

# ANÁLISE DE SISTEMAS DE AQUECIMENTO DE ÁGUA RESIDENCIAIS

**Tiago Lopes da Silva Leite**

tlsleite@gmail.com

**Resumo.** O projeto consiste em avaliar a seleção do sistema de aquecimento de água residencial, entre um sistema de aquecimento em cada unidade residencial ou aquecimento central para um condomínio típico na cidade de São Paulo. Inicialmente, foi estudado o estado da arte de soluções para aquecimento de água, selecionando-se então a bomba de calor como a mais adequada de acordo com os critérios estabelecidos. Em seguida, foram dimensionados três sistemas de aquecimento central através de bombas de calor para três tipologias de prédios residenciais. Dessa forma, foram analisadas diferentes demandas de água quente, a fim de eliminar das conclusões possíveis resultados pontuais devidos a uma demanda específica.

Por fim, realizou-se uma análise econômica entre os sistemas centrais dimensionados com sistemas individuais em cada apartamento. Chegou-se à conclusão que os sistemas centrais são vantajosos tanto sob o ponto de vista do investimento inicial, quanto ao custo de operação. Este trabalho justifica-se pela alta demanda energética para aquecimento de água no Brasil. Com uma otimização da utilização de energia para este fim, diminuiriam os problemas relacionados com chamado “horário de pico”, quando muitas pessoas chegam em casa e, utilizam água quente em um mesmo horário.

**Palavras chave:** aquecimento, água, residencial, comparação, análise.

## 1. Introdução

Responsável por 24% do consumo de energia residencial [Procel, 2007], o aquecimento de água é um conforto presente na maioria das moradias das regiões metropolitanas do Brasil, apesar de em muitos casos restringir-se apenas ao chuveiro para banho. Sendo responsável por esta fatia significativa do gasto energético em residências, o sistema de aquecimento de água é uma decisão importante a ser tomada na construção de novos condomínios. Em conjuntos já construídos, porém, resta a dúvida, tanto em administradoras quanto em condôminos se a solução adotada é a mais adequada, e se seria vantajosa uma troca da mesma.

O objetivo deste trabalho é analisar econômica e energeticamente soluções de aquecimento central coletivo para um condomínio típico da cidade de São Paulo, frente a uma solução de aquecimento individual por unidade habitacional.

## 2. Sistemas de Aquecimento Residencial de Água

Foram pesquisadas soluções de aquecimento de água, tanto no Brasil como no exterior. Por se tratar de um sistema que suprirá a demanda de água quente para vários apartamentos, é imprescindível a presença de um reservatório. Tem-se, enfim, cinco soluções possíveis: bombas de calor, aquecedor solar, aquecedor à gás, aquecedor à biomassa e aquecedor elétrico.

Após um estudo das características de cada sistema, e avaliação de acordo com critérios relevantes para o projeto, foi selecionada a solução por bomba de calor como a mais adequada.

## 3 Metodologia

### 3.1 Tipologias

Segundo a metodologia de Raimo, 2007, foram definidas três tipologias como modelo do condomínio: apartamentos de 2, 3 e 4 dormitórios, pelo setor imobiliário ser muito diversificado, e dentro dessa diversidade a demanda de água quente variar muito.

Para verificar a representatividade das tipologias adotadas na data da elaboração deste trabalho, verificou-se a comercialização de imóveis na região metropolitana de São Paulo nos meses de dezembro de 2010 a março de 2011 segundo o SECOVI-SP (Sindicato das Empresas de Compra, Venda, Locação e Administração de Imóveis Residenciais e Comerciais de São Paulo). As tipologias adotadas representam 92,7% do total de imóveis comercializados no período, e, portanto, abrangem a maior parte dos mesmos.

Segundo Chaguri, 2009, o número de pessoas que residem em um apartamento pode ser considerado como o número de quartos mais uma pessoa. Este número é apresentado como padrão em pesquisa feita com projetistas da cidade de São Paulo, e por isso, foi adotado neste estudo.

Por fim, ainda seguindo as tipologias adotadas por Raimo, 2007, consideraram-se prédios com 16 andares, e construídos na mesma área. A tipologia de apartamentos de 4 dormitórios possui 2 apartamentos por andar, enquanto as outras duas tipologias possuem 4 apartamentos por andar.

A tabela 2 a seguir resume as características das três tipologias.

Tabela 1: Características das tipologias adotadas.

	Tipologia I	Tipologia II	Tipologia III
Andares	16	16	16
Dormitórios/Apartamento	2	3	4
Apartamentos/Andar	4	4	2
Pessoas/apartamento	3	4	5
Apartamentos total	64	64	32
Pessoas total	192	256	160

### 3.2 Demanda de água quente

De acordo com dados presentes em Procel (2007), mostra o tempo de banho no Brasil, segundo pesquisa sobre hábitos e uso realizada pelo Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica.

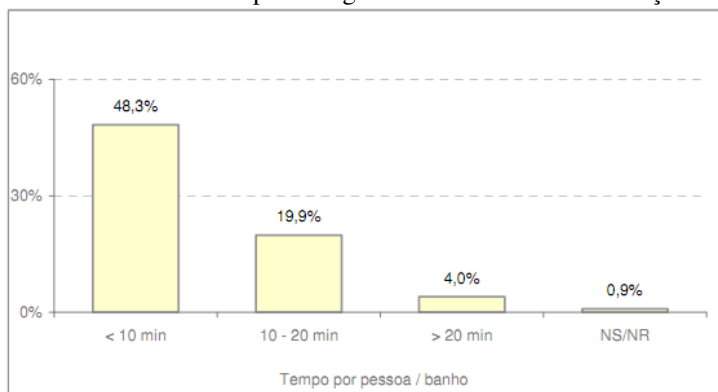


Figura 1: Tempo médio do banho por pessoa.

A partir da figura 1, foi estipulada a média do tempo de banho:

$$t = \frac{0,483 \cdot 10 + 0,199 \cdot 15 + 0,04 \cdot 20}{0,483 + 0,199 + 0,04} \approx 12 \text{ minutos}$$

Em sua dissertação de mestrado, Ilha (1991) fornece números de temperatura e vazão utilizados por moradores de um condomínio, que seguem a seguir:

$$T = 45^{\circ}\text{C} \quad (1)$$

$$Q = 0,064 \frac{\text{l}}{\text{s}} = 3,84 \frac{\text{l}}{\text{min}} \quad (2)$$

Estes valores se referem à água quente medida próximo ao chuveiro. Com isso, tem-se que, por banho, cada pessoa consome a seguinte quantidade de água quente:

$$v = 0,064 \cdot 3,84 = 46,1 \text{ l}$$

Considerando que cada pessoa tome um banho por dia, conclui-se a seguinte demanda de água quente para cada tipologia:

Tabela 2: Demanda de água quente para as tipologias adotadas

	Tipologia I	Tipologia II	Tipologia III
Demanda de agua quente total (l)	8851	11802	7376
Demanda de agua quente por apto. (l)	138,3	184,4	230,5

Em seguida, é proposta uma distribuição destas demandas concentradas nos horários de pico de demanda de energia. Como pode ser observado na pesquisa de Procel (2007), a rede é mais exigida nos intervalos entre 5 e 9 horas e 17 e 21 horas. Portanto admite-se que metade da demanda é consumida no primeiro intervalo, e a outra metade no segundo. Além disso, dentro de cada intervalo de quatro horas, considerou-se nas duas horas “centrais” uma demanda 50% maior comparada às demandas da primeira e última hora do intervalo. A figura 2 ilustra a demanda de água quente ao longo do dia para a tipologia I, sendo análoga para as demais.

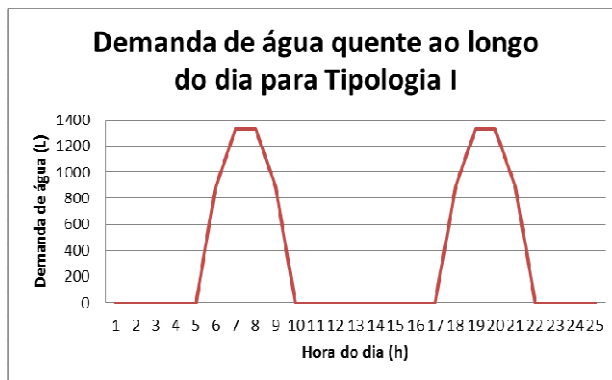


Figura 2: Demanda de água quente ao longo do dia para a Tipologia I.

Além disso, a norma NBR 7198, da ABNT (1993) determina que seja utilizada uma velocidade máxima, pressão estática máxima e pressão dinâmica mínima, respectivamente:

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

$$P_{max} = 400 \text{ kPa} = 40,8 \text{ m.c.a.} \quad (4)$$

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

### 3.3 Desenho do sistema

Foram analisadas algumas alternativas para o posicionamento dos equipamentos e desenho da tubulação de água quente. Por fim, optou-se por utilizar o sistema presente na figura 3. Cada elemento ao final da tubulação são as saídas de água para cada apartamento.

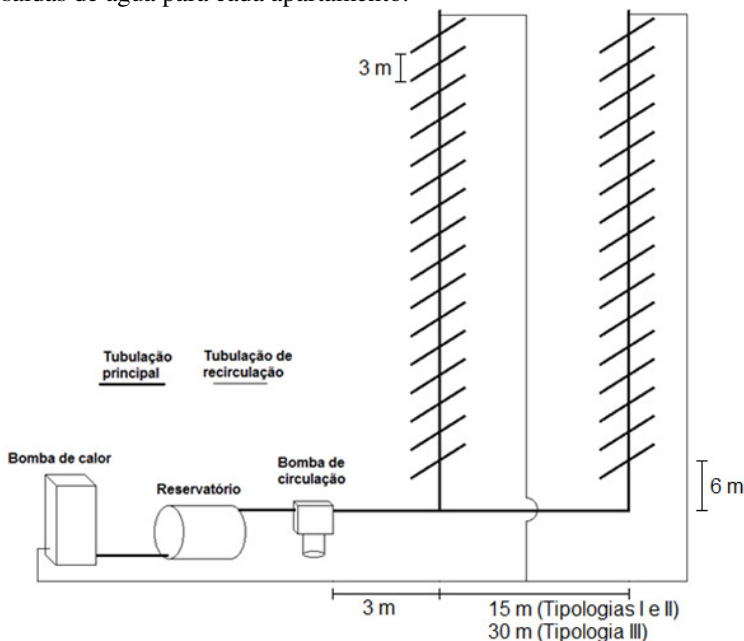


Figura 3: Desenho da tubulação do sistema central de aquecimento de água.

O desenho adotado tem a vantagem de não ocupar espaço na cobertura do prédio, área altamente valorizada no mercado imobiliário. Deve-se salientar, no entanto, que este desenho implicará em situações mais críticas, com relação à baixas pressões e temperaturas, também nos apartamentos mais valorizados, ou seja, os do andar mais alto.

Utilizando a equação que relaciona o diâmetro da tubulação com a velocidade da água:

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

Onde:

$D$  é o diâmetro do tubo, em  $m$ .

Realizou-se uma análise sobre a velocidade máxima da água na tubulação quando a máxima demanda de água quente fosse requisitada, para determinação dos diâmetros dos tubos. Considerando a velocidade máxima do fluido proposta anteriormente e os diâmetros disponíveis em Tigre (2011), definiu-se os diâmetros internos de 18 (no primeiro trecho horizontal) e 11,8 mm (no restante da tubulação).

Com estes diâmetros, na tipologia que possui a maior demanda de água quente (tipologia II) as velocidades máximas são 1,93 m/s e 2,24 m/s, nos diâmetros de 18 e 11,8 mm respectivamente. Optou-se por utilizar tubos da linha Aquatherm do fabricante Tigre, próprios para água quente. O material dos tubos é a policloreto de vinila clorado (CPVC).

### 3.4 Dimensionamento dos sistemas

#### 3.4.1 Sistema privativo – aquecedor de gás de passagem

O aquecedor deste sistema deve utilizar como combustível o gás natural, a fim de se utilizar para as análises econômicas os preços desta fonte na capital de São Paulo. Além disso, deve suprir a vazão e temperatura de água quente definidos no capítulo anterior. Para isso, foi selecionado o modelo EB-600, do fabricante Equibrás. Este aquecedor consome 0,89 m<sup>3</sup> de gás por hora, e tem uma capacidade de vazão de água quente de 6 l/min.

#### 3.4.2 Sistema central – bomba de calor

O sistema central exige uma maior atenção para garantir que o mesmo supri a demanda de água quente do prédio como um todo. Isto envolve uma análise de queda de pressão e perdas térmicas nos condutores de água, a fim de fornecer água quente no ponto de distribuição de todos os apartamentos, no mínimo, na vazão e temperatura definidas no capítulo anterior, além de respeitar os limites indicados pela norma NBR 7198/93.

##### 3.4.2.1 Modelagem de perda de calor na tubulação

Com o auxílio de Incropera (2008), foi feito um modelo de perda de calor nos condutores de água quente do sistema. A figura 4 é uma representação de um trecho de tubulação para este estudo.

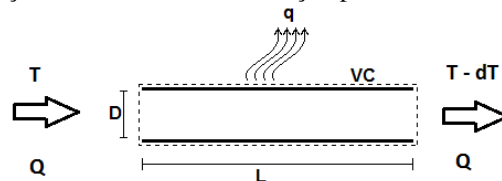


Figura 4: Trecho de tubulação para estudo de perda de calor.

Considerando o volume de controle (VC) indicado na figura, pela equação da energia térmica, tem-se:

$$q = \dot{m} \cdot c_p \cdot dT \quad (7)$$

Onde:

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

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

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

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

Neste VC três modos de transferência de calor ocorrem: condução pela parede do tubo, convecção (com película interna e externa ao tubo) e radiação. Com isso, tem-se que:

$$q = U \cdot A \cdot \Delta T + q_{rad} \quad (8)$$

Onde:

$U$  é o coeficiente global de troca de calor (englobando condução e convecção), em  $\frac{W}{m^2 \cdot K}$ ;

$A$  é a área de troca de calor, em  $m^2$ ;

$\Delta T$  é a diferença de temperatura entre a água e o ambiente, em  $K$ ;

$q_{rad}$  é a taxa de transferência de calor por radiação, em  $W$ .

A taxa de transferência de calor por radiação é dada pela equação de Boltzmann:

$$q_{rad} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot A \cdot (T_s^4 - T_\infty^4) \quad (9)$$

Onde:

$\sigma$  é a constante de Stefan-Boltzmann, igual a  $5,67 \cdot 10^{-8} \frac{W}{m^2 \cdot K^4}$ ;

$\varepsilon$  é a emissividade da superfície, adimensional;

$T_s$  é a temperatura absoluta da superfície, em  $K$ .

$T_\infty$  é a temperatura ao longe, em  $K$ .

Pode-se calcular o produto  $U \cdot A$  por:

$$U \cdot A = \frac{1}{\frac{1}{h_{int} \cdot A} + \frac{e}{k \cdot A} + \frac{1}{h_{ext} \cdot A}} \quad (10)$$

Onde:

$h_{int}$  é o coeficiente de transferência de calor por convecção interno, em  $\frac{W}{m^2 \cdot K}$ ;

$h_{ext}$  é o coeficiente de transferência de calor por convecção externo, em  $\frac{W}{m^2 \cdot K}$ ;

$k$  é a condutividade térmica, em  $\frac{W}{m \cdot K}$ .

$e$  é a espessura do tubo, em  $m$ .

Note que cada termo do numerado da equação anterior se refere a um modo de transferência de calor (respectivamente, convecção interna, condução e convecção externa). Para determinação dos coeficientes de transferência de calor por convecção, faz-se uso de relações empíricas presentes em Incropera (2008), e para tanto é necessário verificar as condições do escoamento.

As condições do escoamento são fornecidas a partir de parâmetros adimensionais: número de Reynolds, de Prandtl e de Rayleigh.

$$Re = \frac{V \cdot D}{\nu} \quad (11)$$

$$Pr = \frac{\nu}{\alpha} \quad (12)$$

$$Ra = \frac{g \cdot \beta \cdot (T_s - T_\infty) \cdot D^3}{\nu \cdot \alpha} \quad (13)$$

Onde:

$V$  é a velocidade média do escoamento, em  $\frac{m}{s}$ ;

$D$  é o diâmetro da tubulação, em  $m$ ;

$\nu$  é a viscosidade cinemática, em  $\frac{m^2}{s}$ ;

$\alpha$  é a difusividade térmica, em  $\frac{m^2}{s}$ ;

$g$  é a aceleração da gravidade, em  $\frac{m}{s^2}$ ;

$\beta$  é o coeficiente de expansão volumétrica térmica, em  $\frac{1}{K}$ .

Monitorando estes parâmetro, foram selecionadas relações empíricas de Incropera (2008) para a determinação dos coeficientes de transferência de calor por convecção. Para o  $h_{int}$  foi utilizada a relação:

$$Nu_{int} = \frac{h_{int} \cdot D}{k} = 0,023 \cdot Re^{4/5} \cdot Pr^{0,4} \quad (14)$$

Onde:

$Nu_{int}$  é o número de Nusselt, adimensional;

Esta relação é válida para  $Re > 10000$  e  $0,6 < Pr < 160$  e  $\frac{L}{D} > 10$ .

Para determinação de  $h_{ext}$ , a seguinte relação foi utilizada:

$$Nu_{ext} = \frac{h_{ext} \cdot D}{k} = \left\{ 0,6 + \frac{0,387 \cdot Ra^{1/6}}{\left[ 1 + \left( \frac{0,559}{Pr} \right)^{9/16} \right]^{8/27}} \right\}^2 \quad (15)$$

Esta é válida para  $Ra \lesssim 10^{12}$ .

### 3.4.2.2 Modelagem de queda de pressão na tubulação

Com o auxílio de Munson (2004), foi feito um modelo para análise da perda de carga ao longo da tubulação de água quente do sistema. A figura 5 apresenta o volume de controle da tubulação analisado.

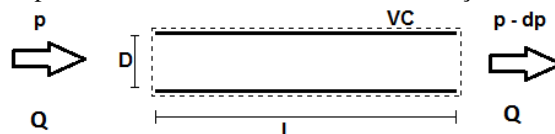


Figura 5: Trecho de tubulação para estudo de queda de pressão.

Analisando o volume de controle indicado, tem-se a seguinte relação entre a pressão de entrada e a pressão de saída:

$$p_2 = p_1 - dp \quad (16)$$

Onde:

$p_s$  é a pressão de saída, em  $\text{Pa}$ ;

$p_e$  é a pressão de entrada, em  $\text{Pa}$ ;

$dp$  é a diferença de pressão entre a entrada e a saída do volume de controle, em  $\text{Pa}$ .

Esta diferença de pressão  $dp$  é constituída de dois termos:

$$dp = dp_b + dp_q \quad (17)$$

Onde:

$dp_b$  é a queda de pressão barométrica, em  $\text{Pa}$ ;

$dp_q$  é a queda de pressão devido à perda de carga, em  $\text{Pa}$ .

O primeiro termo,  $dp_b$ , é devido à diferença de altura da tubulação, e pode ser calculado por:

$$dp_b = \rho \cdot g \cdot \Delta h \quad (18)$$

Onde:

$\rho$  é a massa específica da água, em  $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ ;

$g$  é a aceleração da gravidade, em  $\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ ;

$\Delta h$  é a diferença de altura entre a entrada e a saída do volume de controle, em  $\text{m}$ ;

Já o segundo termo,  $dp_q$ , é devido à perda de carga do fluído por conta de atrito com a parede da tubulação e mudança de direção do fluxo em singularidades do sistema, como cotovelos. Este termo pode ser calculado por:

$$dp_q = f \cdot \frac{L_e}{D} \cdot \frac{\rho \cdot V^2}{2} \quad (19)$$

Onde:

$f$  é o fator de atrito de Darcy-Weisbach, adimensional;

$L_e$  é o comprimento equivalente da tubulação, em  $\text{m}$ ;

$D$  é o diâmetro da tubulação, em  $\text{m}$ ;

$V$  é a velocidade média do fluxo, em  $\frac{\text{m}}{\text{s}}$ .

O comprimento equivalente,  $L_e$ , é definido como:

$$L_e = L + L_s \quad (20)$$

Onde:

$L$  é o comprimento da tubulação, em  $\text{m}$ ;

$L_s$  é o comprimento equivalente das singularidades, em  $\text{m}$ .

Foram utilizados dados de comprimentos equivalentes das singularidades do fabricante Tigre. Os dados se referem a tubulações de CPVC da linha industrial. Visto que dados do tipo não estão disponíveis para a linha Aquaterm, e por se tratar do mesmo material de tubulação e mesmo fabricante, a utilização de tais valores apresenta uma aproximação aceitável.

O fator de atrito de Darcy-Weisbach,  $f$ , pode ser obtido através da equação de Colebrook-White:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \cdot \log \left( \frac{k_r}{3,7 \cdot D} + \frac{2,51}{Re \cdot \sqrt{f}} \right) \quad (21)$$

Onde:

$k_r$  é a rugosidade equivalente da parede do tubo, em  $\text{m}$ .

Esta equação, por ser implícita em relação à  $f$ , deve ser resolvida por um método iterativo. A rugosidade equivalente do CPVC foi considerada 0,0 m (liso), valor típico de tubulações plásticas, segundo Munson (2004).

### 3.4.2.3 Vazão de recirculação

A fim de minimizar o tempo de espera para que a água quente chegue ao ponto de utilização, é feito um circuito de recirculação. Este circuito faz com que, mesmo que não haja demanda, a água circule e retorne para a bomba de calor. Deste modo, evita-se que a água permaneça parada na tubulação e esfrie, fazendo com que, para utilizar água na temperatura adequada, o usuário tenha que esperar um tempo mínimo, reduzindo também o desperdício de água.

A vazão de recirculação deve ser tal que compense as perdas térmicas ao longo da tubulação. Logo, utilizando a equação (I), tem-se que esta vazão de recirculação pode ser calculada com:

$$\dot{m}_{\text{recirc.}} = \frac{q_{\text{total}}}{c_p \cdot \Delta T_{\text{total}}} \quad (22)$$

Onde,

$q_{\text{total}}$  é a potência total de perda de calor na tubulação, em  $\text{W}$ ,

$\Delta T_{\text{total}}$  é a diferença de temperatura total na tubulação, em  $\text{K}$ .

Com isto, a demanda de água quente nos horários fora dos intervalos de pico, que anteriormente era nula, torna-se a vazão de recirculação. A figura 6 apresenta a demanda total de água quente a tipologia I, sendo análoga para as outras tipologias estudadas.

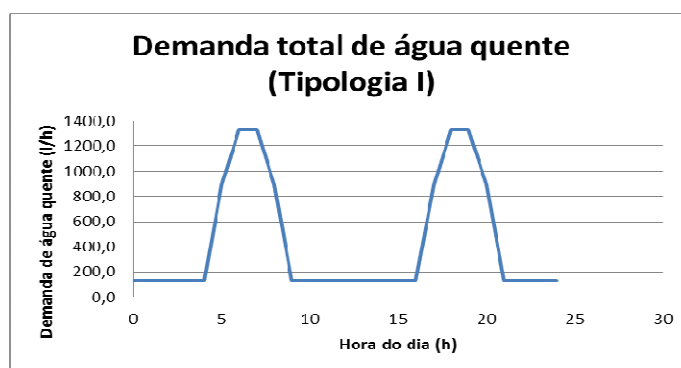


Figura 6: Demanda total de água quente para a Tipologia I.

#### 3.4.2.4 Reservatório de água quente

A fim de minimizar a potência da bomba de calor a ser selecionada, utiliza-se um reservatório de água quente. Este acumula água quente nos horários em que não há demanda de água quente, dando a possibilidade à bomba de calor de operar com uma vazão constante durante todo o dia. Deste modo, a bomba de calor é dimensionada de acordo com a demanda de água quente total do dia, evitando os picos de consumo.

Propõe-se que este equipamento seja composto, seguindo o modelo proposto por Calori (2011), de um tanque de água de fibra de vidro, envolto de uma manta de lã de vidro para minimizar as perdas térmicas.

O reservatório de cada tipologia foi dimensionado para minimizar o seu volume, mas ainda assim não esvaziar totalmente. Desse modo, obtiveram-se os volumes mínimos dos reservatórios, de 2629, 3593 e 2243 litros, para as tipologias I, II e III, respectivamente.

#### 3.4.2.5 Seleção dos equipamentos

Utilizando o modelo de perda de calor exemplificado anteriormente, foi feita uma planilha de cálculo com calculando a temperatura em cada ponto de distribuição para os apartamentos, atendendo a demanda especificada.

Como cada tipologia possui uma demanda, vazão, velocidade, e outras características da água diferentes, cada uma exige uma temperatura mínima de fornecimento da bomba de calor. A tabela 8 apresenta um resumo dos cálculos da planilha.

Tabela 3: Resumo dos cálculos para cada tipologia.

	Tipologia I	Tipologia II	Tipologia III
temp. min. Água (°C)	47,5	46,9	48,3
vazão BC (L/h)	454,9	578,1	361,3
Potência min BC (kcal/h)	15085	18829	12270
Volume reservatório (L)	2629	3593	2252
pressão saída bomba (m.c.a.)	58	63	57
vazão saída bomba (m <sup>3</sup> /h)	1,3	1,8	1,1

Com estes dados, foram selecionados os equipamentos do sistema, de acordo com o mais adequado disponível no mercado. Como cada sistema exige diferentes características, foram selecionados equipamentos diferenciados para cada tipologia. Isto implicará em custos diferenciados na análise econômica, e assim maior precisão nos resultados. A seguir são descritos os equipamentos para cada tipologia.

- Tipologia I: Bomba de calor Jellyfish HOT 55 – BC 80 T (18723 kcal/h), Bomba de circulação Schneider BT4-0507E9 (0,75 cv), Caixa d'água em Fibra com Tampa Fortlev 3000 Litros.
- Tipologia II: Bomba de calor Jellyfish HOT 55 – BC 120 T (23826 kcal/h), Bomba de circulação Schneider BT4-1015E11 (1,5 cv), Caixa d'água em Fibra com Tampa Fortlev 5000 Litros.
- Tipologia III: Bomba de calor Jellyfish HOT 55 BC 80 T (18723 kcal/h), Bomba de circulação Schneider VJ-05 (0,5 cv), Caixa d'água em Fibra com Tampa Fortlev 3000 Litros.

### 3.5 Análise econômica

Com a determinação de todos os equipamentos utilizados em todas as situações definidas, foi feita uma análise econômica. Esta tem por objetivo responder à questão fundamental proposta por este trabalho, sobre qual opção é mais interessante para o consumidor final.

Para tal análise, foi utilizado o método do Valor Atual descrito em Ehrlich (1989). Com este método, os gastos decorridos ao longo de um tempo são transferidos para o tempo presente, ajustados com uma taxa de juros definida.

Assim, pode-se comparar projetos diversos que possuem custos diferenciados ao longo do tempo, e concluir qual é o mais vantajoso do ponto de vista econômico.

De acordo com Ehrlich (1989), o valor presente de um pagamento realizado num período no futuro é:

$$VP = \frac{VF}{(1+i)^n} \quad (23)$$

Onde:

$VP$  é o valor presente do pagamento, em R\$;

$VF$  é o valor futuro do pagamento, em R\$;

$i$  é a taxa de juros corrente no período, adimensional;

Os custos de instalação e manutenção dos medidores de água e de gás foram obtidos através de reunião com a empresa fornecedora de equipamentos e serviços de medição individualizada Techem (TECHEM, 2011). No caso do aquecimento por bomba de calor, seriam necessários dois medidores de água em cada apartamento (um para água quente, outro para água fria), com custo total, para cada apartamento, de R\$795,00. Já o caso de aquecimento por gás de passagem, é necessário um medidor de água e um medidor de gás. Para cada apartamento este cenário implica em um custo de instalação de R\$1095,00. Em ambos os casos, o custo de medição e manutenção é de R\$8,00 por apartamento, por mês.

### 3.5.1 Valor presente do sistema individual à gás

Como ponto inicial da análise, verificou-se a tarifa do gás natural canalizado para residências, comercializado pela Comgás na cidade de São Paulo. Além disso, outra informação extraída de Comgás (2011) é o poder calorífico do gás natural fornecido:

$$PC_{GN} = 39348,4 \text{ kJ/m}^3$$

A partir deste dado, calculou-se o consumo de gás em cada apartamento a partir da seguinte equação:

$$V_{GN} \cdot PC_{GN} \cdot \eta = m_{\text{água}} \cdot c_p \cdot \Delta T \quad \rightarrow \quad V_{GN} = \frac{m_{\text{água}} \cdot c_p \cdot \Delta T}{PC_{GN} \cdot \eta} \quad (24)$$

Onde:

$V_{GN}$  é o volume de gás consumido, em  $m^3$ ;

$m_{\text{água}}$  é a massa de água aquecida, em  $kg$ ;

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

$\Delta T$  é a diferença de temperatura de entrada e saída da água do aquecedor, em  $K$ ;

$\eta$  é o rendimento do aquecedor, adimensional.

Com isso, cada tipologia teve seu custo de gás calculado na planilha de cálculo.

### 3.5.2 Valor presente do sistema central de bomba de calor

Assim como foi feito para o gás, primeiramente verificou-se o preço da energia elétrica na cidade de São Paulo. O mesmo é definido pela Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel) para cada concessionária. No caso da capital paulista, a concessionária que comercializa energia elétrica no mercado residencial é a AES Eletropaulo, apresentando preço de R\$0,29651/kWh.

O consumo elétrico da bomba de calor é dado pelo equipamento selecionado para cada tipologia.

## 4 Resultados e Conclusões

Partindo dos equipamentos selecionados nas seções anteriores, foram levantados os custos dos sistemas analisados. Com isso, pode-se concluir qual a melhor solução, considerando as diferentes tipologias adotadas.

### 4.1 Custos do sistema individual à gás

A tabela 4 apresenta os custos levantados com fornecedores para os equipamentos do sistema individual à gás. É importante notar que tais custos são relativos à cada apartamento, não variando entre as tipologias.

Tabela 4: Custo dos equipamentos do sistema à gás.

	Custo
Aquecedor à gás	R\$ 980,00
Medidor de água	R\$ 390,00
Medidor de gás	R\$ 705,00
Total de investimento	R\$ 2.075,00



Por sua vez, a tabela 5 apresenta os custos de operação do sistema. Como este custo varia com a demanda de água, cada tipologia apresenta um custo diferente.

Tabela 5: Custos de operação do sistema à gás.

	Custo de operação
Tipologia I	R\$ 77,23
Tipologia II	R\$ 96,54
Tipologia III	R\$ 121,31

#### 4.2 Custos do sistema central à bomba de calor

Assim como no sistema à gás, para o sistema central aquecido por uma bomba de calor, foram levantados os custos junto à fornecedores de equipamentos. Baseado no custo de energia elétrica e potencia das bombas de calor e de circulação, também obteve-se os custo de operação.

Como os sistemas centrais apresentam modelos diferentes de equipamentos, os dados de custo são segregados entre as tipologias analisadas. A tabela 6 apresenta os custos de instalação e operação deste sistema.

Tabela 6: Custos dos equipamentos e operação do sistema central à bomba de calor para as três tipologias analisadas.

Tipologia I		Tipologia II		Tipologia III	
	Custo(R\$)		Custo(R\$)		Custo (R\$)
Bomba de calor	9400	Bomba de calor	12100	Bomba de calor (R\$)	9400
Bombas de circulação	2091,98	Bombas de circulação	2253,36	Bombas de circulação	1292,9
Reservatório	662,8	Reservatório	1190	Reservatório	662,8
Manta de vidro	968	Manta de vidro	968	Manta de vidro	968
Tubulação com mão de obra	2718,06	Tubulação com mão de obra	2718,06	Tubulação com mão de obra	2718,06
Medidores de água	50880	Medidores de água	50880	Medidores de água	25440
Total de investimento	66720,84	Total de investimento	70109,42	Total de investimento	40481,76
Custo de operação por apartamento	24,18	Custo de operação por apartamento	27,6	Custo de operação por apartamento	34,33

#### 4.3 Análise econômica através do método do Valor Atual

Realizando um fluxo de caixa em 10 anos para cada uma das tipologias, utilizando as duas soluções de aquecimento de água analisadas, chega-se a conclusão que o sistema de aquecimento central por bomba de calor é mais interessante do que o individual por gás de passagem em todas as tipologias. Mais do que isso, tanto o investimento inicial, quanto os custos de operação para cada apartamento são mais baixos na solução de aquecimento central.

A tabela 7 apresenta um resumo dos custos da análise econômica. Nela fica evidente a vantagem econômica em se optar pela solução de aquecimento central por bomba de calor.

Tabela 7: Resumo da análise econômica

	Tipologia I		Tipologia II		Tipologia III	
	Individual à Gas	Central à B.C.	Individual à Gas	Central à B.C.	Individual à Gas	Central à B.C.
Investimento inicial por apartamento (R\$)	2.075,00	1.042,51	2.075,00	1.095,46	2.075,00	1.265,06
Custo de operação por apartamento (R\$/mês)	77,23	24,18	96,54	27,60	121,31	34,33
Valor presente líquido total do prédio (R\$)	559.679,66	200.401,24	666.412,20	222.690,92	401.672,80	135.356,17
Percentual de economia	64%		67%		66%	

#### 4.4 Conclusões

O presente trabalho se propôs a realizar uma comparação entre dois tipos de sistema de aquecimento de água, individual e central. Mantendo um critério de fornecimento de água igual para o consumidor final, o sistema central foi dimensionado para otimizar o uso de uma bomba de calor, e um sistema de reserva de água.

A partir dos custos levantados no mercado, pode-se notar que é mais vantajoso utilizar o sistema de aquecimento central à bomba de calor. Esta solução requer um menor investimento inicial, além de um menor custo de operação, sendo a melhor opção para o consumidor final.

Como sugerido por Raimo (2007), o mercado da construção civil tende a realizar edificações que preveem a instalação de aquecedores individuais à gás por este apresentar um menor custo para a construtora, já que esta não arca com os custos dos equipamentos de aquecimento. No entanto, para o consumidor final, mesmo contabilizando os custos de tubulação e mão de obra a mais, o sistema central é mais vantajoso.

Este trabalho também demonstrou que tal vantagem econômica independe da tipologia de apartamento, e portanto pode-se afirmar que é vantajoso centralizar um sistema de aquecimento de água de várias unidades, em detrimento à sistemas individuais. Além disso, a vantagem econômica em porcentagem no período de vida útil dos equipamentos é muito semelhante. Apesar de uma tendência de maior economia com a maior número de pessoas, todas as tipologias apresentaram uma economia de aproximadamente 65% durante o período.

Por fim, para o sistema central de aquecimento, recomenda-se a utilização dos das medidas de consumo de água quente de cada apartamento para realizar um rateio dos custos de manutenção proporcional ao consumo. Esta medida tem por objetivo incentivar economicamente as pessoas a realizar um consumo eficiente, evitando desperdício.

## 5. Referências

- Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. Tarifas Residenciais. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=493> . Acesso em: setembro de 2011.
- Calori, D.; Avaliação do uso de bombas de calor em condomínios residenciais. Trabalho de Formatura. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2011.
- Chaguri Junior, J. J.; Sistemas prediais de aquecimento de água a gás: parâmetros de dimensionamento e gerenciamento. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2009.
- Companhia De Gás De São Paulo - COMGÁS. Tarifas do Gás Natural Canalizado. Disponível em: <http://www.comgas.com.br/tarifas.asp> . Acesso em: agosto de 2011.
- Ehrlich, P. J.; Engenharia econômica: avaliação e seleção de projetos de investimento. Quinta edição. Atlas: São Paulo, 1989.
- Ilha, M. S. O.; Estudo de parâmetros relacionados com a utilização de água quente em edifícios residenciais. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1991.
- Incropera, F.; Dewitt, D.; Bergman, T.; Lavine, A.; Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa. Sexta edição. LTC: Rio de Janeiro, 2008.
- Munson, B. R.; Young, D. F.; Okishi, T. H.; Fundamentos da Mecânica dos Flúidos. Tradução da quarta edição americana: Euryale de Jesus Zerbini. São Paulo: Edgard Blucher, 2004.
- Procel – Programa Nacional De Conservação De Energia Elétrica. Pesquisa de Posse de Equipamento e Hábitos de Uso – Ano de base 2005: Classe Residencial, Relatório Brasil. Rio de Janeiro, 2007. Disponível em <http://www.eletronbras.com/pci/main.asp?ViewID={A84BD56D-D750-477C-8E20-2BF2D94B4EE2}>. Acesso em 17 de março de 2011.
- Raimo, P. A.; Aquecimento de Água no Setor Residencial. Dissertação de Mestrado. Programa Interunidades de Pós-graduação da USP. São Paulo, 2007.
- Sindicato Das Empresas De Compra, Venda, Locação E Administração De Imóveis Residenciais E Comerciais De São Paulo (Secovi-SP). Pesquisa do Mercado Imobiliário, Janeiro de 2011. Disponível em: <http://www.secovi.com.br/imobiliario-da-cidade-de-sao-paulo>. Acesso em: abril de 2011.
- Tigre. Água quente AQUATHERM®. Disponível em: [http://www.tigre.com.br/pt/produtos\\_linha.php?rcr\\_id=5&cpr\\_id=8&cpr\\_id\\_pai=4&lnh\\_id=7](http://www.tigre.com.br/pt/produtos_linha.php?rcr_id=5&cpr_id=8&cpr_id_pai=4&lnh_id=7) . Acesso em: julho de 2011.

## RESIDENTIAL WATER HEATING SYSTEMS ANALYSIS

**Tiago Lopes da Silva Leite**

tlsleite@gmail.com

**Abstract.** This Project consists on the evaluation of change in the water heating system, changing from an individual system for each apartment, to a central unique system for a typical building in São Paulo. At first, the state of the art on water heating solutions was evaluated, leading to the choice of heat pumps as the most adequate system, according to established criteria. Next, three central water heating system by heat pumps were dimensioned for three typologies of residential buildings. In this way, different hot water demands were studied, in order to eliminate, from possible conclusions, individual results due to a specific demand. Lastly, an economic analysis between the central water heating systems and an individual system on each apartment was held. This brought a result that the central systems bring advantages both for initial investment and operational costs. This work justifies itself for the water heating energetic demand is very high in Brazil. With an optimization of the energy use for this purpose, problems related with the high energy demand hour (after the rush hour, when many people get to their houses and use hot water) would be attenuated.

The abstract text is to be included here.

**Keywords.** heating, water, residential, analysis, comparison.