

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS E TÉCNICAS NUCLEARES

**BOMBAS DE CALOR PARA AQUECIMENTO DE ÁGUA: UMA  
ANÁLISE DO POTENCIAL DE USO NO SETOR RESIDENCIAL DO  
ESTADO DE MINAS GERAIS.**

por

THIAGO MARQUES DUARTE

Dissertação para obtenção do Título de Mestre em Ciências e Técnicas Nucleares

# **Livros Grátis**

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

THIAGO MARQUES DUARTE

**BOMBAS DE CALOR PARA AQUECIMENTO DE ÁGUA: UMA  
ANÁLISE DO POTENCIAL DE USO NO SETOR RESIDENCIAL DO  
ESTADO DE MINAS GERAIS.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Ciências e Técnicas Nucleares (PCTN), do Departamento de Engenharia Nuclear da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), como requisito parcial à obtenção do Título de Mestre em Ciências e Técnicas Nucleares, na área de concentração Engenharia da Energia.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Brant Pinheiro

Belo Horizonte, 1 de janeiro de 2002.  
Departamento de Engenharia Nuclear  
Escola de Engenharia da UFMG



*“O CONHECIMENTO AMPLO E SATISFATÓRIO SOBRE UM PROCESSO OU FENÔMENO SOMENTE EXISTIRÁ QUANDO FOR POSSÍVEL MEDI-LO E EXPRESSÁ-LO ATRAVÉS DE NÚMEROS”.*

*LORD KELVIN, 1883.*

---

## AGRADECIMENTOS

---

- Aos meus pais e irmãos pela presença e apoio durante todo caminho que trilhei.
- À minha esposa Karla.
- Ao professor Ricardo, muito obrigado pela ajuda.
- Meus amigos, colegas do PCTN, por partilharem as dificuldades do caminho.
- À Companhia Energética de Minas Gerais pelo fomento a este projeto.

---

**SUMÁRIO**

---

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
1.1 A BOMBA DE CALOR.....	2
1.2 OBJETIVO DO TRABALHO.....	3
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	3
<b>2. REVISÕES DE CONCEITOS.....</b>	<b>5</b>
2.1 CONCEITOS FUNDAMENTAIS.....	5
2.2 COEFICIENTE DE DESEMPENHO.....	6
2.3 ENGENHARIA ECONÔMICA.....	7
2.3.1 ANÁLISE DE VIABILIDADE FINANCEIRA.....	9
2.3.1.1 “PAYBACK”.....	10
2.3.1.2 TAXA INTERNA DE RETORNO (TIR).....	10
2.3.1.3 VALOR PRESENTE LÍQUIDO (VPL).....	11
2.3.1.4 MÉTODO UNIFORME EQUIVALENTE.....	11
2.4 PLANEJAMENTO ENERGÉTICO.....	12
<b>3. TIPOS DE AQUECEDORES.....</b>	<b>14</b>
3.1 PANORAMA ATUAL DO AQUECIMENTO DE ÁGUA.....	14
3.2 RESERVATÓRIO TÉRMICO.....	15
3.3 AQUECEDORES A GÁS.....	15
3.4 AQUECEDORES ELÉTRICOS.....	18
3.5 BOMBA DE CALOR.....	20
3.6 AQUECEDOR SOLAR.....	21
3.7 CARACTERÍSTICAS DOS SISTEMAS.....	23
<b>4. METODOLOGIA.....</b>	<b>24</b>
4.1 ANÁLISE TÉCNICA DA BOMBA DE CALOR.....	26
4.2 ANÁLISE ECONÔMICA.....	28
4.2.1 GLP.....	29
4.2.2 ELETRICIDADE.....	29
4.2.3 FLUXO DE CAIXA DOS AQUECEDORES.....	30
4.3 PLANEJAMENTO ENERGÉTICO.....	30
4.3.1 DETERMINAÇÃO DAS TAXAS DE PROJEÇÃO.....	32

4.3.1.1	MODELO CLÁSSICO DAS SÉRIES TEMPORAIS .....	32
4.3.1.2	OBTENÇÃO DE TENDÊNCIA LINEAR .....	33
<b>5.</b>	<b>APLICAÇÃO DA METODOLOGIA .....</b>	<b>34</b>
5.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....	34
5.2	DEFINIÇÃO DO ESTUDO DE CASO.....	34
5.3	ANÁLISE TÉCNICA .....	35
5.4	ANÁLISE ECONÔMICA .....	36
5.5	PLANEJAMENTO ENERGÉTICO .....	39
5.5.1	O ANO BASE.....	39
5.5.2	O HORIZONTE DE PLANEJAMENTO.....	40
5.5.3	CENÁRIOS.....	40
5.6	DADOS ENERGÉTICOS .....	42
5.70	CONSTRUINDO A REDE .....	43
<b>6.</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>46</b>
6.1	ANÁLISE TÉCNICA DA BOMBA DE CALOR .....	46
6.2	SIMULAÇÕES .....	46
6.2.1	PARA UM APARTAMENTO COM CINCO PESSOAS.....	46
6.2.2	EFEITO DA VARIAÇÃO DA DEMANDA NOS CUSTOS TOTAIS MENSAIS.....	48
6.2.3	EFEITO DA VARIAÇÃO DO INVESTIMENTO INICAL NOS CUSTOS TOTAIS MENSAIS.....	49
6.3	PLANEJAMENTO ENERGÉTICO .....	51
6.3.1	CENÁRIO DE REFERÊNCIA .....	51
6.3.2	DEMAIS CENÁRIOS .....	56
<b>7.</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>59</b>
<b>8.</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>61</b>
	<b>APÊNDICE A – APRESENTAÇÃO DA PLANILHA .....</b>	<b>66</b>
	<b>APÊNDICE B – ENPEP.....</b>	<b>69</b>



---

**LISTA DE FIGURAS**

---

FIGURA 2.1: FLUXO DE CAIXA ESQUEMÁTICO.....	12
FIGURA 2.2: SÉRIE UNIFORME EQUIVALENTE DESEJADA.....	12
FIGURA 3.1: CONFIGURAÇÃO ESQUEMÁTICA DA BOMBA DE CALOR.....	20
FIGURA 4.1: FLUXOGRAMA DA METODOLOGIA.....	25
FIGURA 4.2: DIAGRAMA DA BOMBA DE CALOR.....	27
FIGURA 4.3: FLUXOGRAMA DO ESTUDO DE PLANEJAMENTO.....	31
FIGURA 5.1: DIAGRAMA P X H DO R134.....	35
FIGURA 5.2: FRAÇÕES DA DEMANDA DE ENERGIA ÚTIL UTILIZADA NO ESTUDO.....	43
FIGURA 5.3: REPRESENTAÇÃO DA REDE ENERGÉTICA.....	45
FIGURA 6.1: RESULTADO PARA APARTAMENTO COM 5 MORADORES.....	47
FIGURA 6.2: RESULTADO PARA DOIS APARTAMENTOS COM CINCO MORADORES CADA.....	48
FIGURA 6.3: RESULTADO INVESTIMENTO INICIAL DA BOMBA DE CALOR.....	50
FIGURA 6.4: EVOLUÇÃO DAS DEMANDAS DE ENERGIA ÚTIL.....	52
FIGURA 6.5: EVOLUÇÃO DAS OFERTAS DE ENERGIA FINAL.....	53
FIGURA 6.6: EVOLUÇÃO DAS OFERTAS DE ELETRICIDADE.....	55
FIGURA 6.7: EVOLUÇÃO DAS OFERTAS DE GLP.....	56
FIGURA 6.8: COMPARATIVO DAS DEMANDAS TOTAIS – ANO BASE E CENÁRIOS 2025.....	57
FIGURA A.1: TELA INICIAL, ABA “ÁGUA QUENTE”, DA PLANILHA BDC.XLS.....	66
FIGURA A.2: PARÂMETROS PARA SIMULAÇÕES.....	67
FIGURA A.3: BASE PARA O CÁLCULO DAS SIMULAÇÕES NA PLANILHA BDC.XLS.....	68
FIGURA B1: TELA INICIAL DO PROGRAMA ENPEP 2.20.....	69
FIGURA B2: NÓS E LAÇOS DO MÓDULO BALANCE.....	70

---

**LISTA DE TABELAS**

---

TABELA 3-1: VANTAGENS E DESVANTAGENS DOS AQUECEDORES DE ÁGUA. ....	23
TABELA 5-1: VALORES DAS PROPRIEDADES A CADA PONTO DO CICLO.....	36
TABELA 5-2: CONSUMO DIÁRIO MÉDIO.....	37
TABELA 5-3: RENDIMENTOS MÉDIOS DOS AQUECEDORES.....	38
TABELA 5-4: DADOS DOS AQUECEDORES PARA SIMULAÇÃO.....	39
TABELA 5-5: CENÁRIOS.....	42
TABELA 5-6: MÁXIMAS EFICIÊNCIAS DOS AQUECEDORES.....	42
TABELA 6-1: DADOS DAS DISTRIBUIÇÕES DE MERCADO PARA A ENERGIA ÚTIL. ....	52
TABELA 6-2: DADOS DAS DISTRIBUIÇÕES PARA ENERGIA FINAL. ....	54
TABELA 6-3: DADOS DAS DISTRIBUIÇÕES PARA ELETRICIDADE. ....	55
TABELA 6-4: DADOS DAS DISTRIBUIÇÕES PARA GLP. ....	56
TABELA 6-5: DADOS ENERGÉTICOS .....	58

---

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

---

- ABNT: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.
- ANEEL: AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA.
- BEEMG: BALANÇO ENERGÉTICO DO ESTADO DE MINAS GERAIS.
- BEN: BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL.
- CEMIG: COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS S.A.
- CONAMA: CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE.
- ELETRORÁS: CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS S.A.
- ENPEP: ENERGY AND POWER EVALUATION PROGRAM
- GREEN: GRUPO DE ESTUDOS EM ENERGIA.
- INMETRO: INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL.
- MME: MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA.
- PIB: PRODUTO INTERNO BRUTO.
- PROCEL: PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA.
- SAC: SISTEMA DE AMORTIZAÇÃO CONSTANTE.
- TIR: TAXA INTERNA DE RETORNO.
- TMA: TAXA MÍNIMA DE ATRATIVIDADE.
- VPL: VALOR PRESENTE LÍQUIDO.

---

## RESUMO

---

Neste trabalho avalia-se a viabilidade da inserção da bomba de calor como alternativa para o aquecimento de água no setor residencial no Estado de Minas Gerais. Foi feita a comparação sob os aspectos econômico, financeiro e de planejamento energético dos resultados das alternativas existentes atualmente, e também da bomba de calor, para o aquecimento de água. Foi aplicado o modelo de séries uniformes equivalentes aos custos de investimentos iniciais e custos mensais de operação e manutenção de cada tecnologia num horizonte de dez anos. Foram simuladas diferentes demandas para o aquecimento de água para o setor residencial, gerando resultados quantitativos além dos qualitativos. Foi realizado também o estudo de planejamento energético em longo prazo da inserção da bomba de calor no setor residencial. Foi utilizado o módulo BALANCE do modelo ENPEP 2.20 para fazer a simulação com os dados de pesquisa de mercado, da região metropolitana de Belo Horizonte e do 20°BEEMG (Balanço Energético do Estado de Minas Gerais). Os resultados mostraram que a bomba de calor é uma tecnologia limpa, pois não emite poluentes em sua operação. Reduz em cerca de 20% o consumo de eletricidade em relação aos aquecedores elétricos convencionais. Também promove a modulação da carga, deslocando o consumo de eletricidade para fora do horário de ponta. Verifica-se que, ao final do horizonte de estudo, a participação da bomba de calor no mercado é cerca de 30% o que levaria uma redução do consumo de eletricidade na matriz energética para o aquecimento de água de 41 para 24% no setor residencial. Confirma-se que os aquecedores elétricos convencionais (efeito Joule) não são indicados para o aquecimento de água. A bomba de calor é uma alternativa econômica, técnica e ambientalmente viável para o setor residencial no Estado de Minas Gerais. A bomba de calor não é mais competitiva do que os aquecedores solares; contudo no nicho de mercado no qual os aquecedores solares não conseguem atingir, a bomba de calor mostra-se como a melhor alternativa em curto prazo. Para ser mais competitiva do que o aquecedor solar a bomba de calor deve ter seu investimento inicial cerca de 60% do valor do investimento no aquecedor solar.

Palavras chave: Aquecimento de água, Bomba de Calor, Planejamento energético, Setor Residencial.

---

**ABSTRACT**

---

This work assess the feasibility of inserting heat pumps as an alternative to water heating for the residential sector in the State of Minas Gerais. A comparison was made, under the economic, financial and energy planning aspects, of the results of the present alternatives, and including the heat pump for water heating. It was applied the uniform series equivalent model to the cost of initial investment and monthly costs of operation and maintenance of each technology within a timeframe of ten years. Different demands were simulated for water heating in the residential sector, giving-quantitative results besides the qualitative ones. It was also carried out the study of long-term planning for the energy integration of the heat pump into the residential sector. The BALANCE module of the ENPEP 2.20 model was used to simulate from market data for the metropolitan area of Belo Horizonte taken from the 20° BEEMG (Energy Balance of the State of Minas Gerais). The results showed that the heat pump is a clean technology since it does not emit pollutants during its operation. It reduces by about 20% the electricity consumption in relation to conventional electric heaters. It also promotes the load modulation, shifting the consumption of electricity to off-peak hours. It appears that at the end of the horizon study that the penetration of the heat pump in the market is around 30% which would result in a reduction of electricity consumptions in the energy matrix of water heating from 41 to 24% in the residential sector. It is confirmed that the conventional electric heaters (Joule effect) are not suitable for water heating. The heat pump is an economical alternative, technically and environmentally feasible for the residential sector in the State of Minas Gerais. The heat pump is not more competitive than the solar heaters, but for the market niche for which the solar heaters can not reach the heat pump shows itself as the best alternative in the short term. To be more competitive as the solar heaters the heat pump must have its initial investment of about 60% that of the solar heater.

**Key Words:** Water Heating, Heat pump, Energy Planning, Residential Sector.

---

## 1. INTRODUÇÃO

---

Ao longo de sua história, a humanidade utilizou seus recursos energéticos sem a preocupação com seu esgotamento ou o impacto ambiental causado. À medida que as economias em desenvolvimento crescerem, sua demanda de energia tenderá a se equiparar à dos países de alta renda, gerando um processo de crise. Os atuais prognósticos a respeito do assunto são sombrios, principalmente para a geração de energia, caso se queira manter o crescimento econômico no ritmo atual visando a diminuir a pobreza de acordo com a relação Qualidade de Vida → Tecnologia → Energia proposta por SPITALNIK, 1996.

No Brasil, o crescimento do consumo de energia elétrica é uma constante. Mesmo nos períodos em que se verificou uma estagnação econômica, o consumo não parou de crescer. A demanda total de energia no Estado de Minas Gerais, em 2004, chegou a 28,73 milhões de Toneladas Equivalentes de Petróleo (tEP), o que equivale a 14,5% da demanda total de energia no Brasil de acordo com o 20º Balanço Energético do Estado de Minas Gerais (20º BEEMG). Durante o período 1978-2003, a demanda cresceu, no Estado, a uma taxa média de 2,6% ao ano e a variação no Brasil foi de 2,7% ao ano.

Para atender a este consumo crescente há duas estratégias básicas, uma buscando a diversificação da matriz e aumento da oferta e a outra que é o uso racional do sistema energético, desde a exploração dos recursos naturais, passando pelos conversores até os programas de conscientização do usuário final.

A meta da política energética estadual é promover a racionalização da produção e do consumo de energia, eliminando os desperdícios e reduzindo os custos e os investimentos setoriais, o que leva a uma redução de custos de energia para o consumidor e, por fim, a redução de impactos ambientais.

O setor residencial em Minas Gerais, foco deste estudo, responde por cerca de 11% da demanda de 30.947mil tEP, sendo 17,7% da demanda total do estado suprida por eletricidade.

A economia de energia elétrica possibilita que a energia não gasta possa ser fornecida a outro consumidor para prestação de um outro serviço; assim a necessidade de expansão do sistema, graças à economia, pode ser adiada reduzindo os investimentos em novas usinas e os impactos ambientais decorrentes.

Outro fator a ser considerado é que a energia deve ser entendida como uma necessidade fundamental da sociedade moderna, já que seus serviços são considerados tão básicos como a infra-estrutura de provisão de água, saneamento, transportes, saúde pública etc. Em muitos países (como no Brasil) existem medidas para socializar seu uso, por exemplo, com subsídios para os combustíveis usados por grupos de baixa renda ou para programas de eletrificação rural.

O aquecimento de água é responsável por uma significativa parcela do consumo de energia. No setor residencial, a demanda de energia para aquecimento de água responde por um quarto do consumo total de energia elétrica segundo JANNUZZI (1991). Nele, o aquecimento de água é necessário principalmente para banho e lavagem de roupas e louças.

Os aquecedores elétricos por efeito Joule são dispositivos com eficiência da ordem de 86% para os sistemas de acumulação e de 95% para os sistemas de passagem. Aquecedores a gás têm eficiência típica da ordem de 85%, enquanto os sistemas de aquecimento solar estão na faixa dos 50%, segundo FERREIRA (2002).

A alternativa para o aquecimento de água mais utilizada são os chuveiros elétricos. Isto porque estes dispositivos apresentam custo de investimento muito baixo bem como facilidade de uso e manutenção. No entanto são dispositivos com potência elevada e que apresentam a característica de concentrar seu consumo no chamado horário de pico, entre as 17 e 21 horas. Os chuveiros elétricos são, no Brasil, os grandes responsáveis pelo aumento da carga no horário de pico do sistema elétrico. Isto gera a necessidade de investimentos extras no sistema das concessionárias de forma a atender a demanda neste horário, o que deixa a capacidade de geração e transmissão excedente no sistema na maior parte de tempo. A bomba de calor apresenta-se como uma alternativa potencial na substituição destas tecnologias.

### *1.1 A BOMBA DE CALOR*

O termo Bomba de Calor é aplicado para designar equipamentos que operam segundo o mesmo ciclo termodinâmico de refrigeração, onde o calor rejeitado no condensador é utilizado em processos de aquecimento a temperaturas moderadas, tais como aquecimento água para fins sanitários ou em piscinas, secagem de grãos, aquecimento/refrigeração de ar (conforto de ambientes) etc. Nessas aplicações, os efeitos de aquecimento e resfriamento

podem ser utilizados concomitantemente. O sistema é composto por quatro componentes básicos: compressor, condensador, válvula de expansão e evaporador.

As bombas de calor podem ser classificadas segundo o fluido da fonte de calor, que é mencionado inicialmente, seguido pelo fluido receptor de calor. Assim, por exemplo: uma bomba térmica que utiliza o ar ambiente para aquecer água seria uma bomba térmica ar/água. As mais comuns são: ar/ar; ar/água; água/ar; água/água; solo/ar; solo/água.

Há na literatura registros que mostram que as bombas de calor podem ter um coeficiente de desempenho superior a 100% em seu ciclo. Na prática isto equivale a dizer que, a cada 100kW de energia elétrica consumidos no compressor, mais de 100kW de potência térmica são transferidos à água. Isto dá à bomba de calor uma vantagem em termos de economia de energia em relação aos aquecedores elétricos convencionais, visto que os mesmos utilizam um processo no qual se converte energia elétrica em calor diretamente, enquanto a bomba de calor se vale de um ciclo termodinâmico para transferir calor do ambiente para a água. O consumo pode ser deslocado inteiramente para o horário fora de pico por ser um sistema com reservatório térmico. A bomba de calor também produz ar frio durante seu ciclo de funcionamento. Esse ar pode ser usado para o condicionamento de ambientes reduzindo-se a carga térmica do local.

Desvantagens da bomba de calor seria o alto investimento inicial, a necessidade de mão de obra especializada para instalação e manutenção e a adequação física do local de instalação, requerendo obras civis.

## *1.2 OBJETIVO DO TRABALHO*

- Determinar a viabilidade econômica, tecnológica e ambiental da inserção da bomba de calor como tecnologia no mercado de aquecimento de água no setor residencial no Estado de Minas Gerais.

## *1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO.*

O trabalho se inicia pela definição dos objetivos a serem alcançados, seguido pela justificativa e motivação apresentados no Capítulo 1. No Capítulo 2, é apresentado o resultado de uma revisão dos conceitos teóricos para o aquecimento da água e suas



tecnologias. Por fim, é mostrado um panorama do aquecimento de água no Brasil e no mundo e ainda, o estabelecimento do panorama atual dos usos das soluções para aquecimento de água. O propósito desta revisão foi verificar quais tecnologias estariam em uso e em que escala, bem como estabelecer o estado da arte para essas tecnologias. Este estudo consta basicamente dos seguintes itens:

- Estrutura do consumo de energia no setor residencial;
- Principais sistemas de aquecimento de água utilizados em cada setor;
- Principais características destes sistemas: eficiência, preço, disponibilidade, impacto ambiental, etc.;
- Novas tecnologias disponíveis.

Em seguida, no Capítulo 3, é feita a caracterização de cada uma das tecnologias descrevendo seus aspectos tecnológicos, vantagens e desvantagens de cada uma. Em seguida, é estabelecida a metodologia a ser aplicada, representada esquematicamente por meio de um fluxograma na Figura 4.1. Sua descrição consta do Capítulo 4. Nesta etapa foi criado um modelo, o qual é capaz de simular a resposta quanto o tempo de equiparação de custos dos equipamentos. No Capítulo 5 aplica-se este modelo a dois estudos de caso, um para o setor residencial e outro para o setor serviços. Avalia-se, no Capítulo 6, os resultados obtidos determinando-se o que é viável ou não do aspecto técnico/econômico. Por fim, no Capítulo 7, conclui-se o trabalho apontando as propostas para novas pesquisas acerca do tema.

---

## 2. REVISÕES DE CONCEITOS

---

### 2.1 *CONCEITOS FUNDAMENTAIS*

Antes de aplicar os diversos conceitos relacionados ao presente estudo, é necessário apresentar de forma resumida conceitos introdutórios ligados à termodinâmica, transferência de calor, engenharia econômica e planejamento energético.

Adotar-se-á neste trabalho a seguinte definição para o termo termodinâmica “a termodinâmica é a ciência que trata do calor, do trabalho e daquelas propriedades das substâncias relacionadas ao calor e ao trabalho”. Assim sendo temos a base que fundamenta a aplicação da termodinâmica para as análises que serão realizadas.

Um sistema termodinâmico é definido como uma quantidade de matéria, com massa e identidade fixas, sobre a qual nossa atenção é dirigida. Tudo o que é externo ao sistema é denominado meio ou vizinhança. O sistema é separado da vizinhança pelas fronteiras do sistema e essas fronteiras podem ser móveis ou fixas.

Calor e trabalho podem cruzar as fronteiras de um sistema, contudo a massa que compõe o sistema pode ser sempre identificada.

A análise de situações como a deste trabalho envolve um escoamento de massa para dentro ou para fora de um equipamento. O procedimento seguido em tal análise consiste em especificar um volume de controle que envolve o equipamento a ser estudado. A superfície desse volume de controle é chamada de superfície de controle, ou seja, massa, além de calor e trabalho, cruzam a superfície de controle.

As equações desenvolvidas neste trabalho consideram sistemas abertos com fronteiras fixas, processos em regime permanente e com propriedades termodinâmicas em um dado ponto constantes no tempo. Além disso, as propriedades devem ser consideradas uniformemente distribuídas nas seções de entrada e saída do volume de controle, assim como no interior do mesmo.

As equações apresentadas na termodinâmica consideram os processos como uma sucessão de estados de equilíbrio. Um sistema está num estado de equilíbrio termodinâmico quando não apresenta nenhuma variação em suas propriedades.

Outro conceito fundamental é o da reversibilidade. Os processos termodinâmicos podem ser reversíveis ou irreversíveis. Nos processos reversíveis toda energia convertida de uma forma em outra pode e consegue ser aplicada para restaurar o sistema e o meio ambiente ao estado inicial, antes do início do processo, sem deixar quaisquer vestígios da ocorrência do processo. Assim, os processos reversíveis são ideais. Nos processos irreversíveis tal restauração não é possível, porque ocorrem perdas na transformação de uma forma de energia em outra. Deste modo, a máxima conversão de uma forma de energia em outra ocorre nos processos reversíveis. Todos os processos reais são irreversíveis.

Finalizando, deve-se ressaltar a convenção de sinais adotada neste trabalho, onde o calor transferido para o sistema é considerado positivo, assim como o trabalho realizado pelo sistema, também é positivo.

Ao proceder a análise, deve-se seguir alguns cuidados fundamentais, que irão auxiliar na execução desta etapa, tornando-a um modelo consistente e criterioso.

O sistema em estudo será dividido em partes, cada uma com sua fronteira bem definida, e essas serão tratadas da seguinte maneira, a que opera por escoamento de massa através da sua fronteira, será analisada como volume de controle ou sistema aberto, e como foi dito, o sistema de acumulação promove uma dissociação de tempo entre o consumo do recurso energético e a utilização do serviço energético.

Desta forma é importante definir o tempo no qual será realizada a análise. Este será o momento em que o recurso energético é consumido, e não o momento em que o serviço energético é utilizado. Desta maneira os sistemas de acumulação são considerados como sistema fechado.

## 2.2 COEFICIENTE DE DESEMPENHO

Adota-se neste trabalho a definição de coeficiente de desempenho, de performance ou ainda eficiência ( $\eta$ ) como sendo a razão entre o efeito útil (aquecimento) e a energia consumida.

$$\eta = \frac{\text{Efeito útil [J]}}{\text{Energia consumida [J]}}$$

O efeito útil de aquecimento é obtido a partir da taxa de transferência de calor para o fluido a ser aquecido durante o processo de condensação do fluido refrigerante, ou seja, o calor rejeitado no condensador. Este valor é normalmente maior do que um, podendo chegar a ordem de cinco, significando que para cada 1kW elétrico consumido no processo de compressão do fluido refrigerante, serão disponibilizados até 5kW térmicos no condensador. Isso é extremamente interessante em programas de conservação de energia elétrica, visto que se paga apenas pela energia fornecida ao compressor (eletricidade).

### 2.3 *ENGENHARIA ECONÔMICA*

Na estrutura sócio-econômica atual, o dinheiro tem não somente a função de facilitar o processo de transações entre os elementos da sociedade, mas também de servir de elemento importante no processo de produção dos bens e serviços, sendo transacionados, assim como na distribuição desses produtos entre a população. Esta ação de participar do processo de produção se dá através do investimento. Assim, um investimento pode ser definido como sendo uma aplicação de dinheiro em projetos de implantação de novas atividades, expansão, modernização, etc., da qual se espera obter uma boa rentabilidade. Portanto, torna-se necessário analisar as alternativas para garantir um bom retorno do investimento.

Se houvesse recursos ilimitados de capital, não haveria necessidade de aplicação das técnicas que serão apresentadas a seguir. Todas as propostas de aplicação de fundos seriam aceitáveis, desde que obedecessem a um simples critério: a renda total deve exceder o total dos gastos. Entretanto, no mundo real os recursos são limitados. A oferta de capital disponível não é suficiente para satisfazer toda a demanda imaginável, não sendo possível aproveitar todas as oportunidades de investimentos. Análises envolvendo a escolha entre processos produtivos alternativos, de substituição de equipamentos, de escolha entre a compra e o aluguel de um dado imóvel industrial ou de uma máquina, são alguns dos exemplos de questões tratadas pelos engenheiros e administradores, cujas decisões serão tomadas com base, entre outras, nas técnicas de Engenharia Econômica.

A análise prévia dos investimentos permite que se racionalize a utilização dos recursos de capital. Para a solução de um problema de análise de investimentos, dentro da complexidade do mundo atual, é necessário o conhecimento de técnicas especiais da Engenharia Econômica.

Essas técnicas baseiam-se na Matemática Financeira, que por sua vez descreve as relações do binômio tempo e dinheiro.

No exercício de sua profissão, os engenheiros e técnicos da área economia-financeira frequentemente deparam com a escolha de alternativas que envolvem estudos econômicos. Não raro, a escolha é feita sem que o custo do capital empregado seja considerado adequadamente. Somente um estudo econômico pode confirmar a viabilidade de projetos tecnicamente corretos.

Este estudo utiliza-se da Engenharia Econômica para efetuar a análise da viabilidade econômica e o tempo de equiparação na escolha de diferentes tecnologias para o aquecimento de água no setor residencial.

Ao comprar um novo equipamento, por substituição idêntica ou não, isto é, ao fazer um novo investimento, deve-se fazer uma análise da viabilidade do mesmo.

Num primeiro momento, são considerados os aspectos econômicos do investimento. Pergunta-se se o investimento é rentável. Aplicando corretamente os critérios econômicos sabe-se qual o investimento que renderá mais, ou seja, como aplicar o dinheiro de maneira a obter o maior retorno.

Mas de nada adianta saber qual a rentabilidade do investimento em questão se não há disponibilidade de recursos para fazê-lo.

Além do mais, ao se elaborar a análise econômica e financeira, só serão considerados os fatores conversíveis em dinheiro. Um investimento pode gerar bens não ponderáveis monetariamente, como aumentar o nível de conforto, diminuir o impacto ambiental, gerar empregos, dentre outros.

A decisão por um investimento deve considerar então:

- Critérios econômicos: rentabilidade;
- Critérios financeiros: disponibilidade de recursos;
- Critérios imponderáveis: fatores não conversíveis em dinheiro.

Vê-se, portanto que a análise econômico-financeira pode não ser suficiente para a tomada de decisões. Para a análise global do investimento, pode ser necessário considerar fatores não quantificáveis.

Finalmente, é conveniente ter em mente que, para se fazer um estudo econômico adequado, alguns princípios básicos devem ser considerados, como:

- Deve haver alternativas de investimento;
- As alternativas devem ser expressas em dinheiro;
- Só as diferenças entre as alternativas são relevantes;
- Sempre são considerados os juros sobre o capital empregado;
- Nos estudos econômicos, o passado geralmente não é considerado. Interessa o presente e o futuro.

Embora existam vários critérios que auxiliam no processo de decisão de novos investimentos, o mais recomendado pelos especialistas em finanças é o método do Valor Presente Líquido (VPL), pois contempla todos os fluxos de caixa futuros e o custo do capital empregado, indicando se há aumento do valor da empresa, que reflete na maximização da riqueza dos proprietários, além de poder ser utilizado em contextos com ou sem risco. No entanto, o uso destas técnicas não é o único determinante do sucesso destes planos.

Embora haja um alto índice de empreendedorismo no Brasil, medido pela criação de novos negócios, existem muitos fracassos, principalmente nos três primeiros anos de existência. Previsões distorcidas do fluxo de caixa, geração de recursos insuficiente para o giro, inexistência de planejamento, dificuldade de adaptação às mudanças, falta de análise financeira do negócio, são fatores que contribuem para este insucesso.

Não basta simplesmente elaborar o fluxo de caixa e adotar um bom critério para decidir sobre novos investimentos, é preciso acompanhar os números projetados e estar atento para evitar uma situação indesejável ou até mesmo de insolvência.

### *2.3.1 ANÁLISE DE VIABILIDADE FINANCEIRA*

A análise de um projeto de engenharia qualquer requer a apreciação de condições financeiras, técnicas, sócio-econômicas e ambientais que forneçam elementos suficientes para pautar uma decisão relacionada à escolha de equipamentos e/ou tecnologias.

Alguns métodos são comumente utilizados para realizar a análise de fluxo de caixa. Dentre eles estão:

- Payback;
- Taxa interna de retorno (TIR);
- Valor presente líquido (VPL)
- Série equivalente uniforme.

### 2.3.1.1 “PAYBACK”

O método do payback nos mostra o número de períodos requeridos para se recuperar a saída inicial de caixa. Ele é resultado da relação entre o investimento inicial e o fluxo de caixa por período. O inconveniente deste método é que o fluxo de caixa deve ser uniforme. Apesar disto, o método é muito utilizado, pois ele se aproxima ao risco, ou seja, quanto maior o período de recuperação do investimento, maior o risco inerente. Por exemplo, no caso de um projeto com desembolso inicial de R\$ 13.000,00 e recebimentos anuais de R\$ 4.300,00 tem-se o  $Payback = 13.000 / 4.300 = 3,02$  anos.

### 2.3.1.2 TAXA INTERNA DE RETORNO (TIR)

O método da taxa interna de retorno (TIR) se insere, de fato, dentre aqueles que lidam com fluxos de caixa descontados, em que se leva em conta tanto o aspecto do valor do dinheiro no tempo, como a magnitude e o tempo dos fluxos, ao longo de toda a duração do investimento. A TIR é a taxa de desconto que zera a diferença entre os valores presentes dos fluxos de entradas e de saídas de caixa:

$$FC_0 - \sum_{j=1}^n \frac{FC_j}{(1+i)^j} = 0 \quad (2.1.)$$

sendo:

- $j$  – ordem da série;
- $FC_0$  – fluxo de capital inicial;
- $FC_j$  – valores dos fluxos de caixa de ordem  $j$ ;
- $i$  – taxa de juros da operação financeira ou taxa interna de retorno.

Para aceitação do investimento deve-se avaliar se TIR é maior do que taxa requerida de retorno.

### 2.3.1.3 VALOR PRESENTE LÍQUIDO (VPL)

De acordo com Sobrinho (1997) o valor presente líquido (VPL) é uma técnica de análise de fluxos de caixa que consiste em calcular o valor presente de uma série de pagamentos (ou recebimentos) iguais ou diferentes a uma taxa de juros conhecida, e deduzir deste o valor do fluxo inicial (valor do empréstimo, do financiamento ou do investimento), ou seja:

$$VPL = \sum_{j=1}^n \frac{FC_j}{(1+i)^j} - FC_0 = \frac{FC_1}{(1+i)^1} + \frac{FC_2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{FC_j}{(1+i)^j} - FC_0 \quad (2.2.)$$

Com vista à aceitação do investimento, a regra para a aceitação do investimento é que  $VPL > 0$ . Desta maneira, o VPL implicará em um retorno de investimento superior ao requerido.

### 2.3.1.4 MÉTODO UNIFORME EQUIVALENTE

A comparação entre as alternativas de investimento pelo Método Uniforme Equivalente periódico ou anual é feita reduzindo-se o fluxo de caixa de cada alternativa a uma série uniforme, com o uso de uma taxa de juros específica (Taxa Mínima de Atratividade). Os valores obtidos são confrontados, permitindo a tomada de decisão.

Seja um investimento no qual se obtém uma série de valores diferentes. Pode-se transformar estes valores diferentes em valores uniformes iguais.

Por facilidade de análise, deve-se transformar todos os valores de cada alternativa em uma série uniforme equivalente de mesma duração e comparar os elementos das séries, em princípio, para cada alternativa, com uma duração igual ao mínimo múltiplo comum (repetição dos ciclos).

Observa-se se o equivalente uniforme de cada alternativa com duração igual ao mínimo múltiplo comum coincidirá com o equivalente uniforme de cada alternativa com duração igual a apenas um ciclo. Neste caso, não há necessidade de determinar o mínimo múltiplo comum das duas alternativas.

Segundo Casaroto Filho (2000) “a influência da inflação, embora seja importante, pode ser desprezada na análise, considerando que ela atua com a mesma intensidade sobre os diversos tipos de equipamentos. Somente as variáveis que diferenciam as alternativas devem ser consideradas”. A Figura 2.1 mostra a representação esquemática do fluxo de caixa para uma tecnologia.



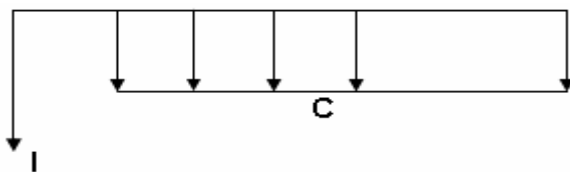


FIGURA 2.1: FLUXO DE CAIXA ESQUEMÁTICO.

A representação esquemática da série uniforme equivalente desejada é mostrada na Figura 2.2, a seguir:

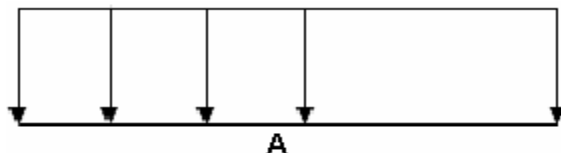


FIGURA 2.2: SÉRIE UNIFORME EQUIVALENTE DESEJADA.

A transformação do fluxo de caixa obtido é feita através do modelo proposto nesta análise que é:

$$A = I \left[ \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right] + C \quad (2.3)$$

onde: A[R\$/mês] são os custos distribuídos dos aquecedores,  $i$ [%/ano] é a Taxa Mínima de Atratividade e  $n$ [mês] é o tempo de utilização do aquecedor.

O método consiste na comparação dos valores de A para cada aquecedor em função de  $n$ . A alternativa mais viável será aquela que obtiver o menor valor de A para dado  $n$ .

#### 2.4 PLANEJAMENTO ENERGÉTICO

O estudo de planejamento energético é uma tarefa extremamente importante. É uma política estratégica, pois, com base no estudo dos resultados obtidos ao final do horizonte de planejamento, os agentes tomadores de decisão podem determinar o plano a ser executado. A extrapolação desta análise nos faz enxergar que “o plano não é nada, o

planejamento é tudo”, pois o planejamento é um procedimento dinâmico, ajustando-se com as mudanças que vão ocorrendo ao longo do período de planejamento e já o plano é só a execução do direcionamento chegado ao final das análises dos resultados e conclusão obtida.

Então, de posse dos resultados obtidos, os “tomadores de decisão”, sejam do governo ou de uma indústria, ou empresa específica, geram o plano a ser traçado.

Sabe-se que um estudo de planejamento é uma tarefa extremamente complexa e árdua, que requer uma equipe bastante especializada, multidisciplinar e também que demanda tempo, recursos e pessoal.

Contudo, é possível criar um esboço de como o setor residencial evoluirá quanto a seu gerenciamento dos fluxos energéticos ao final de um horizonte de planejamento e vislumbrar um resultado, sem maior grau de precisão ou detalhamento, mas ainda, consistente para a inserção da bomba de calor como alternativa para o aquecimento de água. Uma ferramenta útil para este tipo de análise, e que adotar-se-á neste trabalho, é o modelo ENPE 2.20 (ver apêndice B).

---

### 3. TIPOS DE AQUECEDORES

---

#### 3.1 PANORAMA ATUAL DO AQUECIMENTO DE ÁGUA

O perfil do uso das tecnologias para aquecimento de água varia muito no mundo, sendo que alguns países, devido às políticas de planejamento estratégico de diversificação do consumo dos energéticos de sua matriz energética, homogeneízam ao máximo o consumo de cada grupo de insumo. Verifica-se hoje, nos Estados Unidos e na Austrália, por exemplo, que o desenvolvimento da bomba de calor está bastante avançado, e também o incentivo ao uso do aquecedor solar. Via de regra, a tecnologia menos difundida, são os aquecedores elétricos de passagem, o que contrasta muito com a realidade brasileira.

No Brasil, os setores residencial e de serviços (público e comercial) representam cerca de 16% do total de energia final consumida e destacam-se os usos finais energéticos: iluminação, refrigeração e aquecimento de água. O aquecimento de água pode ser o principal uso energético em algumas edificações no setor serviços, como por exemplo, em restaurantes, lavanderias, cozinhas, aquecimento de piscinas.

Existem vários tipos de aquecedores para água, sendo os aquecedores por resistência elétrica os mais difundidos e utilizados. Classificam-se os aquecedores segundo o tipo de insumo energético consumido: gás, eletricidade, energia solar, etc. Existem duas opções de aquecedores: os que funcionam por passagem e os por acumulação.

Nos aquecedores por acumulação, a água é previamente aquecida e fica armazenada em um reservatório termicamente isolado o qual permite uma dissociação de tempo entre o consumo do insumo energético e a demanda do serviço de energia.

Nos aquecedores de passagem, a água é aquecida instantaneamente na medida em que passa pelo equipamento. O aquecimento ocorre através da passagem da água por um sistema de serpentina disposta ao redor de uma câmara de combustão (equipamento a gás) ou da passagem da água por uma resistência elétrica.

Os aquecedores que serão analisados neste estudo são:

- Aquecedor a gás;
- Aquecedor elétrico;

- Bomba de calor;
- Aquecedor solar.

### 3.2 *RESERVATÓRIO TÉRMICO*

O reservatório térmico é utilizado para o armazenamento da água quente. São tanques que podem ser feitos de diversos materiais e em diversos formatos. Os reservatórios térmicos de menor porte são, em geral, compostos por um cilindro interno (normalmente feito em aço-inoxidável ou cobre), com isolamento e proteção externa. Para a proteção externa devem ser utilizadas capas metálicas. Para a seleção de um reservatório térmico devem ser levados em consideração os seguintes aspectos:

- Reservatório único ou múltiplo;
- Reservatório pressurizado ou não;
- Trocador de calor interno ou externo;
- Material de isolamento e revestimento do reservatório;
- Finalidade do uso da água;
- Limitações impostas pelas disponibilidades de equipamentos no mercado;
- Acessibilidade, espaço físico disponível e localização deste espaço.

### 3.3 *AQUECEDORES A GÁS*

Para colocar um sistema de aquecimento de água a gás em operação, a configuração básica deve seguir os seguintes procedimentos: é preciso instalar uma tubulação para a água fria, vinda direto da caixa de água para o ponto de consumo (chuveiros, torneiras, etc.) e outra tubulação deve ser destinada para a água quente. Esta tubulação traz a água fria até o aquecedor e depois leva a água quente até o ponto de consumo.

A tubulação que conduz apenas a água fria pode ser de PVC comum; já a tubulação destinada para a água quente tem que ser resistente a altas temperaturas.

Os aquecedores devem ser colocados numa área independente. Na maioria das vezes, é utilizada uma área externa, ou mesmo a própria área de serviço do local. Os aquecedores têm de ser alimentados por uma central de gás (disponível de várias formas, como os

cilindros GLP) executada por uma empresa especializada, com engenheiro responsável. O aquecedor deve ficar instalado em uma área de serviço, que conte com ventilação inferior e superior permanentes. Esta exigência consta da norma brasileira NBR 13103.

Outra questão essencial é que o encanamento para a passagem de água quente seja de cobre ou especialmente desenvolvido para esta finalidade. No caso, observe a temperatura máxima que o tubo resiste e instale um sensor no aquecedor para evitar o superaquecimento da água, que pode danificar a tubulação.

No mercado nacional encontram-se dois grupos de aquecedores a gás. O primeiro é o de passagem, ou seja, aquece a água apenas no momento em que esta água é usada.

Os aquecedores de passagem são encontrados com exaustão natural ou com exaustão forçada.

O de exaustão natural funciona da seguinte forma: os gases provenientes da queima do próprio gás saem naturalmente pela chaminé.

Esta chaminé deve sair na vertical e só poderá ser dobrada para a horizontal a uma distância de 60 cm - contando-se desde a entrada de ar do aquecedor até a parte de baixo da chaminé na horizontal. Outra exigência é que a parte horizontal poderá ter no máximo dois metros. Recomenda-se que o uso do aquecedor de passagem seja feito em áreas que estejam de acordo com a norma NBR 13103.

O aquecedor de exaustão natural é encontrado com piloto (possui um piloto e fica permanentemente ligado, dispensando a necessidade de energia elétrica) e com acendimento automático. A segunda opção não possui piloto e usa a energia de pilhas (as mesmas utilizadas em lanternas) para a sua ignição.

A chama acende quando você abre a ducha e apaga quando você a fecha, o que dispensa o uso de energia elétrica. Se não for possível respeitar as exigências anteriores, deve-se utilizar um aquecedor com exaustão forçada. Seu maior diferencial é que possui um exaustor interno que força a saída dos gases provenientes da queima da chaminé. Só deve ser instalado em locais que estejam rigorosamente dentro da norma NBR 13103. Um aspecto negativo para a sua instalação é que este tipo de aquecedor a gás necessita de energia elétrica para o seu funcionamento.

O aquecedor com exaustão forçada possui um exaustor interno responsável por forçar a saída dos gases resultantes da combustão pela chaminé. Sua câmara de combustão é

lacrada, não sendo possível à visualização direta dos queimadores, mesmo que a tampa externa seja retirada. Este sistema é utilizado em locais onde não se pode obedecer as condições exigidas pela norma NBR 13103. Necessita de energia elétrica para seu funcionamento.

O aquecedor com fluxo balanceado é um modelo blindado, sendo o único tipo que pode ser utilizado no próprio banheiro. A razão é que ele possui um duto que utiliza o ar do ambiente externo.

Ele também é dividido em dois tipos: tiragem natural (o aquecedor necessita de uma grande abertura na parede para utilizar o ar do ambiente externo, sendo que não necessita de energia elétrica para o seu funcionamento) e tiragem forçada (aquecedor que possui um exaustor interno com dois dutos na parede - um para a entrada de ar e o outro para saída dos gases provenientes da queima. Este modelo necessita de energia elétrica).

O modelo de acumulação aquece a água previamente em um reservatório antes de ser utilizada.

Ao escolher um aquecedor, é preciso conhecer as características dos produtos.

O aquecedor de passagem é indicado quando a demanda simultânea de água quente nos pontos de consumo não é considerada muito grande. Ele é indicado quando há, no máximo, quatro pontos de uso simultâneo.

Além das condições de limitação de uso dos chuveiros, o modelo necessita de pressões de água superiores para o funcionamento perfeito dentro da sua capacidade.

Normalmente, estas pressões estão em torno de 10 m de coluna de água. Outra limitação é a baixa capacidade de vazão em relação ao outro modelo, o de acumulação.

O aquecedor de passagem ocupa pouco espaço para a sua instalação e exige um baixo consumo de gás. As condições ideais de sua utilização são as temperaturas de banho entre 38°C e 42°C, e as temperaturas de entrada de água no aquecedor variando entre 18°C e 22°C. A vazão de água ideal para o banho é de seis litros por minuto.

Os aquecedores de passagem acabam não sendo a melhor alternativa para locais com uma utilização constante e com vários chuveiros funcionando ao mesmo tempo - como clubes, hotéis, entre outras opções. Em contrapartida, a sua instalação é indicada para residências,

desde que se respeite à necessidade de pontos de consumo a serem usados ao mesmo tempo.

Os aquecedores de acumulação são indicados quando há a necessidade de grandes volumes de água quente para uso simultâneo. É apropriado para o uso em vestiários, cozinhas, indústrias e até residências. Ele deve ser instalado em locais em que a pressão de alimentação de água é baixa e não se pode pressurizar o sistema. Os aquecedores de acumulação necessitam de espaços maiores para a instalação, têm um consumo de gás cerca de 30% maior do que um aquecedor de passagem para uma mesma demanda de água quente.

É comprovado que a utilização de aquecedores a gás é responsável por uma economia considerável. Os fabricantes indicam que, ao usar um aquecedor de passagem, é possível economizar até 20%, se comparado ao mesmo tempo de utilização da ducha elétrica e a mesma quantidade de água. Com o aquecedor a gás de acumulação esta economia é menor. Vale salientar que, atualmente, a economia acaba tomando outro vulto, pois, devido ao racionamento em 2001 não é necessário apenas gastar um valor menor, mas sim desvincular ao máximo os equipamentos da energia elétrica.

Os aquecedores a gás são totalmente seguros. A razão é que eles contam com válvula de segurança que corta o gás em qualquer eventualidade com o queimador. Outra vantagem é que durante o banho você não corre o risco de tomar um choque (possível no caso de chuveiros elétricos).

### *3.4 AQUECEDORES ELÉTRICOS*

A configuração de instalação típica aos aquecedores elétricos segue os seguintes passos. O aquecimento elétrico de passagem é feito por meio do calor que é gerado pelo efeito joule, pela passagem de corrente elétrica por uma resistência ôhmica. Este calor é transferido para a água pelo simples contato entre esta e a resistência, e é uma das técnicas eletrotérmicas mais utilizadas e de tecnologia mais difundida no Brasil.

Os aquecedores de passagem são sistemas que possuem ligamento automático, após sua instalação, necessitando do usuário apenas atuar na regulação da vazão de água.

Alguns modelos possuem resistência de aquecimento anti-choque, que é uma versão blindada fabricada com blindagem em cobre e elemento de aquecimento na mais pura liga, que garante segurança e maior durabilidade.

Estes produtos, em geral, têm seu desempenho aprovado pelo INMETRO e estão em conformidade com o Programa Brasileiro de Etiquetagem – PBE.

Antes da instalação do aquecedor é necessário examinar alguns pontos da futura instalação. A tensão do aquecedor deve corresponder à tensão da rede elétrica a qual será ligado, ou disponível na casa ou apartamento. Os pontos de utilização de água já devem estar determinados. É recomendado posicioná-lo a partir de 2 metros de altura do piso e que a pressão mínima de funcionamento do aquecedor, ou seja, a altura do ponto de saída de água do aquecedor ao fundo da caixa de água deverá ser, na maioria dos modelos disponíveis, de no mínimo 10 kPa (1 m.c.a.) para baixa pressão ou 80 kPa (8 m.c.a.) para alta pressão. Em geral os aparelhos são projetados para funcionar em locais onde a distância da caixa de água, esteja entre 0,7 e 4m. Se a caixa de água estiver a uma altura superior a 8m deve-se utilizar um redutor.

O sistema de aterramento é a maneira mais segura de se evitar choques elétricos. Para tanto, é necessário que seja feito corretamente por pessoas qualificadas. Nunca se deve conectar o fio terra do aquecedor diretamente ao neutro da instalação. O neutro da instalação elétrica não pode ser utilizado diretamente como terra. Para utilizá-lo deve ser aterrado e construído conforme as normas da concessionária e a NBR 5410 “Instalações Elétricas de Baixa Tensão – Procedimento”.

Um bom sistema de aterramento pode ser obtido através da colocação de uma ou várias hastes metálicas no solo e/ou da utilização das ferragens das fundações da construção, de forma a se obter, conforme determina a NBR 5410, uma impedância máxima de 1 Ohm. Se houverem emendas, estas deverão ser eletricamente bem feitas.

O fio terra, ou condutor de proteção deve sempre ser conectado no terminal de aterramento do quadro de distribuição. Em caso de dúvidas, deve-se entrar em contato com a concessionária de energia da região.

No caso da utilização do chuveiro devem-se deixar correr água pela tubulação para remover sujeira ou quaisquer detritos, antes de conectar o aparelho. Devem-se utilizar fita vedadora em todas as conexões, e nunca utilizar tinta ou fibras para esta função. Não se devem utilizar ferramentas para os ajustes das conexões, recomenda-se fazê-las manualmente.

A manutenção destes sistemas, principalmente os chuveiros, são extremamente simples, se resumindo praticamente à limpeza.

Os aquecedores por acumulação têm as vantagens de poderem ser programados para



operarem, aquecendo a água, fora do horário de pico, de fornecerem água quente à demanda independente da vazão mantendo a mesma temperatura. Os seus inconvenientes são que necessitam de uma mão de obra especializada para sua instalação, um local de instalação apropriado, tubulação específica para água quente.

### 3.5 BOMBA DE CALOR

O sistema de aquecimento de água por bomba de calor é constituído pela bomba de calor, temporizador, reservatório e tubulações. Seu ligamento é programado para ser feito fora do horário de ponta de consumo. A configuração da bomba de calor é mostrada de maneira esquemática na Figura 3.1.

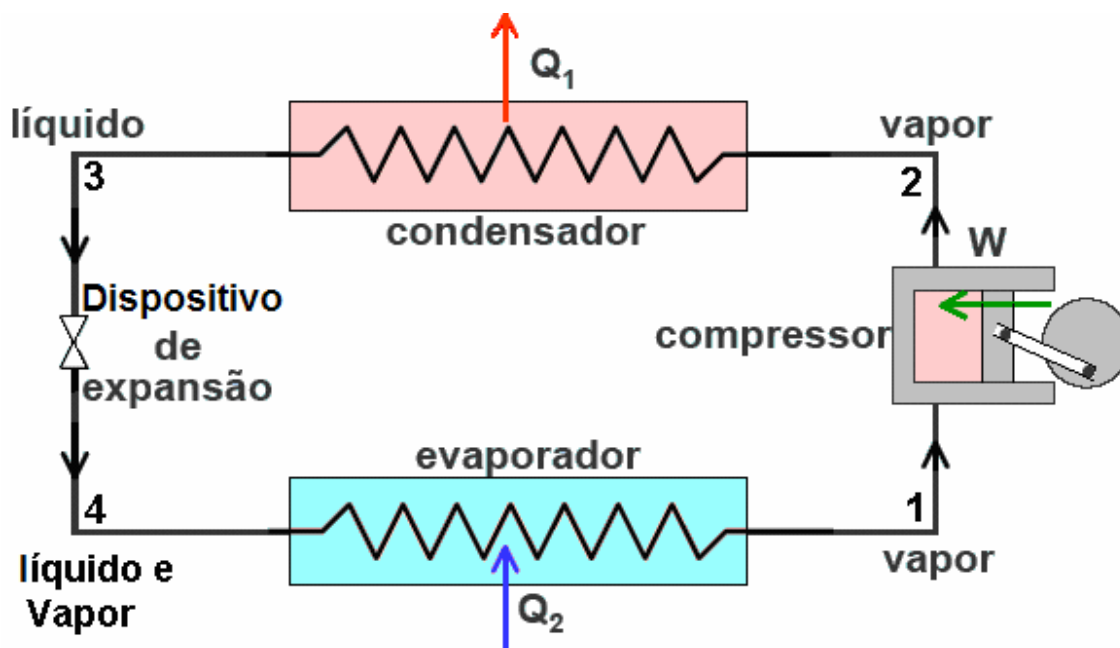


FIGURA 3.1: CONFIGURAÇÃO ESQUEMÁTICA DA BOMBA DE CALOR.

A descrição de operação do ciclo parte do ponto 1 da Figura 3.1 retornando, ao final do ciclo, ao ponto 1 da figura, o qual se encontra logo a saída do evaporador a montante da aspiração do compressor. O fluido de trabalho primário, o qual escoar por dentro do sistema pode ser R134a; este fluido, que se encontra na forma de vapor superaquecido a baixa pressão, é aspirado pelo compressor e comprimido até atingir a pressão imposta pela temperatura do condensador ( $40^{\circ}\text{C}$ ), até atingir o ponto 2 no qual se apresenta nas condições de vapor superaquecido a alta pressão. Este escoar praticamente isobaricamente

pelo condensador, onde troca calor isotermicamente se condensando doando seu calor para o fluido secundário, efetivando seu efeito útil. Ao sair do condensador, ponto três o fluido se encontra totalmente líquido, na forma de líquido comprimido, ou sub-resfriado, a alta pressão. Em seguida passa pelo dispositivo de expansão e atinge o ponto quatro, no qual é uma mistura de fases líquido vapor a baixa pressão. Novamente escoo pelo evaporador praticamente isobaricamente. Ele capta o calor da vizinhança do evaporador para poder se transformar totalmente em vapor até atingir novamente o ponto 1 fechando, assim, o ciclo.

Na bomba de calor a eletricidade não é utilizada diretamente no aquecimento da água e sim como auxiliar no processo para o funcionamento do compressor. Como dito anteriormente, seu funcionamento é semelhante ao de uma máquina de refrigeração, porém tendo como efeito útil o aquecimento.

Ao final, a energia que é usada para o aquecimento é bem maior do que a energia elétrica consumida para o funcionamento do compressor, confirmando que o sistema possui uma eficiência sempre maior do que um.

### 3.6 *AQUECEDOR SOLAR*

O Brasil possui um alto índice de insolação, portanto a energia solar é uma excelente opção para o aquecimento de água, além de ser uma alternativa renovável, abundante e, sobretudo, gratuita.

A energia solar utilizada para o aquecimento de água, combina segurança, ecologia e economia.

Energia solar foto-térmica é a quantidade de energia que um determinado corpo é capaz de absorver, sob a forma de calor, a partir da radiação solar incidente no mesmo. A utilização dessa forma de energia implica saber captá-la e armazená-la. Os equipamentos mais difundidos com o objetivo específico de se utilizar a energia solar foto-térmica são conhecidos como coletores solares.

Os coletores solares são aquecedores de fluidos (líquidos ou gasosos) e são classificados em coletores concentradores e coletores planos, em função da existência ou não de dispositivos de concentração da radiação solar. O fluido aquecido é mantido em reservatórios termicamente isolados até o seu uso final (água aquecida para banho, ar quente para secagem de grãos, gases para acionamento de turbinas, etc.).

Os coletores solares planos são, hoje, largamente utilizados para aquecimento de água em residências, hospitais, hotéis, etc., devido ao conforto proporcionado e à redução do consumo de energia elétrica.

O coletor solar é muito utilizado no aquecimento de água de casas, edifícios, hospitais e piscinas, secagem de grãos, para refrigeração de ambientes e processos industriais de aquecimento.

O aspecto externo de um coletor solar para aquecimento de água em residências é o de uma caixa retangular rasa com uma cobertura de vidro. Em volta desta há uma superfície pintada de preto (placa absorvedora) para facilitar a absorção de calor. O calor absorvido é transferido a uma serpentina. A água fria ao passar pelos canos da serpentina se aquece. Ainda é necessário que se tenha um isolamento térmico na parte inferior do coletor para minimizar as perdas de calor para o ambiente. A cobertura de vidro permite a entrada de radiação solar ao passo que evita que parte do calor da placa absorvedora se perca por convecção, pois o vidro impede a ação do vento.

Além dos coletores solares, para um sistema de aquecimento completo são necessários: um reservatório térmico, um sistema de circulação de água e um sistema auxiliar de aquecimento elétrico (“backup”). Em períodos encobertos prolongados, caso a temperatura da água do reservatório térmico caia muito, a resistência do sistema de aquecimento elétrico auxiliar será acionada por um termostato, de forma a fornecer energia suficiente à água armazenada.

As placas coletoras são responsáveis pela absorção da radiação solar. O calor do sol, captado pelas placas, é transferido para a água que circula no interior de suas tubulações de cobre.

O reservatório térmico, também conhecido por “boiler”, é um recipiente para armazenamento da água aquecida. É um cilindro de cobre, inox ou polipropileno, isolado termicamente com poliuretano expandido sem CFC, que não agride a camada de ozônio. Desta forma, a água é conservada aquecida para consumo posterior. A caixa de água fria alimenta o reservatório térmico, mantendo-o sempre cheio.

Em sistemas convencionais, a água circula entre os coletores solares e o reservatório térmico através de um sistema natural chamado termossifão. Nesse sistema, a água dos coletores fica mais quente e, portanto, menos densa que a água no reservatório. Assim a

água fria “empurra” a água quente gerando a circulação. A circulação da água também pode ser feita através de bombas em um processo chamado de circulação forçada ou bombeado. Tais sistemas são normalmente utilizados em piscinas e sistemas de grandes volumes de água a aquecer.

### 3.7 CARACTERÍSTICAS DOS SISTEMAS

A Tabela 3-1 mostra uma síntese das principais vantagens e desvantagens de cada sistema para aquecimento de água, acima discutidos.

TABELA 3-1: VANTAGENS E DESVANTAGENS DOS AQUECEDORES DE ÁGUA.

Aquecedor	Vantagens	Desvantagens
Gás	Baixo custo energético. Bom volume de água quente. Pressão de operação satisfatória. Bom nível de conforto. Utilização instantânea.	Mão-de-obra especializada. Exige infra-estrutura de gás. Necessidade de vazão mínima de água para funcionar. Custo elevado de instalação e manutenção. Risco de vazamento de gás, se o aparelho não seguir as especificações. Regulação grosseira da temperatura.
Elétrico	Compacto e fácil de instalar. Água quente para uso imediato. Facilidade de uso. Alta eficiência.	Potência elevada. Consumo no horário de ponta. Pouca vazão (aquecedor de passagem). Baixa pressão da água.
Bomba de calor	Alta eficiência. Baixa potência. Consumo fora do horário de ponta. Produção de frio.	Investimento inicial elevado. Necessidade de mão de obra especializada. Adequação do local de instalação. Tecnologia indisponível no mercado nacional para uso residencial.
Solar	Insumo renovável, limpo, gratuito e abundante. Bom nível de conforto. Pressão de operação satisfatória.	Dependente da insolação, necessitando de um sistema de “back up” (elétrico). Investimento inicial elevado. Mão de obra especializada. Adequação do local de instalação.

---

## 4. METODOLOGIA

---

Para a análise de viabilidade da bomba de calor, requer-se um método o qual seja capaz de analisar, não apenas qualitativamente, por exemplo, se é de facilidade de instalação, mas também quantitativamente, por exemplo, seu custo mensal. Contudo, a análise apresentada aqui será mais abrangente do que a análise econômica dos investimentos.

Para a análise técnica serão aplicados os conceitos de termodinâmica para máquinas térmicas, buscando-se determinar o valor da eficiência energética da bomba de calor teórica. Com este valor em mãos torna-se possível às análises comparativas com as demais tecnologias.

Outra análise aplicada é a análise do impacto da utilização da bomba de calor coletivamente, ou seja, serão avaliados aqui como a escolha (taxa de penetração) da bomba de calor como alternativa para o aquecimento de água pode afetar o planejamento energético do Estado de Minas Gerais no em longo prazo. Esta análise consiste no balanço entre as demandas e as ofertas ao longo do período em análise a fim de manter sempre o melhor equilíbrio para os fluxos energéticos garantindo o atendimento da demanda.

Com esta visão estabelece-se um ordenamento e processamento das informações para formação do banco de dados referente a todo o sistema energético ao qual a bomba de calor esta inserida.

A coleta de dados é organizada em quatro classes distintas de informação:

- Econômica (taxas de juros, método de amortização, moeda, rentabilidade, etc.);
- Demanda (quantidade consumida, divisão de mercado, perfil de consumo, etc.);
- Recursos energéticos (custos dos insumos, disponibilidades, oferta, etc.);
- Tecnologias de conversão (tipos, eficiências, investimento inicial, etc.).

Após a formação do banco de dados executar-se-á a análise integrada, onde é feito o confronto entre oferta e demanda buscando o equilíbrio entre as duas, sendo o consumo dos insumos função da demanda do serviço energético.

Na análise integrada é necessária a definição de alguns parâmetros, tais como:

- Definição da rede energética, desde a oferta das fontes de energia do setor até a demanda útil;
- Caracterização desta rede quanto aos fluxos energéticos, aos preços, tecnologias presentes e futuras (eficiências) bem como recursos e demandas,
- Escolha dos casos para as simulações.

A Figura 4.1 apresenta de forma esquemática, por meio de um fluxograma, as etapas para execução do trabalho.

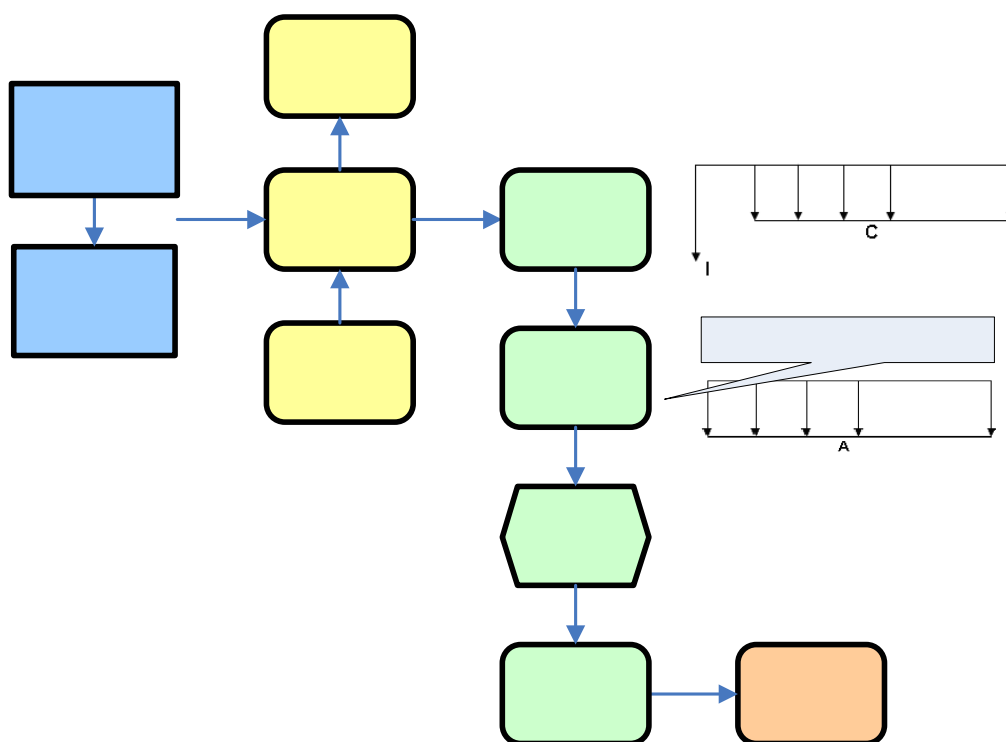


FIGURA 4.1: FLUXOGRAMA DA METODOLOGIA

Os blocos em azul na Figura 4.1 representam o fluxos para a revisão dos conceitos relacionados ao aquecimento de água e também os fundamentos de engenharia econômica e impactos ambientais os quais foram base para as análises posteriores e também para o levantamento dos dados como, os custos dos insumos, de investimentos iniciais, o estado da arte para a definição da rede energética, os parâmetros como calor específico ( $c_p$ ), variação das temperaturas para cada utilização, dentre outros.

Ainda nos blocos em azul, a caracterização das tecnologias nos mostra quais os tipos disponíveis, seus rendimentos energéticos, custos e quais insumos que cada um consome.

Faz-se também a apresentação do estado atual de cada insumo, definindo sua disponibilidade, avanços tecnológicos em sua aplicação e impactos relacionados a cada um.

Os blocos em amarelo representam a rede energética; é um modelo dos fluxos de energia e preços representativo do sistema energético situado entre a oferta dos recursos energéticos e a demanda de energia útil. Neste estudo avalia-se a demanda útil do setor residencial no Estado de Minas Gerais para suprir o serviço energético de água quente a temperatura moderada. Estes são representados na Figura 4.1 pelos blocos em amarelo denominados “Demanda”, “Conversor”, “Insumo”.

Nesta rede é possível definir qual a demanda energética para cada estudo de caso, possibilitando assim a determinação do consumo de energia final.

Assim, uma vez definido consumo de energia final relacionada aos respectivos e custos determinar-se os custos de operação e manutenção (O&M) para cada alternativa, ou seja, seus fluxos de caixa. A partir deste ponto, aplica-se o método de série equivalente uniforme os quais permitiram a comparação dos resultados e chegando-se enfim as conclusões sobre o estudo de caso.

#### *4.1 ANÁLISE TÉCNICA*

A bomba de calor, ou seja, o sistema analisado é representado no diagrama da Figura 4.2, indicando suas fronteiras e interações com suas vizinhanças. No diagrama, indicamos com S.C. (sistema de controle) a fronteira através da qual o fluxo de massa é zero, e por V.C. (volume de controle) a fronteira através da qual existe fluxo de massa. O balanço energético será análise nos V.C. em sentido ao fluido de trabalho para a conversão dos sinais do fluxo de calor e massa. Já no S.C. a análise será realizada, na água de aquecimento, sendo o calor que sai negativo.

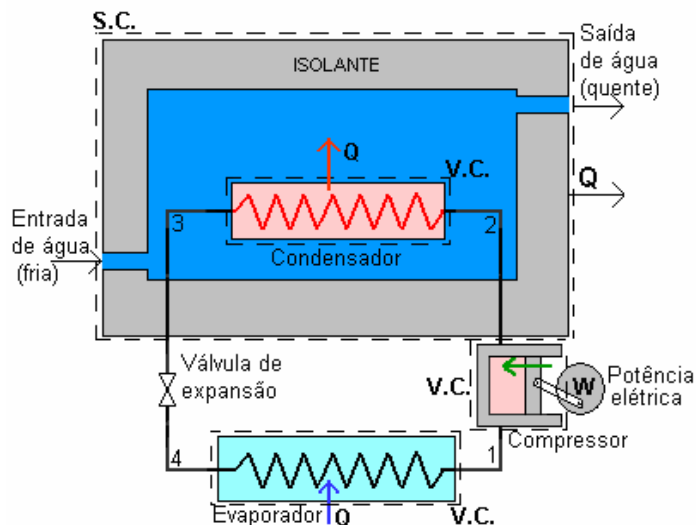


FIGURA 4.2: DIAGRAMA DA BOMBA DE CALOR.

O escoamento do fluido de trabalho se dá por meio do compressor que consome potência da rede elétrica. A análise energética do sistema pode ser feita através do cálculo das diferenças de entalpias entre os pontos, mostrados na Figura 4.2.

O trabalho de compressão é dado por:

$$w_{comp} = h_2 - h_1 \text{ [kJ/kg]} \quad (4.1)$$

onde  $h_2$  [kJ/kg] é a entalpia do fluido de trabalho na saída do compressor e  $h_1$  [kJ/kg] é a entalpia do fluido de trabalho na entrada do compressor.

O trabalho elétrico necessário para realizar esta compressão é dado por:

$$w_{ele} = \frac{w_{comp}}{\eta_{comp}} \text{ [kJ/kg]} \quad (4.2)$$

onde  $\eta_{comp}$  é a eficiência do compressor.

O efeito útil é dado por:

$$Q_{\acute{u}til} = -(h_3 - h_2)\eta_{term} \text{ [kJ/kg]} \quad (4.3)$$

onde  $h_3$  [kJ/kg] é a entalpia do fluido de trabalho a saída do condensador e  $\eta_{term}$  é a eficiência térmica do sistema. Com estas equações pode-se calcular o coeficiente de desempenho ou eficiência térmica teórica da bomba de calor.



$$\eta_{BDC} = \frac{Q_{\text{Útil}}}{W_{\text{ele}}} \quad (4.4)$$

A análise se dá no fluido de trabalho, e devido a isto, o valor de  $Q_{\text{Útil}}$  é negativo.

#### 4.2 ANÁLISE ECONÔMICA

Com os dados de investimento inicial e custos de operação e manutenção (O&M) monta-se o fluxo de caixa para cada uma das alternativas concorrentes.

A análise da viabilidade econômica da inserção das bombas de calor como opção para o aquecimento de água no setor residencial é um dos fatores de indicação da viabilidade ou não da bomba de calor. Esta análise é feita por meio da comparação entre as alternativas, pois todas as decisões são tomadas a partir delas. É necessário um denominador comum (a rentabilidade, por exemplo), a fim de avaliar as conseqüências mensuráveis. Apenas as diferenças entre as alternativas são relevantes. As alternativas competem entre si e são mutuamente excludentes.

Os critérios para decisões de investimento devem reconhecer o valor do dinheiro no tempo e os problemas relativos à limitação de capital. Essas avaliações de engenharia econômica servem para decisões voltadas para o futuro. Todas as quantias de dinheiro serão referidas a uma data e somente poderão ser transferidas para uma outra data considerando as taxas de desconto envolvidas nesta transferência.

O método para a análise segue o fluxograma da Figura 4.1. Inicia-se, portanto, determinando o valor da demanda útil, ou seja, o cálculo da quantidade de energia necessária ao aquecimento de água que é a mesma da Equação 4.4:

$$Q_{\text{útil}} = m_a c_p (T_s - T_e) \quad (4.5)$$

onde  $m_a$ [kg/mês] é a massa total de água a ser aquecida,  $c_p$ [kJ/kg.°C] é o calor específico da água,  $T_s$ [°C] é a temperatura da água na saída do aquecedor e  $T_e$ [°C] é a temperatura da água na entrada do aquecedor.

O cálculo da massa total de água consumida durante o mês é:

$$m_a = \rho.L.d \quad (4.6)$$

onde  $\rho$ [kg/l] é a massa específica da água,  $L$ [l/dia] é o consumo diário de água e  $d$ [dia/mês] é o número de dias por mês.

Em seqüência, avaliam-se os conversores, ou seja, os aquecedores. As características de cada aquecedor é que determinam o consumo de energia final, quanto ao tipo de insumo e a quantidades de energia. Os insumos que atendem à demanda em estudo que são tarifados são GLP [tarifado em R\$/kg] e Eletricidade [tarifada em R\$/kWh].

Os passos a seguir são para a definição dos custos de operação. Foi aplicado o mesmo método para o GLP e para a Eletricidade.

#### 4.2.1 GLP

Inicialmente determina-se o valor de consumo de energia final dos aquecedores a gás:

$$Q_{Final-GLP} = \frac{Q_{\acute{U}til}}{\eta} \quad (4.7)$$

onde  $\eta$  (adimensional) é o rendimento térmico dos aquecedores.

O consumo de GLP é:

$$C_{GLP} = \frac{Q_{Final-GLP}}{PCI} \quad (4.8)$$

onde PCI [kJ/kg] é o Poder Calorífico Inferior.

O custo operação é obtido de:

$$C_o = C_{GLP} P_{GLP} \quad (4.9)$$

onde  $P_{GLP}$ [R\$/kg] é o preço do GLP.

#### 4.2.2 ELETRICIDADE

Inicialmente, também, determina-se o valor de consumo de energia final dos aquecedores elétricos:

$$Q_{Final-E} = \frac{Q_{\acute{U}til}}{\eta} \quad (4.10)$$

onde  $\eta$ (adimensional) é o rendimento térmico dos aquecedores.

O consumo de Eletricidade é:

$$C_E = \frac{Q_{Final-E}}{R} \quad (4.11)$$

onde  $R$ [kJ/kWh] é a constante de transformação de unidades.

O custo operação é obtido através de:

$$C_o = C_E P_E \quad (4.12)$$

onde  $P_E$ [R\$/kWh] é a tarifa da eletricidade.

#### 4.2.3 FLUXO DE CAIXA DOS AQUECEDORES.

Inicialmente temos o fluxo mostrado a seguir:

$$I = P_{aq} + P_{ins} \quad (4.13)$$

onde  $I$ [R\$] é o investimento inicial,  $P_{aq}$ [R\$] é o preço do aquecedor e  $P_{ins}$ [R\$] é o preço de instalação.

$$C = C_m + C_o \quad (4.14)$$

onde  $C$ [R\$/mês] são os custos totais mensais e  $C_m$ [R\$/mês] são os custos de manutenção.

#### 4.3 PLANEJAMENTO ENERGÉTICO

De maneira simplificada, podemos considerar um estudo de planejamento energético como a seguir. Inicia-se com a coleta de dados quanto a quatro classes distintas. A primeira é macroeconômica, a segunda é de demanda de energia a qual é regida pelos dados macroeconômicos. Estas duas classes estão intimamente ligadas e podem ser definidas como dados de demanda. A terceira classe é a dos recursos energéticos e por fim a quarta é a das tecnologias de conversão.

Após a formação do banco de dados se procederá a análise integrada, onde será feito o confronto entre oferta e demanda ao longo do horizonte de planejamento buscando o equilíbrio entre as duas, utilizando-se o módulo BALANCE do programa ENPEP 2.20.

Após realizado o balanço entre a oferta e a demanda de energia, tem-se ou não a validação dos resultados. Tal validação refere-se à verificação da compatibilidade com a os recursos

disponíveis ou com a legislação ambiental, por exemplo. Se aprovado, realiza-se a discussão dos resultados dando origem ao relatório final do estudo de planejamento (plano ou recomendações). Estas etapas estão esquematizadas na Figura 4.3.

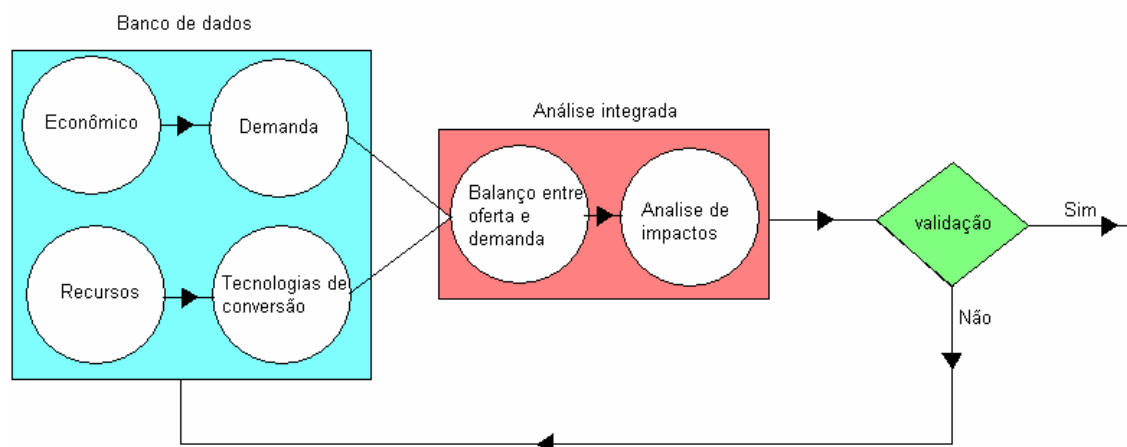


FIGURA 4.3: FLUXOGRAMA DO ESTUDO DE PLANEJAMENTO.

Fonte: IAEA.

Na etapa da análise integrada serão necessárias algumas definições para a realização do estudo, tais como a definição da rede energética desde a oferta das fontes de energia do setor até a demanda útil, a caracterização desta rede quanto aos fluxos energéticos e de preços, tecnologias presentes e futuras, bem como recursos e demandas, definição do ano base, escolha dos cenários para as projeções, etc.

Este trabalho desenvolverá um estudo de planejamento energético para o Estado de Minas Gerais considerando um horizonte de 25 anos. O escopo deste estudo abrange o setor residencial no Estado de Minas Gerais, onde será avaliada a inserção da bomba de calor como alternativa para aquecimento de água.

A partir do levantamento dos dados, será elaborada a rede de oferta/demanda para os setores da economia em estudo. De posse da base de dados montada, dos cenários e da rede energética, o planejador deve ser capaz de investigar os efeitos de cada cenário e avaliar os impactos dos mesmos no balanço energético. A partir desta análise, pode-se então estabelecer políticas e/ou planos para determinado setor ou fonte. Finalmente, na definição de políticas e/ou estratégias, deve-se ter em mente que este processo de estudo de planejamento energético não deve ser feito uma única vez. Fatores não considerados

podem surgir e acarretar resultados diferentes em novos estudos. O planejamento energético é um processo dinâmico.

#### 4.3.1 DETERMINAÇÃO DAS TAXAS DE PROJEÇÃO.

Será utilizada a técnica econométrica baseada em análise de regressão da evolução histórica de cada um dos parâmetros. É usado o método de séries temporais.

##### 4.3.1.1 MODELO CLÁSSICO DAS SÉRIES TEMPORAIS

Segundo o modelo clássico todas as séries temporais são compostas de quatro padrões:

- **Tendência (T)**, que é o comportamento de longo prazo da série, que pode ser causada pelo crescimento demográfico, ou mudança gradual de hábitos de consumo, ou qualquer outro aspecto que afete a variável de interesse no longo prazo;
- **Variações cíclicas ou ciclos (C)**, flutuações nos valores da variável com duração superior a um ano, e que se repetem com certa periodicidade, que podem ser resultado de variações da economia como períodos de crescimento ou recessão, ou fenômenos climáticos como o El Niño (que se repete com periodicidade superior a um ano);
- **Variações sazonais ou sazonalidade (S)**, flutuações nos valores da variável com duração inferior a um ano, e que se repetem todos os anos, geralmente em função das estações do ano (ou em função de feriados ou festas populares, ou por exigências legais, como o período para entrega da declaração de Imposto de Renda);
- **Variações irregulares (I)**, que são as flutuações inexplicáveis, resultado de fatos fortuitos e inesperados como catástrofes naturais, atentados terroristas como o de 11 de setembro de 2001, decisões intempestivas de governos, etc.

Chamando a variável de interesse de  $Y$ , a equação de sua série temporal seria:

$$Y = f(T, C, S, I) \quad (4.16)$$

A tendência descreve o comportamento da variável retratada na série temporal no longo prazo. Há dois objetivos básicos na sua identificação: avaliar o seu comportamento para utilizá-lo em previsões, ou removê-la da série para facilitar a visualização das outras componentes. A obtenção da tendência pode ser feita de duas formas: por meio de um

modelo de regressão (como o modelo linear) ou por meio de médias móveis. O último método é aplicado neste trabalho.

#### 4.3.1.2 OBTENÇÃO DE TENDÊNCIA LINEAR.

Utiliza o método dos mínimos quadrados para obter os coeficientes da reta que melhor se ajusta aos dados. A diferença aqui é que a variável independente será sempre o tempo (mensurado diretamente, por exemplo, anos de 1970, 1971, ou através de contagem de períodos, 1, 2, 3. ...). É importante ressaltar que com o uso de programas estatísticos, ou mesmo de uma planilha eletrônica como o Microsoft Excel é possível ajustar outros modelos que não o linear.

Para o caso linear, a reta de tendência é:

$$T = a + bt \quad (4.17)$$

onde T é o valor da tendência, t é o valor do tempo, b é o coeficiente angular da reta (se positivo indica tendência crescente, se negativo a tendência é decrescente) e a é o coeficiente linear da reta.

As equações dos coeficientes estão expressas a seguir.

$$b = \frac{n \sum_{i=1}^n (t_i y_i) - \sum_{i=1}^n (t_i) \sum_{i=1}^n y_i}{n \sum_{i=1}^n (t_i^2) - \left( \sum_{i=1}^n t_i \right)^2} \quad (4.18)$$

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n y_i - b \sum_{i=1}^n t_i}{n} \quad (4.19)$$

onde  $y_i$ : valor qualquer da variável registrada na série temporal,  $t_i$ : período associado a  $y_i$  e n: número de períodos da série.

---

## 5. APLICAÇÃO DA METODOLOGIA

---

### 5.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A metodologia exposta no capítulo anterior é aplicada a um estudo de caso. O caso escolhido é um representativo do setor residencial no Estado de Minas Gerais.

Foi montada uma planilha, ver Apêndice A, para fazer as simulações com todos os critérios apresentados na metodologia, onde se pode variar livremente os parâmetros de entrada da demanda de água quente. Os resultados são mostrados em forma de gráficos de barra de Custos Mensais Totais a cada 12 meses [R\$/mês].

Nas análises, foi tomado o valor de investimento inicial da bomba de calor que hoje é comercializada para o aquecimento de piscinas. Sua vida útil (compressor) é estimada em cinco anos, para temperatura da água quente de 45°C. A cada cinco anos é feita a substituição do compressor, investimento extra de R\$500,00 (mão de obra e equipamento), prolongando a vida útil do sistema de aquecimento de água por bomba de calor.

O caso e os parâmetros para o estudo são apresentados a seguir.

### 5.2 DEFINIÇÃO DO ESTUDO DE CASO

Serão avaliados os resultados para o setor residencial no Estado de Minas Gerais pela simulação do consumo mensal de água quente em um apartamento de classe média segundo a NBR 7198/82 e a pesquisa dos hábitos dos usuários.

As análises serão:

- Com cinco pessoas, qual será o perfil de resultados;
- Fixando o número cinco pessoas por apartamento, qual será a menor quantidade de apartamentos para a bomba de calor ser viável em 24 meses;
- Qual será o valor do investimento inicial para obter o mesmo resultado só que para um apartamento com cinco moradores.

O valor de 24 meses refere-se ao período típico de atratividade na escolha de um investimento para o setor residencial, segundo Casaroto Filho (2000).

### 5.3 ANÁLISE TÉCNICA

Inicialmente, para obtenção do valor do rendimento térmico da bomba de calor define-se seu ciclo de operação. A Figura 5.1 apresenta o ciclo termodinâmico padrão da bomba de calor assim como seus pontos para análise.

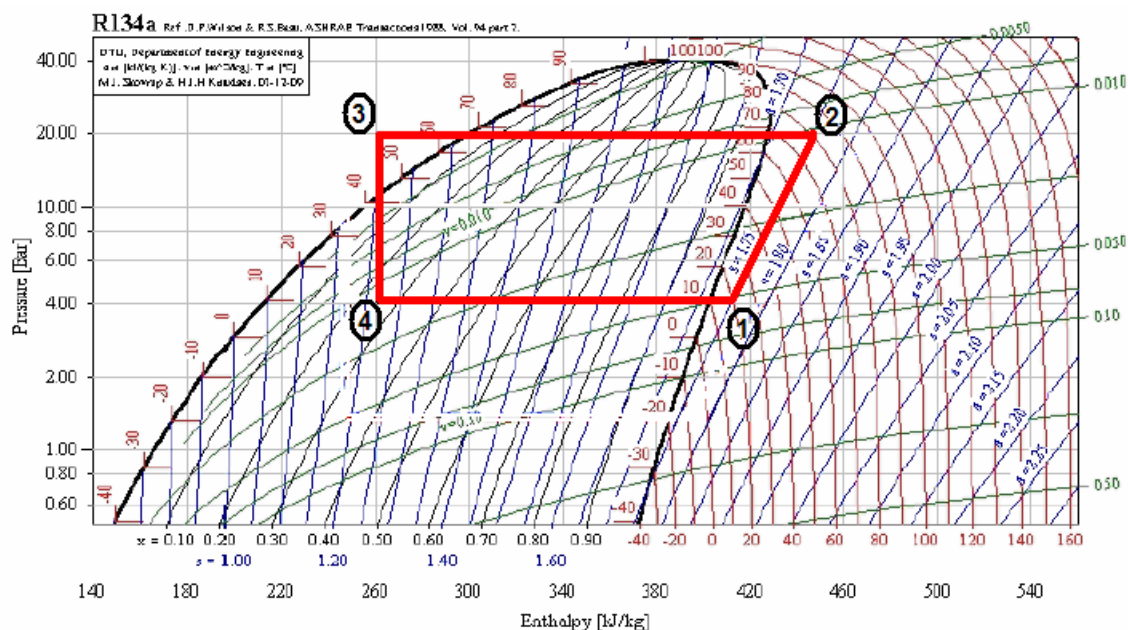


FIGURA 5.1: DIAGRAMA P X H DO R134.

Este ciclo é composto dos seguintes processos. O primeiro é uma compressão isentrópica (1 – 2) onde o fluido de trabalho (R134a) é aspirado, comprimido e descarregado à pressão imposta pelo condensador. O estado termodinâmico no ponto 2 é função da temperatura a qual se deseja que a fonte quente opere, pois a temperatura da fonte quente é que determina qual será a temperatura de mudança de fase no condensador.

O fluido, neste ponto, encontra-se como gás superaquecido e este troca calor no reservatório, aquecendo a água (2 – 3). O fluido é condensado chegando ao ponto 3 no estado de líquido comprimido.

O processo seguinte é uma redução brusca da pressão fazendo o fluido de trabalho expandir de maneira isentálpica (3 – 4) ao passar por uma válvula, chegando-se ao ponto 4, região onde ocorre a mudança de fase, à baixa pressão.



Por fim, o fluido é então evaporado (4 – 1) e chega novamente ao estado inicial, no ponto 1.

A análise será realizada tomando-se as seguintes hipóteses:

- O compressor realiza o trabalho de compressão isentrópico;
- A perda de carga no escoamento do fluido de trabalho foi considerada nula no condensador e também no evaporador;
- O compressor possui uma eficiência global de 0,86;
- O dispositivo de expansão realiza a perda de carga de forma isentálpica;
- As perdas térmicas do sistema de aquecimento de água por bomba de calor são da ordem de 10%;
- As temperaturas ambiente e de entrada da água para o processo de aquecimento são ambas de 25°C;
- As diferenças de temperaturas para as trocas de calor no condensador e no evaporador são de 10°C.

Foi utilizado o programa CATT2 para a determinação dos valores das pressões, entalpias, entropias e temperaturas, nos pontos 1, 2 e 3, ver Figura 5.1. A aplicação destes valores no método apresentado fornecerá o valor da eficiência térmica teórica da bomba de calor.

Os valores encontrados estão resumidos a seguir.

TABELA 5-1: VALORES DAS PROPRIEDADES A CADA PONTO DO CICLO.

	T [°C]	P[MPa]	h[kJ/kg]	s[kJ/kg.K]
Ponto 1	15,00	0,415	409,00	1,739
Ponto 2	69,44	1,682	439,00	1,739
Ponto 3	50,00	1,682	271,50	

#### 5.4 ANÁLISE ECONÔMICA

Para obtenção dos dados necessários à análise econômica foram levantadas as seguintes informações:

- Características dos aquecedores, preços, rendimento térmico, etc.;
- Custo de operação, manutenção e instalação;
- Preço dos insumos energéticos;

- Temperatura e volume de água utilizada.

Os critérios para tomada de decisão que foram adotados para as comparações entre as tecnologias para o aquecimento de água foram os seguintes:

- A moeda adotada foi o real (R\$);
- O método de análise dos diversos tipos de aquecedores foi a comparação de custos pelo método dos custos mensais equivalentes;
- O período considerado foi mensal;
- Os investimentos foram obtidos por pesquisa de mercado;
- Os custos mensais de manutenção foram obtidos por pesquisa de mercado;
- Os custos de aquisição e instalação foram considerados no início da análise – Mês 0 (zero).

Para determinação da energia necessária ao aquecimento de água, usa-se a Equação (4.5), onde  $c_p=4,18\text{kJ/kg}\cdot^\circ\text{C}$ ,  $T_s=45^\circ\text{C}$  de acordo com a ANEEL 2001 e  $T_e=25^\circ\text{C}$  que é a temperatura ambiente. O cálculo da massa total de água consumida durante o mês é obtido utilizando-se a Equação (4.6), onde  $\rho=1,0\text{kg/l}$  e  $d=30\text{dia/mês}$  é o número de dias de um mês contábil.

Para se avaliar um sistema de aquecimento de água, é preciso ter em mãos o consumo diário de água quente, em litros. A NBR 7198/82 de “Instalações Prediais de Água Quente” e a pesquisa dos hábitos dos usuários permitem avaliar o consumo energético para cada situação. Os valores para L são mostrados de acordo com a tabela a seguir, que é uma estimativa de consumo diário de água quente em litros.

TABELA 5-2: CONSUMO DIÁRIO MÉDIO.

	Consumo Diário
Alojamento provisório de obra	24 litros por pessoa
Casa popular ou rural	36 litros por pessoa
Residência	45 litros por pessoa
APARTAMENTO	60 LITROS POR PESSOA
Quartel	45 litros por pessoa
Escola ou internato	45 litros por pessoa
Hotel (sem incluir cozinha e lavanderia)	36 litros por hospede
Hospital	125 litros por leito
Restaurantes e similares	12 litros por refeição
Lavanderia	15 litros por kg de roupa seca

Fonte: NBR 7198/82

Antes de iniciar os cálculos dos custos de operação, são apresentados na Tabela V-3 os valores dos rendimentos térmicos dos aquecedores usados. Foi adotada a média aritmética dos valores fornecidos pelo PROCEL. O valor do rendimento para a bomba de calor será o valor teórico.

TABELA 5-3: RENDIMENTOS MÉDIOS DOS AQUECEDORES.

Tipo de Aquecedor	Rendimento ( $\eta$ )
Gás de passagem	80%
Gás de acumulação	70%
Elétrico de passagem	95%
Elétrico de acumulação	85%
Solar	50%
Bomba de Calor	430%

Fonte: Programa Brasileiro de Etiquetagem.

Inicialmente, para a determinação do valor de consumo de energia final dos aquecedores a gás, utiliza-se a Equação (4.7). Para o consumo de GLP, utiliza-se a Equação (4.8), onde  $PCI=46.400\text{kJ/kg}$  de acordo com o 20°BEEMG. Para o custo operação, utiliza-se a Equação (4.8), onde  $P_{GLP}=2.77\text{ R\$/kg}$  de acordo com a pesquisa de mercado.

Para a determinação do valor de consumo de energia final dos aquecedores elétricos utiliza-se a Equação (4.10). Para o consumo de Eletricidade utiliza-se a Equação (4.11), onde  $R=3.600\text{kJ/kWh}$ . O custo de operação é obtido da Equação (4.12), onde  $P_E=0,64\text{ R\$/kWh}$  (Tarifa convencional – B1 residencial normal.) de acordo com a pesquisa na CEMIG (em [www.cemig.com.br](http://www.cemig.com.br) acessado em julho de 2006).

Os fluxos de caixa dos aquecedores são obtidos das Equações (4.13) e (4.14). Os custos de operação, em reais por mês, são funções do consumo diário  $L$ ; portanto para cada caso tem-se um valor. O mesmo critério é adotado para os custos mensais totais.

Os preços dos aquecedores necessários à análise econômica foram baseados em levantamentos feitos junto à CEMIG, a fornecedores de aquecedores e a prestadores de serviços na área de aquecimento de água, realizados principalmente na Região

Metropolitana de Belo Horizonte, em julho de 2006. Na Tabela 5-4, tem-se resumidamente todos os valores fixos para a formação do fluxo de caixa.

TABELA 5-4: DADOS DOS AQUECEDORES PARA SIMULAÇÃO.

Tipo de Aquecedor	P <sub>aq</sub> [R\$]	P <sub>ins</sub> [R\$]
Gás de passagem	1.000,00	800,00
Gás de acumulação	1.500,00	800,00
Elétrico de passagem	100,00	50,00
Elétrico de acumulação	1.500,00	800,00
Solar	1.500,00	800,00
Bomba de Calor	2.000,00	800,00

Fonte: Pesquisa de mercado julho de 2006.

Para a determinação da série uniforme equivalente desejada, falta apenas determinar qual será o valor da Taxa Mínima de Atratividade. Foi adotado o valor de  $i=8,8\%$  ao ano, que é o valor referente aos rendimentos da poupança em 2006, de acordo com a CEF (em [www.cef.gov.br](http://www.cef.gov.br) acessado em novembro de 2006). Os valores de  $n$  serão a intervalos de 12 meses no período entre 0 a 120 meses.

A análise dos resultados será a comparação entre os custos totais mensais determinados a partir da escolha do valor do consumo diário  $L$ .

## 5.5 PLANEJAMENTO ENERGÉTICO.

### 5.5.1 O ANO BASE

O ano base escolhido foi o ano 2000. A escolha deste ano é devido ao fato de que é o ano mais recente anterior a 2001; assim possibilita encontrar o maior número de informações, sem influência do racionamento de energia elétrica ocorrido. O ano de 2001 é um ano atípico pelo fato do racionamento e leva as dificuldades nas análises dos anos posteriores ao racionamento.

Os dados do ano base e, sobretudo, os dados históricos precedentes, são importantes para a construção das projeções de crescimento futuro. Portanto, a escolha de dados consistentes,

que muitas vezes são de difícil obtenção, é fundamental no estudo de planejamento. Muitos dos dados podem ser obtidos do 20º BEEMG.

### 5.5.2 O HORIZONTE DE PLANEJAMENTO

O horizonte de planejamento pode ser, de curto, médio ou longo prazo. O longo prazo é o tempo, superior a 10 anos, suficiente para que todas as previsões quanto à introdução novas tecnologias, políticas ou insumos possam penetrar no mercado.

O período definido foi o de longo prazo, do ano base 2000 ao ano de 2025.

### 5.5.3 CENÁRIOS

A definição de cenários é outro passo importante para a análise de alternativas para estratégias e/ou políticas no longo prazo. Para estabelecer os cenários, são considerados vários aspectos, desde o crescimento da economia até políticas de incentivos a fontes energéticas ou a setores da economia.

Foi estabelecido um Cenário de Referência ao quais seus resultados serão comparados aos dos demais cenários.

Este cenário foi construído com valores médios e tendenciais nos aspectos econômico, como taxa de crescimento média, energético, sem o incentivo a nenhum insumo, e ambiental, sem o incentivo ou política de utilização racional da energia.

Para desenvolver os cenários macroeconômicos, tomou-se como base três taxas de crescimento econômico distintas. Elas foram utilizadas para diferenciar os cenários macroeconômicos, os quais são os de crescimento econômico médio, baixo e alto.

Além do crescimento econômico, pode-se considerar outros parâmetros no processo de definição de cenários:

- Possibilidade de ocorrência de racionamentos de energia elétrica no período (2007-2025), devido ao aumento da demanda e baixo crescimento da oferta;
- O espetáculo do crescimento prometido pelo governo Lula até o final do mandato aumentando consideravelmente o consumo em todos os setores;
- Possível ampliação do uso da energia nuclear na matriz energética nacional.

Além deste grupo de idéias, as seguintes foram estabelecidas para compor o conjunto de cenários:

- Entrada do PROINFA a partir do ano de 2002, garantindo que, até 2025, 10% da energia elétrica gerada sejam de fonte eólica, PCH ou biomassa. O estado, conseqüentemente, terá de se adequar;
- Universalização da energia elétrica até 2013. Implica um crescimento do consumo de energia elétrica nos setores residencial rural e agropecuário com a implementação de tecnologias de expansão da rede, geração descentralizada e geração individual.
- Criação do selo de eficiência energética de edificações pela CEMIG a partir do ano de 2007, criando incentivos financeiros. Essa eficientização será progressiva e diferenciada para edificações existentes e novas. Os incentivos serão por meio de descontos na conta de energia.
- Expansão da rede de distribuição de gás natural em Minas Gerais. Esta alternativa favorecerá o uso deste combustível em regiões industrializadas, implicando em uma possível substituição de outros combustíveis e favorecendo o desenvolvimento destas regiões.

No ano base do estudo, o PIB do Estado cresceu em torno de 5%. Entretanto, não se pode afirmar que esta seja uma tendência de crescimento. De fato, é grande a complexidade para estabelecer uma tendência para a taxa de crescimento do PIB. Adotou-se então a definição seguinte para as projeções das taxas de crescimento econômico para os cenários.

A taxa de crescimento médio da economia foi definida usando o método de séries temporais para a taxa média do crescimento verificado de 1994 a 2000 de acordo com os valores de crescimento do PIB no DATAGERAIS (FJP) desde 1994, e também com referência aos dados da CEMIG de 1997. Atribuiu-se 1,5% acima e 1,5% abaixo do valor de médio para determinar os índices para os cenários alto e baixo de acordo com conversas com economistas, professores e outros colegas.

Portanto, os cenários escolhidos para as simulações são os expostos na Tabela 5-5, a seguir:

TABELA 5-5: CENÁRIOS.

Cenário	Características
Referência.	Apresentará uma taxa de crescimento econômico moderado: <b>3,7%</b> a.a. A política ambiental e quanto ao uso sustentável dos insumos será a mesma adotada atualmente pelo PROCEL. Não há subsídio a nenhuma tecnologia em estudo.
Macroeconômicos – Alto e baixo.	Comparados ao Cenário de Referência, terão um o crescimento econômico definido como sendo baixo e o outro alto: taxas de crescimento de <b>2,2%</b> a.a e de 5,2% a.a., respectivamente. Os demais aspectos não variarão em relação ao básico.
Uso racional da energia.	Terá o mesmo crescimento econômico que o Cenário de Referência ( <b>3,7%</b> a.a.). A diferença está no aspecto de que a política ambiental terá seu foco em beneficiar o uso sustentável dos recursos, escolha por tecnologias “limpas”, menos poluentes, mais eficientes, baseada nos critérios de etiquetagem do PROCEL.

Os valores das eficiências dos aquecedores usados para o Cenário de Conservação, que são os valores máximos fornecidos pelo PROCEL, o valor para a bomba de calor será o valor teórico. Os valores são apresentados na Tabela 5-6 a seguir.

TABELA 5-6: MÁXIMAS EFICIÊNCIAS DOS AQUECEDORES.

Tipo de Aquecedor	Rendimento ( $\eta$ )
Gás de passagem	86%
Gás de acumulação	78%
Elétrico de passagem	95%
Elétrico de acumulação	90%
Solar	67%
Bomba de Calor	430%

Fonte: Programa Brasileiro de Etiquetagem em [www.procel.com.br](http://www.procel.com.br) acessado em julho de 2006.

## 5.6 DADOS ENERGÉTICOS

Os preços utilizados para o GLP e para a eletricidade foram os da Tabela 7.10 da página 96 do Balanço Energético Nacional (BEN 2004). Os dados de consumo e oferta de GLP e eletricidade (setor residencial) que foram utilizados são os das Tabelas 3.1.16 e 3.1.20 das páginas 51 e 55 do 20°BEEMG.

Para a utilização na bomba de calor, foi necessária a criação de um novo insumo energético com reserva infinita, ou seja, o meio ambiente e sua disponibilidade térmica. A ordem de grandeza assumida foi de  $10^{12}$ tEP.

As frações para demanda de energia útil de acordo com SOUZA 2001 serão utilizadas. Adotou-se a hipótese de que estas frações não irão variar muito ao longo do horizonte de estudo, devido à falta de dados históricos com estas informações.

Estas frações serão, portanto, as apresentadas na Figura 5.2 a seguir:

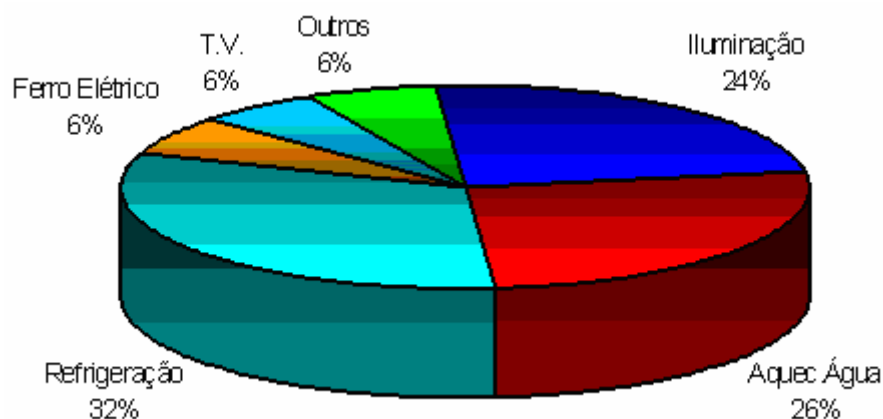


FIGURA 5.2: FRAÇÕES DA DEMANDA DE ENERGIA ÚTIL UTILIZADA NO ESTUDO.

Fonte: SOUZA, 2001.

### 5.7 CONSTRUINDO A REDE

Definindo o ano base e os cenários a serem estudados, o próximo passo é a montagem da rede de oferta/demanda de energia para o setor da economia em estudo. Para este estudo, o setor residencial deve ser desagregado em subsetores de características específicas proporcionando maior detalhamento no estudo. Na construção da rede deve-se considerar:



- Diferentes padrões de uso da energia;
- Dispositivos de consumo de energia;
- Sistemas de suprimento de energia;
- 

A rede para o ano base será utilizada em todo horizonte de estudo. É importante saber, em cada elo da rede, os fluxos energéticos, as eficiências e os preços associados.

Os preços devem refletir um conjunto de custos que incluem, entre outros, os seguintes elementos:

- Custos de produção;
- Impostos;
- “Royalties”;
- Subsídios.

Construindo a rede representativa do sistema energético é possível analisar o balanço energético, isto é, o equilíbrio entre a oferta e a demanda de energia e avaliar as diferentes alternativas.

A Figura 5.3 é a representação esquemática da rede energética que liga a demanda por energia útil (água quente) para o setor residencial em Minas Gerais às ofertas de energia final passando por nós de alocação e pelos sistemas de conversão (aquecedores).

Na base, estão os elementos que indicam os recursos, ou seja, as quantidades de energia ofertadas (eletricidade, solar, GLP etc.). Nos casos da eletricidade e do GLP, existem nós de alocação, pois estes recursos atendem a mais de um sistema de conversão.

Os sistemas de conversão de energia são apresentados ao centro da rede. Estes sistemas convertem a energia final (abaixo) em energia útil (acima). A diferença entre os dois fluxos, o que entra no conversor e o que sai é função da eficiência do conversor.

Há uma representação separada para a bomba de calor, por razão de sua eficiência superior a 100%. Para se resolver este problema, a bomba de calor foi representada por seus componentes: um é o compressor elétrico e o outro o evaporador. Somando-se as contribuições nos fluxos de energia útil do compressor e do evaporador, a uma razão fixa, tem-se a energia útil para bomba de calor.

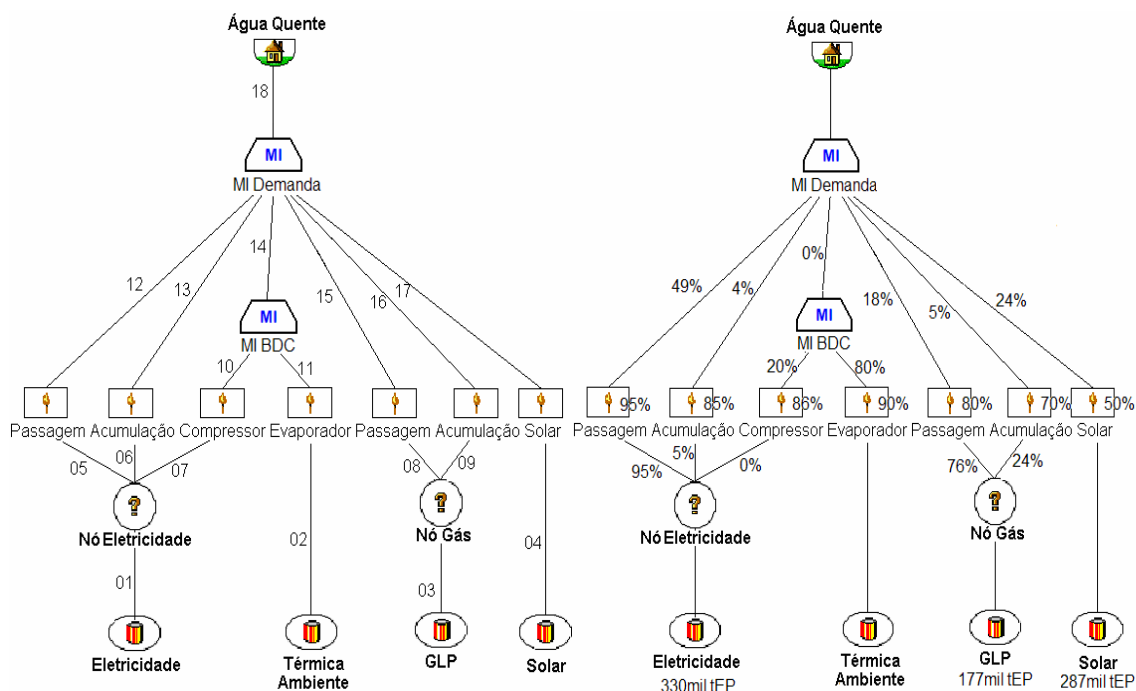


FIGURA 5.3: REPRESENTAÇÕES DA REDE ENERGÉTICA.

A rede energética representa assim os fluxos de energia entre a base, energia final, ao topo, energia útil. As capacidades do fluxo em cada laço são definidas para fazer-se a simulação com o programa ENPEP 2.20.

Determinou-se qual foi a divisão de mercado (MI demanda) para cada conversor no Ano Base, pesquisa de mercado realizada na região metropolitana de Belo Horizonte. Os valores da divisão de mercado são mostrados na Tabela 6-1 Coluna “2000”.

Inicialmente buscou-se determinar o valor da demanda útil em consequência todos os demais valores com o resultado da multiplicação da demanda útil pela fração de mercado. A demanda útil foi determinada pela multiplicação dos valores da oferta total de eletricidade (330mil tEP) para o setor residencial, ver Tabela 5-8, pela fração correspondente a eletricidade para o aquecedor elétrico de passagem (0,95). O resultado foi agora multiplicado pela eficiência do conversor (0,95). Este valor dividido por 49% chegasse ao valor da energia útil demandada.

Desta forma com os valores da demanda total e as frações de mercado, pode-se calcular todos os fluxos da rede no Ano Base.

---

## 6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

---

### 6.1 ANÁLISE TÉCNICA DA BOMBA DE CALOR.

Os resultados apresentados nesta seção foram obtidos com a aplicação dos dados apresentados na seção 5.3. O trabalho de compressão é dado pela Equação (4.1). Resolvendo a Equação tem-se  $w_{comp} = 30,00\text{kJ/kg}$ . De posse do valor do trabalho de compressão é possível determinar o consumo de energia elétrica, substituindo seu valor na Equação (4.2). Assim, o consumo de eletricidade necessário para realizar a compressão é  $w_{ele} = 34,88\text{kJ/kg}$ . O efeito útil é dado pela Equação (4.3)  $Q_{\text{útil}} = 150,75\text{kJ/kg}$ . Com base nestes resultados pode-se calcular o  $\eta$  teórico da bomba de calor pela Equação (4.4), sendo então  $\eta_{BDC} = 432\%$ . Aplicar-se-á então o valor de 432% para o rendimento teórico da bomba de calor neste estudo.

### 6.2 SIMULAÇÕES

#### 6.2.1 PARA UM APARTAMENTO COM CINCO PESSOAS

Na aba “Água Quente” da planilha foi selecionada a opção para um apartamento, ver apêndice A. Foram escolhidos cinco usuários no campo correspondente. Os resultados desta simulação estão no gráfico em barras da Figura 6.1. Cada aquecedor possui sua barra identificada na legenda. As barras representam o valor do custo total mensal (resultado da série equivalente uniforme) de cada aquecedor. O valor zero do eixo horizontal (Tempo [meses]) é o momento da compra. Daí os resultados são mostrados em intervalos de doze meses a partir do valor zero.

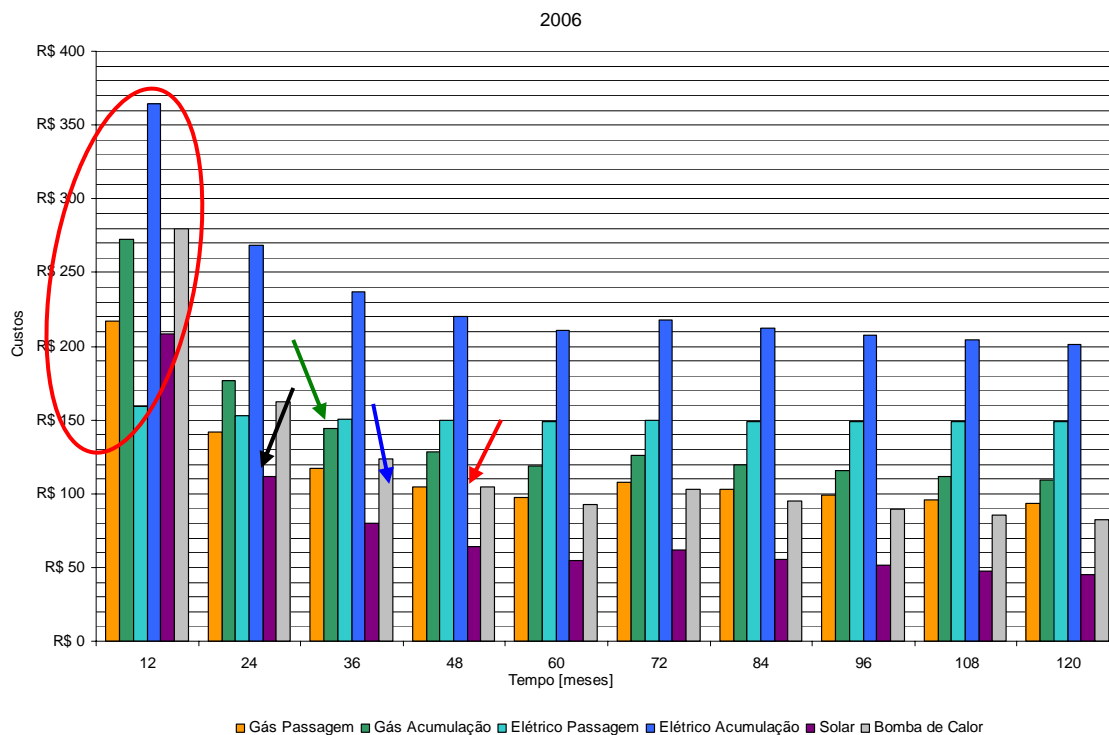


FIGURA 6.1: RESULTADO PARA APARTAMENTO COM 5 MORADORES.

Neste primeiro resultado observa-se que para uma unidade residencial, um apartamento com cinco moradores de classe média, o aquecedor solar é a alternativa mais viável a partir do 24º mês (seta preta na Figura 6.1). Contudo, a penetração de mercado do aquecedor solar não é de 100%, devido a problemas com sombreamento urbano, por exemplo. Verifica-se então que a bomba de calor é a segunda melhor opção a partir do 48º mês (seta vermelha na Figura 6.1). É importante saber que, mesmo não superando o aquecedor solar, o resultado para a bomba de calor é satisfatório, sendo a alternativa mais viável no nicho de mercado que o aquecedor solar não consegue penetrar.

Verifica-se também, desde o primeiro momento, que os aquecedores elétricos de acumulação, são os menos viáveis (círculo vermelho na Figura 6.1). Este comportamento é verificado durante todo o horizonte da análise.

O aquecedor elétrico de passagem possui menor investimento inicial e isto o leva ser o primeiro na escolha entre as alternativas (avaliação em curto prazo), contudo pode-se observar que, a partir do 36º mês, este é segunda pior alternativa (seta verde na Figura 6.1), sendo melhor apenas que o aquecedor elétrico de acumulação.

Ao final do 48º mês o custo da bomba de calor é de R\$100,00/mês versus R\$105,00/mês do aquecedor a gás de passagem (GLP) (seta azul na Figura 6.1).

Adotou-se o seguinte critério para a análise do valor do investimento inicial: o valor do investimento inicial do aquecedor solar como 100%. Assim verifica-se que o valor para a bomba de calor é o mais elevado (condições atuais). Seu valor é 122% em relação ao valor do aquecedor solar.

### 6.2.2 EFEITO DA VARIAÇÃO DA DEMANDA NOS CUSTOS TOTAIS MENSAIS.

Utilizou-se a mesma planilha para determinar quantos apartamentos com cinco moradores torna a bomba de calor a mais viável a partir do 24º mês no nicho de mercado que os aquecedores solares não competem. Esta simulação busca a análise do uso coletivo a bomba de calor, ou seja, a influência da variação da demanda nos custos totais mensais e conseqüentemente na escolha das tecnologias.

Foi utilizado o recurso “atingir meta” do MsExcel. O critério foi de que o custo total mensal da bomba de calor (barra cinza no gráfico da Figura 6.2) fosse o segundo menor em 24 meses. O resultado desta simulação é mostrado no gráfico da Figura 6.2.

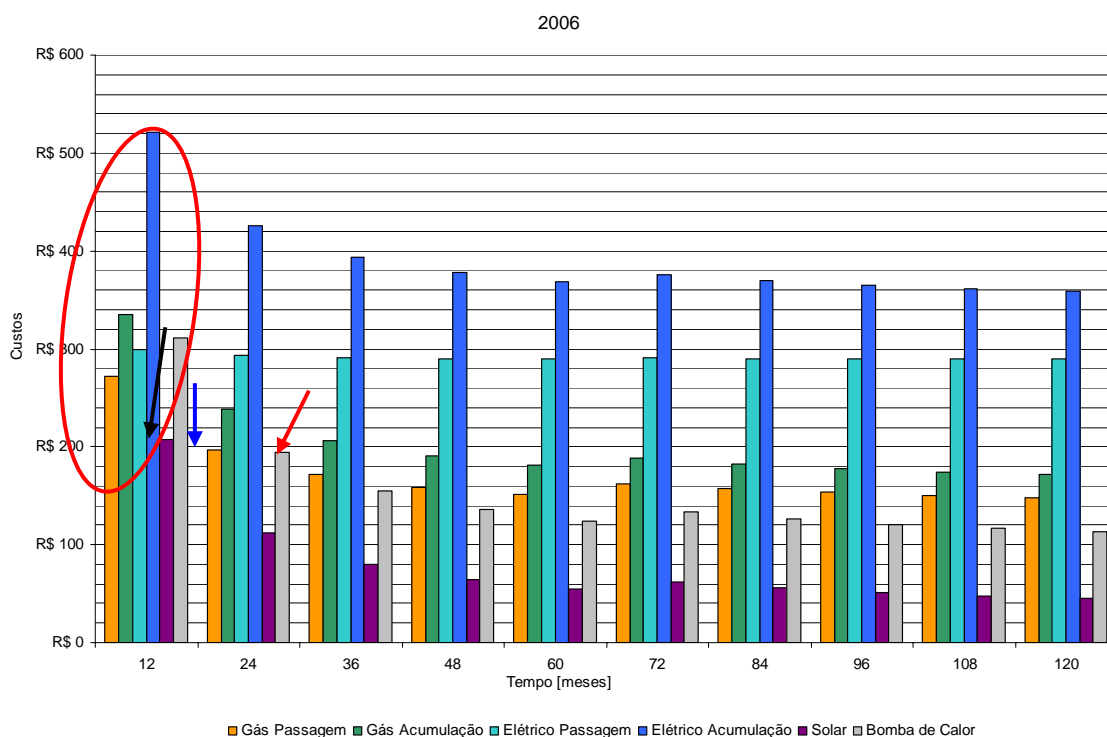


FIGURA 6.2: RESULTADO PARA DOIS APARTAMENTOS COM CINCO MORADORES CADA.

O resultado mostra que a bomba de calor é a alternativa mais viável a partir do 24º mês (seta vermelha na Figura 6.2). Este resultado é obtido com o uso da bomba de calor por duas unidades residenciais, ou seja, para dez usuários.

O perfil do comportamento para as demais alternativas é o mesmo da simulação anterior. Todas as considerações anteriores podem ser aplicadas.. A única diferença diz respeito aos valores absolutos, que são maiores; por isto os tempos são modificados. A distinção entre as simulações apresentadas até agora são devidas ao valor da demanda útil simulada.

Os tempos são influenciados, antecipados ou adiados, apenas pelos custos mensais de operação e manutenção, pois os valores dos investimentos iniciais não variaram.

### *6.2.3 EFEITO DA VARIAÇÃO DO INVESTIMENTO INICIAL NOS CUSTOS TOTAIS MENSAIS.*

O fator de maior impacto na escolha por uma das alternativas é o valor do investimento inicial. Este é o primeiro critério de escolha para a maioria dos usuários. Desta forma buscou-se determinar qual seria o valor do investimento inicial de uma bomba de calor, em relação ao valor do aquecedor solar, ou seja, qual é a influência da variação do investimento inicial nos custos totais mensais.

Utilizou-se a mesma planilha, simulando um apartamento com cinco moradores, utilizando o recurso “atingir meta” do MsExcel. O critério adotado foi o de que o custo total mensal da bomba de calor (barra cinza no gráfico da Figura 6.3) fosse o segundo menor em 24 meses. O resultado desta simulação é mostrado no gráfico da Figura 6.3.

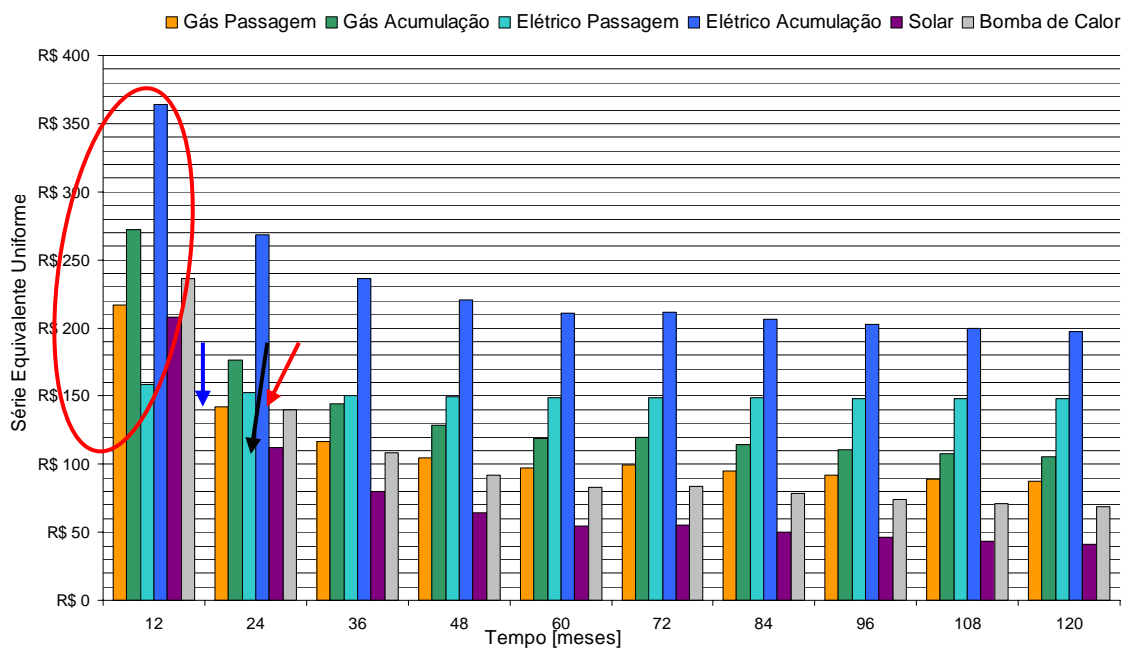


FIGURA 6.3: RESULTADO INVESTIMENTO INICIAL DA BOMBA DE CALOR.

Este resultado mostra claramente a forte dependência dos valores dos investimentos iniciais na viabilidade econômica na escolha por um sistema de aquecimento. Para o valor de investimento inicial da bomba de calor igual ao do aquecedor solar, ela se torna a alternativa mais atraente já no 24º mês no nicho de mercado em que os aquecedores solar não penetram. Verifica-se que os aquecedores elétricos de passagem continuam gerando a falsa dedução de viabilidade, devido ao seu valor de investimento inicial.

De maneira geral, o aquecedor solar mostra-se, em primeira análise, como a alternativa mais viável. As principais razões deste fato são consequência da difusão, do conhecimento adquirido com a experiência e dos avanços da tecnologia solar, pois isto possibilita a fabricação por diversos fabricantes, com eficiência satisfatória e cada vez menor investimento inicial.

Outro ponto indiscutível é a questão de operar com insumo (energia solar) abundante e gratuito. Contudo, há algumas limitações quanto ao uso do aquecedor solar devido à necessidade de uma área útil de coletor, o que pode impedir de ser capaz de suprir toda a demanda por água quente no setor em estudo.

Outra opção neste estudo são os aquecedores a gás, que utilizam o GLP ou gás natural como insumo. As alternativas do aquecedor de passagem a GLP, simuladas, são

praticamente iguais em desempenho à bomba de calor, contudo seus impactos ambientais são maiores devido ao insumo não renovável.

A tecnologia a gás permite a utilização do gás natural como insumo, contudo, a penetração do gás natural no mercado está limitada à rede de distribuição, impedindo a disponibilidade do gás natural como opção de energia final para o setor em estudos.

Para resolver esta limitação necessitar-se-ia de investimentos extremamente elevados para criação de uma infra-estrutura de distribuição para o setor residencial em Minas Gerais. Desta forma não é possível vislumbrar nenhuma perspectiva de uso no setor residencial no horizonte deste estudo.

Quanto aos aquecedores elétricos por efeito Joule, tanto o de passagem quanto o de acumulação, são de qualquer forma as alternativas menos indicadas, devido ao alto consumo de energia elétrica.

A questão da modulação da curva de carga é muito afetada devido aos aquecedores elétricos de passagem, pois estes necessitam de uma elevada potência de acionamento e sua utilização coincide com o horário de pico.

Quanto a este aspecto, os aquecedores elétricos por acumulação, são eficazes; contudo, estes perdem cerca de 10% em eficiência, elevando seus custos de operação e também possuem um alto valor de investimento inicial, o que os leva a serem os menos viáveis desde o primeiro momento.

A grande disseminação do uso dos aquecedores elétricos de passagem é devida ao seu baixíssimo valor de investimento inicial. Seus resultados não deixam dúvidas quanto à inviabilidade de seu uso como boa alternativa.

Embora isto seja sabido, a influência do valor de investimento inicial na escolha por uma alternativa para o aquecimento de água, só pode ser contornada através da implantação de um programa para o uso mais racional de energia.

### *6.3 PLANEJAMENTO ENERGÉTICO*

Serão apresentados os resultados obtidos com a simulação dos cenários com o modelo ENPEP versão 2.20 (módulo BALANCE).

#### *6.3.1 CENÁRIO DE REFERÊNCIA*



Apresenta-se a evolução das demandas de energia útil ao longo do horizonte de estudo. Em seguida, mostra-se a evolução das ofertas de energia final que atende os conversores (aquecedores) do ano base até o final do horizonte de estudo. Depois são apresentadas a evoluções das ofertas de eletricidade e para o GLP, pois estes insumos atendem mais de uma alternativa.

Por fim, apresenta-se a comparação dos valores da demanda de energia útil total para o ano base e ao final do horizonte de estudo para os diferentes cenários. São então apresentados, de forma consolidada, todos os valores das energias final e útil reunidos em uma tabela.

A evolução da energia útil ao longo do horizonte de estudo é mostrada no gráfico da Figura 6.4 e na tabela 6-1 a seguir.

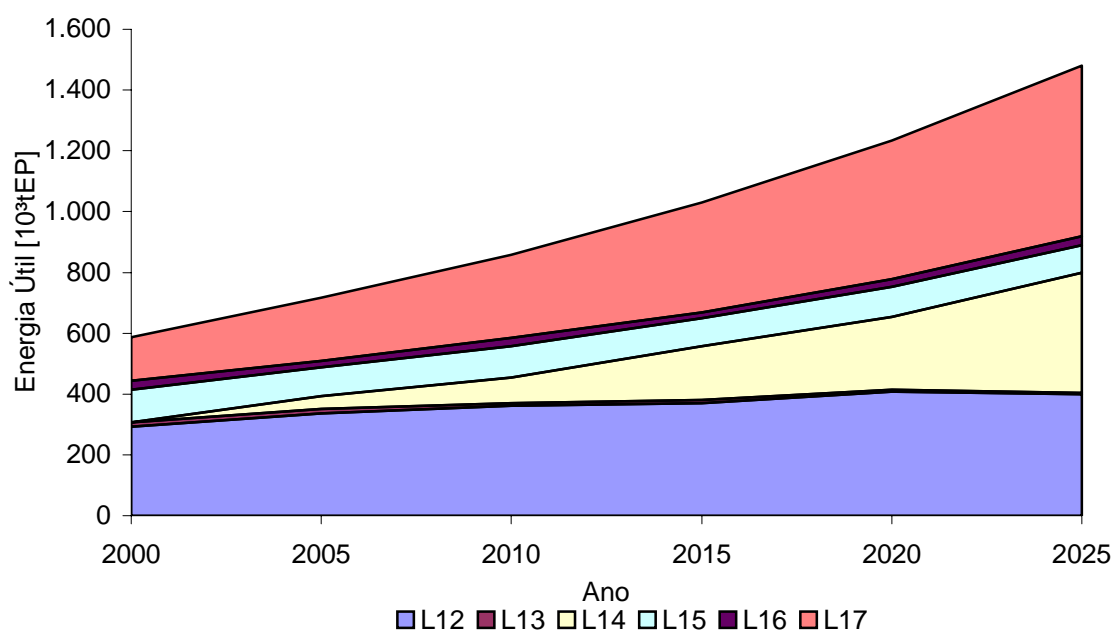


FIGURA 6.4: EVOLUÇÃO DAS DEMANDAS DE ENERGIA ÚTIL

TABELA 6-1: DADOS DAS DISTRIBUIÇÕES DE MERCADO PARA A ENERGIA ÚTIL.

Energia útil:		2000	2005	2010	2015	2020	2025
Elétrico passagem	L12	49%	47%	42%	36%	33%	27%
Elétrico acumulação	L13	4%	2%	1%	1%	1%	0%
Bomba de calor	L14	0%	6%	10%	17%	20%	27%
Gás passagem	L15	18%	13%	12%	9%	8%	6%
Gás Acumulação	L16	5%	3%	3%	2%	2%	2%
Solar	L17	24%	29%	32%	35%	37%	38%

A bomba de calor conseguirá ter uma penetração de 27% no mercado de aquecedores em 2025. A participação do aquecedor elétrico de passagem será reduzida de 49% para 27% ao longo do horizonte de estudo. A participação do aquecedor elétrico de acumulação também será reduzida; contudo, este não mais penetra no mercado ao final do horizonte de estudo. Observa-se que as participações dos aquecedores a gás, de passagem e de acumulação, serão reduzidas de 23% para 8% em 2025.

Para os aquecedores solares, a evolução mostra um crescimento na participação no mercado de 24% no ano base para cerca de 38% em 2025. Contudo este foi um resultado imposto, pois foi limitada esta penetração para os aquecedores solares, pois caso contrário o programa levaria a uma penetração de mercado exageradamente grande, na ordem de 95%.

A evolução da energia final ao longo do horizonte de estudo é mostrada na tabela e gráfico a seguir. Esta evolução é função da evolução da demanda por energia útil para o aquecimento de água.

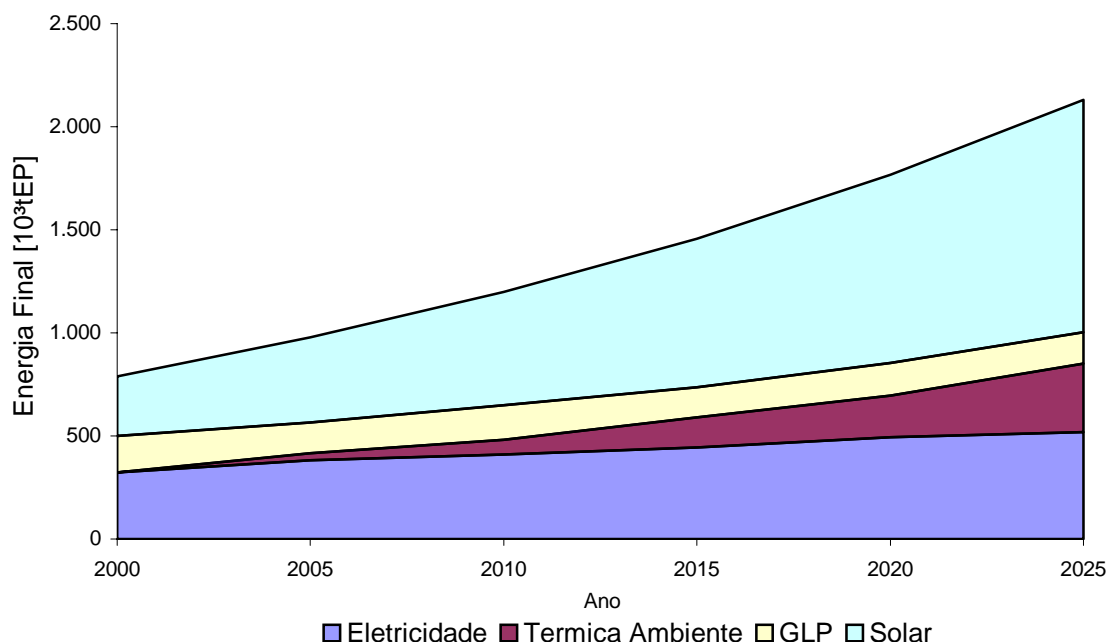


FIGURA 6.5: EVOLUÇÃO DAS OFERTAS DE ENERGIA FINAL

TABELA 6-2: DADOS DAS DISTRIBUIÇÕES PARA ENERGIA FINAL.

Energia final:		2000	2005	2010	2015	2020	2025
Eletricidade	L01	41%	39%	34%	30%	28%	24%
Térmica Ambiente	L02	0%	4%	6%	10%	11%	16%
GLP	L03	22%	15%	14%	10%	9%	7%
Solar	L04	36%	42%	46%	49%	52%	53%

Verifica-se com os resultados mostrados acima para a evolução das quatro fontes de energia final que a participação da eletricidade na demanda por água quente reduziu de 41% do total no Ano Base, para 24% ao final do horizonte de estudo. Isto ocorre devido à penetração da bomba de calor como alternativa. Isto pode ser constatado na Tabela 6-1.

E possível constatar também a redução da participação do GLP de 22% para 7%. Estas duas variações nas participações da eletricidade e do GLP estão levam a uma redução no custos para atendimento à demanda por água quente.

A energia final solar sobe sua participação de 36% no Ano Base para 53% final do horizonte de planejamento. A energia térmica de ambiente entra no mercado chegando a atingir 16% do mercado ao final do horizonte de estudo. Estes dois fatos estão em concordância com a análise anterior para a redução das participações da eletricidade e do GLP.

Os fluxos de energia final para eletricidade e GLP suprem vários conversores. Desta forma, visualiza-se a evolução destas destes fluxos no gráfico da Figura 6.6 e na Tabela 6-3.

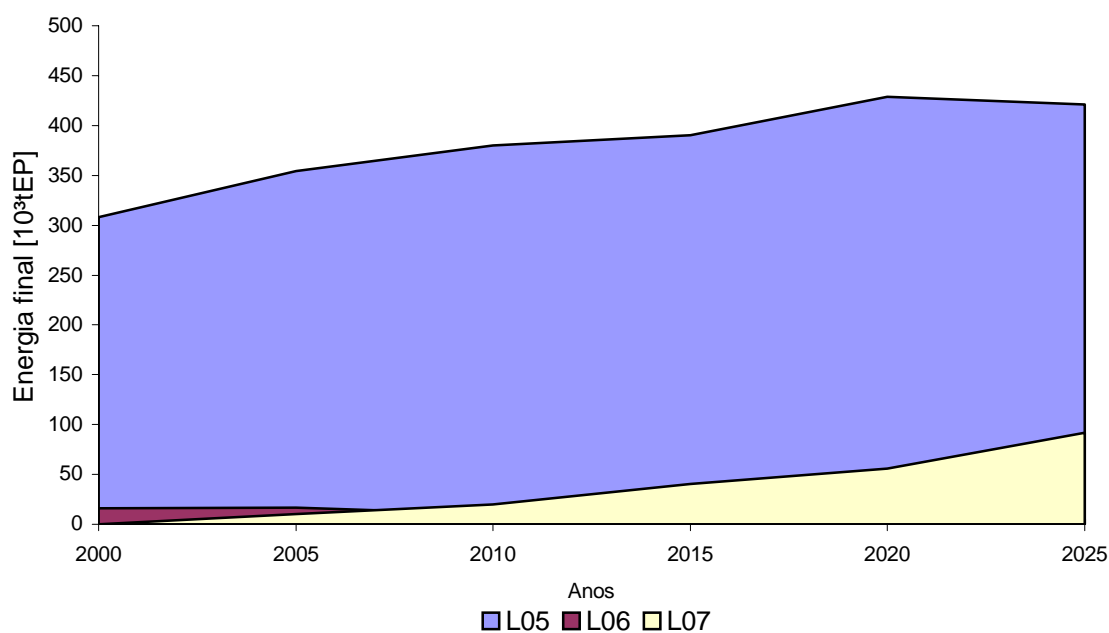


FIGURA 6.6: EVOLUÇÃO DAS OFERTAS DE ELETRICIDADE.

TABELA 6-3: DADOS DAS DISTRIBUIÇÕES PARA ELETRICIDADE.

Energia final:		2000	2005	2010	2015	2020	2025
Elétrico de passagem	L05	95%	93%	93%	88%	87%	81%
Elétrico de acumulação	L06	5%	4%	2%	3%	1%	1%
Bomba de Calor	L07	0%	3%	5%	9%	11%	18%

Observa-se que a participação no Ano Base dos aquecedores elétricos de passagem na eletricidade era de 95% da oferta total. Sua participação, no entanto continua sendo a maior ao final do horizonte de estudo, contudo é reduzida para 81%.

A bomba de calor, representada pelo consumo elétrico de seu compressor, chega a 18% do consumo final de eletricidade ao final do horizonte de estudo.

O aquecedor elétrico de acumulação reduz sua participação no consumo de eletricidade de 5% para 1%.

A bomba de calor utiliza em sua conversão sempre a relação de 20% de energia elétrica e 80% de energia térmica do ambiente.

A evolução das participações dos conversores a gás de passagem e a gás de acumulação são vistos no gráfico da Figura 6.7 e na Tabela 6-4.

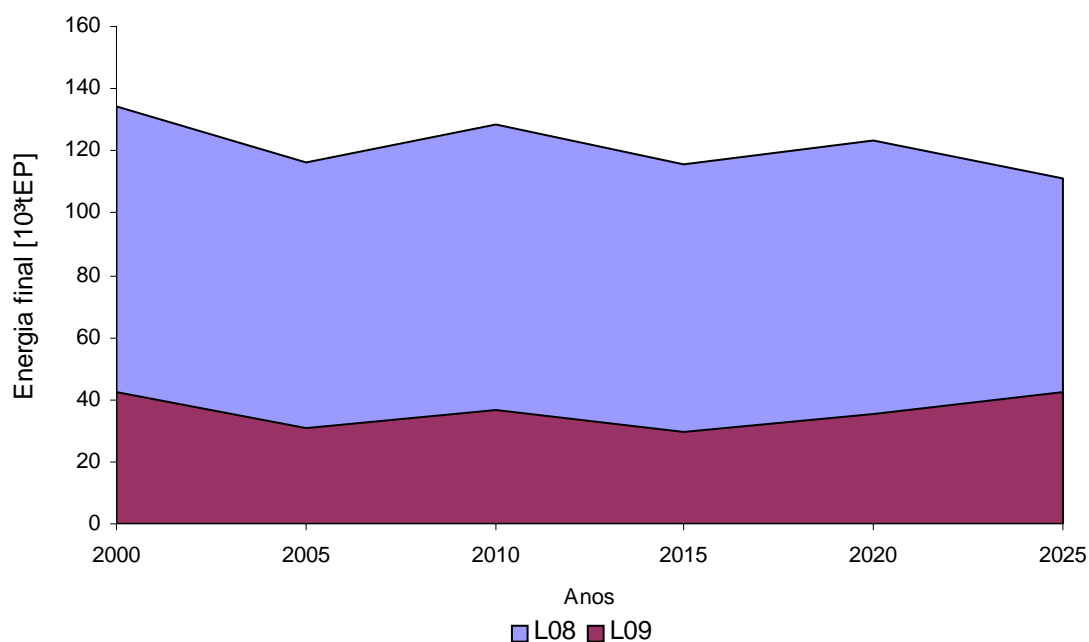


FIGURA 6.7: EVOLUÇÃO DAS OFERTAS DE GLP

TABELA 6-4: DADOS DAS DISTRIBUIÇÕES PARA GLP.

Energia final:		2000	2005	2010	2015	2020	2025
Gás passagem	L08	76%	79%	78%	80%	78%	72%
Gás acumulação	L09	24%	21%	22%	20%	22%	28%

A participação no consumo de GLP pelos aquecedores a gás de passagem é reduzida de 76% no Ano Base para 72% ao final do horizonte de estudo.

Os perfis de consumos dos dois tipos de aquecedores a gás oscilam para mais e para menos, mas mantendo uma relação de 75% e 25% em média.

### 6.3.2 *DEMAIS CENÁRIOS*

Apresenta-se no gráfico da Figura 6.8 o comparativo entre os valores totais de energia útil em tEP para o aquecimento de água no Ano Base e ao final do horizonte de estudo (2025) para os cenários.

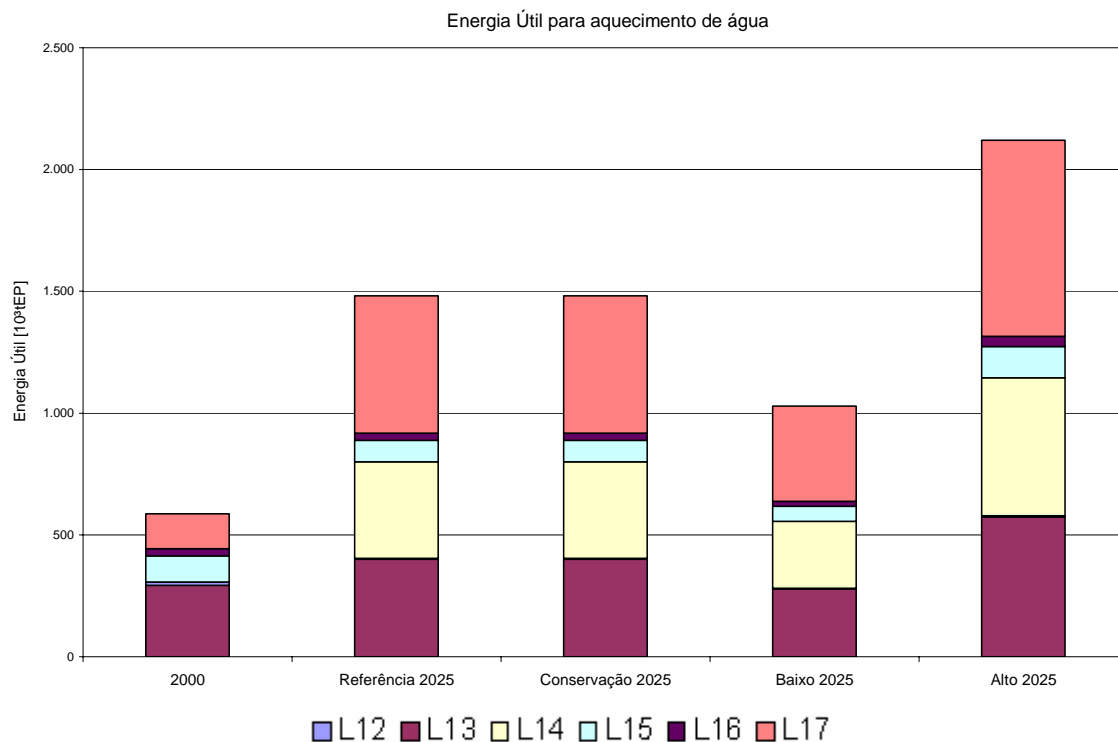


FIGURA 6.8: COMPARATIVO DAS DEMANDAS TOTAIS – ANO BASE E CENÁRIOS 2025.

Em geral, observa-se que o critério principal para a escolha da divisão de mercado foi a da configuração que possibilitasse os menores custos [R\$/kJ].

Para os Cenários de Alto e Baixo crescimento econômico, as distribuições da demanda entre as diversas alternativas se mantiveram as mesmas do Cenário de Referência; contudo seus valores absolutos foram maior e menor, respectivamente.

No Cenário de Conservação, a variação foi devido às eficiências dos conversores; esta variação é somente na energia final, pois os dados de crescimento da demanda foram os mesmos aplicados ao Cenário de Referência.

Na Tabela 6-5 apresentam-se de forma consolidada os valores para os fluxos energéticos de todos os cenários ao longo do horizonte de planejamento, para o Cenário de Referência e do ano de 2025 para os demais cenários.

TABELA 6-5: DADOS ENERGÉTICOS

	Cenários								
	Referência						Baixo	Alto	Cons.
	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2025	2025	2025
Energia final x 10 <sup>3</sup> tEP									
Eletricidade	324	381	410	443	492	518	360	742	502
Térmica Ambiente	0	36	72	147	203	333	231	477	323
GLP	177	147	166	145	159	153	107	220	138
Solar	287	415	550	721	914	1.126	782	1.612	840
<b>Soma</b>	<b>788</b>	<b>980</b>	<b>1.197</b>	<b>1.457</b>	<b>1.768</b>	<b>2.130</b>	<b>1.480</b>	<b>3.050</b>	<b>1.803</b>
Nó Elétrico x 10 <sup>3</sup> tEP									
L05	308	354	380	390	429	421	292	603	412
L06	16	17	10	12	7	5	4	7	5
L07	0	10	20	41	56	92	64	132	85
Nó GLP x 10 <sup>3</sup> tEP									
L08	134	116	129	116	123	111	77	159	101
L09	43	31	37	29	35	42	29	61	37
Nó BDC x 10 <sup>3</sup> tEP									
L10	0	9	17	35	48	79	55	113	79
L11	0	34	69	140	193	316	220	453	316
Energia Útil x 10 <sup>3</sup> tEP									
L12	293	337	361	371	408	400	278	573	400
L13	14	14	9	10	6	4	3	6	4
L14	0	43	86	175	241	395	275	566	395
L15	107	93	103	93	99	89	62	127	89
L16	30	21	26	21	25	30	21	42	30
L17	143	208	275	360	457	563	391	806	563
<b>Soma</b>	<b>597</b>	<b>716</b>	<b>859</b>	<b>1.030</b>	<b>1.235</b>	<b>1.481</b>	<b>1.029</b>	<b>2.121</b>	<b>1.481</b>

---

## 7. CONCLUSÕES

---

Ressalta-se que os resultados, suas discussões, e aqui também, conclusões deste trabalho valem para as hipóteses adotadas e os dados utilizados. Foi usado o modelo ENPEP (BALANCE) para o estudo de planejamento versão 2.20 para MsWindows. Assim pode-se concluir este trabalho com as afirmações vistas a seguir.

Os objetivos deste trabalho foram alcançados, pois se pode afirmar que a bomba de calor é sim uma alternativa econômica, técnica e ambientalmente viável para os setores residencial no Estado de Minas Gerais.

Pode-se verificar que a bomba de calor não é mais competitiva do que os aquecedores solares. Contudo os nichos de mercado aos quais os aquecedores solares não conseguem atingir, a bomba de calor mostra-se como a melhor alternativa em curto prazo.

Verificou-se que para tornar a bomba de calor atrativa mais rapidamente a sugestão é a aplicação coletiva, ou seja, num condomínio, por exemplo. Verifica-se que a bomba de calor já é a segunda melhor alternativa a partir de 24 meses do início de utilização.

Os aquecedores elétricos de passagem alternativa com maior penetração atualmente. Verificou-se que, apesar de gerar falsa interpretação de mais atrativo economicamente por seu baixo investimento inicial, este já é a segunda pior alternativa em relação aos seus custos mensais totais.

A bomba de calor é uma tecnologia limpa, pois não emite poluentes em sua operação e com consumo de eletricidade cerca de 20% menor do que o dos aquecedores elétricos convencionais. A bomba de calor também promove a modulação da carga, deslocando o consumo de eletricidade para fora do horário de ponta. Contudo ver-se que os aquecedores elétricos de passagem continuaram tendo uma boa penetração de mercado devido ao seu baixo investimento inicial.

Com os resultados do estudo de planejamento energético, para o cenário básico verifica-se que a bomba de calor também se mostrou viável. Sua penetração no mercado foi de 27% ao final do horizonte de estudo, 2025. Ressalta-se que o aquecimento solar teve sua penetração máxima de mercado limitada em 40%. Os 60% do mercado restante ficaram para livre escolha do programa dentre as demais tecnologias incluindo a bomba de calor.



Mais uma vez confirmou-se a não indicação dos aquecedores elétricos como alternativas para o aquecimento de água. O aquecedor elétrico de passagem teve sua participação no mercado reduzida de 49% para 27% ao final do horizonte de estudo. O aquecedor elétrico de acumulação saiu do mercado também ao final do horizonte de estudo.

Pode-se comparar os impactos da variação dos investimentos iniciais da bomba de calor, na determinação da viabilidade da bomba de calor. O investimento inicial com a bomba de calor deve atingir cerca de 60% do valor para o aquecedor solar, para ela ser a mais viável de todas as alternativas já a partir do 36º mês após o início de utilização mantendo esta posição durante os próximos seis anos de utilização.

Novas soluções para o aquecimento de água são pesquisadas a todo o momento e em todas as partes do mundo. Estas pesquisas geram ganhos em qualidade dos serviços de energia. Todo pesquisar é feito passo a passo e continuamente. Mais um passo foi dado com este trabalho para a demonstração da viabilidade da inserção da bomba de calor como tecnologia para aquecimento de água no setor residencial em Minas Gerais.

Contudo este passo não foi o final, desta forma deve-se garantir a continuidade da pesquisa com estudos complementares acerca da bomba de calor, tais como:

- O desenvolvimento tecnológico de compressores para aumentar sua vida útil a temperaturas de descarga superiores a 70°C;
- O estudo do funcionamento da bomba de calor em conjunto com outras máquinas térmicas, como back up do sistema solar de aquecimento;
- O desenvolvimento de uma proposta tecnológica para reduzir os custos de fabricação da bomba de calor;
- A análise da utilização da bomba de calor para o aproveitamento do calor de rejeitos de processos;
- A criação de modelos matemáticos para simulações numéricas de cada componente da bomba de calor, buscando a otimização do conjunto;
- Busca por novas configurações de uso e de novas alternativas de insumos para a bomba de calor que não a eletricidade, por exemplo, com o compressor acionado por um motor a Diesel.

---

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

1. ABREU, Y.V.; FURTADO, A. T., “Impacto do plano real sobre o consumo residencial de energia elétrica”. VIII Congresso Brasileiro de Energia, Anais, 1999, vol. 2, p. 650-661.
2. ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, “Aquecedores Instantâneos de Água e Torneiras Elétricas – Determinação da Potência Elétrica – Métodos de Ensaio”. Norma brasileira NBR 14013, nov. 1997.
3. ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, “Adequação de ambientes para a instalação de aparelhos que utilizam gás combustível”. Norma brasileira NBR 13103, dez 2000.
4. ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, “Instalações Prediais de Água Quente”. Norma brasileira P-NB-128, 1968.
5. AMERICAN COUNCIL FOR NA ENERGY-EFFICIENT ECONOMY. Toward market transformation: commercial heat pump water heaters for the New York energy SMARTSM region: Final Report. Washington. DC, 2002
6. ANÁLISE técnico-econômica de casos típicos de substituição. Brasília: CE/CNAEE 1984.
7. ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica, <http://www.aneel.gov.br> – Consulta pública – CP003/1999.
8. ANP – Agência Nacional de Petróleo, “Especificação do Gás Natural”, Regulamento Técnico ANP n° 23/87, Resolução n° 17/87.
9. ANP – Agência Nacional de Petróleo, “Guia de Royalties do Petróleo e do Gás Natural” Regulamento Técnico ANP, Lei no 9.478, de 6 de agosto de 1997, Rio de Janeiro, 2001.
10. ARGONNE NATIONAL LABORATORY – ANL. ENPEP – Energy and power evaluation program. User’s guide for the BALANCE model. Argonne: 2001.
11. ASTROSOL, Fabricante de Aquecedores Solares, <http://www.astrosol.com.br>.
12. BERMANN, C.; MONTEIRO, J. V. F., “Estudo de Viabilidade para a Substituição do Chuveiro Elétrico por Aquecedores a Gás”, VIII Congresso Brasileiro de energia, Anais, 1999, vol. 2, p. 861-868.

13. BESCHISA, ALEXANDRE RODOVALHO, Comunicação pessoal em Fevereiro de 2006.
14. BIEN, Peter Alberto; WOYNER, Roberto. Bombas térmicas: consideração sobre dimensionamento, desempenho operacional e resultado econômico. In: Eletricidade Moderna. Eletrotermia, São Paulo: MM Editora, 1983.
15. BRASIL, ELETROBRÁS. PROCEL – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica. Disponível em: <http://www.eletronbras.com/procel1/> Acesso em: 20 set. 2004.
16. BRASIL, MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA - MME. Balanço Energético Nacional. Brasília, 2003. 168p.
17. BRISO, Diamantino Luiz Pereira. Bombas térmicas: conceitos, aspectos energéticos e aplicações. In: Eletricidade Moderna. Eletrotermia. São Paulo: MM Editora, 1983.
18. CASAROTTO FILHO, Nelson; KOPITTKKE, Bruno Hartmut. “Análise de Investimentos: matemática financeira, engenharia econômica, tomada de decisão, estratégia empresarial. 9ª ed. São Paulo: Atlas 2000.
19. CEF – Caixa Econômica Federal, Taxa Mínima de Atratividade em [www.cef.gov.br](http://www.cef.gov.br) acessado em novembro de 2006.
20. CEMIG – Centrais Elétricas de Minas Gerais, Tarifa convencional – B1 residencial normal em [www.cemig.com.br](http://www.cemig.com.br) acessado em julho de 2006.
21. COELHO, Ronaldo S. A., “Instalações Hidráulicas Domiciliares”. 1ª ed, editora Hemus, Rio de Janeiro, p. 223-243, 2000.
22. COHEN, C., LENZEN, M., SCHAEFFER, R. Energy requirements of households in Brazil, Energy Policy, In Press, Corrected Proof, Available online 23 October 2003.
23. COLLIE, M. J. (Ed.). Heat pump technology for saving energy: Energy Technology Review No. 39. New Jersey: Noyes Data Corporation, 1979. 348p.
24. Companhia Energética de Minas Gerais, Aquecedor Elétrico de Acumulação para Água – Boiler, Instruções para Usuários, Projetistas e Instaladores, Belo Horizonte, 1998.
25. Companhia Energética de Minas Gerais, Desenvolvimento de Bomba de Calor para Aquecimento de Água em Residências e Condomínios Residenciais, N. T. DT/CD-5154, 1993.
26. Companhia Energética de Minas Gerais, Utilização de Bomba de Calor no Edifício da sede da CEMIG, N. T. 02111-CM/EU-44, 12P, 1992.

27. HPE/UFRJ e ELETROBRÁS, Análise da demanda e potencial de conservação de energia elétrica no setor residencial brasileiro, 1991.
28. CONSERVAÇÃO de energia: eficiência energética de instalações e equipamentos. – Itajubá, MG: FUPAI, 2001.
29. DUFFIE, J.A., BECKMAN, W.A., “Solar Engineering of Thermal Processes”, Wiley Interscience Publication, 1991.
30. ELETROBRÁS – Centrais Elétricas Brasileiras – <http://www.eletronbras.gov.br>
31. ENERGIA solar para o aquecimento de água. Belo Horizonte: CEMIG/Superintendência Comercial, 1993.
32. FERREIRA, Roberto Márcio da Silva. Estudo técnico e de viabilidade econômica da bomba de calor no aquecimento de água residencial. 2002. MEC-181. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2002.
33. FRANÇA, G. A.; KOURY, R. N. N.; ROCHA N. R.; MACHADO, L., “Análise e Simulação de um Sistema de Aquecimento de Água Utilizando Bomba de Calor, Estudo e Desenvolvimento no Departamento de Engenharia Mecânica da UFMG, Belo Horizonte, 1992.
34. GASMIG, “Tarifas de Gás Natural Canalizado”, Portaria CSPE nº 297, de 28/05/2005
35. INSTITUTO Brasileiro de Petróleo, “Curso de informação sobre combustíveis e combustão” 11ª ed., Rio de Janeiro, 1998.
36. JANNUZZI, G. D. M. Aumentando a Eficiência nos Usos Finais de Energia no Brasil, Campinas, 2002. Disponível em <http://www.fem.unicamp.br/~jannuzzi/Artigos/id34.htm>. Acesso em: 13 set. 2004.
37. JANNUZZI, G. D. M. Residential energy demand in Brazil by income classes Issues for the energy sector. Energy Policy, v. 17, n. 3, p. 254-263. Jun. 1989.
38. JANNUZZI, G. D. M., SCHIPPER, L. The Structure of electricity demand in the Brazilian household sector. Energy Policy, v. 19, n. 9, p. 879-891, Nov. 1991.
39. JÚNIOR, J. A. C., LAVACA, P. T. Emissões em processos de combustão. São Paulo: Editora UNESP, 2003. 129p.
40. LEITE, A. A. F., HADDAD, J., MARTINS, A. R. S. Metodologia de Seleção de Projetos de GDL. Trabalho apresentado no XVI SNPTEE, 2001, Campinas. Disponível em [http://www.xviisnp tee.com.br/acervo\\_tecnico/memoria/xvi/14\\_Secao\\_II\\_Sce/sce-011.pdf](http://www.xviisnp tee.com.br/acervo_tecnico/memoria/xvi/14_Secao_II_Sce/sce-011.pdf) Acesso em 17 set. 2004.

41. KENNEY, W. F., “Energy conservation in the process industries”. Orlando: Academic Press, 1984.
42. KOURY, R. N. N.; FRANÇA, G. A. C.; ROCHA, N. R.; MASCARENHAS, L. A. T., Bomba de Calor versus Resistência elétrica: Um estudo comparativo, 5th North Northeast Congresso of Mechanical Engineering, pp. 130-133, Belém, 1994.
43. LEONELLI, P. A., Diagnóstico energético em empresas: avaliação das metodologias patrocinadas pelo PROCEL. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANEJAMENTO ENERGÉTICO, 1., [S.L.] AIPSE/UNICAMP, 1991.
44. Melo, Leonardo Barrouin ESTUDO DE PLANEJAMENTO ENERGÉTICO PARA O SETOR RESIDENCIAL NO ESTADO DE MINAS GERAIS NO LONGO PRAZO, UTILIZANDO O PROGRAMA ENPEP (“ENERGY AND POWER EVALUATION PROGRAM”). Dissertação de mestrado – departamento de engenharia nuclear – Escola de engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, 2006.
45. MEYER, J. P., GREYVENSTEIN G. P. Hot water for homes in South Africa with heat pumps. Energy, v. 16, n. 7, p. 1039-1044, Jul. 1991.
46. ROSA, Luiz Pinguelli; SANTOS, Myrthes Marcele, “Análise do Comportamento Energético nas Edificações Residenciais nas Cidades Brasileiras”. VIII Congresso Brasileiro de Energia, Anais, 1999, vol. 2, p. 1019-1029.
47. ROUSSEAU, P.G., GREYVENSTEIN, G.P. Enhancing the impact of heat pump water heaters in the South African commercial sector. Energy, v. 25, n. 1, Jan. 2000.
48. SPITALNIK, J., “As Necessidades de Energia e o Desenvolvimento Sustentável”, Palestra proferida na Sociedade Mineira de Engenheiros, Belo Horizonte – MG, 25 de setembro de 1996.
49. SOLETROL, Fabricante de Aquecedores Solares, <http://www.soletrol.com.br>. Acessado várias vezes.
50. SOLAREM, Fabricante de Aquecedores Solares, <http://www.solarem.com.br>. Acessado várias vezes.
51. SOUZA, W. Rodrigues, “Desempenho térmico de reator tubular com tubo absorvedor externamente aletado de um refrigerador solar a adsorção operando com carvão ativado e metanol” Dissertação de mestrado – departamento de engenharia mecânica – Escola de engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, 2001.

52. TAHAN, C. M. V.; UDAETA, M. E. M.; AMARO, R. C.; CARLANA, R. S., Precificação e Tarifação como recurso Energético: Um estudo de aplicação, VIII Congresso Brasileiro de Energia, Anais, 1999, vol. 2, p. 612-622.
53. Empresa Tuma, Soluções em energia, <http://www.empresastuma.com.br/> . Acessado várias vezes.
54. WYLEN, G. V., SONNTAG, R., BORGÁS naturalAKKE, C. Fundamentos da Termodinâmica Clássica. 4ª Edição São Paulo. Editora Edgard Blücher Ltda, 1995. 589p.
55. U.S. DEPARTMENT OF ENERGY. Pacific Northwest National Laboratory. Federal Technology Alerts: Residential Heat Pump Water Heaters. 1995. Disponível em [http://www.pnl.gov/fta/3\\_res.htm](http://www.pnl.gov/fta/3_res.htm) Acesso em: 15 set. 2004.

---

 APÊNDICES
 

---

## APÊNDICE A – APRESENTAÇÃO DA PLANILHA

A planilha, BDC.xls, foi desenvolvida para calcular o valor dos custos totais de cada tipo de aquecedor. Estes custos totais mensais são os valores da Série Equivalente Uniforme dos aquecedores de água avaliados com os parâmetros da simulação.

Os resultados são apresentados em formato de gráfico de barras. Cada aquecedor é identificado na legenda pelas cores de suas barras e seus respectivos nomes.

O valor de tempo zero é o momento da aquisição do sistema. O tempo está em escala de meses. Os resultados são apresentados em intervalos de doze meses a partir do tempo zero.

Ao abrir a planilha BDC.xls são encontrados os seguintes elementos:

- Parâmetros para seleção as simulações (contorno em vermelho da Figura A1);
- Gráfico em barras com os resultados da simulação (contorno em verde da Figura A1).

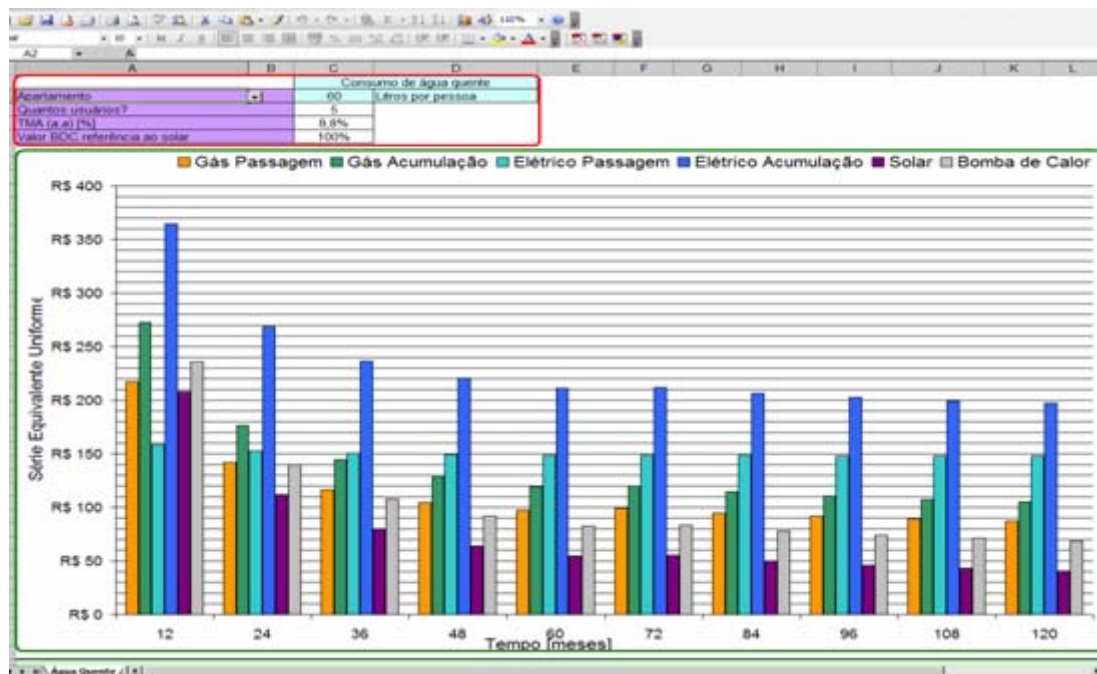


FIGURA A.1: TELA INICIAL, ABA “ÁGUA QUENTE”, DA PLANILHA BDC.XLS.

Os campos que permitem alteração são limitados; eles correspondem aos campos do contorno em azul da Figura A2, que reproduz o contorno em vermelho da Figura A1. Esses campos são a respostas a cada uma das seguintes perguntas:

- Qual tipo de edificação?
- Quantos usuários?
- Qual o valor da Taxa Mínima de Atratividade aplicado TMA [% a.a]?
- Qual a razão [%] entre os valores de investimento inicial da bomba de calor e o aquecedor solar?

	A	B	C	D
1			Consumo de água quente	
2	Apartamento		60	Litros por pessoa
3	Quantos usuários?		5	
4	TMA (a.a) [%]		8,8%	
5	Valor BDC referência ao solar		100%	

FIGURA A.2: PARÂMETROS PARA SIMULAÇÕES.

Os dados de consumo de água quente são relacionados ao tipo de edificação de acordo com a Tabela 5-2, de acordo com a NBR 7198/82.

Para as simulações da variação da demanda de energia deve-se iniciar escolhendo o tipo de edificação, depois define-se o número de usuários e, por fim, define-se o valor da Taxa Mínima de Atratividade (TMA) adotado.

A avaliação dos resultados a alteração do campo “Valor da BDC...” é feito a fim de avaliar-se o comportamento dos custos totais mensais com relação ao valor do investimento inicial da bomba de calor. O aquecedor solar é tomado como valor de referência, por se tratar do principal concorrente da bomba de calor.

A planilha agrupa as informações acima definidas na base de cálculo, que consiste da aplicação do método proposto no Capítulo 4.

A Figura A3 a seguir mostra os elementos da base de cálculo.

Base de Cálculos										
Unidade	Quant.	Rho [kg/l]	massa [kg/mês]	cp [kJ/kg°C]	Te [°C]	Ts [°C]	Qa [kJ/mês]	TMA [a.a]	PCI	Insumos
60	5	1	9000	4	25	45	752400	8,80%	46.400	2,69
Tipo de Aquecedor		Eficiência [%]	Consumo	Paq [R\$]	Pins [R\$]	Plotal [R\$]	O [R\$/mês]	M [R\$/mês]	O&M [R\$/mês]	
Gás Passagem	80%		20,27	1.000,00	800,00	1.800,00	54,57	6,00	60,57	
Gás Acumulação	70%		23,17	1.500,00	800,00	2.300,00	62,37	10,00	72,37	
Elétrico Passagem	95%		220,00	100,00	50,00	150,00	140,80	5,00	145,80	
Elétrico Acumulação	85%		245,88	1.500,00	800,00	2.300,00	157,36	7,00	164,36	
Solar	50%		418,00	1.500,00	800,00	2.300,00	-	8,00	8,00	
Bomba de Calor	430%		48,60	2.000,00	800,00	2.800,00	31,11	5,00	36,11	
Série Equivalente Uniforme para os Aquecedores [A]										
Gás Passagem	217,15		141,98	116,98	104,51	97,07	90,14	94,98	91,67	89,21
Gás Acumulação	272,44		176,39	144,44	128,52	119,00	119,71	114,45	110,54	107,52
Elétrico Passagem	158,85		152,58	150,50	149,46	148,94	148,87	148,53	148,27	148,08
Elétrico Acumulação	364,44		268,39	236,44	220,51	211,00	211,70	206,45	202,53	199,52
Solar	208,07		112,02	80,07	64,15	54,64	55,34	50,08	48,17	43,15
Bomba de Calor (AP) <sub>(n)</sub>	236,18		140,13	108,18	92,26	82,74	83,45	78,19	74,28	71,26
Tempo [meses]	12		0,045227	0,031336	0,024413	0,020276	0,017533	0,015586	0,014137	0,013019
			24	36	48	60	72	84	96	108



FIGURA A.3: BASE PARA O CÁLCULO DAS SIMULAÇÕES NA PLANILHA BDC.XLS

## APÊNDICE B – ENPEP

O ENPEP, “Energy and Power Evaluation Program”, versão 2.20 para ambiente Windows é um conjunto de dez módulos de análise integrada energética, ambiental e econômica. Neste trabalho o foco foi o modulo BALANCE que é usado para a avaliação integrada de energia e impactos.

Na Figura B1 mostra-se a tela inicial do programa ENPEP com seus módulos.

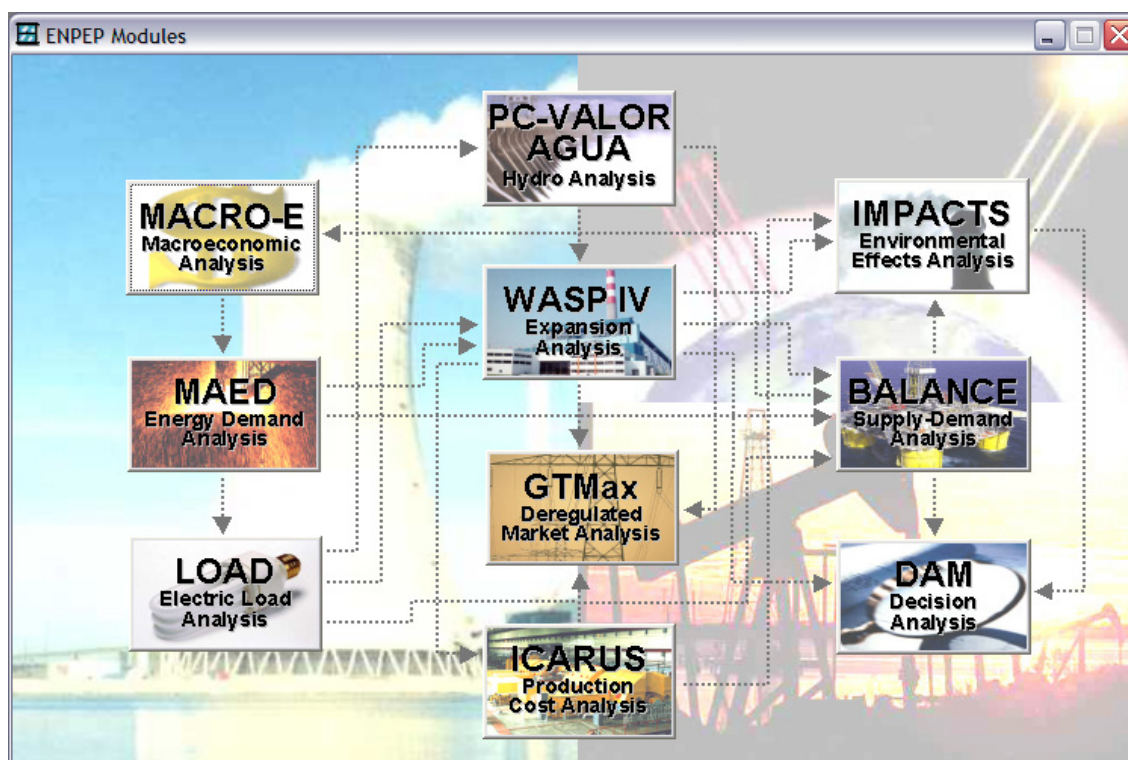


FIGURA B1: TELA INICIAL DO PROGRAMA ENPEP 2.20.

O BALANCE determina o equilíbrio entre a oferta e a demanda de energia para todo o sistema energético. Este módulo de ENPEP realiza uma simulação baseada no mercado e determina como os vários segmentos do sistema energético irão responder a mudanças nos preços e nas demandas de energia. Ele consiste de um sistema de relações, lineares e não lineares, que especificam a transformação dos preços e das quantidades de energia através dos vários estágios de produção, transmissão, distribuição e uso da energia. O BALANCE também faz os cálculos das emissões atmosféricas de poluentes. O módulo pode ser executado em combinação com os demais módulos do ENPEP, como o MAED (análise da demanda de energia) e o WASP (expansão do sistema elétrico). O BALANCE atende às demandas de energia com os recursos e tecnologias disponíveis. O usuário cria a rede

energética que determinam os fluxos de energia entre os recursos e as demandas de energia útil. A rede é construída graficamente usando os vários nós e laços. Os nós representam os recursos, processos de conversão de energia e processos econômicos. Os laços ligam os nós e transmitem informações pelos nós. Na Figura B2 são mostrados os nós e laços representados no em BALANCE.

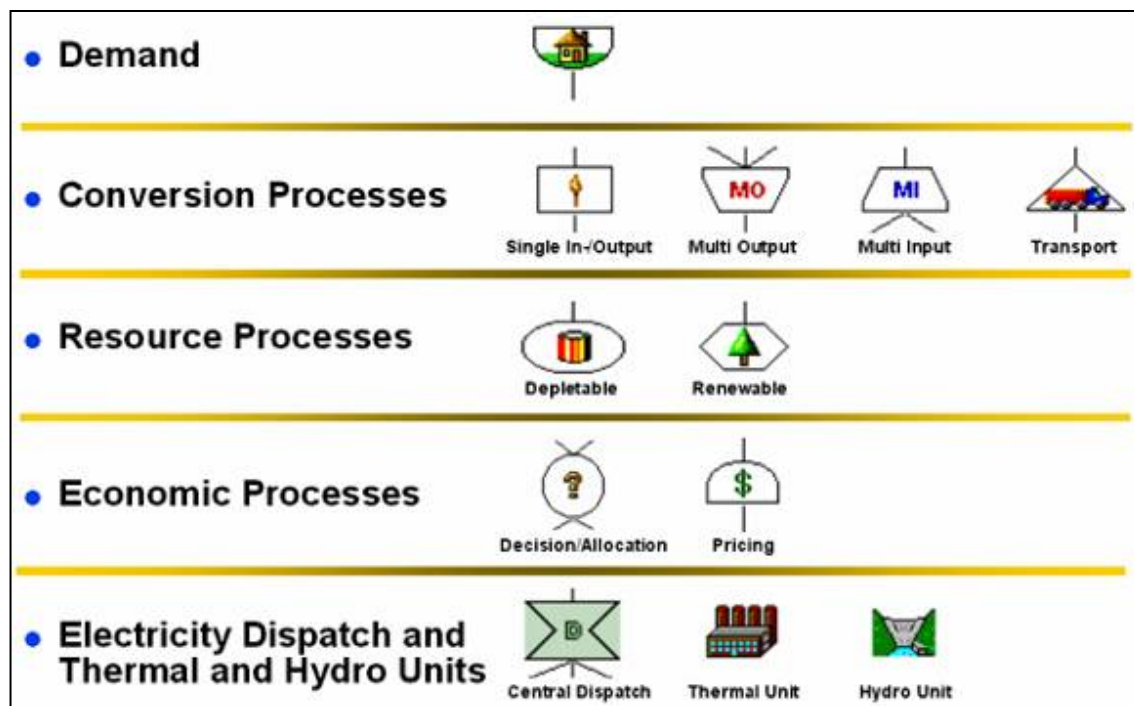


FIGURA B2: NÓS E LAÇOS DO MÓDULO BALANCE.

Simulação de mercado com o módulo BALANCE.

Uma função específica do tipo “logit” estima a divisão do mercado entre as alternativas de oferta de energia. A divisão de mercado é sensível aos preços e quantidades de energia das alternativas, às políticas governamentais (taxas, subsídios, etc.). A habilidade do mercado frente às alterações nos preços também pode ser modelada. As preferências dos consumidores podem também ser incluídas por meio da variável “premium multiplier”. A busca pelo equilíbrio entre a oferta e a demanda de energia é feita simultaneamente para todas as ofertas e demandas de energia da rede energética. O equilíbrio é alcançado quando o modelo encontra o ajuste de mercado para os preços e quantidades dentro de tolerâncias pré-fixadas. O objetivo não é necessariamente a minimização dos custos, mas sim, simular a resposta dos consumidores e produtores em relação às mudanças nos preços e níveis de demanda e determinar o equilíbrio final de mercado e sua evolução ao longo do tempo.

# Livros Grátis

( <http://www.livrosgratis.com.br> )

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)