

PCC  
Frente  
vade FD-1295  
L.S.  
RACINE TADEU ARAUJO PRADO

ENGENHEIRO CIVIL, ESCOLA POLITÉCNICA DA USP, 1987

GERENCIAMENTO DA DEMANDA E CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA  
PARA AQUECIMENTO DE ÁGUA EM HABITAÇÕES DE INTERESSE SOCIAL

DISSERTAÇÃO APRESENTADA À  
ESCOLA POLITÉCNICA DA USP  
PARA OBTENÇÃO DO TÍTULO DE  
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL

ORIENTADOR: PROF. DR. ORESTES MARRACCINI GONÇALVES

SÃO PAULO, 1991



Aos meus pais

## AGRADECIMENTOS

É com satisfação que deixamos registrados aqui nossos sinceros agradecimentos a todos aqueles que contribuíram para a realização deste trabalho e, em especial,

ao meu orientador, Prof. Dr. Orestes Marraccini Gonçalves, pelas sugestões valiosas e orientação dedicada desde o início.

Ao Prof. Dr. Francisco Romeu Landi, pela sua contribuição como coordenador da pesquisa realizada junto às habitações de interesse social.

Ao engenheiro José Luis Wey de Brito e ao estagiário Paulo Cezar de Gouveia, pela participação nos trabalhos de campo e processamento dos dados.

À CEF (Caixa Econômica Federal), pelo seu interesse no tema e financiamento da pesquisa.

À COHAB/SP (Companhia Metropolitana de Habitação de São Paulo), pelo fornecimento da documentação dos conjuntos habitacionais.

À Eletropaulo (Eletricidade de São Paulo S.A.), pela montagem e instalação dos equipamentos de medidas utilizados, bem como pela leitura dos dados.



Ao pessoal do CCE-USP (Centro de Computação Eletrônica da Universidade de São Paulo) pela assessoria no processamento de dados.

Ao Prof. Dr. Wilton O. Bussab, pela assessoria na parte estatística.

Aos meus colegas de Departamento, de quem recebi constantes incentivos e apoio. Em particular, aos Professores Francisco Ferreira Cardoso e Silvio Burrattino Melhado, que auxiliaram na correção dos originais.

## RESUMO

Esta dissertação é o resultado de uma pesquisa de verificação de dados de consumo e demanda de energia elétrica em habitações de interesse social. A pesquisa consistiu na aplicação de um questionário a uma amostra de moradores e na medida da carga utilizada em apartamentos da COHAB/SP. Uma vez processados os dados, foram obtidos a potência instalada, densidade de iluminação, hábitos de utilização de equipamentos elétricos e demanda máxima do apartamento, entre outros parâmetros do projeto de instalações prediais e do planejamento energético. Dos usos finais de energia elétrica, a prioridade voltou-se para o aquecimento de água que, nestas habitações, é totalmente realizado através de chuveiros elétricos. Foi examinada a influência deste aparelho na demanda de energia elétrica do apartamento e aspectos da relação entre uso final, equipamento e vetor energético. No âmbito de políticas de conservação de energia, foram sumariadas facilidades existentes para padronização e contratação da demanda em edificações residenciais.

## ABSTRACT

This thesis is the result of a research on electrical energy consumption and demand in low-cost housing. The research was based on a questionnaire applied to a household sample and on measurement of electrical load in COHAB/SP's apartments. Once the data were processed we obtained the installed power, habits of use of electrical appliances and apartment's maximum demand among other building installation design and plan parameters. The energy end use priority was water heating through electric showers. The influence of this appliance on the apartment's electrical energy demand and aspects concerning the relationship between end use and energetic agent have been examined. As to energy conservation policies, existing facilities for standardization and demand's agreement in residential buildings have been summarized.

# SUMÁRIO

Dedicatória.....	I
Agradecimentos.....	II
Resumo.....	IV
Abstract.....	V
Sumário.....	VI
Relação de Figuras.....	VIII
Relação de Quadros e Tabelas.....	XI
Relação de Siglas.....	XIII
Simbologia.....	XIV
CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO.....	1
CAPÍTULO 2 - OBJETIVOS.....	19
CAPÍTULO 3 - METODOLOGIA DE PESQUISA.....	29
3.1 Histórico e Caráter da Pesquisa.....	29
3.2 Fundamentos Teóricos.....	31
3.2.1 Inferência Estatística.....	31
3.2.2 População e Amostra.....	32
3.2.3 Seleção da Amostra.....	32
3.2.4 Estatística e Parâmetros.....	34
3.2.5 Distribuição Amostral.....	35
3.2.6 Estimativa de Parâmetros.....	39
3.2.7 Intervalos de Confiança.....	39
3.2.8 Dimensionamento da Amostra.....	42
3.2.9 Amostragem sem Reposição de População Finita.....	45
3.2.10 Amostragem Estratificada.....	46
3.3 Plano Amostral.....	47
3.3.1 Considerações Básicas.....	47
3.3.2 Número de questionários aplicados.....	52
3.4 Medida de Demanda de Energia Elétrica da Unidade Habitacional e Tensão de Alimentação.....	55
3.5 Processamento dos Dados.....	66
3.6 Regressão Múltipla.....	68
3.7 Durações de Banhos.....	72
3.7.1 Medidas e Arquivos.....	72
3.7.2 Ajuste da Função de Densidade de Probabilidade.....	75
3.7.3 Função de Distribuição Acumulada e Resultados.....	84
CAPÍTULO 4 - RESULTADOS OBTIDOS.....	87
4.1 Caracterização dos Moradores.....	87
4.2 Caracterização das Instalações Elétricas.....	93
4.2.1 Demanda e Queda de Tensão.....	93
4.2.2 Tomadas de Uso Específico e Gerais.....	100
4.2.3 Iluminação.....	102
4.3 Consumo de Energia Elétrica.....	104
4.4 Equipamento Elétrico Típico.....	109
4.5 Demanda Máxima e Aquecimento de Água.....	114

4.6	Fatores de Demanda.....	128
4.7	Corrente de Projeto.....	134

CAPÍTULO 5 - GERENCIAMENTO DA DEMANDA E AQUECIMENTO DE ÁGUA...139

5.1	Gerenciamento da Demanda.....	140
5.1.1	Conceituação.....	140
5.1.2	Alternativas de Gerenciamento da Demanda e Implementação de Programas.....	147
5.2	Sistemas e Tecnologias de Aquecimento de Água.....	159
5.2.1	Sistemas de Aquecimento de Água.....	159
5.2.2	Fontes de Calor e Tecnologias de Aquecimento de Água...165	
5.2.2.1	Aquecedores a gás.....	165
5.2.2.2	Aquecedores de Acumulação Elétricos.....	168
5.3	Gerenciamento da Demanda e Tecnologias de Aquecimento de Água.....	187
5.3.1	Principais Variáveis Intervenientes.....	187
5.3.2	Corte de Ponta.....	195
5.3.3	Freenchimento de Vale.....	195
5.3.4	Deslocamento de Carga.....	198
5.3.5	Conservação Estratégica.....	199
5.3.6	Crescimento Estratégico de Carga.....	200
5.3.7	Curva de Carga Flexível.....	202
5.3.8	Substituição de Vetores Energéticos.....	204

CAPÍTULO 6 - CONSIDERAÇÕES FINAIS..... 208

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... 222

- ANEXO I - Questionário aplicado aos moradores da COHAB/SP
- ANEXO II - Tabelas referentes ao Capítulo 4
- ANEXO III - Radiação Solar para Aquecimento de Água Residencial
- ANEXO IV - Bomba de Calor e Eficiência de Equipamentos para Aquecimento de Água

## RELAÇÃO DE FIGURAS

Figura N <sup>o</sup>	Título	Página
- 1.1 -	Consumo Final no setor residencial (10 <sup>3</sup> GWh).....	09
- 1.2 -	Composição da Curva de Carga do Sistema Nacional em função da tensão Alta, Média e Baixa - Brasil - 1983...	16
- 3.1 -	Distribuição Normal $x : (\mu, \sigma^2)$ .....	37
- 3.2 -	Distribuição Normal Reduzida.. $x : (0, 1)$ .....	38
- 3.3 -	Probabilidade no Intervalo de confiança.....	41
- 3.4 -	Planta básica de arquitetura do bloco "Padrão Habitacional Multifamiliar PHM-01" - COHAB/SP.....	50
- 3.5 -	Planta básica de arquitetura de apartamento da COHAB/SP.....	51
- 3.6 -	Diagrama básico da instalação elétrica do edifício com a localização dos arranjos para medida de tensão e carga.....	56
- 3.7 -	Ligações dos aparelhos de medida aos circuitos de alimentação dos apartamentos.....	59
- 3.8 -	Detalhes das ligações.....	60
- 3.9 -	Kilowatthorâmetro utilizado na medida.....	62
- 3.10 -	Iniciador de Pulsos.....	63
- 3.11 -	Registrador Digital para Tarifa Diferenciada (RDTD)....	63
- 3.12 -	Conjunto de aparelhos para medida da demanda.....	64
- 3.13 -	Leitora de dados.....	65
- 3.14 -	Regressão Linear Simples.....	69
- 3.15 -	Curvas de distribuição de Frequências observadas de durações de banhos e de distribuição de Frequências esperadas, a partir das equações estimadas (3.43 e (3.46).....	82
- 4.1 -	Distribuição do número de moradores por habitação - COHAB/SP - 1987.....	88

- 4.2 - Distribuição da população por faixas etárias - COHAB/SP - 1987 .....	88
- 4.3 - Nível de instrução da população da COHAB/SP - 1987 ....	89
- 4.4 - Distribuição da população por profissões - COHAB/SP - 1987.....	89
- 4.5 - Distribuição do tempo de moradia no apartamento - COHAB/SP - 1987.....	91
- 4.6 - Distribuição da Renda Familiar - COHAB/SP - 1987.....	92
- 4.7 - Horário de atuação do dispositivo de proteção - COHAB/SP - 1987.....	95
- 4.8 - Horário de Queda de Tensão - COHAB/SP - 1987.....	96
- 4.9 - Queda de Tensão no circuito de entrada de um bloco de apartamentos em Carapicuíba - COHAB/SP - 1988.....	97
- 4.10 - Consumo médio mensal de energia elétrica - COHAB/SP - novembro/86 a abril/87.....	105
- 4.11 - Consumo mensal do chuveiro elétrico - COHAB/SP - 1988.	107
- 4.12 - Potência Instalada sem chuveiro - COHAB/SP - 1987.....	113
- 4.13 - Potência Instalada com chuveiro - COHAB/SP - 1987.....	113
- 4.14 - Demanda máxima com chuveiro - COHAB/SP - 1988.....	115
- 4.15 - Demanda máxima sem chuveiro - COHAB/SP - 1988.....	116
- 4.16 - Influência do chuveiro elétrico na curva de carga - COHAB/SP - 1988.....	120
- 4.17 - Caso atípico de demanda do chuveiro - COHAB/SP 1988...	121
- 4.18 - Influência de uma geladeira na curva de carga - COHAB/SP - 1988.....	122
- 4.19 - Demandas Médias Horárias e destaque da demanda do chuveiro em dias úteis - COHAB/SP - 1988.....	124
- 4.20 - Demanda Médias Horárias e destaque da demanda do chuveiro em dias úteis no período de ponta - COHAB/SP- 1988.....	127
- 4.21 - Esquema simplificado dos circuitos elétricos de um apartamento de interesse social.....	130
- 4.22 - Fatores de demanda do alimentador - COHAB/SP - 1987/88.....	132

- 4.23 - Curva tempo - corrente de solicitações do usuário - COHAB/SP - 1988.....	136
- 5.1 - Objetivos de modelagem de carga no gerenciamento da demanda.....	142
- 5.2 - Objetivos comuns de concessionárias e consumidores através de programas de gerenciamento da demanda.....	150
- 5.3 - Estrutura conceitual do planejamento e implementação de programa de gerenciamento da demanda.....	152
- 5.4 - Projeto experimental básico para programa de gerenciamento da demanda.....	155
- 5.5 - Sistema Central Coletivo para aquecimento de água.....	162
- 5.6 - Sistema Central Privado para aquecimento de água.....	163
- 5.8 - Etapas da metodologia probabilística de projeto para subsistema de edificação.....	184
- III.I - Radiação Solar Anual incidente na terra (TW)...	Anexo III
- IV.I - Bomba de Calor.....	Anexo IV



## RELAÇÃO DE TABELAS

Tabela N <sup>o</sup>	Título	Página
- 1.1 -	Consumo de energia (GJ per capita).....	3
- 1.2 -	Crescimento do Consumo de eletricidade no Brasil (Gwh * 10 <sup>3</sup> ).....	5
- 1.3 -	Composição Setorial do consumo final de eletricidade (unidade: %).....	6
- 1.4 -	Déficit Habitacional no Brasil a década de 80.....	10
- 1.5 -	Consumo de energia elétrica no setor residencial segundo a utilização (%).....	14
- 3.1 -	Relação Geral de habitações dos Conjuntos Habitacionais da COHAB/SP - 1987.....	48
- 3.2 -	Classificação dos maiores conjuntos da COHAB/SP e seleção para pesquisa.....	49
- 3.3 -	Valores de Frequências Observadas de Durações de Banhos.....	75
- 3.4 -	Valores de Frequências Esperadas de Durações de Banhos.....	83
- 3.5 -	Durações de banhos correspondentes a margens de confiança obtidas a partir da função densidade de probabilidade estimada - COHAB/SP - 1988 .....	86
- 4.1 -	Frequência de atuação do dispositivo de proteção de apartamentos - COHAB/SP - 1987.....	94
- 4.2 -	Número Médio de Pontos de utilização existentes - COHAB/SP - 1987.....	101
- 4.3 -	Percentuais de tomadas e "benjamins" nas dependências - COHAB/SP - 1987.....	102
- 4.4 -	Densidade média de iluminação por dependência - COHAB/SP - 1987.....	103
- 4.5 -	Equipamentos elétricos: saturação e potência nominal média - COHAB/SP - 1987.....	109
- 4.6 -	Frequências de realização de serviços externos - COHAB/SP - 1987.....	111

- 4.7 -	Demanda média horária com e sem chuveiro no período de ponta - COHAB/SP - 1988.....	126
- 4.8 -	Fatores de demanda do alimentador - COHAB/SP - 1987/88.....	131
- 5.1 -	Preços Médios de aquecedores elétricos de passagem.....	160
- 5.2 -	Preços Médios de aquecedores de passagem a gás .....	167
- 5.3 -	Preços Médios de aquecedores de acumulação a gás .....	168
- 5.4 -	Preços Médios de aquecedores elétricos de acumulação..	170
- 5.5 -	Entalpia da água do aquecedor para reservatórios de diferentes capacidades.....	180

## RELAÇÃO DE SIGLAS

- BNH-DEPEA: Banco Nacional da Habitação - Departamento de Estudos e Pesquisas Aplicadas
- CEE-SP: Conselho Estadual de Energia de São Paulo
- CEF: Caixa Econômica Federal..
- CESP: Companhia Energética de São Paulo
- COHAB/SP: Companhia Metropolitana de Habitação de São Paulo
- CPFL: Companhia Paulista de Força e Luz
- DNAEE: Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica
- ELETROBRÁS - Eletricidade do Brasil S. A.
- ELETROPAULO: Eletricidade de São Paulo S. A.
- GLP: Gás Liquefeito de Petróleo
- MME: Ministério das Minas e Energia
- OECD: Organization for Economic Cooperation and Development
- PCC-EPUSP: Departamento de Engenharia de Construção Civil e Urbana da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
- PETROBRÁS: Petróleo do Brasil S. A.
- PROCEL: Programa de Conservação de Energia Elétrica
- RDTD: Registrador Digital para Tarifa Diferenciada

## SIMBOLOGIA

- $A_1, A_2$  : parâmetros da função de distribuição acumulada;
- $b_0, b_1, b_2$  : coeficientes auxiliares para definição da função de distribuição acumulada;
- $\sqrt{b_1}$  : coeficiente de assimetria (Skewness);
- $(b_2 - 3)$  : coeficiente de achatamento (Kurtosis);
- $C_f$  : Consumo de energia para a realização da mesma tarefa com um determinado equipamento;
- COP* : *Coefficient of Performance*);
- $C_t$  : Consumo teórico mínimo para realizar uma tarefa;
- $D_{max}$  : demanda máxima;
- $e$  : diferença entre a média da amostra e a da população;
- $e$  : base de logaritmo natural;
- $e_0$  : semi-amplitude do intervalo de confiança;
- $E(x), \mu$  : média (população);
- $E_f$  : energia fornecida ao equipamento;
- $E_u$  : energia útil;
- $g$  : fator de demanda;
- $h_c$  : entalpia da água fria;
- $h_H$  : entalpia da água armazenada no instante  $t$ ;
- $h_0$  : entalpia no instante  $t = 0$ ;
- $i$  : contador genérico;
- $I_k$  : corrente elétrica (A), com  $k$  variando de 2 a 34;
- $I_j$  : corrente elétrica (A), com  $j$  variando de 1 a 33;
- $k$  : coeficiente de Pearson para determinação do tipo da curva;
- $m$  : moda de uma variável (amostra);

$M$	: moda de uma variável (população);
$m_1, m_2$	: expoentes na função de distribuição acumulada;
$m_T$	: massa de água utilizada no banho;
$m_L$	: massa de água fria utilizada no banho;
$m_H$	: massa de água quente (temperatura no aquecedor) utilizada no banho;
$M_s$	: massa de água do reservatório;
$\dot{M}$	: vazão máxima horária em massa;
$n$	: número de elementos (amostra);
$N$	: número de elementos (população);
$NPU$	: número total de pontos de utilização na dependência;
$NL$	: número de lâmpadas na dependência;
$NT$	: número de tomadas na dependência;
$NB$	: número de benjamins na dependência;
$\rho$	: passo de cálculo da função de distribuição acumulada;
$P_{inet}$	: potência instalada;
$P_{alim}$	: potência de alimentação;
$P_{max, i}$	: Potência máxima absorvida pelo equipamento $i$ ;
$P_{abe}$	: Potência efetivamente absorvida pelo equipamento de utilização;
$P_{nom}$	: Potência nominal do equipamento de utilização;
$P_1$	: soma das potências de iluminação e tomadas de uso geral;
$P_2$	: soma das potências atribuídas aos aparelhos fixos e/ou estacionários de potência elevada (tomadas de uso específico);
$Q_0$	: calor absorvido pela bomba de calor;
$Q$	: calor cedido pela bomba de calor;

$Q_H$	: calor cedido pela fonte;
$Q_R$	: potência de aquecimento;
$Q_L$	: calor cedido ao sorvedouro;
$Q_{recebido}$	: calor recebido pela água fria;
$Q_{cedido}$	: calor cedido pela água quente;
$Q$	: calor;
$r$	: parâmetro da função de distribuição acumulada;
$S$	: entalpia;
$s$	: fator de simultaneidade;
$s^2, \mu_2$	: variância (amostra);
$t$	: tempo em horas;
$t_k$	: duração da corrente de $k$ Ampères;
$t_j$	: duração da corrente de $j$ Ampères;
$t$	: variável da distribuição de Student;
$u$	: fator de utilização;
$Var(x), \sigma^2$	: variância de uma variável qualquer (população);
$W$	: energia elétrica fornecida ao equipamento;
$x_1$	: menor valor assumido por uma variável;
$x_n$	: maior valor assumido por uma variável;
$\bar{x}, \mu_1$	: média de uma variável qualquer (amostra);
$x$	: valor qualquer assumido por uma variável;
$y$	: valor assumido pela função de distribuição acumulada;
$y_0$	: constante na função de distribuição acumulada;
$Z$	: variável normal reduzida;

- $\alpha$  : probabilidade de erro na estimativa por intervalo;  
 $\Gamma(a)$  : função estatística auxiliar;  
 $\Delta p$  : incremento percentual na potência instalada devido ao chuveiro;  
 $\Delta d$  : incremento percentual das demandas máximas médias ao chuveiro;  
 $\Delta\theta_L$  : variação de temperatura entre a mistura e a água fria;  
 $\Delta\theta_H$  : variação de temperatura entre a água do aquecedor e a água de mistura;  
 $\epsilon$  : eficiência;  
 $\mu_1$  : 1º momento, média (estatística);  
 $\mu_2$  : 2º momento, desvio padrão (estatística);  
 $\mu_3$  : 3º momento (estatística);  
 $\mu_4$  : 4º momento (estatística);  
 $\mu, E(x)$  : média de uma variável (população);  
 $\Theta$  : temperatura;  
 $\Theta_H$  : temperatura da fonte;  
 $\Theta_L$  : temperatura do sorvedouro;  
 $\eta_{termico}$  : rendimento térmico;  
 $\sigma^2, Var(x)$  : desvio padrão de uma variável qualquer (população);  
 $\omega$  : amplitude;

## CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

No início energia (*Ἔνεργια*, do grego) significava força, eficácia ou virtude, para depois ser conceituada como uma capacidade de produzir trabalho. Somente em meados do século XIX, é formulada a primeira lei da termodinâmica, ou princípio da conservação da energia, que estabelece a equivalência entre energia mecânica e calor.

A partir da Revolução Industrial, o desenvolvimento tecnológico propiciou a diversificação das atividades econômicas e aumentou a magnitude dos problemas a resolver, de modo a liberar o homem de extenuantes esforços físicos e obter maior rendimento do trabalho. Entre estes problemas, encontra-se como um dos principais o suprimento da energia requerida por necessidades a cada dia mais distintas e complexas.

Não apenas a disponibilidade de recursos energéticos é um problema para o exercício de uma atividade econômica ou para o desenvolvimento de um país, mas também o gerenciamento destes recursos é uma tarefa que lida com diversos fatores nem sempre sob controle à época de realização do planejamento energético.

Atualmente, emprega-se o conceito de sistema para o gerenciamento da energia. Todos os membros da sociedade compõem o sistema energético. Os usuários de energia são as indústrias, o comércio, o setor público, o próprio subsistema gerador, o setor residencial, entre outros. "O sistema energético é um sistema



social, com atores individuais e atores institucionais que estão tomando constantemente numerosas decisões. Por esta razão, trata-se de um sistema dinâmico, que funciona sob condições de incerteza" [Bajay, 1989].

Dessa complexidade deriva a necessidade de um planejamento energético. Este deve circunscrever um espaço geográfico de atuação: um município, estado, nação ou um conjunto deles. Também deve considerar, uma vez voltado para um sistema energético, sua interação com os demais sistemas econômico-sociais. Apenas desse modo é possível almejar uma racionalidade e ter-se em vista um gerenciamento razoável destes recursos.

Neste contexto, é conveniente observar o que ocorre com outros países e comparar com a situação nacional, no que se refere às estatísticas de consumo e opções entre vetores energéticos, segundo finalidades de uso. Além do problema de custos e preços da produção de energia, este final de milênio está marcado pela consciência e pressões sociais, no sentido de haver uma rigorosa avaliação dos custos ecológicos envolvidos na produção e utilização de um dado vetor energético. Para efeito de comparação, a Tabela 1.1 fornece valores do consumo de energia em geral de alguns países [MME, 1988].<sup>1</sup>

1 - Na Tabela 1.1, os dados são apresentados em GJ per capita para evitar propagação de erros de conversão de unidades. Mas no restante do trabalho, os valores de consumo e de demanda de energia serão apresentados em Wh e W, respectivamente, e em seus múltiplos.

Em primeiro lugar, cabe ressaltar a posição do Brasil em relação aos países desenvolvidos: seu consumo de energia per capita é muito inferior. Este fato, por exemplo em relação ao Canadá (diferença de nove vezes), não resulta simplesmente do rigor do clima daquele país, onde a calefação domiciliar tem uso generalizado, mas deve ser contemplado também como expressão da atividade econômica mais intensa.

Tabela 1.1 - Consumo de Energia (GJ per capita)  
(MME, 1988)

Países	1970	1979	1984
EUA	342	385	328
Canadá	382	443	450
França	123	150	145
Itália	88	107	100
Japão	111	133	128
Austrália	168	213	213
China	10	18	20
Índia	11	17	13
México	41	63	67
Argentina	57	69	68
Uruguai	38	42	46
Venezuela	102	106	116
Brasil	31	60	50

Em segundo lugar, é notável que EUA e Japão, nações símbolo do desenvolvimento econômico, reduziram os respectivos consumos per capita de 1979 para 1984. Ao contrário de significar desaceleração do ritmo da economia, trata-se de uma racionalização do emprego da energia, obtida através de constantes pesquisas de eficiência de aparelhos e de outras medidas de conservação.

Um terceiro aspecto a apontar, que explica a redução ou estabilidade do consumo nos países desenvolvidos e o aumento nos países em desenvolvimento, é a maturidade de cada parque industrial: estes últimos países ainda estão criando suas indústrias de base, como as de aço, alumínio e cimento, intensivas em consumo de energia, mas necessárias à construção de habitações e de infraestrutura, como estradas, ruas, hospitais, escolas, hidrelétricas, entre outras obras de que o chamado terceiro mundo é tão carente.

Não é de se esperar qualquer alteração neste quadro a curto prazo, por dois motivos: por um lado, é pouco provável que, em alguns anos, um país em desenvolvimento coloque-se em iguais condições tecnológicas à dos países desenvolvidos, porque faltam os capitais financeiro e cultural, que não são criados instantaneamente.

Por outro lado, como indica a Tabela 1.1, desenvolvimento significa também um maior consumo de energia per capita. Enquanto que no Brasil o consumo de uma família típica com o aquecimento de água é de 380 kWh por ano, nos EUA esta cifra atinge 1540 kWh [Reddy & Goldemberg, 1990]. É tendo em vista esta perspectiva de crescimento do consumo que deve atuar o planejamento energético nos países em desenvolvimento e, dessa maneira, evitar certas situações de difícil mudança por que passam os países desenvolvidos.

Ainda na tabela anterior pode ser notado que há muitos países em desenvolvimento com elevação do consumo de energia per capita. É o

caso da Venezuela e do México. A produção de petróleo desses países contribui para a explicação do fenômeno. Com outros, como o Brasil, país até hoje dependente de importação de energia, a explicação não é tão fácil.

Como alternativa ao petróleo, a hidreletricidade é um dos vetores energéticos mais importantes, seja pela versatilidade do seu emprego, seja pela sua adequação ao uso em grandes centros urbanos, além de não lançar gases poluentes na atmosfera.

É notório o fato de que o Brasil é um país com elevado potencial hidrelétrico. No entanto, este fato em si não é garantia de ausência de problemas futuros. Pois os recursos envolvidos na construção de barragens têm seu montante cada vez mais elevado, por já terem sido utilizados os locais de condições mais favoráveis, restando os mais difíceis e, estes recursos, significando investimentos, são também a cada dia mais escassos.

Como agravante, o crescimento do consumo de energia elétrica no país é acelerado, como pode ser observado na Tabela 1.2 [MME, 1988].

Tabela 1.2 - Crescimento do consumo de eletricidade no Brasil  
( Gwh \* 10<sup>3</sup> ) - (MME, 1988).

Ano	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986
Consumo	120,9	124,5	131,5	143,0	158,7	172,2	186,8

Portanto, em apenas seis anos, o consumo de energia elétrica aumentou 54%, enquanto que o PIB aumentou apenas 18%, segundo a mesma fonte. Na inviabilidade de atender ao consumo simplesmente aumentando a oferta, é fundamental verificar a participação dos diversos membros do sistema energético, encontrar os desperdícios e o melhor aproveitamento das fontes. A Tabela 1.3 apresenta o consumo de eletricidade no Brasil em percentuais relativos aos diversos setores [MME, 1988].

Tabela 1.3 - Composição Setorial do consumo final de eletricidade (unidade: %) - [MME, 1988]

FONTES	1970	1975	1980	1985	1986	1987
Setor Energético	1,5	3,7	3,1	3,0	2,9	2,6
Residencial	21,9	18,9	18,9	18,9	19,2	20,0
Comercial	13,5	12,9	11,2	10,7	10,5	10,7
Público	9,3	9,6	8,5	8,3	8,0	8,1
Agropecuário	0,8	1,1	1,7	2,6	2,7	3,0
Transportes	1,7	0,9	0,7	0,7	0,6	0,6
Industrial	51,2	52,9	55,9	55,8	56,1	54,9
Consumo Final	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Pode-se observar que os setores mais importantes no consumo de energia elétrica são, pela ordem, o industrial, o residencial e o comercial. Entre estes setores, ao longo das duas últimas décadas, no Brasil, em termos percentuais, cresceu o consumo industrial, enquanto que o setor residencial manteve-se aproximadamente estável e o comercial diminuiu sua participação relativa.

Em outros países, a situação não é a mesma. No Japão, "o consumo no setor industrial está caindo lentamente e o consumo nos setores residencial e comercial mostra um aumento constante" [Furugaki, 1988].

Outro autor afirma que na Europa "o setor residencial consome aproximadamente 40% da energia" [Bornsen, 1988].

Um terceiro especialista diz: "Nos países da OECD (Organization for Economic Cooperation and Development), condicionamento ambiental, utensílios e aparelhos eletrônicos para consumidores vêm adquirindo maior participação no uso de eletricidade, enquanto que a participação industrial e comercial está diminuindo. O novo consumo está dirigido para conforto, utilidades e serviços de comunicação. Por outro lado, nos países em desenvolvimento, o consumo de eletricidade está crescendo em todos os setores" [Ketoff, 1988].

A interpretação desse quadro internacional, com a análise de todos os setores, está além do escopo deste trabalho. No entanto, é inegável a projeção de crescimento do consumo de energia no Brasil, a não ser que se adote, pelo contrário, uma perspectiva de obsolescência do setor industrial e rebaixamento mais drástico ainda do nível de conforto de algumas camadas da população.

No que diz respeito ao diferente comportamento da curva de consumo no setor industrial — crescimento no Brasil e abatimento nos países desenvolvidos — trata-se de reflexos do desenvolvimento tecnológico daqueles países, da maturidade de seus programas de conservação de energia e do grande incremento na potência instalada em hidreletricidade no Brasil, a partir da década de 70, o que generalizou o emprego desse vetor energético.

O setor comercial de serviços, como os hotéis, escritórios, ou de vendas, como *shopping centers*, merece ainda estudos específicos. Entretanto, a expansão desses grandes estabelecimentos, que empregam elevadas cargas de condicionamento ambiental e iluminação, vem recebendo a atenção do PROCEL (Programa de Conservação de Energia Elétrica).

Sobretudo, o setor residencial é o enfoque deste trabalho. Se a Tabela 1.3 não apontou um aumento percentual significativo no consumo de energia elétrica neste setor em relação aos demais, isto não significa que sua tendência no Brasil seja diferente daquela do Japão ou dos países da OECD.

Assim é que, nestes últimos, o aumento do consumo foi explicado fundamentalmente pelas inovações eletro-eletrônicas domésticas e pelo condicionamento ambiental. As primeiras estão longe de atingir a saturação nos lares brasileiros, conforme será visto no Capítulo 4, mas estarão presentes com certeza em qualquer manifestação de melhoria da renda da população.

No Brasil, ainda há tarefas anteriores por terminar: nas duas últimas décadas, a maior preocupação foi substituir uma forma de energia primária, a lenha, por outra, secundária, a eletricidade, muito mais confortável. A Figura 1.1 mostra a magnitude desse processo [MME, 1988].

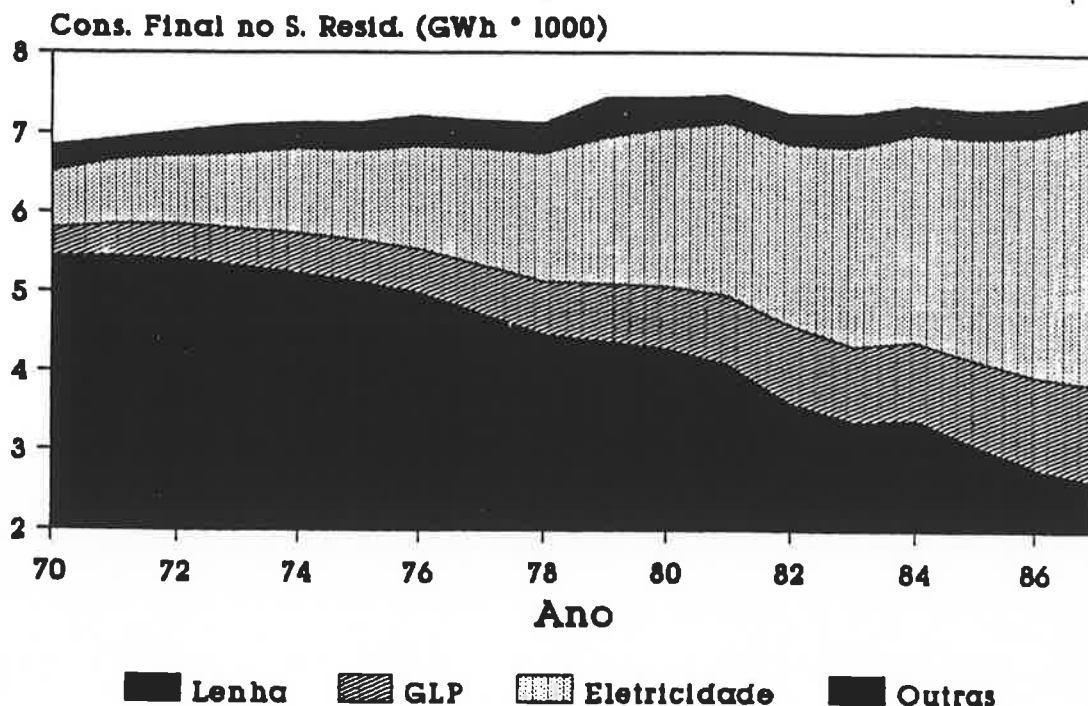


Figura 1.1 - Consumo Final do Setor Residencial (  $10^3$  GWh)  
(MME, 1988)

Pode-se notar que o acréscimo da potência instalada<sup>2</sup> (kW) nas habitações, através das inovações do mercado de eletrodomésticos, fator dependente da renda per capita, não é o único aspecto a ser considerado no caso do Brasil para efeito do consumo e demanda<sup>3</sup> de energia elétrica nesse setor.

2 - A Potência Instalada da habitação é a soma das potências nominais dos equipamentos elétricos nela existentes.

3 - A demanda é definida como o valor médio da potência elétrica requerida por um conjunto de cargas em um intervalo de tempo determinado ( neste trabalho são utilizados 1 minuto e 1 hora):

$$D(t) = \frac{1}{\Delta t} \int_t^{t + \Delta t} p(t). dt \quad (W)$$



Deve-se levar em conta que nos últimos anos a indústria da construção civil no setor habitacional de baixa renda acumulou um déficit enorme, que ainda deverá ser sanado. A Tabela 1.4 a seguir fornece uma noção do montante desse déficit [Albuquerque, 1985]

Por um lado, a questão do déficit habitacional<sup>4</sup> é determinante no consumo de energia elétrica, na medida em que sua resolução significa a incorporação de novos usuários aos serviços existentes, além do aspecto já mencionado do dispêndio de energia pela indústria da construção civil para produzir materiais básicos, construir ruas com redes de abastecimento de água, gás, telecomunicações, vias rodo-ferroviárias e edificações.

Tabela 1.4 - Déficit Habitacional no Brasil na década de 80.  
[Albuquerque, 1985]

Faixa de Renda Familiar / mês (Salários mínimos)	Necessidades Habitacionais		Participação (%)	Porcentagem de famílias na faixa de renda familiar
	Total	Urbana		
0 - 1	5.425.199	4.280.724	31,3	} 16,9
2 - 3	7.938.470	6.263.807	45,8	
3 - 5	2.045.282	1.613.819	11,8	
5 - 10	1.230.636	971.026	7,1	15,6
> 10	693.316	547.047	4,0	13,9
Total	17.332.903	13.676.433	100,0	100,0

4 - A lista de espera da COHAB/SP é de 460.000 famílias em 1991 [Rodrigues, 1991].

Por outro lado, o saneamento do déficit habitacional significa também um acréscimo na demanda de energia elétrica no período de ponta,<sup>5</sup> quando, de acordo com os costumes, os usuários tendem a colocar em funcionamento simultâneo grande número de aparelhos elétricos.

Neste contexto, pode haver duas vias não excludentes para atender à demanda e ao consumo nos próximos anos: uma delas é a construção de novas hidrelétricas, termelétricas e centrais nucleares. Mas esta via só é praticável em velocidade menor que a dos anos 70, porque o país já acumula uma dívida externa enorme, e as fontes de recursos financeiros para investimentos em tais obras são escassas atualmente.

O outro caminho é a continuidade e aprimoramento da política de conservação de energia, de modo a equilibrar a capacidade de expansão do sistema de produção e os avanços tecnológicos nos usos finais, através de programas de concessionárias, adequados a cada momento. Muito ainda pode ser feito neste campo segundo o princípio que diz ser melhor conservar e não instalar enquanto o custo de 1 kWh conservado for menor que o custo para produzir 1 kWh.

5 - O período de ponta é caracterizado como o intervalo de tempo do dia em que o sistema de fornecimento de energia elétrica encontra-se solicitado em sua carga máxima.

Uma política de conservação de energia "visa em geral promover a utilização mais racional e eficiente das diversas formas de energia nas suas múltiplas aplicações" [Paes, 1988]. Este conceito, aplicado a habitações de interesse social, tipologia da maioria das edificações existentes e em déficit no país, necessita para se efetivar da averiguação das fontes de energia empregadas em cada utilização, além da investigação acerca da racionalidade destes processos.

Uma abordagem imprescindível do problema é a da concepção das novas edificações, no que se refere a materiais, componentes e projeto arquitetônico, visando o conforto térmico, baixas densidades de iluminação artificial e de refrigeração, ponto de partida da conservação de energia nas edificações.

No entanto, o enfoque deste trabalho é outro: investiga a utilização de energia elétrica nas habitações de interesse social, já construídas, da COHAB/SP, empregando a metodologia do "uso final da energia" [Goldemberg et alii, 1988].

Neste contexto, embora tenha sido realizada uma pesquisa, sob a forma de entrevistas e medida de carga nos apartamentos da COHAB/SP, é imprescindível verificar os trabalhos de especialistas no tema, a fim de cotejar os resultados obtidos. Um deles, Arouca, divide a utilização da energia no setor residencial em seis categorias [Arouca et alii, 1983]:

- cocção;
- aquecimento de água;
- iluminação;
- lazer;
- serviços domésticos:
  - conservação de alimentos;
  - gerais;
- condicionamento ambiental.

Em outro trabalho [Arouca, 1982], o mesmo autor analisa o setor residencial sob o ponto de vista das fontes energéticas, ou seja, o emprego de:

- energia elétrica;
- gás
  - gás liquefeito de Petróleo (GLP);
  - gás de rua;
- outros:
  - querosene;
  - lenha.

No meio urbano, sabe-se que a energia elétrica e o gás são os vetores energéticos predominantes no setor residencial. O último autor, em sua última obra citada, analisa a estrutura do consumo de energia elétrica segundo os usos e regiões, no período 74/75, de onde foi extraída a Tabela 1.5, considerando-se apenas São Paulo e Brasil.

Tabela 1.5 - Consumo de energia elétrica no setor residencial segundo a utilização (%) - [Arouca, 1983]

Região	Lazer	Conserv. de Alimentos (geladeira)	Serviços	Condic. Ambiental	Aquec. de água	Ilumi-nação
São Paulo	7,3	30,2	7,8	1,1	30,0	23,6
Brasil	7,5	31,7	7,8	2,2	26,2	24,6

Vê-se assim que a conservação de alimentos e o aquecimento de água são as principais utilizações residenciais da energia elétrica, no que diz respeito ao consumo, com predominância da primeira delas para a maioria dos usuários. Em terceiro lugar vem a iluminação.

Em uma pesquisa com universo residencial mais abrangente [Wilhelm et alii, 1986], realizada em São Paulo, constatou-se que no estrato de consumo mensal entre 501 e 1000 kWh, a participação do aquecimento de água era de 50%, enquanto que a refrigeração de alimentos era de 24%.

No entanto, além do ponto de vista do consumo (kWh), é necessário verificar o significado dessas utilizações de energia no setor residencial no que se refere à demanda (kWh/h), fundamentalmente no período de ponta, pois a curva de carga<sup>6</sup> do sistema e a curva de carga do setor residencial possuem perfis semelhantes.

6- A curva de carga é a demanda em função do tempo, plotada num sistema cartesiano, em um período determinado (24 hs. para os objetivos em vista).

Ainda segundo a última pesquisa citada: "35% da ponta do sistema seriam devidos ao setor residencial. Levando em conta que no município de São Paulo os hábitos de banho parecem ser muito mais diversificados que nas cidades do interior, esta hipótese tende a subestimar o valor da demanda residencial neste período". Esta demanda seria dividida na ponta do sistema do modo seguinte:

- aquecimento de água ..... 16%
- iluminação ..... 9%
- refrigeração ..... 4%
- lazer ..... 4%

De onde é extraída uma importante conclusão: "A primeira componente é o aquecimento de água, que é responsável por mais de 50% da demanda global" [idem]. A tendência da atualidade é que o aquecimento de água seja realizado por meio de combustão de gás ou energia elétrica. Por enquanto, interessa aqui este último vetor energético, dada a popularidade do chuveiro elétrico, com saturação<sup>7</sup> na população da COHAB/SP.

Há dois aspectos notáveis quanto ao funcionamento destes aparelhos: um deles é a pequena simultaneidade de uso, uma vez que o tempo de banho é da ordem de poucos minutos, 6 em média, segundo [Graça, 1990], 8 minutos de acordo com o [DNAEE, 1985]. Porém, quando o chuveiro é ligado absorve uma potência das mais elevadas que se encontram nos aparelhos elétricos residenciais.

7- Significa 100 % de posse do aparelho pelas habitações.

Há ainda três fatos agravantes: em primeiro lugar, pesquisas anteriores acusaram demandas destes aparelhos superiores às potências nominais indicadas e, em segundo, já foi constatado também o corte da resistência elétrica por usuários, para maior elevação da temperatura da água, o que aumenta a corrente. Por último, aparelhos com potências nominais mais elevadas têm surgido no mercado.

O aquecimento de água constitui uma utilização da energia elétrica em baixa tensão. Do total de consumidores em baixa tensão, 86% pertencem ao setor residencial [DNAEE, 1985].

No período 1974/1979 foi estimado que 64% das famílias ligadas à rede elétrica possuíam chuveiro elétrico no Brasil e, em São Paulo, 85% [Arouca, 1982]. Estes dados e a Figura 1.2 [DNAEE, 1985], composição da curva de carga do sistema do ponto de vista do consumo pela Alta, Média e Baixa Tensão, fornecem uma noção da participação do chuveiro no período de ponta.

Conforme já visto, a iluminação, predominantemente incandescente no setor residencial, e a conservação de alimentos, através de geladeira e freezer, possuem também participação significativa no período de ponta. Entretanto, estas utilizações serão mencionadas aqui de passagem, porque a conservação de energia no que lhes diz respeito refere-se hoje, preferencialmente, à tecnologia do aparelho propriamente dito e bem menos ao vetor energético empregado.

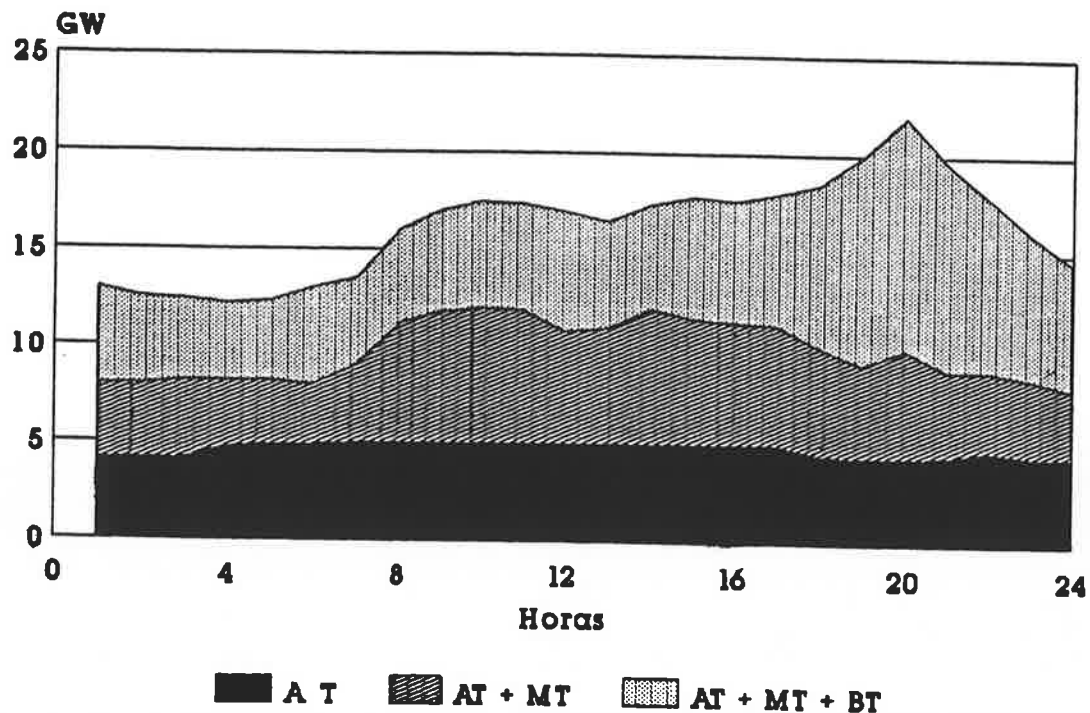


Figura 1.2 - Composição da Curva de Carga do Sistema Nacional em função da tensão Alta, Média e Baixa - Brasil - 1983. [DNAEE, 1985]

Quanto ao aquecimento de água, há varias razões para que seja tratado mais detidamente. Constitui um tema de excelência das Instalações Prediais, que é a área da engenharia onde surgiu a motivação para este trabalho.

8 - Como a forma da Figura 1.2 é o resultado de uma composição para todo o país, de 1983, ela pode não expressar o que se passa com concessionárias que vêm procurando modelar as suas curvas de carga. No entanto, o período de ponta observável evidencia o problema de demanda não resolvido para algumas delas.



Paralelamente, e de acordo com o exposto anteriormente, o aquecimento de água no setor residencial é um dos itens fundamentais para a conservação de energia, principalmente no que se refere à demanda. Além disso, a pesquisa realizada na COHAB/SP possui dados que contribuem para o aprimoramento das estatísticas sobre esta utilização da energia elétrica.

## CAPÍTULO 2 - OBJETIVOS

Este trabalho verifica a utilização de energia elétrica em habitações tipo apartamento da COHAB/SP. Procurou-se, na Introdução, destacar o setor residencial de outros setores econômico-sociais no Brasil, sob o aspecto do consumo e da demanda de energia elétrica, às vezes cotejando os dados existentes com informações de outros países, de modo a compilar diferenças e semelhanças em padrões de utilização.

A edificação como um todo, ou melhor, sua concepção, é ponto de partida para o delineamento do uso de energia que vai ocorrer ali. O outro aspecto que se tem em vista é o estudo dos usos finais, como refrigeração, iluminação e aquecimento de água, entre os mais importantes na habitação, com o intuito de reconhecer "o estado atual da arte" e eventuais problemas. Porém, cada um destes usos, com fundamentos tecnológicos diversos, exige um tratamento exclusivo, o que está além dos limites deste trabalho.

Sobre a refrigeração de alimentos e iluminação não se pretende mais do que apresentar alguns dados obtidos na pesquisa realizada junto às edificações da COHAB/SP. Uma vez adicionados a dados existentes, contribuirão na formação de futuros bancos de dados mais completos que podem servir de base aos trabalhos de projetistas e planejadores da área de energia.

Assim, um dos objetivos deste trabalho é o estudo da demanda de

energia elétrica para o aquecimento de água e sua relação com a demanda global de energia elétrica em habitações de interesse social. Pretende-se que os resultados obtidos sirvam como subsídios técnicos ao estudo do emprego de fontes alternativas de energia neste uso final ou melhoria da forma de utilização predominante.

Para realizar tais fins, é necessário passar por uma série de etapas. O que se deseja de cada uma delas é descrito neste capítulo, especialmente incluído para alertar o leitor, uma vez que o tema energia é muito amplo e multidisciplinar, para o fato aparente de que às vezes se muda de assunto de um tópico para outro. Na realidade, o que está por trás de tais mudanças é a necessidade de investigar um aspecto social, ou outro muito diverso, termodinâmico por exemplo, para tentar a abordagem do tema tal qual é a sua natureza. Uma abordagem de vários pontos de vista é chamada de fenomenológica.

Neste espírito, o Capítulo 3, "Metodologia de Pesquisa", começa por descrever as habitações objeto da pesquisa, sua localização, tipologia e quantidade de apartamentos distribuídos pela grande São Paulo. Depois, passa-se para o histórico da pesquisa e atividades que antecederam as investigações de campo, como o instrumental estatístico empregado, a técnica de dimensionamento da amostra e seu resultado.

Conforme alerta já feito sobre o caráter interdisciplinar do tema,

na parte da metodologia foi vista como necessária a inclusão de considerações da alçada das ciências sociais e das ciências naturais. Isto porque, os desdobramentos da física, particularmente aqueles com aplicações para a concepção de componentes e sistemas utilizados pelo homem, sempre constituirão um dos principais alicerces da engenharia.

Em épocas mais recentes, técnicas aprimoradas da engenharia passaram a dirigir o olhar não apenas para o projeto de um mecanismo em si mesmo, mas também para a inclusão de aspectos relativos ao homem que utiliza tais engenhos. O lado dos hábitos humanos e o instrumental teórico empregado nesta análise, até então restrito à sociologia, é tido como um acervo de muita valia para o projeto de sistemas mais eficientes. Esta é a visão que norteia o desenvolvimento deste trabalho.

As investigações física e a sociológica aqui realizadas não possuem interesses científicos em si mesmos, mas visam o estabelecimento de parâmetros para a futura criação de tecnologias mais adequadas às necessidades da população. Assim é que, ainda no Capítulo 3, são descritas as instalações elétricas das habitações e os instrumentos empregados para a medida de carga dos circuitos, a montagem dos bancos de dados e operações sobre os mesmos.

Depois disso, é realizado um estudo do tempo de ocorrência de demandas elevadas de energia elétrica nas habitações, que podem ser traduzidas, probabilisticamente, nas durações de uso de água

quente. As técnicas estatísticas utilizadas neste estudo exigem uma elaboração não muito elementar e extensa perante o enunciado de seus resultados, como por exemplo, o de que 95% das ocorrências de uso de água quente não ultrapassam determinada duração.

A maioria das outras informações resultantes não receberam um tratamento matemático com esta profundidade, mas simples análises de distribuição de frequências. Foram, então, reunidas no Capítulo 4, "Resultados Obtidos", para servir aos propósitos de projetistas e planejadores, com o acréscimo de alguns comentários e comparações quando julgados oportunos.

As primeiras distribuições de frequências apresentadas dizem respeito aos moradores dos apartamentos padrão COHAB da grande São Paulo. Estatísticas como o número médio de moradores por habitação, número máximo, mínimo e moda; idade; nível de escolaridade; tempo de moradia no imóvel e renda familiar foram obtidas com o objetivo de delinear este setor social, seu poder de compra e possibilidade de participação em futuros programas de conservação de energia.

A preocupação a seguir é a presença de aparelhos elétricos na habitação, seja do ponto de vista da saturação de cada um deles, de uma extensa lista, seja sob o lado da sua quantificação, o que pode ser traduzido como a análise do parâmetro potência instalada. Tem-se em mira também o período do dia de uso dos principais aparelhos elétricos.

Os usos finais refrigeração de alimentos, iluminação, lazer e serviços são brevemente considerados, para ceder espaço ao aquecimento de água. Deste último são apresentados registros de diferentes equipamentos encontrados na campanha de medidas, sendo todos chuveiros elétricos.

Os valores de demanda do aparelho são comparados com os valores da demanda global da habitação, considerando-se esta última como uma unidade isolada. Uma outra abordagem da demanda de energia elétrica para aquecimento de água é feita com o processamento conjunto dos registros de todas as habitações, de forma a obter valores médios e simultâneos de demanda que interessam ao sistema de produção e indicam a viabilidade econômica de políticas de conservação de energia.

Uma vez com os resultados de potência instalada e demanda máxima da habitação, são calculados fatores de projeto tradicionalmente presentes em critérios de dimensionamento de instalações elétricas e na literatura sobre o tema. Inclusive o cálculo destes fatores foi o móvel inicial de realização da pesquisa.

Por fim, é elaborada uma curva tempo-corrente com os dados dos arquivos de medidas. Ela consiste na plotagem em eixos logarítmicos dos pares intensidade de corrente (Ampères) e durações máximas respectivas (minutos), muito encontrada nos catálogos de dispositivos de proteção de instalações elétricas. Esta curva permite a escolha, com um nível de adequação muito

maior, dos dispositivos de proteção para as habitações estudadas, embora o maior interesse por esta curva, neste trabalho, esteja fundamentado na necessidade de políticas de gerenciamento da demanda no país.

Terminada a apresentação dos resultados estatísticos no Capítulo 4, o seguinte discute a demanda de energia elétrica sob dois pontos de vista mais gerais:

- a tecnologia de gerenciamento da demanda;
- a tecnologia de aquecimento de água.

Em primeiro lugar, é estimado o custo do chuveiro elétrico como forma predominante de aquecimento de água para o sistema de produção de energia elétrica. Tal estimativa tem por base as estatísticas correntes entre o meio técnico sobre o custo de potência instalada (em geração hidrelétrica) e os resultados de demanda obtidos no Capítulo 4.

Diante desta avaliação, procura-se sintetizar os tópicos mais importantes do termo *DSM (Demand-Side Management)*, traduzido simplesmente como gerenciamento da demanda. São expostos os objetivos desta tecnologia, a estrutura de um programa do gênero, sua implementação, dificuldades e possíveis pontos de interesses comuns entre concessionária e usuário de energia elétrica, para reconhecer que o Brasil necessita voltar-se para este aspecto em seu planejamento energético, sob o risco de — optando pela

ignorância do assunto — comprometer sua competitividade econômica por muitos anos.

Entretanto, para aplicar uma política de conservação de energia, com enfoque no gerenciamento da demanda e voltada para o aquecimento de água, é necessário possuir tecnologia de sistemas eficientes e competitivos economicamente. Para averiguar este item, são repassadas as tecnologias mais usuais no país.

Dentro do quadro sinóptico traçado das tecnologias de aquecimento de água, o aquecedor de acumulação elétrico é escolhido para uma análise com maiores detalhes. Por três motivos: um deles é a adequação do vetor energético empregado, comparativamente a outros, no que se refere a um uso generalizado no país. Depois, por conter um reservatório e tubulações de distribuição da água quente comuns à maioria dos sistemas. E, finalmente, em terceiro lugar, por existirem hoje no mundo aquecedores mistos (de passagem e de acumulação) que apresentam pequenos custos de instalação e de energia e maior simplicidade de desenvolvimento tecnológico quando comparados a outros equipamentos.

Investigam-se as condições sob as quais um aquecedor de acumulação pode atender a uma política de gerenciamento da demanda, particularmente quanto ao deslocamento de carga para períodos fora de ponta, alertando para as perdas de calor no reservatório e na tubulação, que existem, são grandes e comprometem a eficiência do sistema. Assume-se que a estimativa realizada é preliminar,



necessitando incorporar técnicas probabilísticas, podendo se tornar no futuro uma metodologia de dimensionamento de sistemas de aquecimento de água.

É feita uma menção ao conceito de desempenho como o paradigma tecnológico atual, útil também para a análise de sistemas de aquecimento de água. Ressalta-se que as metodologias de projeto em voga necessitam de uma revisão, com a aplicação do instrumental probabilístico a bancos de dados específicos, para concluir que a questão energética das edificações deve constituir uma preocupação já na fase de concepção, quando é imprescindível um enfoque sistêmico.

Por um lado, chama-se a atenção para as tecnologias alternativas e implantadas incipientemente no país. São ressaltadas algumas dificuldades da radiação solar, como custos iniciais e insucessos, embora os coletores solares planos para aquecimento de água sejam uma realidade no Brasil inclusive, com *marketing* diário na chamada grande imprensa.

Por outro lado, é mencionada a menos conhecida bomba de calor, mas em difusão nos países desenvolvidos, para aplicação em aquecimento de água. Sua importância reside não apenas na economia de energia possível com o seu emprego, mas também nos parâmetros inovadores que traz consigo para a análise da eficiência dos demais sistemas de aquecimento, na medida em que requer o conhecimento mais profundo de fenômenos da termodinâmica. Este aspecto é discutido

no Anexo IV.

Em um terceiro momento, ainda no Capítulo 5, são confrontados os objetivos de gerenciamento da demanda com as tecnologias mais conhecidas de aquecimento de água. Vê-se como a conservação de energia no uso final escolhido relaciona-se com a substituição de vetores energéticos, tocando *en passant* nos problemas de escassez de reservas, de comercialização e de poluição ambiental causada por alguns combustíveis.

Uma preocupação subjacente ao desenvolvimento do texto consistiu fundamentalmente na seguinte interrogação: é possível realizar o aquecimento de água nas habitações que compõem o déficit habitacional brasileiro, no período fora de ponta, a custos condizentes com os atuais?

Embora a quantidade de situações de projeto e as diferenças entre concessionárias não permitam uma resposta única e exata à questão colocada, os dados obtidos e as estimativas a que se chegou demonstram que não há conflito entre ordens de grandeza de custos de algumas alternativas.

Enfim, no que diz respeito aos conhecimentos teóricos e tecnologias com base na eletricidade, termodinâmica e instalações prediais, o caminho para o uso racional da energia em edificações está aberto. Se forem revistos alguns tópicos da complexa regulamentação das tarifas de energia no país, o que falta é

apenas o elo que viabilize políticas comuns entre concessionárias, instituições de financiamento e de construção de habitações, institutos de pesquisa e universidades. Este tema, encerrando o trabalho, é tratado no Capítulo 6.

## CAPÍTULO 3 - METODOLOGIA DE PESQUISA

Neste capítulo é apresentado o gênero da pesquisa realizada e são descritas suas etapas, desde a formulação estatística necessária ao início dos trabalhos de campo. Além disso, foi colocada também aqui uma parte do resultado do tratamento dos dados de aquecimento de água, aquela que dependia da definição de uma curva de densidade de probabilidades, cuja elaboração ilustra a metodologia que se tem em vista para o estudo de solicitações em sistemas de edificações.

### 3.1 HISTÓRICO E CARATER DA PESQUISA

Este trabalho tem por base uma pesquisa sobre parâmetros para dimensionamento de instalações elétricas de unidades habitacionais de interesse social. Ela foi realizada pelo Departamento de Engenharia de Construção Civil da Escola Politécnica da USP, financiada pela CEF, com a colaboração da Eletropaulo e da COHAB/SP.

A pesquisa tem um duplo caráter: descritivo e tecnológico. No que se refere ao primeiro deles, ela pode ser assim definida porque emprega a observação e registro de hábitos de pessoas e fenômenos físicos, compartilhando dessa maneira o método das ciências sociais e naturais.

Quanto ao segundo aspecto de seu caráter, não se trata de um

desenvolvimento tecnológico propriamente dito, mas tomando para objeto de análise um uso final de energia, o aquecimento de água, investiga as solicitações do usuário neste uso e discute as principais orientações do desenvolvimento tecnológico e medidas de racionalização nesta área.

Para efetivar ambas abordagens, são utilizados recursos estatísticos. No caso desta pesquisa, este instrumento teórico é imprescindível, pois o descritivo e o tecnológico exigem que se diga não apenas qual fenômeno é importante, mas também como ele ocorre, em termos de sua quantificação.

Embora o capítulo anterior tenha tratado dos objetivos deste trabalho em particular, o intuito inicial da coleta de dados era mais amplo. Assim, é necessário descrever os parâmetros pontos de partida da pesquisa, para ficar clara, inclusive, a compatibilidade entre as investigações realizadas e os resultados obtidos.

Um dos principais objetivos da pesquisa era o estabelecimento de fatores de demanda para o dimensionamento das instalações elétricas de unidades habitacionais de interesse social. O fator de demanda de um circuito é a relação entre a demanda máxima (kW) passível de ocorrer e a potência instalada (kW) no circuito, sendo um número adimensional.

A demanda máxima deve ser avaliada através de medida direta da carga no circuito e a potência instalada, por meio de informações

sobre as potências nominais e as respectivas quantidades de aparelhos elétricos ligados ao circuito. Assim, a potência instalada foi o parâmetro guia do dimensionamento da amostra para a aplicação dos questionários, depois de sua verificação preliminar através de uma pesquisa piloto.

### 3.2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Antes de apresentar as conclusões a respeito do plano amostral da pesquisa realizada, é necessário estabelecer algumas considerações sobre os conceitos estatísticos utilizados no desenvolvimento do mesmo, que seguem [Costa Neto, 1977], [Bussab & Morettin, 1986] e [BNH-DEPEA/EPUSP-PCC, 1986].

#### 3.2.1 INFERENCIA ESTATÍSTICA

O processo da inferência estatística consiste em fazer afirmações a respeito de uma certa característica de uma dada população em estudo, a partir de informações de uma parte desta população, denominada amostra.

Essa característica pode ser representada por uma variável aleatória, isto é, uma variável numérica a qual se pode associar algum modelo probabilístico.

Os modelos probabilísticos, que procuram medir a variabilidade de fenômenos casuais de acordo com suas ocorrências, são as distribuições de probabilidades de variáveis aleatórias.

### 3.2.2. POPULAÇÃO E AMOSTRA

Como foi visto, população e amostra são dois conceitos básicos para o desenvolvimento de uma inferência estatística e podem ser definidos como segue:

População - conjunto de elementos que apresentam pelo menos uma variável comum observável.

Amostra - qualquer subconjunto da população.

No caso da pesquisa realizada, a população (ou universo) poderia ser o conjunto de todas as habitações de interesse social, onde seriam inclusos os cortiços e as favelas. Ocorre que se a população fosse concebida dessa maneira, a tipologia das habitações perderia sua uniformidade, o que implicaria na existência de mais de uma tipologia. Assim, para que a pesquisa não se tornasse tão longa e tendo em conta que os apartamentos da COHAB/SP constituem uma tipologia importante na resolução do déficit habitacional, eles foram tomados como a população.

### 3.2.3. SELEÇÃO DA AMOSTRA

Uma vez fixada a população, que será melhor descrita adiante, o próximo passo é a escolha de uma amostra representativa, no que se refere aos parâmetros que se deseja estudar.

Mas repetir um experimento ou uma medida muitas vezes, sob as mesmas condições, pode se tornar muito difícil, dispendioso ou

demorado. Todavia, é possível determinar teoricamente, em certas condições, o comportamento de algumas variáveis a partir de medidas executadas em uma amostra, o que depende do plano amostral adotado. Há, então, nos problemas que envolvam amostras, três pontos importantes a serem verificados antes de selecioná-la:

- como escolher a amostra;
- que informação será retirada da amostra;
- como se comporta essa informação quando o mesmo procedimento de seleção é usado numa população conhecida.

↙ As informações colhidas em uma amostra representam tanto mais a população quanto mais se conhecer essa mesma população. Porém, nem sempre é imediata a escolha de uma amostra representativa.

↙ Chama-se "amostragem" aos procedimentos através dos quais se obtém uma amostra. Podem ser divididos basicamente em dois grupos: os planos probabilísticos e os não probabilísticos. O primeiro grupo usa mecanismos aleatórios de seleção dos elementos da amostra, atribuindo a cada um destes uma probabilidade conhecida a priori de pertencer à amostra. A grande vantagem da amostragem probabilística é poder avaliar a confiança da amostra selecionada.

Ao segundo grupo pertencem os demais procedimentos como amostras intencionais (com elementos selecionados) ou amostras de voluntários.



Na pesquisa realizada empregou-se um tipo de amostragem probabilística: a Amostragem Casual Simples. Nesse tipo de amostragem atribui-se a cada elemento pertencente à população a mesma probabilidade de seleção.

### 3.2.4. ESTATÍSTICA E PARÂMETROS

Uma estatística é uma característica da amostra, função de seus elementos. A partir de uma amostra de  $n$  elementos da população, onde a cada variável de elemento está associado um valor, tem-se um conjunto de valores  $(x_1, x_2, \dots, x_n)$ , para o qual podem ser calculadas as seguintes estatísticas:

a) média: 
$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (3.1)$$

b) variância: 
$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (3.2)$$

c) menor valor: 
$$x_1 = \min(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (3.3)$$

d) maior valor: 
$$x_n = \max(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (3.4)$$

e) amplitude: 
$$\omega = x_n - x_1 \quad (3.5)$$

f) moda: valor de máxima frequência,

sendo a frequência de um dado valor de uma variável definida como o número de vezes em que este valor é observado. Este é o caso da frequência absoluta, utilizada na análise dos dados de durações de

banhos no final deste capítulo. As frequências relativas, expressas em porcentagem, referem-se à associação das frequências absolutas ao conjunto de valores observados. Com as frequências relativas, constroem-se as distribuições de frequências e diagramas de barras, que constituem a maneira escolhida para a apresentação dos resultados no próximo capítulo. Para algumas variáveis são fornecidas as frequências acumuladas, que nada mais são do que a soma das frequências relativas de todos os valores de uma variável, menores do que um valor escolhido.

Já os parâmetros são medidas usadas para descrever características da população. As estatísticas das amostras e os parâmetros da população serão denotados como segue:

Característica	Amostra	População
	Estatística	Parâmetro
média	$\bar{x}$	$\mu$
variância	$s^2$	$\sigma^2$
no. de elem.	$n$	$N$
moda	$m$	$M$

### 3.2.5. DISTRIBUIÇÃO AMOSTRAL

A partir do que foi visto, objetiva-se fazer afirmações sobre parâmetros da população (média, variância ou qualquer outra medida), através de estatísticas da amostra, que é casual simples. Isto é, cada estatística, que é função dos elementos da amostra, tem um valor que é a base da afirmação sobre o parâmetro

populacional em questão.

Para melhor situar a validade dessa afirmação, torna-se necessário conhecer a distribuição de cada estatística, quando os elementos da amostra assumem todos os valores possíveis. Isto auxilia na visualização de como se comporta essa estatística. Essa distribuição denomina-se distribuição amostral estatística.

Desse modo, é necessário definir, para as análises desta pesquisa, a distribuição amostral da média. Genericamente, havendo uma população identificada pela variável  $x$ , com parâmetros média populacional  $\mu = E(x)$  e variância populacional  $\sigma^2 = \text{Var}(x)$ , retirando-se todas possíveis amostras casuais simples de tamanho  $n$  dessa população e calculando para cada uma delas a média  $\bar{x}$ , tem-se:

$$E(\bar{x}) = \mu \quad (3.6)$$

$$\text{Var}(\bar{x}) = \sigma^2/n \quad (3.7)$$

Para amostras casuais simples, retiradas de uma população com média  $\mu$  e variância  $\sigma^2$ , a distribuição amostral da média  $\bar{x}$  aproxima-se de uma distribuição normal com média  $\mu$  e variância  $\sigma^2/n$ .

Para a distribuição normal, define-se que a variável aleatória  $x$  tem distribuição normal, com parâmetros  $\mu$  e  $\sigma^2$ , se sua função densidade de probabilidade é tal que sua curva é da forma representada a seguir.

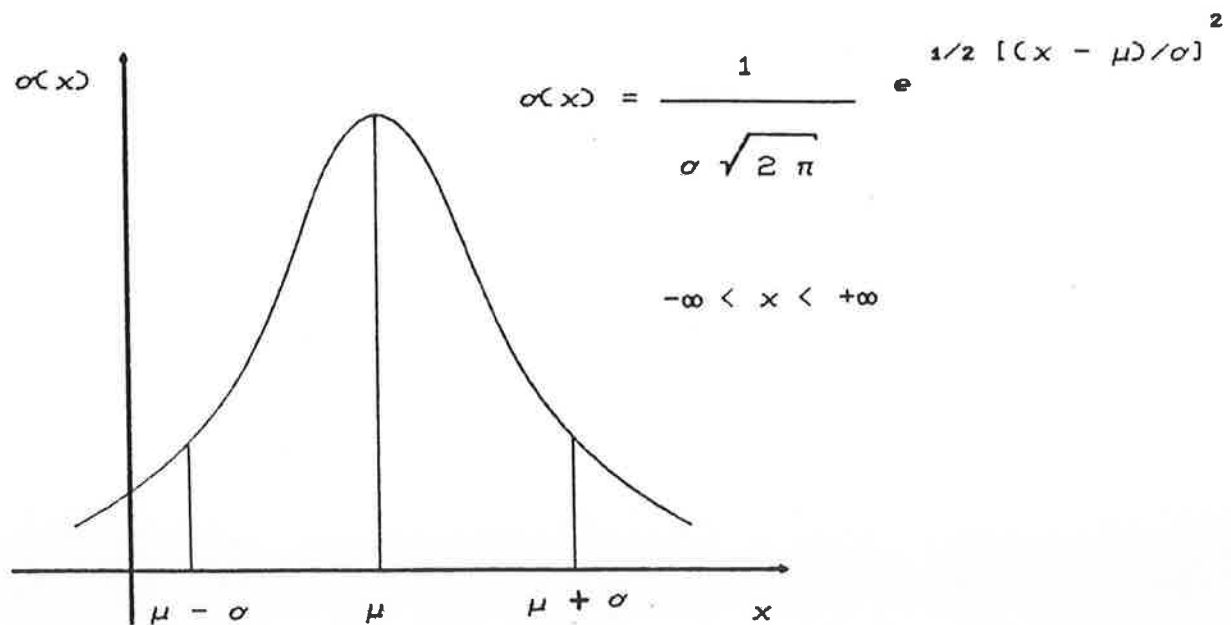


Figura 3.1 - Distribuição Normal:  $x : (\mu, \sigma^2)$

Pode-se demonstrar que:

- $E(x) = \mu$
- $\text{Var}(x) = \sigma^2$
- $\alpha(x) \rightarrow 0$  quando  $x \rightarrow \pm \infty$
- $x = \mu$  é ponto de máximo de  $\alpha(x)$
- $\alpha(x)$  é simétrico ao redor de  $x = \mu$
- $\mu - \sigma$  e  $\mu + \sigma$  são pontos de inflexão de  $\alpha(x)$

Como notação, se  $x$  tem distribuição normal, com média  $\mu$  e variância  $\sigma^2$ , usa-se:

$$x : N(\mu, \sigma^2) \quad (3.8)$$

Geralmente trabalha-se com a distribuição normal reduzida ou padrão, onde usa-se  $\mu = 0$  e  $\sigma^2 = 1$ , isto é  $Z : N(0, 1)$ . Para

isso, faz-se uma transformação linear, definindo a variável aleatória:

$$Z = \frac{x - \mu}{\sigma} \quad (3.9)$$

Essa variável tem uma distribuição  $N(0, 1)$  representada pelo gráfico abaixo.

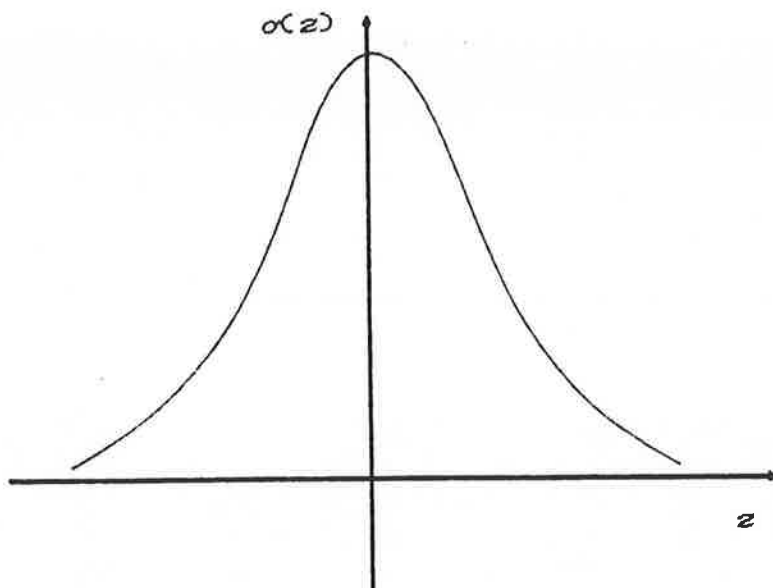


Figura 3.2 - Distribuição Normal Reduzida  $x : (0, 1)$

Quanto à distribuição amostral da média, verifica-se que se  $(x_1, x_2, \dots, x_n)$  é amostra casual simples da população com média  $\mu$  e variância  $\sigma^2$ , sendo  $\bar{x} = (x_1 + x_2 + \dots + x_n)/n$  e  $\text{Var}(\bar{x}) = \sigma^2/n$ , então:

$$Z = \frac{\bar{x} - \mu}{\sigma/\sqrt{n}} \quad N(0, 1) \quad (3.10)$$

Chamando de  $e$  a variável aleatória que mede a diferença entre a estatística  $\bar{x}$  e o parâmetro  $\mu$ , diz-se que a distribuição de  $e$  aproxima-se de uma distribuição normal com média 0 e variância  $\sigma^2/n$ , isto é:

$$e \approx N(0, \sigma^2/n) \quad (3.11)$$

### 3.2.6. ESTIMATIVAS DE PARÂMETROS

Estimar parâmetros, como foi visto, é exatamente o objetivo da inferência estatística, ou seja, atribuir valor genérico a uma característica de uma população, com base em dados de uma amostra. Desse modo, pode-se dizer que o estimador nada mais é do que uma estatística, definida anteriormente.

Em algumas situações, pode-se ter mais de um estimador para um mesmo parâmetro e deseja-se saber qual deles é o "melhor". Esse julgamento pode ser feito analisando-se as propriedades desses estimadores.

O problema da estimação é, então, determinar uma função  $T = \sigma(x_1, x_2, \dots, x_n)$  que seja próxima ao parâmetro em questão, segundo alguns critérios.

### 3.2.7. INTERVALOS DE CONFIANÇA

Todos os estimadores especificam um único valor para o estimador, o que não permite julgar a possível magnitude do erro que se está cometendo. Devido a isso, surge a idéia de se construir um

intervalo em torno da estimativa pontual, de modo que esse intervalo tenha uma probabilidade conhecida de conter o verdadeiro valor do parâmetro. A probabilidade, designada por  $1 - \alpha$ , de o intervalo conter o parâmetro, é denominada grau de confiança do respectivo intervalo de confiança. Assim,  $\alpha$  será a probabilidade de erro na estimação por intervalo.

O estudo do intervalo de confiança para a média  $\mu$  da população pode ser subdividido em dois casos: quando  $\sigma$  é conhecido ou é desconhecido. No primeiro caso, pode-se supor normal a distribuição amostral do estimador  $\bar{x}$ , o que ocorre caso a população seja normalmente distribuída ou, caso contrário, se a amostra for suficientemente grande.

A construção de um intervalo em torno de  $\bar{x}$  deve ser de tal forma que o intervalo contenha o valor do parâmetro, com confiança  $1 - \alpha$ . Esse intervalo, sendo simétrico em probabilidade, será também geometricamente simétrico em relação  $\bar{x}$ . O intervalo que se deseja construir será da forma  $\bar{x} \pm e_0$ , objetivando assim determinar  $e_0$  (semi-amplitude do intervalo de confiança), de modo tal que esse intervalo tenha grau de confiança  $1 - \alpha$ .

Para tanto, imagina-se na distribuição por amostragem de  $\bar{x}$ , dois pontos  $\mu - e_0$  e  $\mu + e_0$  simétricos em relação à média  $\mu$  da distribuição, de forma que a probabilidade de  $\bar{x}$ , situada entre esses dois pontos, seja  $1 - \alpha$ . Embora  $\mu$  seja parâmetro desconhecido, é possível representar graficamente essa situação da seguinte forma:

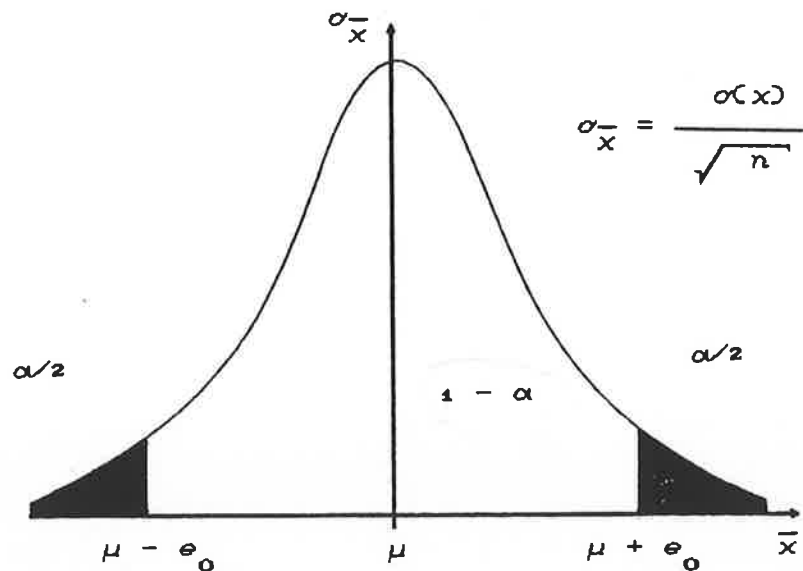


Figura 3.3 - Probabilidade no Intervalo de Confiança

A área total sob o gráfico corresponde à probabilidade 100% do valor pertencer à distribuição. Decorre, portanto, que pertencer a um determinado intervalo tem a probabilidade igual à área abaixo da curva compreendida entre os limites do intervalo. Na prática estes valores são obtidos com emprego de tabelas da distribuição  $Z$  :  $N(0,1)$ . Da análise da Figura (3.3), tem-se portanto:

$$\begin{aligned}
 P(\mu - e_0 \leq \bar{x} \leq \mu + e_0) &= 1 - \alpha \quad \text{ou} \\
 P(\bar{x} - e_0 \leq \mu \leq \bar{x} + e_0) &= 1 - \alpha \quad (3.12)
 \end{aligned}$$

Logo,  $\bar{x} - e_0$  e  $\bar{x} + e_0$  são os limites do intervalo de confiança que se deseja obter. A determinação de  $e_0$ , envolvendo o uso da variável normal reduzida  $Z$ , seria:



$$Z_{\alpha/2} = \frac{(\mu + e_0) - \mu}{\sigma / \sqrt{n}} \quad \text{ou}$$

$$e_0 = Z_{\alpha/2} \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (3.13)$$

onde a divisão por  $\sqrt{n}$  traduz a redução no erro padrão em consequência do aumento do tamanho da amostra.

A interpretação final do intervalo de confiança a partir de (3.12) e (3.13) é dada por:

$$P \left( \bar{x} - Z_{\alpha/2} \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \leq \mu \leq \bar{x} + Z_{\alpha/2} \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \right) = 1 - \alpha \quad (3.14)$$

Verifica-se que a probabilidade de  $e$  ser menor que 1,96 é 0,95 ( $\alpha = 95\%$ ) onde  $\sigma_{\bar{x}} = \sigma / \sqrt{n}$ . Isto pode ser interpretado do seguinte modo: construídos todos os intervalos da forma  $x = \bar{x} + 1,96 \sigma_{\bar{x}}$ , 95% deles conterão o parâmetro  $\mu$ .

Em outras palavras, dada uma amostra e encontrada sua média,  $\bar{x}_0$ , admitindo conhecido  $\sigma_{\bar{x}}$ , podemos construir o intervalo  $\bar{x}_0 \pm 1,96 \sigma_{\bar{x}}$ . Esse intervalo pode ou não conter o parâmetro, mas há 95% de confiança que o contenha.

### 3.2.8. DIMENSIONAMENTO DA AMOSTRA

A construção dos intervalos para os parâmetros populacionais

pressupõe definido o nível de confiança a ser alcançado, o qual deve ser fixado de acordo com a probabilidade de acerto que se deseja na estimação. O aumento do nível de confiança resulta em intervalos de amplitude cada vez maiores.

Assim, verifica-se que intervalos com alto nível de confiança e pequena amplitude, que correspondem à estimação do parâmetro com pequena probabilidade de erro e grande precisão, requerem amostras suficientemente grandes. Desta forma, para o dimensionamento da amostra, recorrendo-se inicialmente às expressões (3.10) e (3.11) obtém-se:

$$e_o = Z_\alpha \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (3.15)$$

Uma vez fixados  $\alpha$  e  $n$ , pode-se determinar  $e$  (amplitude do intervalo de confiança) através de expressão (3.15). Se fixados  $\alpha$  e  $e_o$ , pode-se determinar  $n$ , que é o tamanho da amostra necessária para se realizar a estimação por intervalo com a confiança e precisão desejadas:

$$n = \left( \frac{Z_\alpha \cdot \sigma}{e_o} \right)^2 \quad (3.16)$$

Entretanto, a expressão (3.16) pressupõe conhecido o desvio padrão da população ( $\sigma$ ). Na presente pesquisa, não se conhece este parâmetro. Assim, a construção do intervalo de confiança para a média da população implica na substituição de  $\sigma$  por sua

estimativa  $s$ . Como  $s$  é uma variável aleatória, esta substituição pura e simples somente é justificável para amostras grandes, nas quais é provável que  $s$  ofereça estimativa próxima do valor real de  $\sigma$ .

Quanto menor a amostra, mais torna-se necessária a introdução de uma correção, a qual consiste em usar a variável  $t$  da distribuição de Student em vez de  $Z$  da distribuição normal. Na expressão (3.10) é feita a seguinte correção:

$$t = \frac{\bar{x} - \mu}{s(x) / \sqrt{n}} \quad (3.17)$$

que por sua vez levaria a expressão (3.16) a:

$$n = \left( \frac{t_{n, \alpha} \cdot s}{e_0} \right)^2 \quad (3.18)$$

Ocorre, porém, que a estatística  $t$  de Student, à medida que  $n$  cresce, apresenta uma família de distribuições cuja forma tende à distribuição normal reduzida. É comum admitir-se que tal fato ocorre para  $n > 30$ , o que está de acordo com os planos da pesquisa. Desta forma, pode se recorrer novamente à expressão (3.16) e admitir a simples substituição do parâmetro  $\sigma$  por sua estimativa:

$$n = \left( \frac{Z_{\alpha} \cdot s}{e_0} \right)^2 \quad (3.19)$$

### 3.2.9. AMOSTRAGEM SEM REPOSIÇÃO DE POPULAÇÃO FINITA

Enfim, cabe colocar algumas outras correções na formulação desenvolvida, impostas pela realidade da pesquisa de campo. Definiu-se a priori a utilização da técnica de amostragem probabilística através da amostragem casual simples. Desta técnica decorre que: o tamanho da população não importa na análise; o elemento retirado para amostragem é repostado à população antes da próxima retirada; todo elemento da população tem a mesma probabilidade de ser escolhido. No entanto, o plano amostral a ser elaborado impõe as seguintes restrições:

- o tamanho da população é conhecido;
- o elemento sorteado não é repostado à população.

Assim, fica estabelecida a montagem de amostras sem reposição sobre uma população finita. Como foi visto, sem estas considerações, obteve-se as expressões (3.6) e (3.7), das quais apenas a função da média populacional não necessita alteração. Para a expressão da variância (3.7) resulta:

$$\text{Var}(\bar{x}) = \frac{N - n}{(N - 1)} \sigma^2 \quad (3.20)$$

onde  $(N - n)/(N - 1)$  reflete a redução na flutuação amostral de  $\bar{x}$  para casos em que não há reposição, como o que se passa no estudo da potência instalada nas habitações da COHAB/SP.

Substituindo  $e$  em (3.10) por:

$$\sqrt{\frac{N - n}{N - 1}} \quad (3.21)$$

de acordo com a redução indicada no parágrafo anterior, vem:

$$n = \frac{Z_{\alpha}^2 \cdot s^2 \cdot N}{(N - 1) \cdot e^2 + s^2 Z_{\alpha}^2} \quad (3.22)$$

que é a formulação utilizada para o dimensionamento da amostra da pesquisa.

### 3.2.10. AMOSTRAGEM ESTRATIFICADA

Muitas vezes a população em estudo pode ser subdividida em estratos (subpopulações), sendo razoável supor que, de estrato para estrato, a variável de interesse apresente um comportamento substancialmente diverso, tendo, entretanto, comportamento razoavelmente homogêneo dentro de cada estrato. Nestes casos, se o sorteio dos elementos da amostra for realizado sem levar em consideração a existência dos estratos, pode ocorrer que os diversos estratos não sejam convenientemente representados na amostra, a qual seria mais influenciada pelas características da variável dos estratos mais favorecidos pelo sorteio. Evidentemente, a tendência à ocorrência de tal fato será tanto maior quanto menor o tamanho da amostra.

A amostragem estratificada consiste em subdividir a população em

grupos (estratos) e especificar quantos elementos da amostra serão retirados de cada um.

### 3.3. PLANO AMOSTRAL

#### 3.3.1. CONSIDERAÇÕES BÁSICAS

Todo o universo de habitações de interesse social da COHAB/SP constituía-se, à época do início da pesquisa, das unidades executadas até julho de 1986. As edificações padrão COHAB são basicamente de três tipos: apartamentos, casas e embriões. Estas habitações perfaziam um total de 89.000 unidades, distribuídas em 24 conjuntos habitacionais em toda região metropolitana de São Paulo. Esta relação encontra-se na Tabela 3.1.

A população objeto desta pesquisa foi constituída das habitações tipo apartamento, ocupadas até dezembro de 1985, que totalizavam 65.000 unidades. Devido a dificuldades operacionais para aplicação de questionários e realização de medidas, os conjuntos foram classificados por ordem de tamanho e selecionados os maiores para objeto de estudo, conforme Tabela 3.2.

Tabela 3.1 - Relação Geral de habitações<sup>1</sup> dos Conjuntos Habitacionais da COHAB/SP<sup>1</sup>

CONJUNTO (nome) <sup>2</sup>	No <sup>3</sup> ORDEM	APTOS. (total)	CASAS (total)	EMBRIÕES (total)	HABITS. (total)
ITAQUERA II e III	1	17.240	1.782	578	19.600
CARAPICUIBA	2	13.480	856	0	14.336
ITAQUERA I	3	11.610	650	0	12.260
CIDADE TIRADENTES	4	8.218	782	2.564	11.562
JARDIM SAPOEMBA	5	5.240	0	636	5.876
ITAPEVI	6	3.080	0	626	3.706
JD. SÃO PAULO II	7	2.520	0	908	3.428
ELISIO T. LEITE	8	2.920	0	0	2.920
BORORÉ	9	1.334	1.368	0	2.702
BARRO BRANCO	10	960	1.225	0	2.185
SAPOEMBA	11	176	1.117	0	1.293
GUAIANAZES	12	260	1.000	0	1.260
FERNÃO DIAS	13	1.060	0	0	1.060
JD. SÃO PAULO I	14	540	68	273	881
GUARULHOS	15	0	476	0	476
PARQUE YPE	16	198	249	0	447
SÃO MIGUEL	17	0	349	0	349
PARQUE FERNANDA	18	0	134	0	134
JD. SAPOEMBA	19	0	0	1.112	1.112
RIO CLARO	20	0	0	930	930
ESTRADA DA PARADA	21	0	0	907	907
SÃO LUIZ	22	0	0	703	703
VILA MARIA	23	0	0	442	442
FERNÃO DIAS	24	0	0	418	418
<b>TOTAL GERAL:</b>		<b>68.834</b>	<b>10.056</b>	<b>10.097</b>	<b>88.987</b>

1 - Relação de unidades edificadas até JUL/86 (conforme relatório da Diretoria Técnica da COHAB/SP).

2 - O nome dos Conjuntos refere-se à denominação mais usual.

3 - Número de ordem, de acordo com classificação em maiores Conjuntos (total de unidades).

Tabela 3.2 - Classificação dos maiores conjuntos da COHAB/SP e seleção para pesquisa.<sup>4</sup>

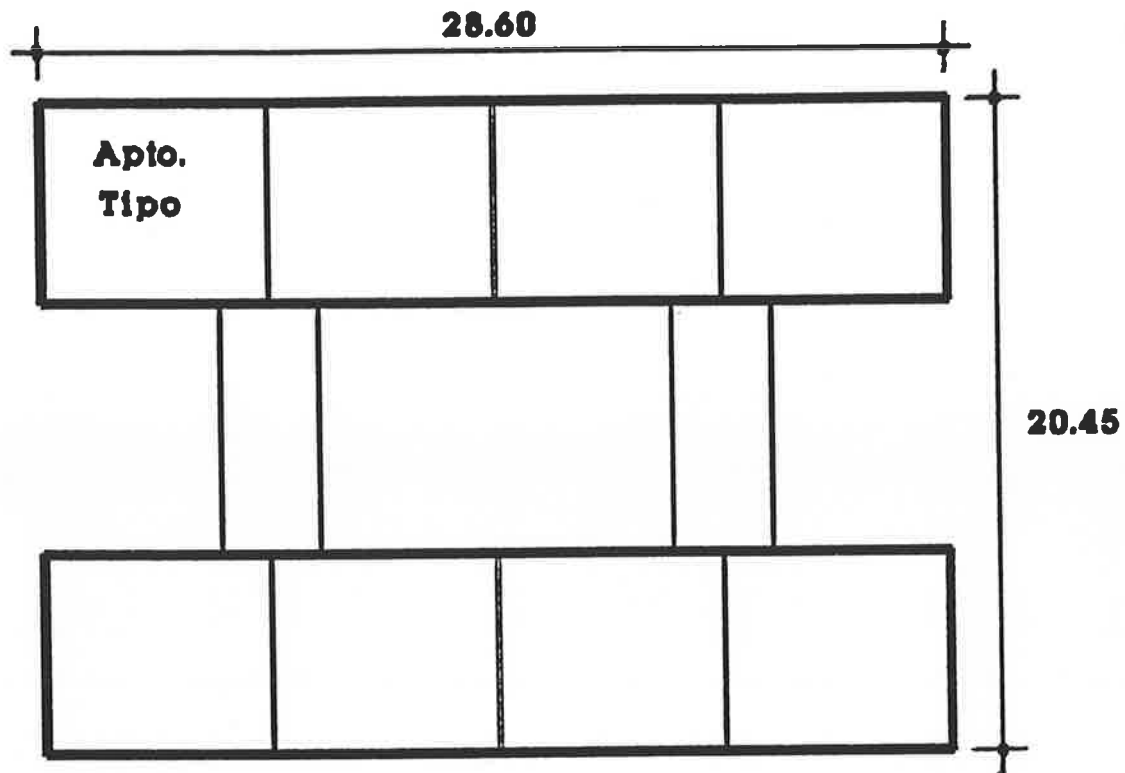
CONJUNTO (nome)	Nº ORDEM	APTOS. Nº	% APTOS RELATIVA	% APTOS ACUMULADA
ITAQUERA II e III *	1	17.240	26,8	26,8
CARAPICUIBA	2	13.480	20,8	47,5
ITAQUERA I *	3	11.810	17,9	65,4
JARDIM SAPOEMBA	5	5.240	8,1	73,5
CIDADE TIRADENTES*	4	4.098	6,3	79,8
ITAPEVI *	6	3.080	4,8	84,6
ELISIO T. LEITE	8	2.920	4,5	89,1
JD. SÃO PAULO II *	7	2.520	3,9	93,0
BORORE	9	1.334	2,1	95,1
FERNÃO DIAS	13	1.080	1,6	96,7
BARRO BRANCO	10	960	1,5	98,2
JD. SÃO PAULO I	14	540	0,8	99,0
GUAIANASES	12	280	0,4	99,4
PARQUE YPE	16	198	0,3	99,7
SAPOEMBA	11	176	0,3	100,0

TOTAL GERAL: 64.714

Os apartamentos da COHAB/SP encontram-se em tipos de blocos (edifícios) bem diversificados. Não obstante suas concepções seguirem várias composições espaciais oriundas de um mesmo módulo básico, cada tipo de bloco possui um determinado número de andares (geralmente cinco pavimentos) e de apartamentos com áreas eventualmente diferentes. A Figura 3.4 apresenta a planta básica de arquitetura de um bloco com o significado do código que compõe a sua designação.

4 - Os conjuntos assinalados com \* foram os selecionados para a pesquisa.





medidas em m.

**H5 - GM - 2 40 unidades**

2 caixas de escadas

composto por apios.  
medios e grandes

No de pavimentos

2 lamina

Figura 3.4 - Planta básica de arquitetura do bloco  
"Padrão Habitacional Multifamiliar PHM-01" - COHAB/SP.

A Figura 3.5 apresenta um detalhe da anterior, que é a planta básica de arquitetura de um apartamento grande. Note-se que o banheiro e a área de serviço são contíguos, fato este que se

repete para a maioria das configurações e que será explorado no Capítulo 5, quando da colocação do tema sobre a substituição de equipamentos e de vetores energéticos para aquecimento de água. Embora de menor importância para os objetivos em vista, vale a mesma observação para a cozinha, local onde também se encontra um ponto de utilização de água quente.

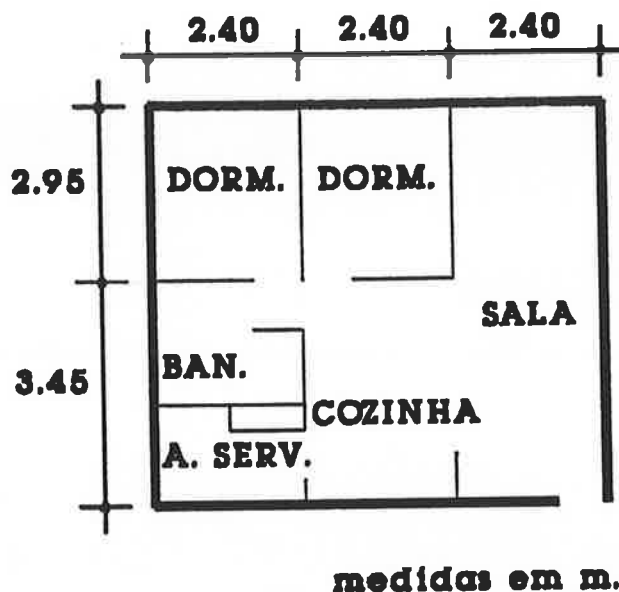


Figura 3.5 - Planta básica de arquitetura de apartamento da COHAB/SP.

Sobre a amostra de apartamentos, realizou-se os seguintes tipos de levantamento de dados:

- entrevistas domiciliares;
- medida de demanda nos circuitos de distribuição dos sistemas elétricos dos edifícios;

A partir dos dados levantados por estes processos, foram desenvolvidos estudos que objetivavam alcançar, a partir das

amostras analisadas, os parâmetros característicos da população de unidades habitacionais de interesse social, tipo apartamento.

O Plano de Pesquisa visou, portanto, obter os seguintes resultados:

- i) caracterização da população residente nos conjuntos habitacionais a partir de amostragem probabilística;
- ii) determinação do equipamento elétrico típico das habitações;
- iii) determinação da demanda elétrica média, modal e máxima;
- iv) determinação do consumo de energia médio, modal e máximo;
- v) determinação das durações das correntes elétricas solicitadas pelos usuários;
- vi) determinação probabilística das durações de banhos.

### 3.3.2. NÚMERO DE QUESTIONÁRIOS APLICADOS.

Conforme assinalado, o primeiro parâmetro estimado pela pesquisa foi a potência instalada média dos apartamentos com o respectivo desvio padrão. Assim, foram respeitados, para o dimensionamento da amostra, os seguintes itens:

- i) garantia de que a estimativa da potência instalada média

tenha 95% de probabilidade de conter um erro global de 5%.

- ii) a potência instalada máxima considerada igual à potência instalada média obtida da pesquisa mais  $1,96 \sigma_{\bar{x}}$ , o que significa um total de 95% dos consumidores com potência instalada não superior à máxima.
- iii) nesta fase, o erro amostral absoluto máximo para a estimativa da potência instalada média foi considerado de 0,25 kW.
- iv) também nesta fase, o desvio padrão foi estimado por um limite superior de 2,0 kW, a partir de outras amostragens realizadas em universos semelhantes.

Para aplicar a expressão (3.22) que determina o tamanho da amostra, foram utilizados os seguintes valores:

- $N = 65.000$  (tamanho do universo)
- $Z_{\alpha} = 1,96$  (para 95% de probabilidade)
- $s = 2,0$  kW (limite superior)
- $e = 0,25$  kW (limite do erro)

O tamanho da amostra para a pesquisa domiciliar foi:

$$n = 246 \text{ apartamentos}$$

Inicialmente, a concepção deste plano amostral considerou a estratificação proporcional da amostra, conforme exposto em

(3.2.10). O levantamento realizado apresentou uma variação de tamanho dos apartamentos, sendo classificados pela COHAB em pequenos, médios e grandes.

No entanto, dado o caráter aleatório da amostragem para aplicação do questionário e a necessidade de concatenar esta primeira etapa da pesquisa com a medida da demanda, foi necessário realizar uma restrição. Uma vez que o número de apartamentos pequenos é muito menor do que o de médios e grandes, estas duas últimas categorias compuseram a quase totalidade da amostra em partes aproximadamente iguais.

Como pode ser visto no Anexo I, centenas de informações, além da potência instalada, constam no questionário. Porém, pertencendo à categoria de informações auxiliares, não foram utilizadas no dimensionamento da amostra, de modo que 246 entrevistas para algumas delas não permitem fazer afirmações com grande confiança, enquanto que excedem para outras.

Os questionários foram aplicados por uma equipe de entrevistadores da Eletropaulo em meados de 87. Os dados foram armazenados em discos e fitas do CCE - USP (Centro de Computação Eletrônica da USP) e processados em computadores de grande porte. Muitos dos programas aplicados aos dados ocorreu no ambiente de um *software* estatístico voltado para a finalidade de processamento de pesquisas sociais [Nie et alii, 1975]. Os resultados encontram-se no Capítulo 4.

### 3.4 MEDIDA DA DEMANDA DE ENERGIA ELÉTRICA DA UNIDADE HABITACIONAL E TENSÃO DE ALIMENTAÇÃO

A medida de demanda de energia elétrica é também conhecida como o registro da curva de carga de um sistema. No caso, o sistema é o apartamento. Foram levantadas as curvas de 130 apartamentos que constituem então a amostra para esta atividade. Este número foi estabelecido em função da disponibilidade de equipamentos de medida da Eletropaulo.

A rigor, a amostra para o estabelecimento da curva de carga deveria ser dimensionada de modo análogo à dos questionários. Mas como o número de equipamentos e o prazo de utilização dos mesmos era limitado, não foi possível realizar medidas nos 246 apartamentos em que houve aplicação de questionários. Todavia, a medida possui uma vantagem em relação às entrevistas que é a precisão da "resposta" em relação à falta de informações por parte dos moradores. Este fato foi confirmado pela qualidade estatística dos dados já processados, conforme será visto.

O levantamento da curva de carga dos apartamentos transcorreu durante os meses de junho-julho/88. Foi intencional a realização da campanha neste período, porque estes meses encontram-se entre os mais frios do ano e há, portanto, maior probabilidade da chave de regulagem do chuveiro estar na posição "inverno", situação a mais crítica para a demanda do apartamento.

Tendo em conta que os hábitos dos usuários podem variar conforme o

dia da semana, dia útil e fim de semana, os aparelhos monitoraram cada apartamento durante sete dias. Depois deste período eram transferidos para outros apartamentos. Simultaneamente, na instalação de entrada coletiva do bloco de apartamentos, um arranjo semelhante registrava a tensão de alimentação.

A localização dos arranjos de medida de carga e de tensão são indicados na Figura 3.6.

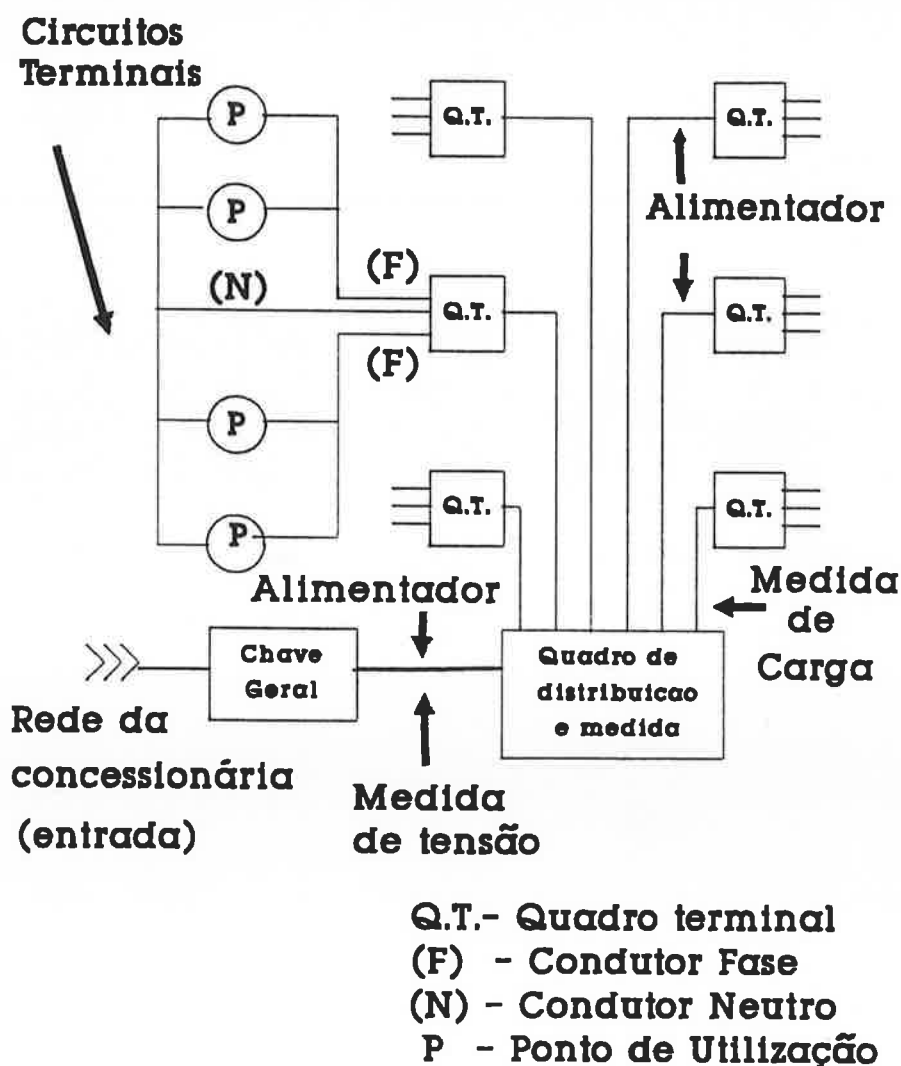


Figura 3.6 - Diagrama básico da instalação elétrica do edifício com a localização dos arranjos para medida de tensão e carga.

A campanha de medidas foi antecedida da preparação dos equipamentos pelos técnicos da Eletropaulo, tarefa esta que levou três meses para ser concluída. Além da execução dos circuitos, era necessário realizar a adaptação do RDTD (Registrador Digital para Tarifa Diferenciada) aos objetivos da pesquisa.

O RDTD consiste basicamente em um integrador de pulsos de energia elétrica e armazenador dos resultados. Originalmente concebido para a finalidade de tarifação horo-sazonal, o seu período de integração era de 15 minutos. Ora, um intervalo de tempo desta ordem de grandeza não possibilitaria captar informações importantes no estudo da demanda residencial, pois é maior do que o período de funcionamento da geladeira ou do que a maioria das durações de banho, que consistiu em um dos principais resultados almejados na pesquisa.

Para efeito de tarifação, 15 minutos podem ser suficientes. No entanto, se fosse mantido este intervalo de integração, o isolamento da geladeira e do chuveiro na curva de carga, como são apresentados nas figuras do próximo capítulo, não seriam possíveis. Um banho de 7 minutos com um chuveiro de potência nominal de 4,4 kW, por exemplo, teria sua demanda "achatada" e distribuída nos 15 minutos de integração, onde não seria nem mesmo possível a identificação do aparelho.

Assim, era necessária a adaptação dos equipamentos, considerando-se as variáveis seguintes:



- número de equipamentos à disposição da campanha;
- período em que os equipamentos estariam disponíveis;
- período de monitoração do apartamento (uma semana);
- número mínimo de apartamentos a serem monitorados;
- intervalo de integração.

As duas primeiras variáveis da lista acima dependiam basicamente da concessionária, ou melhor, da sua disponibilidade de equipamentos, de técnicos e de prazos. O período de monitoração do apartamento foi escolhido como sendo de uma semana, a fim de verificar diferenças no padrão de uso dos aparelhos elétricos residenciais, diferenças estas que se refletem na curva de carga. Uma semana, portanto, contendo dias úteis e fim de semana, pode ser considerada um ciclo de utilização de energia elétrica para uma determinada estação do ano.

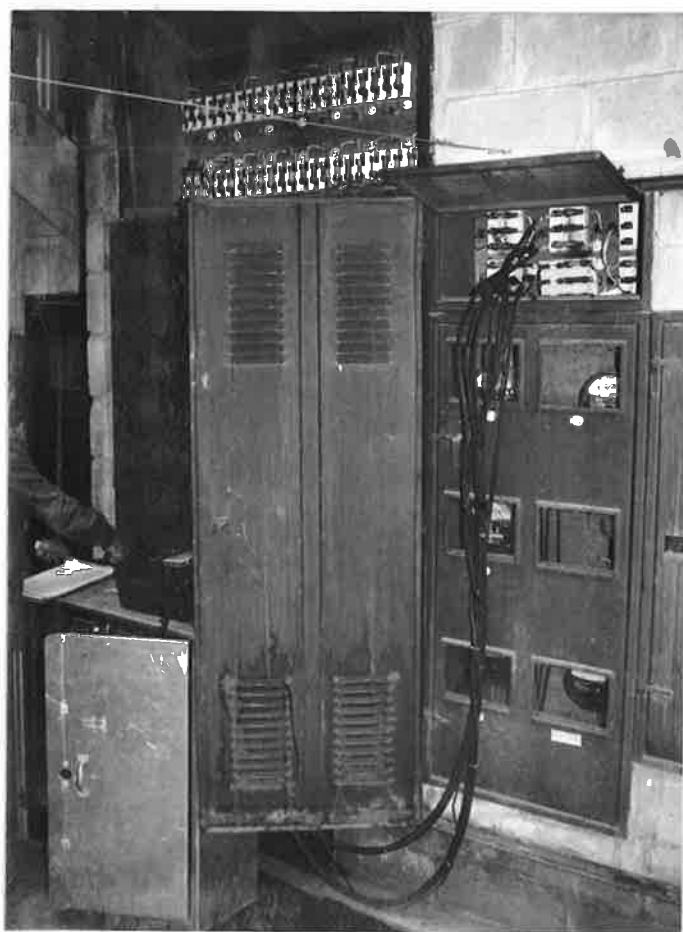
No que diz respeito ao número de apartamentos monitorados, foi aproveitado o fato de o RDTD possuir três canais independentes, podendo-se registrar dados de natureza diferente através de cada um deles. No caso da campanha de medidas, os três canais foram utilizados para o registro de pulsos elétricos, relativos às demandas de três apartamentos de cada vez.

O intervalo de registro da demanda e da tensão foi o minuto, por duas razões. Em primeiro lugar, a massa de dados coletada em uma semana está limitada à capacidade de memória do registrador utilizado (64 kb), o RDTD (Registrador Digital para Tarifa Diferenciada). Em segundo, para finalidades da pesquisa, como

estimativa de tempo médio de banho, o minuto é um intervalo necessário e suficiente para garantir a precisão de cálculos posteriores.

A medida de demanda deu-se nos quadros de distribuição e medida dos apartamentos, localizados ao longo do pavimento térreo do bloco. As ligações são ilustradas nas Figuras 3.7 e 3.8.

Figura 3.7 - Ligações dos aparelhos de medida aos circuitos de alimentação dos apartamentos.



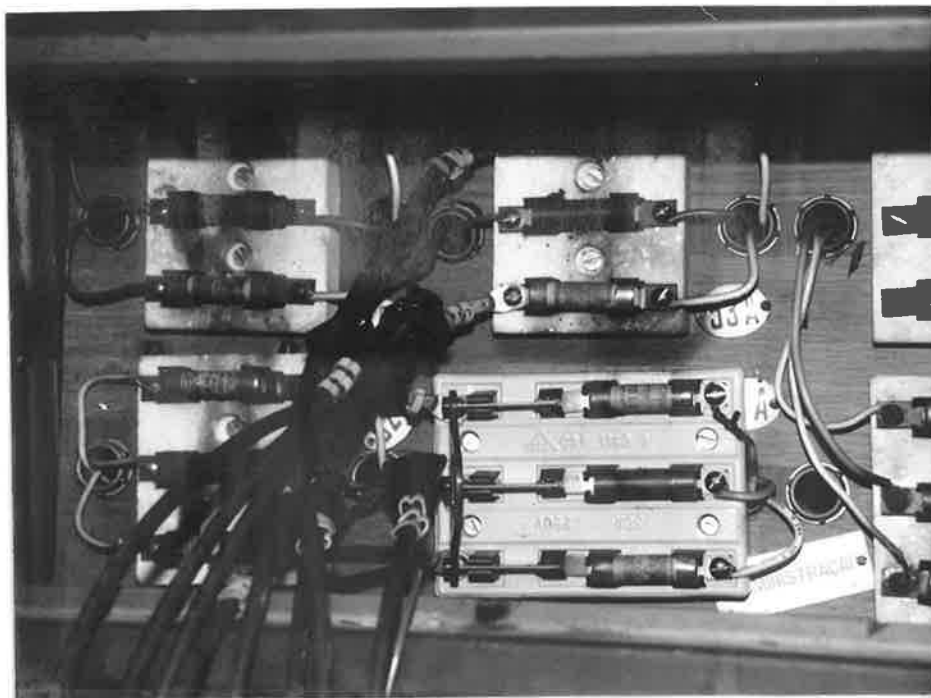


Figura 3.8 - Detalhes das ligações

A parte da campanha de medidas é realmente a mais difícil da pesquisa em relação à aplicação de questionários. Enquanto que para esta última atividade emprega-se uma escolha aleatória de blocos e de apartamentos, a decorrência desta metodologia para a campanha de medidas conduz a problemas operacionais.

Ocorre que, uma vez realizadas as entrevistas em determinados apartamentos, os registros das curvas de cargas deveriam ser feitos sobre as mesmas unidades habitacionais, para finalidade de estabelecer correlações entre variáveis como demanda máxima e potência instalada, por exemplo. Mas um bloco de apartamentos possui até quatro caixas de distribuição e medidas, dispostas

longitudinalmente no pavimento térreo e o comprimento dos cabos dos arranjos de medidas é limitado, não alcançando nem mesmo duas caixas contíguas, conforme pode ser observado na Figura 3.7.

Tratava-se, então, de encontrar em uma caixa de distribuição e medidas três apartamentos entrevistados, ou seis, ou nove, porque o RDTD possuía três canais que deveriam ser aproveitados ao máximo no seu prazo disponível de utilização. Neste contexto, foi possível monitorar 130 dos apartamentos entrevistados.

Este não é um problema de planejamento, mas sim uma injunção de duas atividades de caráter distinto. Enquanto que a escolha de apartamentos para aplicação de questionários deve ser aleatória, o arranjo de medidas exige a proximidade dos circuitos de alimentação dos apartamentos, ou melhor, ele determina quais os apartamentos possíveis de serem monitorados.

Dentro das condições operacionais estabelecidas, de comprimento dos cabos na campanha de medidas, fazer com que os arranjos acompanhassem todos os apartamentos escolhidos aleatoriamente, para a aplicação dos questionários, levaria muito tempo, porque canais não seriam utilizados quando um só apartamento entrevistado (ou até dois) fosse localizado em uma caixa de distribuição. Isto consistiria em um esbanjamento de recursos a que uma pesquisa científica ou tecnológica não pode se dar ao luxo, ainda mais em um país pobre como o Brasil.

Para fazê-lo, foram elaborados os melhores cronogramas de

percurso, conexão e desconexão das sete caixas metálicas pelos circuitos dos apartamentos, procurando maximizar o número de unidades a serem monitoradas no prazo previsto. Este planejamento exigiu a localização da caixa de distribuição a que pertencia cada apartamento, dos 246 entrevistados, e depois a minimização do trajeto de cada caixa.

O arranjo de aparelhos dentro de uma caixa metálica, conforme podem ser observados individualmente nas Figuras 3.9, 3.10 e 3.11 e, em conjunto na Figura 3.12, era acoplado simultaneamente às instalações de três apartamentos.



Figura 3.9 - Kilowatt-horâmetro utilizado na medida

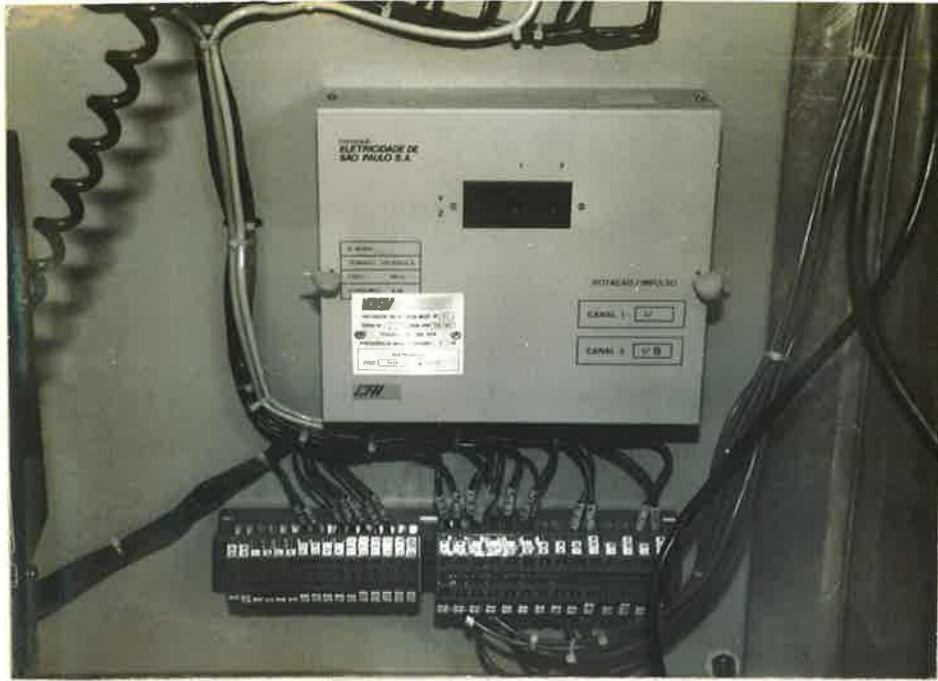


Figura 3.10 - Iniciador de Pulsos

Figura 3.11 - Registrador Digital para Tarifa Diferenciada (RDTD)



Figura 3.12 - Conjunto de aparelhos para medida da demanda.



Os três medidores, cada um ligado ao circuito de um apartamento, enviam sinais ao Iniciador de Pulsos, que os remete ao RDID, onde é realizada a integração a cada minuto. Este aparelho, apesar de conter três canais, possui calendário e programa comuns às três entradas. O aparelho é a cada vez reinicializado pelo operador que digita o momento de início dos registros, com precisão de minutos, e a data atual em dia, mês e ano. Antes desta operação, evidentemente, era necessário ler os dados das curvas de carga dos apartamentos anteriores, atividade esta realizada com a leitora portátil que pode ser vista na Figura 3.13.



Figura 3.13 - Leitora de dados

Semanalmente, então, fitas cassete eram enviadas dos três conjuntos habitacionais selecionados para o setor de medidas da Eletropaulo, que transferia os arquivos para uma fita padrão IBM, passível de ser lida por computadores de grande porte.

Depois de terminada a campanha de medidas e transferido o último arquivo de fita cassete, a fita padrão IBM foi levada para o CCE - USP (Centro de Computação Eletrônica da Universidade de São Paulo). Os dados foram processados nos computadores Burroughs 7900 e IBM 4381, que já tinham sido utilizados no processamento dos dados dos questionários.



### 3.5 PROCESSAMENTO DE DADOS

A primeira atividade com os dados da campanha de medidas foi a identificação dos três apartamentos que tiveram suas curvas de carga registradas nos três canais do RDTD e reunidas em um só arquivo. Junto com os dados de inicialização encontravam-se outros parâmetros, como momento de início de ponta, número do RDTD, fatura, etc, necessários à sua utilização original, que é a tarifação horo-sazonal, mas absolutamente dispensáveis para as finalidades da pesquisa.

De todo o "cabeçalho" criado pelo RDTD, interessavam a data e horário de inicialização do aparelho, que foram retidos, antes da eliminação do restante, para que sobrassem apenas os pulsos elétricos dos três apartamentos em cada arquivo.

A partir das datas, horários de inicialização e os registros de pulsos, o próximo passo consistiu em elaborar e aplicar aos arquivos um programa que realizava as seguintes atividades:

- separação dos canais em três campos de demandas no banco de dados;
- transformação dos pulsos em demanda de energia elétrica, através da multiplicação por constantes fornecidas pela Eletropaulo;
- criação de um campo de horário, com o acréscimo de um minuto, após a leitura de cada grupo de três canais, a partir do instante de inicialização;

- criação de um campo de dia da semana, considerando-se a data de inicialização e a contagem de minutos.

De modo análogo, foram organizados os registros de tensão realizados na entrada do bloco de apartamentos. A esta altura, por assim dizer, o conjunto de dados da pesquisa estava preparado para o início do processamento de maior interesse.

De acordo com o que se disse anteriormente, há dois tipos de informações: aquelas com origem nos questionários e as das medidas. Em pesquisas do gênero já realizadas, a metodologia empregada muitas vezes consistiu em tomar o primeiro tipo de informações para confirmar os resultados da medida e deavendar a participação dos aparelhos elétricos da habitação na demanda, conforme os horários de utilização fornecidos pelos moradores e as respectivas potências nominais.

Embora entre os objetivos de todas as pesquisas esteja a racionalização do uso da energia, a linha adotada neste trabalho é um pouco diferente da indicada no parágrafo anterior. Uma vez que em habitações de interesse social o único aparelho com potência nominal elevada, efetivamente presente, é o chuveiro elétrico, a prioridade é o seu estudo. Assim, o cruzamento de informações entre dados de questionários e de medida visou estabelecer sua influência na demanda.

Separadamente, enquanto os dados dos questionários servem para o projeto das instalações elétricas, no que se refere à necessidade

de pontos de iluminação, tomadas, divisão de circuitos e detecção de falhas hoje existentes, já os dados de medida são úteis para o dimensionamento de condutores e dispositivos de proteção.

Além disso, o processamento dos dados de medida pode fornecer uma estimativa do peso do setor residencial na demanda do período de ponta. Tendo em conta a possibilidade de substituição de vetores energéticos para aquecimento de água, alguns cálculos foram efetuados para avaliar o efeito de uma ação do gênero nesta demanda.

Entre todos os tipos de processamentos realizados com os dados, um deles consistiu no estudo da correlação de variáveis, a fim de verificar dependências entre as mesmas. Esta maneira de interpretar os dados é descrita no item a seguir.

### 3.6 REGRESSÃO MÚLTIPLA

A regressão múltipla é uma técnica estatística voltada para a análise da relação entre uma variável dependente e um conjunto de variáveis independentes. Trata-se de uma ferramenta descritiva para resumir ou decompor a dependência linear de uma variável em relação a outras.

No caso desta pesquisa, as variáveis dependentes que mais interessam são o consumo e a demanda de energia elétrica, por serem necessárias ao planejamento energético e ao projeto de instalações prediais. Deixando para o próximo capítulo os

resultados, nos parágrafos a seguir é feita uma breve explanação dos fundamentos teóricos da regressão múltipla, de acordo com os procedimentos do programa de computador utilizado para esta finalidade, o *Statistical Package for the Social Sciences*.

Em uma análise de regressão simples, os valores da variável dependente são previstos por uma função da seguinte forma:

$$y' = A + Bx \quad (3.23)$$

onde  $y'$  é o valor estimado da variável dependente  $y$ . 'A' é a constante onde a reta de regressão intercepta o eixo das ordenadas e 'B' é o coeficiente pelo qual se multiplica os valores da variável independente, ou a inclinação da reta. A Figura 3.14 ilustra um caso genérico de regressão linear simples, que serve de referência também para o desenvolvimento a seguir.

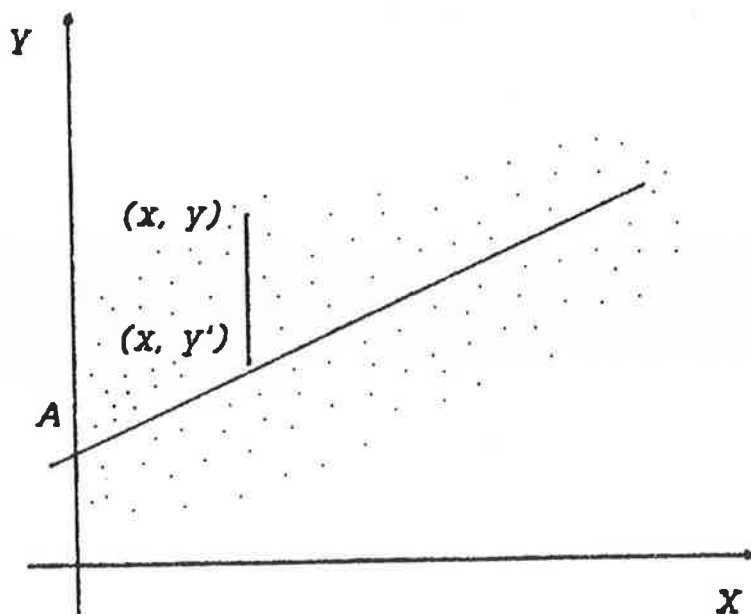


Figura 3.14 - Regressão Linear Simples

A diferença entre o valor assumido pela variável dependente e o seu valor previsto é chamada de resíduo ( $y - y'$ ). A estratégia da regressão implica na escolha adequada dos parâmetros A e B, tais que se obtenha:

$$\sum (y - y') = \text{mínimo} \quad (3.24)$$

Demonstra-se que os valores ótimos de A e de B, na equação de regressão, são obtidos por:

$$B = \frac{\sum (x - \bar{x}) (y - \bar{y})}{\sum (x - \bar{x})^2} = \frac{SP_{xy}}{SS_x} \quad (3.25)$$

A estimativa dos mínimos quadrados, por definição, garante que:

- a variação residual na variável dependente  $y$  será minimizada quando a previsão é feita através da reta de regressão;
- os valores previstos  $y'$  e os valores residuais  $(y - y')$  serão mutuamente independentes.

Pode ser feita a extensão dos princípios básicos da regressão simples acima expostos à regressão múltipla, envolvendo mais de uma variável independente, cuja equação toma a forma seguinte:

$$y' = A + B_1 x_1 + B_2 x_2 + \dots + B_k x_k \quad (3.26)$$

Pois bem, a proporção da variância de  $y$  explicada, ou seja, o ajuste da equação de regressão, pode ser avaliado pelo exame do quadrado da correlação múltipla, dado por:

$$R^2 = \frac{SS_y - SS_{res}}{SS_y} = \frac{SS_{reg}}{SS_y} \quad (3.27)$$

'R', o coeficiente de correlação múltipla, em outras palavras, mede a relação entre a variação da variável dependente ( $y$ ), explicada pela influência linear combinada de variáveis independentes, e a variação total da variável dependente.

O método de regressão múltipla aqui utilizado é denominado *Stepwise*, que consiste em indicar ao programa a variável dependente e um conjunto de variáveis independentes a serem analisadas. O programa realiza uma ordem de inclusão das variáveis independentes na equação, conforme a importância de cada uma, segundo critérios estatísticos aplicados sobre os dados. Caso uma ou mais variáveis não satisfaçam os requisitos, elas não farão parte da equação.

Uma vez de posse da constante  $A$  e dos coeficientes  $B_k$  de multiplicação das variáveis independentes na equação de regressão, o coeficiente de correlação múltipla,  $R$ , traduz a porcentagem dos casos explicados por aquela equação, de modo a fornecer um indicador de sua qualidade.

Em resumo, este é o procedimento da análise de regressão múltipla. Há outros parâmetros da análise de qualidade de uma tal regressão que não interessam no caso, pois muitas vezes esta ferramenta é utilizada mais para mostrar que não existe correlação entre determinadas variáveis do que para mostrar que existe uma correlação. Os resultados da aplicação deste método ao consumo e à demanda de energia elétrica da habitação, em sua relação com outras variáveis, são apresentados no Capítulo 4.

Além das técnicas estatísticas acima descritas, que objetivam a análise de dados da pesquisa de um modo global, há ainda uma outra formulação, restrita ao interesse particular deste trabalho, que é o uso de água quente nas habitações de interesse social. Trata-se do exame probabilístico das durações dos banhos ocorridos durante a medida.

### 3.7 DURAÇÕES DE BANHOS

#### 3.7.1 MEDIDAS E ARQUIVOS

Por ser um item de participação significativa no consumo e na demanda de energia, o aquecimento de água residencial constitui um tópico essencial de programas de conservação de energia colocados em prática em qualquer país. Os dados globais apresentados no Capítulo 1 mostram a importância desta utilização da energia e o futuro desenvolvimento tecnológico dos aparelhos de aquecimento de água, no sentido da adequação às necessidades do usuário, pode reduzir os desperdícios.

Evidentemente, os dados obtidos nesta pesquisa referem-se apenas a uma forma de aquecimento de água, que é a do chuveiro elétrico. Outras formas de aquecimento, como a por acumulação, colocam a água quente no ponto de utilização a uma temperatura superior a de uso, quando então ela é misturada com água fria. Pode-se dizer, aproximadamente, que o usuário tem água quente na quantidade e temperatura que desejar.

No caso do chuveiro elétrico não existe todo este conforto, porque temperatura e vazão são inversamente proporcionais, já que estão limitadas por um valor de potência nominal do aparelho. Assim, a transposição de durações de banhos obtidas em uma forma de aquecimento para outra forma, na medida em que pode implicar em uma mudança de comportamento do usuário, precisa ser feita com ressalvas.

No que se refere à maneira de obtenção das durações de banhos, em primeiro lugar, fez-se uma inspeção dos registros das curvas de carga. Os arquivos de demanda de energia elétrica das habitações revelaram que não há demandas elevadas (maiores que 3,4 kw, que é a potência nominal do chuveiro com a chave de regulagem na posição "verão) com longas durações, tais como as que ocorrem para iluminação e lazer, empregando aparelhos de pequena potência nominal. Daí vem a hipótese de que as demandas elevadas são função do aquecimento de água através do chuveiro elétrico.

Assim, o programa de computador utilizado para a primeira etapa do estudo das durações dos banhos efetuou contagens do tempo



(minutos) contínuo em que a demanda era maior do que 3,4 kW em cada curva de carga dos apartamentos da medida. Os dados de saída deste programa foram armazenados em um arquivo para receber um estudo específico.

Como o RDTD realizou a integração dos pulsos no minuto para fornecer os valores de demanda, os intervalos de tempo menores que esta unidade, no início e no fim do banho, registravam valores menores do que 3,4 kW. Porém, nestes instantes a demanda era maior ou igual a este valor, porque o aparelho estava funcionando com toda sua potência nominal.

A minimização deste erro consistiu em somar 1 minuto a todas as durações de banho. Como a menor duração era de 1 minuto, depois desta medida, ela passou a ser de 2 minutos. Pode-se argumentar que mesmo 2 minutos são uma duração muito pequena para banhos. Na realidade, esta duração é explicada pelo uso do chuveiro elétrico (ou torneira elétrica, eventualmente) para outras finalidades que não o banho propriamente dito, mas que empreguem água quente.

O que interessa de fato é que ocorrem tais utilizações e, para efeito de simplicidade, elas foram denominadas durações de banhos. Em uma primeira observação pode ser notado que os dados do arquivo de durações de banho não obedecem a uma distribuição normal, mas sim a uma exponencial, conforme Tabela 3.3 a seguir.

Tabela 3.3 - Valores de frequências observadas de durações de banhos - COHAB/SP - 1988

Tempo de banho (minutos)	Frequência Observada Absoluta	Tempo de banho (minutos)	Frequência Observada Absoluta
2	802	20	20
3	504	21	27
4	410	22	11
5	330	23	26
6	340	25	14
7	260	26	8
8	212	27	5
9	183	28	11
10	152	29	2
11	108	30	2
12	102	31	2
13	91	32	2
14	64	33	3
15	55	34	4
16	49	36	3
17	32	37	1
18	23	42	2
19	27	44	1

Foi necessário então estabelecer uma curva teórica para poder afirmar, por exemplo, que 95%, 99% ou 99,9% dos banhos têm duração abaixo de um determinado tempo. Note-se que a simples consideração da frequência acumulada observada, para o estabelecimento das margens de confiança acima, poderia levar a erros devidos a ausência fortuita de algumas durações ou a uma "rugosidade" natural dos dados. Daí a necessidade da formulação teórica que segue [Bussab & Herdeiro, 1990].

### 3.7.2 AJUSTE DA FUNÇÃO DE DENSIDADE DE PROBABILIDADE

Para obter-se as durações desejadas, o percurso teórico começou com o ajuste de uma curva de Pearson [Pearson, 1948], sendo

complementado com [Elderton & Johnson, 1969], que detalham os procedimentos matemáticos necessários da passagem da massa de dados à curva. Esta é estimada pelas frequências observadas e representa a função densidade de probabilidade das durações de banhos.

Uma vez de posse da curva, a determinação das margens de confiança é simples. As curvas de Pearson consideram que as distribuições de frequências geralmente começam com um valor máximo, ou começam com zero atingindo um máximo, decaindo eventualmente com taxas diferentes, atingindo frequências nulas no final. Dessa maneira, matematicamente, uma curva do tipo  $y = f(x)$ , representando as distribuições de frequência ou suas densidades de probabilidades, deve ter sua derivada  $dy/dx = 0$  para certos valores de  $x$ , no máximo ou no final da curva, onde há contato com o eixo  $x$ .

Pearson propõe então que as distribuições devem satisfazer a equação diferencial dada por:

$$\frac{d \log y}{d x} = \frac{x + a}{b_0 + b_1 x + b_2 x^2} \quad (3.28)$$

A integração da equação da (3.28) leva a outra, do tipo  $y = f(x)$ , que pode representar vários tipos de equação para uma distribuição de frequências, ou função densidade de probabilidade, entre outros tipos, uma curva normal, exponencial, gama ou beta. A forma da integral depende dos valores particulares dos coeficientes de  $x$  no denominador. Também o tipo de curva resultante depende dos quatro

primeiros momentos da distribuição de frequências observada. São eles:

$$\mu_1 = \frac{\sum x_i}{n} \quad (\text{média}) \quad (3.29)$$

$$\mu_2 = \frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n} \quad (\text{variância}) \quad (3.30)$$

$$\mu_3 = \frac{\sum (x_i - \bar{x})^3}{n} \quad (3.31)$$

$$\mu_4 = \frac{\sum (x_i - \bar{x})^4}{n} \quad (3.32)$$

onde  $x_i$  representa cada tempo de banho observado e  $\bar{x}$  a média  $\mu_1$ .

Com os valores dos quatro momentos devem ser calculados  $b_1$  e  $b_2$  através das fórmulas:

$$b_1 = \frac{(\mu_3)^2}{(\mu_2)^3} \quad (3.33)$$

$$b_2 = \frac{\mu_4}{(\mu_2)^2} \quad (3.34)$$

sendo  $\sqrt{b_1}$  o coeficiente de assimetria (*Skewness*) e  $(b_2 - 3)$  o coeficiente de achatamento (*Kurtosis*).

Existe um gráfico de  $b_1$  contra  $b_2$  [Pearson, 1931], onde as regiões

determinam os tipos de curvas originados pelos dados e cada curva possui um roteiro para a estimativa dos seus parâmetros. De acordo com a Tabela 3.3, tem-se os seguintes valores para os parâmetros indicados acima:

$$\mu_1 = 6,75;$$

$$\mu_2 = 28,88;$$

$$\mu_3 = 305,85;$$

$$\mu_4 = 6954,08;$$

$$b_1 = 3,88 \quad e$$

$$b_2 = 8,34.$$

Segundo a última referência, os valores de  $b_1$  e de  $b_2$  são adequados para uma curva de Pearson do Tipo I. Elderton & Johnson propõem o valor de um coeficiente para a determinação do tipo de curva, como segue:

$$k = \frac{b_1(b_2 + 3)^2}{4(4b_2 - 3b_1)(2b_2 - 3b_1 - 6)} \quad (3.35)$$

onde, substituindo os valores, encontra-se  $k = -5,00$ , que, quando negativo, representa uma curva do Tipo I.

Estas curvas são reguladas pela equação:

$$y = y_0 \left[ 1 + \frac{x - \mu_1}{A_1} \right]^{m_1} \left[ 1 - \frac{x - \mu_1}{A_2} \right]^{m_2} \quad (3.36)$$

com  $(-A_1 < x < A_2)$ , para que  $y$  seja positivo;

sendo:

$$y_0 = \frac{1}{(A_1 + A_2)} \frac{(m_1 + 1)^{m_1} (m_2 + 1)^{m_2}}{(m_1 + m_2 + 2)^{m_1 + m_2}} \frac{\Gamma(m_1 + m_2 + 2)}{\Gamma(m_1 + 1) \Gamma(m_2 + 1)} \quad (3.37)$$

Esta constante  $y_0$  surge para que a integral da equação (3.36), estimada em todo o seu domínio, seja igual a 1, requisito das funções de densidade de probabilidade. Daí a função  $\Gamma(a)$ , que é o valor da função gama no ponto  $a$ , encontrada em tabelas ou calculada por rotinas específicas de programas de computadores [IMSL Inc., 1981].

A solução da equação (3.36) passa pelas etapas descritas a seguir. Em primeiro lugar, devem ser calculados os parâmetros  $r$ ,  $A_1$  e  $A_2$ , de modo que:

$$r = \frac{6(b_2 - b_1 - 1)}{(6 + 3b_1 - 2b_2)} \quad (3.38)$$

$$A_1 + A_2 = \frac{1}{2} \sqrt{\mu_2} \sqrt{[b_1(r + 2)^2 + 16(r + 1)]} \quad (3.39)$$

sendo os valores de  $m_1$  e  $m_2$  dados por:

$$m_1 = \frac{1}{2} \left[ r - 2 - r(r + 2) \sqrt{\frac{b_1}{b_1(r + 2)^2 + 16(r + 1)}} \right]$$

(3.40)

$$m_2 = \frac{1}{2} \left[ r - 2 + r(r + 2) \sqrt{\frac{b_1}{b_1(r + 2)^2 + 16(r + 1)}} \right]$$

(3.41)

E, por fim, os valores de  $A_1$  e  $A_2$  obedecem a relação:

$$\frac{(m_1 + 1)}{A_1} = \frac{(m_2 + 2)}{A_2}$$

(3.42)

De acordo com os dados da Tabela 3.3 e os cálculos já efetuados, vem:

$$\begin{aligned} r &= 21,26; \\ m_1 &= -0,20; \\ m_2 &= 10,48; \\ A_1 &= 5,02; \\ A_2 &= 128,19; \\ y_0 &= 0,065; \end{aligned}$$

tornando-se a equação (3.36) a função densidade de

probabilidade, com origem na média, para os dados das durações de banho:

$$y = 0.065 \left[ 1 + \frac{x - 6.75}{5.02} \right]^{-0.20} \left[ 1 - \frac{x - 6.75}{128.19} \right]^{19.46} \quad (3.43)$$

com domínio:  $1.74 < x < 134.94$ .

Segundo os mesmos autores, quando  $m_1 < 0$  e  $m_2 > 0$ , é sugerido que a função estimada com origem no começo da curva seja:

$$y = y^* \cdot x^{m_1} (A_1 + A_2 - x)^{m_2} \quad (3.44)$$

onde:

$$y^* = \frac{1}{(A_1 + A_2)^{m_1 + m_2 + 1}} \frac{\Gamma(m_1 + m_2 + 2)}{\Gamma(m_1 + 1) \Gamma(m_2 + 1)} \quad (3.45)$$

De acordo com os mesmos dados, esta aproximação leva à função densidade de probabilidades a seguir:

$$y = \frac{9.59}{(133.20)^{20.26}} (x - 2)^{-0.20} (135.20 - x)^{19.46} \quad (3.46)$$

com domínio:  $2.00 < x < 135.20$ .



Para cada tempo de banho  $x_i$  da Tabela 3.3, foram calculadas as frequências relativas esperadas, segundo as funções densidade de probabilidades (3.43) e (3.46). Estas frequências foram multiplicadas pelo número total de banhos da amostra (3888), obtendo-se a Tabela 3.4. A Figura 3.15 mostra a curva das frequências observadas de durações de banhos ao lado da curva de frequências esperadas conforme a equação (3.43).

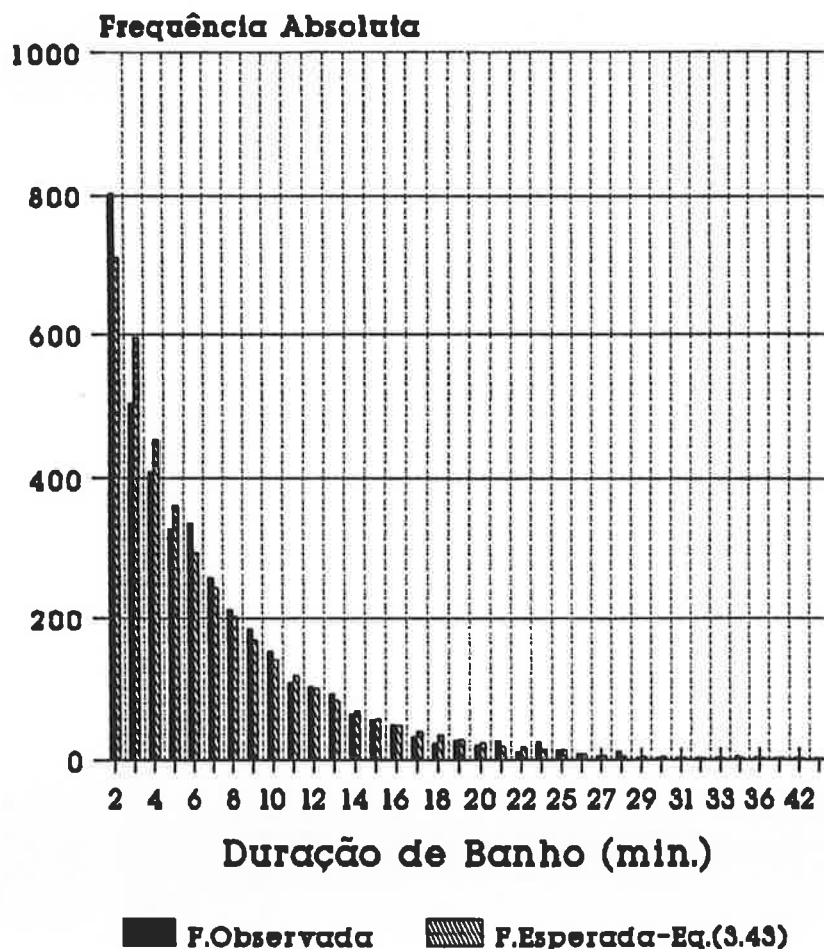


Figura 3.15 - Curvas de distribuição de frequências observadas de durações de banhos e de distribuição de frequências esperadas, a partir da equação estimada (3.43).

Tabela 3.4 - Valores de frequências esperadas de durações de banhos

Tempo de banho (minutos)	Frequência Esperada Absoluta <sup>5</sup>	Frequência Esperada Absoluta <sup>6</sup>
2	711	515
3	508	650
4	455	485
5	364	386
6	297	312
7	245	256
8	202	212
9	168	177
10	140	147
11	117	123
12	98	103
13	82	86
14	69	72
15	58	60
16	48	51
17	40	42
18	34	35
19	28	30
20	24	25
21	20	21
22	16	18
23	19	20
25	15	16
26	8	8
27	6	7
28	5	6
29	4	5
30	4	4
31	3	3
32	2	3
33	2	2
34	2	2
36	2	1
37	2	2
42	1	2
44	1	1

5 - Frequência esperada segundo a equação (3.43)  
 6 - Frequência esperada segundo a equação (3.46)

Como a função (3.46) estimada, com origem no começo da curva, é definida apenas para durações de banho maiores do que 2 minutos e a função (3.43) admite valores a partir de 1,74 minutos, esta última parece mais conveniente para a representação da função densidade de probabilidade das durações de banho amostradas, na medida em que incorpora durações menores do que 2 minutos, passíveis de ocorrer. Na realidade, esta escolha não é de grande importância, pois para as margens de confiança desejadas, as diferenças entre os resultados das duas curvas estimadas são muito pequenas.

### 3.7.3 FUNÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO ACUMULADA E RESULTADOS

Uma vez construída a função densidade de probabilidade estimada, as margens de confiança de que as durações de banho estarão abaixo de um determinado valor, são obtidas através da integração desta função desde o início do domínio até um certo valor  $x$  correspondente à margem de confiança desejada. Ou melhor, procura-se o valor de duração de banho para o qual a integral da função densidade de probabilidade estimada, da menor duração do domínio até este valor desejado, seja igual à probabilidade associada a cada uma das margens de confiança fixadas.

Devido à dificuldade de obtenção de uma primitiva (função de distribuição acumulada) para a função estimada de densidade de probabilidade (3.43), com domínio  $1.74 < x < 134.94$ , foi realizada a integração numérica desta função, de acordo com as etapas a seguir:

- i) o domínio  $1,74 < x < 134,94$  foi dividido, tomando-se passo  $p$  de 0,13 a partir do ponto 1,74 e determinando-se os 1001 pontos:  $x_0 = 1,74$ ;  $x_1 = 1,74 + p$ ;  $x_2 = 1,74 + 2p$ ;  $x_{1000} = 1,74 + 1000p = 134,94$ , que partilham o domínio em 1000 intervalos ordenados de tamanhos iguais;
- ii) através de procedimento de integração numérica, foram calculadas as integrais entre os 1000 intervalos ordenados  $[x_{i-1}, x_i]$ ,  $i = 1, 2, \dots, 1000$ , da função densidade de probabilidade estimada, que representam a probabilidade estimada de uma duração de banho estar no intervalo  $[x_{i-1}, x_i]$ ;
- iii) o valor obtido para cada intervalo é somado aos valores obtidos para os intervalos anteriores e este valor acumulado fornece a probabilidade da duração de banho ser menor do que a duração  $x_i$ ;
- iv) as durações correspondentes às margens de interesse são obtidas interpolando-se as duas durações de banho com probabilidade acumulada imediatamente acima e abaixo da margem de confiança desejada;

Para o cálculo da integral de uma função entre dois pontos foi utilizado programa de computador [IMSL Inc., 1981], aplicado ao cálculo das integrais da função densidade de probabilidade estimada para as durações de banho, em cada um dos 1000 intervalos. Os resultados de maior interesse são apresentados na

Tabela 3.5.

Tabela 3.5 - Durações de banhos correspondentes a margens de confiança obtidas a partir da função densidade de probabilidade estimada.

Margem de confiança (%)	Duração de banho (minutos)
25,0	2,9
50,0	5,0
60,0	6,2
70,0	7,8
75,0	8,8
80,0	10,0
85,0	11,5
90,0	13,9
95,0	17,7
99,0	26,2
99,9	37,5

Dessa maneira, tem-se como resultado, por exemplo, que a duração de banho de 26.2 minutos é maior do que 99.0% das durações de banho, valendo conclusões análogas para as outras linhas da Tabela 3.5. Além disso, a duração média de banho encontrada é de aproximadamente 7 minutos, resultado coerente com os valores enunciados no Capítulo 1.

Com isto, termina aqui a formulação estatística mais extensa, cujos resultados servirão como subsídio a outros trabalhos futuros sobre o aquecimento de água residencial, enquanto mais pesquisas específicas não vierem a ser realizadas. Outros dados e resultados obtidos, que vão desde a caracterização social dos moradores do conjunto habitacional até a maneira como são utilizadas as instalações elétricas da habitação, passando pelas estatísticas de consumo e de demanda, foram colocados no Capítulo 4.

## CAPÍTULO 4 - RESULTADOS OBTIDOS<sup>1</sup>

Neste capítulo são apresentados não apenas os principais resultados da pesquisa realizada junto à COHAB/SP [EPUSP-PCC/CEF, 1989], como também são feitos comentários e algumas comparações com dados obtidos por outros autores. Volta-se para o estudo dos moradores, do desempenho das atuais instalações elétricas, do consumo e da demanda de energia elétrica nas habitações.

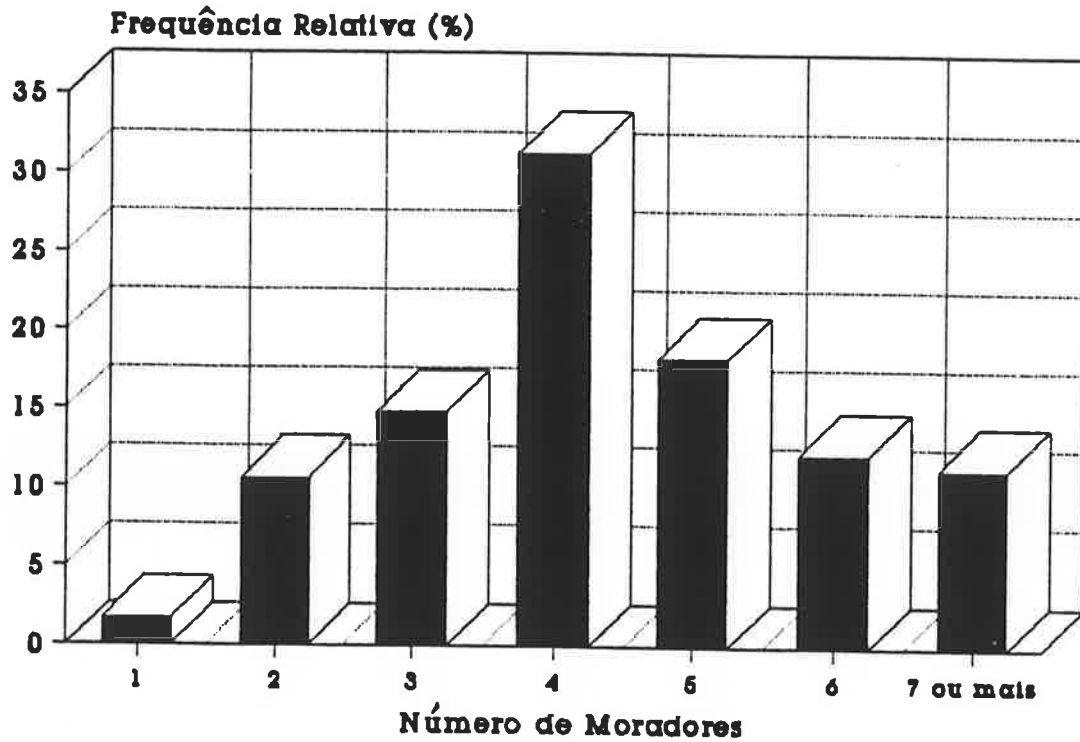
### 4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MORADORES

O número de moradores da habitação pode influir no seu consumo e demanda de energia elétrica. É uma estatística importante para o estabelecimento dos valores per capita, base para o planejamento energético. No caso dessas habitações, este número é bastante variado como pode ser observado na Figura 4.1.<sup>1</sup>

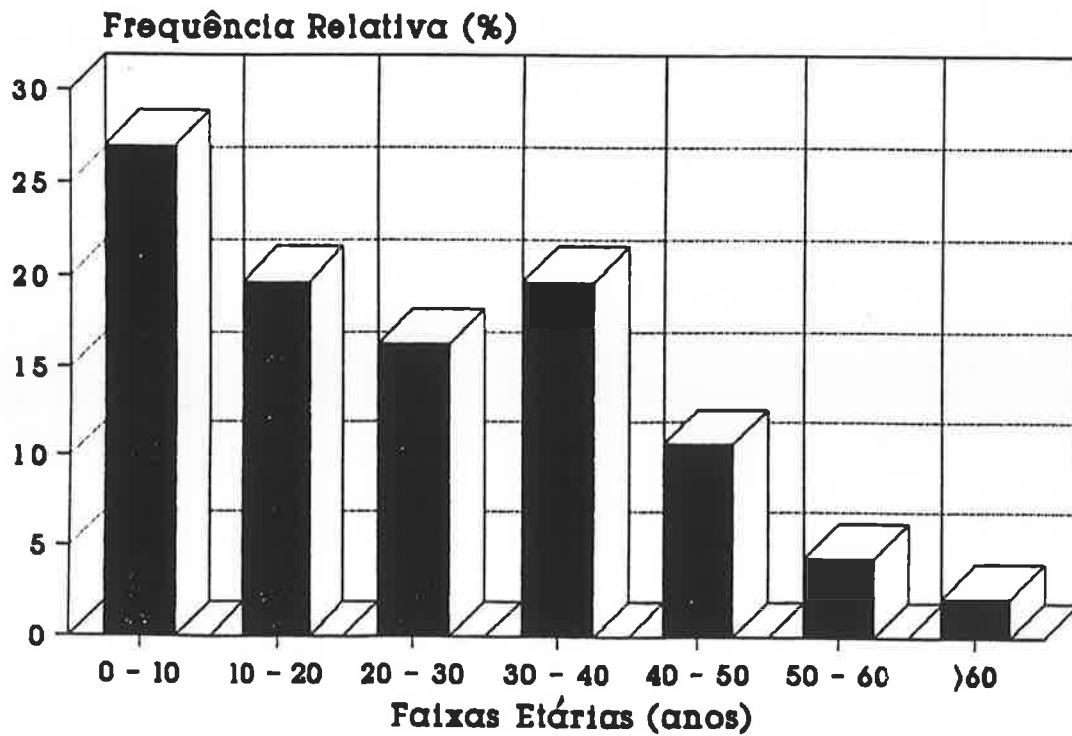
Com moda de 4 habitantes, há uma distribuição extensa de frequências, chegando-se a encontrar até 10, ficando a média em torno de 4.5 moradores/habitação. Do total, 50.7% são mulheres e 49.3% são homens.

Trata-se de uma população bastante jovem, conforme pode ser observado na Figura 4.2. As Figuras 4.3 e 4.4 ilustram condições sociais como nível de instrução e distribuição de profissões.

<sup>1</sup> - As figuras deste capítulo, que contém distribuições de frequências relativas, foram elaboradas a partir das Tabelas referentes ao Capítulo 4 do Anexo II, todas com origem na pesquisa realizada.



**Figura 4.1 - Distribuição do Número de moradores por habitação  
- COHAB/SP - 1987 -**



**Figura 4.2 - Distribuição da população por faixas etárias  
COHAB/SP - 1987**

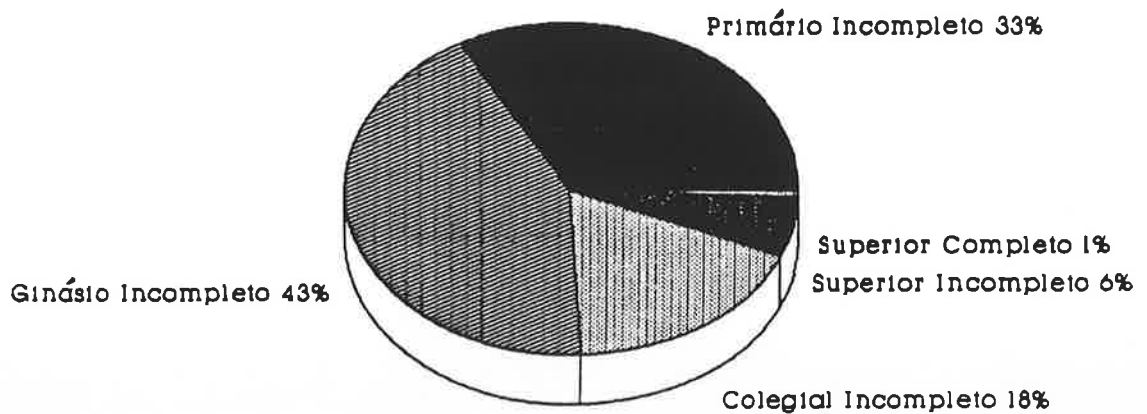


Figura 4.3 - Nível de Instrução da população da COHAB/SP - 1987

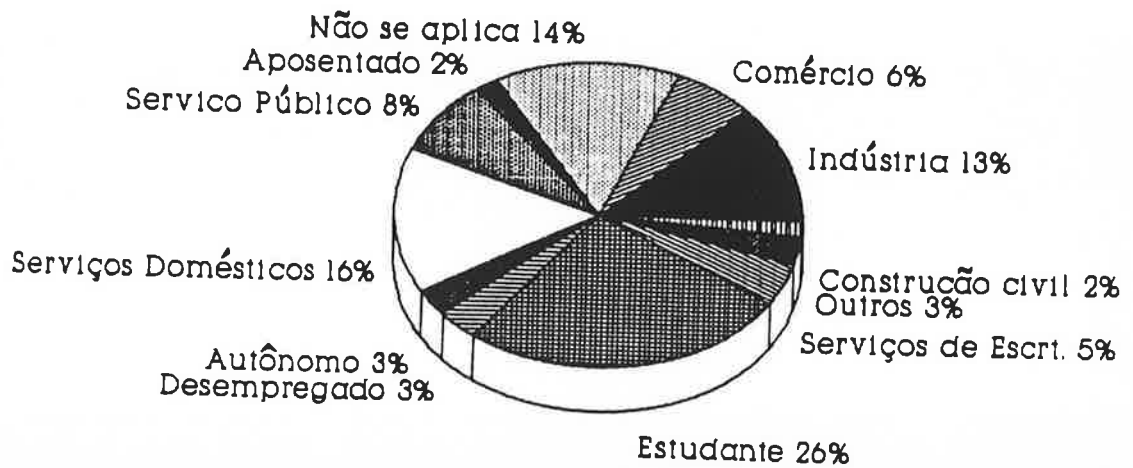


Figura 4.4 - Distribuição da população por profissões - COHAB/SP - 1987

Os dados sociais apresentados são típicos de populações de um país como o Brasil: a população jovem é um indicio de que a parcela economicamente ativa é pequena. O nível de instrução como um todo é baixo, o que vai refletir na distribuição de profissões.



Na Figura 4.4, acima, a parcela de 26% de estudantes refere-se majoritariamente ao 1º e 2º graus e não ao nível superior. Deve-se notar ainda que as funções ocupadas dentro de cada setor, como indústria, comércio, etc, não consistem em padrões de qualificação elevados.

Imediatamente depois de fornecer a profissão de cada morador, o entrevistado informava também os períodos de ausência da habitação de cada um deles. O processamento dos dados apontou que, durante a tarde em dias úteis, 35% dos moradores, geralmente as crianças, permanecem na habitação. Este dado é importante para a forma ideal de aquecimento de água, a ser estudada no próximo capítulo.

Em sua maioria absoluta, esta população tinha como moradia anterior "casa". Isto quer dizer que não se deve esperar grandes diferenças de comportamento na utilização de energia elétrica por parte destes usuários, porque deste ponto de vista, casa e apartamento são semelhantes. Já poderia não ocorrer o mesmo para pessoas com origem em favelas e cortiços. Mas essa população não mora nos apartamentos há tanto tempo. A Figura 4.5 mostra a situação.

A maioria reside ali há menos de 6 anos, o que é um número pequeno comparado a valores médios de vida útil das instalações elétricas (20 anos) ou das edificações (50 anos). A média do tempo de moradia é de 4 anos, situando-se a moda entre 4 e 6 anos.

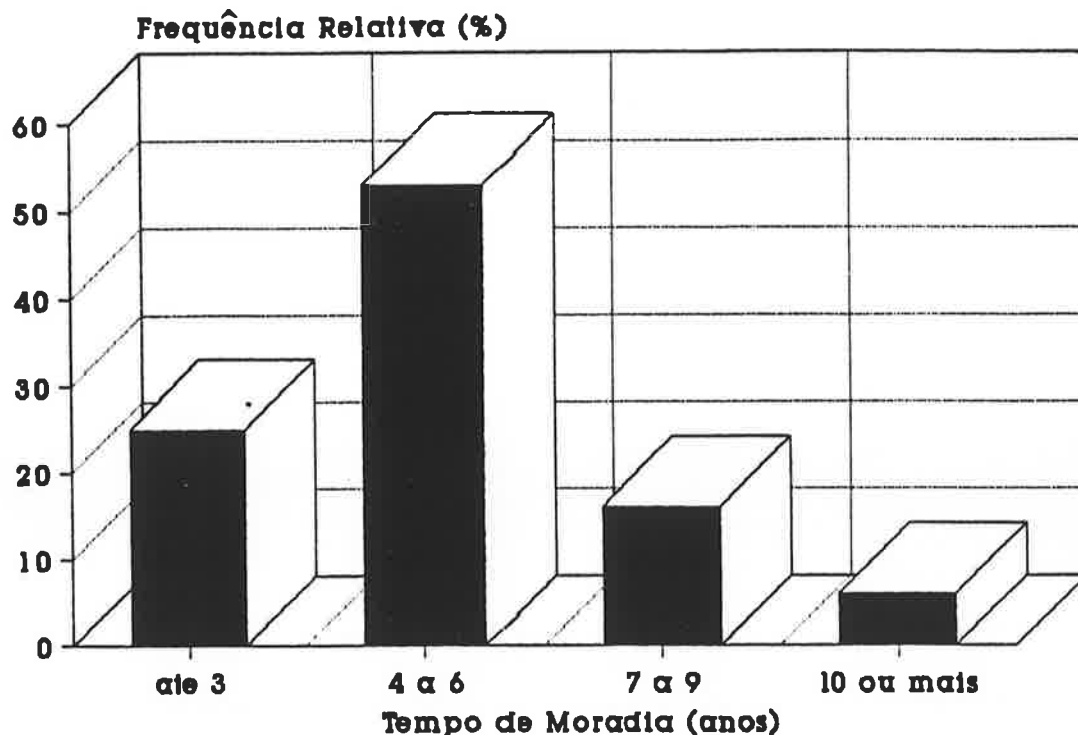


Figura 4.5 - Distribuição do Tempo de moradia no apartamento  
- COHAB/SP - 1987 -

O tempo de moradia reflete razoavelmente bem a idade da edificação, pois 79% das respostas afirmaram ser o ocupante atual o primeiro morador da habitação. Além disso, apenas 4% das famílias são locatárias dos imóveis. Por conseguinte, os fatos de as habitações encontrarem-se no início de sua vida útil e ocupadas por seus proprietários tornam-as um alvo interessante para campanhas de conservação de energia voltadas para a substituição de equipamentos, embora estes não sejam os únicos aspectos a serem considerados.

Tais habitações possuem padrão muito superior ao dos cortiços e favelas, cuja população tem renda inferior à da COHAB/SP. A

renda per capita dos moradores destes conjuntos encontra-se em torno de US\$ 1200, valor inferior à média nacional. Este resultado foi calculado a partir das informações dos questionários, com maiores detalhes na Figura 4.6.

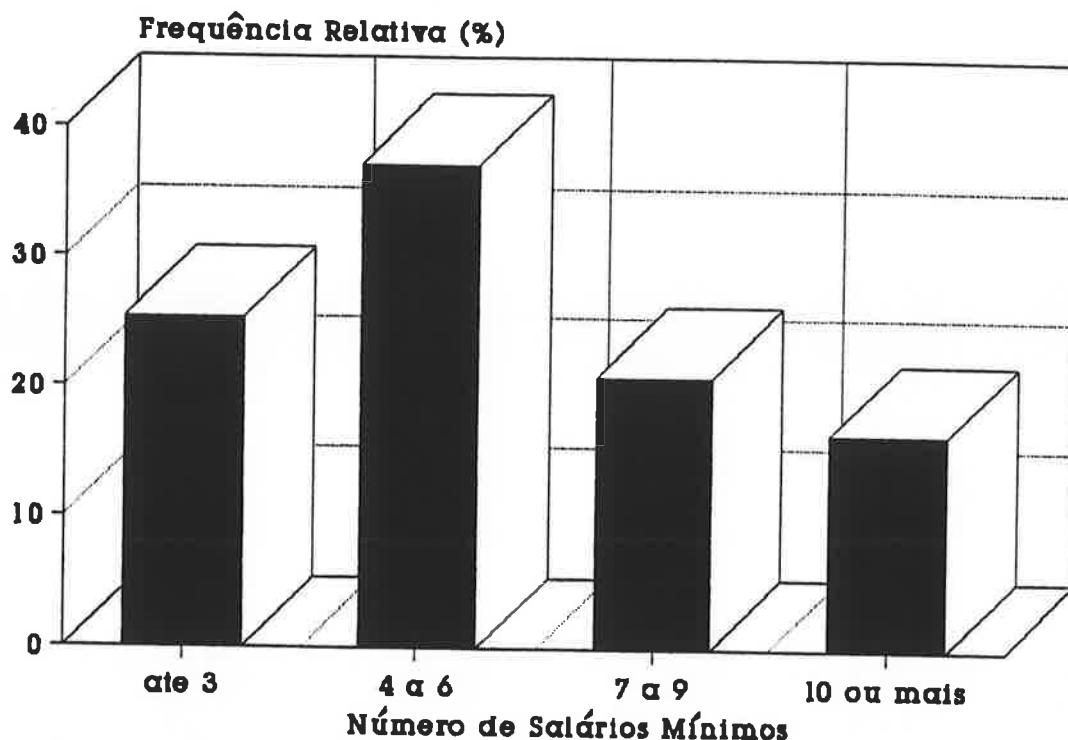


Figura 4.6 - Distribuição da Renda Familiar  
- COHAB/SP - 1987 -

Com uma renda familiar média de 6.5 e moda entre 4 a 6 salários mínimos e considerando-se a amortização do financiamento da casa própria ao longo dos anos, estes habitantes tendem a participar cada vez mais do mercado de eletrodomésticos, o que pode ter implicações para o consumo e demanda de energia elétrica nos próximos anos.

Para fornecer ainda alguns dados sociais obtidos, 21% desta população possuem automóvel, o que implica em 1 veículo para cada 50 pessoas, aproximadamente. Apenas 1.2% têm empregada doméstica.

De qualquer maneira, estas últimas estatísticas, se comparadas ao mundo desenvolvido ou mesmo a setores da classe média no país, são representativas do modesto nível de conforto com que vive as populações dos conjuntos habitacionais.

#### 4.2 CARACTERIZAÇÃO DAS INSTALAÇÕES ELÉTRICAS

Os resultados a seguir tiveram por base perguntas com as finalidades de constatar:

- se há problema de excesso de demanda ou de queda de tensão no suprimento de energia elétrica;
- se os pontos de iluminação e de força são suficientes;
- qual a densidade de iluminação nos apartamentos.

##### 4.2.1 DEMANDA E QUEDA DE TENSÃO

É usual na prática de projeto de instalações elétricas que o dispositivo de proteção tenha capacidade de condução de corrente inferior à dos condutores, devendo interromper o circuito antes que estes atinjam seu limite. Se a solicitação do usuário repetidamente chegar à situação de sobrecorrente, haverá sempre a necessidade de trocar fusíveis ou religar disjuntores.

Dirigida a pergunta aos moradores sobre a ocorrência deste fenômeno, as respostas variaram de acordo com o exposto na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 - Frequência de atuação do dispositivo de proteção de apartamentos da COHAB/SP - 1987 -

Resposta	Frequência (%)
Nunca	53.9
Raramente	26.1
Frequentemente	21.0

Em princípio, a distribuição das respostas não permite afirmar que as instalações elétricas estejam sub ou superdimensionadas. Mas através da observação direta dos dispositivos de proteção na época da campanha de medição, constatou-se que as correntes nominais variavam de um apartamento para outro. Este fato revela que ou não há um critério uniforme de dimensionamento por parte dos projetistas ou moradores substituem dispositivos por sua própria conta.

De qualquer modo, as respostas "nunca" e "frequentemente" são problemáticas, pois quanto maior a frequência da primeira, maior é o índice de superdimensionamento. E, pelo contrário, o fato de 21% responderem "frequentemente" pode significar subdimensionamento para as necessidades desses moradores.

Para os moradores que responderam ocorrer atuação do dispositivo de proteção, foi solicitado o horário do fenômeno, que se distribuiu conforme a Figura 4.7.

As frequências do horário de atuação do dispositivo de proteção, com 55% de concentração do fenômeno entre as 17:30 e 19:30 horas, vêm confirmar o chamado período de ponta. Estreitamente ligada a

isto é a queda de tensão, que pode ser constatada pelos próprios moradores através do enfraquecimento ou oscilação da luz emitida pelas lâmpadas e pela interferência na imagem do televisor.

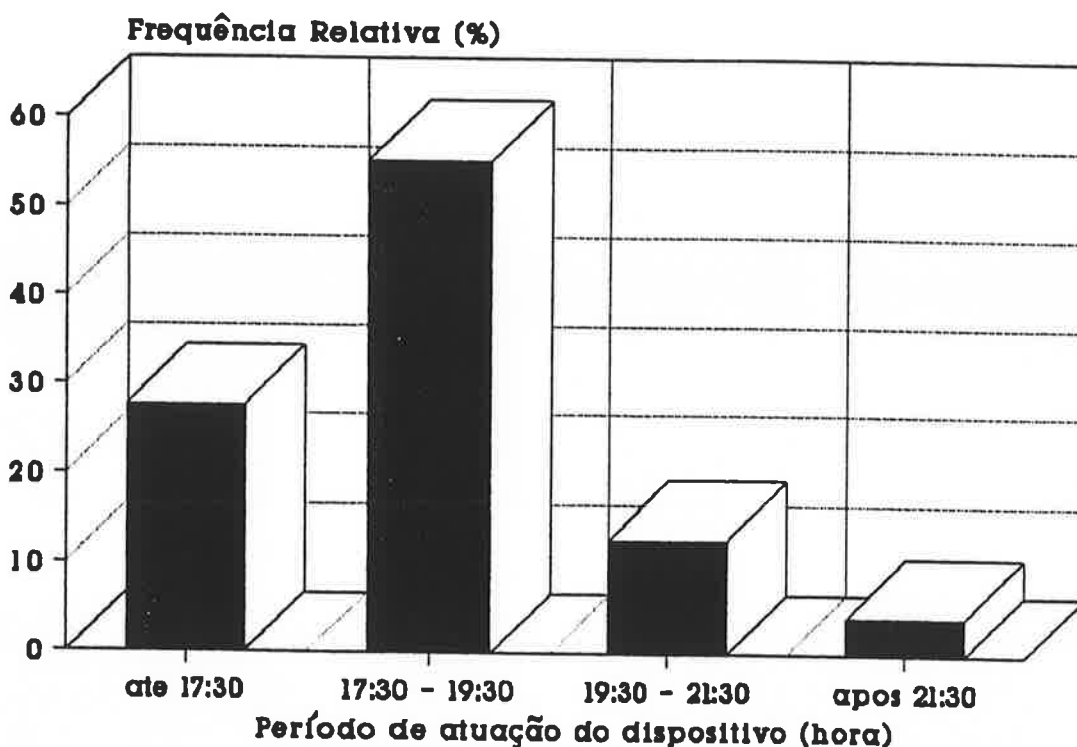


Figura 4.7 - Horário de atuação do dispositivo de proteção  
- COHAB/SP - 1987 -

Quando feita a pergunta se isto ocorria, 55% responderam afirmativamente e, quanto ao horário, a Figura 4.8 apresenta os resultados.

A moda do horário de Queda de Tensão é então 19:00 horas., com 44% dos casos afirmativos. Note-se que as respostas possuem um cunho um pouco vago: "a imagem do televisor e a luz se alteram por volta das tantas horas". Mesmo assim, a medida da tensão confirma a observação dos moradores, como pode ser observado no gráfico da

Figura 4.9, que reproduz o que ocorreu em um bloco de apartamentos em um intervalo de tempo: a queda de tensão atingiu 7.6% em relação à tensão média, praticamente na própria rede de distribuição, no intervalo entre 19:00 e 20:00 horas.

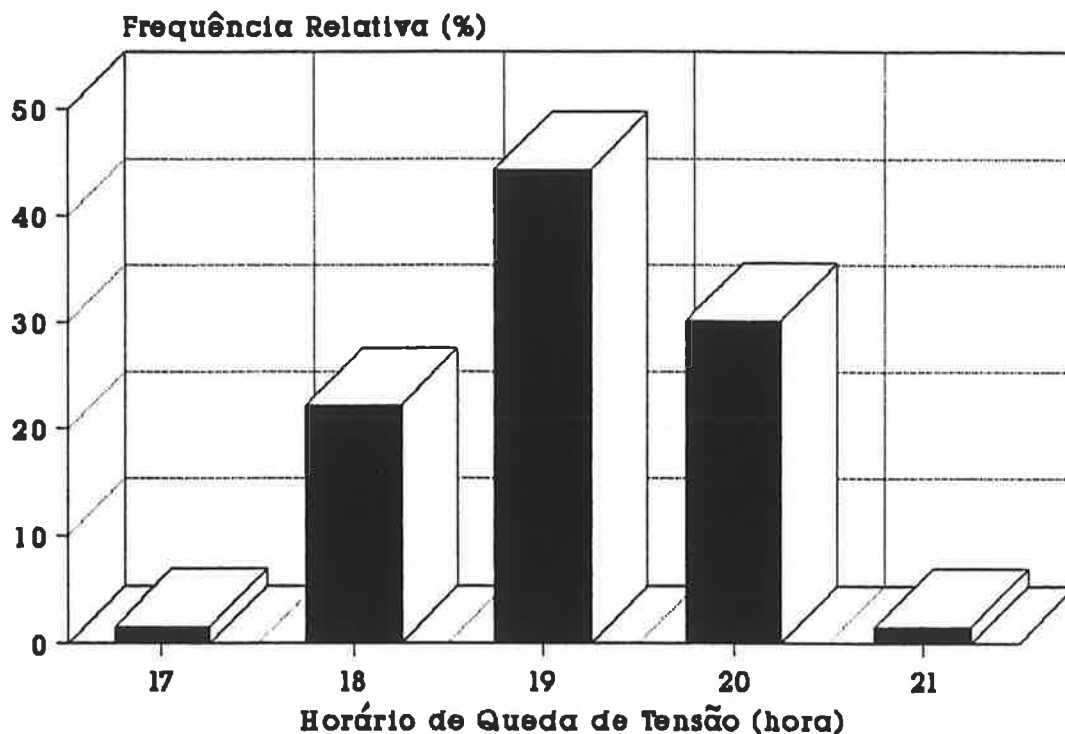


Figura 4.8 - Horário de Queda de Tensão  
- COHAB/SP - 1987 -

Dentre os valores observáveis da Figura 4.9, cabe ressaltar que:

- a tensão média (114,2 V) é a média simples de todos os valores ocorridos na semana de medidas, minuto a minuto;
- a tensão máxima obtida (118,9 V) ocorreu em um curto intervalo de tempo desta semana;
- a tensão mínima obtida (105,5 V) ocorreu às 19:42 horas de uma Quarta-feira, momento este representado na Figura 4.9.

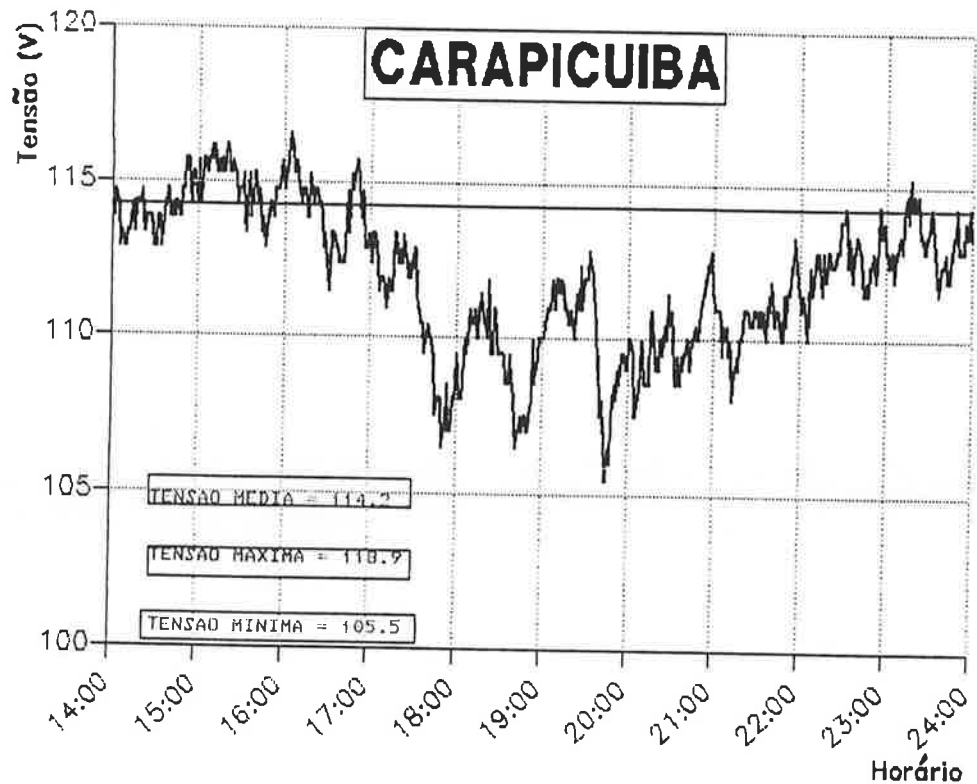


Figura 4.9 - Queda de Tensão no circuito de entrada de um bloco de apartamentos em Carapicuíba - COHAB/SP - 1988 -

Os 7,6 % representam a maior queda de tensão ocorrida em três arquivos analisados. No entanto, outros valores apresentados na Tabela 4.7 do Anexo, para os três conjuntos habitacionais monitorados, revelam que quedas percentuais acima de 3% ocorrem praticamente todos os dias. Além disso, observa-se que quedas de tensão mais elevadas ocorrem, em sua maioria, no período de ponta. Pode-se dizer que os valores de tensão abaixo do valor médio coincidem com o período de ponta.

Os valores de queda de tensão registrados são permitidos em norma. Entretanto, quedas de tensão significativas, que tendem a se agravar com a incorporação de novos usuários à rede de



distribuição,— fenômeno este decorrente do adensamento populacional — podem ultrapassar os limites de desempenho satisfatório dos equipamentos elétricos.

O efeito da queda de tensão pode influir no comportamento dos usuários também, como ilustra o exemplo a seguir. Suponha-se um chuveiro elétrico convencional com sua chave de posições "inverno" e "verão", que estabelece a temperatura da água. Na posição "verão" e com o aparelho funcionando em sua tensão nominal, a potência é regulada por:

$$P = \frac{(U)^2}{R} \quad (4.1)$$

onde:

- P : Potência nominal do aparelho (W);
- U : Tensão nominal do aparelho (V);
- R : Resistência elétrica do aparelho ( $\Omega$ ).

Considerando-se desprezível a variação da resistência elétrica com a temperatura e a lei que regula o aquecimento de água:

$$P = \dot{Q} = mc \Delta\theta \quad (4.2)$$

onde:

- $\dot{m}$  : vazão de água (kg/s);
- c : calor específico da água (1 kcal/kg . °C);
- $\Delta\theta$  : diferença de temperaturas (°C).

Conclui-se que o acréscimo de temperatura da água é 15% menor como

efeito da queda de tensão de 7.8%.

A primeira ação do usuário é diminuir a vazão, fechando a torneira, para manter a temperatura da água aceitável. Esgotado este recurso, transfere-se a posição da chave de regulagem para a posição "inverno". Esta medida possui efeito sobre o sistema de produção de energia elétrica, porque a um pequeno acréscimo de temperatura necessário, responde-se com uma elevação de potência muito maior, uma vez que a maioria dos chuveiros não possuem regulagens gradativas.

Este comportamento tende a ser coletivo, agravando-se no período de ponta, quando ocorre grande número de banhos, com aumento de solicitações em cascata do sistema elétrico, traduzido como efeitos combinados de maiores demandas e maiores quedas de tensão.

A terceira atitude mais radical do usuário para a obtenção de maiores temperaturas da água é o corte da resistência elétrica, o que vai implicar em correntes mais elevadas. Em qualquer uma das situações, o usuário é prejudicado, pois além de correr o risco de choques na manipulação da chave de regulagem do chuveiro, suas atitudes implicam em maiores consumos de energia elétrica.

Além dos números utilizados no exemplo acima, deve-se acrescentar a esta queda de tensão aquela que ocorre no circuito de alimentação do apartamento para ter-se um rendimento ainda menor dos aparelhos elétricos.

Um último aspecto a observar sobre a tensão é que sua média mostrou-se diferente de um conjunto habitacional para outro (Tabela 4.8 do Anexo II). Este fato inviabiliza a utilização de compressores mais eficientes para refrigeração, produzidos no país, mas destinados ao mercado externo, segundo afirmação dos fabricantes, mencionada por [Furst et alii, 1990].

#### 4.2.2 TOMADAS DE USO ESPECIFICO E GERAIS

Sob a designação de pontos de utilização, subentende-se os pontos de iluminação e de força (tomadas). O roteiro usual de projeto costuma em primeiro lugar estabelecer os pontos de utilização necessários e depois, com base nas cargas supostas, balanceando-as, dividir os circuitos. Um dos critérios é a separação entre tomadas de uso específico de um lado e, de outro, iluminação e tomadas gerais, dependendo da potência instalada em cada circuito. Esta última é associada à área da dependência ( $m^2$ ), ao seu perímetro (m) e finalidade (serviços, repouso, etc) [Cotrim, 1982].

Quando o número de tomadas em uma dependência é insuficiente, o usuário costuma acoplar benjamins às mesmas, procurando maior conforto. O risco desta solução é a atuação do dispositivo de proteção devida a sobrecorrentes e, mais grave, se este for superdimensionado, diminuir a vida útil da instalação elétrica.

Para conhecer a situação dos apartamentos neste sentido, foi avaliada a quantidade de lâmpadas, tomadas e benjamins da unidade.

A Tabela 4.2 apresenta os resultados, para cada dependência, no que se refere a:

- número médio de lâmpadas;
- número médio de tomadas;
- número médio total de pontos de utilização.

O procedimento de cálculo utilizou a equação seguinte:

$$NPU = NL + NT + 2 * NB \quad (4.3)$$

onde:

- NPU = número total de pontos de utilização na dependência;
- NL = número de lâmpadas na dependência;
- NT = número de tomadas na dependência;
- NB = número de benjamins na dependência.

Deve-se notar que quando um "benjamins" é acoplado a uma tomada ele introduz três novas entradas e faz "desaparecer" a original, daí o coeficiente 2 que multiplica NB.

Tabela 4.2 - Número Médio de Pontos de utilização existentes -  
COHAB/SP - 1987 -

Dependência	Lâmpadas	Tomadas	Pontos
Cozinha	1.1	2.0	3.5
Sala	1.7	1.9	4.4
Banheiro	1.0	0.6	2.6
Área de serviço	0.9	1.0	1.9
Hall	0.8	0.6	1.5
Dormitório I	1.0	1.0	2.3
Dormitório II	1.0	1.0	2.0

Na Tabela 4.2. se o valor da 3ª coluna for maior que a soma da 2ª e 3ª colunas para uma dependência, isto significa que está havendo utilização de "benjamim" neste local, considerando-se valores médios da amostra.

De fato a Tabela 4.3 fornece os percentuais de apartamentos e respectivas quantidades de tomadas e "benjamins" por dependência.

Tabela 4.3 - Percentuais de tomadas e "benjamins" nas dependências  
-COHAB/SP - 1987 -

Dependências	Tomadas				"Benjamins"		
	Nenhuma	Uma	Duas	Três	Nenhuma	Um	Dois
Cozinha	0.0	14.8	73.9	11.3	81.8	16.5	1.7
Sala	0.0	20.9	67.8	11.3	62.6	35.7	1.7
Banheiro	45.2	52.2	2.6	0.0	100.0	0.0	0.0
Área de serviço	9.5	84.3	6.2	0.0	100.0	0.0	0.0
Hall	34.8	65.2	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0
Dormitório I	0.0	98.2	0.9	0.9	88.7	11.3	0.0
Dormitório II	4.3	93.9	0.9	0.9	98.3	1.7	0.0

Parece ser insuficiente o número de tomadas da sala porque na linha referente a esta dependência, nas Tabelas 4.2 e 4.3, pode ser notada a presença de "benjamins". Apresentando o mesmo problema, em segundo lugar vem a cozinha e, em terceiro, o dormitório principal.

#### 4.2.3 ILUMINAÇÃO

Procurou-se estimar a densidade de iluminação ( $\text{Watt}/\text{m}^2$ ) de cada dependência e da habitação como um todo, a fim de comparar estes

valores com os recomendados. Com as informações sobre o número de lâmpadas e suas potências respectivas montou-se a Tabela 4.4.

Tabela 4.4 - Densidade média de iluminação por dependência -  
- COHAB/SP - 1987 -

Dependência	Iluminação(Watt/m <sup>2</sup> )
Cozinha	7.8
Sala	15.1
Banheiro	15.6
Área de serviço	15.1
Hall	6.4
Dormitório I	8.0
Dormitório II	8.7

Além disso, foram calculados os seguintes valores médios:

- Potência Média de Iluminação/Apartamento = 461 Watts;
- Densidade de Iluminação/Apartamento médio = 11 Watts/m<sup>2</sup>
- Densidade de Iluminação/Apartamento grande = 10 Watts/m<sup>2</sup>.

Todos estes valores são inferiores à recomendação de 20 Watts/m<sup>2</sup> para projetos luminotécnicos [Cotrim, 1982]. A iluminação dessas habitações é constituída essencialmente de lâmpadas incandescentes, a não ser em um ou outro caso isolado, que possui uma lâmpada fluorescente na cozinha, acima da pia. Acrescente-se, então, a baixa densidade de iluminação encontrada, a pequena eficiência (lm/Watt) da iluminação incandescente e estará confirmada, para esta utilização de energia, a constatação do baixo consumo per capita nos países em desenvolvimento.

A tecnologia das lâmpadas tem se desenvolvido, com o surgimento de novos produtos no mercado. No entanto, as novas lâmpadas com maior

eficiência. por enquanto. têm seu emprego voltado preferencialmente para outros setores que não o residencial. muito menos ainda para o de baixa renda.

Apesar de sua relevância para o conforto e a saúde dos usuários e de sua participação no consumo do ponto de vista do sistema de produção de energia elétrica. a iluminação participa deste trabalho a nível de levantamento de dados a serem utilizados em outra oportunidade. Pois no que se refere à demanda — o principal parâmetro de projeto de instalações elétricas — o aquecimento de água é mais importante.

#### 4.3 CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA

Foram processados os consumos mensais de energia elétrica dos apartamentos da amostra. referentes aos meses de novembro/86 a abril/87. Os dados foram coletados do cadastro da Eletropaulo. Seu processamento e organização resultou na Figura 4.10.

O agrupamento do consumo da figura a seguir obedece a uma estratificação própria. diferente da empregada para tarifação pela concessionária. Tal procedimento foi necessário, pois no caso dessas habitações com baixo consumo de energia, os valores convencionais conduziriam apenas a um estrato significativo.

Além disso. obteve-se um consumo médio mensal de 152 kWh/habitação e o máximo de 355 kWh. que se trata de um caso esporádico. Em termos médios têm-se um consumo mensal de 34 kWh/habitante.

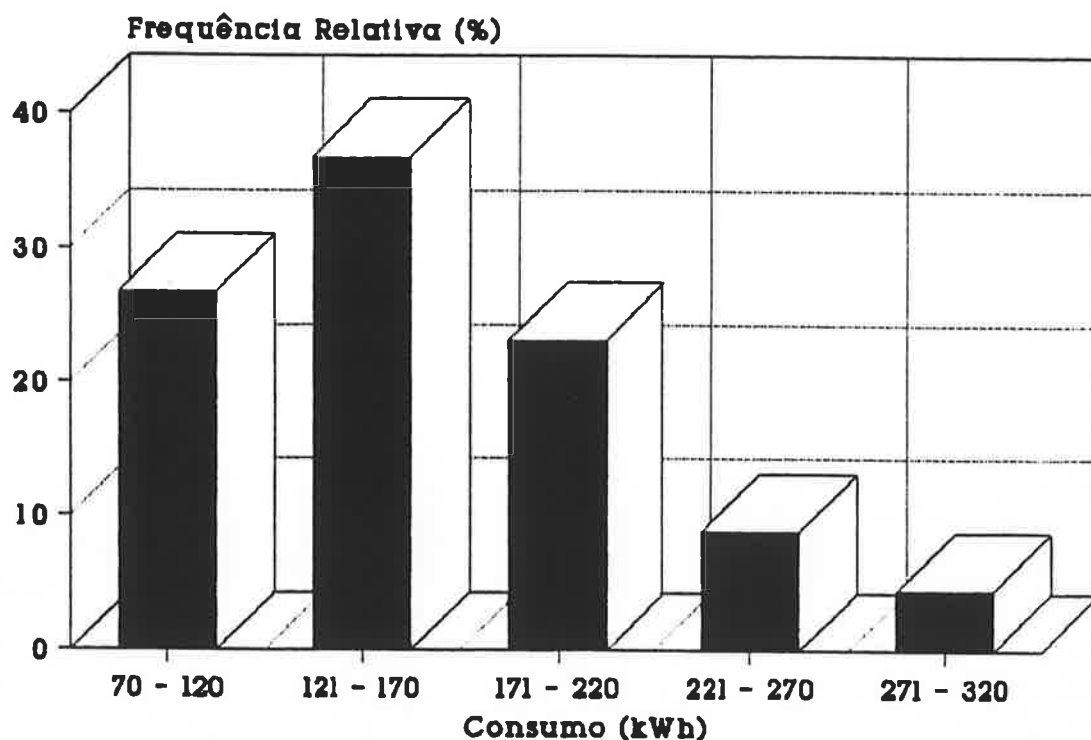


Figura 4.10 - Consumo médio mensal de energia elétrica - COHAB/SP - novembro/86 a abril/87

A análise de regressão múltipla do consumo médio das habitações, conforme os fundamentos expostos no capítulo anterior, resultou na inclusão de três variáveis independentes na seguinte equação:

$$C = 10,5 \text{ NMO} + 5,9 \text{ NPU} + 3,4 \text{ ANOS} - 12,3 \quad (4.4)$$

onde:

- C : consumo médio mensal da habitação (kWh);
- NMO : número de moradores na habitação;
- NPU : número de pontos de utilização de energia elétrica;
- ANOS : número de anos de ocupação da habitação pela família.

Foram excuidas da equação as seguintes variáveis:



- área da habitação;
- renda familiar;
- potência instalada;
- demanda máxima.

Além disso, o poder de explicação da equação, avaliado pelo coeficiente de correlação múltipla,  $R$ , foi de 29,8%, o que não significa muita capacidade de explicação. Entretanto, é interessante notar que a variável que mais explica a magnitude do consumo na habitação é o número de moradores, o que seria de se esperar.

Porém, há duas razões para justificar o pequeno poder de explicação da equação (4.4). Um deles diz respeito ao fato de a população pesquisada constituir uma faixa muito estreita do setor residencial, com uma concentração de área da habitação em torno de  $40 \text{ m}^2$ , pouca saturação de aparelhos elétricos, etc. O outro fato é a existência de hábitos de uso diferentes entre usuários de energia elétrica de semelhantes condições sociais, indicando que uma alta correlação (de 100%) é muito difícil de ser obtida. De qualquer maneira, a disparidade de uso reflete o estabelecimento de supostas necessidades diferentes, o que é um indício de eventuais desperdícios.

Para estudar o consumo de energia elétrica do aquecimento de água foram utilizadas as curvas de carga do arquivo de medidas. Depois de separada a demanda do chuveiro elétrico, esta foi integrada e extrapolada para a obtenção do consumo mensal, de onde resultou

a Figura 4.11.

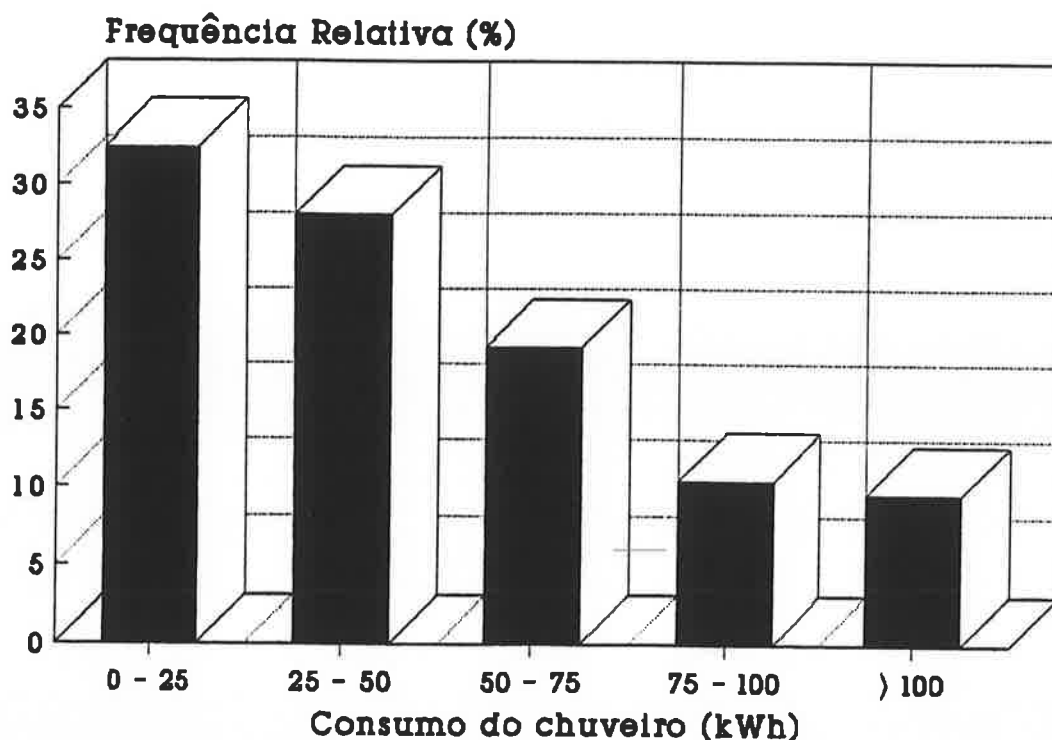


Figura 4.11 - Consumo mensal do chuveiro elétrico  
- COHAB/SP - 1988

Pode-se notar que a distribuição do consumo mensal do chuveiro obedece a uma lei diferente daquela do consumo da habitação: enquanto esta última aproxima-se mais de uma curva normal, a outra identifica-se melhor com uma curva exponencial. Isto quer dizer que do ponto de vista do consumo, o uso final aquecimento de água, como é realizado, possui maior concentração de ocorrências em baixos valores.

Para que o consumo com aquecimento de água se distribuisse de

forma normal, o que é mais interessante para o sistema de produção de energia elétrica, seriam necessários tempos de banho muito maiores. Mas isto ocorre muito raramente, conforme mostrou a análise realizada no final do capítulo anterior.

O consumo médio com aquecimento de água situou-se em torno de 48 kWh/mês habitação, representando 32% do consumo global, o que está de acordo com os trabalhos de outros autores citados no Capítulo 1.

Para utilizar as estatísticas encontradas até aqui, em uma avaliação do nível de conforto do usuário, quanto ao uso de água quente, pode-se considerar o seguinte:

- consumo mensal da habitação com aquecimento de água = 48 kWh;
- número médio de moradores por habitação = 4,5;
- número de banhos por mês por morador = 30;
- duração média de cada banho = 7 minutos,
- eficiência do aparelho = 100%;

Utilizando-se a relação  $Q = m c \Delta\theta$  para o aquecimento de água e os parâmetros indicados acima, encontra-se como um dos pares possíveis de vazão e acréscimo de temperatura da água, respectivamente: (0,036 l/s, 20 ° C). Conforme será visto no próximo capítulo, estes valores estão muito abaixo de padrões recomendados internacionalmente. Além disso, não existe eficiência de 100%, o que leva a concluir que as condições de conforto desta

população, neste uso final, são mais precárias do que as estabelecidas pelo par (vazão, temperatura) estimado, principalmente durante o inverno.

Uma vez estabelecidas as estatísticas do consumo, referência para o crescimento das cidades e implantação de conjuntos habitacionais, é necessário verificar os equipamentos elétricos existentes em tal gênero de habitações, tentando delinear tendências futuras de consumo e de demanda.

#### 4.4 EQUIPAMENTO ELÉTRICO TÍPICO

Como a iluminação já foi tratada em item anterior, aqui serão considerados os demais equipamentos elétricos. A Tabela 4.5 apresenta a relação dos principais equipamentos em ordem decrescente de saturação (porcentagem de habitações que os possuem).

Note-se que o estabelecimento da potência nominal dos equipamentos elétricos contém certa margem de erro. Em primeiro lugar, a potência nominal de um determinado equipamento varia segundo o seu fabricante. À época de realização das entrevistas, encontravam-se muitos aparelhos sem etiquetas com este dado, situação que tende a ser revertida com o programa de etiquetagem, de iniciativa do PROCEL. Em segundo lugar, o equipamento pode possuir avarias.

Tabela 4.5 - Equipamentos elétricos: saturação e potência nominal média - COHAB/SP - 1987

Equipamento	Saturação (%)	Potência Nominal (Watts)
Televisor	113.0	200
Chuveiro Elétrico	100.0	3400/4400
Ferro Elétrico	99.2	500
Rádio Elétrico	99.2	50
Geladeira	96.3	400
Liquidificador	92.7	200
Aparelho de Som	57.3	200
Enceradeira	41.9	300
Batedeira (Mixer)	39.0	100
Ventilador	38.2	150
Secador Portátil de cabelo	37.8	1000
Máquina de Lavar roupas	37.8	750
Aspirador de Pó	28.0	200
Máquina Elétrica de Costura	16.7	100
Cafeteira Elétrica	7.7	1000
Torneira Elétrica	6.9	2500
Exaustor Purificador	4.5	300
Aquecedor de Ambiente	2.0	1000
Congelador - Freezer	1.6	500
Secadora Elétrica de roupas	1.6	600
Forno Elétrico	1.6	1500
Torradeira	1.2	1000
Máquina de Lavar pratos	0.0	2000
Forno de Microondas	0.0	1200

Apesar disso, como os principais equipamentos encontrados não possuem potência nominal elevada, os erros introduzidos no cálculo dos fatores de demanda, realizado adiante, não chegam a comprometer os resultados. Quanto ao chuveiro elétrico, que está sempre presente e possui potência nominal elevada e razoavelmente variada, teve este parâmetro avaliado diretamente na curva de carga.

A utilização dos aparelhos acima refere-se geralmente apenas ao cumprimento de tarefas domésticas, voltadas para a própria família, pois em apenas 4.1% das habitações foi constatada a realização de trabalhos com finalidades de comércio ou prestação

de serviços com emprego de aparelhos elétricos. Os resultados encontram-se na Tabela 4.6.

Tabela 4.6 - Frequências de realização de serviços externos.

Serviço	Aparelho elétrico utilizado	Habitacões que realizam (%)
Costureira	Máquina de Costura	1,6
Cabeleireira	Secador de Cabelos	1,2
Confeiteira (bolos)	Batedeira/Mixer	0,4
Sorveteira	Freezer	0,4
Passadeira de roupas	Ferro de passar	0,4

Sobre os aparelhos com finalidade de uso interno, é necessário fazer algumas observações. Embora com enorme grau de saturação, como o televisor, nem todos os equipamentos são importantes para a demanda, na medida em que requerem potência relativamente baixa para seu funcionamento. Há outros que requerem elevada potência, como a máquina de lavar pratos, forno elétrico ou de microondas, sem serem encontrados, no entanto, na amostra.

O ferro elétrico, alvo repetitivo de campanhas de conservação de energia veiculadas pelos meios de comunicação, está presente praticamente em todas as habitacões. Como pode ser notado, não constitui um equipamento dos mais preocupantes do ponto de vista da demanda, pois com uma potência nominal em torno de 500 Watts, apenas 15,5% dos entrevistados responderam que ocorria sua utilização entre 18:00 e 20:00 horas, sendo este o intervalo principal do período de ponta.

Do lado do consumo, para fazer uma comparação, tomando-se os

resultados do item 4.3, que significam aproximadamente 11 kWh semanais da habitação como dispêndio de energia com água quente, é possível fazer uma comparação com o ferro de passar roupas: para estar nesta mesma ordem de grandeza, seria necessário que este último estivesse em funcionamento mais de 22 horas por semana.

Há casos como a torneira elétrica, com elevada potência e baixo grau de saturação. O chuveiro elétrico tem 100% de saturação e é a maior potência nominal do conjunto, merecendo destaque por isto. Considerando a potência instalada como a soma de todas as potências nominais dos aparelhos elétricos existentes na habitação, inclusive a potência de iluminação, a Figura 4.12 apresenta as frequências da potência instalada sem o chuveiro elétrico.

Pode ser notado que 98% dos casos têm potências instaladas até 6 kW, localizando-se a moda entre 3 e 4 kW. Além disso, a potência instalada média sem chuveiro é 3,2 kW. Somando-se a esta variável, para cada apartamento, 4,4 kW, que representa o chuveiro com a chave de regulagem da temperatura da água na posição "inverno", obtém-se a potência instalada com chuveiro ou, simplesmente, potência instalada, cuja distribuição de frequências encontra-se na Figura 4.13.

Com o acréscimo do chuveiro, a moda passou para a faixa de 7 a 8 kW e a potência instalada média com chuveiro para 7,6 kW, com um desvio padrão de 1,4 kW.

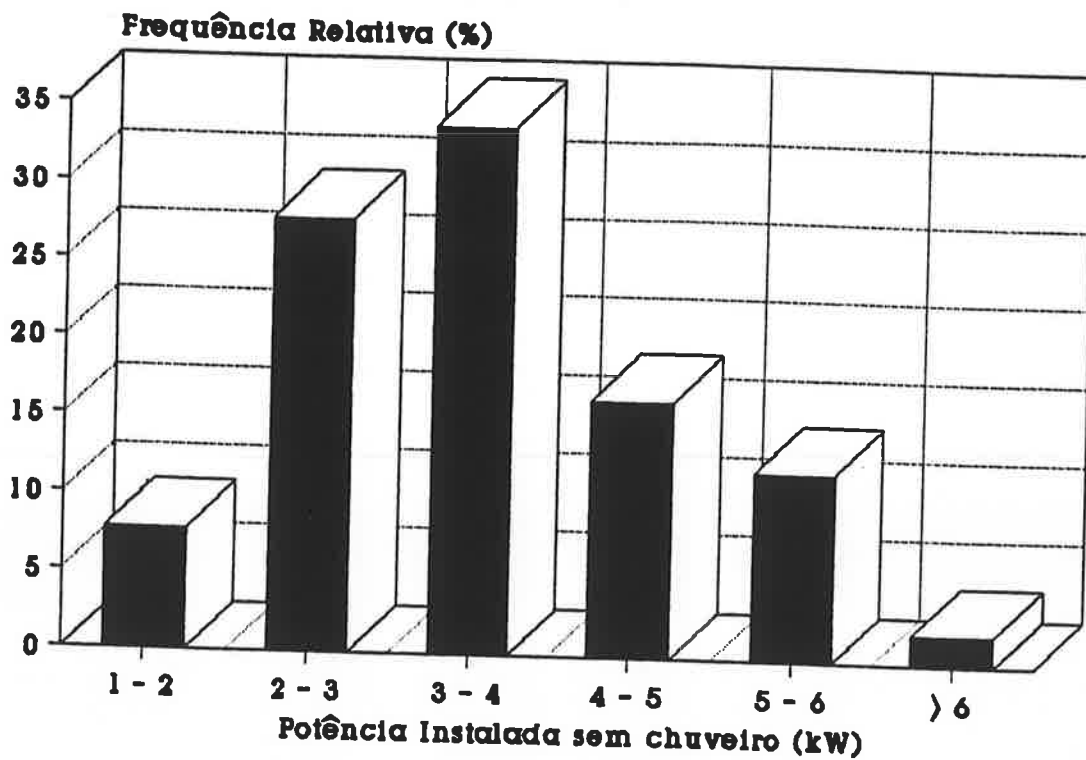


Figura 4.12 - Potência Instalada sem chuva - COHAB/SP - 1987 -

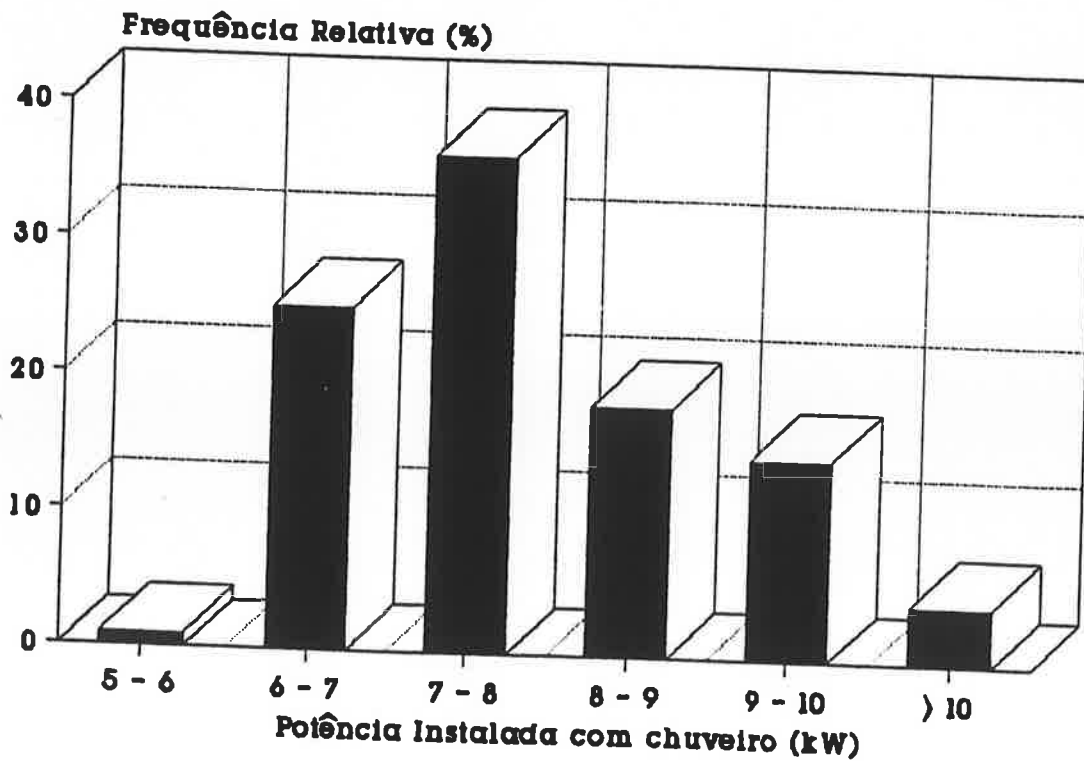


Figura 4.13 - Potência Instalada com chuva - COHAB/SP - 1987 -



No Capítulo 3 deste trabalho, foi dito que o dimensionamento da amostra foi realizado partir da Potência Instalada. Uma vez processados os dados desta variável, é o momento de conferir os resultados. Sabe-se que o coeficiente de variação de uma estatística (relação entre o desvio padrão e a média em termos percentuais) deve ser menor que um determinado valor, valor este que depende da tradição de cada área de pesquisa<sup>2</sup>. Em muitos casos da engenharia o valor-referência do coeficiente de variação foi de 25%, para que os dados tivessem alguma confiabilidade<sup>3</sup>. Para a potência instalada, nesta pesquisa, a análise é satisfatória, pois o coeficiente de variação é igual a 19%.

Enfim, para saber o percentual de aumento ( $\Delta p$ ) na potência instalada devido à presença do chuveiro na habitação, considerando os valores médios assinalados, basta efetuar:

$$\Delta p = \frac{7,6 - 3,2}{3,2} * 100 = 138 \% \quad (4.5)$$

#### 4.5 DEMANDA MÁXIMA E AQUECIMENTO DE ÁGUA

Uma vez organizados os arquivos com as curvas de cargas, para cada apartamento foi extraído o valor da demanda máxima (kW) ocorrida na semana de medição, não importando nem o horário nem a duração dessa demanda. Agrupados estes valores por faixas, na Figura 4.14 são apresentadas as respectivas frequências.

2 - Bussab, W. O., comunicação pessoal.

3 - Vargas, M., comunicação pessoal.

Também para esta variável, o valor para a demanda máxima média, de 5,5 kW, encontra-se na faixa da moda, entre 5 e 6 kW, com desvio padrão igual a 0,77 kW. O desvio padrão é menor ainda em relação à média do que ocorreu para a potência instalada, pois seu coeficiente de variação é de 14%.

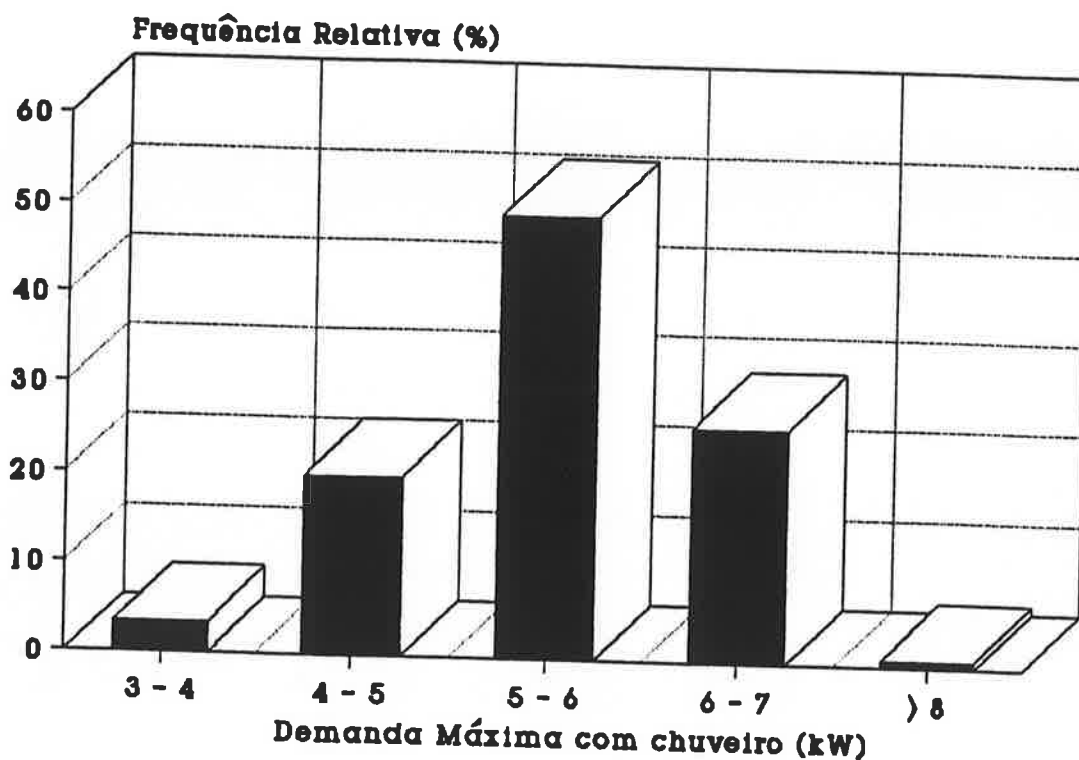


Figura 4.14 - Demanda máxima com chuveiro - COHAB/SP - 1988 -

Analisando as curvas de carga e comparando a potência nominal do chuveiro elétrico com as menores demandas máximas, parece que a ocorrência de demanda máxima sempre se dá quando este aparelho está ligado. Para verificar seu peso nestes resultados, foi subtraído o valor da potência nominal do chuveiro, conforme valores observáveis na curva de carga.

As curvas de cargas resultantes representam, portanto, as mesmas habitações mas como se não houvesse mais aquecimento de água para banhos com os chuveiros existentes, ou melhor, com o vetor energético eletricidade. A nova distribuição de demandas encontra-se na Figura 4.15.

Como seria de se esperar: uma grande queda. A moda passou da faixa 5 - 6 para a de 0-1 kW, com a média das demandas máximas igual a 1,2 kW. Trata-se apenas de um resultado lógico, mas que altera até a forma da curva de densidade de probabilidades de demanda, que passa de uma normal a uma exponencial.

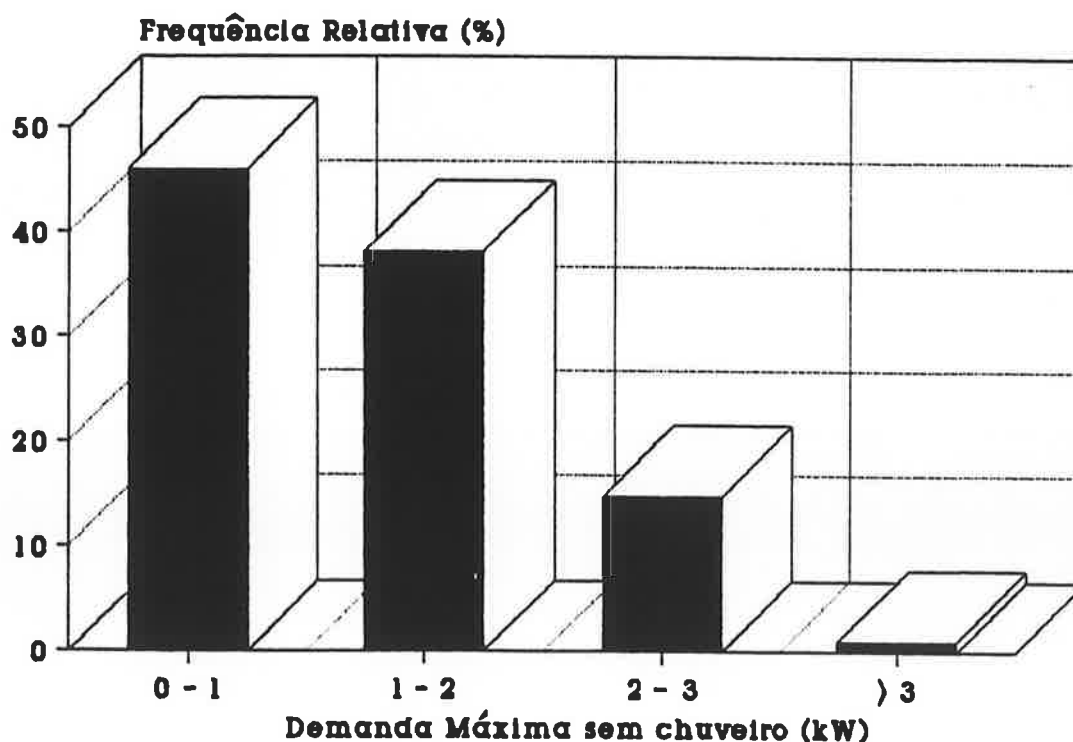


Figura 4.15 - Demanda máxima sem chuveiro - COHAB/SP - 1988 -

Analogamente ao incremento percentual na potência instalada devido ao chuveiro ( $\Delta p$ ), calculado no item anterior, chamando de  $\Delta d$  a mesma relação para as demandas máximas médias com e sem chuveiro, vem:

$$\Delta d = \frac{5,5 - 1,2}{1,2} * 100 = 365 \% \quad (4.6)$$

Portanto, do ponto de vista da habitação isolada, a influência do chuveiro na demanda é enorme e há um agravante que é o fato de 51,2% dos entrevistados afirmarem haver banhos entre 18 e 20 horas em suas residências. Entre as 5 e 8 horas, esta cifra foi de 20,3%, entre 20 e 22 horas, de 13,8%.

Para o sistema de produção de energia elétrica, esta situação exige pesados investimentos: "para cada dolar investido pelo consumidor (para aquisição do chuveiro), o setor elétrico teve que investir outros 20, mostrando uma gritante desproporcionalidade, sobretudo se comparada com o caso da geladeira, maior responsável pelo consumo residencial, onde, para cada dolar de investimento do consumidor, é necessário o investimento de dois dolares por parte do setor elétrico" [Fillipo & Nunes, 1987].

A análise de regressão múltipla para a demanda máxima da habitação vem confirmar a influência do chuveiro elétrico no fenômeno. A equação resultante foi a seguinte:

$$D_{\max} = 50,1 \text{ Área} + 0,2 P_{\text{inet}} + 1687,3 \quad (4.7)$$

onde:

- $D_{max}$  : demanda máxima do apartamento registrada (kW);
- Área : área média do apartamento ( $m^2$ );
- $P_{inst}$  : potência instalada no apartamento (kW).

De fato, com a inclusão de apenas duas variáveis — Área e Potência Instalada — foram consideradas como sem correlação com a demanda máxima as seguintes: renda familiar, o número de moradores, o tempo de ocupação do apartamento pela família, o número de pontos de utilização de energia elétrica e o consumo mensal médio.

A área da habitação, em primeiro lugar, e a Potência Instalada em segundo, como prioridades de inclusão na equação acima, que tenta explicar o que ocorre no restrito universo das habitações de interesse social, alertam para a possibilidade de que no setor residencial de rendas mais elevadas, com áreas maiores e grande saturação de aparelhos elétricos, as demandas máximas podem ser muito mais elevadas.

Apresentando um coeficiente de correlação múltipla, R, de 23,7%, a equação (4.7) explica apenas esta porcentagem dos casos. A fraca correlação é perfeitamente explicável, porque a ocorrência de demanda máxima está sempre relacionada ao uso do chuveiro elétrico. Para que a influência dos outros aparelhos fosse marcante, seria necessário que tivessem potências nominais tão elevadas quanto o chuveiro, o que não é o caso. Por isto, explica-se também a exclusão do número de moradores ou o número

de pontos de utilização da equação (4.7).

Um dos critérios empregados na verificação do interesse do sistema de produção de energia elétrica, quanto à utilização de um determinado equipamento elétrico pela população, é o fator de simultaneidade,  $s$ , definido em relação a um conjunto de equipamentos de utilização como:

$$s = \frac{D_{max}}{\sum_{i=1}^n P_{max,i}} \quad (4.8)$$

onde,

- $D_{max}$  - Demanda máxima de um conjunto de equipamentos de utilização;
- $P_{max,i}$  - Potência máxima absorvida pelo equipamento de utilização  $i$ .

Assim, o fator de simultaneidade diz respeito à probabilidade de absorção máxima simultânea de potência. Evidentemente, quanto maior o número de equipamentos, menor será o fator de simultaneidade.

O único atenuante do ponto de vista do sistema é o fato de o chuveiro elétrico ser um aparelho que fica ligado pouco tempo comparativamente a outros, como os de iluminação, lazer e refrigeração de alimentos, terminando por induzir a que, em relação a outros equipamentos elétricos, seu fator simultaneidade

não seja elevado.

A maioria das curvas de carga dos apartamentos apresentou trechos semelhantes ao da Figura 4.16, que pertence a um dos apartamentos medidos. Aparece aí o caso mais comum de potência nominal do chuveiro, de 4,4 kW, tendo nas abscissas o tempo em minutos e, nas ordenadas, as demandas correspondentes.

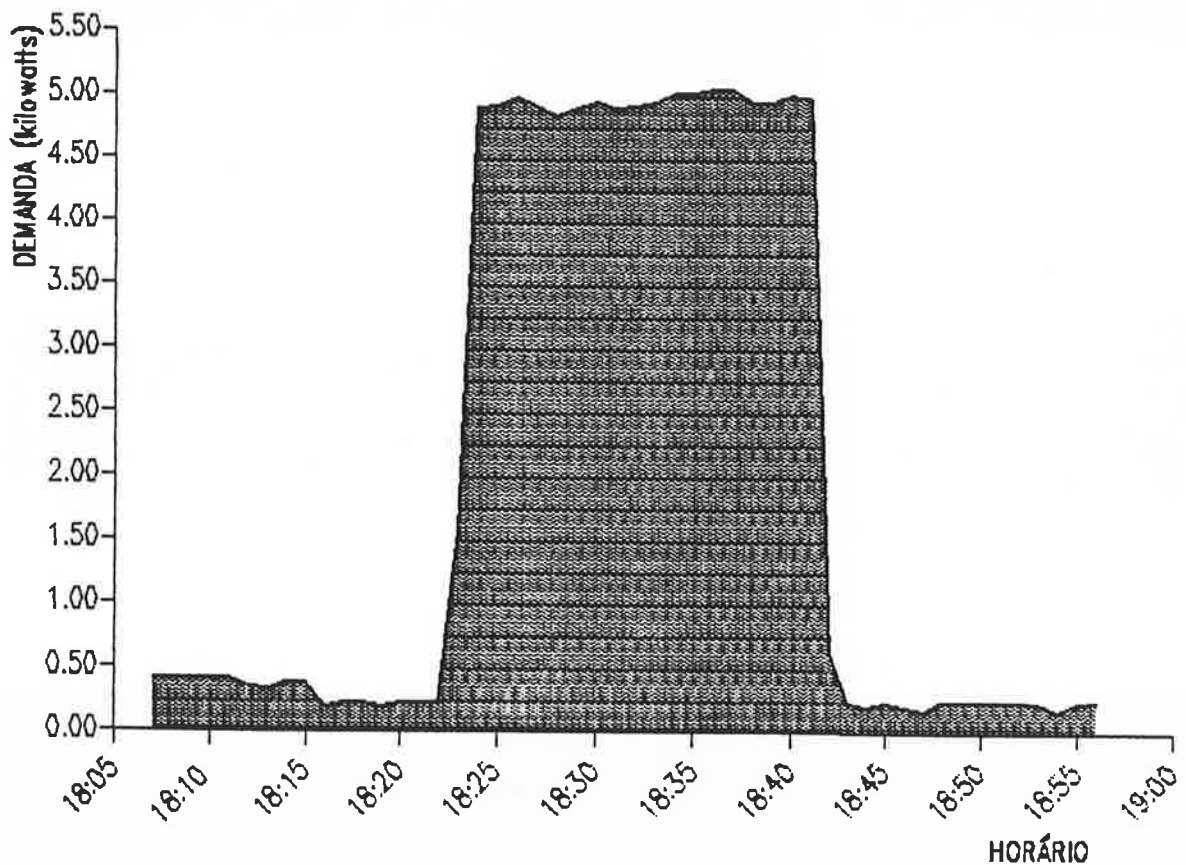


Figura 4.16 - Influência do chuveiro elétrico na curva de carga -  
- COHAB/SP - 1988 -

Entretanto, a Figura 4.17 retrata um único caso encontrado de demanda bem superior do chuveiro. Qual outro equipamento poderia

levar a uma tal curva de carga? É mais provável que ela seja o resultado da aquisição de um aparelho de potência nominal de 7,0 kW, já existente no mercado, do que o produto do corte da resistência pelo usuário. Esta demanda é 50% acima da usual de "inverno" e 106% acima da de "verão".

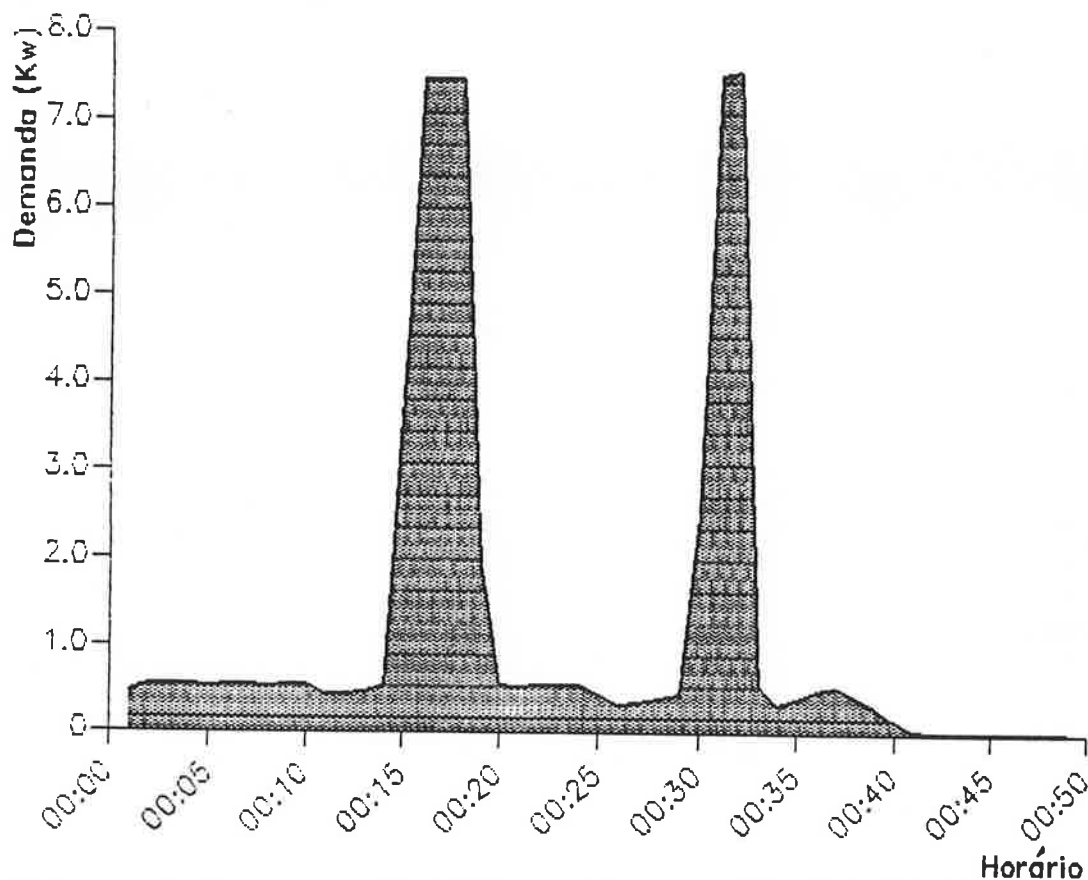


Figura 4.17 - Caso atípico de demanda do chuveiro  
- COHAB/SP - 1988 -

Atualmente é difícil dizer se equipamentos com potência nominal tão elevada tendem a constituir a preferência dos usuários no futuro. E talvez mais complexo ainda seja tomar uma posição quanto à sua comercialização, pois ela envolve fatores como a liberdade de produção e mercado por parte dos fabricantes, o conforto do usuário com a opção por um aparelho que julgue necessário e o



equacionamento pelas autoridades dos recursos existentes para a produção de energia elétrica.

Para efeito de comparação, a Figura 4.18 mostra o funcionamento de uma geladeira durante a noite, quando foi simples isolar a influência de outras utilizações de energia elétrica na curva de carga.

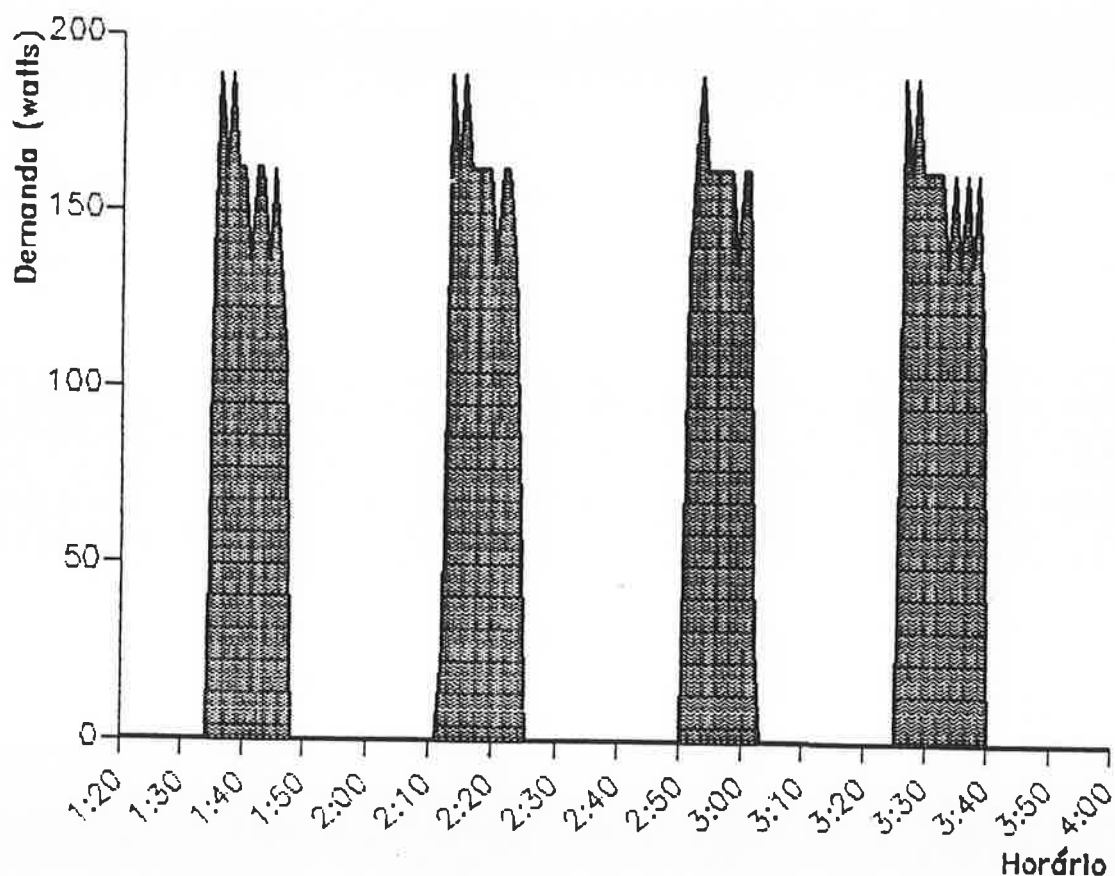


Figura 4.18 - Influência de uma geladeira na curva de carga -  
- COHAB/SP - 1988 -

Evidentemente, a curva de carga da geladeira depende de vários fatores, como sua potência nominal, a quantidade de alimentos a ser mantida em uma dada temperatura, a regulagem do termostato pelo usuário, o número de vezes em que a porta é aberta, a

proximidade do fogão ou exposição à radiação solar.

Sob tais aspectos, ela é alvo correto para as campanhas de conservação de energia no que se refere ao consumo, pois a própria curva de carga mostra o elevado número de vezes em que ela entra em funcionamento no decorrer do dia em relação ao chuveiro.

O valor da demanda da geladeira (Figura 4.18), na curva de carga do apartamento, é da ordem de 30 vezes inferior a do chuveiro mais encontrado, embora não deva ser esquecido o fato de que sua simultaneidade de funcionamento seja maior, o que contribui para o seu efeito agregado.

Constitui um atenuante do problema o fato de que sua influência na curva de carga seja menor do que a do chuveiro, pois cultural e tecnologicamente é mais simples realizar o aquecimento de água com outro vetor energético do que tentar fazer a substituição para a refrigeração de alimentos.

Executando um programa que integrava a curva de carga para cada apartamento, separava os resultados para cada hora do dia e depois calculava os valores médios, obteve-se a Figura 4.19.

Constatou-se que as demandas médias em dias úteis e em fins de semana não possuem diferenças significativas. Assim, optou-se pela apresentação dos valores em dias úteis que são ligeiramente mais elevados, sendo as médias horárias de toda a semana:

- demanda horária média com chuveiro = 0,225 kW;
- demanda horária média sem chuveiro = 0,169 kW;

o que resulta em uma demanda média do chuveiro de 0,058 kW/habitação ou 0,012 kW/habitante.

O resultado obtido está muito aquém das necessidades básicas para aquecimento de água que seriam 0,04, 0,09 e 0,13 kW per capita respectivamente para climas quente, temperado e frio [Bravo et alii, 1979].

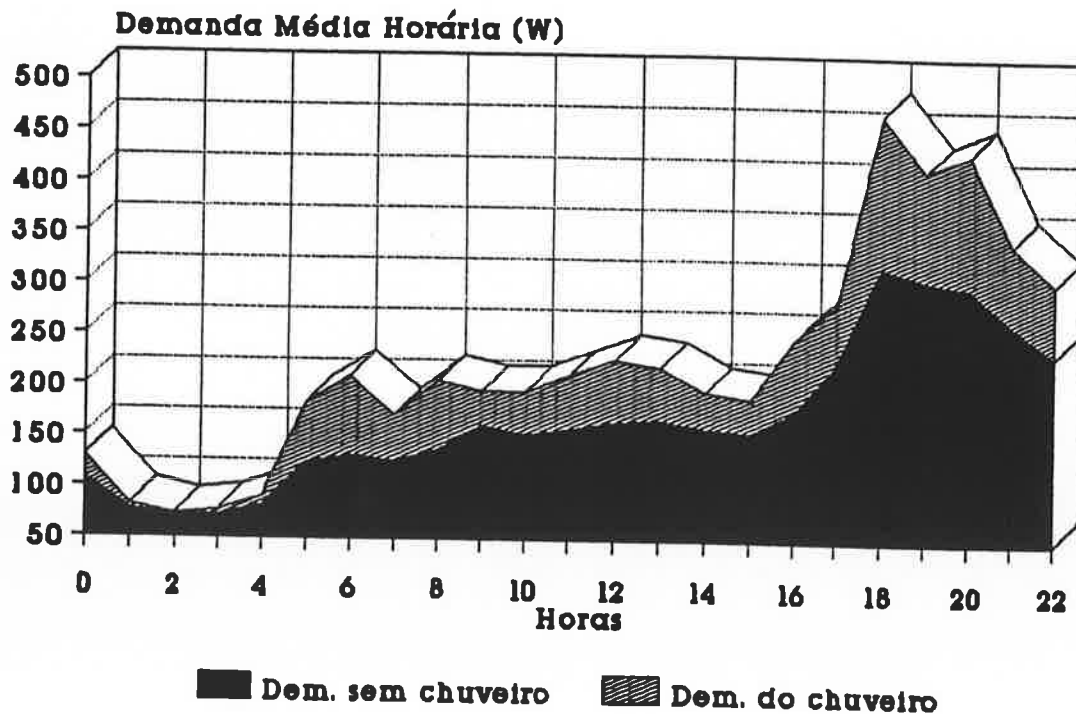


Figura 4.19 - Demandas Médias Horárias e destaque da demanda do chuveiro em dias úteis- COHAB/SP - 1988 -

No entanto, como o resultado provém de uma mensuração realizada durante o inverno, este detalhe deve ser considerado: embora os aparelhos possam estar funcionando em sua potência nominal máxima, existe a suspeita de que nesta estação o número de banhos seja menor do que nas estações mais quentes, fato a ser verificado em futuras pesquisas.

Além disso, a estimativa de necessidade de aquecimento de água citada acima não considera apenas a utilização para banhos, como é o caso da pesquisa da COHAB/SP, onde foram encontrados apenas 6,7% de apartamentos com torneira elétrica. De qualquer maneira, o resultado confirma o fato de que a demanda e o consumo de energia per capita nos países em desenvolvimento são ínfimos, quando comparados aos dados dos países desenvolvidos.

Dessas considerações, vem se confirmando também que o chuveiro elétrico possui um rendimento razoavelmente bom, quando comparado com outras tecnologias atuais. Afirma-se mesmo que o seu impacto sobre a curva de carga seja menor que o de aquecedores elétricos de acumulação de 1,5 kW de potência nominal [Graça, 1990].

Mas, do ponto de vista do sistema, o problema não é tão simples, pois tomando-se o núcleo do período de ponta, das 17:00 às 22:00 horas para análise, foi elaborada a Tabela 4.7, que mostra a influência agregada deste equipamento.

Tabela 4.7 - Demanda horária média com e sem chuveiro no período de ponta - COHAB/SP - 1988

Período do dia (hs)	Demanda com chuveiro (kw)	Demanda sem chuveiro (kw)	Diferença (%)
17 - 18	0,285	0,226	25,8
18 - 19	0,470	0,320	46,7
19 - 20	0,418	0,308	35,0
20 - 21	0,433	0,301	44,0
21 - 22	0,345	0,286	29,7

Em primeiro lugar, é necessário reconhecer, a partir da leitura do último gráfico e da tabela acima, que o período de ponta existe independentemente do aquecimento de água através de energia elétrica. Em segundo, que a participação desta utilização de energia é significativa, atingindo 47% da demanda média entre as 18:00 e 19:00 horas. Este valor é muito próximo dos 50% citado no Capítulo 1 deste trabalho, conforme pesquisa em estrato de consumo de energia elétrica entre 501 e 1000 kWh mensais.

Mas, para considerar apenas o período de ponta, na sua acepção ampla, que inclui os valores de demanda acima do valor médio horário de toda a semana, a Figura 4.20 apresenta os resultados.

Mesmo a demanda média destas habitações, sem o chuveiro, começa a ultrapassar o valor médio (0,160 kWh) a partir das 18 horas, estendendo-se até às 24 horas. Este fenômeno não ocorre para nenhum outro período do dia para as habitações analisadas.

Porém, a demanda média do chuveiro, de 0,056 kWh, não é ultrapassada, de modo aproximado, em três períodos do dia: entre 0 e 5, 9 e 12 e entre 13 e 16 horas. Estas depressões da curva de

carga estão de acordo com as afirmações dos moradores sobre os períodos de ocorrência de banhos e podem subsidiar uma alternativa para o aquecimento de água, ainda com o emprego do vetor energético eletricidade, a fim de atenuar a demanda que cabe a este uso final. A demanda média global somente é ultrapassada entre 12 e 13 e entre 16 e 24 horas.

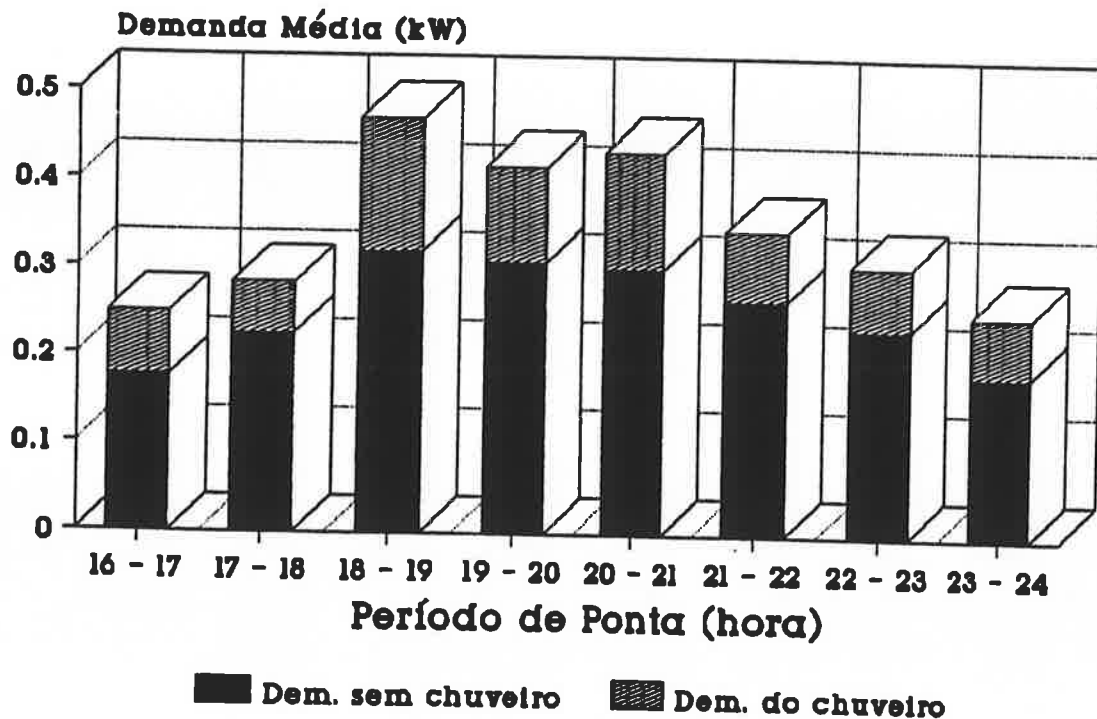


Figura 4.20 - Demandas Médias Horárias e destaque da demanda do chuveiro em dias úteis no período de ponta - COHAB/SP - 1988-

Reunindo as observações feitas acima, pode-se dizer que há três momentos do dia preferidos para o banho e que a maior simultaneidade de utilização entre chuveiro e outros aparelhos elétricos ocorre no período de ponta. As Tabelas 4.14, 4.15 e 4.16 do Anexo II mostram todos os valores de demandas horárias processados.

Uma vez examinadas as estatísticas da potência instalada e da demanda de energia elétrica, é o momento de relacioná-las a fim de verificar a metodologia de projeto de instalações elétricas residenciais, no que se refere a dimensionamento de componentes.

#### 4.8 FATORES DE DEMANDA

O fator de demanda, o fator de simultaneidade e o fator de utilização pertencem à classe dos fatores de projeto, que são parâmetros empregados na determinação da demanda máxima de uma instalação ou de um setor de uma instalação elétrica. O fator de utilização,  $u$ , é definido para um equipamento de utilização como:

$$u = \frac{P_{abs}}{P_{nom}} \quad (4.9)$$

onde:

- $P_{abs}$  - Potência efetivamente absorvida pelo equipamento de utilização;
- $P_{nom}$  - Potência nominal do equipamento de utilização.

E o fator de demanda,  $g$ , para um ponto de distribuição de uma instalação, que significa quadro de distribuição ou quadro terminal, como:

$$g = \frac{D_{max}}{P_{inst}} \quad (4.10)$$

onde:

- $D_{max}$  - Demanda máxima do ponto;
- $P_{inst}$  - Potência instalada a jusante deste ponto.

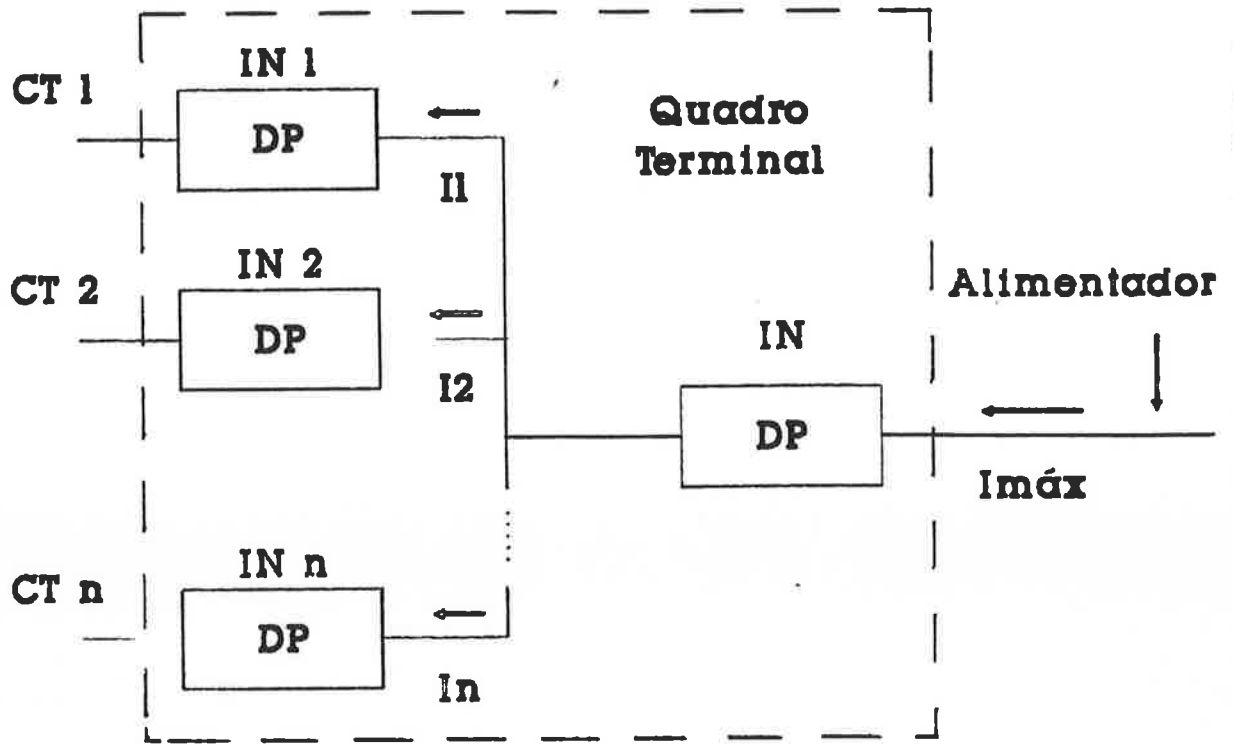
No caso de habitações de interesse social, dados o pequeno porte e a simplicidade da instalação, será considerado apenas o fator de demanda.

Restam os circuitos destinados a alimentar tomadas de uso geral para aparelhos portáteis de iluminação e eletrodomésticos, onde são aplicados fatores de demanda. Estes últimos não constituíram objeto de estudo, pela impossibilidade de realizar medidas dentro dos apartamentos, pela diferente divisão de circuitos terminais de um projeto para outro. E, por fim, pelo fato destes circuitos comportarem potências instaladas tão pequenas a ponto de serem requeridas as menores seções de condutores elétricos, no caso de habitações de interesse social.

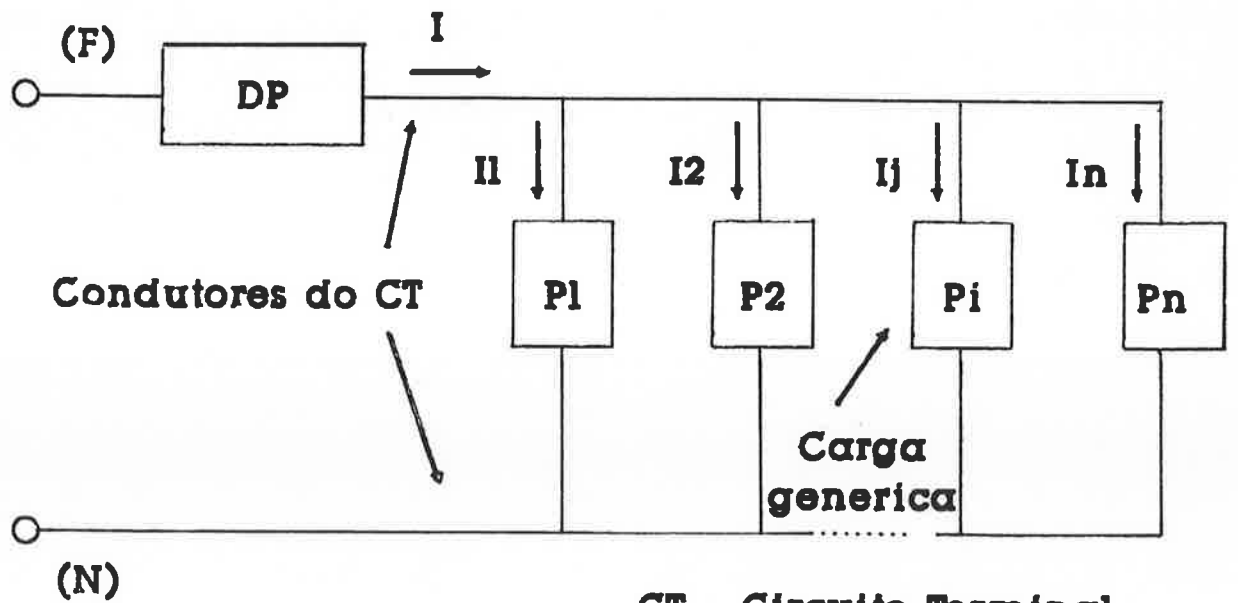
A Figura 4.21 ilustra esquematicamente o subsistema de instalações elétricas de um apartamento de interesse social, com seu Quadro Terminal (a) e detalhe de um Circuito Terminal (b).

Seria possível estabelecer os fatores de demanda para todos os circuitos terminais indicados na figura a seguir. Mas o critério não é empregado para o estabelecimento da demanda máxima de circuitos que contenham apenas equipamentos de uso específico. São os casos do chuveiro, torneira elétrica e máquina de lavar roupas, quando esta possui circuito de alimentação exclusivo, entre os mais comuns. Para estes, a demanda máxima é tomada igual à potência nominal do aparelho.





(a) Quadro Terminal de um apartamento



(b) Circuito terminal de um apartamento

**CT - Circuito Terminal**  
**DP - Dispositivo de Proteção**  
**IN - Corrente Nominal**  
**Pj - Carga genérica**

Figura 4.21 - Esquema simplificado dos circuitos elétricos de um apartamento de interesse social.

Na pesquisa realizada, foi calculado o fator de demanda do circuito de alimentação, com a potência instalada obtida através dos questionários e a demanda máxima medida nos quadros de distribuição do prédio.

A Norma Brasileira de Instalações Elétricas de Baixa Tensão coloca restrições à aplicação dos fatores de demanda: "A determinação dos fatores de demanda requer o conhecimento detalhado da instalação, considerada a experiência quanto às condições de utilização, não sendo possível, na prática, especificar os valores dos fatores de demanda para cada tipo de instalação" [ABNT, 1980]. Assim, os resultados a seguir limitam-se ao tipo de edificação estudado, devendo ocorrer outras situações com as habitações de média e alta renda.

Para conferir os valores deste critério de projeto de instalações elétricas prediais, o procedimento consistiu em efetuar a relação demanda máxima/potência instalada para cada apartamento e depois agrupá-los por faixa de potência instalada, cujos resultados são apresentados na Tabela 4.8 e Figura 4.22.

Tabela 4.8 - Fatores de demanda do Alimentador  
- COHAB/SP - 1987/88 -

Potência Instalada (kW)	Fator de Demanda
5 - 6	0.81
6 - 7	0.77
7 - 8	0.75
8 - 9	0.67
9 - 10	0.59
> 10	0.56

Como os valores acima são médios, por faixa de potência, é oportuno fornecer os extremos, como também os resultados depois da retirada do chuveiro, como tem-se procedido nos itens anteriores.

Assim:

- Fator de demanda médio com chuveiro = 0,71
- Fator de demanda máximo com chuveiro = 0.95
- Fator de demanda mínimo com chuveiro = 0.45
- Fator de demanda médio sem chuveiro = 0.36
- Fator de demanda máximo sem chuveiro = 0.89
- Fator de demanda mínimo sem chuveiro = 0.02

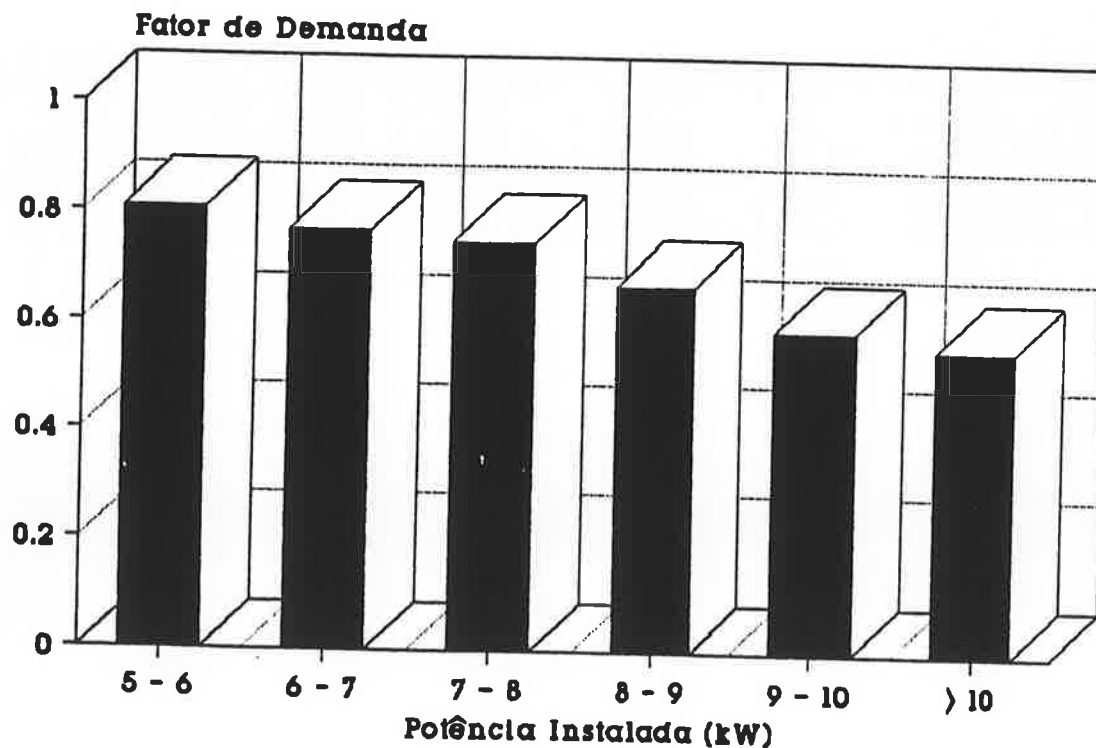


Figura 4.22 - Fatores de demanda do Alimentador  
- COHAB/SP - 1987/88 -

Para comparar os valores obtidos com os da NBR 5410, seria necessário subtrair a potência nominal dos equipamentos ligados a tomadas de uso específico, pois a demanda máxima ou potência de alimentação é estabelecida de acordo como procedimento a seguir:

$$P_{\text{alim.}} \geq (g P_1 + P_2) \quad (4.11)$$

onde,

- $P_{\text{alim}}$  : potência de alimentação;
- $g$  : fator de demanda;
- $P_1$  : soma das potências atribuídas a iluminação e tomadas de uso geral;
- $P_2$  : soma das potências atribuídas aos aparelhos fixos e/ou estacionários de potência elevada (tomadas de uso específico)

As diferenças resultantes da comparação dos valores obtidos com os da NBR 5410, que não são grandes, podem ser explicadas pelo fato de os obtidos na pesquisa terem sua origem em um tipo de edificação bem determinado, ao passo que os da norma são mais gerais. O fator de demanda é uma referência para o projeto de instalações elétricas no que diz respeito ao dimensionamento de condutores e dispositivos de proteção. A recomendação de um dos valores acima ou um intermediário exige um tratamento estatístico dos dados.

No entanto, a esta metodologia tradicional de projeto, pretende-se contrapor uma outra alternativa, pois o emprego generalizado do fator de demanda para diversos tipos de edificações pode

comprometer a precisão dos resultados do dimensionamento.

Embora com origem em princípios probabilísticos, a generalização e a perpetuação da aplicação do fator de demanda parecem, para não dizer simplesmente o emprego de um critério estatístico amplo, impreciso. Mais que isto, parece transformar o cunho do critério de probabilístico para determinístico. Assim, na área de instalações prediais, ele enquadra-se na mesma classe de métodos de projeto de subsistema de edificações utilizados para o subsistema de abastecimento de água, que têm sido criticados pela engenharia: "uma nítida tendência, por parte dos propositores, em formular modelos de caráter universal nem sempre adequados às particularidades de cada situação de projeto.." [Gonçalves, 1986].

Uma alternativa metodológica, de caráter probabilístico, aos fatores de demanda, para qualquer tipo de edificação, passa pelo exame detalhado das solicitações do tipo de edificação em vista, em termos de correntes elétricas. O rigor de dimensionamento possível, a partir de um método probabilístico, permite aliar ao projeto de instalações elétricas residenciais aspectos de conservação de energia, preocupação ausente na história do emprego dos fatores de demanda. O próximo item pretende contribuir neste sentido, para o caso de habitações de interesse social.

#### 4.7 CORRENTE DE PROJETO

No dimensionamento de condutores elétricos e dispositivos de proteção procura-se adequar, em um gráfico tempo-corrente, curvas,

onde:

- a inferior representa as solicitações do usuário;
- a intermediária é a curva dos dispositivos de proteção; e
- a superior é a curva dos condutores.

Assim, os condutores suportam as solicitações do usuário e são protegidos pelos dispositivos, que possuem menor capacidade de condução de corrente. Sob este aspecto, este trabalho procura levantar as exigências do usuário necessárias ao desenvolvimento tecnológico do dispositivo de proteção. A Figura 4.23 apresenta a curva de solicitações do usuário obtida.

Para obtenção da curva a seguir, empregou-se um algoritmo com as variáveis seguintes:

- $I_k$  : corrente elétrica (A), com k variando de 2 a 34;
- $I_j$  : corrente elétrica (A), com j variando de 1 a 33;
- $t_k$  : duração da corrente de k Ampères (minutos);
- $t_j$  : duração da corrente de j Ampères (minutos).

Se para algum dos apartamentos ocorreu uma corrente  $I_k > I_j$ , com  $t_k > t_j$ , o tempo  $t_j$  foi substituído pelo tempo  $t_k$ , porque  $I_j$  está contida em  $I_k$ . Os dados representam todas as correntes inteiras e todas as respectivas durações máximas ocorridas na amostra durante a medida, plotadas em eixos logarítmicos conforme costuma-se encontrar em catálogos de componentes de instalações elétricas.

Em princípio, dimensionar componentes da instalação elétrica de uma habitação de interesse social significa apenas procurar nos catálogos de condutores e de dispositivos de proteção curvas que estejam acima daquela da Figura 4.23, conforme mencionado anteriormente. Este procedimento significa uma simplificação e uma maior precisão em relação ao emprego dos fatores de demanda.

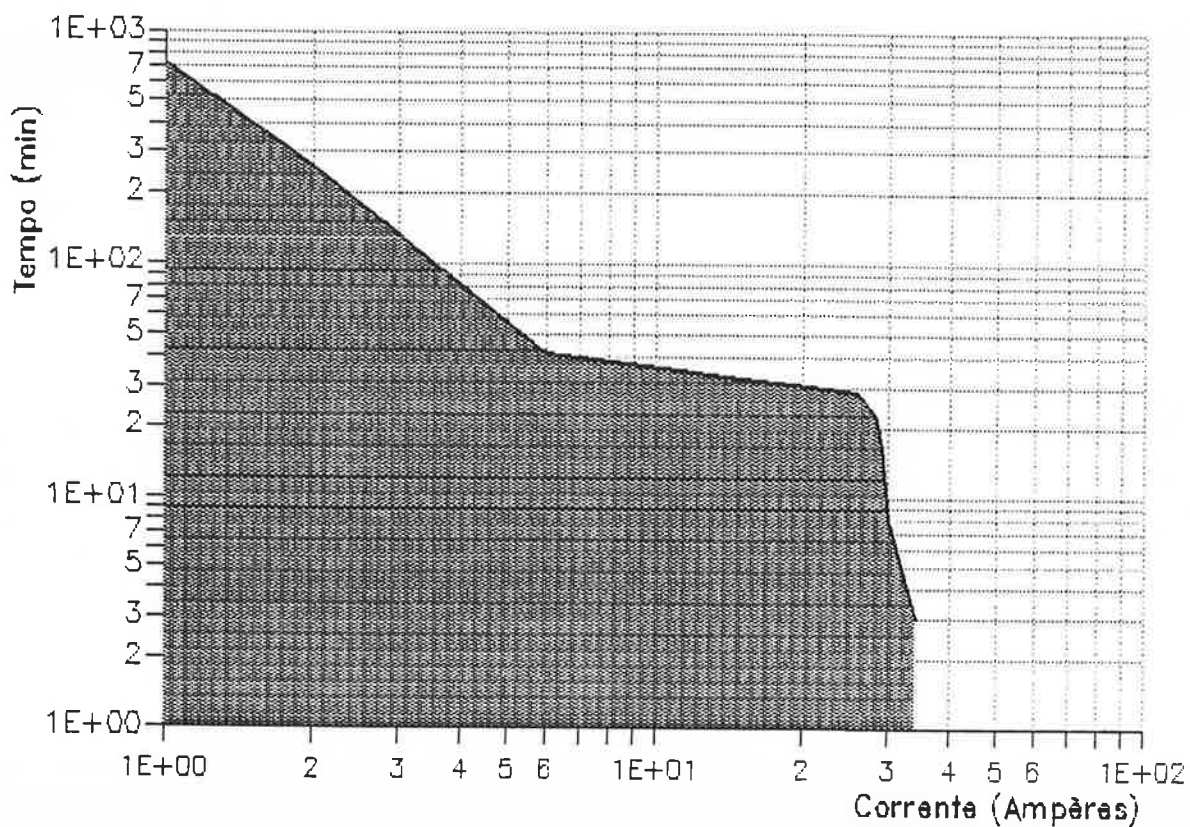


Figura 4.23 - Curva Tempo-corrente de solicitações do usuário  
- COHAB/SP - 1988 -

Infelizmente, curvas como a da Figura 4.23 não existem para os diversos tipos de edificações, como comerciais e industriais. Para estas e também para outros padrões do setor residencial, seriam

necessárias ainda subdivisões, possíveis apenas com a efetivação de pesquisas específicas, a fim de obter um dimensionamento estrito dos componentes elétricos a serem utilizados.

Como o que interessa na Figura anterior são as durações de correntes, foi construída a Tabela 4.17 do Anexo II, que facilita a leitura dos dados. Esta Tabela contém outras colunas que fornecem valores das durações das correntes para 95, 99, e 99,9% das ocorrências, embora sem o tratamento matemático de eliminação da "rugosidade", realizado para as durações de banhos no Capítulo 3.

Uma observação atenta das durações das correntes, em termos das probabilidades de ocorrências, revela que os valores das durações correspondentes a 100% das ocorrências estão em geral muito acima das demais probabilidades calculadas. Considerando-se o período de medidas de uma semana por apartamento e o número de apartamentos medidos, pode-se concluir que o dimensionamento das instalações elétricas a partir da Figura 4.23 significa um risco muito pequeno de fusão de dispositivos fusíveis ou desarme de disjuntores. Mesmo assim, as correntes nominais dos dispositivos de proteção estabelecidas com este método seriam menores do que muitas das que puderam ser observadas durante a campanha de medidas no quadro de distribuição dos prédios.

Além disso, a Tabela referida traz as durações de correntes com as mesmas probabilidades de ocorrência depois de subtraída a participação do chuveiro. Este procedimento teve em vista a



possibilidade de substituição do vetor energético e suas decorrências para o dimensionamento das instalações elétricas de futuras unidades habitacionais de interesse social.

Com isto, foram expostos os principais dados obtidos da aplicação do questionário e da campanha de medidas realizada junto aos apartamentos da COHAB/SP. Espera-se que os resultados sirvam aos técnicos do planejamento energético e de concessionárias do país, com as ressalvas necessárias a serem feitas, uma vez que os dados referem-se a uma tipologia de habitação de uma determinada cidade. Também os projetistas de instalações e de equipamentos elétricos podem encontrar aí valores-referência para o dimensionamento de componentes e de sistemas.

Todavia, o término do processamento dos dados e observação dos resultados, que confirmaram a constatação de outros pesquisadores sobre a importância do aquecimento de água e a uniformidade tecnológica com que este é feito no país, conduziram à investigação sobre o tipo de resposta necessária a esta situação.

Atenuar ou eliminar a demanda de energia elétrica para o aquecimento de água constitui um tema tecnológico próprio, aqui denominado de gerenciamento da demanda. Assim, o próximo capítulo começa pela conceituação deste tipo de programa, para depois examinar a adequabilidade de algumas tecnologias conhecidas aos seus objetivos.

## CAPÍTULO 5 - GERENCIAMENTO DA DEMANDA E AQUECIMENTO DE ÁGUA

Em grande parte dos estudos realizados de conservação de energia, priorizou-se o aspecto do consumo. Todavia, o lado da demanda precisa também ser considerado, na medida em que é a primeira variável a indicar a potência instalada das centrais de geração. E um excesso de potência instalada, além de necessidades racionais estabelecidas segundo níveis tecnológicos alcançados nos equipamentos de uso final, significa custos de implantação, de juros e custos operacionais de centrais hidrelétricas, termelétricas e nucleares, para o caso da eletricidade.

Se o custo de implantação de hidrelétricas na região Sudeste do país for tomado como 1436 US\$/kW [Paula & Bernini, 1990] e considerando os dados de demanda obtidos no capítulo anterior, pode-se estimar o custo social da instalação de um chuveiro elétrico: sendo sua demanda média por habitação entre as 18:00 e 19:00 horas de 0,15 kW, resulta em aproximadamente 215 US\$/chuveiro. Se forem inclusos custos de transmissão, o custo do kW instalado pode atingir 2500 US\$/kW e, por conseguinte, o do chuveiro vai a US\$ 375.

Durante as demais horas do dia, a demanda do chuveiro, bem como a demanda média das habitações pesquisadas, são menores. Como tudo indica que outros setores consumidores de energia elétrica possuem curvas de carga melhor moduladas, os investimentos em potência instalada tentam suprir as necessidades do setor residencial e,

dentro dele, as do chuveiro elétrico.

Este fato auxilia a compreensão dos motivos de a dívida do setor elétrico atingir 11% da dívida externa brasileira em 1987, exclusive o programa nuclear [Zylberstajn & Bernini].

Além disso, o modelo de equalização tarifária adotado para as concessionárias brasileiras na década de 80, que previa uma transferência de recursos de empresas melhor posicionadas para as outras, em pior situação ou deficitárias, desestimulou a procura de eficiência e o espírito de competição, alvos estes que passam necessariamente por políticas de conservação de energia.

O saneamento da dívida do setor elétrico, a eficiência das empresas concessionárias e o uso racional de energia são aspectos de um mesmo problema. É impossível pensar a conservação de energia no setor residencial, como em qualquer outro setor, sem medidas políticas deliberadas pelas concessionárias. Assim, este capítulo começa procurando conceituar o gerenciamento da demanda, de modo a aplicá-lo ao aquecimento de água no setor residencial, particularmente às habitações de interesse social ainda por serem construídas e que compõem as cifras do déficit habitacional.

## 5.1 GERENCIAMENTO DA DEMANDA

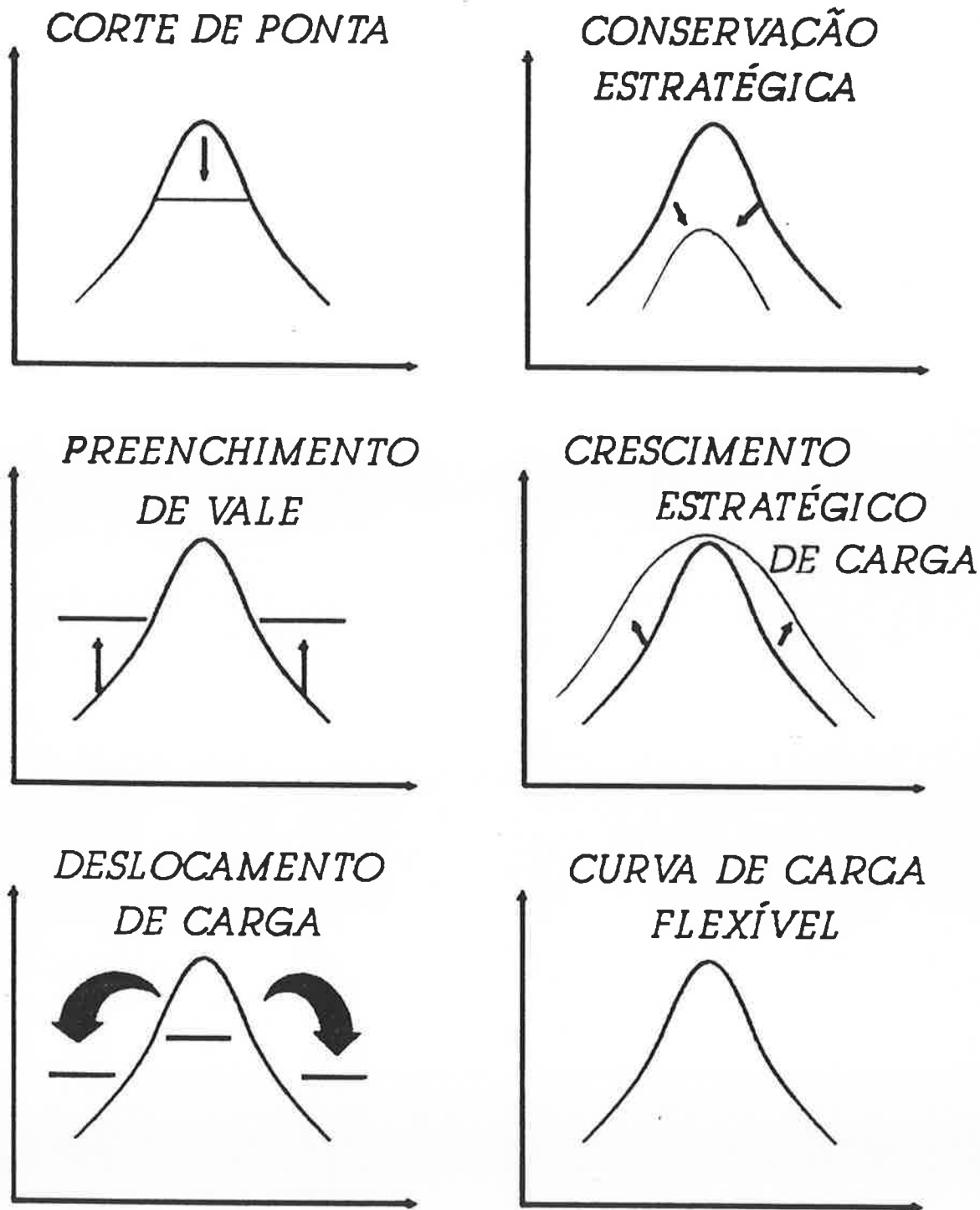
### 5.1.1 CONCEITUAÇÃO

As mais antigas formulações do conceito ocorreram a partir da década de 60 na Europa, Nova Zelândia e, posteriormente, nos EUA. Uma das acepções de *Demand-Side Management* é: "DSM é o planejamento, implementação e monitoria de atividades de concessionárias concebidos para influir no uso de eletricidade pelo consumidor, por vias que produzirão alterações no padrão de tempo e magnitude de carga desejados pela concessionária na sua curva de carga" [Gellings, 1985].<sup>1</sup>

Este conceito, segundo o mesmo autor, inclui programas como: gerenciamento da carga, novos usos, conservação estratégica, eletrificação, geração pelo consumidor e ajustes no rateio da tarifa. Vê-se que a noção de *DSM* é bastante ampla, englobando medidas que têm efeitos complementares e até mesmo contrários, como "novos usos" e "conservação". Entretanto, ressalta-se que *DSM* incorpora apenas medidas deliberadas pela concessionária e não iniciativas isoladas do consumidor ou usuário, quando este passa a possuir expectativas próprias sobre o mercado de energia ou sobre necessidades de conservação.

Os objetivos de modelagem de carga pela concessionária no gerenciamento da demanda podem ser colocados dentro de uma ou mais das seis categorias ilustradas na Figura 5.1 e descritas a seguir.

1 - É utilizada aqui a expressão "Gerenciamento da Demanda" como equivalente de *DSM*, enquanto uma tradução consensual entre o meio técnico não se firma, valendo a mesma observação para os conceitos correlatos que surgem adiante.



## OBJETIVOS DE GERENCIAMENTO DA DEMANDA

Figura 5.1 - Objetivos de modelagem de carga no gerenciamento da demanda - (Gellings, 1985)

Os objetivos de gerenciamento da demanda são caracterizados como segue [Gellings, 1985].

a) Corte de Ponta - uma das formas clássicas do gerenciamento de carga, consiste na redução do pico pela utilização de controle de carga diretamente sobre os equipamentos de uso final, visando a redução de custos operacionais, de motorização de hidrelétricas ou de combustíveis críticos em outras formas de geração.

b) Preenchimento de vale - segunda forma clássica de gerenciamento de carga, consiste na construção de cargas fora de ponta. Sob estas circunstâncias, com preços menores nestes períodos, o preço médio final da energia é reduzido. Pode ser implementada de diversas maneiras, encontrando-se entre as mais populares o armazenamento de energia térmica para abastecimento de água quente e o condicionamento ambiental.

c) Deslocamento de Carga - considerada como a última forma clássica de gerenciamento de carga, envolve a transferência de cargas dentro do período de ponta para fora de ponta. O aquecimento de água por acumulação em substituição ao aquecimento de passagem é o exemplo mais citado deste objetivo de gerenciamento da demanda.

d) Conservação Estratégica - é a alteração da forma de carga resultante de programas estimulados pela concessionária e dirigidos ao uso final, que podem refletir reduções de venda de

energia e mudança no modelo de uso. O condicionamento ambiental e a melhoria da eficiência de equipamentos elétricos são exemplos desta modalidade.

e) Crescimento Estratégico de Carga - é a alteração da curva de carga relacionada ao aumento das vendas de energia, além do preenchimento de vale. Pode visar a substituição de combustíveis ou ampliação da área de serviços de eletricidade, notadamente as relacionadas com o advento de novas tecnologias intensivas em eletricidade.

f) Curva de Carga Flexível - é um conceito relacionado a uma restrição de planejamento, que é a "confiança". Trata-se de uma otimização do suprimento em um horizonte de planejamento, realizada a partir da curva de carga prevista, incluindo outras medidas de gerenciamento da demanda. A curva de carga pode assumir o aspecto flexível quando é fornecido ao usuário o binômio opções-incentivos, como cargas interruptíveis, durações de cargas ou sistemas integrados de gerenciamento energético.

A discussão das modalidades de gerenciamento da demanda realizada neste trabalho visa tão somente o aquecimento de água do setor residencial, embora o conceito seja aplicável a todos os usos finais de energia elétrica. Dos seis itens mencionados acima, aquele que parece estar o mais distante do objetivo estabelecido é o crescimento estratégico de carga, pois, no que diz respeito à substituição de vetores energéticos para o aquecimento de água, há

uma tendência no país de questionamento do emprego da eletricidade neste uso final, ou seja, sua substituição por gás.

No entanto, o crescimento estratégico de carga alerta para um fato inexorável: a disseminação do uso de novos equipamentos elétricos em todos os setores de consumo, como os intensivos em eletricidade na indústria, os de automação na indústria e no comércio e uma infinidade de novos eletrodomésticos para o setor residencial, como o forno de microondas e o computador pessoal que praticamente não existiam há poucos anos. Enfim, todos estes equipamentos representam incrementos significativos no consumo e demanda de energia elétrica.

Prosseguindo, então, na aplicação dos objetivos de gerenciamento da demanda ao aquecimento de água, o corte de ponta é válido atualmente enquanto princípio, pois os resultados obtidos e expostos no capítulo anterior demonstram o elevado valor da demanda daquelas habitações no período de ponta. Ocorre que esta modalidade, na medida em que envolve o controle direto de equipamentos de uso final por parte da concessionária, pressupõe o controle remoto de aquecedores de água, no caso.

Parece que tal tecnologia, hoje, no país, encontra-se distante, seja por parte dos próprios chuveiros elétricos, que não existem com reguladores de potência facilmente manobráveis, ainda mais à distância, seja pelo estágio incipiente de políticas de conservação de energia e, por conseguinte, tecnológico, da maioria



das concessionárias.

Note-se que o corte de ponta, conforme conceituado, considera apenas o emprego de eletricidade. No entanto, do ponto de vista do planejamento energético como um todo, a substituição da eletricidade utilizada no período de ponta, por outros vetores energéticos, constitui-se também em uma modalidade de corte de ponta.

Já o preenchimento de vale, entendido como o aquecimento de água durante as depressões da Curva de Demandas Médias Horárias (Figura 4.19 do capítulo anterior ) é um conceito com aplicação prática para as habitações de interesse social, não exatamente em relação ao aquecimento de água para higiene pessoal, que se além mais ao deslocamento de carga, mas sim para utilização de água quente na pia de cozinha.

A água quente representa uma necessidade ou forma de conforto para a população, que a priorizou na higiene pessoal, com 100% de saturação de chuveiros elétricos nas habitações estudadas e que, em segundo lugar, a utiliza na lavagem de utensílios de cozinha, representada com 7% de saturação da torneira elétrica. Este uso final encontra-se entre os que tendem a se generalizar e possui idêntico princípio de funcionamento ao do chuveiro.

Perfeitamente dentro do conceito de deslocamento de carga está o aquecimento de água para fins de higiene pessoal, onde, nas

mencionadas depressões da curva de Demandas Médias Horárias, seria realizado o aquecimento da água. Pode ser concebido um sistema que atendesse também às necessidades da pia de cozinha, possibilitando este conforto a uma população que consome muito pouca energia se comparada ao do mundo desenvolvido. Mas o aprofundamento deste aspecto é deixado às concessionárias quando, de fato, forem implementar tais programas de conservação de energia.

O objetivo de conservação estratégica, entre os outros, é o que mais próximo está da variável consumo, na medida em que leva em consideração a eficiência dos aparelhos elétricos e será melhor discutido adiante, quando forem comparadas as formas de aquecimento de água. Também o objetivo de curva de carga flexível será retomado ao tratar-se do controle da demanda.

#### 5.1.2. ALTERNATIVAS DE GERENCIAMENTO DE DEMANDA E IMPLEMENTAÇÃO DE PROGRAMAS

Um grande problema na análise da demanda e da conservação de energia de um modo geral, ao contrário do que imaginam os entusiastas de primeiro impulso, é a infinidade de alternativas existentes para suavizar uma curva de carga ou melhorar a eficiência em um uso final. Dificilmente as análises vão às últimas consequências, muitas vezes por falta de dados de mercado de energia, de aparelhos elétricos ou pequeno incentivo à pesquisa.

Este trabalho também não pretende esgotar o assunto, sob a forma, por exemplo, do tratamento exaustivo do conceito de gerenciamento da demanda, mas apenas fixar algumas noções importantes relativas à sua aplicação ao aquecimento de água residencial. Entre elas, encontra-se o enfoque de Alternativas de Demanda, que consistem nos "produtos e serviços que fornecem o meio pelo qual os programas de gerenciamento da demanda podem influir no uso de eletricidade" [Delgado, 1985].

As alternativas caracterizam-se em grandes linhas de abordagem, que são:

- objetivo de curva de carga do programa de gerenciamento da demanda;
- uso final do consumidor afetado pelo programa;
- maneira pela qual a implementação do programa é realizada no mercado;
- tecnologia ou equipamento envolvido.

Em função dos dados arrolados nos capítulos anteriores, ou seja, de que o período de ponta do setor elétrico deve-se em grande parte ao setor residencial e que, internamente a este setor, o aquecimento de água constitui uma parcela significativa da carga neste horário, estão identificados o objetivo e o uso final de um possível programa de gerenciamento da demanda.

O objetivo pode ser dividido em duas partes: o deslocamento de carga e o preenchimento de vale, embora não se possam descartar

outros, como a conservação estratégica, que, de acordo com o próprio nome, jamais deve ser esquecida em qualquer plano de uso racional da energia. Conforme discutido, o preenchimento de vale dá margem a questionamentos do tipo: "como imaginar a construção de uma carga a mais na pia de cozinha? Não seria melhor nunca incentivar a população a novos consumos?"

Esta visão da conservação de energia não é das mais abrangentes, pois conservar não é necessariamente estabelecer listas de restrições e proibições ao consumo, mas sim utilizar racionalmente a energia, através de planejamento, de modo a evitar que a população generalize um uso final caoticamente, trazendo maiores transtornos ao futuro gerenciamento da demanda pelas concessionárias. Não atentar para as soluções espontâneas é o mesmo que não fazer programa algum, que deixar ao acaso, ou perpetuar a irracionalidade existente.

No que diz respeito à implementação de programas de gerenciamento da demanda no mercado, trata-se de um tópico difícil e de longa execução, que envolve soluções de compromisso entre concessionária e usuário. A Figura 5.2 apresenta alguns itens característicos a considerar em tais programas [Limaye, 1985].

Note-se que um programa de gerenciamento da demanda, comportando o gerenciamento de carga e o preenchimento de vale mencionados, teria possibilidades de atender aos objetivos das concessionárias, na medida em que a redução de capitais necessários à empresa advém

com a minimização de recursos em potência instalada de hidrelétricas e manutenção ou mesmo redução dos custos operacionais. Como decorrência, o sistema elétrico existente estará também sendo melhor utilizado.

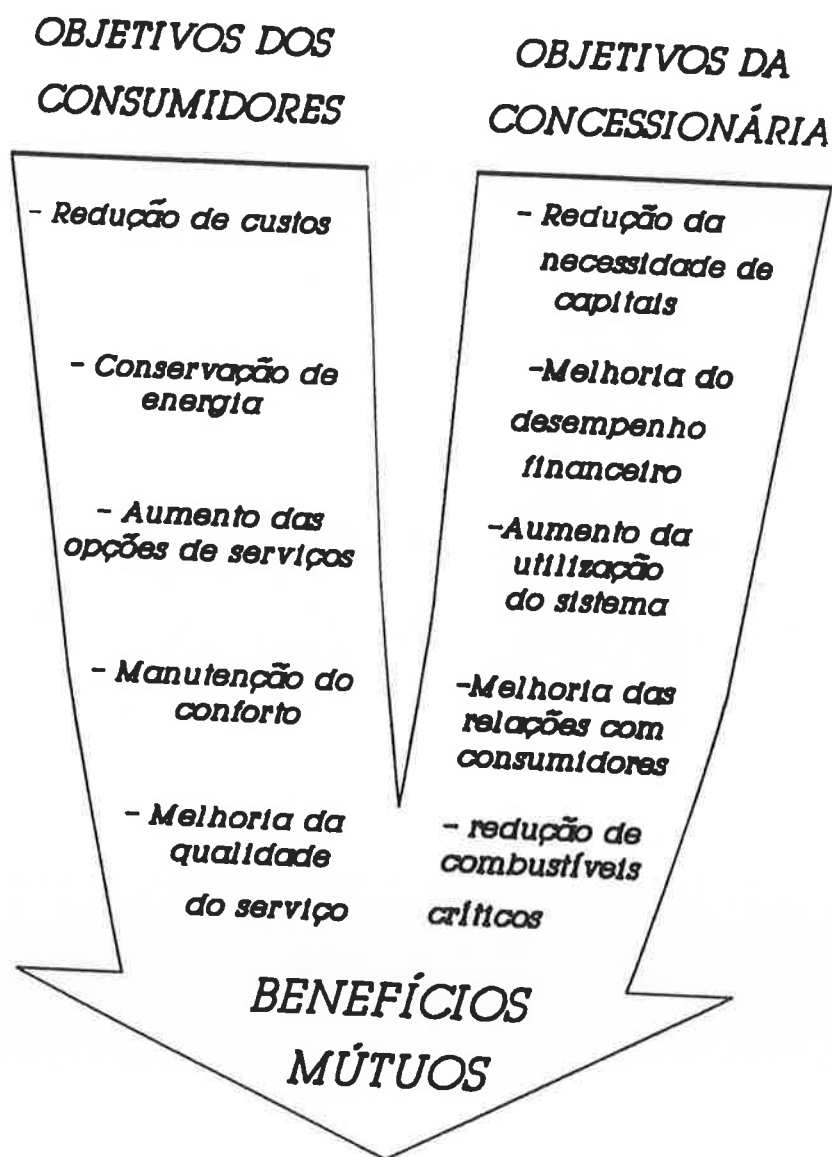


Figura 5.2- Objetivos comuns de concessionárias e consumidores através de programas de gerenciamento da demanda - (Limaye, 1985)

Tudo isto aplica-se às termelétricas (e nucleares), tanto em termos de recursos para investimentos, como de custos operacionais, concebidas às vezes unicamente para atender o período de ponta.

A melhoria do desempenho financeiro da concessionária, com um programa de gerenciamento da demanda voltado para o setor residencial, pode ser projetada, seja através da melhor utilização de seu sistema elétrico com a venda de energia no horário fora de ponta, podendo assim atender a um maior número de consumidores, seja por meio de medida complementar, que estabeleça patamares de demanda, e preços correspondentes.

Entretanto nada disso é viável sem levar em conta o consumidor que deseja crescentes níveis de conforto a preços mínimos. Particularmente no Brasil, até hoje, o consumidor não sabe o que paga ao deparar-se com os valores mensais da conta de energia elétrica. Este é um primeiro aspecto que as concessionárias, o setor elétrico e as autoridades governamentais precisam deixar claro, a fim de possuírem argumentos seguros e merecerem a confiança do consumidor, quando necessário engajá-lo em um programa de conservação de energia. Só depois deste trabalho preliminar, é possível estruturar as medidas do programa propriamente ditas. O planejamento e a implementação de um programa de gerenciamento da demanda encontram-se indicados na Figura 5.3 [Limaye, 1985].

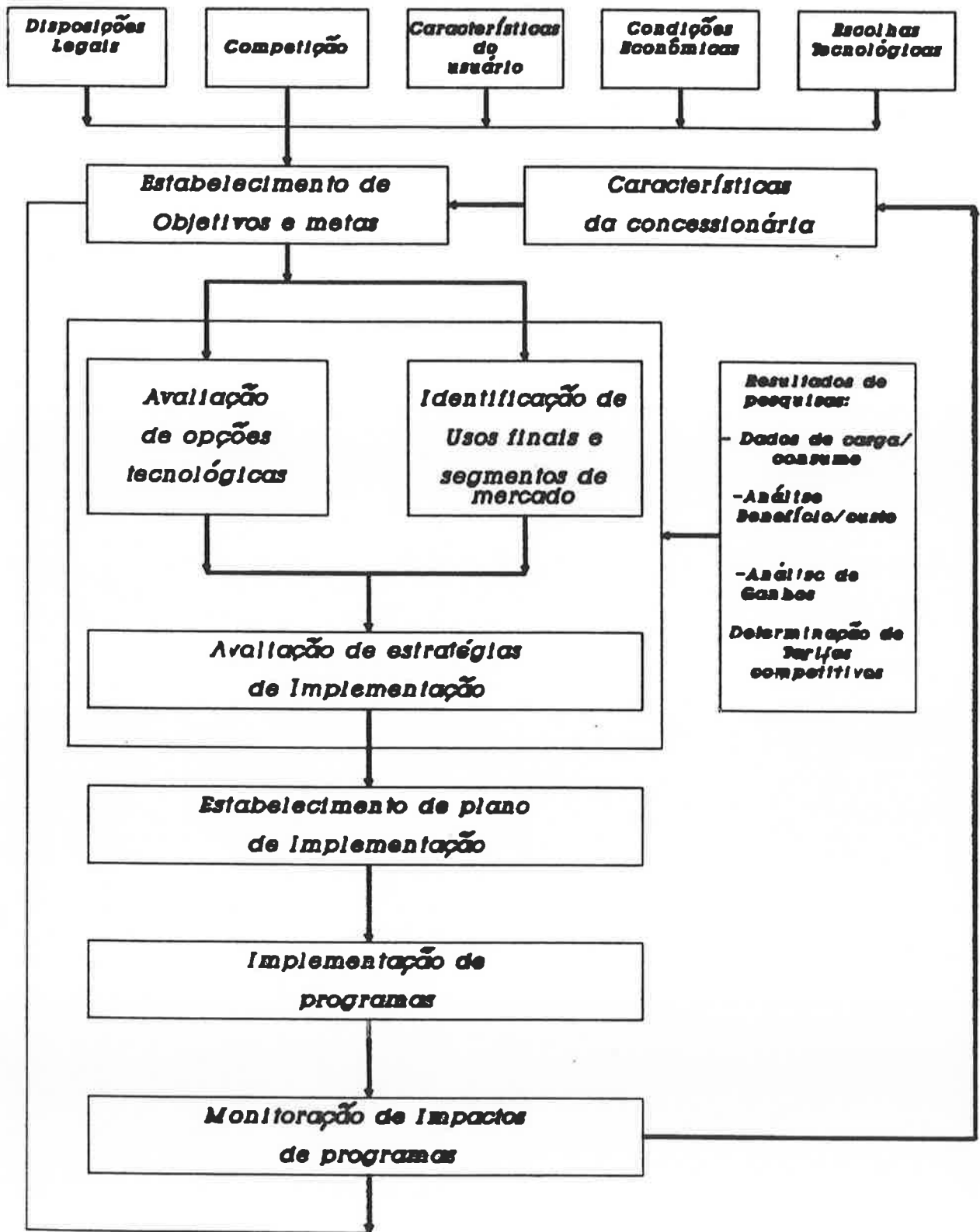


Figura 5.3 - Estrutura conceitual do planejamento e implementação de programa de gerenciamento da demanda - [Limaye, 1985].

A estrutura de um tal programa é genérica, sendo necessário identificar o uso final e o segmento de mercado alvo. Também no caso do aquecimento de água, terão de ser vencidas resistências do consumidor, pois o preço de um chuveiro elétrico é relativamente pequeno se comparado aos de outras tecnologias. Tais resistências aparecem sob a forma de:

- retorno inadequado ao consumidor do investimento na nova tecnologia;
- investimento inicial considerado como muito elevado;
- desconhecimento do programa ou tecnologias em promoção;
- falta de motivação para adotar o programa ou tecnologia;
- a adoção do programa ou nova tecnologia pode reduzir o nível de conforto;
- disponibilidade limitada de produtos em promoção;
- risco associado à adoção de novas tecnologias.

Evidentemente, em um país com as dimensões do Brasil, com o número de chuveiros elétricos instalados e dezenas de concessionárias existentes, é inimaginável a aplicação de um único esquema fechado, a partir da Figura 5.3, ao uso final aquecimento de água. Ainda mais porque grande parte das concessionárias não é produtora de energia elétrica, mas apenas distribuidora, por isto relegando a um segundo plano problemas de conservação.

Um tal programa envolveria, entretanto, a quase totalidade do setor residencial, dada a penetração do chuveiro elétrico em todas



as camadas sociais. Nas de rendas mais elevadas, talvez os programas de substituição de equipamentos encontrem menor resistência, pelo fato de o investimento inicial não pesar significativamente. Nas camadas de menor renda, como estas das habitações de interesse social, o programa certamente é de mais difícil implementação.

Além das dificuldades legais, de organização das próprias concessionárias e de renda dos usuários, novas formas de aquecimento de água em habitações já construídas implicam em obras civis, como a instalação de tubulações no interior de paredes, que têm custos elevados de material e de mão de obra e, às vezes, não são simples. É por isto que um programa de gerenciamento da demanda em particular, e de conservação de energia de um modo geral, é muito mais facilmente aplicável a edificações novas, onde, inclusive, o custo das instalações pode ser amortizado ao longo do tempo com o financiamento que já é realizado para a habitação.

É tendo em vista o déficit habitacional brasileiro, primordialmente para populações de baixa renda, que um tal programa deve estabelecer seu primeiro alvo, ficando mais fácil a avaliação dos resultados, se comparados às cargas solicitadas pelas habitações existentes. A Figura 5.4 ilustra a implementação de um programa de gerenciamento da demanda sob o ponto de vista de sua metodologia [Runnels & Whyte, 1985].

O esquema da Figura 5.4 incorpora programas em que a participação do usuário ocorre no dia a dia inclusive, e não apenas aqueles que significam a mera aquisição de um novo aparelho. Neste último caso, a etapa de medida de uso de energia, depois de terminado o programa, não teria sentido.

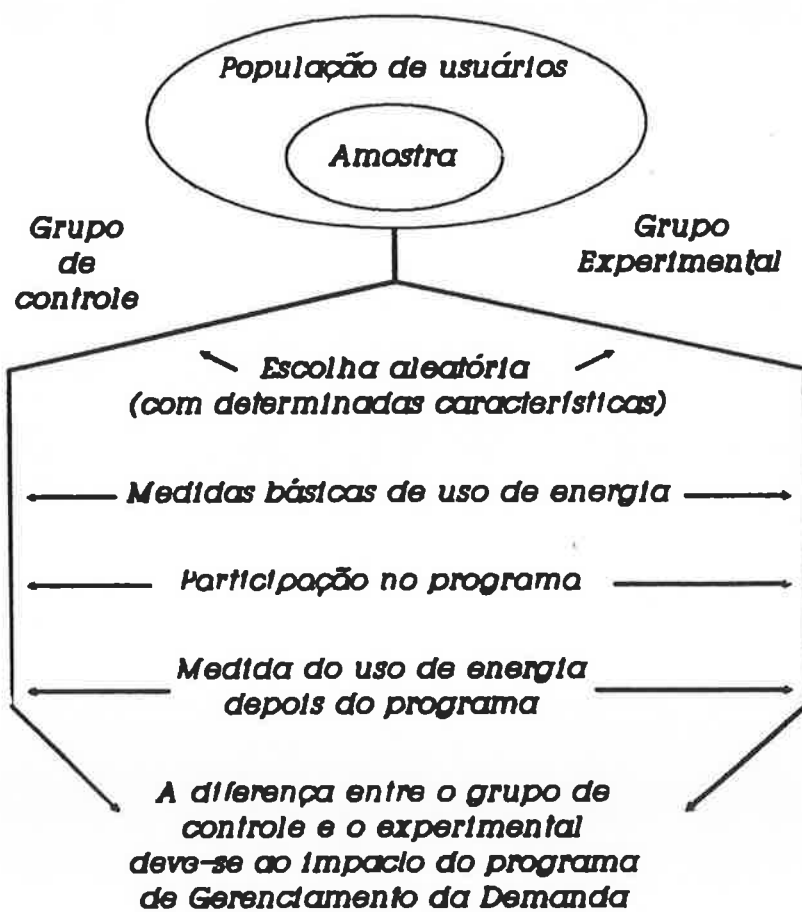


Figura 5.4 - Projeto experimental básico para programa de gerenciamento da demanda - [Runnels; Whyte, 1985].

O principal aspecto de um programa de gerenciamento da demanda voltado para o aquecimento de água é o armazenamento de energia térmica realizado fora de ponta. Isto leva à aquisição de novos aparelhos elétricos, diferentes do chuveiro, se mantido o vetor energético eletricidade. Caso contrário, adotando-se o gás, o aquecimento pode se realizar por passagem ou acumulação. Em qualquer um dos casos, a iniciativa implica em investimentos na habitação.

Uma vez determinada uma iniciativa como a mais viável para uma localidade, a concessionária deve escolher a proposta que tenha maior probabilidade de conseguir a adesão do usuário. O leque de propostas possíveis é, em geral, muito amplo; como exemplos estão os descontos nas tarifas, o fornecimento do aparelho pela concessionária, a promoção de aparelhos, a execução dos serviços, entre outras.

Embora um programa de gerenciamento da demanda ou conservação de energia possa levar em conta aspectos sociais e políticos, a proposta (ou combinação de propostas) apresentada aos usuários deve refletir os custos da concessionária, geralmente com base em custos marginais de potência instalada e de energia gerada, de acordo com o período do dia.

Do lado do consumidor, há também um problema de custos sobre o qual uma concessionária deve possuir plena consciência já na fase de concepção de um programa de gerenciamento da demanda. Caso

contrário, o programa pode estar fadado ao fracasso desde o seu início.

No caso do aquecimento de água, uma opção tecnológica alternativa ao chuveiro elétrico implica em custos para o consumidor, que podem ser divididos da maneira seguinte:

- custos de aquisição do equipamento e de acessórios;
- custos de instalação;
- custos de manutenção;
- custos de energia consumida no período de ponta;
- custos de energia consumida fora de ponta.<sup>2</sup>

Os custos de equipamentos e de acessórios — como tubulações e condutores elétricos — e de instalação, apresentam-se ao consumidor de uma vez, no início, podendo também ser financiados, opção esta em que devem ser acrescentados os juros. Já os custos de manutenção, de previsão mais difícil, aparecem discretamente durante a vida útil do sistema. A terceira categoria de custos, de energia consumida, que ocorre também durante toda a vida útil do sistema, constitui-se de parcelas mensais pagas à concessionária.

<sup>2</sup> - A distinção entre custos de energia consumida no período de ponta e fora do mesmo, para o setor residencial, ainda não é uma realidade no Brasil, embora programas-piloto estejam sendo testados.

Todos os tipos de custos referidos podem ser apenas estimados, porque serão, na realidade, efeitos de variáveis exógenas, de que as políticas nacionais e internacionais de energia constituem um exemplo. Mesmo no que diz respeito aos cálculos internos de uma concessionária, o preço de venda de energia ao consumidor pode variar, porque, em um determinado prazo, pode haver a necessidade de perseguir outro objetivo de gerenciamento da demanda, tendo ocorrido uma mudança na sua curva de carga. Assim, um programa de gerenciamento da demanda deve possuir um horizonte de validade das propostas.

Apesar de todas as restrições que se possa fazer à precisão dos cálculos de viabilidade econômica de um programa de gerenciamento da demanda, voltado para o aquecimento de água, a análise dos custos para o consumidor não pode ser deixada de lado. Assim, as categorias de custos mencionadas acima podem ser agrupadas em um custo anual da opção em estudo.

O custo anual consiste na decomposição dos custos de equipamentos, acessórios, de instalação e de manutenção, durante a vida útil do sistema, que são somados aos custos anuais de energia consumida. A comparação dos custos anuais das alternativas disponíveis fornece ao consumidor um critério econômico de decisão.<sup>3</sup>

3 - No caso de instalação de aparelhos mais eficientes ou de substituição de valores energéticos, onde o custo da energia pode ser significativo em relação aos custos iniciais, faz parte da decisão o *pay-back* ou período de retorno dos investimentos.

Não se quis com esta visão geral do gerenciamento da demanda discutir todos os conceitos imanentes a este enfoque, mas apenas situar a questão do aquecimento de água nas habitações de interesse social e, por extensão, no que há de semelhante, ao setor residencial. Propositamente, a alternativa de gerenciamento da demanda traduzida como "tecnologia ou equipamento envolvido" foi contornada na exposição acima, por incorporar detalhes específicos. Alguns dos detalhes de funcionamento mais interessantes são discutidos neste capítulo.

## 5.2 SISTEMAS E TECNOLOGIAS DE AQUECIMENTO DE ÁGUA

### 5.2.1 SISTEMAS DE AQUECIMENTO DE ÁGUA

Nas habitações pesquisadas, a água quente é utilizada essencialmente para banhos. Entretanto, no mundo, encontram-se usos como:

- chuveiro;
- banheira;
- lavatório;
- pia de cozinha;
- máquina de lavar roupas;
- máquina de lavar pratos;
- bidê.

Os usos que necessariamente existirão e aqueles com maior probabilidade de serem incorporados durante a vida útil da

habitação devem ser previstos com antecedência pelos projetistas de instalações prediais, concessionárias, planejadores e órgãos de financiamento, pois a tendência atual é a de que eles estejam cada vez mais presentes. Caso contrário, o que é o mesmo que deixar ao acaso, os moradores vão instalando equipamentos elétricos de aquecimento de água por passagem e agravando o problema da demanda.

Se houver a viabilidade técnica e econômica de outras formas de aquecimento de água, que não a instantânea, para banhos, em edificações novas ou mesmo nas existentes, elas seriam ainda mais justificáveis caso haja a extensão do uso da água quente a outras finalidades, como a pia de cozinha, para citar a que tem a segunda posição na lista de prioridades. Nessa situação, é conveniente examinar os sistemas alternativos aos chuveiros elétricos.

Em primeiro lugar, interessam algumas definições da Norma Brasileira de Instalações Prediais de Água Quente [ABNT, 1968], para evitar ambigüidades na discussão sobre as formas de aquecimento mais adequadas a situações diversas. Até agora, foi mencionado com mais frequência o aquecimento individual, que é o "sistema que alimenta um só aparelho." Neste caso estão inclusos, como exemplos entre os mais conhecidos, o chuveiro e a torneira elétricos e o aquecedor de passagem a gás para alimentar um único ponto de utilização. De um modo geral, os aquecedores de passagem possuem o menor custo de aquisição do aparelho. No caso dos elétricos, a Tabela 5.1 apresenta seus preços médios.

Tabela 5.1 - Preços Médios de aquecedores elétricos de passagem  
(mai/91)

Aparelho	Preço (US\$)
Chuveiro elétrico (7,0 kW)	65
Chuveiro elétrico (4,4 kW)	35
Torneira elétrica (2,5 kW)	30

No outro extremo, em relação ao aquecimento individual, define-se:

- "Aquecimento central coletivo: sistema que alimenta conjuntos de aparelhos de várias unidades (prédios de apartamentos, hospitais, hotéis, escolas, quartéis e outros)."

A Figura 5.5 ilustra um sistema de aquecimento central coletivo. Embora existam variações na concepção deste tipo de sistema, este aspecto não será tratado aqui, pois o que interessa no caso é a sua capacidade de resposta a programas de conservação de energia em geral e de gerenciamento da demanda em particular.

Assim, prédios de apartamentos, que constituem exatamente as edificações pesquisadas e uma forma muito provável de saneamento do déficit de habitações de baixa renda, são passíveis de possuir aquecimento central coletivo.

Porém, esta alternativa quase não é adotada no país por razões muito plausíveis: por um lado, ela causaria conflitos no rateio da conta de energia consumida, porque as unidades possuem diferentes



números de moradores, com hábitos diversificados, sendo muito difícil, tecnológica e culturalmente, o controle e divisão das despesas do sistema.

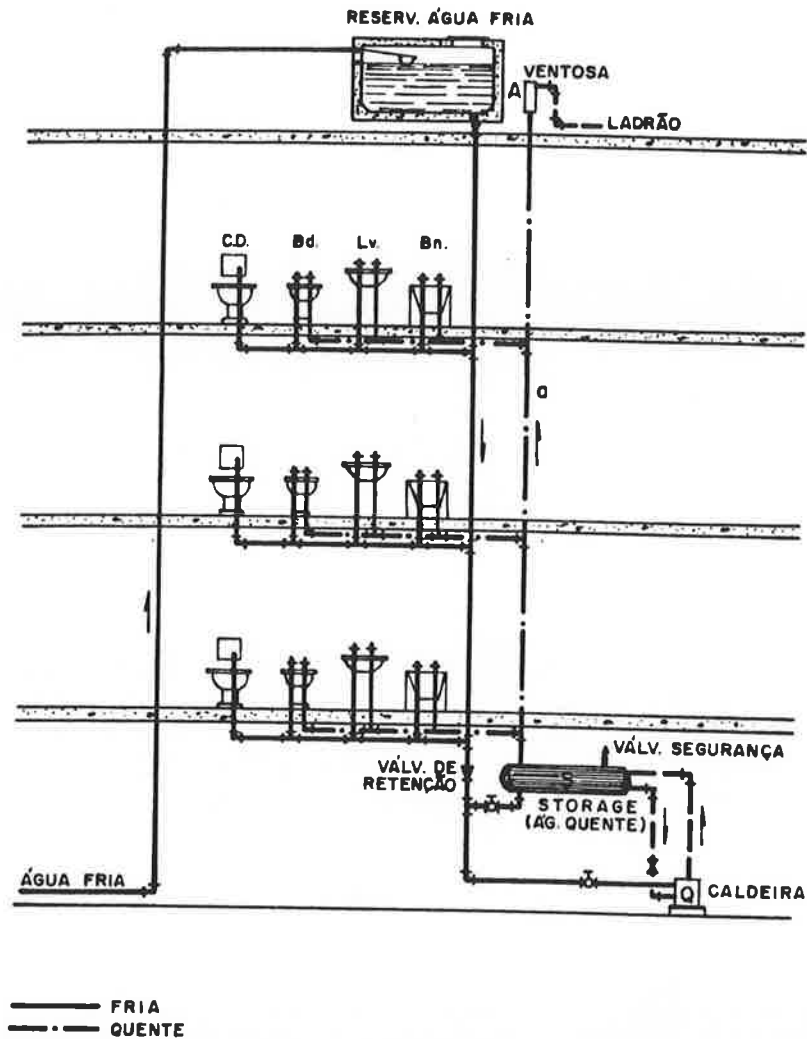


Figura 5.5 - Sistema central coletivo de aquecimento de água.  
[Macintyre, 1988]

Por outro lado, implicando o aquecimento central coletivo em medida coletiva, costuma despertar a idiossincrasia do desperdício: "na França, o consumo de água quente em apartamentos

com medida coletiva deve ser 50% maior que o consumo em apartamentos com medida individual. Números semelhantes são observados na Alemanha Oriental." [Vine & alii, 1987].

Como alternativa aos dois sistemas mencionados, há outro, intermediário:

- "Aquecimento central privado: sistema que alimenta vários aparelhos de uma só unidade (residência)."

Este sistema pressupõe um equipamento para aquecimento de água em cada unidade habitacional, conforme pode ser observado na Figura 5.6, embora o tipo de equipamento possa variar.

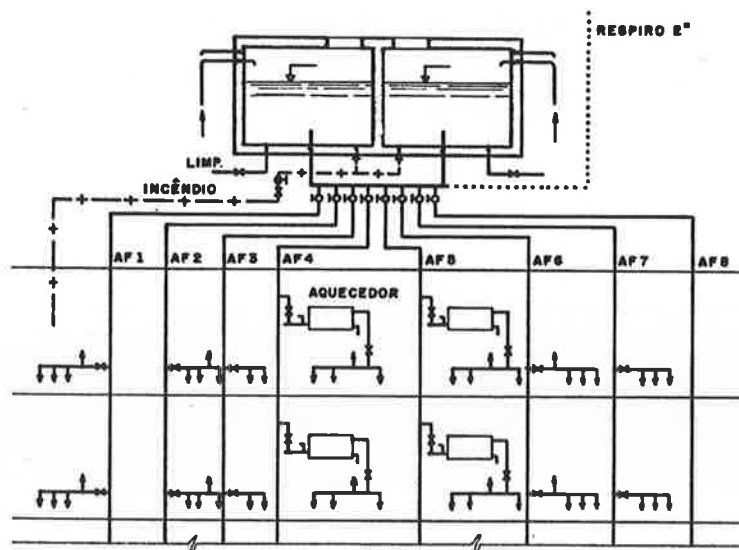


Figura 5.6 - Sistema central privado de aquecimento de água.  
[Macintyre, 1988]

Esta modalidade engloba tanto o caso de um aquecedor de passagem em uma residência, que alimenta mais de um aparelho, como o aquecedor de acumulação. Para este último, é necessário complementar a definição com:

- "Aquecedor de Acumulação: aparelho que se compõe de um reservatório dentro do qual a água acumulada é aquecida por um dispositivo adequado."

Portanto, dois componentes são necessários para satisfazer a definição de aquecedor de acumulação: o reservatório e o dispositivo de aquecimento. É interessante notar que diversas tecnologias seguem esta definição. Por um lado, pode uma resistência elétrica ou um queimador de gás ou um evaporador de uma bomba de calor constituir o dispositivo de aquecimento. Por outro, o reservatório faz parte de sistemas de aquecimento onde o vetor energético é a eletricidade, o gás, a radiação solar e o calor ambiente, no caso da bomba de calor. Para ilustrar o potencial da radiação solar e o funcionamento da bomba de calor, menos conhecida no país, os Anexos III e IV, respectivamente, contém mais detalhes sobre estes temas.

Vistos em linhas gerais os sistemas de aquecimento de água mais utilizados, é necessário verificar também os vetores energéticos que podem ser empregados em cada um deles, para depois analisar as suas respectivas viabilidades para diferentes objetivos de gerenciamento da demanda.

## 5.2.2 FONTES DE CALOR E TECNOLOGIAS DE AQUECIMENTO DE ÁGUA

No que diz respeito à fonte de calor, a norma cita o gás, eletricidade e o óleo. Este último, além de não ser usual no país, possui problemas inerentes ao fato de ser um derivado do petróleo, combustível dependente de importações e grande emissor de gases poluentes.

### 5.2.2.1 AQUECEDORES A GÁS

Quanto ao gás, dois tipos são mais usuais: o engarrafado e o gás de rua (encanado). O primeiro é geralmente o GLP (Gás Liquefeito de Petróleo). Como seu nome indica, por ser derivado do petróleo, está sujeito às flutuações do mercado internacional. Seu preço interno é subsidiado e não reflete custos reais. Recomendar o seu emprego generalizado para o aquecimento de água significaria introduzir uma variável complexa no consumo de energia do setor residencial. Basta verificar que seu emprego para cocção de alimentos vem passando por sucessivas crises.

Uma alternativa de pouco uso no setor residencial no Brasil, em relação a outros países, é o emprego de gás natural, tanto para aquecimento de água como para cocção. O país possui reservas deste combustível, além de ser um produto da pauta de comercialização com outros países latino-americanos vizinhos. Porém, é pouco provável que este combustível ultrapasse os limites das metrópoles, seja por uma ausência de economia de escala na

implantação de longas redes de gasodutos que seriam necessárias para cobrir cidades menores, seja por constituir o combustível cujas reservas têm previsão de esgotamento em primeiro lugar [Fulkerson & alii, 1990].

Este problema é agravado pela inexistência de redes de distribuição nas vias públicas e de redes internas aos edifícios. Quanto a estas últimas, na cidade de São Paulo é exigida a sua implantação no momento da construção, visando a utilização futura de gás.

Para os edifícios existentes, sem redes internas, é perfeitamente possível a sua implantação, havendo já uma metodologia de projeto desenvolvida por [Ioshimoto, 1990], no que se refere a dimensionamento, local de medida e traçado da rede, com a viabilidade econômica de cada uma das modalidades. De qualquer maneira, instalações domiciliares para gás natural serviriam para o GLP (idem), que poderia ser empregado em uma situação em que este último combustível tivesse oferta maior que a demanda.

Também para o emprego de gás de um modo geral, o aquecimento de água pode ser feito por aquecedores de passagem ou de acumulação. Conforme será visto, o aquecedor de passagem a gás constitui uma das melhores alternativas ao chuveiro elétrico: não ocupa muito espaço, podendo ser instalado na área de serviço dos apartamentos, para a maioria das tipologias de prédios existentes, onde os riscos de acidentes envolvendo usuários são menores.

Mesmo o aquecedor de passagem a gás, com vazão de 6 l/m, com seu preço relativamente acessível (Tabela 5.2), não é objeto de uma iniciativa espontânea, particularmente onde não existirem redes internas à edificação. No entanto, este aparelho encontra-se entre os mais viáveis em termos técnicos e econômicos, fundamentalmente para as grandes cidades, onde é possível o emprego do gás natural.

Tabela 5.2 - Preços médios de aquecedores de passagem a gás  
(mai/91)

Capacidade (l/minuto)	Preço (US\$)
6	180
10	120

Nos edifícios de apartamentos existentes, em que o banheiro é próximo à área de serviço, grande parte dos casos das habitações de interesse social, a instalação de aquecedores de passagem a gás requer curtos trechos de tubulação, o que se traduz em menores custos de materiais e de mão de obra. A critério do usuário, além do chuveiro, a utilização do equipamento poderia se estender ao serviço de água quente na pia de cozinha. Isto significa algumas vantagens, como o aumento do conforto já mencionado com maiores vazões e ampliação dos usos finais, o menor preço do gás e possível melhoria das condições de segurança em relação à situação atual.

Sob o ponto de vista do vetor energético, os aquecedores de acumulação a gás apresentam problemas idênticos aos dos aquecedores de passagem a gás, ou seja, insuficiência de redes e

gasodutos quanto ao gás natural e riscos de falta e variação abrupta de preços no que diz respeito ao GLP. Os aquecedores de acumulação a gás apresentam-se como os de custos mais elevados conforme a Tabela 5.3 abaixo.

Tabela 5.3 - Preços Médios de aquecedores de acumulação a gás  
(mai/91)

Capacidade (l)	Preço (US\$)
250	750
200	580
150	500
120	420
80	350

De um modo geral, os aquecedores a gás contribuem na resolução do problema do aquecimento de água no que se refere à demanda de energia elétrica, conforme será visto adiante.

#### 5.2.2.2 AQUECEDORES DE ACUMULAÇÃO ELÉTRICOS

Não apenas pela importância da termoacumulação na atualidade, mas também por qualidades da eletricidade, como limpeza, independência energética e cobertura da maior parte do território nacional, com facilidade relativa frente a outros combustíveis, os aquecedores de acumulação elétricos são tratados aqui de um modo um pouco mais extenso.

Este item considera alguns aspectos técnicos destes aquecedores, na tentativa de identificar desvantagens no que diz respeito à

eficiência e vantagens no que se relaciona à demanda de energia elétrica com o emprego destes equipamentos, como alternativa à situação predominante. Uma vez que o armazenamento e o percurso da água quente até os pontos de utilização são tópicos essenciais desta discussão e comuns a diversas formas de aquecimento, muitas considerações são válidas para os sistemas de coletores solares planos, de bombas de calor e de aquecimento a gás, que empregam reservatórios e tubulações de água quente.

Dada a diversidade dos projetos de instalações prediais de água quente para cada situação particular, não é possível chegar a resultados precisos nem em termos de dimensionamento do *hardware*, nem em termos de custos. Assim, o que interessa aqui é uma ordem de grandeza destas variáveis, de onde possam partir estudos mais específicos em um segundo momento.

Frente aos preços dos aquecedores de acumulação elétricos apresentados na Tabela 5.4 abaixo, pensar em substituição de chuveiros por estes aparelhos ou em sua instalação em novas edificações parece um contrasenso. Todavia, a estimativa do custo de um chuveiro para o sistema de produção de energia elétrica, realizada no início deste capítulo, sugere cálculos mais detalhados por parte das concessionárias, planejadores e autoridades governamentais.



Tabela 5.4 - Preços médios de aquecedores elétricos de acumulação  
(mai/91)

Capacidade (l)	Preço (US\$) mai/91
250 (3 kW)	550
200 (2 kW)	480
150 "	380
100 "	310
75 "	280
50 "	260

Seja para o chuveiro, seja para o aquecedor, os custos finais serão pagos pelos próprios consumidores. Uma diferença importante entre as duas alternativas é que, no caso do aquecedor de acumulação, o usuário assume a sua dívida de imediato com o revendedor em um horizonte definido de liquidação dos débitos e, no caso do chuveiro, ela passa por investimentos em geração hidrelétrica, com empréstimos junto a entidades financeiras externas, rolagem de juros e muitos intermediários.

Se o custo de um chuveiro para o sistema de produção, o que não deixa de ser um custo social, situar-se entre US\$ 215 e US\$ 375, aproximadamente, o preço de um aquecedor de acumulação pequeno (até 100 l.), não está fora desta ordem de grandeza. Além disso, este preço inclui 20% de IPI, imposto que pode ser objeto de negociação com autoridades governamentais em um contexto de aplicação de uma política de conservação de energia.

Entretanto, de nada adianta um maior emprego dos aquecedores de acumulação elétricos, se tal medida não implicar em uma melhor

modelagem da curva de carga do setor residencial. E este efeito apenas é possível se os aquecedores forem capazes de trabalhar à noite e fora de ponta. Se o fizerem, constituem uma boa alternativa, porque se instalados no banheiro ou na área de serviço dos apartamentos, aproveitam as tubulações de água fria existentes e as instalações elétricas do chuveiro atual, requerendo curtos trechos de tubulação para a condução da água quente.

No que diz respeito à curva de carga das habitações de interesse social, há dois períodos do dia em que a demanda média horária é menor do que a média de todas as horas do dia: entre 0:00 e 12:00 horas e entre 13:00 e 18:00 horas. Mas observando-se os resultados de demanda média horária, que se encontram na Tabela 4.14 do Anexo II, com o critério de deslocamento de carga para os períodos mais convenientes e a tentativa de dispor de água quente durante todo o dia, os intervalos mais adequados estão entre 0:00 e 5:00 horas, 9:00 e 11:00 horas e 13:00 e 18:00 horas.

É evidente que diante de uma situação particular de projeto, estes intervalos podem ser ajustados conforme a necessidade de água quente da moradia e de modelagem da curva de carga da concessionária no caso das habitações pesquisadas. No entanto, dois intervalos se impõem para a tarefa: o das 0 às 5 horas, por constituir o núcleo noturno onde todas as demandas setoriais são baixas e o das 13 às 18 horas, por anteceder um longo período de demandas elevadas para o qual a água quente acumulada na primeira

metade do dia pode ser insuficiente.

Assim, é necessário examinar a possibilidade de o aquecedor de acumulação elétrico adaptar-se a estas condições. De antemão, é conveniente que se diga que não há resposta geral para a questão colocada. É comum encontrar-se na bibliografia voltada para o tema, relatando pesquisas realizadas nos países desenvolvidos, frases antagônicas como: "atualmente os aquecedores são superdimensionados" e "a metodologia em uso levou a um subdimensionamento de todos os aquecedores".

Se lá onde as pesquisas têm alguma maturidade, o problema encontra-se ainda em fase de solução, nos países em desenvolvimento há uma quantidade de dados de vazões e de hábitos de usuários muito menor. Para bem estabelecer os objetivos próprios de futuras aquisições de dados, é necessário por em marcha o equacionamento dos aquecedores de acumulação, particularmente os elétricos.

Os equipamentos mais encontrados no mercado elevam a temperatura da água a 70°C, em termos médios, dado o fenômeno da estratificação de temperaturas ao longo da altura do reservatório, possuindo como dispositivo de controle unicamente um termostato. Assim, sempre que houver utilização de água quente, quantidades iguais de água fria serão admitidas no reservatório com a conseqüente atuação do termostato e início da recuperação.

Como a maior solicitação de água quente ocorre no período de ponta, há passagem de corrente elétrica pelo elemento resistivo nesse intervalo. E devido ao fato de a potência do sistema ser menor que a dos aquecedores de passagem, os períodos de funcionamento do aquecedor são proporcionalmente maiores. Aí está a origem das afirmações de que a demanda do aquecedor de acumulação elétrico é maior que a do chuveiro [Graça, 1990].

Em função deste princípio de funcionamento, os aquecedores de acumulação, no estágio tecnológico em que se encontram, não se constituem em uma alternativa satisfatória ao aquecedor de passagem elétrico, para o objetivo de eliminação da demanda de energia elétrica para aquecimento de água no período de ponta.

Além deste aspecto, de reposição da água quente que foi consumida nas últimas horas do dia, quando a demanda média horária das habitações ainda é relativamente alta, o aquecedor de acumulação está em funcionamento, elevando a temperatura da água a 70°C. Por volta das 24 horas, quando a demanda de energia elétrica da habitação começa a cair, para atingir valores mínimos com os habitantes dormindo, o aquecedor encontra-se em seu melhor momento para fornecer água quente a 70°C. Uma parte deste calor é destinado às perdas inerentes ao sistema e a necessidade de água quente ocorrerá apenas a partir do momento em que as pessoas se levantam para ir ao trabalho, à escola ou realizar tarefas domésticas.

O primeiro passo no sentido de adequar o aquecedor a uma política de gerenciamento da demanda é dotá-lo de um *timer*, ou seja, de um dispositivo que permita o seu funcionamento apenas em intervalos pré-fixados. Um aquecedor dotado de termostato e *timer* entra em funcionamento apenas quando os dois dispositivos o permitirem. Em primeiro lugar, o *timer* determina se é horário de funcionamento ou não; se sim, o termostato determina se é necessário ou não o funcionamento naquele momento. Aí está o significado e possibilidade de um objetivo de deslocamento de carga, conforme exposto no início deste capítulo, aplicado ao aquecimento de água.

Porém, como ocorre alimentação de água fria durante o período de ponta, a temperatura da água pode cair a valores inferiores ao mínimo necessário para o conforto do usuário. Uma via para resolver este problema é impedir a realimentação durante o período de ponta, mas é muito complexa, porque seriam necessárias válvulas de acionamento sincronizado com o *timer* e a parte superior do reservatório, onde está localizada a saída de água quente, ficaria vazia. Alterando a posição desta saída para a parte inferior, devido ao fenômeno de estratificação da temperatura da água, iria sair em primeiro lugar a água mais fria a baixa pressão. A este nível de complexidade e soluções tecnológicas necessárias para resolver o problema, o custo do aquecedor pode liquidar com sua viabilidade econômica, valendo continuar com o chuveiro tradicional.

No entanto, é necessário verificar se a hipótese do *timer* com

realimentação ainda resiste a certos questionamentos. Em outras palavras, como é possível o deslocamento de carga, com armazenamento térmico, sem comprometer o conforto do usuário e a um custo acessível? Para encaminhar a resposta a esta pergunta, é imprescindível a discussão de aspectos de desempenho do sistema.

Para que o funcionamento do sistema se dê fora de ponta, a quantidade de água fria de realimentação deve ser tal que a temperatura da água a ser utilizada não venha abaixo de um determinado valor (45°C é uma referência). Esta solução é possível com um dimensionamento do reservatório tal que a diluição de temperaturas não ultrapasse o limite inferior indicado. Assim, duas variáveis técnicas interdependentes necessitam ser analisadas: o volume do reservatório e as perdas de calor.

Por um lado, conforme já mencionado, não há dados seguros a respeito da demanda de água quente nas residências do país; ainda mais porque o volume necessário no período de ponta depende do número de moradores, de hábitos particulares, do clima, etc. Além disso, para habitações de interesse social, o aquecedor de acumulação pode se restringir a uma política de deslocamento de carga ou estender-se ao preenchimento de vale, com alimentação da torneira da pia de cozinha, para não cogitar de outros usos, como o lavatório, nas habitações de interesse social.

Resolver o problema exclusivamente para o banho é possível, com uma margem de erro a ser minimizada no decorrer da implantação

deste sistema. Isto pode ser conseguido com os dados de tempo de banho disponíveis, com o número de moradores da habitação e com a fixação de um padrão de conforto determinado por um valor de vazão, embora esta abordagem seja determinista e imprecisa.

[Siegrist, 1983] discute vazões mínimas necessárias, mencionando um chuveiro economizador de energia de vazão igual a 11 l/m, enquanto que o chuveiro elétrico utilizado aqui (4.4 kW) funciona, para que a temperatura da água não seja muito baixa no inverno, com uma vazão da ordem de grandeza, no máximo, de 3 l/m.

[Hejazi, 1989] parte da equação da continuidade e da primeira lei da termodinâmica, para propor um modelo de avaliação de aquecedores existentes e dimensionamento de novos equipamentos. As simplificações realizadas são as seguintes:

- reservatório sem retorno, que é o dispositivo destinado a evitar estratificação de temperaturas;
- a energia cinética nas tubulações é desprezível;
- a diferença de energia potencial entre a entrada de água fria e a saída de água quente é desprezível;
- a perda de energia nas paredes do tanque é aproximadamente desprezível;
- a estratificação de temperaturas no reservatório é desprezível.

De onde vem a equação a seguir:

$$h_H = \left[ h_0 - \frac{\dot{M}h_c + Q_R}{\dot{M}} \right] e^{-\dot{M}t/M_s} + \frac{\dot{M}h_c + Q_R}{\dot{M}} \quad (5.1)$$

onde, efetuando a conversão de unidades:

- $h_H$ : entalpia da água armazenada no instante  $t$  (kcal/kg);
- $h_0$ : entalpia da água armazenada no instante  $t = 0$  (kcal/kg);
- $t$ : tempo em horas;
- $\dot{M}$ : vazão máxima horária em massa (kg/h);
- $e$ : base de logaritmo natural;
- $Q_R$ : potência de aquecimento (kcal/h);
- $h_c$ : entalpia da água fria (kcal/kg);
- $M_s$ : massa de água do reservatório (kg);

Na realidade, para cada projeto devem ser adicionados à formulação acima fenômenos como o da estratificação das temperaturas no interior do reservatório, das suas perdas, como também as da tubulação, ou seja, as características dos componentes a serem utilizados. Porém, mesmo simplificada como está, ela pode ser utilizada em um pré-dimensionamento do reservatório, para poder-se avaliar qual é a faixa de volume do reservatório. Com este valor, é possível estimar a viabilidade de uma substituição de equipamentos ou implicações econômicas da instalação de sistemas de aquecimento de acumulação em novas edificações.

Para exemplificar o método proposto, seja uma habitação de interesse social com ocorrência de banhos no período de ponta.



Sejam ainda:

- duração de cada banho de 7 minutos;
- vazão do chuveiro de 3 l/m;
- temperatura da água fria de 15°C;
- temperatura média da água no reservatório, às 18 horas, de 70°C;
- temperatura da água de mistura utilizada de 40°C;
- entalpia da água fria de 15 kcal/kg;
- entalpia da água no reservatório, às 18 horas, de 70 kcal/kg;

Considerando ainda que a massa de água quente utilizada em cada banho seja calculada através da primeira lei da termodinâmica (com calor específico igual a 1 kcal/kg °C) e a lei da continuidade, tem-se:

$$Q_{\text{recebido}} = Q_{\text{cedido}} \quad (5.2)$$

e

$$m_T = m_L + m_H \quad (5.3)$$

onde:

- $m_T$ : massa de água utilizada no banho (kg);
- $m_L$ : massa de água fria utilizada no banho (kg);
- $m_H$ : massa de água quente (temperatura no aquecedor) utilizada no banho (kg).

Vem da combinação das equações (5.2) e (5.3):

$$m_H = \frac{(\Delta\theta_L) m_T}{(\Delta\theta_L + \Delta\theta_H)} \quad (5.4)$$

onde:

- $\Delta\theta_L$ : variação de temperatura entre a água de mistura e a água fria ( $^{\circ}\text{C}$ );
- $\Delta\theta_H$ : variação de temperatura entre a água do aquecedor e a água de mistura ( $^{\circ}\text{C}$ ).

Suponha-se que os banhos ocorram na forma vazões discretas e espaçadas durante o período de ponta. Para aplicar, então, a equação (5.1) de uma forma discreta, o produto  $Mt$  da exponencial é a massa de água quente que sai do aquecedor de acumulação para um banho, encontrada através da equação (5.4). Considerando-se cada entalpia depois de um banho como o ponto de partida para o banho seguinte e reservatórios de diferentes capacidades, obtém-se os resultados apresentados na tabela abaixo.

Tabela 5.5 - Entalpia da água do aquecedor para reservatórios de diferentes capacidades

Instante	Reserv. = 100 l		Reserv. = 75 l		Reserv. = 50 l	
	Massa de água quente utilizada no banho anterior (kg)	Entalpia da água no reserv. (kcal/kg)	Massa de água quente utilizada no banho anterior (kg)	Entalpia da água no reserv. (kcal/kg)	Massa de água quente utilizada no banho anterior (kg)	Entalpia da água no reserv. (kcal/kg)
Antes do banho 1	0	70.0	0	70.0	0	70.0
Antes do banho 2	9.5	65.0	9.5	63.4	9.5	60.4
Antes do banho 3	10.5	60.0	10.8	56.9	11.6	51.1
Antes do banho 4	11.7	55.1	12.5	50.5	14.6	42.0
Antes do banho 5	13.1	50.1	14.8	44.1	19.5	33.3
Antes do banho 6	14.9	45.3	18.0	37.9	-	-
Antes do banho 7	17.4	40.4	-	-	-	-

Como os valores numéricos da temperatura da água no reservatório podem ser tomados iguais aos da entalpias, os resultados da tabela acima permitem estimar quantos banhos seriam possíveis, com uma determinada capacidade de armazenamento, para as condições de conforto estabelecidas.

Para estimar também a potência elétrica desses aquecedores, devem ser adotadas hipóteses. Mostrou-se no capítulo anterior que os usuários afirmaram estarem mais de 50% dos banhos localizados no período de ponta. Supor, então, que a entalpia da água do

reservatório de 100 l seja, às 14 horas, de 45 kcal/kg, aproximadamente a sua condição depois do banho 5 na tabela acima, não está muito longe da realidade. Com isto, são necessárias 2500 kcal para elevar a temperatura da água a 70°C em condições estáticas. Se este aquecimento for realizado das 13 às 16 horas, portanto fora de ponta, é necessária uma potência elétrica de 1,0 kW.

No que se refere ao período noturno, ideal para o aquecimento de água, há um maior número de horas, significando que, se o dimensionamento de volume e potência for válido para o vale anterior ao período de ponta, a água quente no restante do dia estará assegurada.

Até aqui, uma política de gerenciamento da demanda, apenas com o objetivo de deslocamento de carga, parece possível com uma potência elétrica da ordem de 4 vezes menor que a do chuveiro elétrico mais utilizado atualmente. Além disso, se o tempo médio de banho não exceder em demasia os 7 minutos, o reservatório tomado como exemplo, de 100 l, aparenta estar superdimensionado para a maioria das habitações de interesse social, com 4,5 moradores em média, pois 89% delas possuem 6 moradores ou menos, de acordo com a tabela 4.1 do Anexo.

No entanto, a potência de 2,0 kW dos aquecedores de acumulação elétricos encontrados no mercado, inclusive sem distinção de capacidade do reservatório, conflita com o valor calculado. As

razões deste fato podem ser várias, podendo-se citar:

- pressupõe-se que estes aquecedores alimentem outros pontos de utilização além do chuveiro;
- não há controle de vazão dos pontos de utilização;
- há um superdimensionamento da capacidade de recuperação do aquecedor;
- as perdas nas tubulações ou no aquecedor ou no sistema como um todo são elevadas;
- uma combinação das possibilidades acima.

[Macintyre, 1988] indica potência de 1.0 kW para aquecedores de acumulação elétrico de 100 l., embora sem preocupação com horário restrito de funcionamento. Como o âmbito desta análise restringe-se ao aquecimento de água para banhos, com uma vazão máxima estabelecida, resta, das vias de explicação dos motivos da elevada potência elétrica dos aquecedores existentes, o problema das perdas de calor, uma vez que o objetivo é mesmo não haver recuperação alguma no período de ponta. As perdas de calor constituem um problema de desempenho do sistema e de seus componentes.

Sob o ponto de vista técnico, os componentes e sistemas de aquecimento de água no país deverão passar por um longo desenvolvimento, onde a maior parte ainda está por ser realizada. A metodologia que parece a mais adequada neste percurso é aquela com fundamentos no conceito de desempenho [CIB W 62, 1975], que

trata do comportamento de componentes ou sistemas em utilização, dados os avanços que já proporcionou em todos os segmentos tecnológicos e em particular nos estudos de edificações.

No que se refere às vazões e solicitações do sistema de aquecimento de um modo geral, campo em que ainda há muito o que pesquisar no país, a metodologia do desempenho designa esta busca como a das "exigências do usuário". O conhecimento das exigências é uma condição *sine qua non* para a adequação do projeto. As perdas do sistema, relacionadas com a sua eficiência, podem ser minimizadas através do estabelecimento de "requisitos de desempenho", que tentam traduzir qualitativa ou quantitativamente as necessidades em jogo. Por fim, há a "especificação de desempenho", que é a conversão dos requisitos de desempenho do sistema, depois da decisão quanto à sua disposição e inserção na concepção geral da edificação.

Das mais antigas formas de cálculo em projetos, ancoradas em coeficientes de segurança elevadíssimos, a engenharia evoluiu para metodologias deterministas, ainda vigentes na área de instalações prediais, para hoje empregar metodologias probabilísticas, recentemente desenvolvidas para alguns sistemas. A Figura 5.8 apresenta a filosofia de uma metodologia probabilística de projeto [Green & Smith, 1986].

A idéia básica desta metodologia é a adoção de um risco de desempenho não satisfatório do sistema, uma vez que um desempenho

100% satisfatório implica em um superdimensionamento do mesmo, pois este estará ocioso a maior parte do tempo.

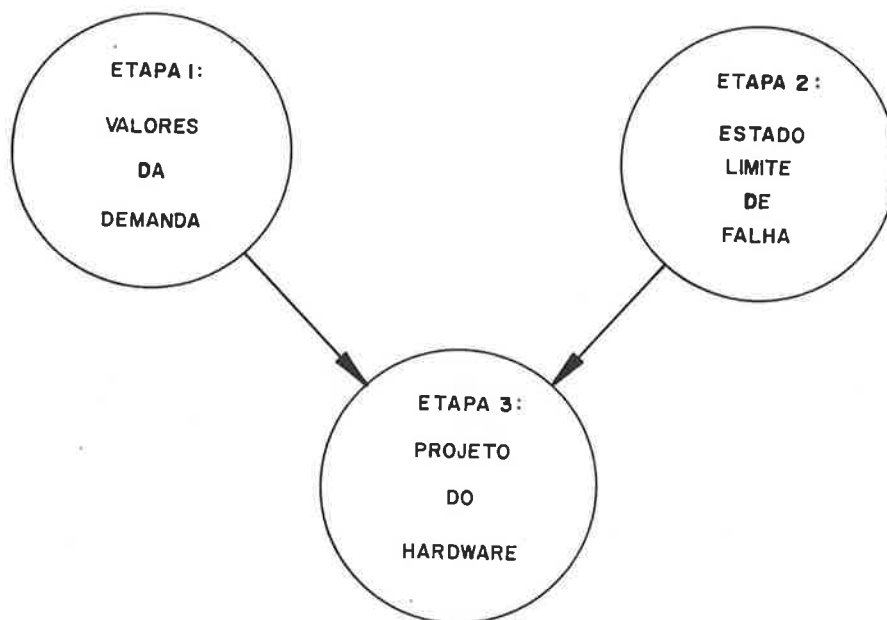


Figura 5.7 - Etapas da metodologia probabilística de projeto para subsistema de edificação - (Green & Smith, 1986)

Cotejando a figura acima com o cálculo realizado de entalpia do aquecedor, com base no tempo médio de banho e um valor fixo de vazão, vê-se que naquela estimativa não foi incorporado o aspecto probabilístico.

Conforme verificado no Capítulo 3, as durações dos banhos são muito variadas. A equação de densidade de probabilidades obtida (3.43) traduz melhor o fenômeno do que a duração média dos banhos (7 minutos). Com esta equação, pode-se obter as frequências relativas de cada duração de banho. Com as frequências relativas, têm-se as probabilidades de cada duração de banho.

O emprego das probabilidades é o caminho para um dimensionamento do *hardware*, como indicado na figura anterior. Uma maneira de empregar este método é através da simulação. Mas o fato de as probabilidades das durações serem diferentes (por exemplo, 0,16 para duração de 3 minutos; 0,07 para 7 minutos; 0,01 para 16 minutos; etc), faz com que a simulação seja mais complexa do que os resultados de eventos com probabilidade iguais de ocorrência de qualquer valor entre os possíveis, como no lançamento de um dado não-viciado.

A simulação das durações de banhos para uma habitação, com um determinado número de moradores, passa hoje pela implementação de programas em computadores, podendo ser realizada várias vezes, de modo a traduzir a ocorrência de banhos na habitação durante o ano. Com os resultados, o projetista poderia dimensionar o sistema de aquecimento de água de modo mais adequado.

Um tal modelo de simulação deve ser aperfeiçoado com estudos da temperatura da água de entrada no reservatório, da água utilizada no banho e da água no interior do reservatório. Além disso, a vazão, que foi tratada de modo determinístico no exemplo termodinâmico desenvolvido nas páginas anteriores, deve também receber uma abordagem probabilística.

Uma outra falha do exemplo acima, em um enfoque sistêmico, é a ausência da consideração das perdas de calor. Este fenômeno é importante não apenas para o consumidor que vai pagar a conta de



energia, mas também para a concessionária que pondera qual de seus problemas é maior: o consumo ou a demanda? Uma vez identificado um deles, a concessionária vai estudar qual é o equipamento mais interessante para o seu programa de gerenciamento da demanda.

A qualquer dos aspectos sobre os sistemas de aquecimento de água discutidos anteriormente pretendeu-se aplicar um enfoque sistêmico. Esta abordagem para os sistemas sanitários prediais foi explicitada por [Graça & Gonçalves, 1986] na passagem seguinte, que bem traduz este espírito: "qualquer problema deve ser explicado a partir do reconhecimento de suas relações com os problemas maiores que os contém...o projeto do edifício como um todo requer soluções integradas dos projetos de arquitetura, estrutura e instalações, resultando no melhor projeto do edifício e não necessariamente nos melhores projetos parciais de arquitetura, estrutura e instalações."

Embora a noção de sistema apareça na citação acima aplicada ao projeto de edificações, ela permeia todos os campos da tecnologia. Assim é que a conceituação de gerenciamento da demanda descrita no início deste capítulo necessita ainda de uma complementação sistêmica: ela realça o ponto de vista da concessionária de energia elétrica sem focalizar a questão em um contexto mais geral, ou seja, do conjunto de vetores energéticos.

Com este acréscimo, por assim dizer, estaria sendo aprimorada a visão sistêmica do aquecimento de água no setor residencial. Para

contribuir neste sentido, o próximo item repassa os objetivos de gerenciamento da demanda, a fim de verificar a adequação das tecnologias de aquecimento de água a cada um deles, com a inclusão da radiação solar e do gás.

Evidentemente, o que se segue deve ser considerado apenas um ponto de partida para as análises da concessionária, sendo necessário elaborar seus programas a partir de dados de equipamentos nacionais.

### 5.3 GERENCIAMENTO DA DEMANDA E TECNOLOGIAS

#### 5.3.1 PRINCIPAIS VARIÁVEIS INTERVENIENTES

Em relação a outros usos finais do setor residencial como iluminação e refrigeração de alimentos, uma característica do aquecimento de água é o pequeno intervalo de utilização. Pois, apesar do funcionamento da geladeira ser intermitente, ele ocorre durante todo o dia e as lâmpadas ficam acesas durante horas. Já a soma das durações de banhos em uma habitação de interesse social está na ordem de minutos.

Apesar do pequeno intervalo de utilização, a água quente requer muita energia, conforme estatísticas citadas no Capítulo 1 e resultados obtidos no Capítulo 4, que indicaram ser o consumo de energia elétrica deste uso final um terço do consumo de energia elétrica nas habitações de interesse social.

Ora, para suprir tanta energia rapidamente, são necessários equipamentos de potência nominal elevada. Em compensação, dos três usos finais mais importantes, o aquecimento de água é o mais viável para o armazenamento de energia, tanto em termos tecnológicos como econômicos nas condições atuais de desenvolvimento do país.

Entretanto, os sistemas de aquecimento de água por acumulação passam por uma certa desconfiança dos usuários no que se refere ao seu elevado consumo de energia em relação ao chuveiro elétrico, que é bem conhecido. O consumo extra está associado às perdas de energia térmica da água depois de aquecida. Para avaliar o fenômeno das perdas, é empregado o conceito de eficiência, que é melhor discutido no Anexo IV deste trabalho.

O usuário comum frequentemente extrai conclusões sobre o conceito de eficiência confundindo o todo com a parte, dizendo, por exemplo: "o vetor energético x é pior do que y". A afirmação, costumeiramente, está fundamentada apenas no nível de conforto proporcionado pelo seu sistema de aquecimento em particular ou pelo valor da conta de energia elétrica ou de gás no final do mês.

Assim, a confusão pode ter origem na não separação entre o vetor energético e o sistema de aquecimento de água utilizado. No momento em que é feita a comparação de custos, por exemplo, a diferença pode refletir apenas a oscilação efêmera entre tarifas de dois vetores energéticos.

Porém, a longo prazo, um problema de eficiência talvez seja o efeito de uma ou mais partes do sistema mal concebidas do que um problema com o vetor energético. Dessa maneira, o desempenho do sistema pode estar sendo estimado pelo desempenho do reservatório ou da tubulação de água quente ou pela própria forma de uso do equipamento.

De acordo com os cálculos realizados sobre a necessidade de potência elétrica do aquecedor de 100 l (1,0 kW), para atender a uma determinada situação, e a potência elétrica do aquecedor de mesma capacidade encontrado no mercado (2,0 kW), a parcela de suprimento das perdas é outro tanto da potência necessária para atender aquela demanda, ou seja, a eficiência, no sentido clássico do conceito, no que se refere à demanda, seria de 50%.

A melhoria da eficiência, com o emprego dos conceitos da transferência de calor para simulações do problema em computadores, é a tendência futura para o aperfeiçoamento dos sistemas. A complementação deste enfoque é o desenvolvimento tecnológico de sistemas de aquecimento de água, através de ensaios experimentais que refutem ou confirmem as simulações, permitindo o refinamento das soluções.

De acordo com as leis de transferência de calor [Holman, 1983], quanto mais elevada a temperatura no interior do cilindro, maior é a transferência de calor através de suas paredes, dadas as mesmas condições climáticas.

Torna-se claro, então, que as perdas no reservatório terão taxa decrescente à medida em que ocorre realimentação de água fria e as perdas na tubulação serão maiores quanto maior o número de utilizações que renovam a água quente em seu interior, importando menos, sob este último aspecto, as durações destas utilizações.

Viu-se, na equação da entalpia utilizada no exemplo de dimensionamento, que as temperaturas correspondentes têm um decaimento exponencial devido à mistura de água quente e fria. Nos intervalos entre banhos, esta queda de temperatura processa-se mais lentamente.

Associa-se o rendimento dos aquecedores de acumulação elétricos às perdas de energia térmica da água quente. Em ensaios realizados com tais aquecedores, e não com todo o sistema de aquecimento, [Cook, 1987] verificou que a queda de temperatura em 24 horas em condições estáticas (sem vazões e sem corrente através dos elementos resistivos), a partir de valores estratificados entre  $49,5^{\circ}\text{C}$  e  $54,5^{\circ}\text{C}$  iniciais no reservatório, situou-se entre  $0,5^{\circ}\text{C}$  e  $3,8^{\circ}\text{C}$  na base.

Não são mencionadas quaisquer condições especiais de isolamento térmico dos reservatórios nos ensaios realizados. Assim, os resultados obtidos revelam que as perdas podem não ser elevadas no que se refere aos reservatórios, considerando-se o longo período de medida de 24 horas. Entretanto, a tubulação à jusante do reservatório, que não foi analisada no ensaio, merece estudos

específicos, seja porque, após cada uso, fica com a água à temperatura mais elevada do reservatório, seja porque, quando envolve isolamento, é uma parte da instalação executada por um processo mais próximo do artesanal do que o de produção do reservatório, que é industrial e, portanto, com padrões de qualidade melhor definidos.

De fato, em medidas realizadas na Nova Zelândia, [Carrington et alii, 1985] concluiu que "a perda por esfriamento nas tubulações pode ultrapassar 40% da energia térmica liberada pelo cilindro de água quente, particularmente se o tempo médio entre fluxos é longo em relação ao tempo característico de esfriamento da tubulação", uma vez que as perdas durante os fluxos não são significativas como aquelas do "volume morto". Os mesmos autores afirmam que a economia de energia com a execução do isolamento térmico da tubulação seria da ordem de 6 - 7% para aquelas instalações estudadas, que tinham comprimento aproximado de 16 m. Mas há outros fatores que influem nas perdas na tubulação, como:

- maneira como o sistema é operado;
- volume de água na tubulação;
- estrutura da rede de tubulações;
- tempo de uso da água quente;
- distribuição de frequências da temperatura ambiente;
- temperatura da água quente no reservatório;
- intervalo de temperaturas aceitável pelos usuários.

De qualquer maneira, o isolamento térmico, tanto do reservatório como da tubulação, constitui um aspecto importante que deve ser confrontado com os custos em economia de energia e outras medidas de avaliação econômica (como o *pay-back*) da decisão de executá-lo com um determinado nível de desempenho. Este nível obedece ao esquema de uma curva de custos ótimos versus eficiência.

À medida em que os custos com isolamento térmico crescem, também aumenta a eficiência do sistema com um decréscimo nos custos de energia consumida. A decisão pelo padrão de isolamento térmico a ser executado deve ser tomada onde o custo anual é mínimo. Esta última variável envolve o custo anual de energia para um determinado nível de isolamento térmico e o custo deste isolamento distribuído ao longo de sua vida útil.

Tradicionalmente, o isolamento térmico em instalações de água quente é realizado com Silicato de Cálcio, Lã de Rocha ou Fibra de Vidro. A decisão por um desses materiais é também objeto de considerações técnicas e econômicas. Todavia, no que diz respeito à tubulação e seu isolamento, envolvendo tanto o consumo de energia e os custos iniciais, deve-se procurar sempre que o aquecedor fique localizado o mais próximo possível do ponto de utilização. Também no caso de dois ou mais pontos de utilização, a soma das distâncias ao aquecedor deve ser minimizada, precaução esta a ter-se em conta desde o projeto arquitetônico da edificação e não apenas na fase posterior do projeto de instalações prediais.

Mas hoje, com a evolução dos plásticos de engenharia, estes materiais de baixa condutividade térmica vão se tornando uma alternativa economicamente viável em relação aos tradicionais tubos de cobre envoltos em um dos tipos de isolamento mencionados.

Por não implicar em qualquer tipo de tubulação e reservatório de água quente, o chuveiro elétrico aparece como um equipamento eficiente em relação aos demais. Além disso, um dos motivos principais de sua utilização em escala, é a suposição do seu baixo custo para a população, tanto do equipamento como de sua instalação.

Porém, no caso de prédios de apartamentos com mais de um chuveiro e torneira elétricos, que são considerados aparelhos fixos pela Norma (NB-5410), esta última recomenda o dimensionamento dos condutores sem aplicação de fatores de demanda. Assim, para cada um destes aparelhos fixos, haverá uma correspondente área de condutor da entrada do prédio ao ponto de utilização. Atualmente, a comparação dos custos do chuveiro e respectivos condutores aos custos do aquecedor de passagem a gás e tubulações requeridas não possui uma resposta única, dependendo de cada situação particular.

Do ponto de vista do custo anual da energia já é mais difícil saber, porque o chuveiro elétrico não constitui uma experiência internacional de onde possam ser coletados dados para comparação e não há número suficiente de pesquisas internas que possibilitem conclusões seguras. Além disso, como não existe tarifação



diferenciada para os períodos do dia, com descontos para o consumo noturno por exemplo, o que é feito em vários países, o custo da energia consumida pelo chuveiro fica diluído no consumo de outros usos finais no setor residencial.

No que diz respeito à eficiência do sistema de aquecimento com chuveiro elétrico, a simplicidade da instalação indica que as perdas de calor não devem ser elevadas em comparação com outros sistemas com tubulações e reservatórios de água quente, a não ser que o pouco conhecido fenômeno das correntes de fuga, que implica em perdas de energia, venha a ser significativo.

Todos estes pontos de utilização que empregam chuveiros ou duchas, predominantes nas habitações de interesse social, onde não há banheiras, possuem uma componente de perda de calor que diz respeito à altura e *design* do aparelho.

No que se refere à altura do aparelho, esta é fixa, de modo a caber embaixo do mesmo o usuário de estatura mais elevada. Mas permanece a mesma posição quando uma criança toma seu banho. A diferença de alturas entre o aparelho e o usuário constitui, então, uma região de transferência de calor por convecção, da água quente para o ar ambiente, que se encontra em temperatura inferior. Para diminuir tais perdas, hoje são estudadas maneiras de instalação do aparelho com altura regulável.

Quanto ao *design* do aparelho, ele vai influir na forma do jato.

Jatos mais dispersos significam perdas maiores, seja pelo mesmo princípio da convecção relacionado com a altura, seja pelo fato de filetes externos de água nem mesmo atingirem o usuário durante o banho. Infelizmente, o estudo destes dois aspectos de conservação de energia encontram-se incipientes no país.

Uma vez colocados os problemas inerentes ao consumo e à demanda de energia elétrica para aquecimento de água, é o momento de verificar quais objetivos de gerenciamento da demanda são atendidos por quais tecnologias.

### 5.3.2 CORTE DE PONTA

Na medida em que este objetivo envolve o controle direto de aparelhos pela concessionária, pressupõe certa sofisticação tecnológica que implica em custos elevados. Dessa maneira, conforme indicado na bibliografia [Gellings, 1985], um programa de gerenciamento da demanda apenas para energia elétrica, com o objetivo de corte de ponta, aplica-se preferencialmente a grandes consumidores industriais e comerciais. A seguir, serão vistos os demais objetivos de gerenciamento da demanda, para depois associar o corte de ponta à curva de carga flexível e à substituição de vetores energéticos.

### 5.3.3 PREENCHIMENTO DE VALE

Constituem exemplos dos aquecedores elétricos de passagem o

chuveiro, a torneira elétrica para pia de cozinha e um terceiro tipo, chamado no mercado simplesmente de aquecedor elétrico, para ser instalado em lavatórios e em bidês. O chuveiro elétrico, como os resultados deste trabalho indicaram, é muito utilizado no período de ponta, não se prestando ao objetivo de preenchimento de vale. Como nada garante que os dois outros tipos de aquecedores de passagem mencionados sejam utilizados fora de ponta, a recomendação de qualquer um deles não pode ser feita, sem estudos de hábitos de usuários, para um programa desta natureza.

Entretanto, o objetivo preenchimento de vale refere-se à construção de cargas fora de ponta e o único aparelho efetivamente presente de aquecimento de água nas habitações de interesse social é o chuveiro. Assim, a extensão do uso final à pia de cozinha, lavatório, etc, pode ser feita com aquecedores elétricos de acumulação que alimentariam todos os pontos de utilização desejados, podendo o seu funcionamento se dar total ou parcialmente fora de ponta.

A ressalva a ser feita na utilização de aquecedores elétricos de acumulação com o objetivo de preenchimento de vale é a de que, quanto mais pontos de utilização a serem alimentados, maior será o volume do reservatório e a potência do equipamento. Ora, estas variáveis implicam em custos elevados e mesmo em espaço para instalação nas habitações de interesse social.

Já a contribuição da bomba de calor ao preenchimento de vale não é

uma decorrência direta da concepção desta forma de aquecimento. Desde que haja uma fonte de calor disponível nos "vales", o procedimento resume-se ao dimensionamento do aparelho para atender à construção das cargas desejadas. A utilização destas últimas pode ocorrer no próprio vale, quando a bomba de calor seria de passagem; ou, caso contrário, quando a utilização da água se der no período de ponta, reservatórios teriam de ser projetados. De qualquer maneira, este tipo de equipamento depende ainda de longo desenvolvimento tecnológico, não se constituindo em uma alternativa para o aquecimento de água no setor residencial hoje no país.

Os coletores solares com complementação elétrica servem ao preenchimento de vale se o vale em questão for o da noite. Pois, obviamente a radiação solar é aproveitada durante o dia, quando também há vales na curva do setor residencial. Mas nesses períodos não há sentido o acionamento da complementação elétrica, a não ser no caso de dias nublados.

Embora o preenchimento de vale possa ser objetivo de uma concessionária em um dado momento, em princípio ele é oposto à conservação estratégica. Desse modo, o deslocamento de carga é o que se encontra mais relacionado ao aquecimento de água e será tratado a seguir.

#### 5.3.4 DESLOCAMENTO DE CARGA

Dada a localização do uso de água quente no período de ponta, os aquecedores elétricos de passagem ficam excluídos de um programa de gerenciamento da demanda com o objetivo de deslocamento de carga.

Pelo contrário, os aquecedores de acumulação elétricos são os que mais se prestam ao deslocamento de carga na hipótese de manutenção do vetor energético eletricidade. No emprego destes equipamentos, há ainda duas opções. A primeira delas é o aquecimento da água totalmente no período fora de ponta conforme discutido no item 5.2.2.2.

Uma segunda possibilidade é o aquecimento parcial da água no período fora de ponta e sua complementação no momento de utilização, através da passagem da água semi-aquecida pelo componente elétrico de aquecimento. Este seria o caso do aquecedor misto (acumulação e passagem). Possui as características de menor volume de armazenamento e menor potência nominal, o que significa um deslocamento parcial de carga.

A decisão da concessionária, em incentivar uma das duas modalidades acima, depende de suas necessidades de deslocamento de carga e dos respectivos custos para o consumidor.

Por fim, os coletores solares planos como meio de pré-aquecimento

da água, com complementação elétrica, podem representar uma forma de deslocamento de carga, na medida em que recebem a radiação solar vespertina, que antecede imediatamente o período de ponta. Aliás, esta opção coaduna-se muito bem com a economia de energia elétrica ou de combustíveis fósseis, aspecto este que é tratado a seguir.

### 5.3.5 CONSERVAÇÃO ESTRATÉGICA

Este objetivo de gerenciamento da demanda relaciona-se diretamente com o desempenho do equipamento. Atualmente, não existe no país uma metodologia de avaliação de desempenho consagrada aos diferentes tipos de aparelhos de aquecimento de água, de modo que muito do que se diz a respeito é apenas fruto da intuição ou o resultado de observações particulares, sem rigor científico.

Quanto aos aquecedores elétricos, de passagem e de acumulação, a conservação estratégica opera no sentido da melhoria de suas eficiências. E já que suas tecnologias estão baseadas exclusivamente na eletricidade, este conceito de eficiência possui limites impossíveis de serem ultrapassados. Uma nova abordagem do conceito de eficiência, a ser considerada nos próximos programas de qualidade de equipamentos, encontra-se no Anexo IV.

Porém, mesmo empregando eletricidade, interessam à conservação estratégica as tecnologias que aproveitam outras fontes de calor. É o caso da bomba de calor, que utiliza o calor ambiente, e dos

coletores solares, que empregam esta forma de radiação como forma de pré-aquecimento da água. Com tais equipamentos, o que se tem em vista é primordialmente a economia de energia organizada, representada pela eletricidade e pelos combustíveis fósseis.

Não apenas os equipamentos fundamentados em fontes alternativas, mas também aqueles alimentados exclusivamente com energia organizada devem ser objeto de programas de melhoria de eficiência no que diz respeito à conservação estratégica. Mas uma concessionária com um tal programa, utilizando qualquer destas tecnologias, não pode se esquecer da concepção do sistema de aquecimento. Caso contrário, um ganho de eficiência de um componente pode desaparecer frente a uma tubulação de água quente mal projetada.

Em termos éticos, nenhuma concessionária pode desejar que os consumidores possuam equipamentos ou sistemas de aquecimento de água ineficientes para vender mais energia. Mas, na sua postura empresarial está implícito o espírito de crescimento, que merece ser realizado, embora à luz dos interesses mais gerais do país.

### 5.3.6 CRESCIMENTO ESTRATÉGICO DE CARGA

Incentivo à aquisição de equipamentos intensivos em eletricidade, substituição de combustíveis e ampliação da área de atuação, constituem as maneiras pelas quais a concessionária persegue este objetivo, com a venda de mais energia elétrica.

É possivelmente, entre todos os objetivos de gerenciamento da demanda, um dos que envolvem mais riscos. Pois, naturalmente, o desenvolvimento da economia do país e a melhoria das condições de vida de sua população conduzem a um maior consumo per capita. Nessa perspectiva, o incentivo de um uso final, com fins táticos e não estratégicos, mais tarde pode levar a situações de tarifas elevadas e desconfiança dos usuários em relação à concessionária.

Quanto à ampliação da área servida, atendendo comunidades ainda não eletrificadas, em princípio é um tipo de programa que apenas beneficia a população, desde que haja potência instalada para realizá-lo.

Porém, a substituição de combustíveis é mais complexa. Tratando-se da substituição de lenha, ainda muito presente na matriz energética brasileira, este foi o caminho seguido pelos países desenvolvidos. No que diz respeito à substituição do gás por eletricidade para aquecimento de água, parece não se constituir na via adequada hoje, vistos os argumentos já arrolados nas páginas anteriores. Mesmo porque a presença do gás (GLP e natural) na atividade é insignificante na matriz energética.

Dessa maneira, o crescimento estratégico de carga está fora do contexto deste trabalho como objetivo principal a ser realizado através do aquecimento de água. Antes de verificar que pode se tratar exatamente do contrário, no item 5.3.8, será visto o último objetivo de gerenciamento da demanda.



### 5.3.7 CURVA DE CARGA FLEXÍVEL

Este objetivo de gerenciamento da demanda, em princípio, não está relacionado com algum aparelho elétrico de aquecimento de água em particular, mas sim com a demanda global da habitação no período de ponta. Aí é que entram como instrumentos deste tipo de objetivo o binômio opções-incentivos e as cargas interruptíveis.

Como exemplo de opções-incentivos, pode-se citar a tarifa amarela já colocada em prática em um programa-piloto da CPFL, para sobretarifação no período de ponta e descontos no fora de ponta.

A idéia de cargas interruptíveis visa o controle da demanda através de suas componentes: carga e durações respectivas. Nesta concepção, ou é possível uma carga baixa por um longo período de tempo ou uma carga elevada por um curto período. A permissão destas duas modalidades é necessária pelo fato de a primeira delas ser muito comum e, a segunda, pela existência de motores na habitação, cuja partida solicita cargas elevadas, mesmo que por segundos apenas.

À primeira vista, a modelagem da curva, através de cargas interruptíveis, requer a instalação de dispositivos capazes de avisar o usuário ou mesmo interromper o fornecimento quando da ocorrência de cargas elevadas de longa duração. O comportamento de um tal dispositivo pode ser colocado em eixos cartesianos com o par intensidade de corrente (A) e tempo (minutos).

A Figura 4.23 do Capítulo 4 é um exemplo de curva que um dispositivo de interrupção de carga deve possuir. Por que então não aproveitar o próprio dispositivo de proteção na limitação da demanda de uma residência?

Com a adoção desta hipótese e com um escalonamento da corrente nominal do dispositivo de proteção, o objetivo de modelagem da curva de carga pode se voltar também para o incentivo de emprego de equipamentos de aquecimento de água com menor potência nominal ou de equipamentos que realizem o aquecimento no período fora de ponta, quando a demanda global da habitação não é tão elevada.

Assim, o objetivo de curva de carga flexível termina por se combinar com outros objetivos, como o deslocamento de carga ou o corte de ponta, este último adaptado conceitualmente ao setor residencial nas condições do país, através da substituição de vetores energéticos. Além disso, os coletores solares, bombas de calor e aquecedores elétricos de acumulação ou mistos (acumulação e passagem) encontram-se no âmbito do objetivo de curva de carga flexível.

Uma vez examinado o potencial de cada tecnologia aos objetivos de gerenciamento da demanda, é o momento de considerar a substituição da eletricidade por outros combustíveis. Apesar de um tal programa não se enquadrar na formulação de gerenciamento da demanda, conforme descrita, ele tem efeitos sobre a demanda de energia elétrica do setor residencial. Talvez, fosse melhor situá-lo em um

contexto mais amplo de gerenciamento energético.

### 5.3.8 SUBSTITUIÇÃO DE VETORES ENERGÉTICOS

Na maioria das habitações de interesse social, os principais vetores energéticos presentes são o gás para cocção e a eletricidade para os demais equipamentos. Quanto ao primeiro deles, ou é de rua (encanado) ou engarrafado, sendo este representado pelo GLP. Neste caso, ou o usuário adquire o botijão que permanece dentro da habitação durante o uso, ou existe uma bateria de cilindros de gás no térreo, que alimenta os apartamentos por via de prumadas, de modo análogo ao gás de rua.

Esta segunda opção de projeto oferece melhores condições de segurança e de conforto para o usuário, embora tenha maiores custos de implantação e constitua um item a mais a participar da administração do condomínio, que é um problema maior nas habitações de interesse social. Pois, ou enfrenta-se a conflituosa questão do rateio coletivo ou instalam-se medidores individuais, que têm custo elevado.

De qualquer maneira, ao falar-se de substituição da eletricidade por gás nestas habitações, seja em um ou outro dos casos acima, o argumento dos custos elevados de implantação de sistemas de aquecimento de água com gás precisa ser relativizado, pelo fato de que o combustível já chega em todas as habitações para a cocção. Assim, a análise de sua viabilidade para o aquecimento de água

reduz-se a uma análise interna ao apartamento para as edificações já construídas.

Dizer, então, que o emprego de botijões é inseguro e há a necessidade de prumadas, com cilindros no térreo, que elevam o custo da implantação, significa adicionar ao problema colocado do aquecimento de água um outro, que é o da cocção. É evidente que as duas alimentações de energia devem ser pensadas de modo sistêmico e se possível à luz de uma legislação sem ambigüidades sobre a segurança e a autorização para emprego dos vários tipos de gás para aquecimento de água.

Em termos de preços relativos, como alternativa ao chuveiro elétrico, a opção que mais se destaca é o aquecedor de passagem a gás com vazão de 6 l/m, porque este aparelho proporciona uma vazão maior de água a uma determinada temperatura do que um chuveiro elétrico de 4,4 kW, seu preço é menor que o de qualquer aquecedor de acumulação e elimina a demanda de energia elétrica para aquecimento de água.

Porém, não é de se esperar que a população de baixa renda, espontaneamente, substitua o chuveiro elétrico por outro destes sistemas nas habitações existentes ou mesmo tenha a iniciativa de instalar um deles em uma edificação a ser construída. Para que ocorram substituições ou mesmo instalação prevista já na fase de projeto da edificação, há necessidade de políticas deliberadas de conservação de energia pelas instituições relacionadas com o

problema.

Entretanto, é necessária cautela em uma política de substituição do vetor energético para este uso final para que não haja uma simples transferência do problema para a demanda de gás natural. Como não se trata de uma solução de caráter universal, como o foi a do chuveiro elétrico, o risco pode ser avaliado em função das reservas nacionais do combustível e as reservas comercializáveis dos países vizinhos. Já os aquecedores a GLP não apresentam problema quanto à demanda horária; sob este aspecto necessitam apenas de dimensionamento adequado das redes de tubulações internas à edificação.

Com todas as reservas feitas anteriormente quanto à utilização de gás, o combustível ainda apresenta aspectos interessantes em relação à eletricidade para o aquecimento de água. O seu emprego não deve ser pensado a parte dos objetivos de gerenciamento da demanda discutidos no decorrer deste capítulo, particularmente do corte de ponta.

Espera-se com isto ter realizado uma introdução ao conceito de gerenciamento da demanda e à adequação de vetores energéticos e tecnologias de aquecimento de água aos seus objetivos. Pensa-se que, em primeiro lugar, cabem às concessionárias de energia o aprofundamento e a ampliação de qualquer dos tópicos discutidos; em segundo, que o assunto é do interesse de todos.

Com isto encerram-se aqui os tópicos deste trabalho que exigiram a realização de pesquisas, sejam aquelas com aplicação de entrevistas, de medidas de demanda em campo, de formulações matemáticas mais extensas ou de bibliografia específica. O próximo capítulo condensa resultados alcançados no decorrer das páginas anteriores na procura de uma maior racionalidade neste uso final que é o aquecimento de água.

## CAPÍTULO 6 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

Não apenas a demanda, que recebeu maior atenção nos capítulos anteriores, mas também o consumo é uma variável a ser levada em conta na conservação de energia em habitações de interesse social, apesar de seu pequeno dispêndio, característico das populações de baixa renda do terceiro mundo. Ao que tudo indica, ambos apresentam tendência de crescimento nos próximos anos.

No entanto, o consumo e a demanda possuem aspectos particulares que requerem medidas distintas, embora complementares. No Brasil, como em outros países em desenvolvimento, o consumo de energia das camadas de menor renda da população é muito inferior à média dos países desenvolvidos. Neste contexto, uma política de maior restrição ainda ao consumo parece não ser a mais justa, apesar de que a racionalidade do uso da energia jamais deva ser abandonada.

No que diz respeito à demanda, a preocupação tem sido colocada em segundo plano no Brasil. Os dados coletados demonstraram a liberdade do usuário a este respeito e, para confirmar o fato, basta observar a tônica no consumo das campanhas de conservação efetuadas pelos meios de comunicação e dirigida ao grande público.

Porém, a Itália, país classificado no grupo dos desenvolvidos, estabelece uma demanda contratada para o setor residencial de 4 kW [Graça, 1990]. Apenas 3.5% dos apartamentos da COHAB/SP estariam aptos a se enquadrarem em tal esquema, conforme pode ser observado na Tabela 3.12 do Anexo II.

Conservação de energia constitui assunto multidisciplinar, necessitando da colaboração de profissionais de diversas formações. Começando pelas leis das ciências básicas e aplicadas, passa pela elaboração de projetos de instalações prediais e desenvolvimento tecnológico, que envolvem várias modalidades da engenharia, para atingir aspectos legais que regem a tarifação e, finalmente, a conscientização do usuário, que se relaciona à educação e à cultura de um povo.

Assim, se a demanda de 4,4 kW do chuveiro, a mais comum, é motivo para preocupação, que dizer então se a tendência for a da generalização do aparelho de 7,0 kW, encontrado mesmo nas habitações de interesse social? A resposta passa pelo estudo de outras formas de aquecimento de água e pela viabilidade técnico-econômica de cada uma delas, tendo-se em vista não apenas as necessidades implícitas nas cifras do déficit habitacional, mas também as edificações já existentes.

A situação que o país atravessa hoje é propícia a políticas de gerenciamento da demanda aplicadas ao aquecimento de água, seja pela necessidade de melhores resultados econômicos para o Sistema Elétrico, seja pelo fato de que muito ainda está por ser feito, particularmente a construção de moradias, ao contrário dos países desenvolvidos, onde medidas de conservação de energia implicam em destruir o que já está feito, em grau muito maior.

Já a iluminação e refrigeração de alimentos constituem usos finais mais complexos para políticas de gerenciamento da demanda.



Atualmente, a conservação de energia que lhes diz respeito visa à melhoria da eficiência do equipamento e à educação do usuário. Ambos são alvos perfeitamente válidos, uma vez que o aspecto do armazenamento de energia para estes usos encontra enormes entraves tecnológicos e econômicos.

Também a substituição de vetores energéticos não é cogitada de imediato para iluminação e refrigeração. Como estes usos finais não constituíram o principal objetivo deste trabalho, não há nenhuma nova proposta a seu respeito, mas apenas uma sugestão para as campanhas de educação do usuário sobre refrigeração de alimentos. Já que a limpeza periódica dos aparelhos é conveniente, tanto em termos de higiene como de rendimento, e sempre antecedida de um descongelamento, as campanhas podem sugerir aos usuários fazê-la regularmente entre 18 e 20 horas, por exemplo.

Os benefícios de uma conscientização do gênero são vários. Entre eles encontram-se a redução da demanda deste importante uso final no período de ponta, a melhoria da eficiência do aparelho e a colocação do usuário a par do problema da demanda, fenômeno pelo qual ele também é responsável, inclusive arcando com custos desnecessários da energia se o uso pode ainda ser racionalizado.

Porém, devem ser reconhecidos o efeito parcial das campanhas educativas e a necessidade de medidas mais arrojadas para programas de gerenciamento da demanda. E sob este aspecto, o aquecimento de água parece ser o alvo mais fácil.

De nada adianta, entretanto, pensar em medidas de conservação de energia sem o princípio de cooperação entre instituições que, de uma maneira ou de outra, estão relacionadas com o problema. Estas instituições são as concessionárias de eletricidade e de gás, os órgãos de planejamento e de financiamento de habitações, prefeituras e mesmo os poderes executivos e legislativos.

Entre concessionárias de vetores energéticos distintos, a troca de informações e atuação conjunta são necessárias para a política de substituição da eletricidade por gás natural para o aquecimento de água nos grandes centros urbanos, por exemplo. Aliás, esta diversificação na matriz energética aparece como uma das principais conclusões deste trabalho, porque o aquecedor de passagem a gás é o equipamento de menor custo como alternativa ao chuveiro elétrico.

De acordo com as estimativas realizadas nos capítulos anteriores, a instalação do aquecedor de passagem a gás na área de serviço do apartamento, muito próxima do banheiro e da cozinha, pode implicar em custos menores que o custo do chuveiro para o sistema energético e, em algumas situações, também para o usuário.

Como esta alternativa não é generalizável para todo o território nacional por razões já discutidas, é inexorável a continuidade do emprego de eletricidade para o aquecimento de água. Neste contexto, o objetivo principal é o deslocamento de carga com o armazenamento de energia térmica fora de ponta.

O aquecedor de acumulação elétrico também pode ser instalado na área de serviço do apartamento, com pequenos trechos de tubulação de material nobre. Embora com custos mais elevados do que o do aquecedor de passagem a gás, ele não requer tubulações de gás e aproveita instalações elétricas já existentes, podendo ter estes custos reduzidos a partir de sua produção em escala.

No entanto, conforme já dito, o aquecedor de acumulação elétrico, para atender a um objetivo de deslocamento de carga, precisa ser dotado de *timer*. Se concebido exclusivamente para o fornecimento de água quente para banhos, a localização deste aquecedor pode ser o próprio banheiro das habitações de interesse social (caso do aquecedor misto de acumulação e de passagem), onde tornam-se quase nulos os trechos de tubulação de materiais nobres, parte esta da instalação responsável também pelas perdas de calor que seriam, deste modo, reduzidas ao mínimo.

O aquecedor de acumulação elétrico presta-se também ao objetivo de preenchimento de vale. O ponto de utilização mais provável para a extensão do uso de água quente, neste caso, é a pia da cozinha, embora o lavatório não deva ser completamente descartado.

Não obstante o preenchimento de vale parecer um objetivo mais distante do que o deslocamento de carga, deve-se atentar para dois aspectos: em primeiro lugar o preenchimento de vale pode ser utilizado como motivação dos usuários para a participação em um programa de gerenciamento da demanda. A medida em que contém implícito em si uma melhoria de conforto, expressa pela

alimentação da pia de cozinha com água quente.

Em segundo lugar, é preferível que os patamares de consumo aumentem com o preenchimento de vale controlado pela concessionária, do que a extensão do uso de água quente a novos pontos de utilização ocorra por conta do usuário, ou melhor, ao acaso, agravando o problema da demanda.

Mesmo os equipamentos mencionados não escapam ao objetivo de conservação estratégica, que está relacionado à melhoria de suas eficiências. Entende-se que tais equipamentos, de tecnologia conhecida, estão a poucos passos de sua aplicação imediata. Estes passos são: a eficiência, o *timer* no caso do aquecedor de acumulação elétrico e o processo de padronização do desempenho e certificação de qualidade para todos os equipamentos.

Entretanto, o aprofundamento da conservação estratégica está relacionado com objetivos de médio e longo prazos. Ao que tudo indica, haverá um dia em que as tecnologias convencionais com base exclusiva em fontes escassas de energia serão superadas pelos coletores solares e bombas de calor para aquecimento de água. Infelizmente, devido aos atrasos tecnológicos e custos elevados, estas tecnologias não se constituem hoje em uma alternativa viável para as habitações de interesse social.

Pois bem, é reconhecido que o modelo de aquecimento de água no país não é dos mais eficientes, mas esbarra-se no problema de custos na análise de qualquer alternativa. Mesmo assim, são

possíveis soluções de curto e longo prazos, desde que todas as instituições relacionadas ao assunto possam colaborar.

Por um lado, é conhecido entre os especialistas em conservação de energia o fato de que os custos de uma medida de conservação são menores em uma edificação a construir do que na sua implantação em uma edificação em uso. Por outro lado, a elevada porcentagem de habitações de interesse social, que compõem o déficit habitacional no país, terá necessidade de um processo de financiamento, conforme já tem ocorrido. O encontro destes dois fatos é a modesta vantagem de um país em desenvolvimento em relação a um país desenvolvido, no que se refere à conservação de energia.

Neste contexto, os principais objetivos na redução da demanda de energia elétrica para aquecimento de água no período de ponta são o corte de ponta e o deslocamento de carga. Não apenas estes, mas também os demais objetivos discutidos, que podem ser perseguidos simultaneamente, são de interesse de concessionárias de energia elétrica. Se incluída a substituição de vetores energéticos, as concessionárias de gás e a Petrobrás passam automaticamente a fazer parte dos programas.

Assim, a melhor opção tecnológica de aquecimento de água, para um conjunto de habitações de interesse social a ser construído na área de atuação de uma determinada concessionária, é objeto de debate entre instituições e não apenas o resultado do trabalho de uma entidade isolada. É necessária a participação de órgãos de financiamento de habitações, como a Caixa Econômica Federal e,

possivelmente, até de instituições financeiras privadas, que devem balizar seus interesses pelas necessidades maiores do país.

Uma vez estabelecidos acordos econômicos entre estes dois tipos de instituições, é o momento de as companhias públicas de habitação controlarem o projeto e a execução dos sistemas, com a garantia de níveis mais elevados de qualidade e de eficiência, de modo a obter os efeitos desejados nas curvas de carga das concessionárias.

Porém, no caso de edificações novas e na substituição de equipamentos em edificações em uso, que é um problema mais complexo em um programa de gerenciamento da demanda, há ainda, por assim dizer, outros protagonistas. A eficiência e adequabilidade dos novos aparelhos às condições de utilização devem ser objeto de pesquisa constante, a partir de convênios entre instituições públicas mencionadas, os fabricantes, centros de pesquisa e universidades.

Nessa perspectiva de desenvolvimento contínuo, de prazos mais longos, há um lugar para a tecnologia emergente dos coletores solares como forma de pré-aquecimento de água. Como esta modalidade já se encontra difundida, mesmo que de modo incipiente, ela não precisa ficar restrita aos laboratórios, mas pode também ser implantada em edificações habitacionais destinadas a famílias com rendas mais elevadas, e sujeitas aos processos de financiamento, onde o custo do equipamento significa muito pouco perante o custo total.

Para este tipo de aquecimento, é necessária a monitoria dos órgãos de pesquisa, sob o risco, caso contrário, de atingir o descrédito, conforme já ocorreu no Brasil com os coletores solares planos. Por fim, a bomba de calor, entre as mais avançadas tecnologias de aquecimento de água, é também a mais desconhecida. Por isto requer ainda um tempo de maturação em laboratórios, para depois iniciar sua implantação nas edificações residenciais.

Como os conjuntos habitacionais pertencem à categoria dos empreendimentos públicos, caberia às companhias de habitação a exigência e controle de qualidade do projeto e da execução de sistemas de aquecimento de água voltados para a conservação estratégica, mesmo de coletores solares, em programas experimentais monitorados em um pequeno número de prédios.

O aquecimento solar seria concebido, então, como pré-aquecimento da água, a ser complementado com aquecedores individuais a gás ou com aquecedores de acumulação elétricos. A potência nominal destes últimos seria escalonada e monitorada ao longo do tempo para descobrir-se as necessidades reais.

Uma tal iniciativa não seria onerosa para os usuários, pois, além de ser amortizada ao longo do financiamento da habitação, haveria uma redução de kWh na conta de energia. Seria também de interesse dos fabricantes de aquecedores a gás e de chuveiros elétricos, no sentido do desenvolvimento tecnológico de seus produtos. Enfim, poderia contar com a participação das concessionárias e dos pesquisadores em conservação de energia.

De modo algum pretendeu-se, com estas menções a diferentes vetores energéticos e tecnologias, tratar a contento as possibilidades do aquecimento de água nas habitações de interesse social. Há outras modalidades, talvez mais remotas, mas que merecem, todas, estudos específicos.

Todavia, o relacionamento deste uso final com a demanda e o consumo de energia elétrica transpareceu das obras dos autores citados e foram confirmados pelos dados coletados na pesquisa realizada junto a COHAB/SP. Por isto, a tentativa de reduzir a participação do aquecimento de água na demanda global da habitação, através da substituição de vetores energéticos e de novas tecnologias, possui decorrências.

No final do Capítulo 4, foram apresentados os resultados das durações máximas das correntes elétricas registradas durante a campanha de medidas na amostra de apartamentos. Trata-se de um tipo de dados que interessa fundamentalmente ao projetista de instalações elétricas, nas atividades de escolha da seção dos condutores do circuito de alimentação e da corrente nominal do dispositivo de proteção. Mas do ponto de vista da conservação de energia, estes dados podem contribuir também para o controle da demanda.

Há pelo menos duas maneiras de atacar o problema da demanda. Por um lado, a trilha percorrida neste trabalho consistiu em verificar um uso final de energia elétrica de grande participação na demanda



no período de ponta, que é o aquecimento de água, e aventar possibilidades de sua atenuação, através da substituição de vetores energéticos e de equipamentos.

Por outro lado, é possível diminuir a demanda no período de ponta através da modulação de carga, que consiste na transferência da utilização da própria energia elétrica neste período para outros, de modo a obter uma melhor distribuição de carga ao longo do dia.

Uma tentativa do gênero, na forma de uma pesquisa piloto, está sendo realizada pela CPFL [Cassanti & Esteves, 1990], por meio de incentivos tarifários ao uso da energia fora de ponta. Seria superficial uma análise definitiva dos resultados, porque, além do elevado número de variáveis intervenientes, a calibração do modelo e a alteração dos hábitos dos usuários são atividades que requerem algum tempo de maturação.

Porém, independentemente do período de ponta, demandas elevadas são indesejáveis para o sistema de produção de energia elétrica. Assim, a limitação dos valores extremos da demanda em geral consiste em um dos objetivos de qualquer política de conservação de energia. Outra coisa é saber que, para o setor residencial, grande parte das demandas máximas ocorre no período de ponta.

Assim, em toda habitação ligada à rede elétrica, existe pelo menos um dispositivo de proteção, que pode vir a ser útil para o controle da demanda. Tais dispositivos são os disjuntores e os dispositivos fusíveis, estes de diversos tipos, ambos destinados a

interromper correntes de curto-circuito e sobrecorrentes. Esta segunda função dos dispositivos de proteção interessa ao objetivo de corte de ponta do gerenciamento da demanda.

Nas habitações pesquisadas da COHAB/SP, foi observado que a corrente nominal dos dispositivos de proteção é extremamente variável, o que torna evidente a ausência de parâmetros rigorosos na especificação de projeto do componente. Mesmo que os critérios de projeto fossem seguidos de uma única maneira, ainda resta a liberdade do usuário de trocar o dispositivo por outro de maior corrente nominal, no caso de desligamentos ou fusões frequentes de disjuntores ou fusíveis, respectivamente, sem que a concessionária tome conhecimento do fato.

Esta prática, que ocorre no país, envolve riscos de segurança, pois o dispositivo superdimensionado deixa de cumprir sua função de proteção dos condutores, de equipamentos, de usuários e da habitação, com o aumento do risco de incêndios. No mínimo, a consequência disto é uma sobrecarga dos condutores que, pelo efeito Joule, começam por ter sua isolação deteriorada e depois, o próprio material condutor, reduzindo a vida útil da instalação.

A idéia da elaboração da curva tempo-corrente da Figura 4.23 do Capítulo 4 teve como primeira motivação fornecer, ao projetista de instalações elétricas, as reais solicitações do usuário de habitações de interesse social. Como segunda, iniciar uma padronização de demandas e respectivas adequações de dispositivos de proteção, em termos de suas correntes nominais, visando o

contrato entre concessionária e usuário, que estipule um valor de demanda e uma tarifação proporcional.

Tal proposição não implica em um único valor de demanda para o setor residencial, nem em uma redução arbitrária do nível de conforto da população. Qualquer demanda hoje existente poderá continuar, apenas será controlada pela corrente nominal do dispositivo de proteção, que corresponde a um determinado nível de conforto desejado e, por isto, os maiores valores terão as tarifas de consumo de energia elétrica multiplicadas por coeficientes maiores do que um.

Do ponto de vista da conservação de energia, a força didática do controle da demanda é muito maior do que o efeito produzido pelas campanhas através dos meios de comunicação. Enquanto que para estas últimas o usuário apenas ouve ou vê passivamente uma mensagem no rádio ou na imagem no televisor, com o controle da demanda ele passará a computar as potências nominais de seus aparelhos elétricos, para evitar um corte mesmo que momentâneo de energia elétrica. Ele saberá que a simples possibilidade de acionamento simultâneo de muitos aparelhos terá um custo maior no final do mês.

Este procedimento, também uma maneira de obter divisas para o sistema de produção de energia elétrica, tem sua maior dificuldade de implantação do ponto de vista legal. Note-se que a verificação das disposições legais foi exatamente o primeiro item da Estrutura conceitual do planejamento e implementação de programa de

gerenciamento da demanda, conforme a Figura 5.3 do capítulo anterior. Não é para menos, pois este aspecto tende a apresentar dificuldades iguais ou maiores do que os aspectos tecnológicos.

Se resolvidos entraves dessa natureza para a aplicação de um programa de contratação da demanda entre concessionária e consumidores, as atividades restantes fluem facilmente como decorrência da decisão inicial. Pois, pelo menos da parte dos disjuntores, hoje existe uma padronização de desempenho com qualidade certificada. Quanto à fiscalização, não é tarefa difícil, pois o leiturista da concessionária, que visita mensalmente a habitação, pode verificar a corrente nominal do dispositivo de proteção e se ocorreu troca.

Não apenas o aquecimento de água através de aparelhos elétricos com potência nominal cada vez mais elevada teria um desestímulo, despertando a consciência da população para o uso racional, mas também seria incentivado o desenvolvimento tecnológico, o principal componente de uma política de conservação de energia a longo prazo.

Enfim, espera-se que este trabalho contribua para a troca de idéias, entre técnicos e autoridades, a respeito dos melhores caminhos para esta atividade que não tem fim, que é a conservação de energia. As propostas lançadas tiveram como princípio a busca da racionalidade, que surge primeiramente entre os especialistas, mas que significa muito pouco para o país se não for uma prática da sua população.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 01 - ALBUQUERQUE, M. C. C. Habitação Popular: Avaliação de propostas de reformulação do sistema financeiro da habitação, São Paulo, 1985 - Relatório da EAESP/Fundação Getulio Vargas.
- 02 - AROUCA, M. C. Análise da demanda de energia no setor residencial no Brasil, Rio de Janeiro, 1982. 76 p. Dissertação (Mestrado) - Coordenação dos Programas de Pós-Graduação de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- 03 - \_\_\_\_\_; GOMES, F. B. M.; ROSA, L. P. Estrutura da demanda de energia no setor residencial no Brasil. Energia: Fontes Alternativas, São Paulo, v. 5, n.º 27/28, p. 24-34, julho/set. 1983.
- 04 - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Instalações Elétricas de Baixa Tensão; NBR 5410. São Paulo, novembro/1980.
- 05 - \_\_\_\_\_. Instalações Prediais de Água Quente; NB 128. Rio de Janeiro, 1968.
- 06 - BAJAY, S. V. Planejamento Energético: Necessidade, objetivo e metodologia. Revista Brasileira de Energia, São Paulo, v. 1, n.º 1, p. 45-53, 1989.
- 07 - BANCO NACIONAL DA HABITAÇÃO-DEPEA/ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO-PCC. Estabelecimento dos fatores de demanda de energia elétrica para o dimensionamento das instalações elétricas de unidades habitacionais de interesse social, São Paulo, agosto/1986 - 1.º Relatório parcial da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
- 08 - BORNSEN, O. Programas e experiências em conservação de energia elétrica. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL - CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA, Rio de Janeiro, 1988. Anais, Rio de Janeiro, PROCEL/ELETOBRAS, 1988, p. 82-92.
- 09 - BRAVO et alii. Estudio sobre Requerimientos Futuros de Fuentes No Convencionales e Energia en America Latina, Fundacion Bariloche, Buenos Aires, Argentina, 1979, citado por [Goldemberg et alii, 1988].
- 10 - BRUNETT, G. W. Domestic Water Heating Energy Costs. Apresentado ao Brussels Congress, International Union of Producers and Distributors of Electrical Energy, Paris, June/1982.

- 11 - BUSSAB. W. O.; HERDEIRO, R. F. C. Demanda de energia elétrica em habitações de interesse social. São Paulo, 1990 - Relatório de assessoria de análise estatística do Instituto de Matemática e Estatística da Universidade de São Paulo.
- 12 - BUSSAB. W. O. ; MORETTIN. P. A. Estatística Básica . 3<sup>o</sup> ed., São Paulo. Atual, 1986.
- 13 - CARRINGTON, C. G.; WARRINGTON, D. M.; YAK, Y. C. Structure of Domestic hot water consumption. Energy Research, V. 9. p. 65-75. 1985.
- 14 - CASSANTI, W. A.; ESTEVES, L. E. J. Experiência Piloto Tarifa Amarela. In: V CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA, v. III, Rio de Janeiro, 1990. Anais. Rio de Janeiro. Coordenação dos Programas de Pós-Graduação de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, 1990. p. 1076-1085.
- 15 - CONSEIL INTERNATIONAL DU BATIMENT POUR LA RECHERCHE L'ETUDE ET LA DOCUMENTATION. Le concept de performance et sa terminologie. Centre Scientifique et Technique du Bâtiment, Paris, janvier/février/1975 - Rapport N<sup>o</sup> 32.
- 16 - COOK. R. Effects of Stratification in performance and control of Residential Electric Water Heaters. ASHRAE - Transactions, N<sup>o</sup> 3, p. 927-937, 1988.
- 17 - COSTA NETO, P. L. O. Estatística. São Paulo. Edgard Blucher, 1977.
- 18 - COTRIM, A. A. M. B. Instalações Elétricas. 3<sup>o</sup> ed., São Paulo. Edgard Blucher, 1982.
- 19 - DAVIS, G. R. Energy for Planet Earth. Scientific American, v. 263, N<sup>o</sup> 3, Special Issue, p. 21-27, September/1990.
- 20 - DELGADO, R. M. Demand-Side Management Alternatives. Proceedings of the IEEE, v. 73, N<sup>o</sup> 10, p. 1471-1488, october/1985.
- 21 - DEPARTAMENTO NACIONAL DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA. Nova Tarifa de energia elétrica: metodologia e aplicação. Brasília, 1985.
- 22 - DUMON, R.; CHRYSOSTOME, G. Las Bombas de Calor. Barcelona. Toray-Masson, 1981.
- 23 - ELDERTON, W. P.; JOHNSON, N. L. Systems of frequency curves. London. Cambridge University Press, 1969.

- 24 - ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO-PCC/CAIXA ECONÔMICA FEDERAL-DEPEA. Estabelecimento dos fatores de demanda de energia elétrica para o dimensionamento das instalações elétricas de unidades habitacionais de interesse social. São Paulo, dezembro/1989 - Relatório Final da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
- 25 - FILLIPPO F. F., G. E.; NUNES, M. F. O chuveiro elétrico e a conservação de energia. São Paulo Energia, Ano V, Nº44.
- 26 - FULKERSON, W.; JUDKINS, R. R.; SANGHUI, M. K. Energy from Fossil Fuels. Scientific American, v. 263, Nº 3, Special Issue, p. 83-89, September/1990.
- 27 - FURST, G.; GELLER, H.; OLIVEIRA, L. M. N. Eficiência dos equipamentos elétricos - Avaliação e perspectivas de conservação de energia. In: V CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA, v. III, Rio de Janeiro, 1990. Anais, Rio de Janeiro, Coordenação dos Programas de Pós-Graduação de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, 1990. p. 1025-1034.
- 28 - FURUGAKI, I. Programas e experiências em conservação de energia elétrica. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL - CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA, Rio de Janeiro, 1988. Anais, Rio de Janeiro, PROCEL/ELETOBRÁS, 1988. p. 58-79.
- 29 - GELLINGS, C. W. The Concept of Demand-Side Management for Electric Utilities. Proceedings of the IEEE, v. 73, Nº 10, p. 1468-1470, october/1985.
- 30 - GOLDEMBERG, J.; JOHANSSON, T. B.; REDDY, A. K. N.; WILLIAMS, R. Energy for a Sustainable World. New Delhi, John Wiley & Sons, 1988.
- 31 - GONÇALVES, O. M. Formulação de modelo para o estabelecimento de vazões de projeto em sistemas prediais de distribuição de água fria. São Paulo, 1986, 369 p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
- 32 - GRAÇA, G. M. G. A conservação de energia e o terceiro mundo. Revista Brasileira de Energia, v. 1, nº 2, p. 54-76, 1990.
- 33 - GRAÇA, M. E. A.; GONÇALVES, O. M. Desempenho de sistemas sanitários prediais: conceitos fundamentais. Revista Engenharia Mackenzie, p. 7-13, janeiro/fevereiro/1986.
- 34 - GREEN, M. F.; Smith, B. S. Probability Theory as a Basis for Building Design. Build. Sei., v. 10, p. 173-183, 1986.
- 35 - HEJAZI, P. E. S. A. Sizing a storage type water heating system. ASHRAE Journal, p. 35-39, February/1989.
- 36 - HOLMAN, J. P. Transferência de Calor. São Paulo, McGraw-Hill, 1983.

- 37 - IMSL INC. IMSL. IMSL Library, Houston, Texas, 1981.
- 38 - KETOFF, A. Programas e experiências em conservação de energia elétrica. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL - CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA. Rio de Janeiro, 1988. Anais. Rio de Janeiro, PROCEL/ELETRÓBRAS, 1988. p. 98-109.
- 39 - LAGERSTRÖM, J. Entrevista a Newsletter of Swedish building research. N<sup>o</sup> 4, 1990.
- 40 - LEXO, M. L. Crise de Energia: aspectos estruturais e novas fontes. Eletricidade Moderna. N<sup>o</sup> 184. p. 30-32 julho/1989.
- 41 - LIMAYE, D. R. Implementation of Demand-Side Management Programs. Proceedings of the IEEE. v. 73, N<sup>o</sup> 10. p. 1503-1512. october/1985.
- 42 - LUIZ, A. M. Como aproveitar a energia solar. São Paulo, Edgard Blücher Ltda, 1985.
- 43 - MACINTYRE, A. J. Instalações Hidráulicas Prediais e Industriais. 2<sup>a</sup> ed., Rio de Janeiro, Editora Guanabara, 1988.
- 44 - MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA. Balanco Energético Nacional. Brasília, 1988.
- 45 - NIE, N. H. Statistical Package for the Social Sciences. New York, McGraw-Hill, 1975.
- 46 - PAES, S. F. B. Conservação de energia no setor comercial. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL - CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA. Rio de Janeiro, 1988. Anais. Rio de Janeiro, PROCEL/ELETRÓBRAS, 1988. p. 34-53.
- 47 - PAULA, E.; Bernini, E. J. Discutindo a questão da reformulação institucional do setor elétrico brasileiro: o modelo vigente e as alternativas visando a ampliação da concorrência a nível de geração de energia elétrica. Instituto de Eletrotécnica e Energia da Universidade de São Paulo, novembro/1990.
- 48 - PEARSON, K. Tables for statisticians and biometricians, part II. London, Cambridge University Press, 1931.
- 49 - PEARSON, K. Karl Pearson's early statistical papers. London, Cambridge University Press, 1948.
- 50 - RANTIL, M. New Interest in Electricity from Solar Cells. News Letter of Swedish Building Research. N<sup>o</sup> 4, 1990.
- 51 - REDDY, A. K. N.; GOLDEMBERG, J. Energy for a Developing World. Scientific American, v. 263, N<sup>o</sup> 3, Special Issue, p. 63-72, September/1990.



- 52 - RODRIGUES. V. COHAB frente a inadimplências. Folha de São Paulo. 12 JAN. 1991.
- 53 - RUNNELS. J. E.; Whyte. D. Evaluation of Demand-Side Management. Proceedings of the IEEE. v. 73. N<sup>o</sup> 10. p. 1489-1495. october/1985.
- 54 - SIEGRIST. R. L. Minimum-flow plumbing fixtures. Journal AWWA. p. 342-347. July/1983.
- 55 - VAN WYLEN. G. J.; SONNTAG. R.E. Fundamentos da Termodinâmica Clássica. São Paulo, Edgard Blücher Ltda, 1976.
- 56 - VINE. E.; DIAMOND. R.; SZYDEOWSKY. R. Domestic Hot Water Consumption in four low-income apartment buildings. Energy, V.12. N<sup>o</sup> 6. p. 459 - 467. 1987.
- 57 - IOSHIMOTO. E. Formulação de metodologia para análise de projetos de sistemas de gás combustível. São Paulo. 1990. 312 p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
- 58 - WILHEIM. J. Consultores Associados; CEE-SP; CESP; CPFL; ELETROPAULO. Consumos Residenciais de Energia. São Paulo, 1985 - Relatório Final, v. IV. . item 4.2.
- 59 - ZYLBERSZTAJN. D.; Bernini, E. J. Crise de Tarifas, crise do planejamento e a garantia do suprimento de energia elétrica. Instituto de Eletrotécnica e Energia da Universidade de São Paulo; Agência para a Aplicação de Energia e Eletropaulo/mim. /

**ANEXO I - QUESTIONÁRIO APLICADO AOS MORADORES DA COHAB/SP**

DATA    1988 HORÁRIO    CÓDIGO DA ENTREVISTA

QUAL O NOME DO ENTREVISTADO?

SCICITE UMA CONTA DA ELETROPAULO • REGISTRE OS SEGUINTE DADOS

NOME

ENDEREÇO

LOTE  LOCAL  LIVRO  INSTALAÇÃO

Tem havido necessidade de trocar fusíveis ou religar disjuntores? \_\_\_\_\_ nunca   
(se "nunca" vá para f)

Quantas vezes no último mês?  raramente   
frequentemente

Normalmente ocorre em que horário?

A luz costuma enfraquecer/oscilar ou a imagem da TV diminui? \_\_\_\_\_ não   
sim

Em que horário?

VÁ AOS CÔMODOS DO APTO. E REGISTRE OS SEGUINTE DADOS

	número de tomadas	número de benjamins	lâmpadas	
			número	potência total
cozinha	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
sala	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
banheiro	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
área de sv.	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
hall	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
dormitório 1	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
dormitório 2	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

Morava antes em que tipo de residência \_\_\_\_\_ apto.   
casa   
cortiço   
barraco   
outros

Moram neste apto. a quantos anos?

É dono do apto. ou é alugado? \_\_\_\_\_ proprietário   
locatário

É o primeiro ocupante do imóvel? \_\_\_\_\_ sim   
não

Tem empregada doméstica mensalista? \_\_\_\_\_ sim   
não

Possue automóvel? \_\_\_\_\_ sim   
não

CÓDIGO DA ENTREVISTA

REGISTRE NA TABELA ABAIXO A QUANTIDADE DOS APARELHOS ELÉTRICOS EXISTENTES NA HABITAÇÃO

geladeira	<input type="checkbox"/>	aquecedor de ambiente	<input type="checkbox"/>
congelador-freezer	<input type="checkbox"/>	torradeira	<input type="checkbox"/>
cafeteira elétrica	<input type="checkbox"/>	batedeira/mixer	<input type="checkbox"/>
enceradeira	<input type="checkbox"/>	aspirador	<input type="checkbox"/>
ventilador	<input type="checkbox"/>	rádio elétrico	<input type="checkbox"/>
liquidificador	<input type="checkbox"/>		

REGISTRE NA TABELA ABAIXO A QUANTIDADE E DADOS DE UTILIZAÇÃO DOS APARELHOS ELÉTRICOS

TIPO DE ELETRODOMÉSTICO	QUANTIDADE	USO DURANTE A SEMANA	USO NO FINAL DE SEMANA	HORÁRIO DE USO	BOTÃO DE CONTROLE
		A	A	B	C
chuveiro elétrico	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
exaustor/purificador	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
ferro elétrico	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
mãq. de lavar roupa	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
mãq. de lavar pratos	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
mãq. de costura elétrica	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
secador de cabelo portatil	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
secadora de roupa elétrica	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
televisor	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
forno elétrico	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
forno de microondas	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
aparelho de som	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
torneira elétrica	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Alguém trabalha em casa com alguma atividade que consuma energia elétrica?  não  sim

Que tipo de atividade? \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Quais aparelhos elétricos utiliza? \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_



**ANEXO II - TABELAS REFERENTES AO CAPÍTULO 4**

Tabela 4.1 - Número de moradores da habitação - COHAB/SP - 1987

Número de Moradores	Frequência Relativa (%)	Frequência Acumulada (%)
1	1,7	1,7
2	10,6	12,3
3	14,8	27,1
4	31,3	58,4
5	18,3	76,7
6	12,2	88,9
7 ou mais	11,3	100,0

Tabela 4.2 - Distribuição da população por faixas etárias  
- COHAB/SP - 1987

Idade (anos)	Frequência Relativa (%)
0 - 10	26,9
10 - 20	19,2
20 - 30	15,9
30 - 40	19,6
40 - 50	10,7
50 - 60	5,8
> 60	1,9

Tabela 4.3 - Tempo de moradia no apartamento - COHAB/SP - 1987

Número de Anos	Frequência Relativa (%)	Frequência Acumulada (%)
até 3	25,2	25,2
4 a 6	53,0	78,2
7 a 9	15,7	93,9
10 ou mais	5,1	100,0

Tabela 4.4 - Renda Familiar - COHAB/SP - 1987

Número de Salários mínimos	Frequência Relativa (%)	Frequência Acumulada (%)
até 3	25,4	25,4
4 a 6	37,2	62,6
7 a 9	20,9	83,5
10 ou mais	16,5	100,0

Tabela 4.5 - Horário de atuação do dispositivo de proteção - COHAB/SP - 1987

Horário (hs.)	Frequência (%)
até 17:30	27,7
17:30 - 19:30	55,3
19:30 - 21:30	12,8
após 21:30	4,2

Tabela 4.6 - Horário de Queda de Tensão - COHAB/SP - 1987

Horário (hs.)	Frequência (%)
17:00	1,6
18:00	22,2
19:00	44,4
20:00	30,2
21:00	1,6



Tabela 4.7 - Variações de tensão durante a semana para três conjuntos habitacionais - COHAB/SP - 1988

Conjunto Habitacional	Dia da sem.	Tensão Média (v)	Máxima Queda Tensão (%)	Horário Máxima Queda (hora)	Máxima Elevação Tensão (%)	Horário Máxima Elevação (hora)
Carapicuíba	seg	115,4	-6,8	19 - 20	3,9	12 - 13
	ter	114,7	-5,9	19 - 20	3,7	16 - 17
	qua	114,2	-7,7	19 - 20	4,1	9 - 10
	qui	113,0	-6,7	19 - 20	4,9	7 - 8
	sex	113,1	-6,8	19 - 20	4,3	6 - 7
	sab	114,4	-6,5	18 - 19	4,6	8 - 9
	dom	116,3	-5,9	18 - 19	4,6	8 - 9
Itaquera I	seg	119,2	-4,5	20 - 21	3,1	7 - 8
	ter	117,8	-5,8	18 - 19	3,3	6 - 7
	qua	117,6	-4,4	18 - 19	2,7	7 - 8
	qui	118,4	-4,6	18 - 19	3,5	6 - 7
	sex	117,7	-3,3	19 - 20	4,1	6 - 7
	sab	118,2	-4,1	18 - 20	3,3	7 - 9
	dom	116,5	-3,5	11 - 12	4,0	23 - 24
Itaquera II e III	seg	123,7	-4,2	22 - 23	3,6	14 - 15
	ter	123,3	-3,5	9 - 10	3,2	11 - 12
	qua	123,6	-3,0	21 - 23	3,4	6 - 7
	qui	123,4	-3,3	22 - 23	3,1	12 - 13
	sex	123,4	-3,1	23 - 24	2,7	7 - 8
	sab	122,7	-3,1	23 - 24	2,7	7 - 8
	dom	122,5	-4,0	22 - 23	3,2	18 - 19

Tabela 4.8 - Distribuição do consumo médio mensal de energia elétrica - nov/86 a abril/87 - COHAB/SP

Consumo (kWh)	Frequência Relativa (%)	Frequência Acumulada (%)
70 - 120	26,8	26,8
121 - 170	36,8	63,6
171 - 220	23,2	86,8
221 - 270	8,9	95,7
271 - 320	4,5	100,0

Tabela 4.9 - Distribuição do consumo médio mensal de energia elétrica do chuveiro - COHAB/SP - 1988

Consumo (kWh)	Frequência Relativa (%)	Frequência Acumulada (%)
0 - 25	32.5	32.5
25 - 50	28.1	60.6
50 - 75	19.3	79.9
75 - 100	10.5	90.4
> 100	9.6	100.0

Tabela 4.10 - Potência Instalada sem chuveiro - COHAB/SP - 1987

Potência Instalada (kW)	Frequência Relativa (%)	Frequência Acumulada (%)
1 - 2	7.8	7.8
2 - 3	27.8	35.6
3 - 4	33.8	69.4
4 - 5	16.5	85.9
5 - 6	12.1	98.0
> 6	2.0	100.0

Tabela 4.11 - Potência Instalada com chuveiro - COHAB/SP - 1987

Potência Instalada (kW)	Frequência Relativa (%)	Frequência Acumulada (%)
5 - 6	1.0	1.0
6 - 7	25.2	26.2
7 - 8	36.5	62.7
8 - 9	18.3	81.0
9 - 10	14.7	95.7
> 10	4.3	100.0

Tabela 4.12 - Demanda Máxima com chuveiro - COHAB/SP - 1988

Demanda Máxima (kW)	Frequência Relativa (%)	Frequência Acumulada (%)
3 - 4	3.5	3.5
4 - 5	20.0	23.5
5 - 6	49.5	73.5
6 - 7	26.1	99.1
> 7	0.9	100.0

Tabela 4.13 - Demanda Máxima sem chuveiro - COHAB/SP - 1987

Demanda Máxima (kW)	Frequência Relativa (%)	Frequência Acumulada (%)
0 - 1	46.0	46.0
1 - 2	38.2	84.2
2 - 3	14.9	99.0
> 3	1.0	100.0

Tabela 4.14 - Demandas Médias Horárias em dias úteis, com e sem  
 chuva - COHAB/SP - 1988

Horário do dia	Demanda com chuva (WD)	Demanda sem chuva (WD)
0 - 1	129,8	108,1
1 - 2	81,8	77,2
2 - 3	72,4	71,6
3 - 4	76,7	71,8
4 - 5	90,4	82,0
5 - 6	183,4	124,8
6 - 7	209,2	131,6
7 - 8	171,2	125,8
8 - 9	205,2	137,2
9 - 10	195,1	161,4
10 - 11	194,8	152,6
11 - 12	211,3	158,3
12 - 13	226,9	165,0
13 - 14	219,8	167,9
14 - 15	195,6	159,3
15 - 16	189,3	156,6
16 - 17	248,4	176,7
17 - 18	284,5	226,1
18 - 19	469,8	320,2
19 - 20	416,3	308,4
20 - 21	433,3	300,9
21 - 22	344,6	265,6
22 - 23	306,4	235,0
23 - 24	250,9	183,9

Tabela 4.15 - Demandas Médias Horárias (W) das habitações de acordo com o dia da semana - COHAB/SP - 1988

Horário do dia	Segunda Feira	Terça Feira	Quarta Feira	Quinta Feira	Sexta Feira	Sábado	Domingo
0 - 1	102.3	135.8	144.8	141.8	123.1	148.6	145.8
1 - 2	71.4	77.7	85.1	93.3	80.9	78.2	102.0
2 - 3	74.6	66.7	77.6	72.8	70.2	60.0	78.1
3 - 4	72.7	73.5	82.8	81.0	72.9	63.6	72.3
4 - 5	81.4	89.2	90.7	101.5	88.7	80.4	67.5
5 - 6	158.0	175.3	198.3	193.5	190.7	98.7	76.5
6 - 7	249.5	212.5	222.7	179.9	182.3	158.8	81.8
7 - 8	167.9	154.5	146.0	221.6	165.0	151.0	115.4
8 - 9	171.6	187.7	226.3	179.8	260.9	275.6	184.1
9 - 10	185.8	158.4	210.6	212.0	209.4	197.3	211.6
10 - 11	198.8	241.5	149.1	204.4	176.5	256.1	200.0
11 - 12	210.8	209.8	199.9	199.0	236.4	200.0	224.2
12 - 13	168.4	222.5	192.0	281.5	266.9	258.1	247.1
13 - 14	206.2	223.3	243.1	212.7	216.3	206.8	249.2
14 - 15	183.2	190.0	162.5	232.0	205.2	232.9	189.6
15 - 16	234.7	190.0	209.6	160.5	156.2	185.8	239.3
16 - 17	258.3	232.7	272.4	261.1	218.2	216.1	219.6
17 - 18	336.0	271.5	262.2	282.7	269.7	327.8	300.1
18 - 19	487.9	494.0	476.4	404.7	486.0	468.7	438.5
19 - 20	439.1	419.7	447.0	397.8	378.1	415.3	377.1
20 - 21	421.3	465.0	435.9	455.1	389.2	431.0	390.0
21 - 22	325.7	346.2	321.1	367.0	363.3	274.2	381.4
22 - 23	290.2	328.5	314.5	318.7	280.9	298.0	313.1
23 - 24	247.4	261.5	235.2	259.6	238.8	273.8	213.8

Tabela 4.16 - Demandas Médias Horárias (W) das habitações sem chuveiro de acordo com o dia da semana - COHAB/SP - 1988

Horário do dia	Segunda Feira	Terça Feira	Quarta Feira	Quinta Feira	Sexta Feira	Sábado	Domingo
0 - 1	97.0	104.7	122.4	111.4	105.0	117.7	126.5
1 - 2	73.7	74.4	79.8	81.8	76.4	72.9	97.8
2 - 3	70.8	68.0	77.5	73.1	68.4	62.7	75.6
3 - 4	65.1	73.0	78.8	77.2	64.6	59.9	67.5
4 - 5	76.4	84.8	85.6	84.8	78.2	68.0	65.2
5 - 6	110.9	123.1	135.6	129.1	125.3	74.5	66.1
6 - 7	134.6	124.0	141.3	129.1	128.9	96.1	67.2
7 - 8	125.8	122.2	117.7	135.8	127.4	115.4	85.6
8 - 9	127.8	135.4	148.8	126.4	147.8	162.8	119.6
9 - 10	153.1	148.7	159.6	181.4	164.5	162.4	140.9
10 - 11	157.0	182.4	117.6	152.3	154.0	171.4	149.3
11 - 12	162.4	176.2	137.0	159.7	156.1	162.4	162.2
12 - 13	153.0	168.9	135.0	184.8	183.1	172.7	175.3
13 - 14	170.3	157.5	161.3	177.0	173.3	166.2	180.4
14 - 15	149.7	170.6	141.2	164.9	170.2	158.5	166.2
15 - 16	177.3	167.4	152.7	145.5	135.2	138.5	165.8
16 - 17	182.2	183.3	161.6	179.6	176.8	175.1	174.3
17 - 18	237.3	230.8	207.4	231.9	222.9	253.3	197.0
18 - 19	347.6	326.9	308.0	309.9	308.9	332.1	287.0
19 - 20	321.1	320.6	312.8	302.2	285.1	299.4	290.6
20 - 21	295.7	323.0	301.2	309.0	275.5	284.0	262.9
21 - 22	273.5	292.8	247.1	272.7	242.1	234.6	264.1
22 - 23	227.0	253.2	216.8	231.5	246.5	207.1	249.4
23 - 24	185.4	196.3	173.1	173.3	191.3	178.8	157.4

Tabela 4.17 - Durações de correntes elétricas (minutos) segundo percentagens de ocorrências, com e sem chuva, para apartamentos - COHAB/SP - 1988

Corrente (A)	Duração p/ Porcentagem de ocorrência (com chuva)				Duração p/ Porcentagem de ocorrência (sem chuva)			
	95.0	99.0	99.9	100.0	95.0	99.0	99.9	100.0
1	23	54	160	719	23	53	160	719
2	15	30	78	260	13	26	77	260
3	15	30	45	158	12	26	45	158
4	15	30	45	158	12	26	45	158
5	15	30	45	158	12	26	45	158
6	15	30	45	158	12	26	45	158
7	15	30	45	158	12	26	45	158
8	10	22	31	31	6	11	20	23
9	10	22	31	31	6	11	20	20
10	10	22	31	31	6	11	20	20
11	10	22	31	31	6	11	20	20
12	10	22	31	31	6	11	20	20
13	10	22	31	31	6	11	20	20
14	10	22	31	31	6	11	20	20
15	10	22	31	31	6	11	20	20
16	10	22	31	31	6	11	20	20
17	10	22	31	31	6	11	20	20
18	10	22	31	31	6	11	20	20
19	10	22	31	31	6	11	20	20
20	10	22	31	31	6	10	14	14
21	10	22	31	31	-	-	-	-
22	10	22	31	31	-	-	-	-
23	10	22	31	31	-	-	-	-
24	10	22	31	31	-	-	-	-
25	10	22	31	31	-	-	-	-
26	10	22	31	31	-	-	-	-
27	8	14	23	23	-	-	-	-
28	8	14	23	23	-	-	-	-
29	8	10	17	17	-	-	-	-
30	8	10	10	10	-	-	-	-
31	8	8	8	8	-	-	-	-
32	8	8	8	8	-	-	-	-
33	8	8	8	8	-	-	-	-
34	8	8	8	8	-	-	-	-

**ANEXO III - RADIAÇÃO SOLAR PARA AQUECIMENTO DE ÁGUA RESIDENCIAL**



A radiação solar para aquecimento de água não se constitui hoje em uma alternativa capaz de assegurar o conforto permanente do usuário como o fazem a eletricidade e o gás, devido ao fenômeno de sua intermitência. Mas nem por isto poderia deixar de ser mencionada em um trabalho cujo tema principal é o aquecimento de água. Assim, o assunto foi deixado para este Anexo.

Como se disse, embora a radiação solar não seja atualmente uma alternativa para a substituição completa da energia elétrica ou do gás, pensa-se que o seu incentivo, mesmo de modo auxiliar, é o caminho a ser seguido por planejadores, concessionárias e usuários que tenham consciência da dimensão do problema energético para a humanidade. Evidentemente, esbarra-se em um problema de custos do equipamento. Sabe-se, entretanto, que estes diminuem com o desenvolvimento tecnológico e com a produção em escala de equipamentos.

Entre as grandes motivações para o emprego da radiação solar encontram-se a sua abundância, limpeza e custo nulo no que se refere à energia em si mesma. Para verificar o quanto ela ainda é pouco aproveitada a Figura III.I ilustra a ordem de grandeza do seu potencial [Davis, 1990].

O que se destaca na figura abaixo é, em primeiro lugar, que a energia interceptada pela terra é aproximadamente 15000 vezes a produção atual de energia organizada pela humanidade. Em segundo, é notável que as parcelas responsáveis pela formação de ventos,

fotossíntese e evaporação, são relativamente pequenas se comparadas com a energia que se transforma em calor e com aquela refletida para o espaço, revelando o quão pouco a energia solar restante é aproveitada pelo homem.

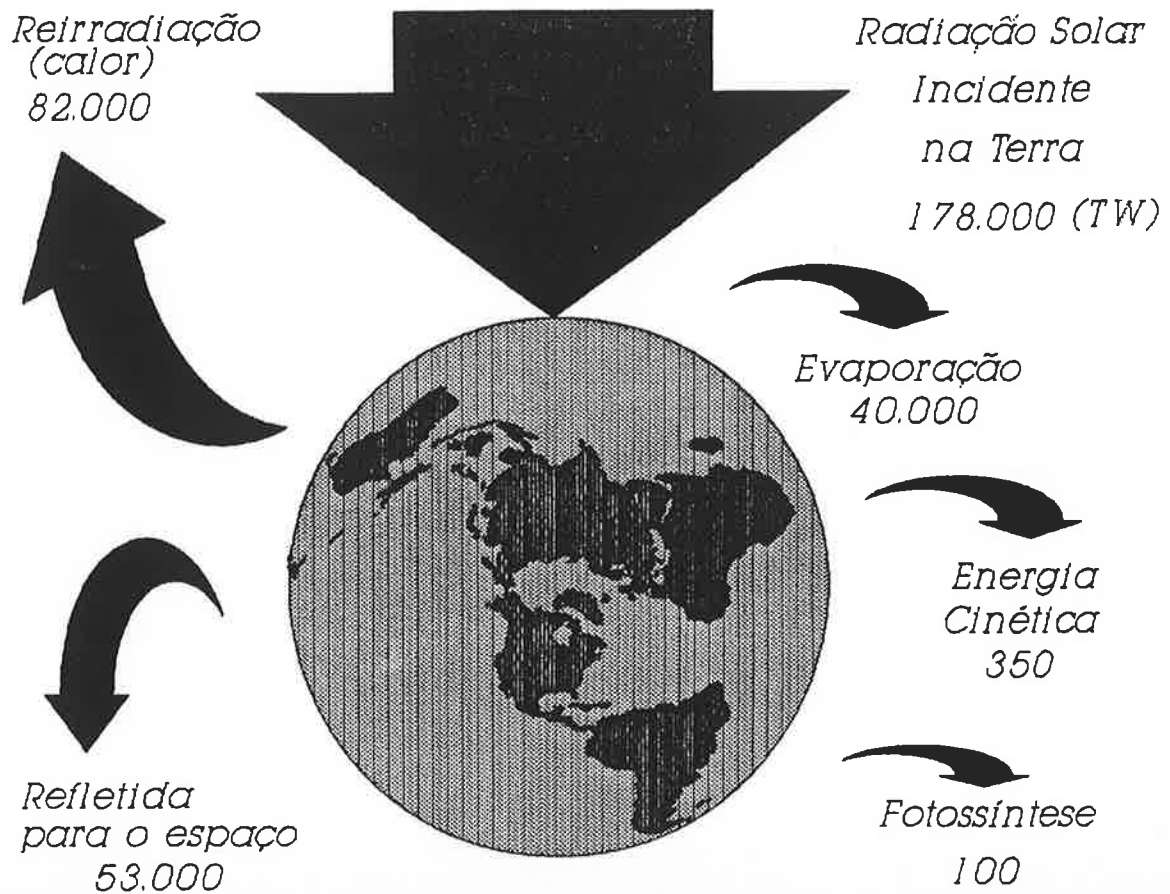


Figura III. I Radiação Solar Anual incidente na terra (TW)  
- [Davis, 1990]

Sabe-se que a radiação solar é a fonte de energia mais antiga disponível no planeta, praticamente inesgotável e não-polvente.

Dela derivam outras fontes de energia particularmente importantes na matriz energética brasileira: a hidreletricidade, baseada na evaporação da água, que retorna para as regiões mais elevadas da terra sob a forma de precipitações. A outra é a energia proveniente da biomassa, seja sob a forma de lenha, seja através da produção de álcool de cana-de-açúcar (etanol).

Duas outras fontes derivadas da energia solar vêm recebendo incentivos, ou de modo incipiente como auxílios à pesquisa, ou mesmo com aplicações já realizadas no mundo desenvolvido. Uma é a energia eólica, resultante de gradientes de pressão na superfície do planeta que, por sua vez, resultam de gradientes de temperatura. Nos EUA, este vetor energético apresenta crescimento rápido, como pode-se atestar pela seguinte declaração: "em 1987, a Califórnia tinha mais de 16 mil turbinas eólicas em operação, gerando 1.7 bilhão de kWh " [Leão, 1989].

Outra aplicação da radiação solar volta-se para a produção de eletricidade por meio de células solares de silício. A Suécia obteve avanços significativos no desenvolvimento destes dispositivos, embora a eletricidade assim gerada tenha ainda custo quatro vezes maior que a oriúnda da queima de combustíveis fósseis [Rantil, 1990]. A viabilidade desta tecnologia é dependente da diminuição dos custos de produção de componentes utilizando silício, matéria prima esta cujas reservas brasileiras são grandes, embora o desenvolvimento tecnológico dos componentes, associado à eletrônica, esteja defasado em relação a muitos outros

países.

Entretanto, há consenso entre vários autores que as células solares não constituem tecnologia para aplicação em escala, mas preferencialmente para pequenas comunidades distantes dos centros desenvolvidos — locais onde os custos de transmissão da energia de fontes convencionais seriam muito elevados.

No entanto, as fontes de energia acima mencionadas, derivadas da radiação solar, ou requerem desenvolvimento tecnológico a médio prazo ainda em andamento nos países desenvolvidos, casos da energia eólica e células solares; ou apresentam problemas ambientais, como a devastação de reservas florestais para produção de biomassa, tão combatida atualmente, ou competição do solo agricultável para a produção de alimentos.

Neste contexto, encontra-se na ordem do dia no país, no que se refere ao suprimento de energia para o aquecimento de água, a continuidade dos esforços de aprimoramento dos coletores solares planos, onde há alguma experiência acumulada e mesmo um nível razoável de comercialização de tais equipamentos.

Infelizmente, o entusiasmo no país com os coletores solares, a partir da década de 70, foi amainado. O arrefecimento dos ânimos explica-se não apenas por uma falta de conhecimento das variáveis envolvidas, como a adequação do ângulo das faces dos coletores à trajetória anual do sol, dimensionamento do *hardware* e

necessidades de armazenamento relacionadas ao fato de que a radiação solar é intermitente, como também a atribuição do projeto, execução e instalação dos sistemas serem relegadas a profissionais sem qualificação.

Mas as chances dos coletores solares mostrarem-se viáveis não devem ser descartadas, pois há um certo otimismo em relação aos mesmos até em locais em que as condições climáticas são mais desfavoráveis: " a tecnologia de aquecimento com radiação solar é atualmente cinco vezes mais eficiente que no início de seu desenvolvimento" [Lagerström, 1990]. Na Suécia, pesquisa-se a integração de tais coletores com a cobertura de edificações. No Brasil, onde a radiação solar é mais intensa, é possível acelerar a implantação de coletores em edificações residenciais, tendo-se a cautela de conceber estes sistemas como sendo de pré-aquecimento, ou melhor, complementando o calor necessário com outro vetor energético, porque o conforto dos usuários não pode ser comprometido em uma fase em que o desempenho do sistema não é ainda satisfatório.

Um grande problema dos coletores solares planos é o do seu custo, que envolve vários componentes de materiais nobres. No caso de prédios de apartamentos, há o agravante de as distâncias a serem percorridas por tubulações de cobre ou material equivalente, com isolamento térmico, serem grandes. Uma forma de contornar estes custos elevados é o aperfeiçoamento e aplicação de plásticos de engenharia nas instalações de água quente, o que pode vir a ser

uma alternativa aos tubos de cobre revestidos com silicato de cálcio, fibra de vidro ou lã de rocha.

Um tal sistema de pré-aquecimento da água pode ser concebido como central coletivo. se análises de eficiência e custo de instalação indicarem esta opção como mais conveniente em relação a sistemas privados, porque não ocorre o problema de rateio da conta de energia. Já os custos de manutenção são mais facilmente gerenciáveis, como os custos de manutenção de um item qualquer de uma edificação que faz parte de um condomínio.

[Luiz, 1985] diz que "o custo por metro quadrado de um coletor plano varia de 50 até 800 dólares". Evidentemente, esta variação está relacionada à eficiência que se deseja para o sistema do ponto de vista de seu desempenho e à sua eficácia ou capacidade de garantir água quente. que diz respeito à capacidade de armazenamento. Para alguns países da Europa, [Brundett, 1982] reuniu dados de custos de equipamento e instalação, de manutenção, de energia consumida, entre outros, para diversas tipologias de sistemas de aquecimento de água. É significativo o número de vezes em que os coletores solares, com aquecimento elétrico complementar, aparecem como o sistema com custos mais elevados, embora isto não se repita para os custos da energia consumida.

No entanto, as estatísticas de outros países, principalmente os da Europa, com menor intensidade de radiação solar que os países tropicais, não são diretamente aplicáveis ao Brasil, pois varia

tanto a área necessária de coletores para aquecer uma determinada quantidade de água a uma determinada temperatura de uso, como variam também esta quantidade e esta temperatura, que são funções dos hábitos dos usuários.

**ANEXO IV - BOMBA DE CALOR E EFICIÊNCIA DE EQUIPAMENTOS PARA  
AQUECIMENTO DE ÁGUA**

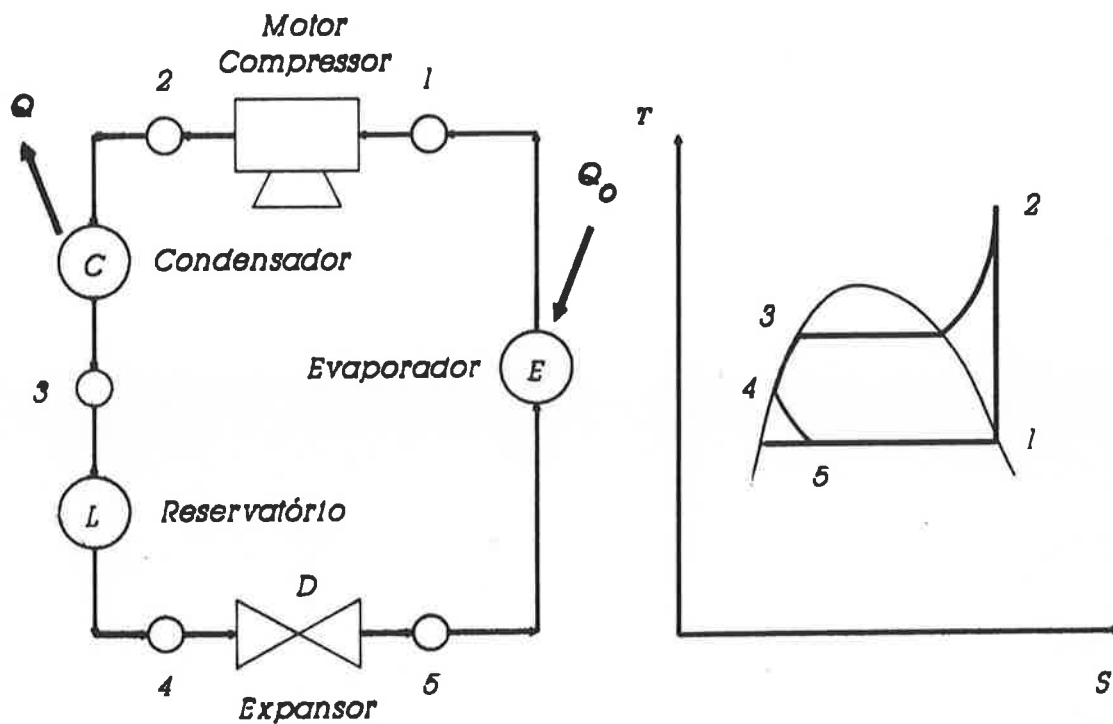


A bomba de calor é o meio menos conhecido no Brasil para aquecimento de água residencial, embora já seja empregada em outros países neste uso final. Além do objetivo de aplicação prática, a bomba de calor é uma referência teórica para a análise da eficiência de equipamentos de aquecimento de água. A referência, como método, tende a se tornar um paradigma tecnológico, na medida em que ocorrer maior utilização de fontes alternativas de energia e for realizado o controle de qualidade dos equipamentos disponíveis no mercado. Neste anexo, é feita uma introdução a esta forma de análise da eficiência.

Segundo [Dumon & Chrysostome, 1981], a bomba de calor é conhecida na França há, aproximadamente, cinquenta anos, tendo ocorrido um maior interesse pelo seu emprego, tanto naquele país como nos EUA, a partir da década de 70. A ordem de interesse de suas aplicações foi: em processos industriais, em condicionamento ambiental e, por último, ao aquecimento de água.

Define-se a bomba de calor como um sistema termodinâmico que transfere calor de um meio a temperatura mais baixa (fonte) para um meio a temperatura mais elevada (meio a aquecer ou sorvedouro). Assim, existe uma semelhança entre uma máquina frigorífica e uma bomba de calor: enquanto que a primeira resfria um meio, transferindo calor do mesmo para um meio externo, a segunda aquece um meio, extraindo calor de um meio exterior. Diz-se que a bomba de calor trabalha em ciclo simétrico ao da máquina frigorífica. A Figura IV.1 a) e b) ilustra esquematicamente a

máquina e seu diagrama Temperatura x Entalpia.



(a) Esquema

(b) Diagrama Temperatura X Entalpia

Figura IV. I - Bomba de Calor - (Dumon & Chrysostome, 1981)

Na figura acima, o compressor aspira em 1 o fluido termodinâmico no estado de vapor seco e o comprime até uma pressão elevada, aquecendo-o (compressão adiabática 1 - 2). No estágio 2, o vapor comprimido penetra no condensador, onde se condensa cedendo seu calor de vaporização  $Q$ , para ser todo líquido em 3. Um reservatório L de líquido permite um funcionamento sem golpes e produz um pequeno esfriamento do líquido entre 3 e 4. O condensado, expandido em D (entre 4 e 5), é enviado ao evaporador E, onde absorve um calor  $Q_0$  e se evapora. No caso em vista, a variável de interesse é  $Q$ , calor cedido à água para uso

residencial. O meio exterior mais comum é o ar externo à edificação, mas pesquisa-se também águas residuais e a energia geotérmica.

Atualmente o vetor energético mais adequado ao acionamento do compressor da bomba de calor é a eletricidade, pois motores a base de combustão exigem reparos a um número de horas de funcionamento muito menor. A vantagem desta tecnologia de aquecimento de água, sob o enfoque da redução da demanda, é a possibilidade de trabalho a baixa carga por longos períodos, principalmente fora de ponta.

Do ponto de vista da eficiência, há dois aspectos a serem considerados sobre a bomba de calor. Um deles é que o seu sistema de aquecimento de água inclui um reservatório e ramais de distribuição, elementos estes que envolvem perdas dependentes de vários fatores, como isolamento térmico, comprimento de tubulações, temperatura de uso, etc.

O outro aspecto da eficiência da bomba diz respeito ao balanço entre a energia fornecida ao sistema para o seu funcionamento e a energia que ele acrescenta ao meio que se pretende aquecer, a água no caso. Comparada com sistemas convencionais, onde a eficiência é dita 70%, por exemplo, a bomba de calor aparenta ser um paradoxo termodinâmico. Os 70% significam a parcela de calor útil de todo o calor liberado pelo combustível ou energia elétrica no equipamento. Nesta concepção, uma eficiência de 100% parece constituir o objetivo ideal.

No entanto, a bomba de calor libera calor que extrai do ambiente e calor proveniente da energia fornecida para o seu funcionamento como calor à temperatura desejada para o aquecimento da água. Por conseguinte, o calor liberado é mais que 100% do calor fornecido para o funcionamento da bomba.

Uma das maneiras de avaliar o desempenho de um equipamento é através de seu *COP* (*Coefficient of Performance*), definido como:

$$COP = \frac{E_u}{E_f} \quad (IV.1)$$

onde:

- $E_u$ : energia útil;
- $E_f$ : energia fornecida ao equipamento.

A relação acima é denominada "primeira lei da eficiência", por basear-se na primeira lei da termodinâmica. De modo análogo aos aparelhos de ar condicionado, a bomba de calor apresenta *COP* maior do que a unidade, já tendo sido obtido  $COP = 2.2$  nos EUA para uma bomba de calor para aquecimento de água [Goldemberg, 1988]. Segundo esta mesma referência, o limite de uso da primeira lei é a análise de equipamentos do mesmo tipo, indicando que uma melhor avaliação da eficiência deve se basear na segunda lei da termodinâmica, onde a comparação do desempenho é feita entre o dispêndio de energia em uma aplicação e o mínimo teórico necessário para a realização da tarefa. Dessa maneira, é possível indicar um potencial genérico de economia de energia com o emprego de um determinado equipamento.

Esta "segunda lei da eficiência" pode ser colocada sob a forma:

$$\varepsilon = \frac{C_t}{C_f} \quad (\text{IV.2})$$

onde:

- $\varepsilon$  : eficiência;
- $C_t$  : consumo teórico mínimo para a realização de uma tarefa;
- $C_f$  : consumo de energia para a realização da mesma tarefa com um determinado equipamento.

O consumo teórico mínimo para a realização de uma tarefa é obtido com a hipótese de uma bomba de calor ideal. Em uma aplicação desta tecnologia para condicionamento ambiental, a noção de reservatório térmico, corpo ao qual e do qual o calor pode ser transferido indefinidamente sem mudança de temperatura do reservatório, é perfeitamente aplicável. Em aquecimento de água por acumulação, esta hipótese não se mantém: apesar de uma fonte como a atmosfera poder ser considerada um reservatório térmico, o mesmo não se passa com o reservatório de água quente, que sofre variações em sua temperatura.

Se a bomba de calor, ou melhor, seu condensador for suposto como um aquecedor de passagem da água, então o sorvedouro torna-se também um reservatório térmico, constituído da água a ser aquecida em temperatura constante. Estabelecendo ainda a hipótese de que esta água esteja à temperatura ambiente (da fonte), para efeito de simplificação, pode-se utilizar a seguinte escala termodinâmica

de temperaturas, proposta por Kelvin:

$$\frac{Q_H}{Q_L} = \frac{\theta_H}{\theta_L} \quad (\text{IV.3})$$

onde os índices L e H designam as características da fonte e sorvedouro, respectivamente. Trata-se, portanto, de um ciclo de Carnot, que opera entre dois reservatórios térmicos de temperaturas conhecidas. Pode-se dizer então sobre o rendimento térmico do ciclo:

$$\eta_{\text{termico}} = 1 - \frac{Q_L}{Q_H} = 1 - \frac{\theta_L}{\theta_H} \quad (\text{IV.4})$$

Por exemplo, com o meio de onde vai ser retirado o calor a uma temperatura  $\theta_0 = 15^\circ\text{C}$  e a temperatura desejada para a água  $\theta = 45^\circ\text{C}$ , pode-se calcular a relação entre as unidades de energia elétrica necessárias (W) e as unidades de calor a fornecer ao meio (água), através da relação:

$$\frac{W}{Q} = \left( 1 - \frac{\theta_L}{\theta_H} \right) \quad (\text{IV.5})$$

Substituindo os valores de temperaturas ( $^\circ\text{K}$ ) propostos para o exemplo, vem:

$$\frac{W}{Q} \approx \frac{1}{10} \quad (\text{IV.6})$$

Isto significa que nesta relação ideal seria necessária uma unidade de energia elétrica para a obtenção, aproximadamente, de 10 unidades de calor.

Entretanto, diz a segunda lei da termodinâmica, no enunciado de Clausius: "é impossível construir um dispositivo que opere num ciclo termodinâmico e que não produza outros efeitos além da passagem de calor de um corpo frio para um corpo quente" [Van Wylen, 1976]. Assim, a bomba de calor ideal é apenas um termo de comparação para os equipamentos reais.

O caso do aquecedor de água genérico, com eficiência de 70%, segundo a primeira lei da termodinâmica, teria sua eficiência reavaliada em um contexto de novas possibilidades tecnológicas a partir da formulação da segunda lei. Tem-se então:

$$\frac{W}{C_f} = \frac{W}{Q} * \frac{Q}{C_f} = \frac{1}{10} * 0.70 = 0.07 \quad (\text{IV.7})$$

Portanto, segundo esta maneira de avaliação da eficiência dos equipamentos, do ponto de vista de novas possibilidades tecnológicas, a eficiência do aquecedor, sob condições estabelecidas de elevação da temperatura da água, seria de 7% e não de 70%. Para o caso de equipamentos convencionais, os mesmos autores, [Goldemberg et alii, 1988], acreditam que exista um horizonte de melhoria da eficiência até 20%, de acordo com esta metodologia de avaliação fundamentada na segunda lei da termodinâmica.