifício, coletando as informações sobre altura, número de andares, número de apartamentos, número de banheiros, localização e população existente. Em seguida, é feita a análise da infraestrutura do edifício, considerando toda a rede de distribuição de água fria e quente, toda a rede de abastecimento de gás combustível e as características do sistema de aquecimento de água, incluindo localização e especificação dos aparelhos.

Com todos os dados construtivos, inclusive dados de demanda existente, é dimensionada uma central de aquecimento coletivo de água, teórica, simulando um projeto específico de aquecimento com os dados reais de consumo. Com isso, é feita uma análise comparativa entre

os dois sistemas, o sistema teórico baseado nos dados coletados de consumo real, e o sistema instalado que foi baseado em dados de projeto.

Observando as condições de instalação e as divergências entre o dimensionamento teórico com o instalado, foi feita uma avaliação das possibilidades de ganhos energéticos com a gestão do sistema. Essa avaliação deve considerar os valores da possível economia com o custo de instalação e gerenciamento do sistema.

Para o início da operação foi feita a instalação do software de monitoração e gerenciamento de sistemas de aquecimento em um computador que irá permanecer ligado constantemente. Ao ser instalado, o sistema começa a coletar informações das características de consumo do edifício.

Com os dados iniciais coletados é feita uma análise prévia da demanda de água quente, em função da população existente e das perdas térmicas teóricas conforme o material e isolamento térmico do sistema de distribuição de água quente.

O volume de água quente dimensionado é convertido em temperatura no reservatório conforme a relação entre a temperatura no sensor e a energia armazenada. Devido à complexidade da análise de estratificação térmica, em alguns casos são necessários testes em campo para determinar a correlação entre temperatura e energia armazenada.

Segundo as características de uso da água quente, é feita uma programação inicial no software, variando as temperaturas do reservatório consoante o horário do dia, sempre prevendo o aumento de temperatura (aumento da energia armazenada) nos horários de maior consumo.

Com o sistema monitorando o comportamento das temperaturas dos reservatórios são analisados os gráficos de resposta, e em seguida é redimensionado o sistema conforme os dados coletados, repetindo a sequência do fluxograma a partir do cálculo da demanda do sistema.

Esta análise e a alteração da programação do sistema são feitas constantemente, prevendo alterações no comportamento das pessoas, da população, variação dos aparelhos instalados etc.

Os dados coletados, além da função de gerenciamento, fornecem subsídios para a constante mudança nos cálculos de dimensionamento de sistemas prediais de água quente, com valores cada vez mais próximos da realidade.

7.2.1 Configuração dos sistemas implantados

Para verificar a eficácia do sistema de gestão foi instalado um sistema de monitoração e gestão de centrais de aquecimento em um edifício residencial, tipo flat, situado na cidade de São Paulo.

O edifício possui três zonas de pressão, devido à sua altura, baixa, média e alta. Para cada zona de pressão está instalado um sistema de aquecimento do tipo acumulação conjugado, contendo cada um reservatório de 1.500 litros com três aquecedores de passagem iguais, com potência de 1.320 kcal/min.

Para implementar o sistema de aquisição e gestão foram substituídos os termostatos digitais, em cada um dos reservatórios, por termostatos com saída digital, sendo que um programa computacional permite programar a temperatura mínima e máxima de cada reservatório.

Para avaliar as perdas térmicas do sistema foi utilizada a razão entre a variação de temperatura e o intervalo de tempo, sempre nos períodos sem consumo de água quente.

Na Tabela 10 são mostrados alguns parâmetros medidos, para cada nível de pressão: temperatura mínima e máxima (no interior do reservatório), condições para o acionamento e desligamento do aquecedor, e os instantes de início e fim desse funcionamento. Também é indicada a variação da temperatura em relação ao tempo, que permite comparar a redução das perdas térmicas de cada sistema.

Tabela 10 – Resultados de análise dos sistemas de aquecimento

	Baixo					Médio					Alto					Temp Ambiente (°C)
	T _{min} (°C)	T _{max} (°C)	H _{início}	H _{fim}	(°C/h)	T _{min} (°C)	T _{max} (°C)	H _{início}	H _{fim}	(°C/h)	T _{min} (°C)	T _{max} (°C)	H _{início}	H _{fim}	(°C/h)	
13/08/2007	44	45	03:44:08	04:04:44	2,91	43	45	04:48:00	05:03:28	7,76	43	45	04:54:11	05:02:26	14,55	19,5
14/08/2007	33	38	02:10:13	04:19:55	2,31	33	38	03:19:11	04:46:41	3,43	33	38	02:32:51	03:20:13	4,13	21
15/08/2007	33	38	01:19:51	03:28:32	2,33	33,5	38	04:12:47	05:28:58	3,54	33	38	03:37:47	04:30:17	5,71	21,2
22/08/2007	44	46	01:15:10	01:32:40	6,86	44	46	01:18:15	01:30:36	9,72	43	45	01:20:19	01:27:31	16,67	17,5
23/08/2007	33	38	02:52:01	04:31:51	3,00	33	38	02:37:36	03:59:57	3,64	33	38	02:21:08	03:02:18	7,29	20,9
28/08/2007	33	38	03:02:57	05:04:25	2,47	35	38	04:43:50	05:29:08	3,97	33	38	01:27:13	01:58:06	9,71	15,1
29/08/2007	33	38	02:27:30	04:10:31	2,91	33	38	03:38:35	04:56:52	3,83	33	38	04:25:58	05:13:21	6,33	15,2

Fonte: Elaboração do autor

A partir dos resultados apresentados na Tabela 10 é possível encontrar correlações entre os sistemas baixo, médio e alto e a temperatura ambiente. Os sistemas que possuem perdas de

temperatura menor, por tempo, são os sistemas que possuem menor comprimento de rede (sistema baixo), sendo que as características de consumo são idênticas. Calculado o consumo de gás por dia, nos dias que foram reduzidas as temperaturas, acrescentou-se uma redução de 29% do consumo global.

A redução de perdas ao longo do tempo pode ser identificada e quantificada apenas nos horários que não há consumo, neste caso durante a madrugada.

Nos demais horários, podem ser feitas análises dos dados de perdas por meio dos gráficos gerados pelo sistema, porém, são incorporados às curvas de temperatura os consumos, que não podem ser determinados apenas com as variações de temperaturas.

7.3 Configuração do sistema de monitoração e gestão

O sistema de monitoração deve, além de fornecer informações das temperaturas do reservatório, permitir alterações das configurações ao longo do dia, e imprimir as informações coletadas, de forma a criar subsídios para as intervenções no sistema.

A Figura 33 apresenta as imagens de um programa de monitoramento, com as temperaturas programadas para acionamento e desligamento dos aquecedores (linhas pretas) e a temperatura real do reservatório, no ponto onde está instalado o termostato. Neste exemplo é possível verificar as variações da programação da temperatura durante o dia, conforme a demanda da população.

Figura 33 – Comportamento da temperatura ao longo do dia

A partir do gráfico é possível identificar os horários onde é acionado o aquecedor (linha vermelha ascendente) e o consumo de energia (consumo e/ou perdas), e através do gradiente (ascendente ou descendente) é possível quantificar a energia acumulada ou consumida. Além

disso, é possível determinar os pontos onde os aquecedores não foram suficientes para atender a demanda do edifício, que é no ponto onde a temperatura do reservatório não consegue acompanhar a programação do sistema.

Porém, para o funcionamento eficiente do sistema, é necessário determinar as temperaturas de trabalho dos reservatórios mais adequadas à configuração da demanda do local a ser instalado.

Para a determinação das temperaturas ideais dos reservatórios é necessário determinar qual é a relação entre o ponto de medição da temperatura do reservatório e a energia armazenada.

Os reservatórios utilizados comercialmente possuem apenas um ponto onde é monitorada a temperatura do reservatório. Essa indicação é apenas uma referência de temperatura, não representando com exatidão qualquer referência do sistema. Devido à estratificação térmica do reservatório e às variações geométricas (diâmetro e altura), não é possível prever todas as temperaturas ao longo da altura do reservatório, e conseqüentemente a energia armazenada.

Com isso, novos estudos devem ser realizados para incorporar ao sistema de gestão, possibilitando maior precisão na determinação das temperaturas mais eficientes de trabalho.

8 CONCLUSÃO

A representatividade do consumo de energia aplicado ao setor residencial, principalmente para aquecimento de água para fins hidrossanitários, serve como incentivo para programas e estudos de eficiência específica para esta aplicação. Ao mesmo tempo, gera preocupações em função do tipo de energia mais comumente utilizada para esta finalidade, que é a utilização de eletricidade para a obtenção de calor a baixa temperatura, o que pode ser danoso ao sistema energético nacional.

O crescimento do consumo de gases combustíveis para o aquecimento de água no setor residencial, embora ainda tímido e sem incentivo, contribui decisivamente de modo a reduzir o consumo de gás natural destinado à produção de eletricidade.

A potencial disponibilidade de gás natural e de GLP possibilita uma significativa expansão da utilização destes gases no setor residencial. No entanto, hoje, o uso destes gases para o aquecimento de água ainda representa uma parcela muito pequena se comparado ao uso eletricidade.

Tendo como justificativa a sustentabilidade e a racionalização do uso de energia, dispositivos e equipamentos estão sendo incorporados aos sistemas hidráulicos, visando deste modo um melhor aproveitamento dos recursos naturais. Dentre essas ações, está a individualização do consumo de água - cada vez mais solicitada pelo consumidor, pois ele a enxerga como uma vantagem econômica - e a incorporação de sistemas de aquecimento solar de água, que são políticas que alteram as concepções de sistemas de aquecimento. São essas mudanças de concepção que podem induzir à incorporação de aquecimento central coletivo, no entanto, ela impõe também a necessidade de projetos adequados no que se refere às perdas térmicas.

Alterações dos conceitos de sistemas de aquecimento no país e a necessidade de otimização dos custos de instalação e operação têm exigido entendimentos mais precisos sobre o comportamento dos usuários, de modo a fornecer assim maiores informações para o dimensionamento e para a gestão dos sistemas.

O dimensionamento da infraestrutura é realizado a partir de estudos de demanda e de análise comportamental dos usuários, mas precisam ser constantemente atualizados conforme a evolução das tecnologias agregadas aos equipamentos. Essas análises necessitam também serem regionalizadas e bem específicas quanto às características sociais dos consumidores. A partir de ensaio realizado para a presente pesquisa, mostrou-se que há divergências dos fatores de simultaneidade com aqueles sugeridos nas Normas Técnicas de redes prediais de água fria, quente e gás.

Mesmo compreendendo a demanda de água quente, os parâmetros de cálculo implantados interferem apenas na infraestrutura do sistema, sendo, portanto, irreversível ao longo da vida útil da edificação, afetando assim muito pouco no consumo de energia.

Com a incorporação de novas tecnologias nos sistemas prediais é possível alterar o conceito de alguns elementos da infraestrutura, passando de estáticos para um sistema dinâmico e adaptável para as necessidades locais. As centrais de aquecimento coletivo permitem esta flexibilidade com a gestão da energia armazenada por meio da temperatura.

E para atender a esta necessidade de flexibilidade, é preciso incorporar sistemas que alterem o dimensionamento dos elementos variáveis, como é o caso de sistemas de gestão das centrais de aquecimento, de forma a adequá-las à demanda instantânea, evitando a manutenção de uma energia que não será consumida.

Com a realização dos ensaios de gerenciamento de centrais de aquecimento de água foi possível verificar a redução das perdas térmicas dos sistemas de distribuição sem prejuízo na qualidade do fornecimento de água quente para os usuários.

As alterações das temperaturas dos reservatórios permitiram compreender melhor o comportamento desses sistemas, especificamente nas configurações analisadas, fornecendo deste modo informações preciosas para futuros estudos e para uma possível revisão dos métodos de cálculo de determinação da demanda de água quente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE NETO, Cyro. *Um modelo do transporte de monóxido de carbono no sistema respiratório do corpo humano*. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS . ABNT NBR 7198: *projeto e execução de instalações prediais de água quente*. Rio de Janeiro, 1993.

_____. ABNT NBR 8130: *aquecedor de água a gás tipo instantâneo: requisitos e métodos de ensaio*. Rio de Janeiro, 2004.

_____. ABNT NBR 5626: *instalação predial de água fria*. Rio de Janeiro, 1998.

_____. ABNT NBR 13103: *instalação de aparelhos a gás para uso residencial: requisitos dos ambientes*. Rio de Janeiro, 2006.

_____. ABNT NBR 10542: *aquecedores de água a gás tipo acumulação:ensaio*. Rio de Janeiro, 1988.

_____. ABNT NBR 10674: *aparelhos elétricos de aquecimento de água não-instantâneo de uso doméstico e similar – Requisitos de segurança*. Rio de Janeiro, 1989.

_____. ABNT NBR 15526: *redes de distribuição interna para gases combustíveis em instalações residenciais e comerciais: projeto e execução*. Rio de Janeiro, 2009.

BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL. Brasília: Ministério de Minas e Energia, 2008

BORGES, T. P. de F.; *Síntese otimizada de sistemas de aquecimento solar de água*. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Estadual de Campinas. São Paulo, 2000.

CHAGURI, J. J.; *Manual de dimensionamento de água quente, vapor e aquecimento de piscina*. São Paulo: [s.n.] 2001. 28 p. Apostila técnica.

CHAGURI JUNIOR, J. J. *Geração de energia elétrica com reaproveitamento térmico dos gases de exaustão aplicado a edifícios*. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Presbiteriana Mackenzie. São Paulo, 2005.

COMPANHIA DE GÁS DE SÃO PAULO. *Regulamento de Instalações Prediais :gás*. São Paulo: COMGÁS, 2006.

COMPANHIA DE GÁS DE SÃO PAULO. *Desenvolvimento de tecnologias de sistemas alternativos de gás combustível para o aquecimento de água em novas edificações* São Paulo: COMGÁS ,1990. 45 p. Trabalho técnico.

DECA. *Características técnicas de duchas*: manual Técnico. São Paulo, 2009.

CENTRO ESPAÑOL DE INFORMACIÓN DEL COBRE. *Instalaciones solares térmicas..* Espanha: 2005. 164 p. Trabalho técnico.

FOSSA, A. J.; PIERROBON NETO, E.; CHAGURI, J. J.; *Substituição da energia elétrica pelo gás natural nas maiores demandas de uso residencial e comercial*. In: Rio Oil & Gas Expo and Conference, 2000, Rio de Janeiro. Anais. Rio de Janeiro: IBP, 2000.

FOSSA, A. J.; DOS SANTOS, E.M; CHAGURI JR, J. J.; FAGÁ, M. T. W.; *Perspectivas tecnológicas para instalações internas de gases combustíveis em clientes residenciais*. São Paulo: Cátedra do Gás, 2008. 101 p.

GONÇALVES O. M.; CHAGURI, J. J.; LANDI, F. D. N.; ILHA, M. S. O; KAVASSAKI, Y.; HENRIQUES, A. M. J.; ISAAC, L. C. S; *Desenvolvimento de tecnologias de substituição de aquecimento de água*: programa de pesquisa e desenvolvimento tecnológico para o setor residencial. São Paulo, 1989.

GONÇALVES, O. M.; GRAÇA, M. E. A. da. *O usuário e as solicitações dos sistemas prediais de distribuição de água fria: modelo para a determinação das vazões de projeto*. In: Simpósio Nacional de Instalações Hidráulicas Prediais, 1986, São Paulo.São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo , 1986.

GONÇALVES, O. M.; Modelos de determinação das vazões de projeto adaptados às condições de uso. *Hydro*, ago., 2008.São Paulo: Aranda editora.

GRUPO DE ESTUDOS EM ENERGIA. *Cenário energético brasileiro*. Publicado em 09 mar. 2003. Disponível em: <http://www.green.pucminas.br/modules.php?name=Energia_Solar>. Acesso em: 25 nov. 2004.

ILHA, M. S. O.; *Estudo de parâmetros relacionados com a utilização de água quente em edifícios residenciais*. Dissertação (Mestrado)- Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1991. 185 p.

ILHA, M. S. O.; *Formulação de modelos para determinação da demanda e consumo de gás combustível em edifícios residenciais*. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996. 222 p.

ILHA, M. S. de O.; GONÇALVES, O.M.; KAVASSAKI, Y. *Sistemas prediais de água quente*. São Paulo: Escola Politécnica da USP, 1994. (Texto Técnico, Departamento de Engenharia de Construção Civil; TT/PCC/09).

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Indicadores Sociais Municipais: Uma análise dos resultados da amostra do Censo Demográfico 2000*. Brasil, 2009.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. *Determinação do fator de simultaneidade em edificações residenciais multi-familiares..* São Paulo, 2005. Relatório técnico

KIELING, R. R.; *Projeto de Sistemas de Aquecimento: hydrotherm*. São Paulo, 1996. Apostila de treinamento.

LOBATO, M. B.; *Sistema de hierarquização de ações de conservação da água em edificações com aplicação do método electre III*. Dissertação (Mestrado) – Universidade do Paraná. Paraná, 2005. 283 p.

MIELI, J. C. de A; *Reuso de água domiciliar*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal Fluminense. Niterói, 2001. 126 p.

MONTEIRO, J. V. de F. *A contribuição da automação para o mercado residencial brasileiro do gás combustível*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Energética) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002. 153 p.

ORTEGOSA, C. Z.; *Metodologia para estudos da viabilidade econômico-financeira no uso do gás natural em instalações prediais residenciais: uma abordagem via dinâmica de sistemas*. Dissertação(Mestrado). Campo Grande, 2006.

PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO. *Temperatura média da cidade de São de Paulo de 1980 a 2001*. Disponível em: <[http:// www.prefeiturasp.com.br](http://www.prefeiturasp.com.br) > Acesso em: 22 de dez. 2008.

ROCHA, A. L.; BARRETO, D.; IOSHIMOTO, E.; *Caracterização e monitoramento do consumo predial*. Plano Nacional de Combate ao Desperdício da Água. Brasília, 1997.

TABORIANSKI, V. M.; PRADO, R. T. A. *Avaliação da contribuição das tipologias de aquecimento de água residencial para a variação dos balanços de gases de efeito estufa na atmosfera..* São Paulo, 2003. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP.