

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO ESCOLA POLITÉCNICA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

AVALIAÇÃO DE SISTEMA CENTRAL DE AQUECIMENTO DE  
ÁGUA PARA CONDOMÍNIOS RESIDENCIAIS

Tiago Lopes da Silva Leite

São Paulo

2011

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO ESCOLA POLITÉCNICA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

AVALIAÇÃO DE SISTEMA CENTRAL DE AQUECIMENTO DE  
ÁGUA PARA CONDOMÍNIOS RESIDENCIAIS

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

Tiago Lopes da Silva Leite

Orientador: Prof. Dr. Alberto Hernandez Neto

São Paulo

2011

**Leite, Tiago Lopes da Silva**

**Avaliação de sistemas de aquecimento de água / T.L.S. Leite.  
– São Paulo, 2011.**

**65 p.**

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

**1.Sistemas de aquecimento de água 2.Planejamento energético  
3.Edifícios residenciais I.Universidade de São Paulo. Escola  
Politécnica. Departamento de Engenharia Mecânica II.t.**

Marcia e Manoel

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Prof. Dr. Alberto Hernandez Neto, a quem admiro desde o primeiro contato, nas aulas de Termodinâmica. Seus comentários em muito enriqueceram este trabalho, que nada mais é do que a execução de sua ideia e sugestões.

Aos Prof. Dr. Arlindo Tribess e Prof. Dr. Ernani Vitillo Volpe, pelas sinceras críticas e comentários, meu reconhecimento e estima.

A todos os profissionais que muito auxiliaram durante o levantamento de informações de mercado, em especial: Eduardo Lacerda (Techem), Fernando Madureira, Osvaldo Júnior e Lígia Oliveira (Indústrias Tosi), Gilmar Silva (GMG), Sergio Walter (Seleta).

Ao meu veterano da Escola Politécnica e colega de trabalho Fabio Glaser, pelo constante interesse e incentivo na evolução desta tese, além da disponibilidade e atenção e visão de negócio na Siemens Wind Power.

Ao meu colega de trabalho Emilio Sella, que durante este ano muito me apoiou e ajudou no início de minhas atividades no ambiente corporativo.

Aos meus amigos da Escola Politécnica, amizades que levarei para toda a vida. Sem vocês nunca superaria os anos de curso, e este trabalho nunca teria sido escrito.

## 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 suas casas, e utilizam água quente em um mesmo horário.

## **ABSTRACT**

This Project consists on the evaluation of change in the water heating system, 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.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Esquema do ciclo de refrigeração de uma bomba de calor. (Hepbasli et. al, 2008) .....	15
Figura 2: Esquema de um aquecedor solar (Soletron, 2010). .....	17
Figura 3: Participação percentual por tipologia na região metropolitana de São Paulo (SECOVI-SP, 2011).....	22
Figura 4: Tempo médio do banho por pessoa (Procel, 2007). .....	24
Figura 5: Demanda de água quente ao longo do dia para a Tipologia I.....	25
Figura 6: Demanda de água quente ao longo do dia para a Tipologia II. ....	26
Figura 7: Demanda de água quente ao longo do dia para a Tipologia III.....	26
Figura 8: Desenho da tubulação do sistema central de aquecimento de água. ....	27
Figura 9: Definição dos diâmetros da tubulação de água quente.....	28
Figura 10: Trecho de tubulação para estudo de perda de calor.....	31
Figura 11: Trecho de tubulação para estudo de queda de pressão. ....	34
Figura 12: Demanda total de água quente para a Tipologia I. ....	38
Figura 13: Demanda total de água quente para a Tipologia II.....	38
Figura 14: Demanda total de água quente para a Tipologia III.....	39
Figura 15: Volume do reservatório de água quente da Tipologia I ao longo do dia..	40
Figura 16: Volume do reservatório de água quente da Tipologia II ao longo do dia.	40
Figura 17: Volume do reservatório de água quente da Tipologia III ao longo do dia. .....	41

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Matriz de decisão para escolha da opção mais adequada. . . . .	20
Tabela 2: Características das tipologias adotadas. . . . .	23
Tabela 3: Demanda de água quente para as tipologias adotadas. . . . .	25
Tabela 4: Principais propriedades do Policloreto de vinila clorado (CPVC). . . . .	29
Tabela 5: Especificação do aquecedor de passagem à gás. . . . .	30
Tabela 6: Comprimentos equivalentes das singularidades. . . . .	36
Tabela 7: Volume mínimo dos reservatórios de cada tipologia. . . . .	40
Tabela 8: Resumo dos cálculos para cada tipologia. . . . .	41
Tabela 9: Tarifas do gás natural canalizado para o segmento residencial (Comgás, 2011). . . . .	44
Tabela 10: Tarifa de energia elétrica para a AES Eletropaulo (Aneel, 2011). . . . .	45
Tabela 11: Custo dos equipamentos do sistema à gás. . . . .	46
Tabela 12: Custos de operação do sistema à gás. . . . .	46
Tabela 13: Custos dos equipamentos do sistema central à bomba de calor para tipologia I. . . . .	47
Tabela 14: Custos dos equipamentos do sistema central à bomba de calor para tipologia II. . . . .	47
Tabela 15: Custos dos equipamentos do sistema central à bomba de calor para tipologia III. . . . .	48
Tabela 16: Custos de operação do sistema central à bomba de calor. . . . .	48
Tabela 17: Resumo da análise econômica. . . . .	49

## SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO .....	11
1.1	Revisão Bibliográfica .....	11
2	SISTEMAS DE AQUECIMENTO RESIDENCIAL DE ÁGUA.....	15
2.1	Bombas de calor .....	15
2.2	Aquecedores à gás .....	16
2.3	Aquecedor solar.....	16
2.3	Aquecedor à Biomassa .....	17
2.4	Aquecedor Elétrico.....	18
3	MATRIZ DE DECISÃO.....	19
3.1	Critérios .....	19
3.2	Soluções propostas .....	20
3.3	Seleção da solução.....	20
4	METODOLOGIA .....	22
4.1	Tipologias .....	22
4.2	Demanda de água quente.....	23
4.3	Desenho do sistema .....	27
4.4	Dimensionamento dos sistemas.....	29
4.4.1	Sistema privativo – aquecedor de gás de passagem.....	29
4.4.2	Sistema central – bomba de calor.....	30
4.4.2.1	Modelagem de perda de calor na tubulação .....	30
4.4.2.2	Modelagem de queda de pressão na tubulação .....	34
4.4.2.3	Vazão de recirculação .....	37
4.4.2.4	Reservatório de água quente .....	39

4.4.2.5 Seleção dos equipamentos.....	41
4.5 Análise econômica .....	42
4.5.1 Valor presente do sistema individual à gás .....	44
4.5.2 Valor presente do sistema central de bomba de calor .....	45
5 RESULTADOS E CONCLUSÕES .....	46
5.1 Custos do sistema individual à gás.....	46
5.2 Custos do sistema central à bomba de calor .....	46
5.3 Análise econômica através do método do Valor Presente. ....	48
5.4 Conclusões.....	49
6 REFERÊNCIAS .....	51
ANEXO A – IMÓVEIS COMERCIALIZADOS DE DEZ 2010 A MAR 2011.....	54
ANEXO B – LEVANTAMENTO DE AQUECEDORES DE PASSAGEM À GÁS	57
ANEXO C – DADOS TÉCNICOS DOS EQUIPAMENTOS.....	61

# 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.

## 1.1 Revisão Bibliográfica

Com o tema em mente, e visando os objetivos propostos, foi feito um levantamento de trabalhos acadêmicos pertinentes ao tema, para auxiliar o estudo e formar um ponto de partida para o trabalho. A seguir, seguem os resumos dos principais trabalhos utilizados.

Em sua tese de mestrado, Raimo (2007) realizou uma avaliação econômica de sistemas de aquecimento de água elétrico, solar e a gás. Para tal avaliação, Raimo fez uso de três tipologias de edifícios residenciais diferentes, cada qual com um número de dormitórios por apartamento a fim de abranger a maior parte dos imóveis típicos da cidade de São Paulo.

Como parâmetros para tal análise, Raimo utilizou “tempo da análise econômica e taxa de desconto, tempo de vida útil da estrutura, tempo da vida útil de

cada equipamento, custos de infraestrutura, custo de equipamentos, eficiência na conversão e transporte de calor e preços de energia” (RAIMO, 2007, p. 63) como parâmetros de suas análises, além de inserir para cada sistema as condições particulares de cada uma para o efetivo aquecimento da água.

A autora conclui demonstrando um menor custo de instalação para aquecedores a gás, sugerindo uma tendência do mercado de construção civil em adotar esta solução por este motivo. Como esperado, também demonstra uma maior importância do custo de operação das soluções à medida que cenários de maior consumo de água são analisados.

Por fim, segundo as análises realizadas, Raimo afirma que as soluções de aquecimento individual a gás e elétrico apresentam menor custo total de serviço em função do tempo de utilização, e que a inserção de sistemas de aquecimento solar em sistemas coletivos apresenta uma economia para diferentes taxas de radiação solar.

Chaguri Junior (2009), realizou um estudo sobre parâmetros de dimensionamento de sistemas prediais de aquecimento de água. O autor fez um apanhado geral sobre sistemas de aquecimento de água, demonstrando alguns tipos de aquecedores, e incluindo um estudo de caso sobre perdas térmicas em aquecedores de acumulação.

Neste estudo de caso, o autor realizou medições em um sistema de aquecimento central privado com um acumulador de 150 litros, com termômetros em diversos pontos do sistema, que foi mantido desligado. Com isso, pode-se medir a capacidade de preservar o calor da água no acumulador, sem permitir que o mesmo recebesse calor do aquecedor, e também sem a utilização da água do mesmo. Por fim, o autor conclui “Considerando a perda de temperatura linear com o tempo, (...) a perda foi de aproximadamente  $0,40^{\circ}\text{C/h}$ .” (CHAGURI JUNIOR, 2009, p. 43)

Chaguri Junior também realizou um estudo de caso sobre o Fator de Simultaneidade, que calcula a probabilidade de, ao mesmo tempo, um determinado número de sistemas estarem sendo utilizados. Foram feitas medições do consumo de gás natural, dos aquecedores a gás, de um condomínio da cidade de São Paulo

durante um ano e dois meses. Com estes dados, Chaguri Junior verificou que a vazão máxima que foi exigida durante o período foi de  $0,49\text{m}^3/\text{min}$ .

Por outro lado, seguindo a Norma ABNT NBR 15526 (2009), o autor dimensionou as vazões consideradas em projeto, obtendo um total de 5.094.400 kcal/h. Para esta vazão, a norma estabelece um fator de simultaneidade de 23%, e, portanto, para fins de dimensionamento deve-se usar 1.171.712 kcal/h, o que pelo poder calorífico utilizado pelo autor, implica em uma vazão de  $2,27\text{ m}^3/\text{min}$ . Com isso, “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” (CHAGURI JUNIOR, 2009, p. 69), levando a um superdimensionamento dos sistemas.

Em seguida, o autor explicitou o dimensionamento de aquecedores de passagem e aquecedores de acumulação, bem como explicou que para sistemas centrais coletivos segue-se a metodologia de aquecedores de acumulação, mas considerando demandas de água quente dos moradores de cada apartamento. Com isso, o autor finaliza sua tese demonstrando a implantação de um sistema de gestão e monitoração em sistemas centrais coletivos de aquecimento de água, fortalecendo a necessidade de uma maior flexibilidade dos sistema de aquecimento de água para maior adequação à demanda, e, com isso, uma economia de recursos.

Hepbasli et. al. (2008) realizaram uma revisão de alguns estudos a cerca de bombas de calor, além de apresentar informação sobre este tipo de equipamento. Os autores afirmam que o coeficiente de performance (COP) de uma bomba de calor, que relaciona a potência do compressor com a potência de calor transferido, depende de vários fatores, como a temperatura da fonte de calor, a temperatura a ser aquecida, as características dos componentes da bomba de calor, entre outros.

É fornecido também um breve relato histórico do desenvolvimento de bombas calor. O conceito deste equipamento é creditado ao cientista William Thomson, mais conhecido como Lord Kelvin, apesar de este não ter construído uma. Mas apenas na década de 1950 que iniciou-se a distribuição comercial de bombas de calor.

Entre as conclusões desta revisão de estudos, destaca-se o potencial comercial ainda não explorado em sua totalidade. Segundo os autores, as bombas de calor possuem potencial tanto para aplicações de aquecimento residencial, quanto comercial, e apesar de estarem disponíveis a mais de 20 anos, obtiveram um sucesso apenas limitado, e seu *market share* é extremamente baixo.

## 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, quatro soluções possíveis:

### 2.1 Bombas de calor

Este sistema opera com um sistema de compressão de vapor, com um compressor movimentando um fluido (denominado fluido refrigerante) por um ciclo de refrigeração. A figura 1, retirada de Hepbasli et. al, (2008) com tradução livre, ilustra o ciclo de refrigeração, trocando calor com um aquecedor de água.

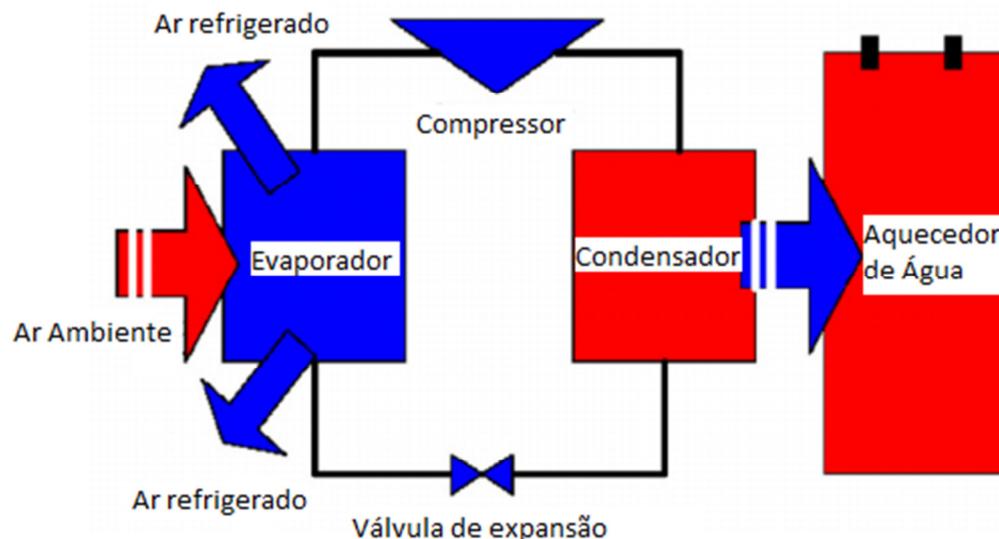


Figura 1: Esquema do ciclo de refrigeração de uma bomba de calor. (Hepbasli et. al, 2008)

A eficiência de sistemas deste tipo esta relacionada com a temperatura do ar ambiente. Quanto menor a temperatura do ar, menor será a eficiência, até o ponto em que não há aquecimento da água (geralmente em torno de 0°C). Segundo Wolf; et. al

(2000), a economia de energia elétrica de soluções como esta, comparado à aquecedores de água por resistência elétrica é de 40 à 60%.

## 2.2 Aquecedores à gás

Esta segunda possibilidade utiliza um gás combustível como fonte de calor para o aquecimento, geralmente, quando disponível, gás natural. O calor fornecido para a água no aquecedor é função do poder calorífico do gás e da vazão mássica do mesmo, sendo o controle da potência feito sobre a última. Com isso temos que o calor recebido pela água é:

$$\dot{Q} = \dot{m}_{gás} \cdot PC \cdot \eta$$

Onde

$\dot{Q}$  é a taxa de transferência de calor, em kW/s;

$\dot{m}_{gás}$  é a vazão mássica de gás, em kg/s;

$PC$  é o poder calorífico do gás, em kJ/kg;

$\eta$  é a eficiência do aquecedor, adimensional.

Como ponto positivo desta solução pode-se destacar o baixo preço da fonte de energia utilizada.

## 2.3 Aquecedor solar

A terceira solução disponível são os aquecedores solares, que utilizam a radiação solar para aquecer a água. Novamente, como o trabalho tem como foco um sistema central coletivo, esta solução também deve possuir um reservatório. Porém, diferentemente das soluções anteriores, esta deve obrigatoriamente possuir um sistema auxiliar de aquecimento no reservatório para suprir uma eventual diminuição

de insolação. Tecnicamente, o sistema auxiliar pode ser uma bomba de calor, mas o mais comum no mercado é que seja um sistema elétrico de resistências, ou a gás.

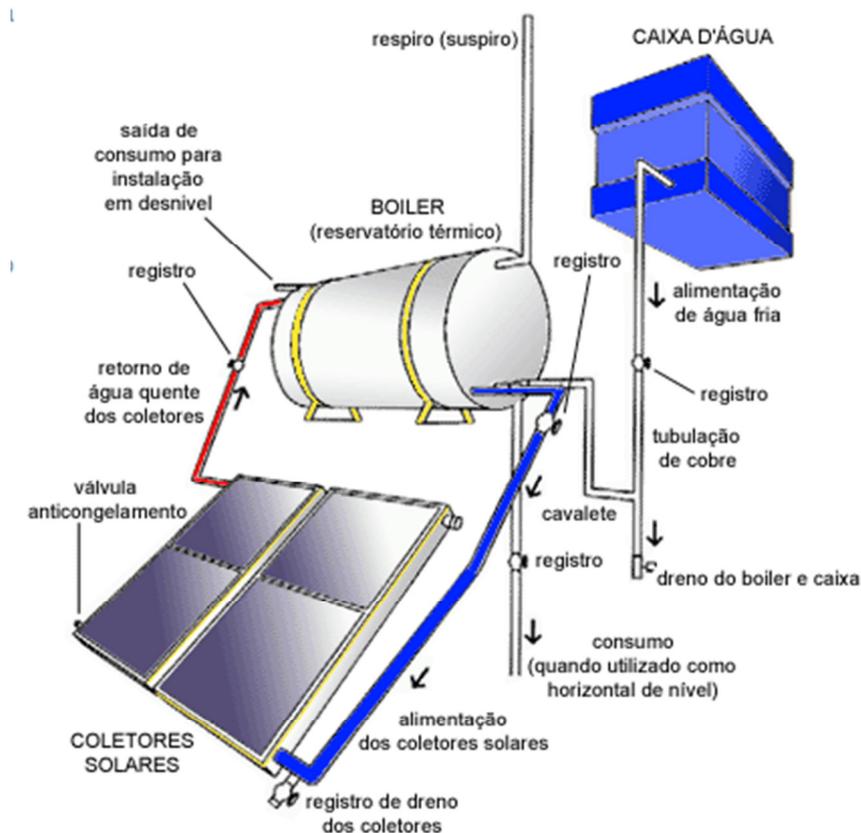


Figura 2: Esquema de um aquecedor solar (Soletron, 2010).

### 2.3 Aquecedor à Biomassa

Este sistema é mais comum em soluções para aquecimento de ambiente, pode ser também utilizada para aquecimento de água. Tem seu funcionamento similar ao aquecedor à gás, com a diferença do combustível, que passa a ser a solução de biomassa mais conveniente, do ponto de vista econômico e ambiental, podendo ser cortiça, lenha, madeira reaproveitada, etc. Além disso, este sistema exige mais mão-de-obra comparada às demais soluções, com um constante reabastecimento e limpeza da máquina, resultando numa solução menos prática.

## 2.4 Aquecedor Elétrico

Esta solução, que é a mais comum em residências no Brasil, realiza o aquecimento através de um resistor que se aquece por efeito Joule e transfere calor à água.

Este sistema não será analisado mais à fundo neste trabalho por se tratar de uma solução não eficiente do ponto de vista energético, além da dependência por energia elétrica, que sofre um aumento cada vez maior de demanda, com estudos apontando para um sensível aumento de preço nos próximos 5 anos (UOL Economia, 2010).

### 3 MATRIZ DE DECISÃO

Para selecionar a melhor solução para o prosseguimento do trabalho, fez-se uso do método da Matriz de Decisão, atribuindo notas para cada critério. As notas, apesar de qualitativas, são baseadas no estudo bibliográfico feito. Também foram estabelecidos diferentes pesos para cada critério, pois foi julgado que alguns critérios têm maior importância que outros.

#### 3.1 Critérios

##### Custo de instalação

Como um dos fatores que justificam o projeto, o critério de custo é indispensável para a seleção da melhor solução. Neste, a maior nota é atribuída para a solução de menor custo.

##### Manutenção

Este critério leva em conta tanto a praticidade de operação e a vida útil da solução. As maiores notas serão atribuídas para as soluções de maior praticidade de operação e maior vida útil.

##### Disponibilidade

Com as possíveis combinações geradas, algumas soluções propostas não estão comercialmente disponíveis. Isso exigiria um maior estudo, negociação e adaptações exclusivas para o projeto, implicando em maiores complicações. Com isso, receberão maiores notas as soluções com maior viabilidade atualmente.

##### Aproveitamento Energético

Uma importante motivação para o projeto, a eficiência energética deve ser considerada para a seleção da melhor solução. Maiores notas serão atribuídas para soluções com melhor eficiência energética.

### 3.2 Soluções propostas

A partir do levantamento do estado da arte, foram propostas soluções para análise na matriz de decisão, com combinações dos sistemas atualmente disponíveis.

Solução 1: Bomba de calor.

Solução 2: Aquecedor à gás.

Solução 3: Aquecedor solar, com sistema secundário elétrico.

Solução 4: Aquecedor solar, com sistema secundário à gás.

### 3.3 Seleção da solução

A Tabela 1 apresenta a matriz de decisão das soluções propostas de acordo com os critérios estabelecidos. A seguir, é feita uma justificativa das notas atribuídas em cada critério.

Tabela 1: Matriz de decisão para escolha da opção mais adequada.

Critério	Peso	Solução 1		Solução 2		Solução 3		Solução 4	
		nota	NP	nota	NP	nota	NP	Nota	NP
Custo de instalação	4	6	24	7	28	4	16	5	20
Manutenção	3	6	18	7	21	7	21	5	15
Disponibilidade	2	8	16	8	16	7	14	5	10
Aproveitamento energético	4	7	28	5	20	8	32	8	32
Total			86		85		83		77

No critério custo de instalação, a partir de pesquisa realizada junto a fabricantes e trabalhos acadêmicos, verifica-se que sistemas de aquecimento solar tem um custo maior que os demais. Por se tratar de um sistema mais complexo, além de utilizar uma forma de energia mais cara, a bomba de calor recebeu uma nota menor em comparação ao aquecedor à gás. A diferença entre as duas soluções de aquecimento solar se deve à diferença de preço entre acumuladores elétrico e a gás, como mostra Raimo (2007), em seu anexo J.

Ainda segundo Raimo (2007), sistemas de acumulação a gás possuem uma vida útil menor do que acumuladores elétricos, e por isso receberam, aqui, nota menor no critério manutenção. Como critério de diferenciação da bomba de calor, assumiu-se a premissa de esta requerer uma maior manutenção devido ao maior número de componentes que compõe o sistema. As soluções 2 e 3 foram consideradas equivalentes segundo este critério.

Pelo critério de viabilidade, apenas as soluções 3 e 4 exigiram uma maior adaptação e estudo, visto que sistemas de aquecimento solar disponíveis no mercado não atendem à grandes demandas de água quente. Ainda mais adaptações devem ser feitas para a solução 4, já que os acumuladores de aquecedores solares são, em geral, sustentados por sistemas elétricos. As soluções 1 e 2 obtêm notas iguais visto que são equivalentes.

Finalmente, analisando o critério aproveitamento energético, as soluções 3 e 4 obtêm notas maiores devido à utilização do calor solar como fonte primária de energia. Esta consiste, em última instancia, na fonte de praticamente todas as formas de energia aproveitáveis no planeta, e com isso justificam as notas atribuídas. A bomba de calor, neste caso, recebe uma nota maior que o aquecedor à gás por apresentar menores perdas energéticas.

Com isso, tem-se que a solução mais adequada de acordo com os critérios estabelecidos é a bomba de calor. Deve-se salientar, no entanto, que a diferença entre a solução da bomba de calor e do aquecedor à gás é pequena, porém mesmo com isto em mente, optou-se por analisar a primeira mais a fundo.

## 4 METODOLOGIA

### 4.1 Tipologias

Seguindo 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 (2011). Os dados de cada mês estão presentes no Anexo A, e a figura 3 apresenta um gráfico do tipo pizza com o total destes quatro meses.

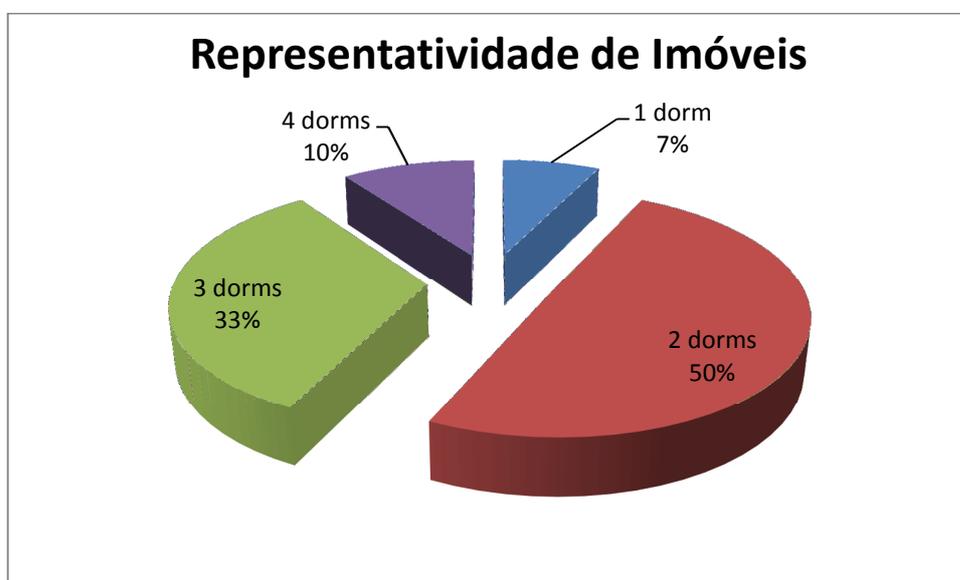


Figura 3: Participação percentual por tipologia na região metropolitana de São Paulo (SECOVI-SP, 2011)

Como pode ser observado, 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 2: 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

#### 4.2 Demanda de água quente

O gráfico da figura 4 (Procel, 2007) mostra o tempo de banho no Brasil, segundo pesquisa sobre hábitos e uso realizada pelo Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica.

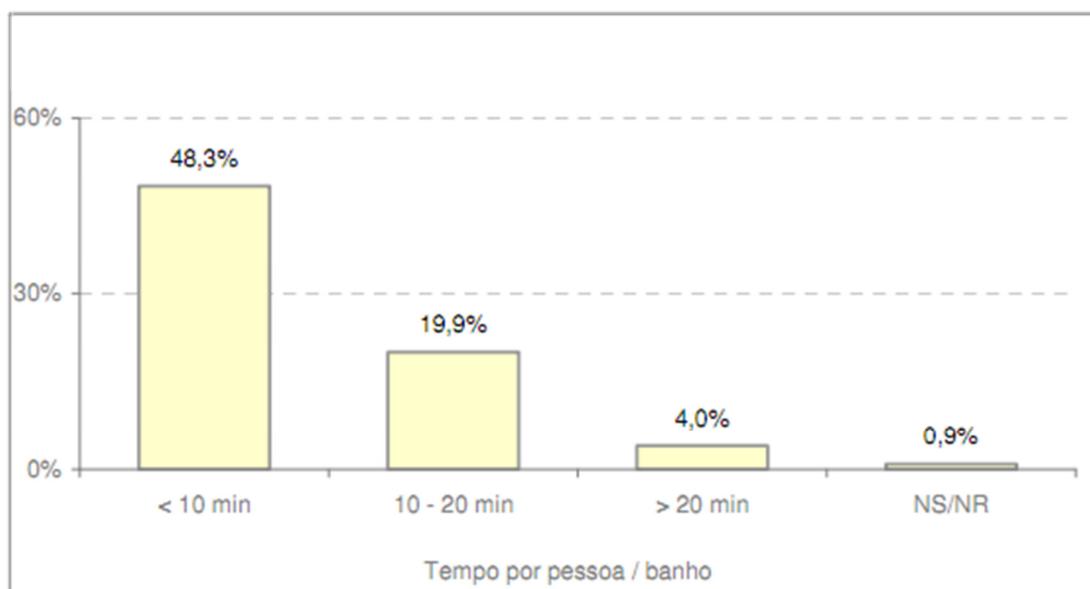


Figura 4: Tempo médio do banho por pessoa (Procel, 2007).

A partir da figura 3, foi estipulada a média do tempo de banho:

---

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

---

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:

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

Tabela 3: Demanda de água quente para as tipologias adotadas

	Tipologia I	Tipologia II	Tipologia III
Demanda de água quente total (l)	8851	11802	7376
Demanda de água 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. As figuras 5 a 7 ilustram a demanda de água quente ao longo do dia para cada tipologia.



Figura 5: Demanda de água quente ao longo do dia para a Tipologia I.

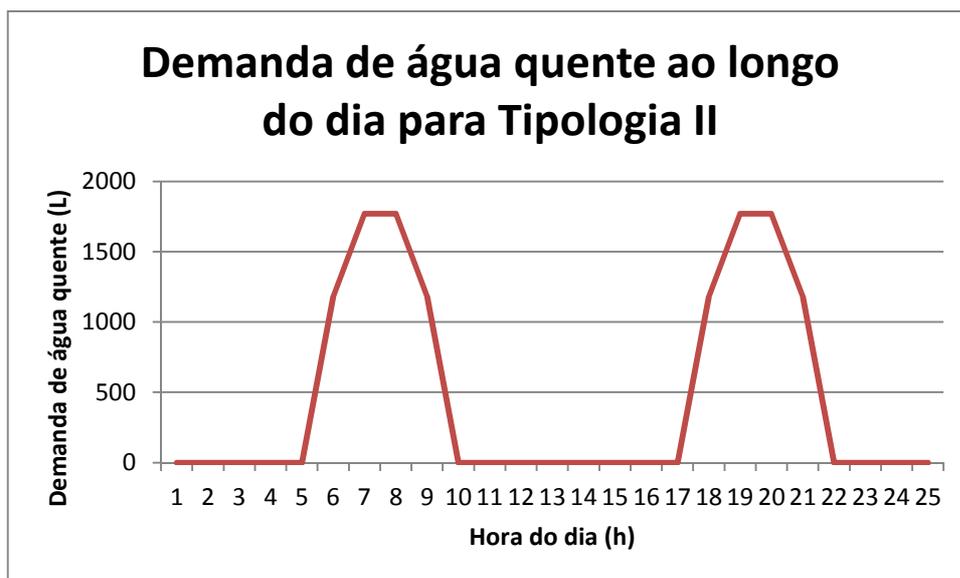


Figura 6: Demanda de água quente ao longo do dia para a Tipologia II.

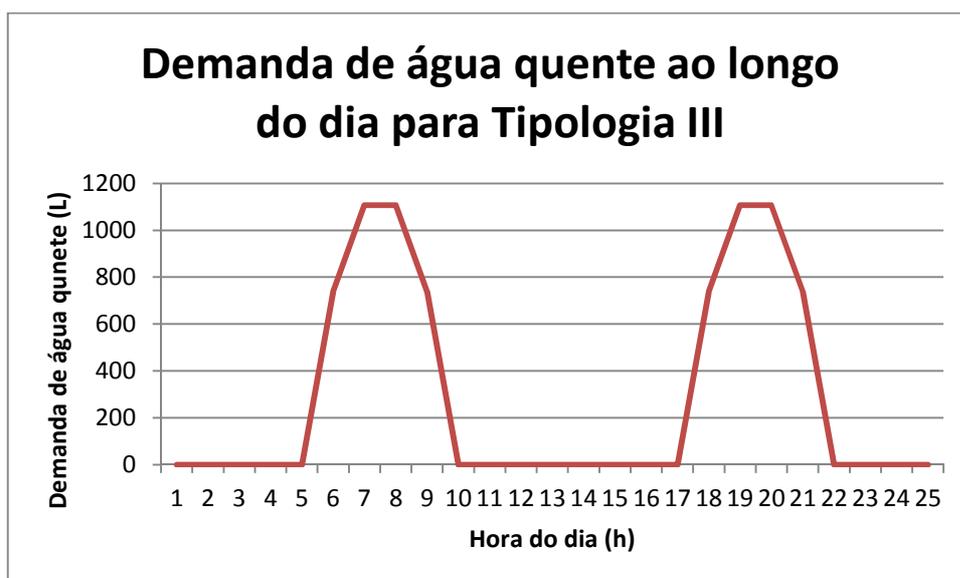


Figura 7: Demanda de água quente ao longo do dia para a Tipologia III.

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

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

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

### 4.3 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 8. Cada elemento ao final da tubulação são as saídas de água para cada apartamento.

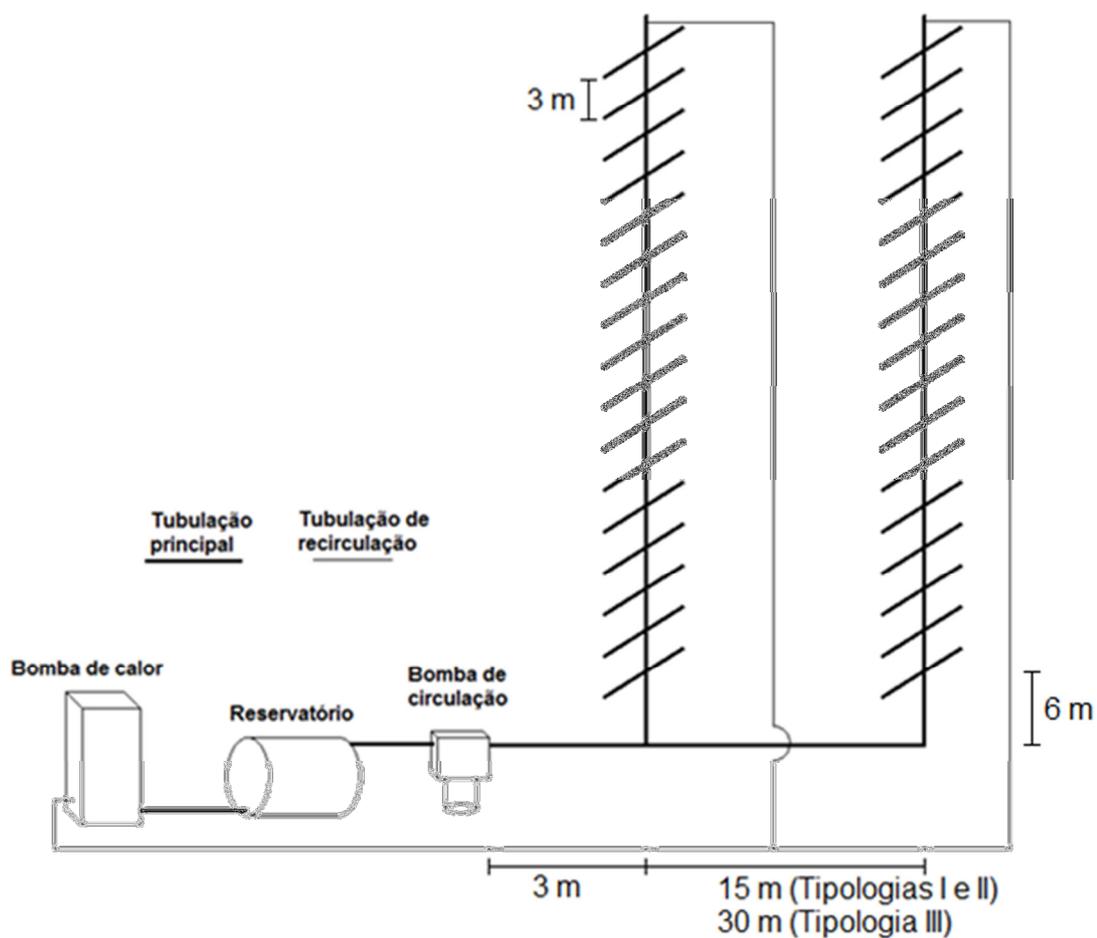


Figura 8: Desenho da tubulação do sistema central de aquecimento de água.

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

pressão e temperatura, 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:

—

Onde:

é o diâmetro do tubo, em .

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 diâmetro internos de 18 e 11,8 mm. Os diferentes diâmetros tem sua posição evidenciada na figura 9, uma reprodução de um trecho da figura 8.

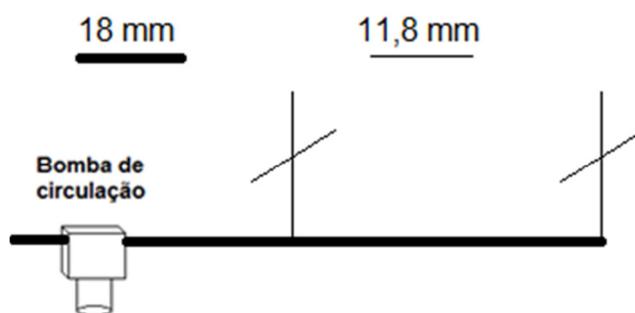


Figura 9: Definição dos diâmetros da tubulação de água quente.

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), e a tabela 4 apresenta as propriedades deste material, retirado do website do fabricante.

Tabela 4: Principais propriedades do Policloreto de vinila clorado (CPVC) (Tigre, 2011).

Características	Método de Medição	Unidades	Valores
Densidade	ASTM D792	g/cm <sup>3</sup>	1,49
Volume específico	ASTM D570	cm <sup>3</sup> /g	0,658
Dureza Rockwell	ASTM D785	—	118
Classe da célula (padrão)	ASTM D1784	—	23447
Classe da célula (alto impacto)	ASTM D1784	—	24448
Resistência Impacto Izod (com entalhe)	ASTM D256	J/m	160
Resistência à Tração	ASTM D638	N/mm <sup>2</sup>	61,9
Módulo de Tração	ASTM D638	N/mm <sup>2</sup>	2893,3
Resistência à Flexão	ASTM D790	N/mm <sup>2</sup>	83,82
Módulo de Flexão	ASTM D790	N/mm <sup>2</sup>	2682,5
Resistência à Compressão	ASTM D695	N/mm <sup>2</sup>	70
Módulo de Compressão	ASTM D695	N/mm <sup>2</sup>	1350
Coefficiente de expansão térmica	ASTM D696	m/m/K	2,1 x 10 <sup>-5</sup>
Condutividade Térmica	ASTM C177	W/m/K	0,137
Calor específico	DSC	J/gK	0,88

#### 4.4 Dimensionamento dos sistemas

##### 4.4.1 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.

No anexo B são apresentados alguns modelos levantados junto à fornecedores, e a tabela 5 apresenta os dados do modelo selecionado: Equibrás EB-600 linha Plus GN.

Tabela 5: Especificação do aquecedor de passagem à gás (Equibrás, 2011).

	EB-600
Capacidade de Vazão (l/min)	6
Diâmetro de chaminé (mm)	90
Tipo de gás	GN
Consumo máx de gás (m <sup>3</sup> /h)	0,89
Potencia (kcal/h)	8514
Rendimento (%)	82,2
Classificação INMETRO	A

#### 4.4.2 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 (ABNT, 1993).

##### 4.4.2.1 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 10 é uma representação de um trecho de tubulação para este estudo.

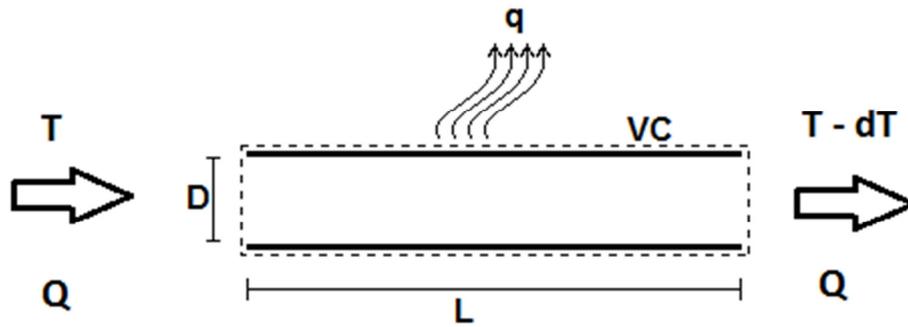


Figura 10: Trecho de tubulação para estudo de perda de calor.

Adotam-se as hipóteses de regime permanente e de que o tubo esta exposto ao ambiente. Esta última considera uma situação crítica, e os resultados a partir dela atingidos possuem uma margem de segurança caso, no prédio real, os tubos estiverem inseridos nas paredes do prédio.

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

Onde:

$q$  é a taxa de transferência de calor, em  $\text{W/m}^2$  ;

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

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

$\Delta T$  é a diferença de temperatura da água entre a entrada e a saída do VC, em  $^\circ\text{C}$  .

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:

Onde:

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

$A$  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:

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

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:

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

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.

$$Re = \frac{V \cdot D}{\nu}$$

$$Pr = \frac{\nu}{\alpha}$$

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

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:

$$Nu_{int} = \frac{h_{int} \cdot D}{k} = 0,023 \cdot Re^{4/5} \cdot Pr^{0,3}$$

Onde:

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

Esta relação é válida para  $Re > 10000$  e  $0,6 < \beta < 160$  e  $-\beta > 10$ .

Para determinação de  $\beta$ , a seguinte relação foi utilizada:

$$\beta = \frac{p - dp}{p}$$

Esta é válida para  $Re > 10000$ .

#### 4.4.2.2 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 11 apresenta o volume de controle da tubulação analisado.

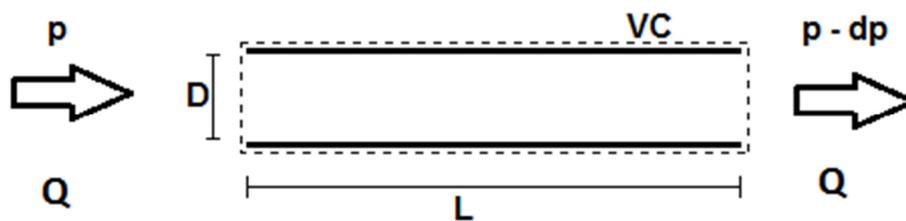


Figura 11: Trecho de tubulação para estudo de queda de pressão.

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

Onde:

$p_2$  é a pressão de saída, em  $\text{Pa}$  ;

$p_1$  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  $Pa$ .

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

$$dp = dp_b + dp_q$$

Onde:

$dp_b$  é a queda de pressão barométrica, em  $Pa$ ;

$dp_q$  é a queda de pressão devido à perda de carga, em  $Pa$ .

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

$$dp_b = \rho \cdot g \cdot \Delta h$$

Onde:

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

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

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

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:

$$dp_q = f \cdot \frac{L_e}{D} \cdot \frac{\rho \cdot V^2}{2}$$

Onde:

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

$L_e$  é o comprimento equivalente da tubulação, em  $m$ ;

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

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

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

Onde:

$L$  é o comprimento da tubulação, em m ;

$L_e$  é o comprimento equivalente das singularidades, em m .

A tabela 6, retirada de Tigre (2011) apresenta os comprimentos equivalentes das singularidades do fabricante da tubulação adotada. 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.

Tabela 6: Comprimentos equivalentes das singularidades (Tigre, 2011)

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

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

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

Onde:

$k_r$  é a rugosidade equivalente da parede do tubo, em  $m$ .

Esta equação, por ser implícita em relação à  $f$ , deve ser resolvida por um método iterativo. Como alternativa à isso, frequentemente utiliza-se o diagrama de Moody, que nada mais é que uma representação gráfica da equação de Colebrook-White. Porém, como neste trabalho foi feita uma planilha de cálculo, resolveu-se a própria equação por método iterativo, que apresenta resultados mais precisos. A rugosidade equivalente do CPVC foi considerada 0,0 m (liso), valor típico de tubulações plásticas, de acordo com Munson, 2004.

#### 4.4.2.3 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:

$$\dot{m}_{recirc.} = \frac{q_{total}}{c_p \cdot dT_{total}}$$

Onde,

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

$dT_{total}$  é a diferença de temperatura total na tubulação, em  $K$ .

Com isto, a demanda de água quente nos horários fora dos intervalos de pico, que anteriormente era nula, torna-se a vazão de recirculação. As figuras 12 a 13 apresentam as demandas totais de água quente para cada tipologia estudada.

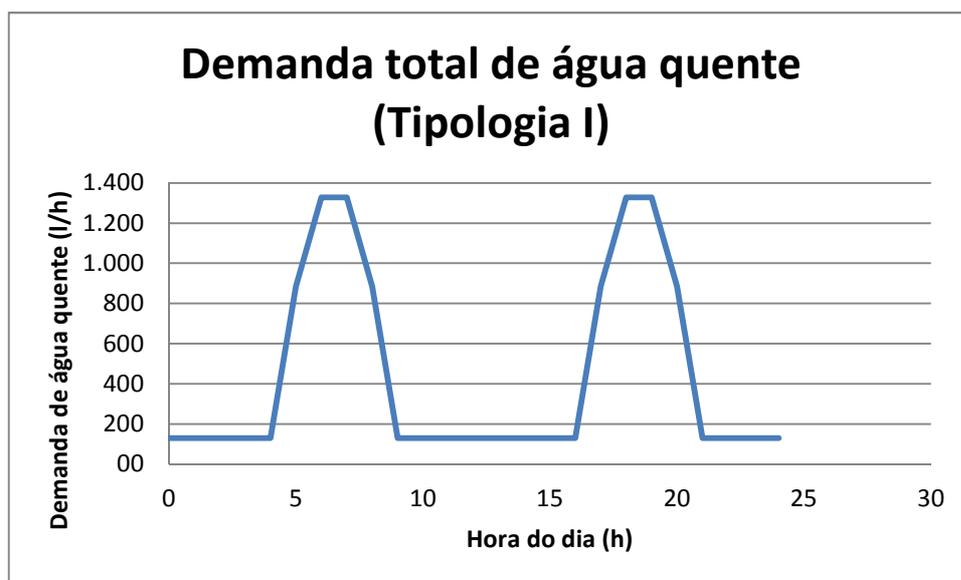


Figura 12: Demanda total de água quente para a Tipologia I.

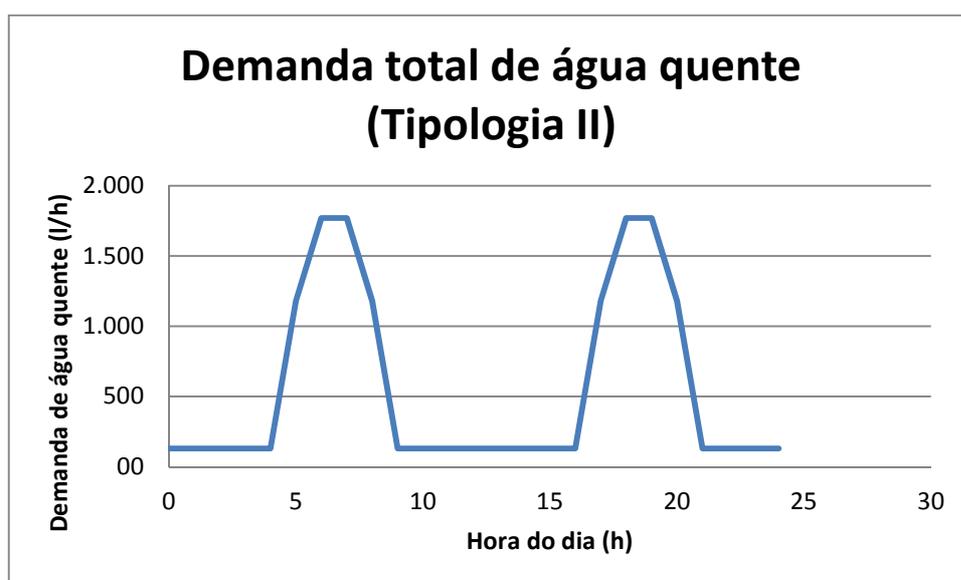


Figura 13: Demanda total de água quente para a Tipologia II.

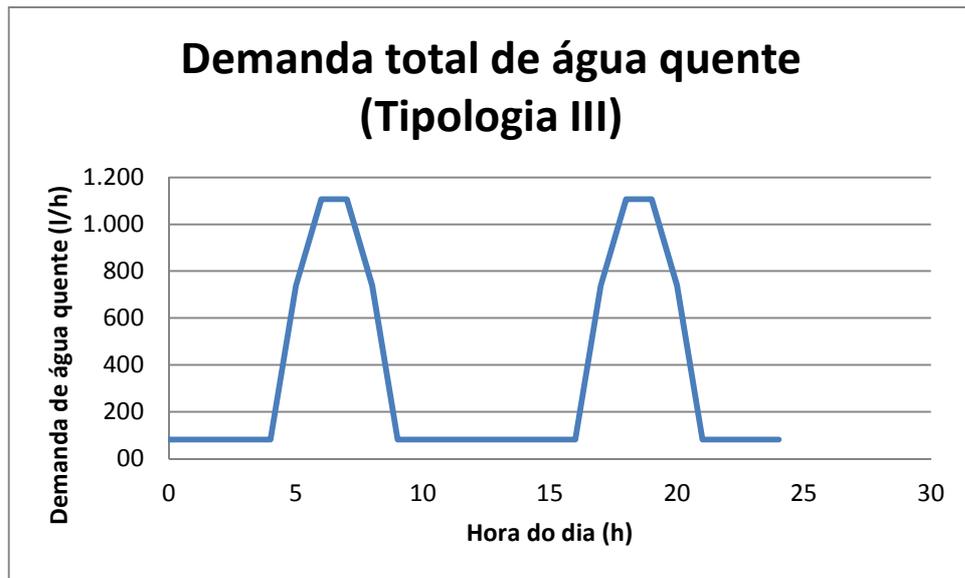


Figura 14: Demanda total de água quente para a Tipologia III.

#### 4.4.2.4 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, presentes na tabela 7. As figuras 15 a 17 apresentam os volumes de água quente presentes nos reservatórios de cada tipologia ao longo do dia.

Tabela 7: Volume mínimo dos reservatórios de cada tipologia.

	Tipologia I	Tipologia II	Tipologia III
Volume min. reservatório (L)	2629	3593	2243

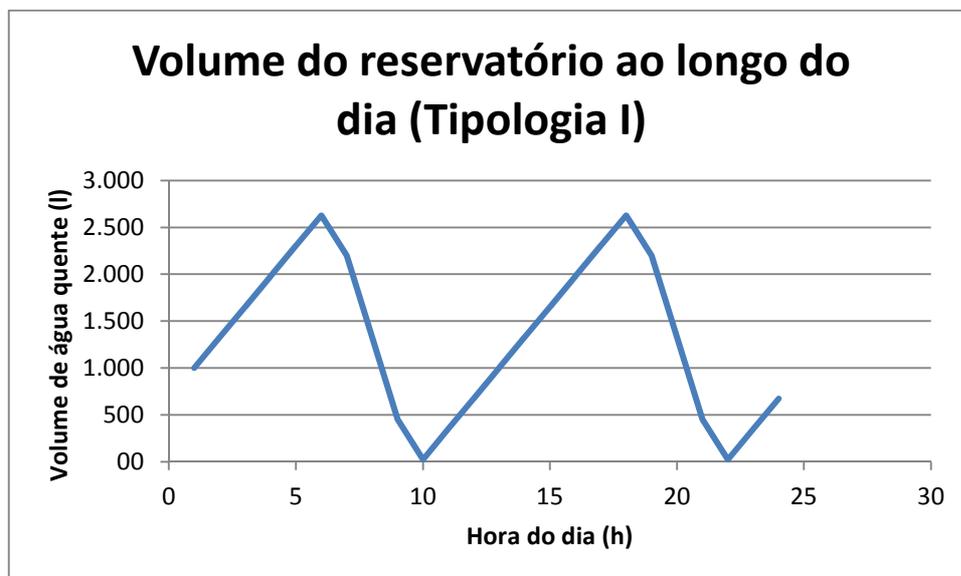


Figura 15: Volume do reservatório de água quente da Tipologia I ao longo do dia.

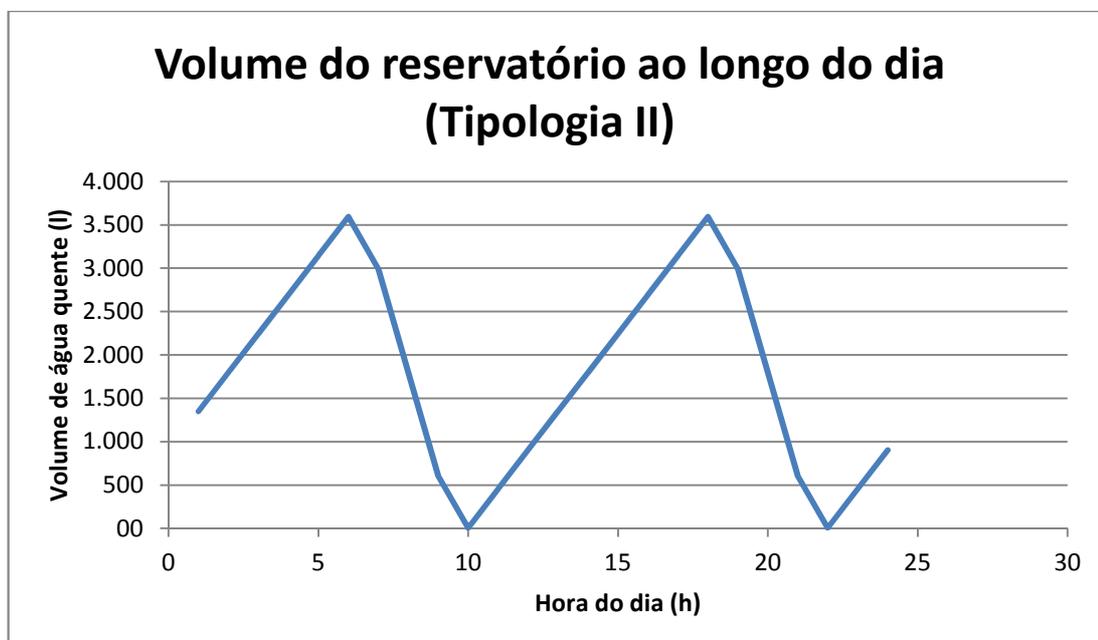


Figura 16: Volume do reservatório de água quente da Tipologia II ao longo do dia.



Figura 17: Volume do reservatório de água quente da Tipologia III ao longo do dia.

#### 4.4.2.5 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 8: 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 (m3/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.

Dados técnicos mais detalhados estão presentes no Anexo C.

#### 4.5 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:

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

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.

#### 4.5.1 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. A tabela 9 apresenta os valores verificados no *web-site* da empresa.

Tabela 9: Tarifas do gás natural canalizado para o segmento residencial (Comgás, 2011)

Classes	Volume m <sup>3</sup> /mês	Valores sem ICMS		Valores com ICMS	
		Fixo - R\$/mês	Variável - R\$/m <sup>3</sup>	Fixo - R\$/mês	Variável - R\$/m <sup>3</sup>
1	0,00 a 1,00 m <sup>3</sup>	6,01	0	6,83	0
2	1,01 a 3,00 m <sup>3</sup>	6,01	3,601711	6,83	4,092853
3	3,01 a 7,00 m <sup>3</sup>	6,01	1,505238	6,83	1,710498
4	7,01 a 14,00 m <sup>3</sup>	6,01	2,736650	6,83	3,109830
5	14,01 a 34,00 m <sup>3</sup>	6,01	3,087868	6,83	3,508941
6	34,01 a 600,00 m <sup>3</sup>	6,01	3,342609	6,83	3,798419
7	600,01 a 1.000,00 m <sup>3</sup>	6,01	2,826775	6,83	3,212244
8	> 1.000,00 m <sup>3</sup>	6,01	1,847408	6,83	2,099327

Além disso, outra informação extraída de Comgás (2011) é o poder calorífico do gás natural fornecido:

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

Onde:

é o volume de gás consumido, em ;

é a massa de água aquecida, em ;

é o calor específico da água, em ;

é a diferença de temperatura de entrada e saída da água do aquecedor, em ;  
é o rendimento do aquecedor, adimensional.

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

#### 4.5.2 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. A tabela 10 é parte da tabela de preços do *web-site* da Aneel.

Tabela 10: Tarifa de energia elétrica para a AES Eletropaulo (Aneel, 2011)

Sigla	Concessionária	B1 - Residencial (R\$/kWh)	Vigência
ELETROPAULO	Eletropaulo Metropolitana Eletricidade de São Paulo S/A	0,29651	04/07/2011 até 03/07/2012

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

## 5 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.

### 5.1 Custos do sistema individual à gás

A tabela 11 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 11: 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 12 apresenta os custos de operação do sistema. Como este custo varia com a demanda de água, cada tipologia apresenta um custo diferente.

Tabela 12: 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

### 5.2 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 potência 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. As tabelas de 13 a 15 apresentam os custos de instalação deste sistema; a tabela 16 apresenta os custos de operação do sistema para cada tipologia.

Tabela 13: Custos dos equipamentos do sistema central à bomba de calor para tipologia I.

	Custo
Bomba de calor	R\$ 9.400,00
Bombas de circulação	R\$ 2.091,98
Reservatório	R\$ 662,80
Manta de vidro	R\$ 968,00
Tubulação com mão de obra	R\$ 2.718,06
Medidores de água	R\$ 795,00
<b>Total de investimento</b>	<b>R\$ 16.635,84</b>

Tabela 14: Custos dos equipamentos do sistema central à bomba de calor para tipologia II.

	Custo
Bomba de calor	R\$ 12.100,00
Bombas de circulação	R\$ 2.253,36
Reservatório	R\$ 1.190,00
Manta de vidro	R\$ 968,00
Tubulação com mão de obra	R\$ 2.718,06
Medidores de água	R\$ 795,00
<b>Total de investimento</b>	<b>R\$ 20.024,42</b>

Tabela 15: Custos dos equipamentos do sistema central à bomba de calor para tipologia III.

	Custo
Bomba de calor	R\$ 9.400,00
Bombas de circulação	R\$ 1.292,90
Reservatório	R\$ 662,80
Manta de vidro	R\$ 968,00
Tubulação com mão de obra	R\$ 2.718,06
Medidores de água	R\$ 795,00
<b>Total de investimento</b>	<b>R\$ 15.836,76</b>

Tabela 16: Custos de operação do sistema central à bomba de calor.

	Custo de operação
Tipologia I	R\$ 1.035,83
Tipologia II	R\$ 1.254,67
Tipologia III	R\$ 842,51

### 5.3 Análise econômica através do método do Valor Presente.

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 11 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 17: Resumo da análise econômica

	Tipologia I		Tipologia II		Tipologia III	
	Gas	BC	Gas	BC	Gas	BC
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%	

#### 5.4 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 o maior número de pessoas, todas as tipologias apresentaram uma economia de aproximadamente 65% durante o período.

Recomenda-se, a fim de estimular uma economia de água, para o sistema central de aquecimento, recomenda-se a utilização 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.

Por fim, sugere-se como tema para futuros trabalhos na área de eficiência energética de condomínios, o estudo de viabilidade econômica de sistemas centralizados de água quente em condomínios que já possuem instalados sistemas individuais. Além disto, propõe-se, também, a análise de outras alternativas como fonte de calor do sistema central, em especial uma caldeira à gás, visto a proximidade de resultados desta com a bomba de calor na análise pelo método de matriz de decisão realizada neste trabalho.

## 6 REFERÊNCIAS

- Aneel - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Tarifas Residenciais. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=493> . Acesso em: setembro de 2011.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7198: Projeto e execução de instalações prediais de água quente. Brasília, 1993. 6p.
- 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. 75 p.
- 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.
- Comgás - COMPANHIA DE GÁS DE SÃO PAULO. Tarifas do Gás Natural Canalizado. Disponível em: <http://www.comgas.com.br/tarifas.asp> . Acesso em: agosto de 2011.
- DIAKOULAKI, D.; ZERVOS, A.; SARAFIDIS, J.; MIRASGEDIS, S.; Cost benefit analysis for solar water heating systems. Beer Sheva, 1979
- EHRLICH, P. J.; Engenharia econômica: avaliação e seleção de projetos de investimento. Quinta edição. Atlas: São Paulo, 1989.
- HEPBASLI, A.; KALINCI, Y.; A review of heat pump water heating systems. Renewable and Sustainable Energy Reviews, Izmir (Turquia), 2008
- 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 Fluídos. 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.eletrabras.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.
- SECOVI-SP - SINDICATO DAS EMPRESAS DE COMPRA, VENDA, LOCAÇÃO E ADMINISTRAÇÃO DE IMÓVEIS RESIDENCIAIS E COMERCIAIS DE SÃO PAULO. 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.
- SOLETROL Aquecedores Solares de Água. Como funciona um aquecedor solar. Disponível em: <http://www.soletrol.com.br/educacional/comofunciona.php> . Acesso em: setembro de 2010.
- TECHEM. Reunião com Eduardo Lacerda, Gerente Geral da Techem do Brasil. <http://www.techem.com.br> . Julho de 2011 (Informação verbal).
- 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.
- UOL Economia. Consultor vê alta de 30% em tarifa elétrica entre 2010-2015 Disponível em: <http://economia.uol.com.br/ultimas-noticias/reuters/2010/09/30/consultor-ve-alta-de-30-em-tarifa-eletrica-entre-2010-2015.jhtm> . Acesso em: outubro de 2010.

- WOLF, D.; TAMIR, A.; KUDISH, A.; A central solar domestic hot water system. Performance and economic analysis. Energy Conversion & Management. Atenas, 2000.

## ANEXO A – IMÓVEIS COMERCIALIZADOS DE DEZ 2010 A MAR 2011

Retirado de: 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.



### PESQUISA DO MERCADO IMOBILIÁRIO COMERCIALIZAÇÃO DE IMÓVEIS NOVOS - REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO PAULO SEGMENTADO POR NÚMERO DE DORMITÓRIOS



MÊS-BASE: dezembro/2010

#### DESEMPENHO DO MERCADO - TOTAL

Unidades			1 dorm	2 dorms	3 dorms	4 dorms	Total
OF	Oferta - 30/11/10	un	944	8.725	8.979	4.332	22.980
UL	(+) Unidades Lançadas	un	693	5.745	3.388	905	10.731
UV	(-) Unidades Vendidas	un	679	3.706	2.322	401	7.108
OF	(=) Oferta - 31/12/10	un	958	10.764	10.045	4.836	26.603



**PESQUISA DO MERCADO IMOBILIÁRIO**  
COMERCIALIZAÇÃO DE IMÓVEIS NOVOS - REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO PAULO  
SEGMENTADO POR NÚMERO DE DORMITÓRIOS



MÊS-BASE: janeiro/2011

**DESEMPENHO DO MERCADO - TOTAL**

<i>Unidades</i>			<b>1 dorm</b>	<b>2 dorms</b>	<b>3 dorms</b>	<b>4 dorms</b>	<b>Total</b>
OF	Oferta - 31/12/10	un	958	10.440	10.096	4.748	26.242
UL	(+) Unidades Lançadas	un	41	857	678	34	1.610
UV	(-) Unidades Vendidas	un	113	1.182	976	264	2.535
OF	(=) Oferta - 31/01/11	un	886	10.115	9.798	4.518	25.317



**PESQUISA DO MERCADO IMOBILIÁRIO**  
COMERCIALIZAÇÃO DE IMÓVEIS NOVOS - REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO PAULO  
SEGMENTADO POR NÚMERO DE DORMITÓRIOS



MÊS-BASE: fevereiro/2011

**DESEMPENHO DO MERCADO - TOTAL**

<i>Unidades</i>			<b>1 dorm</b>	<b>2 dorms</b>	<b>3 dorms</b>	<b>4 dorms</b>	<b>Total</b>
OF	Oferta - 31/01/11	un	868	9.910	9.567	4.381	24.726
UL	(+) Unidades Lançadas	un	360	3.058	1.871	196	5.485
UV	(-) Unidades Vendidas	un	271	1.777	1.368	312	3.728
OF	(=) Oferta - 28/02/11	un	957	11.191	10.070	4.265	26.483



**PESQUISA DO MERCADO IMOBILIÁRIO**  
COMERCIALIZAÇÃO DE IMÓVEIS NOVOS - REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO PAULO  
SEGMENTADO POR NÚMERO DE DORMITÓRIOS



---

MÊS-BASE: março/2011

---

**DESEMPENHO DO MERCADO - TOTAL**

<i>Unidades</i>			<b>1 dorm</b>	<b>2 dorms</b>	<b>3 dorms</b>	<b>4 dorms</b>	<b>Total</b>
OF	Oferta - 28/02/11	un	934	10.984	9.930	4.082	25.930
UL	(+) Unidades Lançadas	un	108	1.709	698	487	3.002
UV	(-) Unidades Vendidas	un	202	1.928	1.017	752	3.899
OF	(=) Oferta - 31/03/11	un	840	10.765	9.611	3.817	25.033

## ANEXO B – LEVANTAMENTO DE AQUECEDORES DE PASSAGEM À GÁS

Modelos da linha Plus do fabricante Equibrás.

MODELOS GN	EB-600	EB-1000	EB-1800	EB-2200
Capacidade de Vazão (litros/min)	6	8,5	15,5	20
Diâmetro de chaminé (mm)	90	85	130	135
Tipo de Gás	GN	GN	GN	GN
Consumo max de gás/hora - m <sup>3</sup> /h	0,89	1,35	2,28	3,07
Potência (kcal/h)	8.514	12.814	21.758	29.240
Potência (kw)	9,9	14,9	25,3	34,0
Rendimento (%)	82,2	81,2	85,3	82,3
Clasificação INMETRO	A	B	A	A

Fonte: EQUIBRÁS. Nossos produtos. Disponível em:

<http://www.equibras.com/php/navegacao.php?chave=p-aquecedores-plus-gn>.

Acesso em: julho de 2011.

Modelos da linha Conforto Analógico da fabricante Bosch.

Características	und		GWH 160 B ND		GWH 250 B ND		GWH 325 B ND	
	GLP	GN	GLP	GN	GLP	GN	GLP	GN
Consumo máximo de gás	Kg/h	m <sup>3</sup> /h	1,00	1,22	1,61	2,00	1,92	2,39
Vazão obtida à 40 <sup>o</sup> 1	l/min		8,0		13,0		16,0	
Potência nominal nas condições padrão	kcal/h	kW	11.610	13,5	19.092	22,2	22.790	26,5
Rendimento	η %		84,3	85,2	80,9	80,2	83,1	83,4
Pressão mínima para vazão nominal	mca		5		5		5	
Pressão mínima para funcionamento	mca		2		2		2	
Pressão máxima admissível	mca		100		100		100	
Altura x Largura x Profundidade	mm		520 x 320 x 160		640 x 340 x 180		650 x 400 x 190	
Diâmetro da gola da chaminé	mm		95		115		135	
Alimentação elétrica			pilhas		pilhas		pilhas	
Quantidade de pontos simultâneos			01 ducha		01 ducha + 01 pia		02 duchas	
Classificação PBE			A		B		A	

Fonte: CIA DOS AQUECEDORES. Aquecedores Bosch. Disponível em:

<http://www.ciadosaquecedores.com.br/bosch.html#>. Acesso em: julho de 2011.

Modelo REU 85 BR da fabricante Rinnai

Dimensões (mm) AxLxP	520 x330 x170	
Peso	7 Kg	
Tipo de gás	GLP	GN
<b>Potência Nominal Condição Padrão</b>	16,5 (kW/h) 14.164 (kcal/h)	15,7 (kW/h) 13.511 (kcal/h)
Consumo Máximo de Gás	1,20 Kg/h	1,42 m³/h
<b>Vazão aproximada de Água (com misturador)</b>	<b>10 l/min</b>	<b>9 l/min</b>
Pressão mínima e máxima de água	7mca - 40 mca	
Pressão de gás	GLP	GN
	280 mmca	200 mmca
<b>Diâmetro da Chaminé</b>	<b>90 mm</b>	
Vazão/Pressão Mínima para Acionamento	3,4 l/min - 2,6 mca	
Diâmetro Entrada de Gás (GLP/GN)	½" BSP	
Diâmetro Entrada / Saída de Água	½" BSP	
Sistema de Ignição	Acendimento Eletrônico com duas pilhas de 1,5VDC (grande)	

Fonte: CIA DOS AQUECEDORES. [Aquecedores Rinnai](http://www.ciadosaquecedores.com.br/rinnai.html#). Disponível em:  
<http://www.ciadosaquecedores.com.br/rinnai.html#>. Acesso em: julho de 2011.

Modelos de exaustão natural da fabricante Innova.

	<b>IN-600</b>	<b>IN-1000</b>	<b>IN-1500</b>	<b>IN-1800</b>	<b>IN-2200</b>
Potência (Kcal/h): GLP   GN	8.635  8.515	13.459  14.516	16.073  16.073	20.487  20.855	27.726  30.198
Potência* (KW): GLP   GN	10,0 9,90	15,7 16,9	18,7 18,7	23,80  24,30	32,20  35,10
Consumo de Gás: GLP (Kg/h)   GN (m³/h)	0,73 0,89	1,14 1,52	1,36 1,69	1,73 2,19	2,34 3,17
Vazão de Água** (L/min): GLP   GN	6,0 6,0	9,0 10,0	11,5 11,0	14,5 14,5	19,5 21,0
Pressão Ideal de Trabalho (mca)	>10	>10	>10	>10	>10
Rendimento (%): GLP   GN	82,3 82,1	82,2 81,7	84,1 81,5	85,2 84,8	83,8 83,3
Dimensões= AxLxP (mm)	425X290 X12	520X320 X157	550X328 X179	610X350 X179	680X420 X189
Diâmetro da Chaminé (mm)	80	85	100	130	135
Peso (Kg)	6,2	8,5	11,0	12,0	16,0
Bitola de Entrada de Água Fria	1/2"	1/2"	1/2"	1/2"	1/2"
Bitola de saída de Água Quente	1/2"	1/2"	1/2"	1/2"	1/2"
Bitola de Entrada de Gás	1/2"	1/2"	1/2"	1/2"	1/2"
Tensão (V)	3***	3***	3***	3***	3***
Classificação PBE/ CONPET: GLP   GN	A A	A B	A B	A A	A A

Fonte: CIA DOS AQUECEDORES. Aquecedores Innova. Disponível em:

<http://www.ciadosaquecedores.com.br/innova.html#>. Acesso em: julho de 2011.

## ANEXO C – DADOS TÉCNICOS DOS EQUIPAMENTOS

Bombas de calor Jellyfish HOT 55 – BC 80 T e HOT 55 – BC 50 M. Fonte> Jellyfish. Catálogo técnico de aquecedores. Disponível em: <http://www.jellyfish.com.br/catalogos.asp>. Acesso em: novembro de 2010.

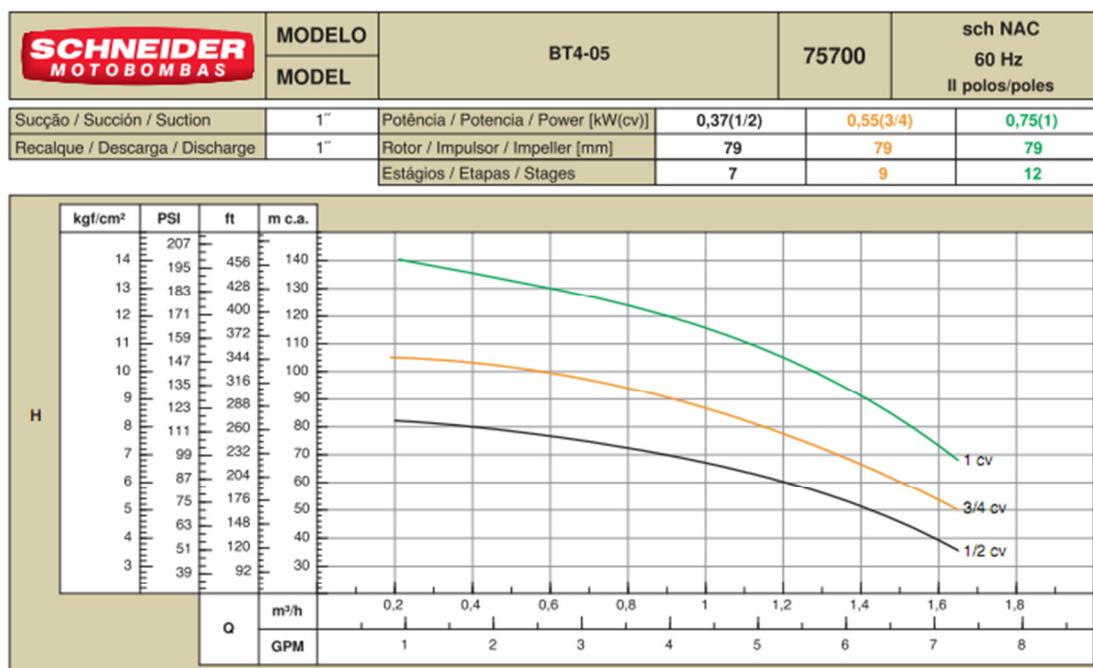
PRODUÇÃO EM LITROS - HOT 55												
Temperatura do Ar (°C)	14			18			22			27		
Temperatura da Água (°C)	45	50	55	45	50	55	45	50	55	45	50	55
BC 50	369	295	246	434	347	290	499	399	333	581	464	387
BC 80	608	486	405	698	558	465	788	630	525	900	720	600
BC 120	804	643	536	923	739	616	1042	834	695	1191	953	794
BC 480	3402	2722	2268	3822	3057	2548	4241	3393	2827	4765	3812	3177

CARACTERÍSTICAS	UNIDADES	BC 50 M	BC 80 T
Fases		230-1-60	230-3-60
Capacidade Nominal	Kcal	11.612	18.723
Potência Compressor	Kw	3.36	6.03
Corrente Compressor	A	14.6	18.01
Qtde Compressores	Un.	1	1
Potência Ventilador	Kw	0.21	0.21
Corrente Ventilador	A	0.9	1.6
Qtde Ventiladores	Un.	1	1
Potência Nominal Total	Kw	3.57	6.24
Corrente Nominal Total	A	15.5	19.61
C.O.P. Água Quente		3.78	3.61
Comprimento	mm	765	965
Largura	mm	665	855
Altura	mm	770	770
Peso	Kg	70	102
Vazão Água Quente	M3/h	3	4

Bomba de circulação Schneider BT4-0507E9 (0,75 cv). Fonte: SCHNEIDER MOTOBOMBAS. Tabela de comprimentos equivalentes em conexões.

Disponível em:

[http://www.schneider.ind.br/\\_slg/uploads/349b58c9305e1d7e684b003cfbeb7e18.pdf](http://www.schneider.ind.br/_slg/uploads/349b58c9305e1d7e684b003cfbeb7e18.pdf) . Acesso em: julho de 2011.



MODELO	Potência (cv)	Estágios	Monofásico	Trifásico	Ø Sucção (pol)	Ø Recalque (pol)	Pressão máxima sem vazão (m Ca.)	Altura máxima de sucção (m Ca.)	Ø Rotor (mm)
BT4-0505E7	1/2	7	x	x	1	1	85	3	79
BT4-0507E9	3/4	9	x	x	1	1	110	3	79
BT4-0510E12	1	12	x	x	1	1	144	3	79
BT4-0715E14	1,5	14	x	x	1	1	180	3	79
BT4-1010E8	1	8	x	x	1	1	100	3	79
BT4-1015E11	1,5	11	x	x	1	1	138	3	79
BT4-1020E15	2	15	x	x	1	1	190	3	79

Motor WEG IP-21, flange quadrada, 2 Polos, 60 Hz

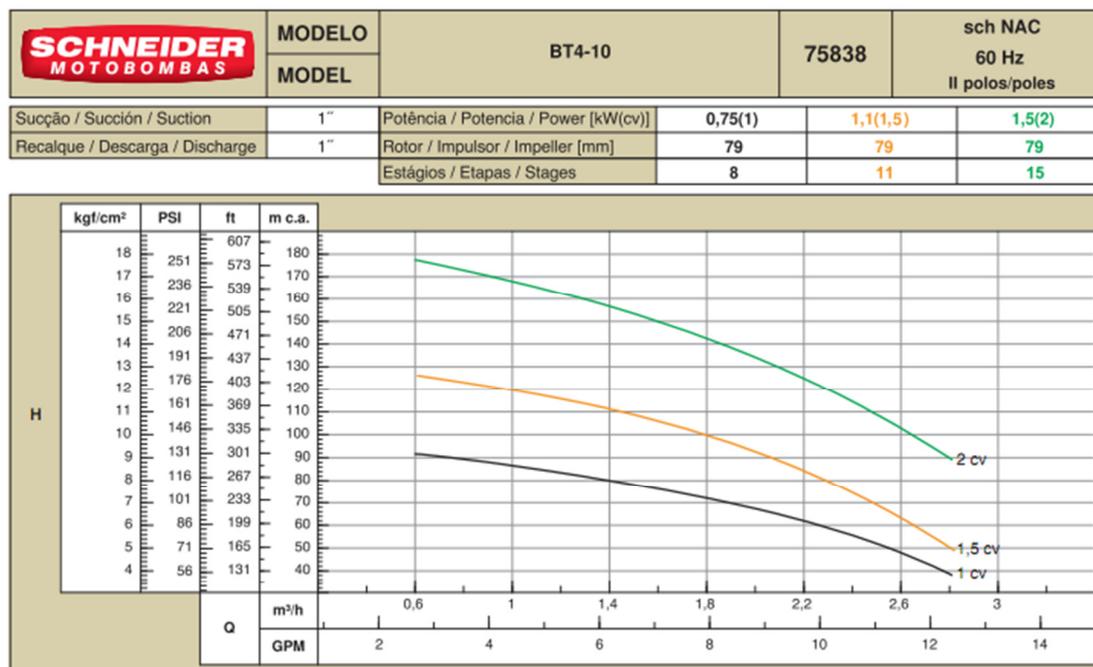
MODELO	CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS																	
	ALTURA MANOMÉTRICA TOTAL (m ca.)																	
	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125
	VAZÃO EM m³/h VÁLIDA PARA SUÇÃO DE 0 m c.a.																	
BT4-0505E7	1,6	1,5	1,4	1,3	1,2	1,1	0,9	0,7	0,4									
BT4-0507E9	*	*	*	1,6	1,5	1,4	1,3	1,3	1,2	1,0	0,9	0,8	0,6	0,2				
BT4-0510E12	*	*	*	*	*	*	1,6	1,6	1,5	1,5	1,4	1,4	1,3	1,2	1,1	1,0	0,9	0,8
BT4-0715E14	*	*	*	*	*	*	2,3	2,2	2,2	2,1	2,1	2,0	1,9	1,9	1,8	1,7	1,7	1,6
BT4-1010E8	2,8	2,7	2,6	2,4	2,3	2,1	1,9	1,7	1,4	1,1	0,8							
BT4-1015E11	*	*	2,8	2,7	2,6	2,5	2,4	2,3	2,2	2,1	1,9	1,8	1,6	1,5	1,2	1,0	0,7	
BT4-1020E15	*	*	*	*	*	*	*	*	*	2,8	2,7	2,6	2,6	2,5	2,4	2,3	2,2	

Rotor de Celcon®, corpo de aço inox.  
Sistema de vedação Tri-Seal™, com rotores flutuantes independentes.  
Temperatura máxima do líquido bombeado: 40°C.

Bomba de circulação Schneider BT4-1015E11 (1,5 cv). Fonte: SCHNEIDER MOTOBOMBAS. Tabela de comprimentos equivalentes em conexões. Disponível em:

[http://www.schneider.ind.br/\\_slg/uploads/349b58c9305e1d7e684b003cfbeb7e18.pdf](http://www.schneider.ind.br/_slg/uploads/349b58c9305e1d7e684b003cfbeb7e18.pdf) .

Acesso em: julho de 2011.



Bomba de circulação Schneider VJ-05 (0,5 cv). Fonte: SCHNEIDER MOTOBOMBAS. Tabela de comprimentos equivalentes em conexões. Disponível em:

[http://www.schneider.ind.br/\\_slg/uploads/349b58c9305e1d7e684b003cfbeb7e18.pdf](http://www.schneider.ind.br/_slg/uploads/349b58c9305e1d7e684b003cfbeb7e18.pdf) .

Acesso em: julho de 2011.



## Caixas d'água Fortlev – 3000 e 5000 Litros.

Capacidade (L)	Dimensões (m)				
	A	B	C	D	E
1.500	0,88	0,75	1,74	1,63	1,51
2.000	1,14	0,99	1,93	1,83	1,52
3.000	1,47	1,32	2,06	1,88	1,52
4.000	1,82	1,66	2,12	2,00	1,52
5.000	1,85	1,64	2,34	2,21	1,86
6.000	1,92	1,70	2,45	2,31	2,00
7.500	2,27	2,01	2,57	2,40	2,00
8.000	2,39	2,09	2,62	2,57	2,00
10.000	2,31	2,00	2,82	2,70	2,38
10.000**	2,82	2,50	2,70	2,50	2,00
12.000	2,46	2,12	3,05	2,89	2,48
15.000	2,94	2,59	3,09	2,95	2,50
20.000	3,67	3,26	3,25	3,08	2,41
25.000	4,39	4,09	3,34	3,31	2,42

L - Litros  
m - metros

A - Altura com tampa  
B - Altura sem tampa  
C - Diâmetro com Tampa  
D - Diâmetro sem Tampa  
E - Diâmetro da Base.

Dimensões aproximadas  
\*\* Formato Diferenciado

- Fonte: TAMILE. Caixa d'água de fibra 5000 L FORTLEV. Disponível em: [http://www.tamile.com.br/product\\_info.php?cPath=80\\_84&products\\_id=339&osCsid=9aab9eb84eabdac1c5da21bf6fab8fad](http://www.tamile.com.br/product_info.php?cPath=80_84&products_id=339&osCsid=9aab9eb84eabdac1c5da21bf6fab8fad) . Acesso em: setembro de 2011.