

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS**  
**Programa de Pós Graduação em Ciências e Técnicas Nucleares**

**DESENVOLVIMENTO DE METODOLOGIA  
PARA PLANEJAMENTO ENERGÉTICO  
INTEGRADO AO ESPAÇO URBANO**  
*um estudo do setor residencial de Belo Horizonte*

**Iraci Miranda Pereira**

Belo Horizonte  
2010

Iraci Miranda Pereira

DESENVOLVIMENTO DE METODOLOGIA  
PARA PLANEJAMENTO ENERGÉTICO  
INTEGRADO AO ESPAÇO URBANO  
*um estudo do setor residencial de Belo Horizonte*

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências e Técnicas Nucleares da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Ciências e Técnicas Nucleares.

Área de Concentração: Engenharia Nuclear e da Energia

Orientadora: Eleonora Sad de Assis

Escola de Arquitetura da UFMG

Belo Horizonte  
2010

P436d

Pereira, Iraci Miranda.

Desenvolvimento de metodologia para planejamento energético integrado ao espaço urbano [manuscrito] : um estudo do setor residencial de Belo Horizonte / Iraci Miranda Pereira. – 2010.  
180 f., enc. : il.

Orientadora: Eleonora Sad de Assis.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Minas Gerais,  
Escola de Engenharia.

Bibliografia: f.171-180.

1. Engenharia nuclear – Teses 2. Política energética – Teses. 3. Energia elétrica – Consumo – Teses. I. Assis, Eleonora Sad de. II. Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia. III. Título.

CDU: 621.039(043)

---

---

## AGRADECIMENTOS

---

A todos os que contribuíram no desenvolvimento dessa pesquisa, em especial a:

À professora Eleonora Sad de Assis, pelas orientações; pela paciência, tempo, atenção dedicados e por seu exemplo de caráter, seriedade e amor ao que faz;

À professora Jupira Gomes de Mendonça (EA/UFMG), pela cessão da base de dados digitalizada dos censos, fundamentais para essa pesquisa;

Ao professor José Irineu Rangel Rigotti (CEDEPLAR/UFMG), pelo auxílio prestado no desenvolvimento da metodologia, especialmente, na projeção dos dados demográficos;

Ao professor Danny Zahreddine (RI/ PUCMINAS), pelos esclarecimentos em relação ao uso da base de dados do censo;

À CEMIG, em especial, aos engenheiros Carlos Magno H. Corrêa e Bruno Marciano Lopes, pela disponibilização dos dados de consumo municipais.

Ao professor Alisson Flávio Barbieri (CEDEPLAR/UFMG), pela cessão de dados de projeção demográfica de Belo Horizonte.

Ao amigo distante, professor Marcos Rodrigo Costa (PUCMINAS – Arcos), pelas informações referentes ao uso de sistemas de informação geográficas;

Aos amigos do Laboratório de Conforto Ambiental, em especial, Camila Ferreira, Daniele Ferreira e Jussara Grosh, pelos inúmeros auxílios prestados ao longo de todo o desenvolvimento da tese.

À minha família, pelo amor incondicional;

À Deus, pela vida.

---

---

*“Chegamos sempre ao sítio aonde nos esperam”*

*“Livro dos Itinerários”.*

*José Saramago*

---

---

---

## RESUMO

---

O consumo de energia de edifícios é um tema amplamente discutido e já é parte do escopo de regulamentações e selos, no mundo e no Brasil. Contudo, ainda há poucas pesquisas que analisam o consumo de energia de grupos de edifícios incluindo a proposição de assentamentos mais eficientes. Contextualizado na questão do consumo de energia das cidades, este trabalho tem por objetivo principal o desenvolvimento de um modelo estatístico capaz de estimar o consumo de energia em variadas áreas urbanas de um mesmo município. Para tanto, adota-se a metodologia do planejamento energético aplicada ao setor residencial do município de Belo Horizonte, escolhido como estudo de caso. A modelagem desenvolvida considera que as variáveis mais significativas que influenciam o comportamento de consumo estão relacionadas com a conjuntura econômica, podendo a evolução desse consumo ser descrita por meio das tendências históricas. Por lidar com a informação espacial, a metodologia desenvolvida incorpora ao Planejamento Energético tradicional abordagens usuais das Ciências Sociais. Em sua primeira etapa, é realizado o levantamento da posse dos eletrodomésticos e do perfil socioeconômico das famílias de cada região da cidade, por meio da análise estatística dos dados do censo. Em seguida, é traçado o perfil de consumo médio de energia dos equipamentos residenciais. Com esses dados, é possível calcular o consumo de energia por equipamento e região. Finalmente, cenários energéticos são desenvolvidos para projetar o consumo de energia urbana. Como resultado, tem-se a apresentação de mapas de consumo de energia por uso final para os anos de 1991, 2000, 2007. Acrescenta-se a isso, o desenvolvimento de cenários energéticos para o município, visando a análise da influência da consideração de ocupação do espaço do consumo de energia em 2030. A consolidação dessa pesquisa permite sua utilização no planejamento urbano local, contribuindo para a melhoria da qualidade de vida da população, redução dos impactos ambientais e a diversificação da matriz energética. A integração deste trabalho com outras metodologias de avaliação do balanço de energia permitirá a melhor compreensão de variáveis que interferem no consumo das edificações, como o clima urbano e padrões de implantação.

Palavras chaves: consumo de energia urbano; setor residencial, análise espacial.

---

---

---

## ABSTRACT

---

Energy consumption of individual buildings is a widely discussed theme and is already part of the scope of standards and labels for energy efficiency in Brazil. However, there are few researches that analyze the consumption of energy by groups of buildings and, from this evaluation, propose more efficient settlements. This work aims to develop a model able to estimate the energy consumption by the residential sector, in different areas inside the city, through the adoption of energy planning methodology. Its object of study is the residential sector of the city of Belo Horizonte, state capital of Minas Gerais. In this model, the household consumption is evaluated apart from the others sectors and the most important variables of consumption behavior are related to the economy. The methodology couples different approaches. Its first step is surveying the ownership of appliances and the socioeconomic profile of households in each region inside de city, through the statistical analysis of census data. Then, the average energy consumption is characterized by typical residential equipments. With this data, it is possible to compute the energy consumption by equipment and region. Finally, energy scenarios are developed to predict the urban energy consumption. As a result, maps of energy consumed by end use are presented for the years 1991, 2000, 2007. In addition, scenarios are developed for the municipality seeking to analyze the influence of the consideration of space occupation in energy consumption in the year 2030. The consolidation of this work allows its use in local urban planning: improving the quality of life, reducing environmental impact and diversifying sources of energy. Its integration with other methodologies will allow the understanding of other variables that affect the consumption of the buildings, such as weather patterns and urban location.

**Keywords:** urban energy consumption; residential sector; spatial approach.

---

---

---

## LISTA DE FIGURAS

---

Figura 1.1: Imagens da cidade de Chicago (EUA) tiradas da Estação Espacial Internacional, de dia (a) e à noite (b).....	1
Figura 1.2: Foto montagem da terra vista à noite.....	2
Figura 1.3: Distribuição mundial do Produto Interno Bruto mundial por quilômetro quadrado. ....	2
Figura 1.4: Imagens das cidades de Londres e Tóquio à noite.....	3
Figura 2.1: Mapa urbano de áreas construídas (1), modelo de elevação digital (2) e vista axonométrica (3) de uma área central de Londres .....	13
Figura 2.2: Estudo de sombras (1), FVC (2) e horas de sombreamento no verão (3) para trechos da área central de Londres .....	14
Figura 2.3: Modelos de elevação digital elaborados para Londres, Toulouse e Berlim, mostrando a razão superfície por volume .....	14
Figura 2.4: Cálculo do consumo de energia em Londres, Toulouse e Berlim. ....	15
Figura 2.5: Esquema de subdivisão de uma cidade ou metrópole com o objetivo de realização de uma auditoria energética .....	16
Figura 2.6: Mapas temáticos do setor residencial de Londres, mostrando o consumo de uma área postal (1) e emissões de carbono por área postal (2) .....	18
Figura 2.7: Detalhe de tela do <i>software</i> desenvolvido. ....	18
Figura 2.8: Temperatura do ar x FVC.....	21
Figura 2.9: Amplitude da temperatura da superfície de acordo com o consumo de energia médio ....	21
Figura 2.10: Visualização em 3D da renda mensal das famílias do bairro, em salários mínimos. ....	21
Figura 2.11: Visualização em 3D do consumo médio mensal das habitações. ....	21
Figura 2.12: Representação da amplitude térmica da superfície no bairro, indicando as áreas que apresentaram menores valores. ....	22
Figura 2.13: Representação do consumo médio dos moradores do bairro, indicando a região oeste como a que apresentou maiores gastos com energia elétrica. ....	22
Figura 2.14: O sistema energético.....	25
Figura 2.15: Seqüência típica de tarefas no planejamento energético. ....	29
Figura 2.16: Exemplo de tela obtida no ArcView 3.1 com informações energéticas referenciadas.....	31
Figura 2.17: Exemplo simplificado de estrutura do consumo de energia do setor residencial de Belo Horizonte .....	32
Figura 3.1: Localização de Minas Gerais e de Belo Horizonte no Brasil .....	59
Figura 3.2: Localização espacial das UEH de Belo Horizonte, conforme a divisão para o Censo de 2000 .....	67
Figura 3.3: Localização espacial das menores UEH de Belo Horizonte, conforme a divisão para o Censo de 2000 .....	67
Figura 3.4: População levantada por UEH, em 1991 e 2000 .....	69

---



---

Figura 3.5: Número total de residências por UEH em 1991 e 2000 .....	69
Figura 3.6: Número médio de moradores por residência em 1991, 2000 .....	70
Figura 3.7: Renda per capita média por UEH, em 1991 e 2000. Valores em reais de 2000.....	71
Figura 3.8: Mapa com o zoneamento estabelecido pela Lei de Uso e Ocupação do Solo .....	73
Figura 3.9: Tipo de ocupação permitida pela LUOS em cada UEH .....	75
Figura 4.1: Procedimentos para a construção do mapa de consumo urbano municipal.....	77
Figura 4.2: Classificação das temperaturas médias mensais de um ano normal em função da temperatura de conforto térmico noturno.....	88
Figura 5.1: Relação entre modelos, cenários e estórias.....	96
Figura 5.2: Detalhe da tela do <i>software</i> LEAP, na qual são destacados os recursos utilizados.....	98
Figura 5.3: Taxa de ocupação do potencial construtivo das edificações existentes em 2000.....	107
Figura 5.4: Vista área de Belo Horizonte, em área próxima a Praça da Liberdade, onde estão destacados edifícios que utilizam o sistema solar de aquecimento de água.....	115
Figura 5.5: Classificação das temperaturas médias mensais, em função da temperatura de conforto térmico noturno, considerando o efeito do aquecimento global. ....	123
Figura 6.1: População por UEH em Belo Horizonte, em 2007 e 2030.....	125
Figura 6.2: Numero médio de moradores por residência, por UEH, em Belo Horizonte, em 2007 e 2030.....	126
Figura 6.3: Numero total de residências por UEH, em Belo Horizonte, em 2007 e 2030.....	126
Figura 6.4: Renda per capita por UEH, em Belo Horizonte, nos anos de 2007 e 2030.....	127
Figura 6.5: Evolução da participação das fontes no consumo de energia do município, em tep, em 1991 e 2000 .....	128
Figura 6.6: Participação das fontes no consumo de energia do município, em tep, em 2007.....	129
Figura 6.7: Evolução do consumo de GLP para cocção, por UEH.....	130
Figura 6.8: Evolução do consumo de energia elétrica nas UEH.....	131
Figura 6.9: Evolução da participação dos usos finais no consumo de energia elétrica do município .	131
Figura 6.10: Evolução da participação dos usos finais no consumo de eletricidade das UEH, nos anos de 1991 e 2000 .....	133
Figura 6.11: Evolução da participação dos usos finais no consumo de eletricidade das UEH, no ano de 2007.....	134
Figura 6.12: Evolução do consumo médio mensal de energia elétrica por residência.....	134
Figura 6.13: Evolução do consumo de eletricidade do chuveiro elétrico. ....	135
Figura 6.14: Consumo de GLP no aquecimento de água para banho em 2007. ....	136
Figura 6.15: Consumo de energia solar no aquecimento de água para banho em 2007. ....	136
Figura 6.16: Evolução do consumo de eletricidade para iluminação.....	137
Figura 6.17: Evolução do consumo de eletricidade pelo freezer .....	137
Figura 6.18: Evolução do consumo de eletricidade da geladeira .....	138
Figura 6.19: Evolução do consumo de eletricidade da TV .....	139
Figura 6.20: Evolução do consumo de eletricidade do computador. ....	140
Figura 6.21: Evolução do consumo de eletricidade do uso final lazer.....	140

---

---

Figura 6.22: Evolução do consumo de eletricidade do ferro.....	141
Figura 6.23: Evolução do consumo de eletricidade do uso final serviços gerais.....	142
Figura 6.24: Evolução do consumo de eletricidade do ar condicionado.....	142
Figura 6.25: Evolução do consumo de eletricidade do uso final conforto ambiental .....	143
Figura 6.26: Consumo de energia elétrica para iluminação em 2030 .....	144
Figura 6.27: Consumo de GLP para cocção em 2030.....	145
Figura 6.28: Consumo de energia elétrica da geladeira em 2030 .....	146
Figura 6.29: Consumo de energia elétrica do freezer em 2030.....	146
Figura 6.30: Evolução do consumo de energia elétrica para conservação de alimentos até 2030.....	146
Figura 6.31: Consumo da TV em 2030.....	148
Figura 6.32: Consumo do computador em 2030.....	148
Figura 6.33: Evolução do consumo de energia elétrica do uso final lazer.....	149
Figura 6.34: Consumo de eletricidade do micro-ondas em 2030.....	150
Figura 6.35: Consumo de energia elétrica da lavadora em 2030 .....	150
Figura 6.36: Evolução do consumo de eletricidade do ferro até 2030 .....	151
Figura 6.37: Evolução do consumo de energia elétrica do uso final serviços gerais .....	151
Figura 6.38: Consumo de GLP para aquecimento de água em 2030 .....	152
Figura 6.39: Evolução do consumo equivalente de energia do sistema solar de aquecimento de água .....	153
Figura 6.40: Evolução do consumo de eletricidade para o aquecimento de água.....	153
Figura 6.41: Consumo de eletricidade do ar condicionado em 2030, no Cenário Minas Gerais.....	156
Figura 6.42: Evolução do consumo de eletricidade por UEH, em 2030, para as duas projeções.....	159
Figura 6.43: Comparação da evolução do consumo médio mensal de eletricidade por residência, por cenário .....	160

---

---

---

## LISTA DE GRÁFICOS

---

Gráfico 2.1: Proporção de faixas de renda familiar em cada faixa de consumo considerada.....	34
Gráfico 2.2: Participação de cada tipo de fogão no número total de equipamentos por classe de renda .....	34
Gráfico 2.3: Evolução do consumo mensal de lenha, em m <sup>3</sup> , por família e por classe de renda. ....	35
Gráfico 2.4: Evolução do consumo mensal de GLP, em kg, por família e por classe de renda.....	35
Gráfico 2.5: Contribuição de cada classe de renda para o consumo total de combustíveis no ano de 1978 (Minas e Espírito Santo) e no ano de 1991 (Região Sudeste).....	36
Gráfico 2.6: Fonte utilizada para aquecimento de água para banho. ....	38
Gráfico 2.7: Tempo médio do banho por pessoa utilizando chuveiro elétrico.....	39
Gráfico 2.8: Posse média de lâmpadas incandescentes e fluorescentes no Brasil e na Região Sudeste.	41
Gráfico 2.9: Posse média de eletrodomésticos na Região Sudeste .....	43
Gráfico 2.10: Uso da função <i>standby</i> nos eletrodomésticos. ....	44
Gráfico 2.11: Participação dos usos finais no consumo de energia elétrica por classe de renda. ....	45
Gráfico 2.12: A participação de cada classe de renda no consumo total de energia elétrica por uso final.....	46
Gráfico 2.13: Evolução consumo de energia por uso final para Minas Gerais.....	47
Gráfico 2.14: Curva de carga diária média na região Sudeste. ....	48
Gráfico 2.15: Projeção do crescimento do PIB brasileiro.....	49
Gráfico 2.16: Projeção do crescimento do PIB mineiro.....	49
Gráfico 2.17: Taxas Médias de Crescimento do PIB e de Energia.....	49
Gráfico 2.18: Brasil - Crescimento Demográfico .....	50
Gráfico 2.19: Projeção da população mineira .....	51
Gráfico 2.20: Projeção da evolução dos domicílios em Minas Gerais.....	51
Gráfico 2.21: Projeções de crescimento da população do município de Belo Horizonte .....	51
Gráfico 2.22: Evolução da demanda de energia per capita (em tep /10 <sup>3</sup> hab) .....	53
Gráfico 2.23: Evolução do uso da energia no setor residencial (em 10 <sup>6</sup> tep).....	54
Gráfico 2.24: Dinâmica do uso da energia no setor residencial.....	54
Gráfico 2.25: Consumo médio residencial por cenário (kWh/domicílio/mês). ....	55
Gráfico 2.26: Projeção do consumo de energia elétrica para o setor residencial mineiro. ....	56
Gráfico 2.27: Setor residencial - composição do consumo energético. ....	57
Gráfico 2.28: Projeção do consumo de energia elétrica do setor residencial mineiro. ....	57
Gráfico 2.29: Projeção do consumo médio de energia elétrica por residência em Minas Gerais.....	58
Gráfico 3.1: Evolução do PIB per capita do Brasil, de Minas Gerais e de Belo Horizonte.....	61
Gráfico 3.2: Evolução do consumo per capita de eletricidade no Brasil, em Minas Gerais e em Belo Horizonte.....	62

---

---

Gráfico 3.3: Evolução do consumo de energia elétrica do setor residencial por PIB. ....	63
Gráfico 3.4: Evolução do consumo residencial per capita (a) e por PIB de GLP no Brasil e em Minas Gerais .....	64
Gráfico 5.1: Evolução da população estimada das UEH com crescimento populacional entre 1991 e 2000, conforme o método AiBi.....	104
Gráfico 5.2: Evolução da população estimada das UEH com decréscimo populacional entre 1991 e 2000, conforme o método AiBi.....	104
Gráfico 5.3: Evolução da população estimada das UEH com decréscimo populacional entre 1991 e 2000, conforme o método AiBi ajustado .....	105
Gráfico 5.4: Evolução da renda média familiar por faixa de rendimentos.....	108
Gráfico 5.5: Evolução da posse de geladeiras na RMBH por classe de rendimento familiar.....	110
Gráfico 5.6: Evolução da posse de freezer na RMBH, por classe de rendimento familiar.....	110
Gráfico 5.7: Evolução da posse de máquina de lavar roupas na RMBH por classe de rendimento familiar .....	110
Gráfico 5.8: Evolução da posse de TV a cores na RMBH, por classe de rendimento familiar .....	111
Gráfico 5.9: Evolução da posse de TV em preto e branco na RMBH, por classe de rendimento familiar .....	111
Gráfico 5.10: Evolução da posse de rádio na RMBH por classe de rendimento familiar.....	111
Gráfico 5.11: Evolução da posse de computador (a) e da posse de computadores com acesso à internet (b), na RMBH, por classe de rendimento familiar .....	112
Gráfico 6.1: Comparação da evolução da participação dos usos finais no consumo de energia elétrica do setor residencial.....	132
Gráfico 6.2: Evolução da posse da TV por UEH .....	147
Gráfico 6.3: Evolução da posse do computador pessoal.....	148
Gráfico 6.4: Evolução da posse de micro-ondas .....	149
Gráfico 6.5: Evolução da posse de lavadoras.....	150
Gráfico 6.6: Evolução da posse do sistema solar de aquecimento de água, no Cenário BH-2030 .....	154
Gráfico 6.7: Evolução da posse de chuveiro elétrico no Cenário BH-2030.....	154
Gráfico 6.8: Evolução da posse de ar condicionado no Cenário MG-2030.....	155
Gráfico 6.9: Evolução da posse de ar condicionado no Cenário BH-2030.....	155
Gráfico 6.10: Evolução do consumo de energia por fonte, em ambos os cenários.....	157
Gráfico 6.11: Participação de cada fonte de energia no consumo total, no Cenário MG-2030 .....	157
Gráfico 6.12: Participação de cada fonte de energia no consumo total, no Cenário BH-2030 .....	157

---

---

---

## LISTA DE TABELAS

---

Tabela 2.1: Relevância das variáveis para as melhores simulações.....	20
Tabela 2.2: Quadro síntese da influência das variáveis de implantação no consumo de energia elétrica .....	23
Tabela 2.3: Posse média e domicílios que possuem pelo menos um chuveiro elétrico .....	38
Tabela 2.4: Número médio de lâmpadas conforme seu uso nos domicílios brasileiros.....	40
Tabela 2.5: Número de lâmpadas por domicílio segundo a classe de renda, para São Paulo .....	40
Tabela 2.6: Posse média de lâmpadas por domicílio segundo a classe de renda, para a Região Sudeste .....	41
Tabela 2.7: Percentual de consumo em relação ao consumo energético total do equipamento.....	45
Tabela 2.8: Consumo médio mensal de energia elétrica por domicílio segundo a classe de renda, em Belo Horizonte, em 1996 .....	47
Tabela 2.9: Projeção da oferta interna de energia brasileira .....	53
Tabela 2.10: Indicadores de consumo final energético do setor residencial .....	55
Tabela 3.1: Número de Unidades Habitacionais (UH) permitido pela LUOS de acordo com o coeficiente de aproveitamento(CA) e quota de terreno (QT) .....	74
Tabela 4.1: Consumo mensal dos chuveiros elétricos por classe de renda, em kWh/mês.....	86
Tabela 4.2: Consumo mensal dos equipamentos de conservação de energia ano, em kWh/mês .....	89
Tabela 4.3: Critérios de posse de lâmpadas (Plam) adotados, por ano estudado .....	90
Tabela 4.4: Critérios adotados para o cálculo do coeficiente de consumo das lâmpadas, em 1991 e 2000 .....	90
Tabela 4.5: Critérios adotados para o cálculo do coeficiente de consumo dos equipamentos utilizados no uso final lazer .....	91
Tabela 4.6: Critérios adotados para o cálculo do coeficiente de consumo do aspirador e do micro-ondas.....	91
Tabela 4.7: Critérios adotados para o cálculo do coeficiente de consumo das máquinas de lavar .....	92
Tabela 4.8: Cálculo do consumo médio diário dos equipamentos de ar condicionado no ano de 2000 .....	92
Tabela 4.9: Período de uso do ar condicionado em função do clima para Belo Horizonte .....	93
Tabela 4.10: Cálculo do coeficiente de consumo específico do ar condicionado (c <sub>ar</sub> ) .....	93
Tabela 4.11: Posse de ventiladores por classe de renda proposta para 1991 e 2000.....	94
Tabela 4.12: Cálculo do coeficiente de consumo específico do ventilador .....	94
Tabela 5.1: Taxa anual de crescimento da posse de eletrodomésticos entre 2001 e 2007.....	112
Tabela 5.2: Consumo médio dos chuveiros elétricos, por faixa de rendimento, em 2030.....	115
Tabela 5.3: Cálculo do coeficiente de consumo específico do ar condicionado em 2030 (c <sub>ar</sub> ).....	123
Tabela 6.1: Comparação entre o consumo real faturado e o consumo calculado, para Belo Horizonte .....	130
Tabela 6.2: Comparação dos indicadores de consumo final energético do setor residencial .....	158

---

---

---

## LISTA DE QUADROS

---

Quadro 2.1: Classes de renda familiar, em salários mínimos, adotadas nas pesquisas levantadas.....	33
Quadro 2.2: Potência nominal e consumo anual dos principais eletrodomésticos.....	43
Quadro 3.1: Unidades Espaciais Homogêneas de Belo Horizonte .....	67
Quadro 4.1: Variáveis adotadas por pesquisa dos censos e sua classificação.....	80
Quadro 4.2: Limites de conforto térmico para TMA superior à 20 °C .....	88

---

---

---

## LISTA DE ABREVIATURAS

---

CA – coeficiente de aproveitamento  
BH - 2030 – Cenário Belo Horizonte 2030  
FVC – fator de visão do céu  
GIS – Sistema de Informação Geográfica  
GLP – gás liquefeito de petróleo  
IGP-M – Índice Geral de Preços do Mercado  
MG - 2030 – Cenário Minas Gerais 2030  
PEI 2030 – Planejamento Energético Integrado do Estado de Minas Gerais 2007/2030  
PIB – produto interno bruto  
PNE – Plano Nacional de Energia 2030  
QT – quota de terreno por unidade habitacional  
RMBH – Região Metropolitana de Belo Horizonte  
UEH – Unidades Espaciais Homogêneas  
TMA – temperatura média anual  
ZA – Zona Adensada  
ZAP – Zona de Adensamento Preferencial  
ZAR – Zona de Adensamento Restrito  
ZC – Zona Central  
ZCBA – Zona Central do Barreiro  
ZCBH – Zona Central de Belo Horizonte  
ZCVN – Zona Central de Venda Nova  
ZE – Zona de Grandes Equipamentos  
ZEIS – Zona de Especial Interesse Social  
ZHIP – Zona Hipercentral  
ZP – Zona de Proteção  
ZPAM – Zona de Preservação Ambiental

---

---

---

## LISTA DE SIGLAS

---

ANP – Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis

BEN – Balanço Energético Nacional

BREDEM – *Building Research Establishment Domestic Energy Model*

CCEB – Classificação Econômica Brasil

CEDEPLAR – Centro de Desenvolvimento e Planejamento Regional de Minas Gerais.

CEMIG – Companhia Energética de Minas Gerais

ELETRORBRAS – Centrais Elétricas Brasileiras

EPE – Empresa de Pesquisa Energética

FGV – Fundação Getúlio Vargas

FJP – Fundação João Pinheiro

GEPEA – Grupo de Energia do Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétrica da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

GPMC – Grupo de Pesquisa em Mudanças Climáticas

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada

LEAP – *Long-range Energy Alternatives Planning System*

MPS – Ministério da Previdência Social

PBE – Programa Brasileiro de Etiquetagem

PLAMBEL – Superintendência de Desenvolvimento da Região Metropolitana

PNAD – Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios

POF – Pesquisa de Orçamentos Familiares

PROCEL – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica

SAGe – Sistema de Análises Geo-referenciadas

UFMG – Universidade Federal de Minas Gerais

UNFPA – Programa Populacional das Nações Unidas

WMO – Organização Mundial de Meteorologia

---



---

---

## LISTA DE SÍMBOLOS

---

E	total de energia consumida
N	número de residências,
P	posse do equipamento,
c	coeficiente de consumo anual
p	potência
t	tempo de uso anual
$\alpha$	coeficiente de proporcionalidade do consumo de alimentos em relação ao consumo de GLP
A	consumo de alimentos que necessitam de cocção por domicílio
T	temperatura média mensal horária
v	o valor de ajuste da curva horária de temperatura, a partir da hora 0 até a hora 23
H	número de habitantes
a	coeficiente de proporcionalidade do incremento de uma região menor em relação ao incremento da área total
b	coeficiente linear de correção
h	número médio de moradores por residência

### **Índices utilizados**

h	uso final
i	região; na tese, a respectiva Unidade Espacial Homogênea
j	ano
k	tipo de equipamento de consumo de energia
l	renda média mensal familiar
m	número total de equipamentos
n	número total de UEH no município de Belo Horizonte
t	município de Belo Horizonte
fog	fogão
AA	aquecimento de água
chu	chuveiro elétrico
máx	máximas
mín	mínimas

---

---

---

# SUMÁRIO

---

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROBLEMA	1
1.2	TEMA	4
1.3	OBJETIVOS DESSE TRABALHO	5
1.4	PREMISSAS E HIPÓTESES ADOTADAS	5
1.5	JUSTIFICATIVA DO TEMA	6
1.6	RELEVÂNCIA DO TRABALHO	7
1.7	ESTRUTURA DO TRABALHO	8
<b>2</b>	<b>O ESPAÇO URBANO E A QUESTÃO ENERGÉTICA REVISÃO DA BIBLIOGRAFIA</b>	<b>10</b>
2.1	O CONSUMO DE ENERGIA DOS EDIFÍCIOS NAS CIDADES	10
2.1.1	TIPOS DE ABORDAGENS	11
2.1.1.a	Abordagens descritivas	12
2.1.1.b	Abordagens preditivas	13
2.1.1.c	Abordagens teóricas	15
2.1.1.d	Abordagens de planejamento	16
2.1.2	ABORDAGENS BRASILEIRAS	19
2.1.3	DEFINIÇÃO DE TRAJETÓRIA	23
2.2	PLANEJAMENTO ENERGÉTICO	25
2.2.1	OS MODELOS DE PLANEJAMENTO ENERGÉTICO	26
2.2.2	ETAPAS DO PLANEJAMENTO ENERGÉTICO	27
2.2.3	PLANEJAMENTO ENERGÉTICO INTEGRADO AO ESPAÇO	29
2.2.3.a	Exemplos de abordagens integradas ao espaço	30
2.3	O CONSUMO DE ENERGIA NO SETOR RESIDENCIAL BRASILEIRO	32
2.3.1	EVOLUÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA PARA A COCÇÃO	34
2.3.2	O PERFIL ECONÔMICO DO CONSUMIDOR RESIDENCIAL DE ENERGIA ELÉTRICA	36
2.3.3	ENERGIA PARA AQUECIMENTO DE ÁGUA E SUA EVOLUÇÃO	38
2.3.4	ENERGIA PARA ILUMINAÇÃO	39
2.3.5	ENERGIA PARA CONSERVAÇÃO DE ALIMENTOS	41
2.3.6	ENERGIA PARA CONFORTO AMBIENTAL	41
2.3.7	ENERGIA PARA SERVIÇOS GERAIS E LAZER	42
2.3.8	CARGA DO SETOR RESIDENCIAL	45
2.4	PROJEÇÕES DE CRESCIMENTO ENERGÉTICO	48
2.4.1	CRESCIMENTO ECONÔMICO	48
2.4.2	CRESCIMENTO POPULACIONAL	50
2.4.3	CONSUMO DE ENERGIA	53
2.4.4	CONSUMO DE ENERGIA MINEIRO	56
2.4.5	CONSIDERAÇÕES PARA O MUNICÍPIO DE BELO HORIZONTE	58
<b>3</b>	<b>CARACTERIZAÇÃO ESPACIAL E SOCIOECONÔMICA BÁSICA DA ÁREA DE ESTUDO</b>	<b>59</b>

---

---

---

<b>3.1</b>	<b>A CIDADE DE BELO HORIZONTE</b>	<b>59</b>
<b>3.2</b>	<b>RELAÇÃO HISTÓRICA ENTRE ENERGIA E SOCIOECONOMIA NO MUNICÍPIO</b>	<b>60</b>
3.2.1	A EVOLUÇÃO DO PIB PER CAPITA	61
3.2.2	O CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA	62
3.2.3	O CONSUMO DE GÁS LIQUEFEITO DE PETRÓLEO (GLP)	63
<b>3.3</b>	<b>A ESCALA ADOTADA DE TRABALHO: A UNIDADE ESPACIAL HOMOGÊNEA</b>	<b>65</b>
<b>3.4</b>	<b>A EVOLUÇÃO DO PERFIL SOCIOECONÔMICO NAS UEH</b>	<b>68</b>
3.4.1	O NÚMERO DE HABITANTES E DE DOMICÍLIOS	68
3.4.2	O NÚMERO MÉDIO DE MORADORES POR DOMICÍLIO	70
3.4.3	O RENDIMENTO MÉDIO FAMILIAR	70
<b>3.5</b>	<b>A LEI DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO - LUOS</b>	<b>72</b>

---

#### **4 MATERIAIS E MÉTODOS: PROCEDIMENTOS PARA O MAPEAMENTO DA DEMANDA DE ENERGIA POR USO FINAL**

---

**76**

<b>4.1</b>	<b>A PREPARAÇÃO DOS DADOS DO CENSO</b>	<b>77</b>
<b>4.2</b>	<b>O CONSUMO DE ENERGIA POR USO FINAL</b>	<b>80</b>
4.2.1	O COEFICIENTE DE CONSUMO DO FOGÃO A GLP – $C_{FOG}$	82
4.2.2	O CONSUMO DE ENERGIA DOS ELETRODOMÉSTICOS	83
4.2.3	AQUECIMENTO DE ÁGUA	84
4.2.3.a	Determinação do período de consumo máximo e mínimo do chuveiro elétrico em Belo Horizonte	86
4.2.4	CONSERVAÇÃO DE ALIMENTOS	89
4.2.5	ILUMINAÇÃO	89
4.2.6	LAZER	90
4.2.7	SERVIÇOS GERAIS	91
4.2.8	CONFORTO AMBIENTAL	92

---

#### **5 MATERIAIS E MÉTODOS: A ELABORAÇÃO DE CENÁRIOS DE CONSUMO DE ENERGIA PARA O SETOR RESIDENCIAL**

---

**95**

<b>5.1</b>	<b>O PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE CENÁRIOS</b>	<b>95</b>
5.1.1	A PLATAFORMA ADOTADA E O ANO BASE	97
5.1.2	O ANO BASE	99
<b>5.2</b>	<b>A EVOLUÇÃO DO PERFIL DAS FAMÍLIAS EM BELO HORIZONTE</b>	<b>100</b>
5.2.1	A PROJEÇÃO DE DADOS SOCIOECONÔMICOS	101
5.2.1.a	A população desagregada por UEH	101
5.2.1.b	A projeção do número de moradores por residência e número total de residências	105
5.2.1.c	A influência da Lei de Uso e Ocupação do Solo	106
5.2.1.d	A evolução da renda familiar	107
5.2.2	EVOLUÇÃO NA POSSE DE ELETRODOMÉSTICOS CONFORME A PNAD	109
<b>5.3</b>	<b>CONSIDERAÇÕES SOBRE A POSSE, USO E POTÊNCIA DOS EQUIPAMENTOS DO SETOR RESIDENCIAL</b>	<b>113</b>
5.3.1	COCÇÃO	114
5.3.2	AQUECIMENTO DE ÁGUA	114
5.3.2.a	Chuveiro elétrico	114
5.3.2.b	Sistemas de aquecimento solar de água	115
5.3.2.c	Aquecedores de água a GLP instantâneos	116
5.3.3	CONSERVAÇÃO DE ALIMENTOS	117
5.3.4	ILUMINAÇÃO	117
5.3.5	LAZER	118
5.3.6	SERVIÇOS GERAIS	119
5.3.7	CONDICIONAMENTO AMBIENTAL	119

---

---

<b>5.4 OS CENÁRIOS DE CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA PARA BELO HORIZONTE</b>	<b>120</b>
5.4.1 O USO DE SISTEMAS DE AQUECIMENTO DE ÁGUA	120
5.4.2 O CRESCIMENTO DO USO DO AR CONDICIONADO	121
5.4.2.a Cenário Minas Gerais 2030	121
5.4.2.b Cenário Belo Horizonte 2030	122
<b>6 RESULTADOS</b>	<b>124</b>
<b>6.1 DADOS SOCIOECONÔMICOS</b>	<b>124</b>
6.1.1 POPULAÇÃO	124
6.1.2 NÚMERO DE MORADORES E NÚMERO TOTAL DE RESIDÊNCIAS	125
6.1.3 RENDA PER CAPITA	127
<b>6.2 CONSUMO DE ENERGIA</b>	<b>127</b>
6.2.1 GLP PARA COCÇÃO	129
6.2.2 O CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA DO MUNICÍPIO	130
6.2.3 AQUECIMENTO DE ÁGUA PARA BANHO	135
6.2.4 ILUMINAÇÃO	136
6.2.5 CONSERVAÇÃO DE ALIMENTOS	137
6.2.6 LAZER	138
6.2.7 SERVIÇOS GERAIS	141
6.2.8 CONFORTO AMBIENTAL	142
<b>6.3 PROJEÇÕES DE CONSUMO DE ENERGIA</b>	<b>143</b>
6.3.1 RESULTADOS COMUNS AOS DOIS CENÁRIOS	144
6.3.1.a Iluminação e cocção de alimentos	144
6.3.1.b Conservação de alimentos	145
6.3.1.c Lazer	146
6.3.1.d Serviços gerais	149
6.3.2 OS CENÁRIOS 2030	152
6.3.2.a Aquecimento de água	152
6.3.2.b Ar condicionado	155
6.3.3 O CONSUMO MUNICIPAL DE ENERGIA EM 2030	156
<b>7 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>161</b>
<b>7.1 A BASE DE DADOS</b>	<b>162</b>
<b>7.2 A MODELAGEM DO CONSUMO DE ENERGIA CONSOLIDADO</b>	<b>163</b>
7.2.1 TENDÊNCIAS OBSERVADAS	163
7.2.2 A ANÁLISE ESPACIAL	165
<b>7.3 AS PROJEÇÕES DE CONSUMO DE ENERGIA</b>	<b>165</b>
7.3.1 O MÉTODO E O MODELO	165
7.3.2 OS RESULTADOS OBTIDOS	166
7.3.3 NOVAS ABORDAGENS INTEGRADAS	168
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>170</b>

---

---

# 1 INTRODUÇÃO

---

## 1.1 Contextualização do problema

Há uma estreita relação entre o consumo de energia no mundo e as cidades, que pode ser melhor notada à noite, por meio de suas luzes. A Figura 1.1 mostra fotografias retiradas do espaço da Estação Espacial Internacional, na qual se percebe que, se durante o dia os assentamentos urbanos aparecem como manchas cinzentas sobre a superfície terrestre; à noite, as luzes apresentam uma espetacular evidência da existência humana, de sua distribuição e da sua capacidade de modificar o meio-ambiente (EVANS; STEFANOV, 2008).



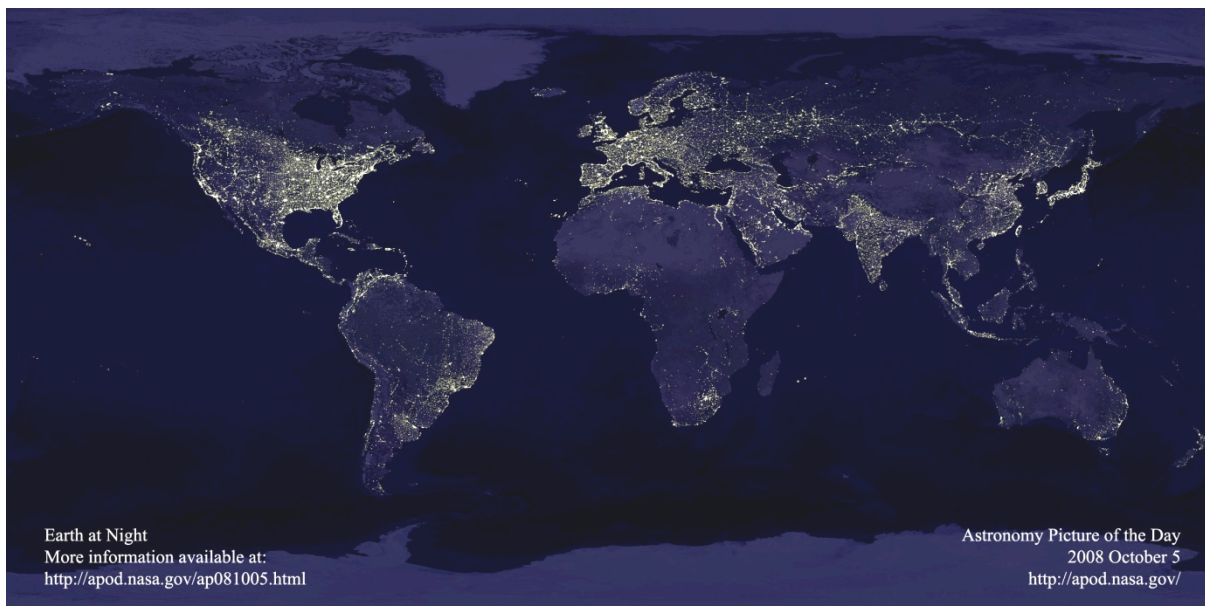
(a) (b)  
**Figura 1.1: Imagens da cidade de Chicago (EUA) tiradas da Estação Espacial Internacional, de dia (a) e à noite (b) - Fonte: Earth Observatoty of NASA website<sup>1</sup>.**

Ao se ampliar o olhar sobre todo o globo, Figura 1.2, a imagem da Terra vista do espaço mostra que os assentamentos humanos estabelecem essa relação em todas as partes da Terra. Em 2008, ano em que foi elaborada a Figura 1.2, cerca da metade da população mundial morava em áreas urbanas, de acordo com o Programa Populacional das Nações Unidas (UNFPA, 2007). Ou seja, essa figura apresenta a condição de ocupação do solo da maior parte da população mundial.

---

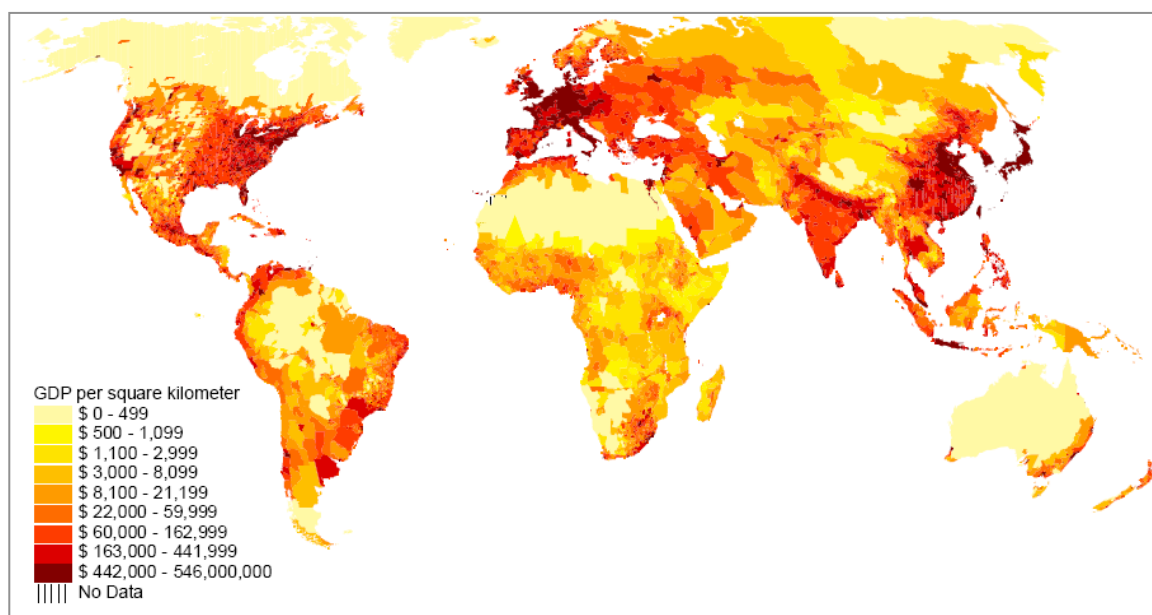
<sup>1</sup> Disponível em: <http://earthobservatory.nasa.gov/Features/CitiesAtNight/>. Acessado em ago/2009.

---



**Figura 1.2: Foto montagem da terra vista à noite.**  
**Fonte: Website Astronomy Picture of the Day, Nasa<sup>2</sup>**

Certamente, existem outros fatores que explicam e diferenciam o consumo de energia. Na Figura 1.3, é mostrado um mapa mundial da densidade do produto interno bruto, PIB. Esse conceito foi primeiramente introduzido por Gallup e outros (1999) e pode ser calculado pela multiplicação do PIB per capita pelo número de pessoas por quilômetro quadrado. A densidade do produto interno bruto permite medir a atividade econômica total que ocorre em diferentes locais do planeta.



**Figura 1.3: Distribuição mundial do Produto Interno Bruto mundial por quilômetro quadrado.**  
**Fonte: Hamilton (2007)<sup>3</sup>**

<sup>2</sup> Disponível em: [http://apod.nasa.gov/apod/image/0810/earthlights2\\_dmsp\\_big.jpg](http://apod.nasa.gov/apod/image/0810/earthlights2_dmsp_big.jpg). Acessado em: ago/2009.

<sup>3</sup> Disponível em: [http://www.econbrowser.com/archives/2007/01/the\\_distributio.html](http://www.econbrowser.com/archives/2007/01/the_distributio.html). Acessado em: ago, 2010.

A marcante semelhança entre estas Figuras 1.2 e 1.3 aponta a importância da riqueza local no consumo de energia. Esse fato contribui na determinação do papel das cidades no consumo de energia, visto que atualmente grande parcela da população mundial reside nas cidades, locais nos quais a maior parte da riqueza mundial é produzida.

Contudo, não é apenas a concentração de pessoas e riquezas que determina o consumo de energia nas cidades. As diferenças nas imagens noturnas das localidades sobre o globo refletem suas regionalidades e diferentes ocupações espaciais. Na Figura 1.4 é apresentada a imagem de duas grandes metrópoles vistas à noite da Estação Espacial Internacional, Londres e Tóquio. Essas cidades também estão entre as mais ricas do mundo, mas possuem formas distintas de ocupação do espaço, assim como seu brilho é diferente visto à noite.



Londres

Tóquio

**Figura 1.4: Imagens das cidades de Londres e Tóquio à noite**

Fonte: Earth Observatoty of NASA website<sup>4</sup>.

Inúmeros fatores podem interferir o modo como a forma urbana afeta a demanda por energia, sendo seus efeitos, normalmente, complexos e conflitantes (GIVONI, 1998). Cidades mais compactas facilitam o transporte público, reduzem as distâncias dos deslocamentos e a necessidade de energia para bombeamento de sistemas de águas e esgoto. Por outro lado, em cidades menos densas, a acessibilidade à luz natural é maior, disponibilizando maior quantidade de iluminação natural e permitindo o uso da energia solar por todas as edificações. Em cidades com edifícios menores e mais afastados, a interferência na ventilação natural é menor, o que possibilita seu aproveitamento na climatização natural dos ambientes, dispensando o uso do ar-condicionado em cidades de climas mais amenos.

Há, ainda, características das cidades mais adensadas que podem ser, ao mesmo tempo, positivas e negativas para o consumo de energia. Por exemplo, o sombreamento mútuo de edificações pode reduzir sua carga térmica, reduzindo a demanda de energia nos sistemas de

<sup>4</sup> Disponível em: <http://earthobservatory.nasa.gov/Features/CitiesAtNight/>. Acessado em ago/2009.

condicionamento do ar. Ao mesmo tempo, diminui-se a disponibilidade de luz natural, aumentando a necessidade de energia elétrica para iluminação artificial e acarretando também o efeito indireto de aumento da carga térmica para a edificação.

As grandes cidades enfrentam um desafio ainda maior na questão energética relacionado à questão do abastecimento. Áreas específicas das metrópoles podem passar por processos intensos de adensamento e/ou verticalização, que geralmente ocorrem de modo acelerado. Contudo, as redes de infra-estrutura não são capazes de acompanhar esta evolução, assim a demanda por energéticos nesses locais poderá causar pressão sobre a rede de abastecimento de energia, comprometendo seu fornecimento ou mesmo causando elevação dos custos.

As cidades passam atualmente por um elevado crescimento populacional causado pela tendência mundial de urbanização. Até 2030, a população urbana global deverá aumentar para cinco bilhões, ou 60% do total mundial (UNFPA, 2007). Desse modo, a demanda por energia das cidades deverá ser questão dominante no planejamento do suprimento energético. Se não estudado, o crescimento do consumo de energia das populações urbanas poderá inclusive comprometer o desenvolvimento econômico, pois um crescimento acelerado do consumo de energia do setor residencial, que não gera riquezas, pode limitar a quantidade de recursos disponíveis para setores produtivos, que utilizam energia para gerar bens e serviços.

## **1.2 Tema**

Contextualizado na questão do consumo de energia nas grandes cidades, este trabalho busca compreender como a demanda de energia pelas edificações pode se diferenciar devido a aspectos particulares do espaço urbano. Especificamente, o objeto de estudo desse trabalho é o desenvolvimento de uma metodologia que permita a espacialização do consumo de energia, em todas as etapas do planejamento energético. Considerando o número de fatores envolvidos na questão urbana, e sua complexidade, o estudo focaliza o setor residencial do município de Belo Horizonte, como seu caso de estudo.

---

---



### **1.3 Objetivos desse trabalho**

Especificamente, o objetivo deste trabalho é o desenvolvimento de um modelo estatístico capaz de estimar o consumo de energia, em variadas áreas urbanas de um mesmo município, adotando para isso a metodologia do planejamento energético.

Esse modelo deve ser sensível às características locais relacionadas ao modelo clássico de sistema energético que possam interferir na demanda por energéticos, como por exemplo, renda, número de habitantes, etc. Além disso, os resultados obtidos devem apresentar uma formatação que permita sua utilização como subsídio ao planejamento urbano.

Para consolidar o objetivo principal, é necessária a definição de alguns objetivos específicos:

- a) Mapear a variação dos usos finais por região;
- b) Mapear as demandas de energéticos por região;
- c) Levantar o perfil histórico do consumo do setor residencial de energia no município;
- d) Gerar base de dados socioeconômicos em escala intra-urbana, históricos e de tendências para 2030;
- e) Projetar tendências de crescimento do consumo residencial;
- f) Gerar mapas de projeção de demanda de energia por uso final;
- g) Elaborar parâmetros indicadores de desempenho energético no espaço urbano.

### **1.4 Premissas e Hipóteses adotadas**

O consumo de energia do setor residencial é descrito através de um modelo do seu sistema energético que adota as seguintes premissas:

- a) É um modelo analítico, ou seja, o consumo do setor será estudado de modo separado dos demais;
  - b) Esse modelo considera que as variáveis mais significativas que influenciam o comportamento de consumo são as relacionadas com a conjuntura econômica;
  - c) O modelo é retrospectivo, considerando que a evolução do consumo a partir do momento inicial pode ser descrita por meio das tendências históricas, locais ou não.
  - d) É considerado que a intensidade do consumo está diretamente relacionada com as características do domicílio típico de uma determinada região, das quais se destacam a
-

posse de eletrodomésticos, a renda total, o número de residências e número de habitantes.

- e) A aquisição de bens no setor residencial, principalmente de eletrodomésticos, está diretamente relacionada ao crescimento econômico, fazendo com que o aumento do poder aquisitivo de uma família conduza à elevação do consumo.

Para o desenvolvimento desse modelo, este trabalho parte de algumas premissas relacionadas com o consumo setorial e o comportamento do consumidor residencial de Belo Horizonte:

- a) Existe uma relação entre a ocupação do espaço e o consumo de energia;
- b) É possível quantificar o consumo de energia urbano de modo espacializado;
- c) As tendências históricas de consumo e renda locais podem ser utilizadas para descrever, em parte, o comportamento futuro dessa mesma região.

## **1.5 Justificativa do tema**

O consumo de energia nas edificações representa importante fator na matriz energética brasileira, principalmente com relação ao consumo de energia elétrica. De acordo com dados do Balanço Energético Nacional (BEN) (BRASIL, 2009), os setores residencial, comercial e público, localizados principalmente em áreas urbanas, consumiram 47,6 % da energia elétrica gerada no país. Além disso, esses setores apresentam grande potencial de crescimento do consumo nos próximos anos, tendência apontada pelo Plano Nacional de Energia (PNE 2030), o qual mostra que o consumo de eletricidade do parque edificado poderá chegar a 51%, mesmo considerando o crescimento autônomo da conservação de energia elétrica (BRASIL, 2007b).

Desde 1985, medidas para reduzir a velocidade desse crescimento através da elevação da eficiência energética e combate ao desperdício nesses setores vêm sendo difundidas pelo Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL) criado pelo Ministério de Minas e Energia e subordinado à Eletrobrás. Esse programa promove a racionalização do consumo de energia elétrica e visa à redução da taxa de crescimento do consumo e, conseqüentemente, a reduzir a necessidade de expansão do setor elétrico.

As primeiras medidas lançadas, como o Selo PROCEL, tinham por objetivo estimular a fabricação de motores e equipamentos eletro-eletrônicos, inclusive domésticos, mais eficientes. Atualmente, além de equipamentos mais eficientes, as principais linhas de atuação para racionalização do consumo do parque edificado brasileiro são a capacitação tecnológica

---

e profissional, a difusão dos conceitos de eficiência energética em edificações e a implantação da Regulamentação da Lei de Eficiência Energética (Lei 10.295/2001) no que toca às Edificações Brasileiras, por meio do Regulamento Técnico da Qualidade para Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos e o Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R), publicado sob Portaria Inmetro n. 449, de 25 de novembro de 2010.

Essas medidas representam importante avanço em direção à melhoria do consumo de energia elétrica. Contudo, todas as medidas referem-se a edificações separadamente, não lidando com a questão das cidades – consideradas como o espaço no qual as edificações se inserem e consomem energia. Um agrupamento de edifícios eficientes não faz, necessariamente, uma cidade eficiente. Pesquisas realizadas em vários países mostram que essa questão é complexa e que o planejamento de cidades mais eficientes requer uma abordagem específica e ajustada às características de cada região.

No caso das metrópoles, a abordagem tradicional do planejamento energético pode não ser a mais adequada, pois nas grandes áreas urbanas existem também grandes diferenças internas, tanto de tipo de ocupação quanto de perfil sócio-econômico de seus moradores, causando desigualdades no consumo de energia, que comprometem suas projeções e, conseqüentemente, o abastecimento futuro. É necessário, portanto, adaptar a metodologia tradicional de modo a permitir a compreensão da influência das dinâmicas urbanas no consumo de energia.

## **1.6 Relevância do trabalho**

Este trabalho propõe a aplicação em outra escala de uma metodologia clássica, dando uma nova abordagem ao planejamento energético. Assim, os seus resultados, se integrados e aplicados ao planejamento local, podem ser utilizados para trazer os benefícios usuais do planejamento energético que são, principalmente:

- melhoria da qualidade de vida da população ao se garantir o suprimento das necessidades sociais traduzidas em termos de demanda de energia;
  - melhoria da capacidade dos tomadores de decisão em alcançar os interesses da própria sociedade;
-

- conhecimento dos impactos ambientais das decisões e opções energéticas tomadas, o que permite à sociedade optar por caminhos que conduzam à melhoria da sua sustentabilidade ambiental.

Além desses resultados tradicionais diretamente aplicáveis ao planejamento do município, a consolidação de um modelo de consumo de energia municipal poderá trazer benefícios adicionais ao conhecimento do consumo na malha urbana. Esses resultados podem vir da integração de outras metodologias de avaliação do balanço de energia com a do planejamento energético. Inúmeros são os exemplos, entre eles, pode-se destacar:

- Estudos de balanço de energia da atmosfera urbana, que visam a estudar e localizar fenômenos como a formação da ilha de calor urbana, poderão verificar a existência de correlações entre consumo de energia e mudanças climáticas locais;
- Estudos que avaliam como a forma das edificações interfere na demanda de energia podem ser integrados à modelagem proposta neste trabalho, conduzindo a uma maior precisão na determinação dos efeitos do adensamento e da verticalização;
- Estudos de novos modos de uso ocupação do solo urbano poderão considerar a adoção de padrões que minimizem impactos energéticos e permitam (ou preservem) o uso de alternativas energéticas.

## **1.7 Estrutura do trabalho**

Neste capítulo, foi apresentada a questão do consumo de energia nas cidades de modo a evidenciar a importância dessa discussão e a necessidade de desenvolvimento de estudos que apontem recomendações específicas ao planejamento do espaço urbano.

No Capítulo 2, desenvolve-se uma análise dos trabalhos que embasam o desenvolvimento dos demais capítulos. Inicialmente, é realizada uma discussão dos principais estudos que relacionam consumo de energia e espaço urbano no mundo e no Brasil, com objetivo de investigar a evolução dos diferentes tipos de abordagens e os caminhos mais adequados para o desenvolvimento de uma metodologia aplicável ao espaço urbano brasileiro. Em seguida, é discutido, de modo sucinto, o que é Planejamento Energético e quais os principais modelos adotados para realizá-lo. Esse capítulo ainda mostra as tendências, locais ou não, de evolução de variáveis relacionadas ao consumo de energia, ou que possam interferir nele, e alguns estudos atuais e relevantes que realizam projeções de crescimento da demanda de energia.

---

---

O Capítulo 3 faz uma caracterização básica da área de estudo, abordando questões espaciais, socioeconômicas e energéticas. O Capítulo 4 apresenta a metodologia desenvolvida para calcular o consumo de energia por uso final na escala intra-urbana, o que constitui a primeira etapa no desenvolvimento do planejamento energético. O Capítulo 5 discute o desenvolvimento da metodologia utilizada na elaboração de cenários de consumo de energia para o município.

Os resultados obtidos no desenvolvimento do modelo de energia e dos cenários são mostrados e discutidos no Capítulo 6. Após esse, o Capítulo 7 – Considerações Finais – analisa a abordagem utilizada, a metodologia desenvolvida, os resultados gerais encontrados e os objetivos alcançados. Por fim, o Capítulo 8 traz as referências bibliográficas dos textos utilizados neste trabalho.

---

---

---

## 2 O ESPAÇO URBANO E A QUESTÃO ENERGÉTICA

### REVISÃO DA BIBLIOGRAFIA

---

Neste capítulo é apresentada a fundamentação teórica utilizada no desenvolvimento do modelo de consumo de energia na escala intra-urbana. Como este trabalho propõe a integração de abordagens, faz-se necessária a vinculação de diferentes temas: o comportamento energético dos edifícios e das cidades, o sistema energético e seu planejamento, o setor residencial e as projeções de consumo.

Inicialmente, são discutidas as pesquisas que tratam do consumo de energia dos edifícios nas cidades, buscando traçar um panorama, mundial e nacional, das metodologias utilizadas e dos resultados alcançados. Esse primeiro tópico conclui suas análises com a proposta de uma trajetória para desenvolvimento do modelo de consumo urbano, baseada na abordagem tradicional do Planejamento Energético.

A seguir, no item 2.2 é abordado o Planejamento Energético, explicando sua forma de avaliar os fluxos de energia que permeiam a sociedade. Ligado à questão do Planejamento Energético, o terceiro tópico desse capítulo elabora uma caracterização do uso de energia no setor residencial, visando à compreensão do perfil histórico do consumo que forneça subsídios ao desenvolvimento do modelo local.

Por fim, neste capítulo são mostrados os resultados obtidos por projeções de crescimento que estão relacionadas ao setor residencial. O objetivo desse tópico é permitir o embasamento e a contextualização das projeções a serem desenvolvidas para Belo Horizonte.

### **2.1 O consumo de energia dos edifícios nas cidades**

O desenvolvimento de estudos nos quais se pretende especificar a natureza das relações entre fatores e seu contexto nas cidades é tarefa complexa, visto que os sistemas urbanos são grandes, dinâmicos e intrincados. Com o estudo do consumo de energia em meio urbano não é diferente. Questões climáticas, espaciais, físicas, sociais, econômicas e demográficas influenciam a direção e a intensidade dos fluxos energéticos.

---

Essa complexidade deve ser uma das razões para explicar porque este tipo de estudo é relativamente novo e por existir um número menor de pesquisas, quando comparamos ao estudo do consumo de energia por edifícios isoladamente. Esse fato também deve estar relacionado a outros fatores, a saber: a) a existência de grande diferenciação nos trabalhos, b) distinções ligadas ao método de abordagem, às variáveis estudadas e c) tipo de resultados alcançados.

Por esse motivo, é apresentada nos subitens seguintes uma proposta de agrupamento das pesquisas levantadas no mundo em função do tipo de abordagem que adotam. Esse agrupamento visa a evidenciar o processo de evolução dos trabalhos que discutem a questão energética no espaço urbano, apontando um caminho para a definição de um estudo local que possa efetivamente trazer resultados objetivos ao planejamento urbano.

Por fim, é apresentado neste capítulo um quadro geral dos principais trabalhos nacionais que discutem a relação entre o espaço urbano e consumo de energia.

### **2.1.1 Tipos de abordagens**

Os trabalhos levantados foram agrupados conforme os tipos de abordagens que adotam, fazendo analogia com a classificação proposta por Echenique (1975) para modelos de planejamento urbano. As diferentes abordagens encontradas são:

- a) Descritivas: São modelos explicativos. Visam à compreensão da realidade, sendo usados para descrever um fenômeno ou relações entre fatores relevantes.
  - b) Preditivas: Modelos que visam à previsão do futuro. Divididos em extrapolativos, onde se manifestam apenas as tendências já estabelecidas, e condicionais, que explicitam os mecanismos de causa e efeito que governam as variáveis.
  - c) Teóricas: Objetivam descobrir, pela especulação, outras realidades que podem ser logicamente possíveis, variando sistematicamente os parâmetros básicos do modelo descritivo.
  - d) De Planejamento: Visam a otimizar critérios para determinação dos meios pelos quais poderiam ser alcançados os fins estabelecidos no planejamento
-

### **2.1.1.a Abordagens descritivas**

As abordagens descritivas, aqui agrupadas, caracterizam-se por serem as primeiras análises para compreender como um conjunto de edificações consome energia. Possuem em comum também a metodologia que adotam: o desenvolvimento de modelo numérico para a investigação do impacto da forma urbana sobre as variáveis que interferem no consumo de energia.

Desde o final dos anos 1970, iniciou-se o desenvolvimento de ferramentas computacionais para a análise do impacto de fatores ambientais como, por exemplo, luz, calor ou som no desempenho de ambientes e edificações. O comportamento desses fatores sofre grande influência da forma urbana, contudo, somente a partir do final dos anos 1990, iniciou-se o desenvolvimento de ferramentas computacionais capazes de lidar com geometrias mais complexas e realizar análises numa escala intermediária – a escala de bairros ou unidades de vizinhança.

Shorrock e Dunster (1997) descrevem o BREHOMES, modelo baseado nos usos finais de energia no parque de habitações do Reino Unido. Eles calculam o uso anual de energia em residências utilizando uma versão do *Building Research Establishment Domestic Energy Model* (BREDEM). Os dados necessários ao BREDEM provêm de uma grande gama de fontes. Com todos os dados, os cálculos do BREDEM são conduzidos para cada categoria de residência no Reino Unido. Multiplicando pelo número de residências em cada categoria e somando os resultados de cada categoria é produzida uma estimativa do consumo total das residências do Reino Unido.

Utlu e Hepbasli (2003) avaliam a eficiência na utilização de energia dos setores residencial e comercial na Turquia, em 2001, usando as análises energética e exergética<sup>5</sup>. Os valores de eficiência encontrados indicam a necessidade de aumento de eficiência nos setores estudados e, principalmente, de estabelecimento de políticas e mecanismos para disponibilizar tecnologias mais eficientes em todo o país.

Hong, Oreszczyn e Ridley (2006) estudam a introdução de medidas de modernização da eficiência energética, num total de 1.372 domicílios, selecionados a partir de cinco grandes áreas urbanas na Inglaterra. Esse estudo tem o objetivo de avaliar o efeito do programa nacional de eficiência energética voltado para o consumo doméstico de combustível para

---

<sup>5</sup> De acordo com Dincer e Rosen (2007) a análise exergética é um método que usa os princípios de conservação de massa e conservação de energia, juntamente com a segunda lei da termodinâmica, para o projeto, análise e melhoria dos sistemas energéticos e outros sistemas.

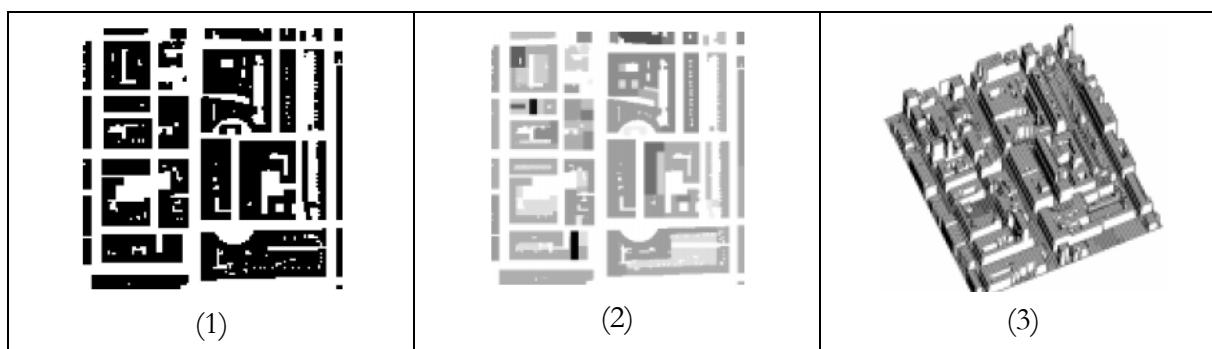
---



aquecimento. Observaram que as medidas de melhoria da eficiência da envoltória têm efeito na redução do consumo e notaram que o uso de sistemas de aquecimento teoricamente mais eficientes não tem impacto significativo na redução do consumo de combustível.

### 2.1.1.b Abordagens preditivas

Ratti e Richens (1999) descrevem o uso de imagens *raster* simples da forma urbana e técnicas de processamento de imagens para analisar o consumo de energia em quadras urbanas. Eles desenvolveram alguns algoritmos úteis para analisar modelos de elevação digital, que é uma imagem onde cada pixel possui uma altura proporcional na superfície urbana. Como exemplo da metodologia aplicada pelos autores, a Figura 2.1 mostra a evolução do dado de áreas construídas (bidimensional) em um modelo tridimensional, para uma área central de Londres.



**Figura 2.1: Mapa urbano de áreas construídas (1), modelo de elevação digital (2) e vista axonométrica (3) de uma área central de Londres – Fonte: Ratti e Richens (1999)**

O primeiro algoritmo apresentado pelos autores é o que calcula a sombra produzida pelas estruturas urbanas, em cada pixel, a partir de uma dada posição do sol para qualquer latitude, dia ou hora, utilizando fórmulas astronômicas. A partir disso, são calculadas a irradiação solar e a quantidade total de energia recebida pelo pixel.

Outro algoritmo é o de cálculo de fator de visão ou fator de forma (especificamente o fator de visão da cidade para o céu, FVC, que representa a abertura da textura urbana para o céu). Os autores calcularam este fator pela aplicação repetida do algoritmo de sombra, computando as sombras de um grande número de fontes distribuídas no céu e contando o número de vezes que cada pixel “enxerga” a radiação solar. Estes dois algoritmos foram utilizados pelos autores para cálculo da disponibilidade da radiação solar em seis opções urbanas. Exemplos dos resultados que podem ser obtidos pelo modelo desenvolvido são apresentados na Figura 2.2.



Figura 2.2: Estudo de sombras (1), FVC (2) e horas de sombreamento no verão (3) para trechos da área central de Londres

Fonte: Ratti e Richens (1999)

A partir desse algoritmo, Ratti et al. (2000) desenvolveram o LT-Urban, que é um *software* capaz de prever o consumo de energia na escala urbana, usando uma versão modificada do modelo *Ligthing and Thermal Energy*, desenvolvido por Baker e Steemers (1996). Parâmetros que descrevem a malha urbana são derivados desse modelo usando técnicas de processamento de imagem baseados em modelos de elevação digital. Esse programa é capaz de calcular os principais fluxos de energia do edifício, com razoável confiabilidade, sem necessitar de complexas simulações de toda a dinâmica. Contudo, ele considera apenas edifícios não-residenciais.

Ratti et al. (2000) propuseram e desenvolveram, ainda, algoritmos para análise de modelos de elevação digital que calculam a razão superfície-por-volume e identificam todas as áreas dos edifícios que estão dentro de uma distância de 6 metros da fachada, chamados de área passiva, para três cidades: Londres, Toulouse e Berlim. A Figura 2.3 mostra resultados obtidos para essas cidades pelo uso dos algoritmos.

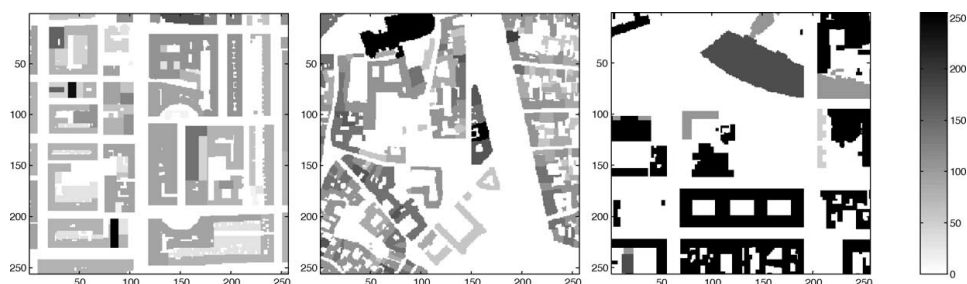
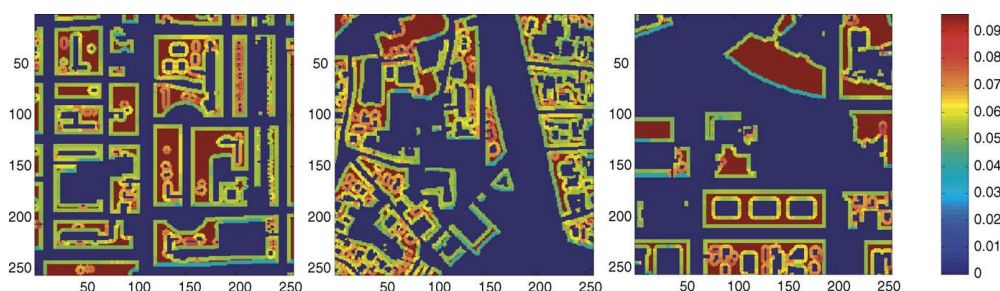


Figura 2.3: Modelos de elevação digital elaborados para Londres, Toulouse e Berlim, mostrando a razão superfície por volume

Fonte: Ratti, Baker e Steemers (2005, p. 766)

Como resultado, observaram que a proporção superfície por volume, apesar de ser um parâmetro morfológico interessante, não descreve o consumo total de energia nas áreas urbanas. Um indicador melhor foi a razão entre áreas passivas e não passivas, apesar de melhores respostas de consumo de energia serem obtidas com simulações integradas. Um

exemplo de resultado obtido com o modelo de Ratti et al. (2005) é mostrado na Figura 2.4 que mapeia o consumo estimado de energia para áreas centrais de Londres, Toulouse e Berlim.



**Figura 2.4: Cálculo do consumo de energia em Londres, Toulouse e Berlim.**  
Fonte: Ratti, Baker e Steemers (2005, p. 772)

Esses programas são capazes de descrever o comportamento de grupos de edificações com relação a algumas variáveis do consumo de energia. Contudo, seus resultados são estritamente ligados aos locais que foram simulados. Seus resultados não podem ser generalizados ao caso brasileiro e nem os modelos podem ser utilizados para simulações locais sem que haja significativos ajustes em várias variáveis, como tipo de edificações, padrão de ocupação, clima, etc.

Salat (2007), pertencente ao *French Scientific Centre for Building Science*, utiliza a metodologia e *softwares* elaborados por Ratti, Baker e Steemers, apresentados neste item, para avaliar o desempenho bioclimático de diferentes morfologias urbanas, comparando os desempenhos das cidades de Pequim, Shanghai, Paris e Berlim. Em outro trabalho, Salat (2008) apresenta o resultado de consumo de energia para condicionamento ambiental em diferentes morfologias. Porém, ele apresenta algumas generalizações de seus resultados, declarando que determinados padrões de ocupações são melhores que outros, por exemplo, ao concluir que a morfologia tradicional de Paris é mais eficiente, do ponto de vista energético, do que a morfologia proposta pelo urbanismo modernista de Le Corbusier. Obviamente, esse resultado obtido é específico para as condições climáticas locais, padrão de consumo e perfil dos usuários considerados.

### **2.1.1.c Abordagens teóricas**

Outro estudo desenvolvido no Reino Unido, por Bennett e Newborough (2001) propõe a adoção da metodologia de auditoria energética, comumente aplicada em indústrias e edificações, em áreas urbanas.

Uma auditoria energética de cidades consiste em técnicas para se obter uma imagem dos eventos atuais relacionados com o consumo de energia (e suas emissões) numa cidade. Na

auditoria energética, os principais atores do consumo energético devem estar envolvidos, como o Governo local, a indústria e os comércios locais, além da população local e das empresas fornecedores de energia e profissionais/organizações que trabalham com áreas relacionadas com energia. A Figura 2.5 a seguir apresenta a estrutura de como se organiza uma auditoria energética de cidades.

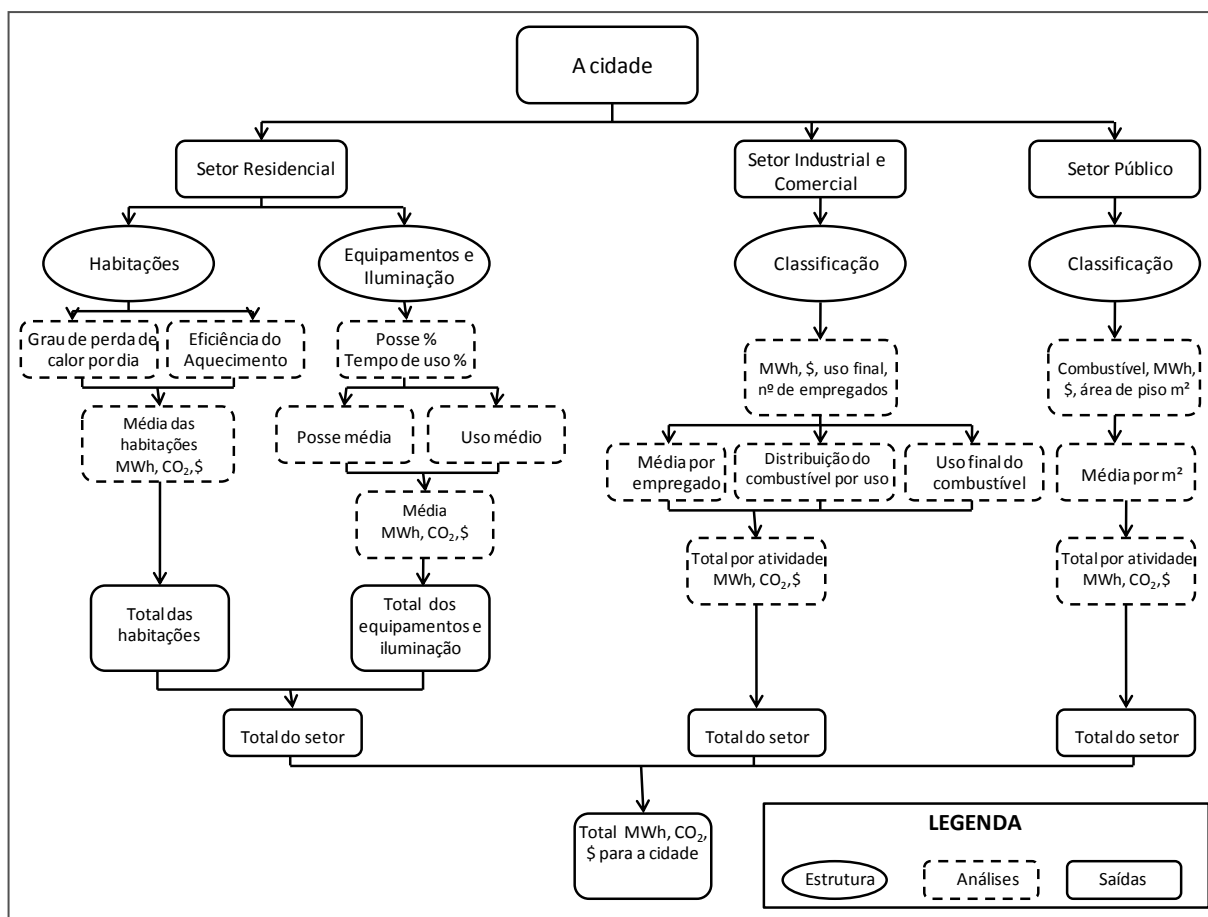


Figura 2.5: Esquema de subdivisão de uma cidade ou metrópole com o objetivo de realização de uma auditoria energética – Fonte: Adaptado de Bennett e Newborough (2001, p. 129)

Apesar de estruturar os procedimentos de adoção da auditoria energética nas cidades e apontar a importância de sua adoção para a sustentabilidade, Bennett e Newborough (2001) não apresentam efetivamente aplicação da metodologia em seu trabalho.

2.1.1.d Abordagens de planejamento

Estes trabalhos desenvolvem um diagnóstico do consumo de energia em cidades baseando-se na Análise Energética de Sistemas para identificar os fluxos de energia no ambiente urbano e, a partir dessa análise, elaboram recomendações para o planejamento urbano. Representam uma evolução dos trabalhos descritivos e preditivos, pois são capazes de lidar com áreas urbanas descrevendo tanto a intensidade como a localização do consumo de energia. Visto

que a distribuição das variáveis associadas ao consumo de energia nas cidades é heterogênea e complexa, esse tipo de abordagem geralmente adota o uso de Sistemas de Informação Geográfica (GIS) na organização das informações, tratamento e apresentação dos resultados.

Tais trabalhos baseiam-se em dados de uso e ocupação do solo, como tamanho e tipo de edificação, uso e idade do imóvel, e sobre posse e uso de equipamentos de consumo de energia. Além disso, parte das informações é levantada por trabalhos de campo e estudos estatísticos.

Como resultados, é possível quantificar o consumo de energia para diferentes setores de atividades e áreas espaciais, e também estabelecer uma linha base para o consumo de energia. Além disso, é possível calcular as emissões de gases do efeito estufa associadas ao consumo de energia.

Os primeiros estudos a adotar este tipo de abordagem em área urbana surgiram na Europa, especificamente no Reino Unido, motivados tanto por controlar o consumo de energia urbano quanto por reduzir as emissões de gases do efeito estufa.

Jones et al. (2000), com base em dados fornecidos e coletados, desenvolveram uma interface em GIS capaz de quantificar o consumo de energia para diferentes setores e áreas urbanas. No modelo numérico desenvolvido, chamado *Energy and Environmental Prediction (EEP)*, um método de agrupamento estatístico é realizado para estimar o consumo padrão de energia para propriedades domésticas. Esse agrupamento é conduzido na base para apenas quatro variáveis relacionadas à forma do edifício: área de piso aquecida, área total de fachadas, razão de áreas de janela por áreas de piso e área da propriedade. Com essas variáveis e com a idade das residências, é possível colocá-las em uma das centenas de agrupamentos. Os dados são agrupados por código postal, permitindo o cálculo do total de residências existente em cada área e preservando a identidade dos consumidores. A Figura 2.6 apresenta alguns resultados que podem ser obtidos pelo modelo desenvolvido, como, por exemplo, consumo de energia e emissões de poluentes.

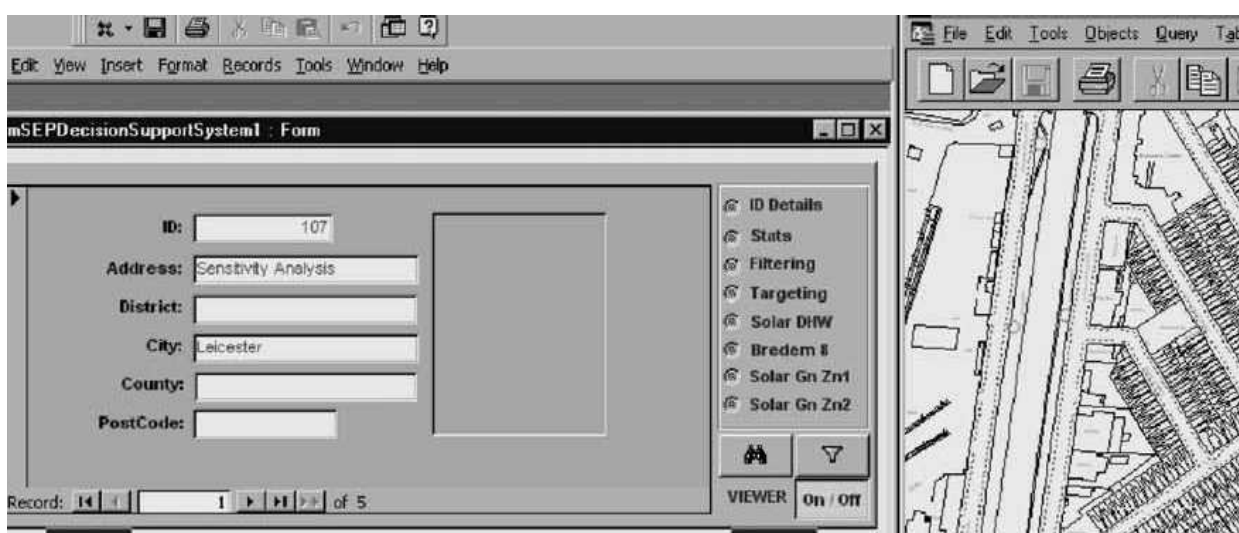
A ferramenta desenvolvida possibilita tanto a análise dos fluxos de energia quanto a realização do diagnóstico da sustentabilidade energética urbana. Este modelo permite aos tomadores de decisão ponderar sobre os impactos do desenvolvimento de áreas ou setores de atividades e das políticas adotadas.

---



**Figura 2.6: Mapas temáticos do setor residencial de Londres, mostrando o consumo de uma área postal (1) e emissões de carbono por área postal (2) – Fonte: Jones, Williams e Lannon (2000, p. 867)**

Em um desenvolvimento posterior, Gadsden et al. (2003) descreveram a metodologia subjacente ao sistema de planejamento de energia solar (SEP) para planejadores e elaboradores de políticas públicas. A metodologia prediz o consumo base de energia de propriedades domésticas e determina o seu potencial de redução utilizando três tecnologias solares chaves: o projeto passivo solar, o aquecimento solar de água e o uso de sistemas fotovoltaicos. Este modelo está relacionado a três projetos, todos tratando da análise do consumo de energia de edifícios em áreas urbanas: LT-Urban, *Energy and Environment Prediction* (EEP) e *Building Research Establishment Housing Model for Energy Studies* (BREHOMES). A Figura 2.7 mostra a tela do *software* desenvolvido, expondo os tipos de resultados possíveis de serem obtidos por meio do modelo.



**Figura 2.7: Detalhe de tela do *software* desenvolvido. Fonte: Gadsden et al. (2003, p. 44)**

Uma abordagem similar foi desenvolvida na Itália para diagnóstico da sustentabilidade energética urbana e também adotou a análise energética de sistemas e uso de ferramentas de GIS, mas baseou sua análise na 2ª Lei da Termodinâmica. Balocco e Grazzini (2000) partiram do princípio de que a sustentabilidade só pode ser verdadeiramente alcançada quando o fluxo

total de entropia irreversível, originário das atividades humanas, é menor do que o fluxo de energia proveniente do sol. Assim, desenvolveram um modelo baseado na exergia usando um GIS, com o objetivo de prover indicadores úteis na medição da sustentabilidade energética e na definição de critérios de planejamento urbano.

Os indicadores desenvolvidos por Balocco e Grazzini (2000) permitem identificar partes da malha edificada na qual é possível intervir com o objetivo de reduzir os impactos ambientais devido às perdas energéticas dos edifícios. Podem também ser utilizados, segundo os autores, para definir área edificada, extensão de áreas verdes ou zonas para instalação de equipamentos no planejamento energético urbano.

Como uma continuação dessa análise, Balocco et al. (2004) propõem uma análise exérgica da sustentabilidade urbana, avaliando o impacto das emissões devido ao ciclo de vida do edifício. O modelo desenvolvido é inovador, pois é capaz de relacionar a energia consumida na edificação com a energia disponível no meio e, a partir dessa relação, avaliar o impacto da forma urbana na sustentabilidade energética da cidade. No entanto, devido à complexidade da análise e da necessidade maior de dados, foi adotada em áreas menores do tecido urbano do que as abordagens britânicas.

### **2.1.2 Abordagens brasileiras**

O enfoque da forma urbana no consumo de energia no Brasil é tema abordado basicamente pelo grupo de pesquisa coordenado pela professora Lea Cristina Lucas de Souza. Estes trabalhos caracterizam-se por estudarem a relação entre características da forma urbana - o FVC, a razão entre a altura do cânion urbano e a largura da via e orientação das fachadas -, com o consumo de energia. Nesses estudos também são observadas correlações entre aspectos sociais, como a renda familiar e o consumo de energia urbano.

A metodologia geralmente adotada é o levantamento ou medição das variáveis em campo e sua comparação com os dados de consumo de energia, por meio de ferramentas estatísticas, como programa de Redes Neurais Artificiais (RNA). Além disso, os dados e resultados são analisados e apresentados com o auxílio de GIS. De maneira geral, estes trabalhos encontram forte correlação entre o consumo de energia e as variáveis da forma urbana. Contudo, os resultados só são aplicáveis localmente, por se tratarem de estudos de casos.

Uma das primeiras investigações apresentadas pelo grupo é feita por Souza e Pizarro (2001). Nesse trabalho, os autores pesquisam a relação entre orientação do edifício e consumo de

---

energia elétrica, por meio do estudo de um conjunto habitacional. Para isso, as unidades habitacionais deste conjunto são caracterizadas por seus dados de consumo de energia elétrica, orientação do edifício, altura do pavimento, número de moradores, idade do morador e número de equipamentos, representando variáveis para uma modelagem de previsão do consumo. Um programa de RNA foi utilizado para definir o grau de importância de cada uma destas variáveis. Dos resultados encontrados, aqueles que indicaram menor erro relativo foram escolhidos para verificação da importância de cada variável. A Tabela 2.1, obtida pelos autores, apresenta a relevância de cada variável nestes conjuntos de dados.

**Tabela 2.1: Relevância das variáveis para as melhores simulações**

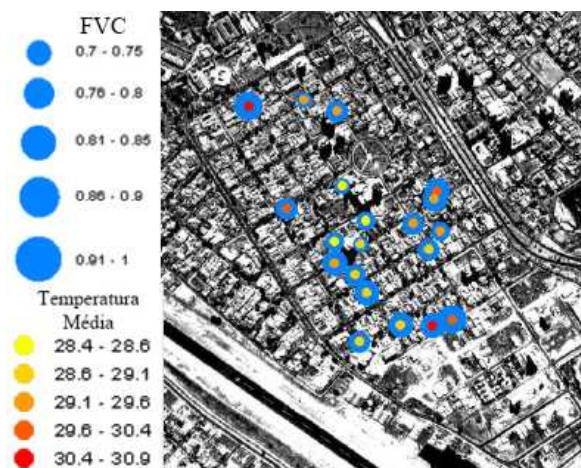
Total Inverno		Total Verão		Consumo/m <sup>2</sup> INVERNO		Consumo/m <sup>2</sup> verão	
Chuveiro	0,13	Chuveiro	0,12	Chuveiro	0,09	Chuveiro	0,16
Freezer	0,12	Freezer	0,13	Freezer	0,14	Freezer	0,07
Idade média	0,18	Idade média	0,31	Idade média	0,19	Idade média	0,27
Nº de pessoas	0,25	Nº de pessoas	0,17	Nº de pessoas	0,23	Nº de pessoas	0,29
Orientação	0,18	Orientação	0,18	Orientação	0,20	Orientação	0,13
Pavimento	0,14	Pavimento	0,09	Pavimento	0,15	Pavimento	0,09

Fonte: Souza e Pizarro (2001, p. 4)

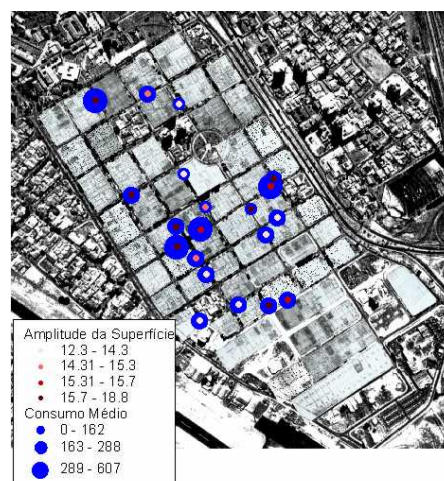
Esses resultados apontam que a orientação do edifício configura-se como uma variável de grande importância para o consumo de energia elétrica. Para as médias dos parâmetros estudados, a variação no ângulo de inclinação da orientação predial pode representar aumento de consumo de energia elétrica de até 83% no inverno e de 6% no verão.

Em continuidade à pesquisa anterior, Souza et al. (2005) estudam as relações entre a geometria urbana e o consumo de energia elétrica na cidade de Bauru, SP. A metodologia consistiu na definição da área de trabalho e posterior coleta de dados de temperatura do ar e de superfície, determinação do FVC, orientação de vias e perfil do usuário. São utilizadas ferramentas de um ambiente do GIS para uma análise espacial e estatística dos dados. Os resultados encontrados indicam que existe forte tendência da influência do perfil do usuário, da geometria urbana e da temperatura sobre o consumo de energia elétrica. A espacialização desses resultados é mostrada na Figura 2.8, que apresenta a relação entre temperatura do ar e FVC e na Figura 2.9, que mostra a relação entre temperatura e consumo de energia elétrica para a área de estudo na cidade de Bauru.





**Figura 2.8: Temperatura do ar x FVC.**  
 Fonte: Souza et al. (2005, p. 1965)



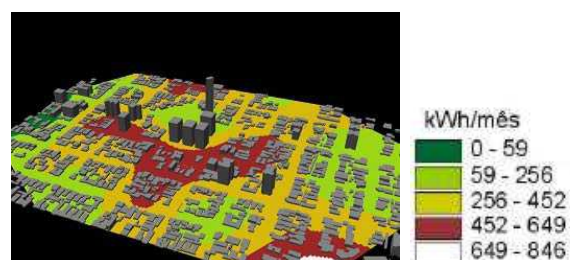
**Figura 2.9: Amplitude da temperatura da superfície de acordo com o consumo de energia médio –** Fonte: Souza et al. (2005, p. 1969)

Ao aprofundar o estudo da influência da temperatura, Oliveira e Souza (2007) estudam a interferência das ilhas de calor no consumo de energia elétrica de um bairro predominantemente residencial, na cidade de Bauru. A metodologia baseou-se em levantamentos térmicos para 40 pontos de referência na área de estudo e na determinação de seus respectivos fatores de visão do céu. Foram identificadas as diferenças entre as temperaturas do ar naqueles pontos e em área externa à cidade.

A aplicação de um questionário junto ao usuário e o levantamento do consumo de energia elétrica através da Companhia Paulista de Força e Luz (CPFL) permitiu estabelecer um perfil de consumo do usuário. Os dados foram armazenados em GIS, possibilitando a criação de mapas temáticos expostos abaixo na Figura 2.10, que mostra a renda média das famílias da área estudada e na Figura 2.11, que apresenta o consumo médio mensal de energia elétrica dessa mesma região. Por estes mapas, observa-se que as áreas que têm maior consumo de energia tendem a ser as áreas também com maior renda familiar.



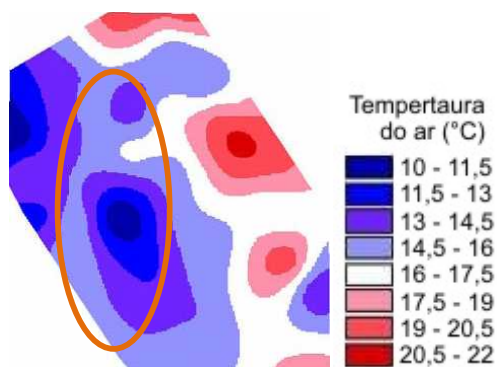
**Figura 2.10: Visualização em 3D da renda mensal das famílias do bairro, em salários mínimos.**  
 Fonte: Oliveira e Souza (2007, p. 1325)



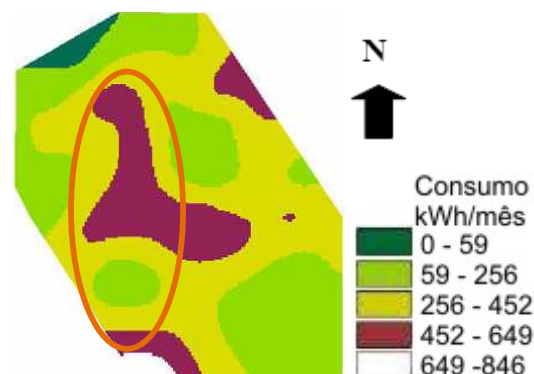
**Figura 2.11: Visualização em 3D do consumo médio mensal das habitações.**  
 Fonte: Oliveira e Souza (2007, p. 1325)

Oliveira e Souza (2007) também mostram que as áreas em que há formação de ilhas de calor urbano pertencem à região oeste do bairro, onde ocorrem as menores amplitudes térmicas, o

que pode ser visto na Figura 2.12. É também essa a região na qual ocorre maior consumo médio mensal de energia, o que é mostrado pela Figura 2.13. Esses resultados revelam que valores baixos de FVC, junto a formação de ilhas de calor de maior magnitude e o nível de renda dos moradores, ocasiona um padrão mais alto de consumo de energia elétrica.



**Figura 2.12:** Representação da amplitude térmica da superfície no bairro, indicando as áreas que apresentaram menores valores.  
Fonte: Oliveira e Souza (2007, p. 1326)



**Figura 2.13:** Representação do consumo médio dos moradores do bairro, indicando a região oeste como a que apresentou maiores gastos com energia elétrica.  
Fonte: Oliveira e Souza (2007, p. 1326)

Para avaliar a influência de variáveis de implantação e ocupação em edificações residenciais no consumo de energia, Souza e Rocha (2007) apresentam estudo de cinco edificações residenciais térreas em Bauru, com implantação e perfil de usuários semelhantes. Os dados reais de consumo de energia elétrica mensal dessas edificações foram incorporados como dados de saída para o desenvolvimento de modelos de RNA, com as seguintes variáveis de entrada: área construída, FVC, tempo de sombreamento, área de exposição das fachadas nordeste, área de exposição das fachadas noroeste, área de exposição das fachadas sudoeste e área de exposição das fachadas sudeste.

Verificou-se que: a variável mais relevante entre as estudadas revelou ser a área de exposição da fachada noroeste, com variação de 23 a 26% de importância; o sombreamento assumiu um valor de 19 a 20%, mostrando-se como segundo agente contribuinte no consumo; para o FVC, as áreas de fachada sudoeste e nordeste têm importâncias similares, podendo variar de 13 a 17%; a área construída e a área de fachada sudeste obtiveram menor grau de importância, com tendência à área da fachada sudeste exercer mais influência do que a área construída da edificação.

Em continuidade do estudo da influência da implantação, Souza e Yamaguti (2007) abordam as relações de variáveis do edifício com o consumo de energia elétrica em unidades habitacionais multifamiliares com tipologia construtiva verticalizada. Nessa pesquisa, os autores consideram a orientação, a altura do pavimento e o FVC. Ao partir de um

levantamento de dados de consumo de energia elétrica e do perfil do usuário, foi desenvolvido um modelo de RNA, a partir do qual foi possível determinar a importância relativa de cada variável. Esses resultados são apresentados na Tabela 2.2, que mostra a síntese da influência das variáveis de implantação no consumo encontradas pelos autores.

**Tabela 2.2: Quadro síntese da influência das variáveis de implantação no consumo de energia elétrica**

Orientação	Tendência de consumo em relação à média de 150 kWh/mês	Incremento de Altura (de 3 a 36m)	Incremento de FVC (de 0,3 a 0,5)	Questão prioritária
NO-NE	↔	↓ até 24m ↔ acima de 24m	↑	lumínica e térmica
NO-SO	↑	↔	↔	térmica
SE-SO	↑	↔	↓	lumínica
SE-NE	↓	↔ abaixo de 18m ↑ acima de 18m	↑	térmica

Legenda: ↓ redução de consumo com o incremento da variável  
 ↑ aumento de consumo com o incremento da variável  
 ↔ neutralidade de consumo com o incremento da variável

Fonte: Souza e Yamaguti (2007, p. 1767)

Os resultados mostram que apesar da orientação dos apartamentos ser a variável principal para o consumo de energia, a altura do pavimento e o FVC são elementos que têm papel fundamental nesse consumo. Os autores ressaltam que acima de 24m de altura os apartamentos não apresentam melhoria na eficiência energética e, além disso, que o incremento do FVC tem influência diferenciada conforme a orientação do apartamento.

### 2.1.3 Definição de trajetória

Os diferentes trabalhos e pesquisas desenvolvidos no mundo mostram que a forma como os edifícios estão distribuídos no espaço também influencia no consumo de energia nas edificações e a otimização da forma urbana é medida importante para o aumento da eficiência energética do parque edificado. Em relação ao caso brasileiro, observa-se que as abordagens, apesar de não estarem no estágio de desenvolvimento de outras pesquisas realizadas no mundo, também demonstram que há uma forte relação entre forma urbana e consumo de energia.

Isso significa que o forte crescimento do consumo dos setores de serviço e residencial nos próximos anos, previsto pelo PNE 2030 (BRASIL, 2007b), pode representar um impacto importante no desenvolvimento urbano brasileiro nos próximos anos. Assim, faz-se necessário que as medidas de eficiência energética também abordem a questão da forma morfológica das cidades, além dos equipamentos e das edificações isoladamente.

Da análise dos diferentes trabalhos publicados no mundo, percebe-se que apenas as abordagens que adotam o modelo do planejamento conseguem produzir resultados objetivos na direção da racionalização do consumo de energia em escala urbana e do aproveitamento de fontes de energia alternativas.

Contudo, a construção de um modelo de planejamento energético em escala urbana só é possível quando os outros três tipos de abordagens já estiverem consolidados, subsidiando a criação e o desenvolvimento do modelo. Isso é claramente observado nos trabalhos que analisam o consumo de energia em escala urbana no Reino Unido. Nesses trabalhos, é perceptível a evolução das abordagens iniciais descritivas e preditivas para as de planejamento, em que as primeiras fornecem base de dados e as segundas consolidam metodologias e modelos para o planejamento.

As pesquisas coordenadas pela professora Lea Cristina Lucas de Souza conseguem mostrar a relação entre o padrão de ocupação com a formação de ilhas de calor urbano e dessas com o consumo de energia elétrica residencial, entre outros resultados significativos. Entretanto, essas pesquisas são principalmente descritivas, com alguns modelos preditivos. Dessa forma, seus resultados ainda não são capazes de fornecer recomendações direcionadas à melhoria do consumo de energia em escala urbana.

Os trabalhos britânicos apontam um caminho que pode servir como base para o desenvolvimento de um modelo de planejamento energético em escala urbana no Brasil. Porém, esse modelo não pode ser diretamente aplicado, devido às várias distinções existentes entre as cidades brasileiras e européias, entre as quais, podem ser destacadas: o tipo de ocupação e uso do solo das cidades, o perfil de consumo dos usuários e suas demandas de energia útil, as potências e eficiências de conversão dos eletrodomésticos. Além disso, os modelos britânicos foram desenvolvidos com base em extensos e detalhados levantamentos de dados de consumo urbano, sendo que não há pesquisas similares para as cidades brasileiras.

Na busca da construção de um método de planejamento, capaz de identificar os fluxos de energia pelo espaço edificado, no tópico seguinte deste capítulo é apresentada uma discussão sobre o que é Planejamento Energético e suas ferramentas específicas.

De modo simplificado, o planejamento energético é a disciplina que estuda os fluxos energéticos em uma sociedade, focalizando na compreensão das demandas de energia e as disponibilidades de recursos energéticos, e visando alcançar um balanço equilibrado de

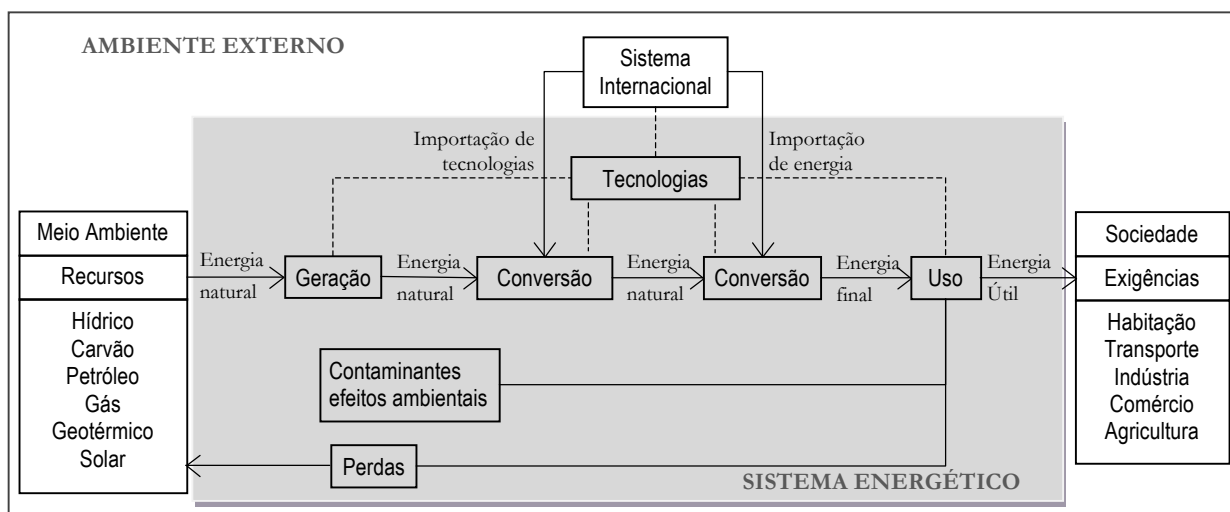
---

demanda versus recursos que permita atingir as metas de evolução da própria sociedade. Esse tema é mostrado no capítulo seguinte com o objetivo de gerar um referencial teórico e metodológico que possa embasar a elaboração de um modelo próprio de planejamento energético integrado ao espaço urbano.

## 2.2 Planejamento energético

Convencionalmente, o planejamento energético é um processo dinâmico de análise sistemática de informações sobre energia demandada e a consumida em uma área com o objetivo de gerar informações úteis aos tomadores de decisão. A área estudada pode ser um município, uma região, um estado, um país ou até mesmo um conjunto de nações.

Como exposto por Bajay (1989), o planejamento energético busca promover a utilização racional das diversas formas energéticas e otimizar o suprimento dessas formas, dentro das políticas econômica, social e ambiental vigentes, e em sintonia com a realidade dos outros sistemas energéticos que interagem com o sistema em questão. A função do planejamento energético é a organização das ações dos diferentes atores do sistema energético, como mostrado abaixo na Figura 2.14, para atender aos seus objetivos.



**Figura 2.14: O sistema energético.**  
**Fonte: Adaptado de Del Valle (1984)**

As variáveis envolvidas nesse sistema são: fluxos físicos de energéticos, os preços e as qualidades dos energéticos requeridos nos diversos pontos do sistema. É um sistema aberto, em que o meio externo é constituído por três partes, a saber: a sociedade em seu conjunto, o sistema de relações internacionais e o meio ambiente. Essas três partes exercem forte influência sobre o sistema. A energia flui a partir do meio externo até os usos finais da

sociedade por meio uma cadeia de transformações, envolvendo energia primária (p. ex., petróleo bruto), energia secundária (p. ex., gasolina e eletricidade) e energia final (p. ex., luz de uma lâmpada e força motriz). É a energia final a utilizada pelos consumidores para a satisfação de suas necessidades. A cada transformação da energia, ocorrem perdas inevitáveis de energia para o meio, cuja intensidade dependerá das tecnologias utilizadas em cada sistema de conversão (BAJAY, 1989).

Conforme exposto por Valle (1984), os objetivos básicos do planejamento energético devem ser:

- a) melhorar a qualidade de vida da população: refere-se ao objetivo de prover energia útil para as atividades da sociedade;
- b) obter melhoria da capacidade da sociedade em tomar suas próprias decisões, diminuindo a dependência tecnológica e de abastecimento, e reduzindo a vulnerabilidade econômica;
- c) assegurar melhoria da sustentabilidade ambiental da sociedade, o que representa garantir os dois objetivos anteriores com um menor impacto no meio ambiente.

### **2.2.1 Os modelos de planejamento energético**

A primeira divisão dos tipos de estudos de planejamento refere-se ao setor estudado, podendo ser setoriais, multisetoriais e globais. O primeiro enfoca apenas um setor, como, por exemplo, o residencial. Os modelos multisetoriais representam dois ou mais setores energéticos, em geral fortemente relacionados entre si, por exemplo, os setores de petróleo e de gás natural (CARVALHO, 2005). Por fim, os globais abordam todos os setores envolvidos no sistema energético da região estudada.

Além disso, os modelos de planejamento energético podem ser agrupados por tipo em: modelos de demanda, modelos de oferta e modelos integrados de demanda/oferta. Os modelos de projeção da demanda de energia podem ser classificados como: econométricos, técnico-econômicos, contábeis ou de simulação e mistos.

As projeções de demanda dos modelos econométricos se baseiam na influência das variáveis econômicas clássicas, como renda, elasticidade e crescimento econômico para a determinação da taxa de crescimento do consumo de energéticos. De acordo com Carvalho (2005), os modelos econométricos são mais adequados para a projeção a curto e médio prazo, pois por se basearem na evolução histórica da demanda e suas variáveis envolvidas, eles não são capazes

---

de representar possíveis rupturas futuras em padrões tecnológicos ou econômicos consolidados. Desse modo, para projeções em longo prazo, ou quando se deseja modelar possíveis rupturas, é mais adequada a utilização de modelos técnico-econômicos, contábeis ou de simulação.

Como alternativa para contornar as restrições dos modelos tradicionais, foram desenvolvidos, de acordo com Carvalho (2005), os chamados modelos mistos de projeção. Esses modelos adotam as relações econométricas para gerar um cenário de referência e para explicar a evolução de algumas variáveis dos modelos. Utilizando uma estrutura de projeção mais desagregada (por usos finais e tipos de equipamentos), compatível com os dados disponíveis, esses modelos elaboram conjuntamente outros tipos de simulações em cenários alternativos que irão representar possíveis rupturas futuras em relação aos padrões tecnológicos, macroeconômicos, sociais e políticos estabelecidos. O autor conclui que, quanto mais longo for o horizonte de projeção, maior é a importância da simulação destas possíveis rupturas. Este é o tipo de modelo mais empregado atualmente no mundo pelas instituições que realizam projeções da demanda energética em médio e longo prazo.

### **2.2.2 Etapas do planejamento energético**

As etapas de um planejamento energético, de acordo com a Agência Internacional de Energia Atômica (IAEA, 1984), são:

- a) Definir as metas e objetivos específicos do planejamento;
- b) Determinar a abordagem a ser tomada;
- c) Identificar as informações necessárias do processo de planejamento;
- d) Escolher o processo de análise;
- e) Conduzir a análise;
- f) Apresentar os resultados aos tomadores de decisão.

A primeira etapa consiste na definição específica dos objetivos que o planejamento deve alcançar; tem um importante papel nas demais etapas, pois irá determinar a abrangência dessas, as informações que precisam ser levantadas e os métodos que serão utilizados para efetuar-las.

O segundo passo, a definição da abordagem, envolve quatro decisões: a definição do escopo, da escala, do horizonte de tempo e do nível de detalhe.

---

O escopo determina quais fatores do sistema energético ou econômico serão considerados no planejamento. Quanto maior o escopo, maior o estudo. A escala envolve o nível de desagregação espacial, podendo variar desde uma região até cidades, estados ou até mesmo países.

O horizonte de tempo irá influenciar nos métodos que serão utilizados e o valor dos resultados. Usualmente, planos de longo prazo, 20-30 anos, estão relacionados a planejamentos maiores que objetivam estimar o consumo e a demanda de energia para atender o crescimento econômico. Permitem prever os maiores investimentos econômicos que deverão ser feitos, como a implantação de uma nova usina de potência e o horizonte de tempo que estes investimentos deverão ser realizados. Planos de médio prazo, de 10 a 15 anos, são planos complementares aos planos de longo prazo e indicam medidas e ações de maneira mais detalhada, para que as metas sejam alcançadas.

O nível de detalhe de um planejamento está relacionado com o tempo e as informações disponíveis. Análises rápidas podem conter erros e muitas aproximações, mas fornecem uma visão geral do quadro do sistema energético e podem servir de base para outras análises posteriores mais detalhadas.

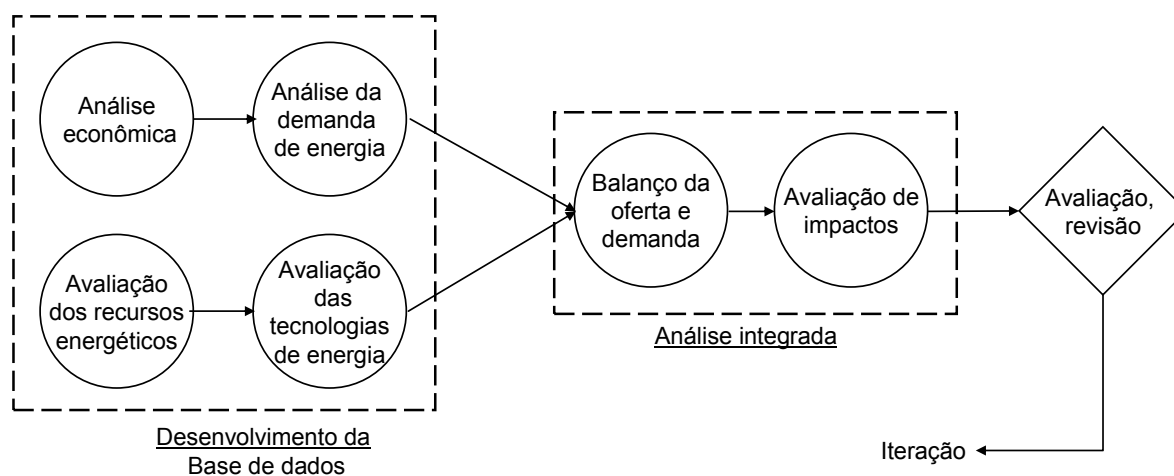
Durante a terceira etapa devem ser definidas as informações que serão fornecidas. Há dois tipos de informações que o planejamento pode fornecer: informações técnicas - para profissionais relacionados com o planejamento energético -, e informações para os tomadores de decisão, que normalmente não possuem o perfil técnico necessário aos profissionais do planejamento. Essas informações podem ser resumidas pelas seguintes questões (IAEA, 1984):

- a) Quais os requisitos energéticos necessários para o desenvolvimento econômico?
- b) Quais os suprimentos de energia disponíveis para alcançar a demanda?
- c) Quais os recursos (dinheiro, trabalho, materiais, etc.) necessários para se construir e operar o sistema energético requerido?
- d) Quais alternativas estão disponíveis e quais são os impactos dessas alternativas?

A quarta e a quinta etapas, escolha do método de análise e sua realização, podem ser realizadas por diferentes métodos, dependendo dos objetivos a serem alcançados. Apesar das diferenças entre os modelos, as tarefas a serem realizadas são comuns e representam a estrutura geral do processo de análise, que é mostrada a seguir na Figura 2.15.

---





**Figura 2.15: Seqüência típica de tarefas no planejamento energético.**  
 Fonte: IAEA (1984)

Conforme se observa acima, as tarefas são divididas em dois grupos: desenvolvimento da base de dados e análise integrada. O desenvolvimento da base de dados é processo longo devido à quantidade e diversidade de informações necessárias para se realizar a análise. Muitas vezes, esse processo pode ser limitado, devido à pouca disponibilidade ou pouca qualidade das informações. A análise integrada é um processo dinâmico de obtenção de dados consistentes, num formato adequado ao planejamento de cenários alternativos.

A última etapa consiste na apresentação dos resultados para tomadores de decisões. Consiste na adequação de dados técnicos num formato acessível àqueles que irão aprovar as medidas a serem tomadas e efetivamente aplicá-las.

### 2.2.3 Planejamento energético integrado ao espaço

Apesar de os estudos de planejamento energético estarem necessariamente associados a uma porção geográfica delimitada – como um país, uma região ou um estado –, seus resultados não estão necessariamente associados a locais específicos. Desse modo, esses estudos apontam qual a quantidade de energia será necessária para atender ao crescimento do consumo ou qual fonte energética será mais solicitada; contudo, não conseguem apontar onde estará ocorrendo o maior crescimento da demanda ou em qual área há maior disponibilidade de recursos energéticos.

A questão espacial tem papel crucial no sistema energético, pois o transporte de energia está necessariamente associado às perdas, o que encarece o custo final do produto energético, podendo inviabilizar sua utilização. Como apontando por Carvalho (2005), durante o racionamento de 2001, ficou clara a necessidade de se considerar a dimensão espacial no

planejamento energético. Neste período, os reservatórios das hidrelétricas da Região Sul não sofreram a acentuada baixa nos níveis de água que ocorreu nas regiões Sudeste e Nordeste. Assim, havia recursos energéticos disponíveis, mas que não puderam ser aproveitados por falta de infra-estrutura de transporte, ou seja, os recursos existiam, mas esses não estavam disponíveis para a maior parcela de consumidores.

Esse tipo de análise, geralmente, é feita de modo separado do estudo de planejamento ou é incorporada de modo indireto, como, por exemplo, adotando-se um valor de tarifa mais elevada no balanço energético, de maneira a compensar os custos de transporte.

Uma análise integrada ao espaço pode trazer contribuição ao planejamento, uma vez que permite um melhor aproveitamento dos recursos disponíveis localmente ou regionalmente que, numa análise global, podem mostrar-se economicamente inviáveis. Pelo lado da demanda de energia, a integração espacial também pode trazer benefícios, pois permite que sejam estabelecidas medidas contra o crescimento de demandas de energia útil cujos recursos energéticos locais sejam muito limitados.

### ***2.2.3.a Exemplos de abordagens integradas ao espaço***

Devido ao grande volume de informações que a proposta de planejamento energético integrada ao espaço pode demandar, é necessária a utilização da tecnologia de geoprocessamento, utilizando ferramentas modernas de análise geográfica baseada em sistemas de informações geográficas computadorizadas.

O geoprocessamento é a disciplina do conhecimento que utiliza tecnologias de *hardware*, *software* e *peopleware* para coleta, processamento, análise e disponibilização de informação com referência geográfica. As ferramentas computacionais para o geoprocessamento, as chamadas GIS, permitem armazenagem e análises de informações referenciadas ao espaço. No caso do setor energético, a implantação de um sistema de informações georeferenciado pode possibilitar a tomada de decisões, a elaboração de políticas energéticas e o planejamento do transporte e distribuição de energéticos considerando a dimensão espaço-tempo (Carvalho, 2005).

No Brasil, já existem exemplos de abordagens integradas sendo desenvolvidas pelo Grupo de Energia do Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétrica da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (GEPEA). Dentro da linha de pesquisa de Planejamento Integrado de Recursos do GEPEA tem sido desenvolvida uma ferramenta computacional capaz de realizar análises energéticas de regiões referenciadas

---

geograficamente (GALVÃO, et al.; UDAETA, et al.; 1996, 2004a). O sistema em desenvolvimento, chamado de Sistema de Análises Geo-referenciadas (SAGe), é um sistema que integra bancos de dados, voltados para o planejamento energético regional, a mapas temáticos, relacionando-os geograficamente, de maneira que se obtém a localização geográfica dos vários elementos dos dados.

Além desse modelo, o grupo tem utilizado o *software* LEAP (*Long-range Energy Alternatives Planning System*) para simular o comportamento dos diversos fatores da oferta e da demanda no longo prazo (Udaeta et al., 2004). O LEAP é uma ferramenta de modelagem energético-ambiental integrada, desenvolvida e disseminada pelo *Stockholm Environment Institute*. Os cenários que este *software* elabora são baseados em cálculo detalhado de como a energia é consumida, convertida e produzida, em uma determinada região ou economia, sob um leque de hipóteses alternativas a cerca da população, do desenvolvimento econômico, da tecnologia, do preço, etc.

Os estudos do Grupo estão sendo aplicados aos municípios da Região do Médio Paranapanema. Sobre a imagem de mapas de municípios, são localizadas informações como rede elétrica, rodovias pavimentadas, os grandes rios, as subestações, as sedes municipais, as usinas hidrelétricas e as usinas de processamento de cana-de-açúcar. A partir destas imagens podem ser selecionados alguns pontos para se obter as informações a eles relacionadas. Em conjunto com um *software* de tomada de decisão é possível estimar cenários energéticos com margem de erro aceitável. Um exemplo de aplicação dessa metodologia é apresentado na Figura 2.16, mostrando informações energéticas geo-referenciadas.

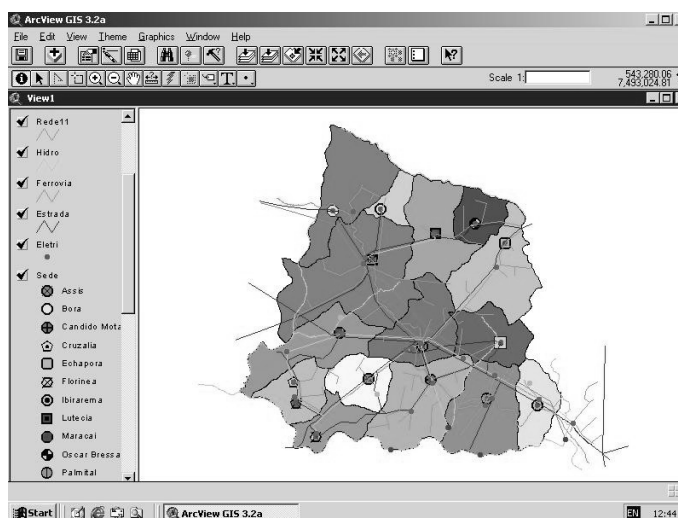


Figura 2.16: Exemplo de tela obtida no ArcView 3.1 com informações energéticas referenciadas.  
Fonte: Udaeta et al. (2004b, p. 1520)

Tendo-se apresentado o que é o planejamento energético, na próxima seção serão discutidos os procedimentos para cálculo do consumo de energia, por uso final, no setor residencial. Esse cálculo é a primeira etapa para a compreensão da evolução da demanda de energia do setor e a consequente consolidação de um cenário de referência do consumo de energia local.

### 2.3 O consumo de energia no setor residencial brasileiro

Este item apresenta uma caracterização do perfil de consumo de energia do setor residencial, por uso final e por faixa de renda, com o objetivo de gerar uma base de dados que permita compreender e calcular a evolução da demanda de energia neste setor, desde a década de 80 do século XX. Visto que este trabalho tem o município de Belo Horizonte como caso de estudo, os dados levantados focalizam-se no consumo dessa cidade, no consumo mineiro ou da Região Sudeste do Brasil. Com o objetivo de esclarecer as partes que compõem o consumo de energia do setor residencial, é apresentada uma estrutura simplificada desse setor na Figura 2.17.

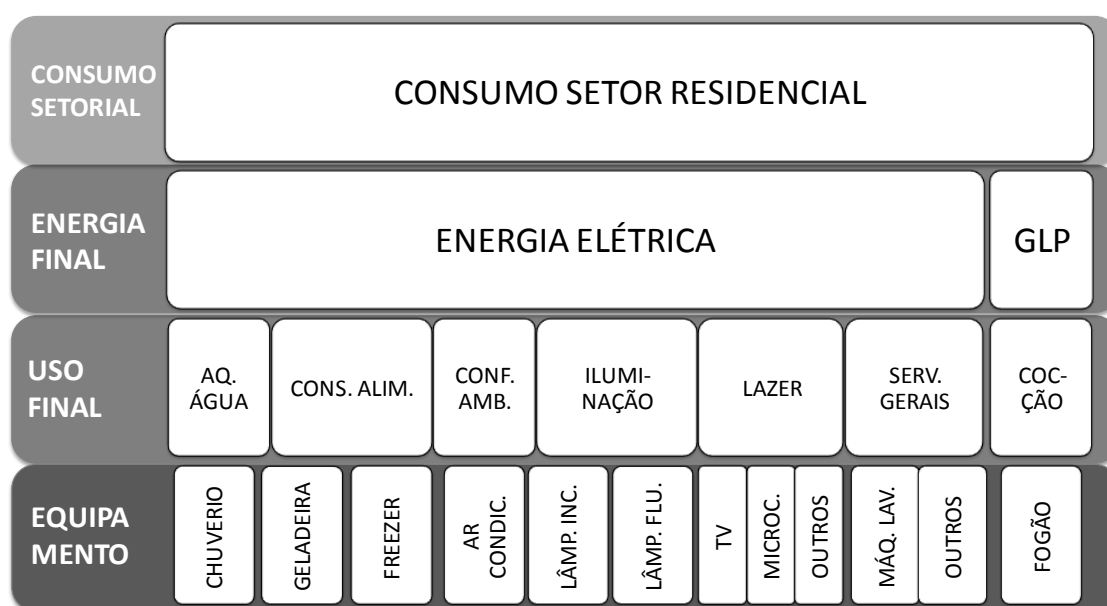


Figura 2.17: Exemplo simplificado de estrutura do consumo de energia do setor residencial de Belo Horizonte - Fonte: Elaboração própria

Os estudos utilizados para caracterizar a evolução do consumo de energia foram os elaborados por Maurício Arouca (1982), Carla Achão (2003) e ELETROBRAS/PROCEL (2007b). Arouca (1982) realizou seu levantamento a partir de dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), como o Estudo Nacional da Despesa Familiar de 1978, da Eletrobrás, e a Pesquisa de Aparelhos Eletrodomésticos de 1972. Achão (2003) elaborou seu

estudo com base na Pesquisa de Orçamentos Familiares de 1996, no Censo Demográfico de 1991 e na Pesquisa de Posse de Eletrodomésticos e Hábitos de Consumo, feita pela PUC e PROCEL, em 1999. Ambos os autores também utilizaram os dados do Balanço Energético Nacional (BEN), elaborado pela Eletrobrás (vários anos) e informações fornecidas pelas concessionárias de energia elétrica, distribuidores de gás e fabricantes de eletrodomésticos. O relatório elaborado pela ELETROBRAS/PROCEL (2007b) contém as informações descritivas relativas à pesquisa “Posse de Equipamentos e Hábitos de Uso”, realizada entre os anos de 2004 e 2005 na área de concessão das diversas concessionárias na região Sudeste do Brasil, na qual foram amostrados e pesquisados um total de 2100 consumidores da região.

As classes de renda familiar, em salários mínimos, adotadas nos dois primeiros trabalhos são descritas no Quadro 2.1. Nele também são apresentadas as faixas de renda familiar de cada classe econômica definida pelo Critério de Classificação Econômica Brasil (CCEB). É importante ressaltar que este critério tem por objetivo discriminar grandes grupos de acordo com sua capacidade de consumo de produtos. Sua classificação baseia-se na pontuação em função de posse de itens e escolaridade, e não da faixa de renda. Assim, a comparação feita no Quadro 2.1 objetiva apenas mostrar a variação do poder aquisitivo da população ao longo do período considerado.

Classe	Arouca (1982) em s.m.	Achão (2003) em s.m.	CCEB 2003 em s.m.	CCEB 2008 em s.m.
<b>A</b>	<b>Mais de 7</b>	<b>Mais de 10</b>	<b>Mais de 25</b>	<b>Mais de 15</b>
<b>B</b>	<b>de 5 a 7</b>	<b>de 5 a 10</b>	<b>de 8,5 a 25</b>	<b>de 5,5 a 15</b>
<b>C</b>	<b>de 3,5 a 5</b>	<b>de 3 a 5</b>	<b>de 4,5 a 8,5</b>	<b>de 2 a 5,5</b>
<b>D</b>	<b>de 2 a 3,5</b>	<b>de 2 a 3</b>	<b>de 2 a 4,5</b>	<b>de 1,5 a 2</b>
<b>E</b>	<b>menos de 2</b>	<b>menos de 2</b>	<b>menos de 2</b>	<b>menos de 1,5</b>

**Quadro 2.1: Classes de renda familiar, em salários mínimos, adotadas nas pesquisas levantadas.**

**Fontes: Adaptado de ABEP (2007), Achão (2003) e Arouca (1982)**

A pesquisa realizada pela ELETROBRAS/PROCEL (2007b) apresenta seus resultados em termos de faixas de consumo de energia elétrica. A relação das faixas de consumo com as faixas de renda, em salários mínimos, é apresentada a seguir no Gráfico 2.1.

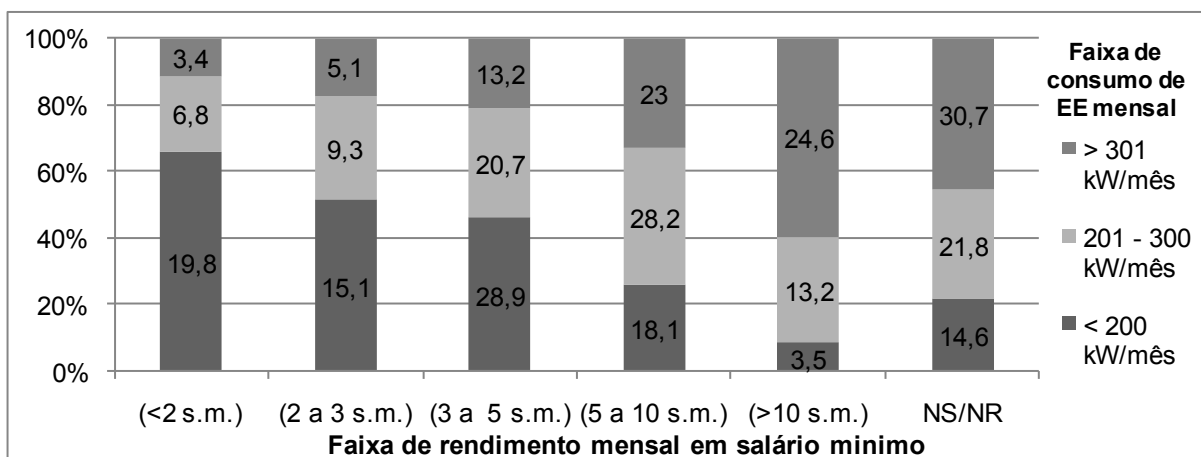


Gráfico 2.1: Proporção de faixas de renda familiar em cada faixa de consumo considerada  
 Fonte: ELETROBRAS/PROCEL (2007b)

### 2.3.1 Evolução do consumo de energia para a cocção

Arouca (1982) levantou o número de equipamentos para cocção por classe de renda e região com base nos dados do Estudo Nacional da Despesa Familiar (IBGE, 1978). Já Achão (2003) utilizou dados do Censo Demográfico (IBGE, 1991) para fazer esse estudo. Os valores obtidos pelos autores são comparados no Gráfico 2.2 que mostra a participação percentual de cada tipo de fogão no número total de domicílios de cada classe de renda. Os dados de 1978 referem-se à região de Minas Gerais e Espírito Santo e os dados de 1991, referem-se à Região Sudeste.

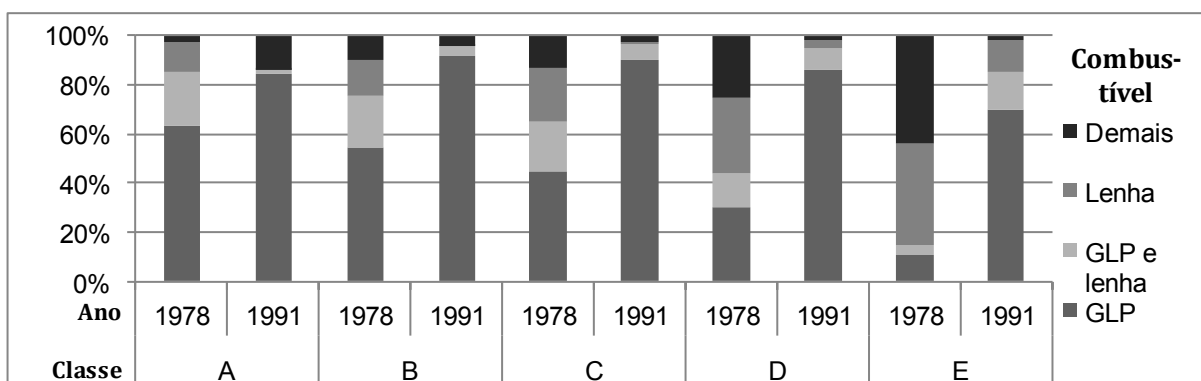


Gráfico 2.2: Participação de cada tipo de fogão no número total de equipamentos por classe de renda  
 Fonte: Elaboração própria a partir de Arouca (1982) e Achão (2003)

Por este gráfico é possível observar o crescimento da participação do gás liquefeito de petróleo (GLP) e o progressivo abandono dos fogões à lenha em todas as classes de renda, entre 1978 e 1991. No item “Demais”, nas classes de renda D e E estão agrupados, principalmente, usos com menor eficiência, como fogareiro ou céu aberto. Assim, observa-se a tendência de substituição de equipamentos de cocção para sistemas que adotam combustíveis mais eficientes.

O consumo médio mensal familiar de energéticos, calculado por Arouca (1982) para Minas e Espírito Santo, e calculado por Achão (2003) para a região Sudeste, são mostrados nos Gráficos 2.3 e 2.4, para o consumo de lenha e GLP, respectivamente.

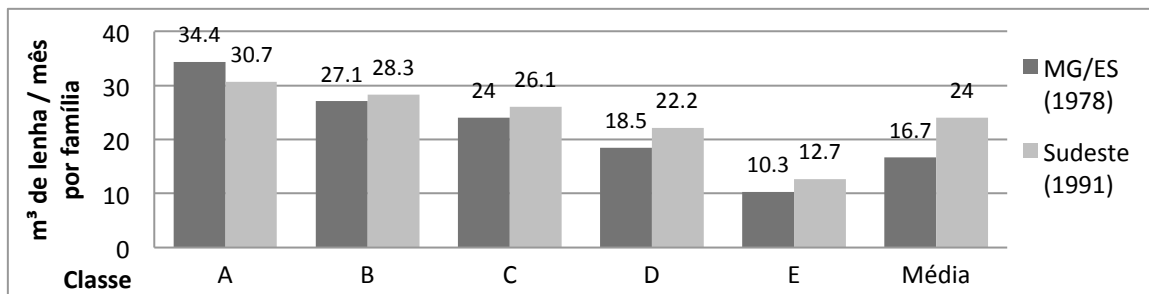


Gráfico 2.3: Evolução do consumo mensal de lenha, em m<sup>3</sup>, por família e por classe de renda.  
 Fonte: Elaboração própria a partir de dados de Arouca (1982) e Achão (2003)

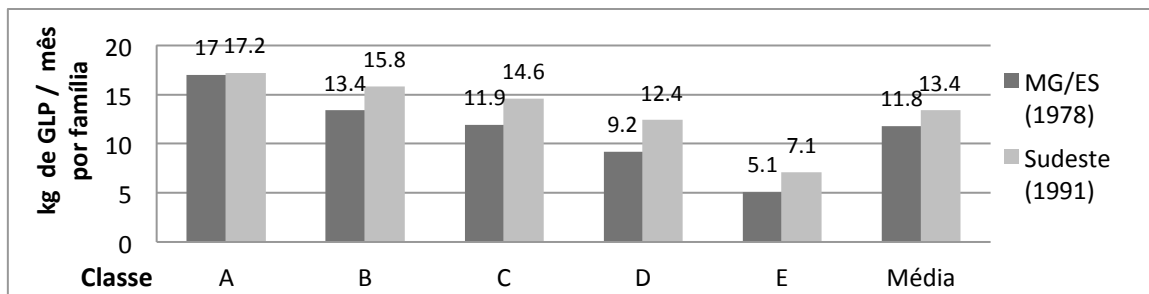
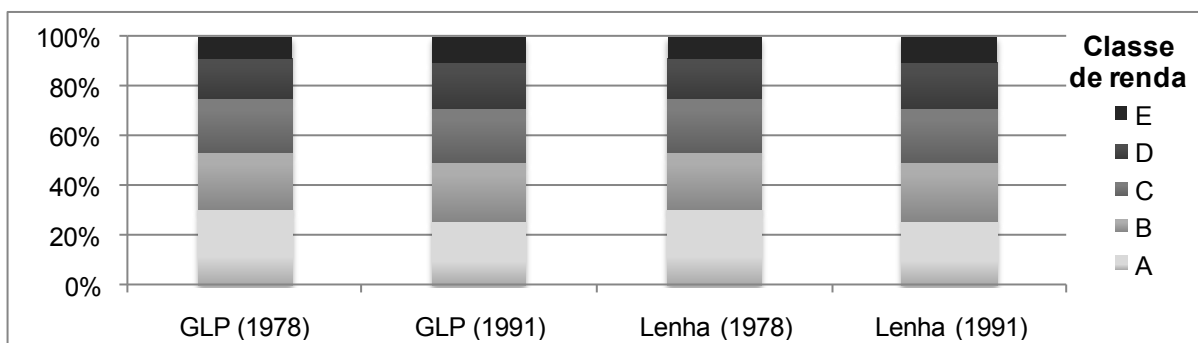


Gráfico 2.4: Evolução do consumo mensal de GLP, em kg, por família e por classe de renda.  
 Fonte: Elaboração própria a partir de dados de Arouca (1982) e Achão (2003)

Esses gráficos mostram um crescimento no consumo de energia para cocção em todas as classes de renda para ambos os combustíveis, com exceção da classe A, no qual houve redução do consumo de lenha e o consumo de GLP foi praticamente constante. Ao se comparar a contribuição de cada classe de renda para o consumo total de combustíveis, mostrado no Gráfico 2.5, observa-se pouca variação para todas as classes de renda ao longo dos anos nas duas pesquisas. Isso mostra que o consumo de energia para cocção apresenta um comportamento pouco elástico com o nível de renda do consumidor, como já apontado por Achão (2003). Com relação ao percentual de participação no consumo de combustível de cada classe de renda, também mostrado no Gráfico 2.5, observa-se uma relativa semelhança no padrão de consumo de combustíveis para cocção entre as classes de renda, com exceção da classe E, a de menor poder aquisitivo.



**Gráfico 2.5:** Contribuição de cada classe de renda para o consumo total de combustíveis no ano de 1978 (Minas e Espírito Santo) e no ano de 1991 (Região Sudeste).

Fonte: Elaboração própria a partir de dados de Arouca (1982) e Achão (2003)

### 2.3.2 O perfil econômico do consumidor residencial de energia elétrica

Ao longo do período histórico considerado neste trabalho, o país passou tanto por momentos de crescimento econômico e aumento da renda média da população, quanto por momentos de crises econômicas, nacionais e internacionais, e crise de abastecimento de energia elétrica. Visto que o objetivo desse trabalho também é traçar um perfil da evolução do consumo de energia no setor residencial, é importante saber o padrão de consumo e os hábitos de posse de eletrodomésticos do usuário residencial frente às diferentes conjunturas econômicas.

A primeira relação estudada é a existente entre PIB e o consumo de energia. Um crescimento da economia pode levar a um crescimento do poder aquisitivo da população, causando um aumento na posse de bens, que leva ao crescimento do consumo de energia elétrica.

Ao visar identificar a relação existente entre consumo de energia elétrica e o PIB, Cruz e outros (2009) desenvolveram um estudo econométrico e concluíram que há uma relação bi-causal entre o consumo de energia elétrica e o crescimento econômico. Assim, medidas que façam a imposição da redução do consumo de energia elétrica, como as estabelecidas durante o racionamento de 2001, efetivamente provocam um efeito negativo no PIB.

Os autores ainda concluíram que a relação inversa também é verdadeira: o crescimento do PIB leva ao crescimento da demanda de energia elétrica. Contudo, o consumo de energia elétrica encontra-se no limite da produção e, por isso, a oferta de energia elétrica é inelástica a curto prazo. Assim, um aumento inesperado no PIB provoca um aumento na demanda por energia elétrica e, devido a essa inelasticidade, ocorre um aumento no preço de energia elétrica, o que leva a uma substituição da energia elétrica por outras formas de energia em



alguns setores. Dessa forma, há uma redução no consumo de energia elétrica que tende a estabilizar-se num valor abaixo da origem.

O aumento do custo da energia, do custo dos eletrodomésticos e da renda também interfere na variação da demanda de energia. Essa variação na demanda pode ser determinada por meio da elasticidade, que é a medida de quanto varia a quantidade demandada de um bem em relação às variações na renda dos consumidores (elasticidade-renda) ou no preço de tarifas e equipamentos (elasticidade-preço).

Schimid e Lima (2004) realizaram cálculo das elasticidades, preço e renda de longo prazo, da demanda por energia elétrica nas três classes de consumo: residencial, comercial e industrial. Para o setor residencial, os autores determinaram que a elasticidade-preço de longo prazo da demanda por eletricidade é de  $-0,085$ , o que significa que uma elevação de 1% nas tarifas gerará uma redução de 0,085% no consumo residencial. A elasticidade-preço dos eletrodomésticos é  $-0,148$ ; maior que a elasticidade-preço da demanda. Isso significa dizer que o impacto de alterações nos preços desses bens têm um efeito maior sobre o consumo de energia elétrica residencial do que alterações nas tarifas. Já a elasticidade-renda de longo prazo apresenta valor de 0,539.

O comportamento específico do consumidor residencial, em cada classe econômica, frente a períodos de crescimento econômico ou de grandes crises financeiras, é o objeto de estudo do trabalho desenvolvido por Falco e outros (2009). Nesse estudo, foram utilizadas informações de consumo energético total e de dados específicos dos consumidores por categoria econômica (A, B, C, D, E), baseando-se nas Pesquisas de Posses e Hábitos de Consumo dos anos de 1997, 1999, 2002/2003.

Os autores concluíram que, no estrato 'A', o cenário econômico aparece como um fator determinante para explicar a posse média de equipamentos, sendo que o crescimento, ou redução, no número de bens está estritamente ligado aos fatos conjunturais.

Na classe 'B', os contextos de relativo equilíbrio econômico serviram de estímulo à aquisição de bens não saturados na categoria. A conjuntura econômica do país é menos essencial para explicar as variações na posse média de equipamentos nessa camada, perante o fato do índice de saturação do bem não ter sido alcançado.

Já o segmento 'C' praticamente não é afetado pelas modificações conjunturais. Portanto, nessa camada, os aspectos econômicos não interferem sobre a quantidade de bens possuídos. Para os consumidores da classe 'D', a aquisição de algum bem será inicialmente determinada

---

pelos valores médios da posse de eletrodomésticos. Em seguida, a conjuntura brasileira orienta a magnitude dos crescimentos da posse, que são maiores em contextos favoráveis e menores em situações de instabilidade.

Na classe ‘E’, todos os eletrodomésticos têm valores de posse média menores do que os índices de saturação, logo, esses consumidores têm demandas não satisfeitas quanto a todos os bens. Nessa classe, verificou-se que a conjuntura vigente exerce influência sobre o número de aparelhos adquiridos, mas não em intensidade suficiente para elevar esses indivíduos para os segmentos superiores da pirâmide.

### 2.3.3 Energia para aquecimento de água e sua evolução

No Brasil, e na Região Sudeste, os equipamentos mais usuais para o aquecimento de água são os chuveiros elétricos, como mostrado no Gráfico 2.6. A posse média desses equipamentos, ao longo das décadas, é mostrada na Tabela 2.3.

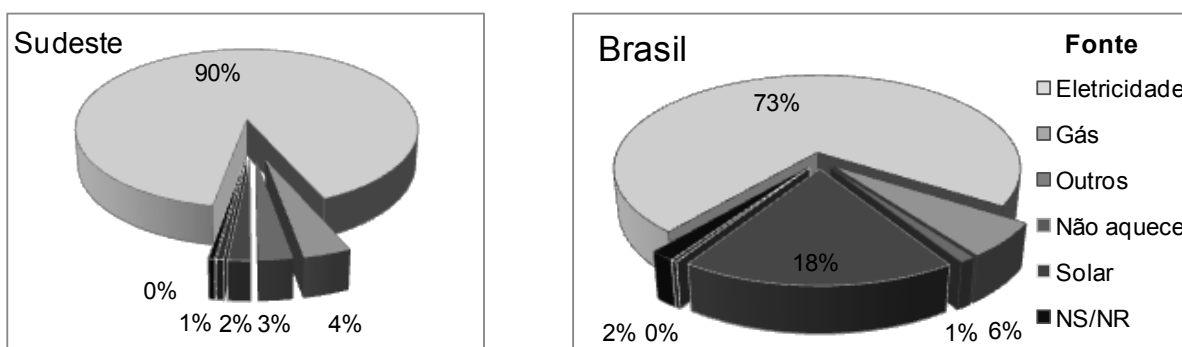


Gráfico 2.6: Fonte utilizada para aquecimento de água para banho.  
 Fonte: Adaptado de ELETROBRÁS/PROCEL (2007a; 2007b)

Tabela 2.3: Posse média e domicílios que possuem pelo menos um chuveiro elétrico

Autor	Ano	Local	Posse média	% de domicílios
Arouca	1979	MG/ES	-	80%
Achão	1996	Belo Horizonte	0,98	-
Eletrobras/PROCEL	2005	Sudeste	1,1	90,7%

Fonte: Adaptado de Arouca (1982), Achão (2003) e Eletrobras/PROCEL (2007b)

Para se calcular o consumo de energia para aquecimento de água de um chuveiro elétrico é necessário conhecer a potência dos equipamentos, a duração e o número médios de banhos de um domicílio.

Há no mercado uma grande variedade de modelos, preços e de potências dos chuveiros elétricos. Em sua pesquisa, Arouca (1982) encontrou uma potência média do chuveiro elétrico em torno de 3,5 kW para a posição inverno e 2,5 kW para a posição verão. Achão (2003) encontrou equipamentos com potência nominal variando entre 1,5 kW e 6 kW e verificou a

tendência de aumento crescente. Os modelos mais baratos custam entre 10 e 15 reais, com potência entre 1,5 kW e 4 kW.

Como consideramos que há uma relação entre custo e potência do equipamento, o consumo de energia em uma residência, devido ao aquecimento de água, pode variar em função do poder aquisitivo da família. A potência adotada para chuveiro elétrico variou de acordo com a classe de renda do domicílio considerado. Achão (2003) adotou, para as três primeiras classes de renda, o equipamento de menor potência disponível no mercado e, para as demais classes, adotou um equipamento com potência de 3,5 kW.

O tempo médio de uso do chuveiro elétrico por domicílio pode ser estimado com base no tempo médio do banho por pessoa e do tamanho da família. Arouca (1982) e Achão (2003) consideraram o tempo médio de um banho de 10 minutos por pessoa. O relatório elaborado pela ELETROBRAS/PROCEL (2007b) apresenta o levantamento de tempo médio do banho por pessoa utilizando chuveiro elétrico na Região Sudeste e no Brasil. Esses valores são mostrados no Gráfico 2.7.

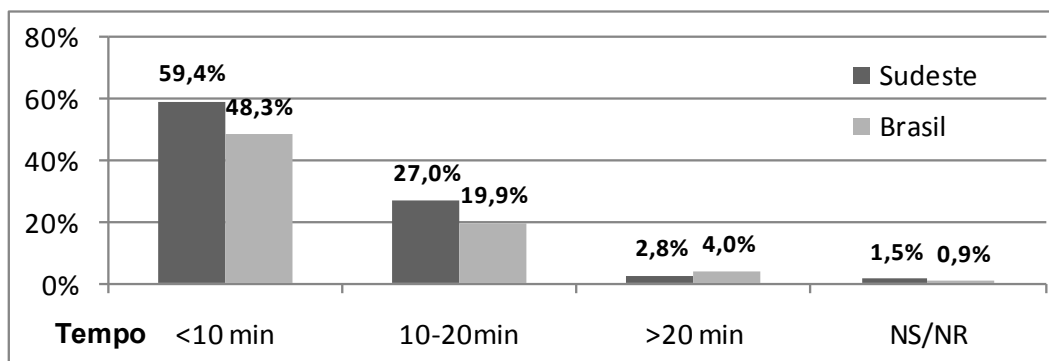


Gráfico 2.7: Tempo médio do banho por pessoa utilizando chuveiro elétrico.  
Fonte: ELETROBRAS/PROCEL (2007b)

### 2.3.4 Energia para iluminação

Em uma residência, o consumo de energia para iluminação é função do tipo de lâmpada, sua potência, do número de cada tipo de lâmpada existente na residência e do número de horas de uso. Visto que há, ultimamente, um maior número de lâmpadas por residência que não são necessariamente acionadas ao mesmo tempo, é necessário considerar que nem todas são acionadas ao mesmo tempo. Achão (2003) utiliza um fator de não-simultaneidade de 0,65 no cálculo do consumo do setor residencial.

A lâmpada incandescente, até a crise de geração de energia elétrica ocorrida em 2001, era o principal tipo de fonte de iluminação artificial utilizado nas residências brasileiras, sendo a

lâmpada de 60W a mais comumente encontrada (ACHÃO, AROUCA; 2003; 1982). Após 2001, a participação das lâmpadas fluorescentes compactas no setor residencial adquire maior importância. Como apresentado na Tabela 2.4, trabalhos mais recentes (ELETROBRAS/PROCEL, 2007a, 2007b) mostram que a posse média de lâmpadas incandescentes e fluorescentes já são equivalentes no Brasil e já são próximas na Região Sudeste.

**Tabela 2.4: Número médio de lâmpadas conforme seu uso nos domicílios brasileiros**

	Uso eventual	Uso habitual	Média
Incandescente (Sudeste)	3,11	2,25	5,36
Fluorescente (Sudeste)	1,59	1,77	3,36
Incandescente (Brasil)	2,43	1,59	4,01
Fluorescente (Brasil)	2,20	1,80	4,01

Fontes: ELETROBRAS/PROCEL (2007a, 2007b)

As lâmpadas de uso habitual são as de uso diário, como, por exemplo, as lâmpadas da cozinha. Já as de uso eventual são as de uso esporádico, a exemplo das lâmpadas da garagem. Importante destacar que no Sudeste, a posse média de lâmpadas incandescentes ainda é maior do que a de fluorescentes, inclusive as de uso habitual, que são as que mais consomem energia elétrica.

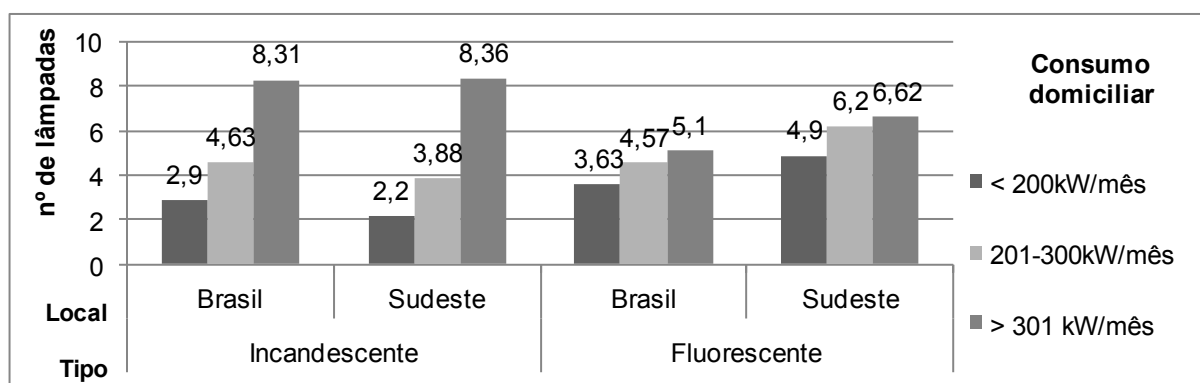
A posse média de lâmpadas pode variar em função da renda média familiar. De acordo com pesquisa da CESP/CPFL<sup>6</sup>, citada por Arouca (1982), o número de lâmpadas por domicílio, para São Paulo, em 1979, podia variar de 4 a 20 unidades, como mostrado abaixo na Tabela 2.5. Achão (2003) propõe a adoção de uma lâmpada por cômodo. A ELETROBRAS/PROCEL (2007b) levantou dados de posse média de lâmpadas incandescente e fluorescente por classe de consumo, mostrados a seguir no Gráfico 2.8. Como este trabalho também apresenta o número de domicílios por classe de renda, é possível encontrar o número médio de lâmpadas por classe de renda, realizando uma média ponderada. O resultado desse cálculo é apresentado na Tabela 2.6, logo abaixo do Gráfico 2.8.

**Tabela 2.5: Número de lâmpadas por domicílio segundo a classe de renda, para São Paulo**

	(<2 s.m.)	(2 a 3,5 s.m.)	(3,5 a 5 s.m.)	(5 a 7 s.m.)	(>7 s.m.)
Ano: 1979	4	5	7	12	20

Fonte: Arouca (1982)

<sup>6</sup> Perfil dos Consumidores Residenciais das Áreas do CESP e CPFL em 1979, 1980.



**Gráfico 2.8: Posse média de lâmpadas incandescentes e fluorescentes no Brasil e na Região Sudeste.**  
 Fontes: Elaborado a partir de ELETROBRAS/PROCEL (2007a, 2007b)

**Tabela 2.6: Posse média de lâmpadas por domicílio segundo a classe de renda, para a Região Sudeste**

Tipo de Lâmpada	(<2 s.m.)	(2 a 3 s.m.)	(3 a 5 s.m.)	(5 a 10 s.m.)	(>10 s.m.)
Fluorescente	5,39	5,61	5,69	6,00	6,34
Incandescente	3,28	3,79	4,05	4,93	6,41

Fonte: Elaboração própria a partir de dados de ELETROBRAS/PROCEL (2007b)

### 2.3.5 Energia para Conservação de Alimentos

A Pesquisa de Posse de Equipamentos e Hábitos de Uso (ELETROBRAS/PROCEL, 2007b) elabora uma síntese do perfil de uso dos refrigeradores na Região Sudeste. A posse média é de 1,02 equipamentos, sendo que 96,3% dos domicílios possuem pelo menos um desse equipamento e que 96,2% dos equipamentos ficam permanentemente ligados.

A pesquisa também indicou que 71,6% dos refrigeradores têm idade menor que de 10 anos e que 48,6% dos que adquiriram refrigeradores novos no Sudeste nos últimos 10 anos, consideraram o consumo de energia elétrica apresentado na etiqueta do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE). Esses dados indicam a existência de parcela significativa de equipamentos eficientes quanto ao consumo de energia elétrica.

Em relação ao freezer, esse estudo mostra que a posse média na Região Sudeste é de 0,22 equipamentos e que 21,1% dos domicílios possuem pelo menos um freezer e desses, 66,4% permanecem ligados. Esses equipamentos também estão relativamente novos, pois 87,8% deles possuem menos de 10 anos.

### 2.3.6 Energia para Conforto Ambiental

Para o condicionamento ambiental, no setor residencial brasileiro e mineiro, são utilizados principalmente os sistemas de condicionamento de ar e os ventiladores ou circuladores de ar. Com relação ao ventilador, a Pesquisa de Posse de Equipamentos e Hábitos de Uso

(ELETROBRAS/PROCEL, 2007b) apresenta dados para dois modelos. O ventilador de teto possui penetração de 0,44 e o circulador de ar, alcance de 0,53, sendo que em 22,7% dos domicílios há pelo menos um equipamento.

As informações mais completas e atualizadas sobre o perfil de uso de equipamentos de condicionamento de ar são também fornecidas por ELETROBRAS/PROCEL (2007b). Esse estudo indica que a posse média de condicionador de ar, por domicílio, é de 0,09 % na Região Sudeste e 7 % dos domicílios possuem pelo menos um condicionador de ar, ou seja, ainda é relativamente pequena.

Nessa pesquisa, verificou-se alto percentual (77,5%) de equipamentos com menos de 10 anos de uso, o que indica que os aparelhos existentes devem ser eficientes quanto ao consumo de energia elétrica, sendo, portanto, aqueles com compressores rotativos.

Em relação ao comportamento do usuário, os dados da região Sudeste indicaram que, no clima ameno, 2,5 % fazem uso médio (1 a 3 vezes por semana) do condicionador e 11,3 % uso regular (1 a 3 vezes por mês). Em condição de clima frio, 96,6 % declararam não fazer uso do equipamento e, em condição de clima quente, 36,3% mencionaram fazer grande uso (maior que 4 vezes por semana) e 19,6 % uso médio (1 a 3 vezes por semana). Esses percentuais foram calculados sobre o total de aparelhos.

### **2.3.7 Energia para serviços gerais e lazer**

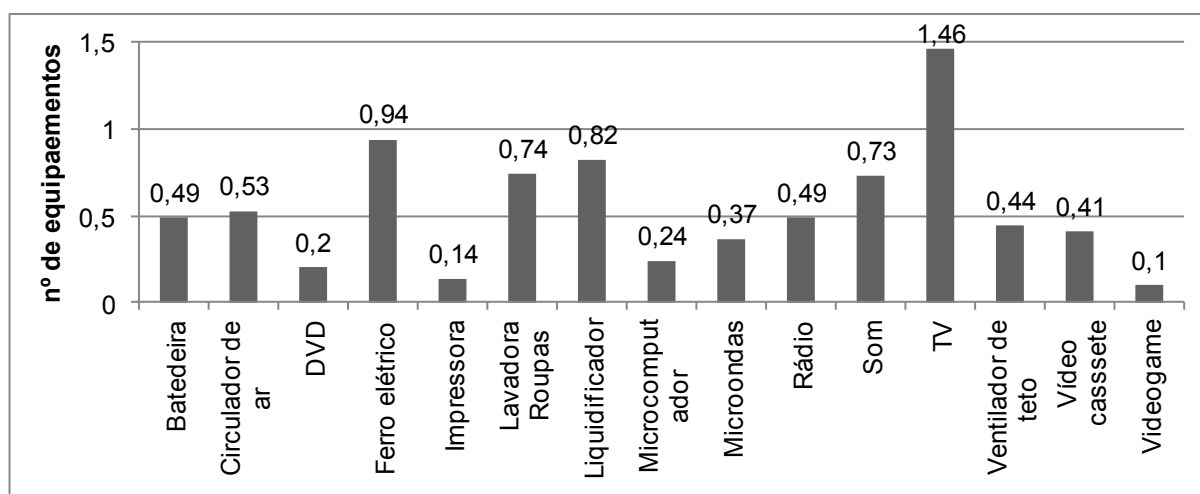
Os dados necessários para o cálculo do consumo de energia elétrica destinada aos serviços gerais e lazer são de difícil levantamento, devido à grande variedade de marcas e modelos existentes no mercado, à não padronização do consumo dos equipamentos e à própria evolução do desempenho energético dos equipamentos ao longo dos anos. Os valores considerados neste trabalho são apresentados no Quadro 2.2, que relaciona a potência nominal média dos equipamentos disponíveis no mercado, o número de horas anuais de uso e o consumo anual em kWh para os principais equipamentos utilizados no setor residencial, nas décadas de 80 e 90, do século XX, e a primeira década do século XXI.

---

Equipamento	1980			1990			2000		
	Potência (W)	Uso (h/ano)	Consumo (kWh/ano)	Potência (W)	Uso (h/ano)	Consumo (kWh/ano)	Potência (W)	Uso (h/ano)	Consumo (kWh/ano)
Aparelho de Som (3 em 1)	100	240	12	150	720	1081	80	720	57,6
Ar Condicionado (7.500 BTU's)	860	480	413	1.500	480	351	1000	1440	1440
Aspirador de Pó	583	75	44	750	120	90	100	120	12
Batedeira	200	18	4	150	48	7	120	48	5,76
Boiler	1500	–	–	25000	–	–	1500	2160	3240
Chuveiro Elétrico	3000	300	900	3.500	–	–	3500	240	840
Enceradeira	286	50	14	300	48	14	500	96	48
Ferro Elétrico	1000	155	155	1.000	144	144	1000	144	144
Fogão elétrico	4800	185	900	–	–	–	60	1800	108
Forno de Microondas	–	–	–	1.200	240	288	1200	120	144
Freezer	–	–	–	350	3600	1260	130	3600	468
Geladeira (1 porta)	186	3600	670	250	3600	900	90	1800	162
Lavadora de Louça	–	–	–	1500	240	360	1500	240	360
Lavadora de Roupa	600	104	62	700	144	101	500	144	72
Liquidificador	–	–	–	300	45	14	300	45	13,5
Máquina de Costura	80	240	19	100	120	12	100	360	36
Microcomputador	–	–	–	150	1080	162	120	1080	129,6
Rádio Elétrico	50	1211	60	–	–	–	10	3600	36
Secador de Cabelos	300	16	5	1000	60	60	1000	180	180
Secadora de Roupa	–	–	–	3.000	120	360	1000	96	96
TV a cores - 20"	140	1800	252	90	1800	162	90	1800	162
TV preto e branco	60	1800	108	–	–	–	40	1800	72
Ventilador / Circulador de ar	80	850	68	150	2880	432	120/90	2880	259/347
Vídeo Cassete	–	–	–	120	192	23	10	192	1,92
Vídeogame	–	–	–	–	–	–	15	720	10,8

**Quadro 2.2: Potência nominal e consumo anual dos principais eletrodomésticos**  
**Fonte: Elaborado a partir de dados de Arouca (1982), Achão (2003) e PROCEL<sup>7</sup>**

Na Região Sudeste, dos equipamentos relacionados no levantamento, os que possuem maior inserção no setor residencial são a televisão, o ferro elétrico, o liquidificador, a lavadora de roupas e o aparelho de som, como mostrado pelo Gráfico 2.9.



**Gráfico 2.9: Posse média de eletrodomésticos na Região Sudeste**  
**Fonte: ELETROBRAS/PROCEL (2007b)**

A Pesquisa de Posse Média de Eletrodomésticos (ELETROBRAS/PROCEL, 2007b) mostra que 97% dos domicílios possuem pelo menos um televisor e mostra ainda um elevado

<sup>7</sup> Potência média de aparelhos elétricos. Disponível em: <http://www.eletronbras.com/elb/procel/main.asp>. Acessado em: ago, 2009

percentual (81,7 %) de equipamentos com menos de 10 anos de uso. Esse dado indica que há, nesse caso, maior eficiência energética dos equipamentos e também aponta parâmetro para o tempo de vida útil dos mesmos. Além disso, os dados mostram uma acentuada utilização do equipamento, superior a 4 vezes por semana em 84,0 % dos entrevistados. Além da TV, o ferro elétrico é outro eletrodoméstico com alta inserção e uso. Sua posse média é 0,94 e o uso de 1 a 3 vezes por semana por 60,6 % dos entrevistados.

Em relação a esses eletrodomésticos é importante considerar a função *standby*. Atualmente, uma grande parcela dos eletrodomésticos está sendo fabricada com este recurso que permite o acionamento rápido do equipamento em sua função principal e à distância, através de controles remotos. Embora represente uma pequena parcela da energia consumida pelo aparelho, a sua utilização permanente e em larga escala, pode resultar em um aumento considerável no consumo de energia elétrica.

Conforme dados da ELETROBRAS/PROCEL (2007b), a televisão e o som são os equipamentos que possuem maior uso dessa função nos eletrodomésticos da Região Sudeste, o que é mostrado pelo Gráfico 2.10.

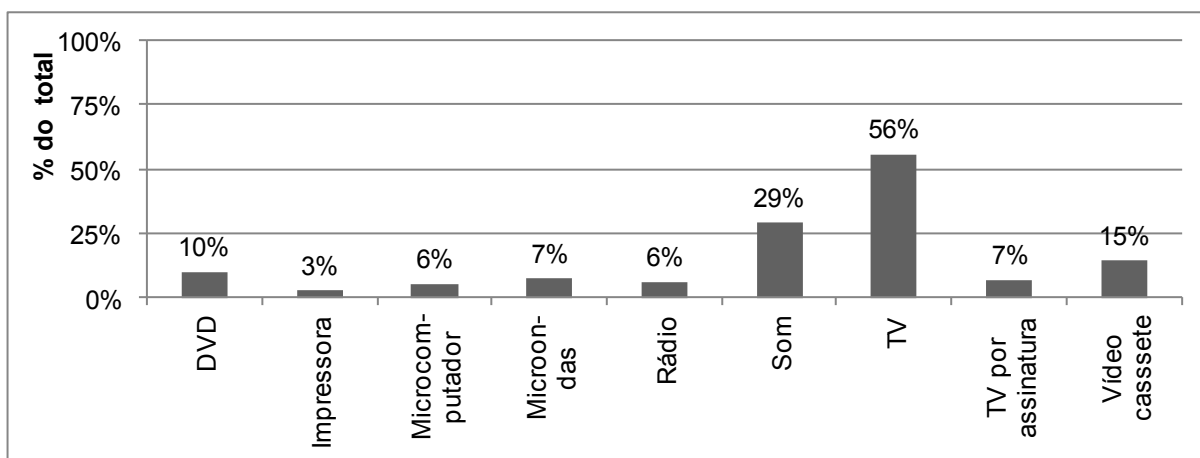


Gráfico 2.10: Uso da função *standby* nos eletrodomésticos.  
Fonte: ELETROBRAS/PROCEL (2007b)

Apesar da atual utilização da função *standby* em grande número de novos eletrodomésticos, ainda existem poucas informações disponíveis sobre o seu consumo de energia. Rodrigues e Mehl (2009) elaboraram um levantamento do consumo de energia de equipamentos na função *standby* em residências, que é resumido na Tabela 2.7. Apesar de ser um estudo baseado em uma amostra de 19 casas, este trabalho em campo apresenta aproximação com estudos maiores realizados em outros países.



Tabela 2.7: Percentual de consumo em relação ao consumo energético total do equipamento

Equipamento	% consumo	Equipamento	% consumo
Televisão	9,37%	Notebook	0,57%
DVD	0,65%	Impressora	0,12%
Som	1,09%	Fax	0,00%
Decodificador de TV a cabo	1,73%	Micro-ondas	7,83%
Video game	0,06%	Telefone sem fio	0,50%
Subwoofer para home theater	0,19%	Carregador de celular	0,10%
Video cassete	0,25%	Secretária eletrônica	0,07%
Computador	4,48%	Rádio relógio	0,28%
Monitor	2,21%		

Fonte: Rodrigues e Mehl (2009)

O consumo total da função *standby* pode ser obtido multiplicando-se esses percentuais pelos valores de consumos anuais, apresentados anteriormente no Quadro 2.2. Nesse estudo, será considerado apenas o consumo dessa função nos televisores, pois estes equipamentos têm grande inserção no setor residencial e rápida renovação. Além disso, ela está presente na totalidade dos novos equipamentos, seu percentual de consumo é elevado e os usuários tendem a deixar o equipamento ligado em *standby* quando não estão utilizando o aparelho.

### 2.3.8 Carga do setor residencial

Achão (2003) elabora comparações entre os resultados que obteve em sua pesquisa sobre o consumo de energia elétrica no Brasil, para o ano de 1996, com os obtidos por Arouca (1982), para o ano de 1975, que permitem avaliar a evolução do consumo de energia elétrica ao longo dessas duas décadas. A primeira comparação é a participação de cada uso final no consumo da energia elétrica de cada classe de renda, mostrada no Gráfico 2.11.

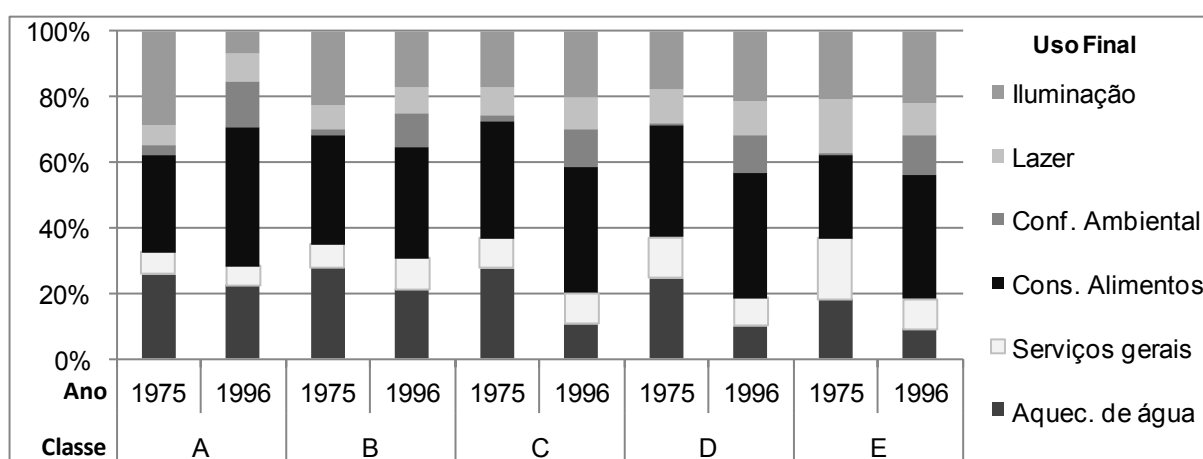


Gráfico 2.11: Participação dos usos finais no consumo de energia elétrica por classe de renda.  
Fonte: Adaptado de Achão (2003)

Antes de analisar esse gráfico, é importante ressaltar que os estudos adotam alguns parâmetros diferentes, como, por exemplo, a potência média do chuveiro elétrico, que no

estudo de Achão (2003) é consideravelmente menor que no estudo de Arouca (1982). Isso provavelmente causou a redução no consumo de energia para aquecimento de água, que foi observada em todas as classes de renda.

De modo geral, observa-se, por meio do Gráfico 2.12, que há uma redução no peso da iluminação artificial e incremento do peso do conforto ambiental no consumo de energia elétrica. Em todas as classes de renda, e em ambos os estudos, a conservação de alimentos é o uso final de maior impacto. Este uso é seguido, em importância, pela iluminação e pelo aquecimento de água, usos que possuem participação relativamente próxima e alternam, em importância, em função da classe e do estudo considerado.

Outra comparação realizada por Achão (2003) é a participação de cada classe de renda no consumo total de energia elétrica por uso final, apresentada no Gráfico 2.12. Percebe-se que, apesar das classes C, D e E representarem a grande maioria da população, consumiram aproximadamente 25% da energia elétrica do setor residencial nos dois estudos. Por outro lado, a classe com menor número de residências, a classe A, é responsável pelo consumo de mais de 50% da energia do setor.

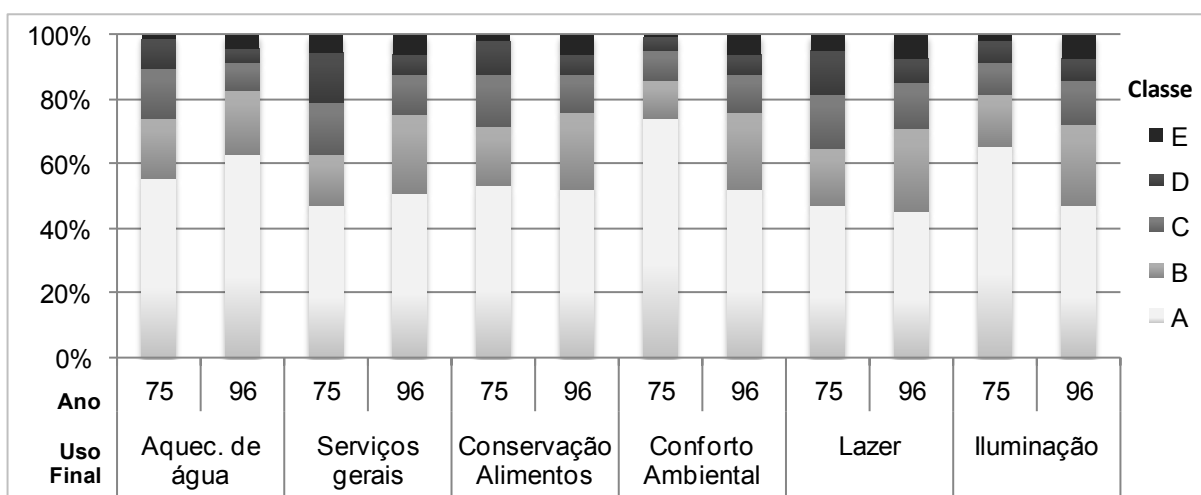
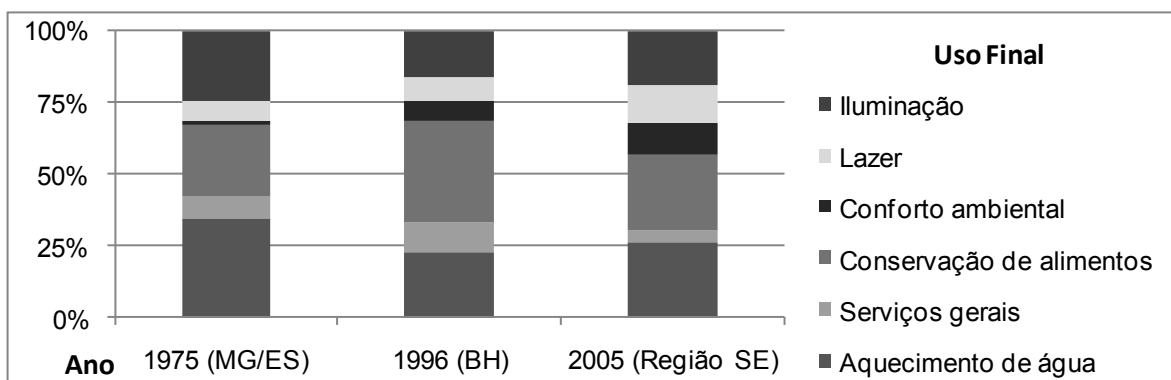


Gráfico 2.12: A participação de cada classe de renda no consumo total de energia elétrica por uso final. Fonte: Adaptado de Achão (2003)

Ao analisar a evolução do consumo de eletricidade por uso final, de 1975 para 1996, observa-se uma redução média de 5% nas classes “A”, “C” e “D” e um aumento médio da participação na classe “E” de 3,5% e, na classe “B” de 8%. Por uso final, a maior alteração ocorreu no conforto ambiental que passou a ter maior peso em todas as classes de renda.

Como uma aproximação dessa discussão ao caso de estudo deste trabalho, pode-se comparar o consumo de energia por uso final para Minas Gerais e Espírito Santo, em 1975 (AROUCA, 1982), com o consumo na Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH), em 1996

(ACHÃO, 2003) e com o consumo na Região Sudeste (ELETROBRAS/PROCEL, 2007b) por meio do Gráfico 2.13, apresentado abaixo.



**Gráfico 2.13: Evolução consumo de energia por uso final para Minas Gerais**  
 Fonte: Adaptado de Achão (2003) e ELETROBRAS/PROCEL (2007b)

Se for considerado que estes três estudos podem ser representativos do consumo de energia em Belo Horizonte e, portanto, comparáveis, observa-se uma tendência de redução da participação dos usos principais do setor, aquecimento de água, iluminação e conservação de alimentos, em contrapartida ao crescimento do uso relacionado ao bem-estar do usuário, lazer e conforto ambiental. Especificamente para a RMBH, a variação do consumo de energia elétrica por classe de renda é mostrada na Tabela 2.8.

**Tabela 2.8: Consumo médio mensal de energia elétrica por domicílio segundo a classe de renda, em Belo Horizonte, em 1996**

Classe	A	B	C	D	E
Consumo (kWh/mês)	309	243	169	153	123

Fonte: Achão (2003)

A curva de carga média para a Região Sudeste, no ano de 2005 (ELETROBRAS/PROCEL, 2007b) é apresentada abaixo no Gráfico 2.14. Nele observa-se que apesar de a demanda média diária de energia estar próxima a 250 Wh, durante o horário de ponta a demanda chega a dobrar, devido ao uso simultâneo de chuveiros, lâmpadas, sistemas de condicionamento de ar e televisão.

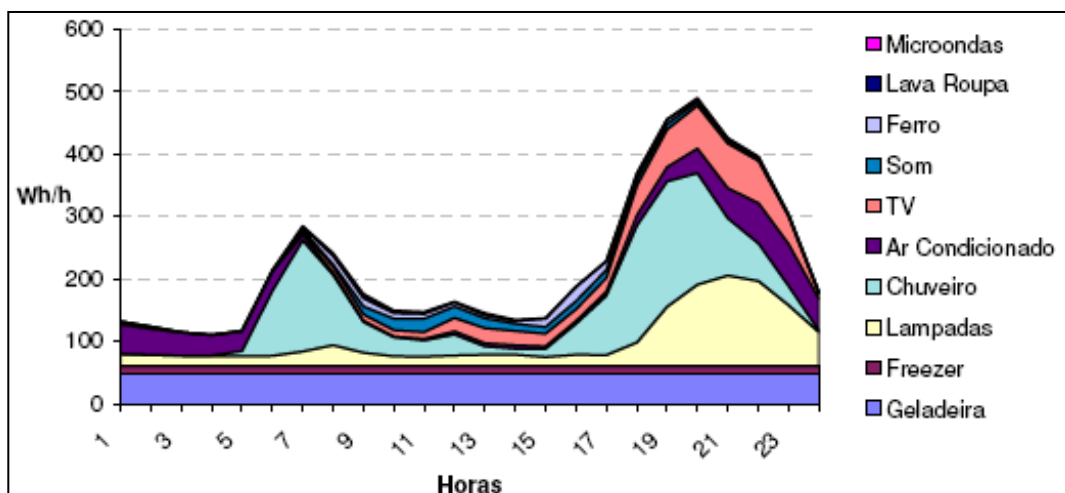


Gráfico 2.14: Curva de carga diária média na região Sudeste.  
Fonte: ELETROBRAS/PROCEL (2007b)

## 2.4 Projeções de crescimento energético

Neste item são apresentadas algumas projeções relacionadas com o consumo de energia do setor residencial, que serão utilizados como referência na elaboração e análise de cenários de consumo de energia para o setor residencial de Belo Horizonte. As informações aqui apresentadas foram obtidas do Plano Nacional de Energia 2030 (BRASIL, 2007b) e do Planejamento Energético Integrado do Estado de Minas Gerais – PEI 2030 (CEMIG, 2008). Além disso, algumas projeções foram realizadas pela Fundação João Pinheiro (FJP) e pelo Centro de Desenvolvimento e Planejamento Regional de Minas Gerais (CEDEPLAR). Os dados deste item servem como parâmetros na elaboração de projeções do crescimento da demanda do setor residencial mineiro.

### 2.4.1 Crescimento econômico

Os Gráficos 2.15 e 2.16 apresentam projeções para o crescimento da economia brasileira e mineira, respectivamente. O primeiro gráfico foi elaborado a partir de dados do Relatório do Ministério da Previdência Social (MPS) (BRASIL, 2008), que considera que o PIB brasileiro terá um crescimento real de 5,4% em 2007 e de 5,0% entre 2008 e 2011, de acordo com parâmetros definidos pela Secretaria de Política Econômica do Ministério da Fazenda. Para o período posterior, o estudo adota “a mesma hipótese de crescimento do PIB utilizada na projeção de longo prazo encaminhada à Secretaria do Tesouro Nacional para preparação do

Relatório de Execução Orçamentária exigido pela Lei de Responsabilidade Fiscal.” (BRASIL, 2008, p. 6).

O Gráfico 2.16 é apresentado no PEI 2030 para Minas Gerais (CEMIG, 2008) e considera que a taxa de crescimento do Estado será igual à nacional. O valor do PIB para o ano base dessa projeção, R\$166,6 bilhões, foi obtido pela FJP e se baseou no estudo do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), o que conduzirá a um crescimento da economia de 3,1 vezes até 2030, em comparação ao ano base, 2005.

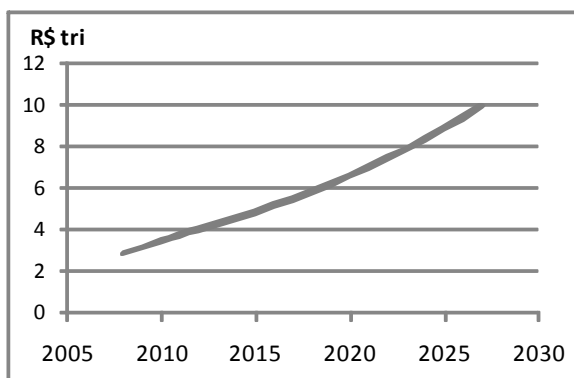


Gráfico 2.15: Projeção do crescimento do PIB brasileiro

Fonte: BRASIL (2008)

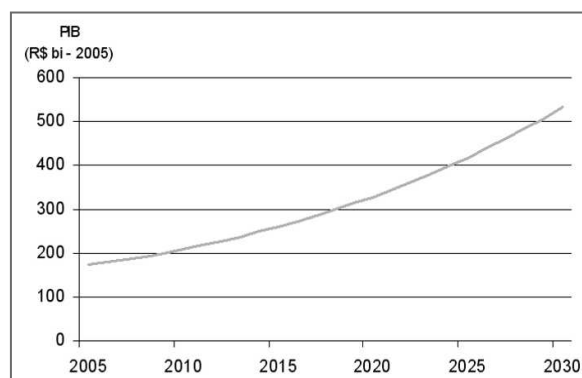


Gráfico 2.16: Projeção do crescimento do PIB mineiro

Fonte: CEMIG (2008)

O gráfico seguinte, Gráfico 2.17, foi elaborado pelo PNE 2030 (BRASIL, 2007b) e mostra além da taxa média de crescimento do PIB, entre 1970 a 2005, a do consumo de energia brasileiro, entre 1980 a 2005 e as taxas consideradas em cada cenário de evolução do consumo de energia.

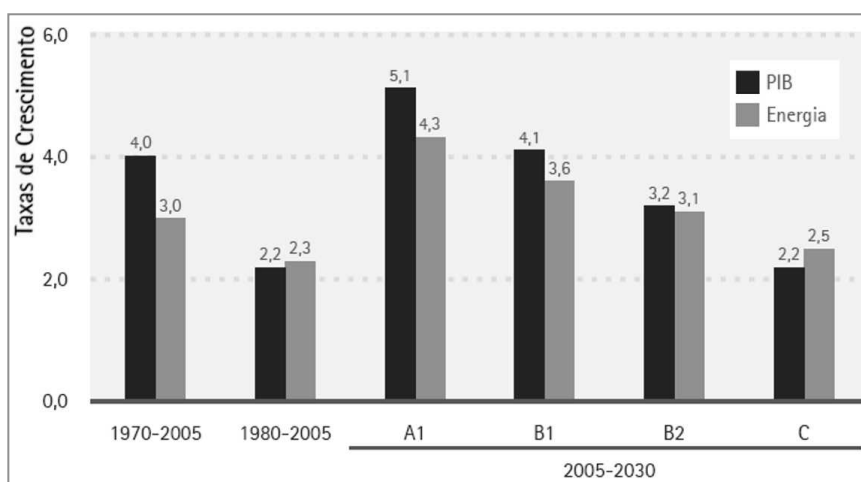


Gráfico 2.17: Taxas Médias de Crescimento do PIB e de Energia

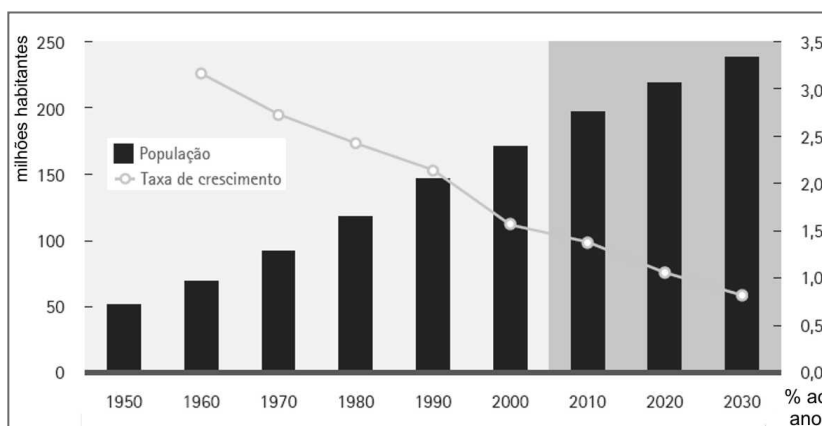
Fonte: BRASIL (2007b, p. 62)

Nos três estudos anteriormente apresentados, as taxas médias de crescimento do PIB estão próximas, em torno de 3,5% ao ano, mesmo tendo sido elaborados por institutos diferentes.

## 2.4.2 Crescimento populacional

O estudo do crescimento populacional de uma região é determinado pela análise das suas taxas de mortalidade, de natalidade e pelos fluxos migratórios com origem ou destino a essa região. A taxa de mortalidade refere-se ao número de óbitos registrados em um período de tempo e está relacionada à expectativa de vida da população. A taxa de natalidade é o número de nascimentos registrado num ano. Está relacionada com a taxa de fecundidade, dada pelo o número de filhos gerados por mulher. Os fluxos migratórios referem ao número de pessoas que entram (imigração) ou saem (emigração) de uma região. Conforme observado por Caetano e Rigotti (2008, p.22), “as tendências da fecundidade, mortalidade e migração são influenciadas por processos econômicos, sociais, culturais e políticos tanto internos quanto externos às fronteiras do território em que vive determinada população”.

Os gráficos apresentados nesse item mostram os resultados de algumas projeções de crescimento demográfico realizadas para o Brasil, Minas Gerais e Belo Horizonte. A primeira projeção, Gráfico 2.18, refere-se ao crescimento da população brasileira, de 2005 a 2030, e foi elaborada pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), para o PNE 2030 (BRASIL, 2007b).

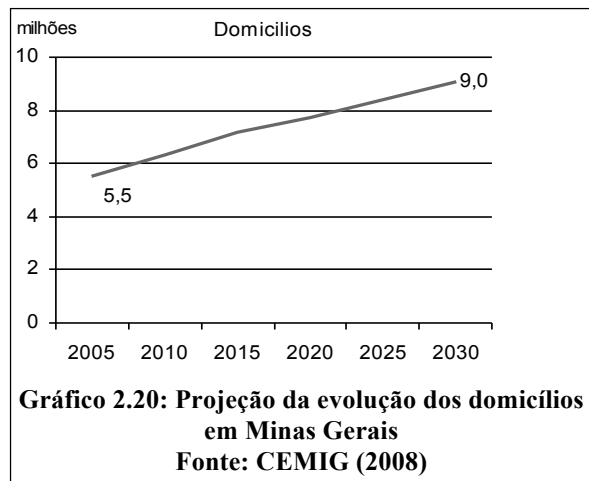
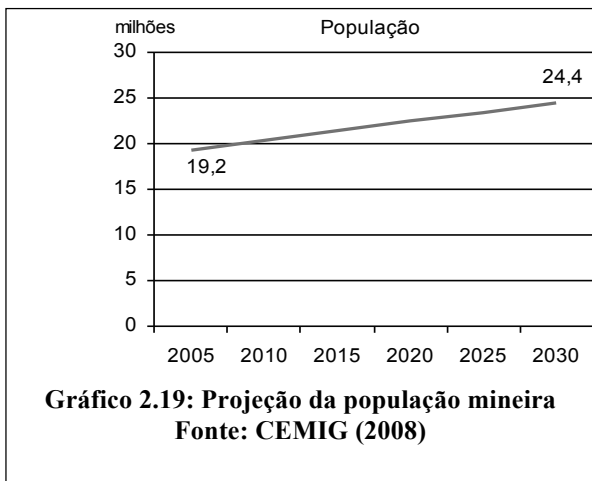


**Gráfico 2.18: Brasil - Crescimento Demográfico**  
Fonte: BRASIL (2007b, p. 45)

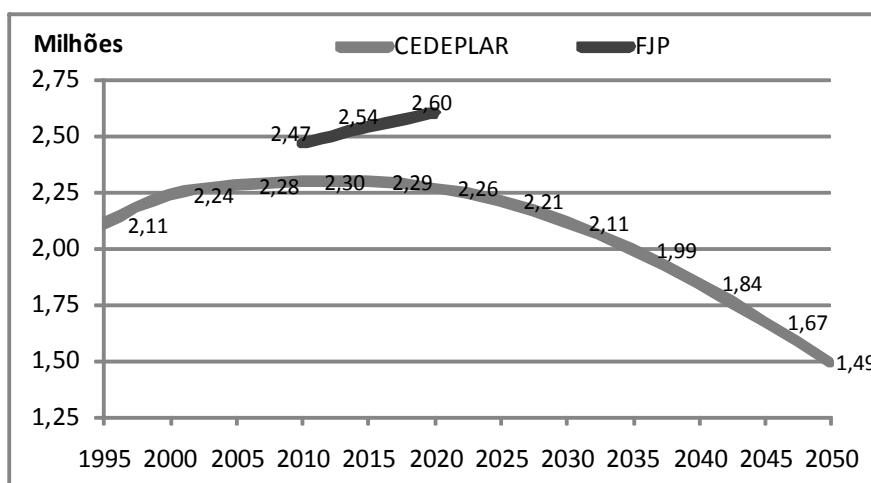
Nesse gráfico, a trajetória do ritmo de crescimento é continuamente decrescente, o que reflete dados dos últimos censos demográficos. Entre 2000 e 2010, o estudo estima uma taxa de expansão populacional de aproximadamente 1,4% ao ano, que cai para 1,1% ao ano e 0,8% ao ano nos períodos 2010-2020 e 2020-2030, respectivamente.

Para Minas Gerais, a curva do Gráfico 2.19, apresentada pela CEMIG (2008), foi baseada na projeção da população brasileira elaborada pelo IBGE e considera que o Estado terá, em 2030, 24,4 milhões de habitantes. Esse trabalho ainda mostra outro aspecto interessante para o consumo de energia residencial: o crescimento do número de domicílios superior ao da

população. Isso será causado pela redução do número médio de moradores por domicílio, da ordem de 0,1 morador por domicílio a cada 5 anos, a partir de 2015. Essa informação é exibida no Gráfico 2.20.



O Gráfico 2.21 apresenta projeções para o crescimento da população do município de Belo Horizonte elaboradas pela FJP e pelo CEDEPLAR. No estudo da FJP (MINAS GERAIS, 2009), a estimativa futura da população se baseou em adaptação do método utilizado pelo IBGE na estimativa da população dos municípios brasileiros. A fonte de dados utilizada foi o Censo Demográfico de 2000 e a Contagem de População de 2007. O horizonte da projeção populacional adotado foi de 2009 a 2020. O estudo do CEDEPLAR (CEDEPLAR; LABES/FIOCRUZ, 2008) possui um horizonte maior, de 1995 a 2050 e também se baseou em dados do IBGE. Porém, esse estudo possui premissas diferentes: ele mostra que a população do município está se aproximando de um número máximo de habitantes, que deverá ocorrer até 2015, momento a partir do qual o número de habitantes deverá se reduzir.



**Gráfico 2.21: Projeções de crescimento da população do município de Belo Horizonte**  
Fonte: CEDEPLAR; LABES/FIOCRUZ (2008) e MINAS GERAIS (2009)

A aparente discrepância entre essas projeções pode ser explicada pelas diferentes premissas adotadas. Os valores obtidos pela FJP foram baseados na tendência histórica de crescimento populacional, enquanto que a curva gerada pelo CEDEPLAR considera, além do crescimento vegetativo do município, as mudanças ocorridas nos fatores locais como a taxa de fecundidade e os fluxos migratórios.

De acordo com Caetano e Rigotti (2008), os níveis de fecundidade do município já se encontram bastante baixos, sendo que a taxa de fecundidade total estava abaixo do nível de reposição<sup>8</sup>, desde o início da década de 1990 e permaneceram em declínio até 2000, ano final dessa pesquisa.

Com relação aos fluxos migratórios que ocorrem dentro da RMBH, Matos e outros (2005) mostram a tendência dos fluxos migratórios de dispersão demográfica no interior da região metropolitana. Os autores destacam que “os dados relativos ao ano 2000 indicam que aumenta sobremaneira o número de municípios que receberam imigrantes procedentes de Belo Horizonte” (p. 3), o que torna a cidade o principal local de emigração da RMBH, para os demais municípios que a constituem.

Além disso, observa-se que o município tem sofrido uma redução na sua influência de atração de fluxos migratórios, ocasionado pelo crescimento de outros centros regionais no interior de Minas Gerais (CEDEPLAR; LABES/FIOCRUZ, 2008). Os fluxos emigratórios, com origem na RMBH, passaram por aumento em termos absolutos e relativos, destacando como locais preferenciais as cidades de Montes Claros, Uberlândia, Juiz de Fora e Governador Valadares (CAETANO, RIGOTTI; 2008).

Nesse contexto, Belo Horizonte deverá passar nos próximos anos por um processo de estagnação demográfica ou até declínio, causada pela redução no tamanho das famílias e pelos deslocamentos populacionais para outras localidades. Portanto, o estudo elaborado pelo CEDEPLAR (CEDEPLAR; LABES/FIOCRUZ, 2008) apresenta melhor contextualização com as questões demográficas municipais, sendo escolhido para embasar as projeções de crescimento do consumo de energia locais.

---

<sup>8</sup> Em geral, na demografia, considera-se que dois filhos por mulher é a taxa fecundidade de reposição, pois produz, a longo prazo, um crescimento nulo da população.

---



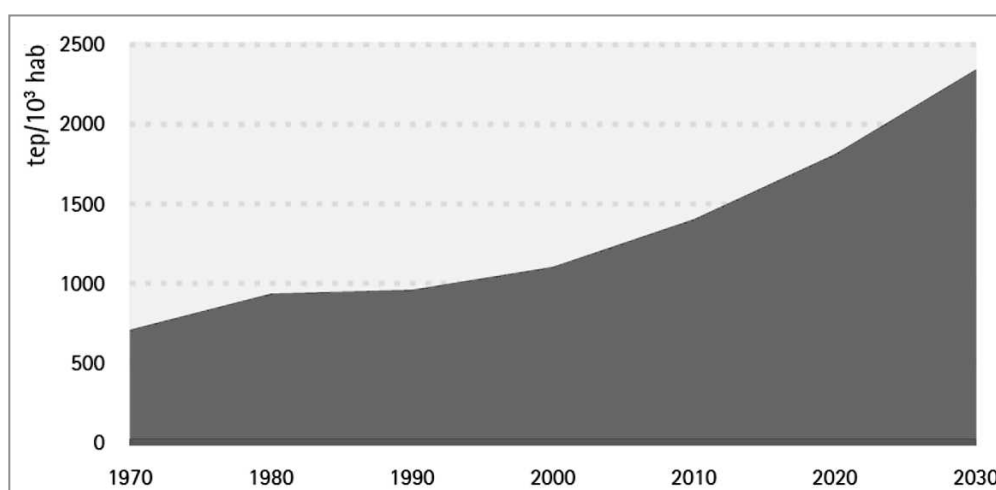
### 2.4.3 Consumo de energia

A projeção feita no PNE 2030 indica que a demanda de energia per capita no Brasil seguirá trajetória de crescimento, contudo haverá uma redução, menos acentuada, na intensidade energética. Isso significa que, apesar do consumo por habitante se elevar, será necessário menos energia para se produzir a riqueza do país, ou seja, seu PIB. Esses dados são apresentados na Tabela 2.9, que mostra a projeção da intensidade energética e da demanda per capita para o Brasil nas próximas décadas, e logo após, no Gráfico 2.22, que exibe a curva com a evolução da demanda de energia per capita, de 1970 a 2030. Em ambas as ilustrações, a demanda de energia é dada em toneladas equivalentes de petróleo – tep.

**Tabela 2.9: Projeção da oferta interna de energia brasileira**

	Unidade	2005	2010	2020	2030
Intensidade energética	tep /10 <sup>3</sup> US\$	0,275	0,292	0,288	0,261
Demanda per capita	tep /10 <sup>3</sup> hab	1.187	1.409	1.802	2.326

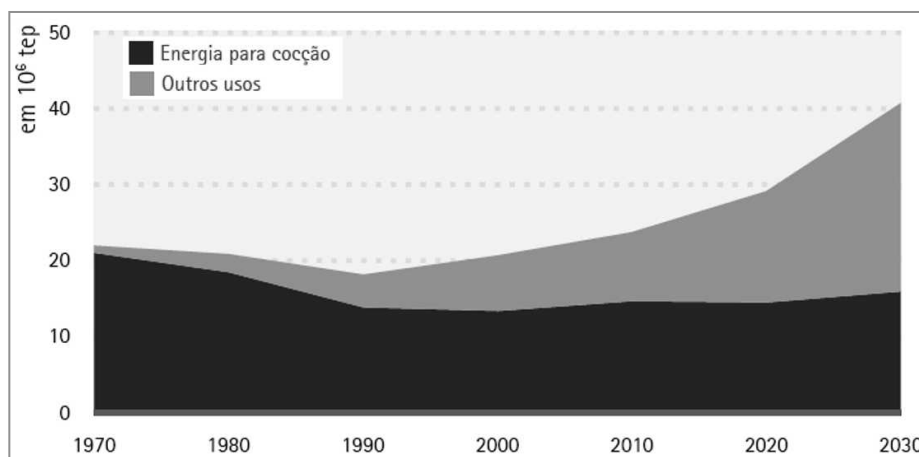
Fonte: BRASIL (2007b)



**Gráfico 2.22: Evolução da demanda de energia per capita (em tep /10<sup>3</sup> hab)**

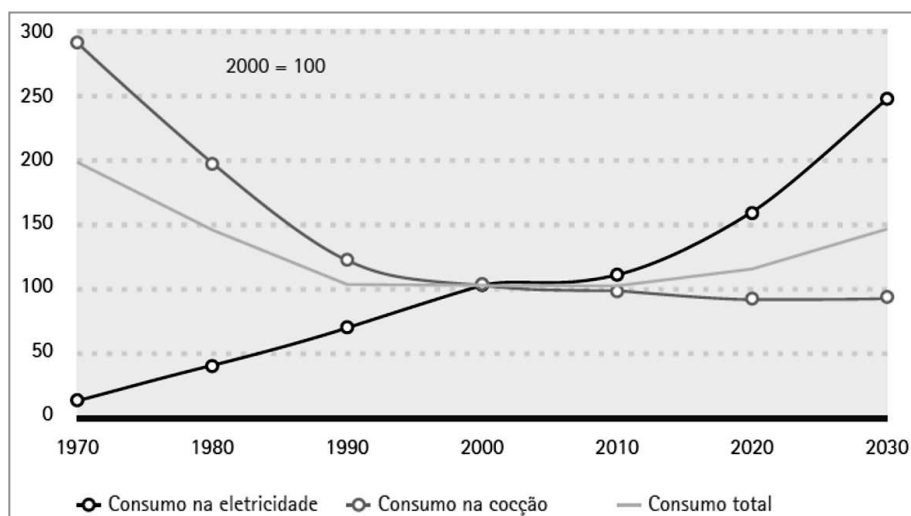
Fonte: BRASIL (2007b, p. 375)

Nesse estudo, o setor residencial é o que apresenta maior crescimento no período. Isso ocorrerá por causa das hipóteses implícitas ao cenário macroeconômico consideradas, dentre elas o aumento real da renda e a melhor distribuição da mesma. Visto que isso terá reflexos naturalmente nas famílias de baixa renda, ocorrerá crescimento da posse de aparelhos eletrodomésticos. Além disso, esse estudo também aponta que o crescimento do número de domicílios terá ritmo maior do que o da população. A curva da evolução do consumo de energia para cocção e outros usos, obtida no PNE 2030, é mostrada no Gráfico 2.23.



**Gráfico 2.23: Evolução do uso da energia no setor residencial (em 10<sup>6</sup> tep)**  
 Fonte: BRASIL (2007b, p. 380)

A variação do consumo de energia em comparação ao consumo do ano de referência do PNE 2030, 2005, é dada no Gráfico 2.24. Por essa variação observa-se a tendência histórica, já apontada no item 2.3.1, de redução do consumo de combustíveis para cocção e crescimento do consumo de energia elétrica. A redução dos combustíveis relaciona-se à substituição da lenha por GLP, ou gás, e o crescimento do uso de eletricidade com o aumento da posse média de eletrodomésticos.



**Gráfico 2.24: Dinâmica do uso da energia no setor residencial**  
 Fonte: BRASIL (2007b, p. 381)

No futuro, o consumo para a cocção deverá permanecer próximo ao nível de 2005, sofrendo apenas uma leve redução até o final do horizonte. Já o consumo de energia elétrica terá crescimento lento até 2010, ano a partir do qual será impulsionado, atingindo taxa de crescimento superior à histórica.

Apesar dessa forte elevação, o estudo ressalta que os valores projetados do consumo médio residencial ainda são muito baixos, quando comparados com padrões internacionais. O estudo

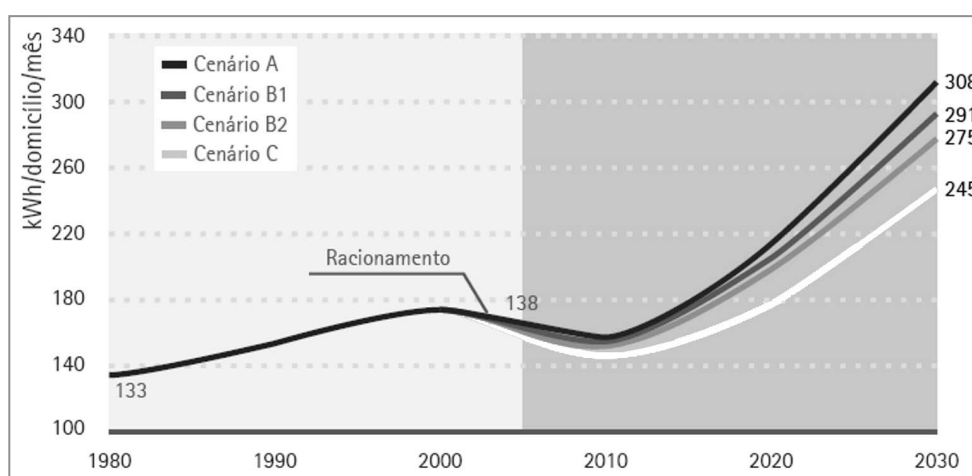
ressalta ainda, que, novamente, essa evolução está diretamente ligada à melhor distribuição de renda, fator que funciona como elemento impulsionador do consumo residencial. A Tabela 2.10 mostra a evolução, para este setor, dos indicadores de consumo de energia elétrica total e para cocção.

**Tabela 2.10: Indicadores de consumo final energético do setor residencial**

	Unidade	2005	2010	2020	2030
Consumo de energia per capita	tep/hab	0,118	0,122	0,137	0,175
Consumo para cocção <sup>9</sup> per capita	tep/hab	0,079	0,075	0,066	0,067
Consumo de eletricidade per capita	MWh/hab	0,449	0,532	0,768	1,188

Fonte: BRASIL (2007b, p. 381)

Em relação à energia elétrica, o consumo médio residencial teve seu máximo histórico em 1998, atingindo o valor de aproximadamente 179 kWh por domicílio por mês. Contudo, o racionamento causou forte redução no consumo, por isso a projeção realizada pela EPE parte do valor de 138 kWh, em 2005, e alcança valores que oscilam entre 245 e 308 kWh por domicílio por mês, no final do horizonte, de acordo com o cenário de crescimento considerado<sup>10</sup>. Essa trajetória é apontada no Gráfico 2.25 que ilustra a evolução do consumo médio residencial de eletricidade por domicílio ocupado, em cada um dos cenários.



**Gráfico 2.25: Consumo médio residencial por cenário (kWh/domicílio/mês).**

Fonte: BRASIL (2007b, p. 186)

<sup>9</sup> Inclui GLP, gás canalizado (inclusive gás natural), lenha e carvão vegetal

<sup>10</sup> No PNE-2030, o Cenário A, considera que o país potencializa suas forças e remove os principais obstáculos ao crescimento, aproveitando o contexto externo extremamente favorável. Este cenário é caracterizado por um elevado nível de desenvolvimento econômico, marcado por uma gestão macroeconômica mais eficaz. Os Cenários B1 e B2 refletem o reconhecimento de que um cenário externo relativamente favorável não é garantia para sustentar um crescimento doméstico. A diferença básica entre essas visões se refere à eficácia do país na administração das forças e na sua capacidade de superar os obstáculos. No Cenário C, o país se ressent de um cenário mundial conturbado, onde os fluxos de capitais são virtualmente interrompidos e o comércio internacional se expande a taxas modestas. Nesse contexto, a economia internacional tem baixo crescimento e o crescimento do Brasil é igual à média mundial.

#### 2.4.4 Consumo de energia mineiro

De acordo com as projeções realizadas no PEI 2030 (CEMIG, 2008), o consumo de energia no setor residencial mineiro deverá manter-se, na média, próximo do consumo do ano base, 2005, no Cenário de Referência. Neste, o movimento do consumo energético seguirá as tendências existentes, enquanto que no Cenário Alternativo, o consumo do setor sofrerá mudanças estruturais, sendo influenciado pela promoção de práticas mais eficientes no uso da energia, melhoria das condições gerais de vida da população e utilização de tecnologias menos poluentes. A curva de evolução do consumo de ambos os cenários é apresentada abaixo no Gráfico 2.26.

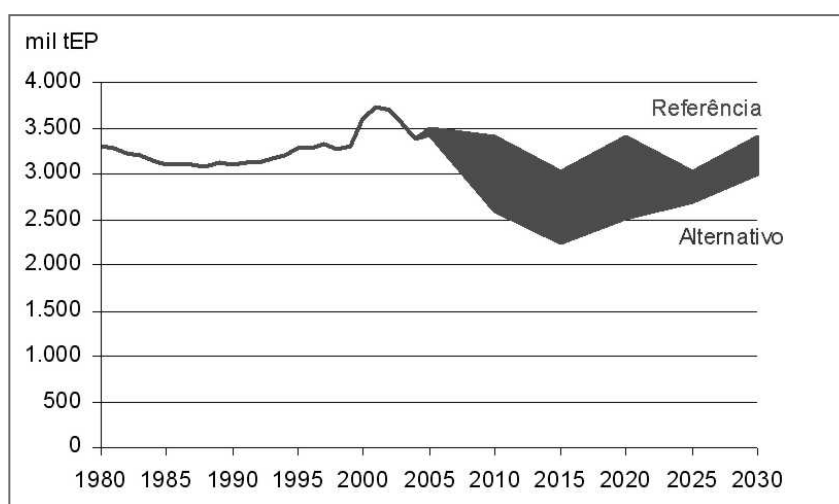


Gráfico 2.26: Projeção do consumo de energia elétrica para o setor residencial mineiro.  
Fonte: CEMIG (2008)

É possível notar que, no Cenário Alternativo, haverá uma forte redução no consumo de energia até o ano 2015 e, a partir dele, acontecerá um retorno do crescimento. No entanto, o consumo total, no final do horizonte, ainda será menor do que o do ano base. Ambas as tendências observadas nos cenários têm forte relação com a substituição da lenha por fontes mais eficientes, como o GLP, sendo que ela ocorrerá de modo intensificado no cenário alternativo. A composição do consumo no setor residencial, vista abaixo no Gráfico 2.27, mostra esse comportamento dos energéticos nos dois cenários.

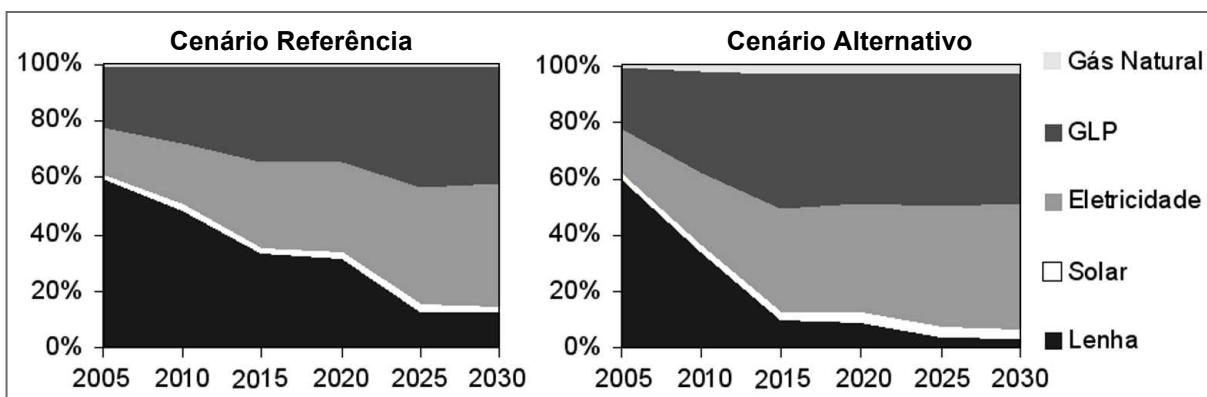


Gráfico 2.27: Setor residencial - composição do consumo energético.  
 Fonte: CEMIG (2008)

Em relação ao uso de energia elétrica no setor residencial mineiro, o PEI 2030 indica que haverá crescimento em ambos os casos projetados, causado pelo aumento da posse de eletrodomésticos nas residências e pelo crescimento do número de domicílios superior ao número de habitantes. Abaixo, o Gráfico 2.28 exibe a projeção do consumo de energia elétrica do setor residencial mineiro nos dois casos.

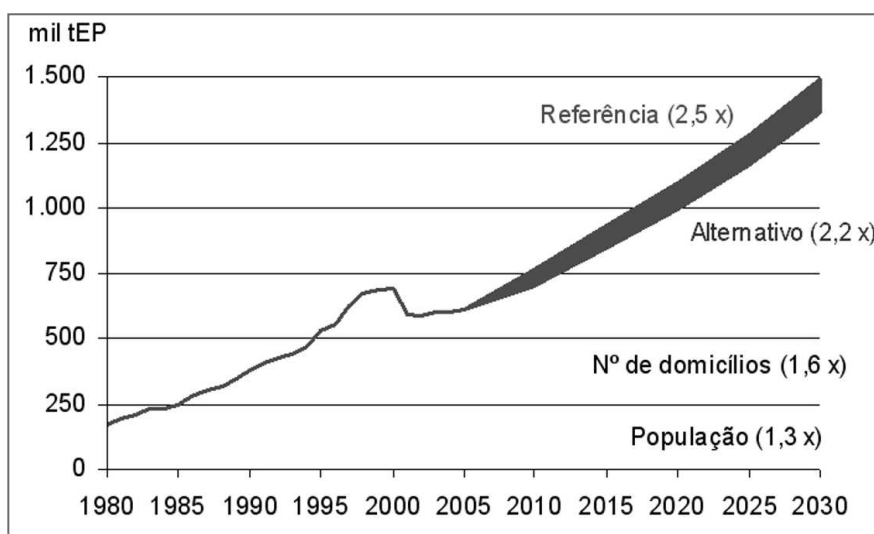


Gráfico 2.28: Projeção do consumo de energia elétrica do setor residencial mineiro.  
 Fonte: CEMIG (2008)

No Cenário de Referência, a taxa de crescimento é mais elevada, seguindo aproximadamente a tendência histórica, o que levará a um consumo 2,5 vezes superior ao ano base, 2005. Já no Cenário Alternativo, essa taxa é um pouco menor devido às medidas de aumento de eficiência no setor e o consumo será 2,2 vezes maior. Como indicado pelo Gráfico 2.29, seja qual for a hipótese considerada, haverá crescimento do consumo de energia por domicílio.

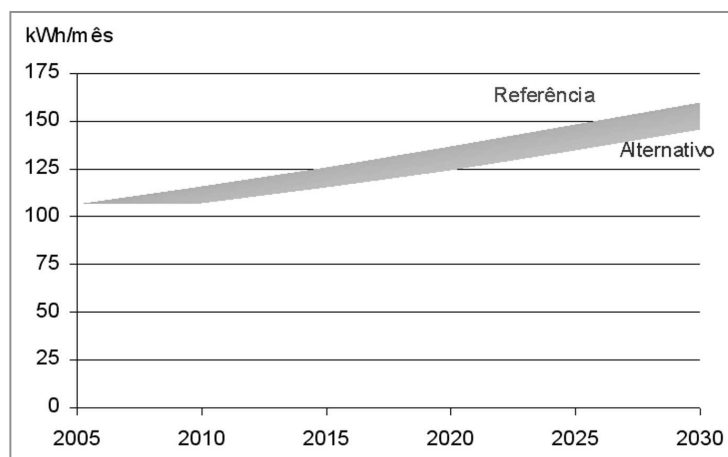


Gráfico 2.29: Projeção do consumo médio de energia elétrica por residência em Minas Gerais.  
Fonte: CEMIG (2008)

### 2.4.5 Considerações para o município de Belo Horizonte

A partir da análise das projeções de crescimento relacionadas ao consumo de energia no setor residencial brasileiro e mineiro, é possível gerar algumas tendências para o setor no município de Belo Horizonte:

- a) O município terá um crescimento populacional lento nos próximos anos e, mais futuramente, o número de habitantes diminuirá;
- b) Contudo, deverá ocorrer um aumento do número de domicílios, devido à tendência observada de menor número de moradores por residência;
- c) O município segue uma tendência de crescimento econômico, que leva a uma elevação do PIB per capita superior à variação nacional;
- d) Visto que praticamente não há o consumo de lenha pelo setor residencial de Belo Horizonte, a elevação do consumo de GLP deverá ocorrer, mas de modo mais lento que a tendência do setor residencial mineiro. Cabe lembrar que mudanças de hábitos poderão causar mudanças estruturais no consumo de GLP, como a substituição do preparo da refeição pela compra do alimento já preparado;
- e) Em relação à energia elétrica, o consumo deverá ser impulsionado pelo aumento da posse de eletrodomésticos, causado pelo crescimento da renda per capita. Nas classes de menor poder aquisitivo, deverá ocorrer a saturação de eletrodomésticos que ainda não foi alcançada. Já nas classes de maior poder aquisitivo, deverá ocorrer elevação do número de equipamentos relacionados ao lazer e ao bem estar.

---

## 3 CARACTERIZAÇÃO ESPACIAL E SOCIOECONÔMICA BÁSICA DA ÁREA DE ESTUDO

---

### 3.1 A cidade de Belo Horizonte

Belo Horizonte é um município brasileiro, tendo a cidade sede sido fundada em 12 de dezembro de 1887 para ser a capital política e administrativa do estado de Minas Gerais. Está localizada na latitude 19°55' S e longitude 43°56' W, possui uma área de 331 quilômetros quadrados. Sua localização no estado e no país é apresentada na Figura 3.1.

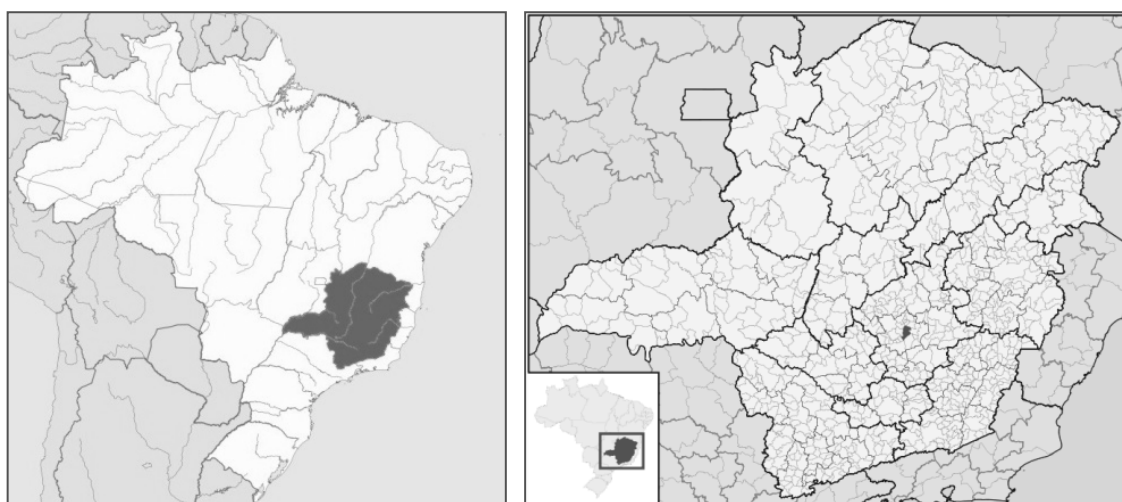


Figura 3.1: Localização de Minas Gerais<sup>11</sup> e de Belo Horizonte<sup>12</sup> no Brasil  
Fonte: Wikipedia website (2010)

Projetada pelo engenheiro Aarão Reis, entre 1894 e 1897, a cidade de Belo Horizonte foi uma das primeiras cidades brasileiras planejadas. Os idealizadores do projeto previram que a cidade alcançaria a marca de 100 mil habitantes quando completasse 100 anos, mas a expansão urbana extrapolou esse plano original. De acordo com o último censo, a população do município era de 2.238.526 habitantes no ano 2000, sendo então cerca de 12% da população mineira e a sexta cidade mais populosa do país. É o município sede da Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH), formada por mais 32 municípios, que atualmente possui uma população estimada em 5.397.438 habitantes (IBGE, 2007a) - 30% da população

---

<sup>11</sup> Disponível em: [http://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Brazil\\_location\\_map.svg#filehistory](http://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Brazil_location_map.svg#filehistory)

<sup>12</sup> Disponível em: [http://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:MinasGerais\\_Municip\\_BeloHorizonte.svg](http://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:MinasGerais_Municip_BeloHorizonte.svg)

---

estimada do estado em 2007 - sendo a terceira maior metrópole brasileira em contingente populacional.

A capital mineira é o local escolhido neste trabalho para o desenvolvimento do modelo de consumo de energia, sendo o consumo de energia do seu setor residencial o caso de estudo, conforme exposto na introdução. Sua escolha se justifica pela existência de grande diversidade de dados consolidados e confiáveis para esta cidade, assim como pelo impacto do seu consumo de energia na matriz energética mineira. Este capítulo apresentará nos próximos itens a evolução histórica do consumo de energia municipal, assim como o comportamento de variáveis que podem influir no consumo energético dentro do município.

O próximo item aborda a evolução do consumo de energia municipal associada a fatores socioeconômicos. O item 3.3 apresenta a subdivisão espacial que será adotada no modelo de consumo energético desenvolvido para o município. O item seguinte, 3.4, mostra a evolução de variáveis socioeconômicas na escala apresentada anteriormente, gerando uma base de dados socioeconômicos que visa subsidiar estudos de consumo de energia em escala intra-urbana. Por fim, o item 3.5 apresenta a legislação, vigente até o ano de 2010, que regula a ocupação do solo municipal.

## **3.2 Relação histórica entre energia e socioeconomia no município**

É conhecida a influência de fatores econômicos no comportamento do consumo de energia em todos os setores, inclusive o residencial. Contudo, adotar a hipótese de que a relação entre a demanda de energéticos e o crescimento econômico observada em escala nacional seja válida também em estudos regionalizados pode levar a graves imprecisões. Primeiramente porque a economia do Estado, ou do Município, pode ter desempenho diferenciado do restante da economia nacional num mesmo período de tempo. Além disso, a resposta do consumidor local a momentos de crescimento ou crise econômica, em termos de demanda de energéticos, pode ser outra que a da média nacional. Para avaliar essa influência na demanda do setor residencial de Belo Horizonte, nos subitens seguintes serão apresentados gráficos mostrando a evolução do PIB, da demanda de energia elétrica e do consumo de GLP, assim como a evolução da população, nos respectivos subitens, no setor residencial brasileiro, mineiro e no município de Belo Horizonte.

---



### 3.2.1 A evolução do PIB per capita

O PIB representa a soma de todos os bens e serviços produzidos numa determinada região, durante um período. É um indicador macroeconômico frequentemente utilizado para avaliar o crescimento econômico de uma região.

O primeiro gráfico deste item, Gráfico 3.1, mostra a evolução do PIB nos três setores residenciais. Para a elaboração desse gráfico, foram extraídas informações referentes ao PIB dos relatórios do IBGE (2005, 2007) e do Balanço Energético Nacional (BEN) (BRASIL, 2009). Para separar a influência do crescimento populacional e da desvalorização monetária, esses valores são apresentados em Reais por habitante, convertidos a preços de 2007, por meio do deflator do PIB, calculado pelo IBGE (2004, 2008), para Minas Gerais e Brasil. Para o município de Belo Horizonte, foi utilizado o Índice Geral de Preços do Mercado (IGP-M), Fundação Getúlio Vargas (FGV)<sup>13</sup>.

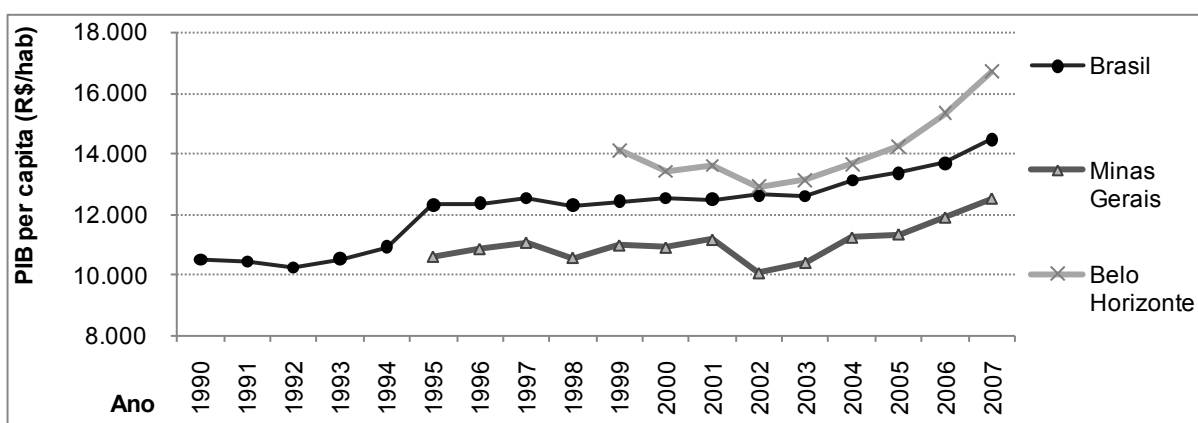


Gráfico 3.1: Evolução do PIB per capita do Brasil, de Minas Gerais e de Belo Horizonte.  
Fonte: Elaboração própria a partir de dados do BEN 2009 e IBGE (2004, 2005, 2007 e 2008)

Por esse gráfico é possível observar que a economia brasileira passou por um período de relativa estagnação econômica, entre os anos de 1994 e 2003, no qual o PIB per capita ficou próximo a 12.500 reais, tendo em seguida uma sequência de crescimento contínuo.

A economia mineira também passou por estagnação econômica entre 1995 e 2001, sofrendo queda entre 2001 e 2002 e crescimento após 2003. Já em Belo Horizonte, a série<sup>14</sup> adotada compreende o período de 1990 a 2007. Apesar de não ser uma série tão longa, ocorre nesse período o efeito da crise econômica e do racionamento de energia elétrica, até 2003, e crescimento, após 2003. No horizonte temporal considerado, as economias nos três âmbitos –

<sup>13</sup> Disponível no Portal Brasil: <http://www.portalbrasil.net/igpm.htm>, Acessado em jun. 2009.

<sup>14</sup> As séries temporais do Gráfico 3.1 foram definidas de acordo com a disponibilidade de dados.

federal, estadual e municipal – tendem a ter comportamentos semelhantes, passando por um crescimento contínuo desde 2003.

### 3.2.2 O consumo de energia elétrica

Em 2007, o consumo do setor residencial de energia elétrica foi de 1.345 GWh em Belo Horizonte, o que representou 18 % do consumo residencial estadual (7.376 GWh) e 1,4 % do consumo residencial brasileiro (90.881 GWh) neste mesmo ano.

No Gráfico 3.2, é apresentada a evolução do consumo per capita de eletricidade do setor residencial para o Brasil, Minas Gerais e Belo Horizonte. Os dados de consumo brasileiro e mineiro utilizados para sua elaboração foram extraídos do BEN 2009 (Brasil, 2009). Os dados de Belo Horizonte foram cedidos pela Companhia Energética de Minas Gerais, CEMIG.

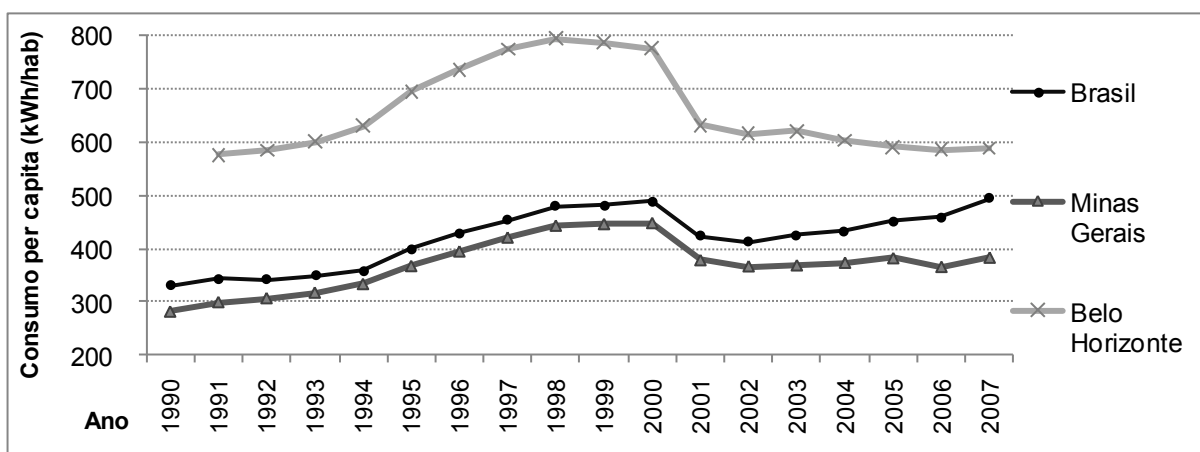


Gráfico 3.2: Evolução do consumo per capita de eletricidade no Brasil, em Minas Gerais e em Belo Horizonte – Fonte: Elaboração própria a partir de dados do BEN 2009, informações cedidas pela CEMIG e IBGE (2004 - 2007)

Neste gráfico pode-se observar que o consumo per capita de energia teve comportamento muito semelhante nos três setores residenciais, até o ano de 2001, mantendo-se a proporção entre elas. A partir desse ano, quando ocorreu a crise de abastecimento de energia elétrica, o consumo do setor mineiro e de Belo Horizonte seguiu tendência oposta ao do setor brasileiro. Enquanto este último retomou a trajetória de crescimento logo após 2002, o consumo mineiro cresceu de modo mais lento. Em Belo Horizonte, ao contrário dos outros dois setores, desde 2001 o consumo per capita residencial permaneceu em queda quase contínua.

O Gráfico 3.3 mostra a evolução histórica do consumo de energia residencial por PIB gerado na economia local. Por este gráfico é possível observar que durante a década de 90 do século XX o consumo de energia por PIB estava crescendo, apesar da economia não estar passando por um período de crescimento nos três âmbitos da federação.

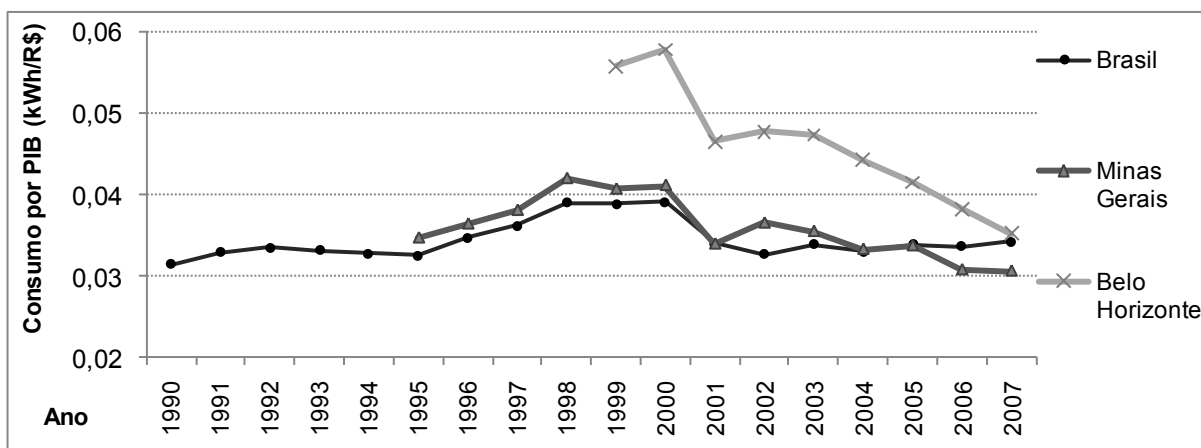


Gráfico 3.3: Evolução do consumo de energia elétrica do setor residencial por PIB.

Fonte: Elaboração própria a partir de dados do BEN 2009, informações cedidas pela CEMIG e IBGE (2004 - 2007)

A tendência observada acima foi interrompida com a crise de abastecimento de 2001 e, a partir desse momento, as trajetórias assumiram tendências opostas: o consumo por PIB nacional retomou o crescimento, embora tenha adquirido uma taxa inferior à observada na década anterior, enquanto o consumo por PIB mineiro e de Belo Horizonte sofreu uma pequena recuperação em 2002 e entrou em uma trajetória de redução. Essa redução foi tão acentuada em Belo Horizonte que seu consumo reduziu 160%, praticamente se igualando ao consumo por PIB nacional. Tal comportamento pode ser explicado pela substituição de equipamentos de consumo de energia por modelos mais eficientes e por mudanças de comportamento adotadas pelos usuários do setor residencial.

### 3.2.3 O consumo de gás liquefeito de petróleo (GLP)

O GLP é o combustível utilizado para a cocção em Belo Horizonte e, junto à eletricidade, formam as principais fontes de energia final desse setor residencial. Contudo, não foram encontrados dados específicos de consumo de GLP registrado para o município. Assim as análises do consumo do setor residencial serão realizadas para o estado e o país, e as inferências realizadas para o estado serão adotadas para o município. Por esse motivo também, a evolução do consumo per capita e por PIB é apresentada conjuntamente no Gráfico 3.4.

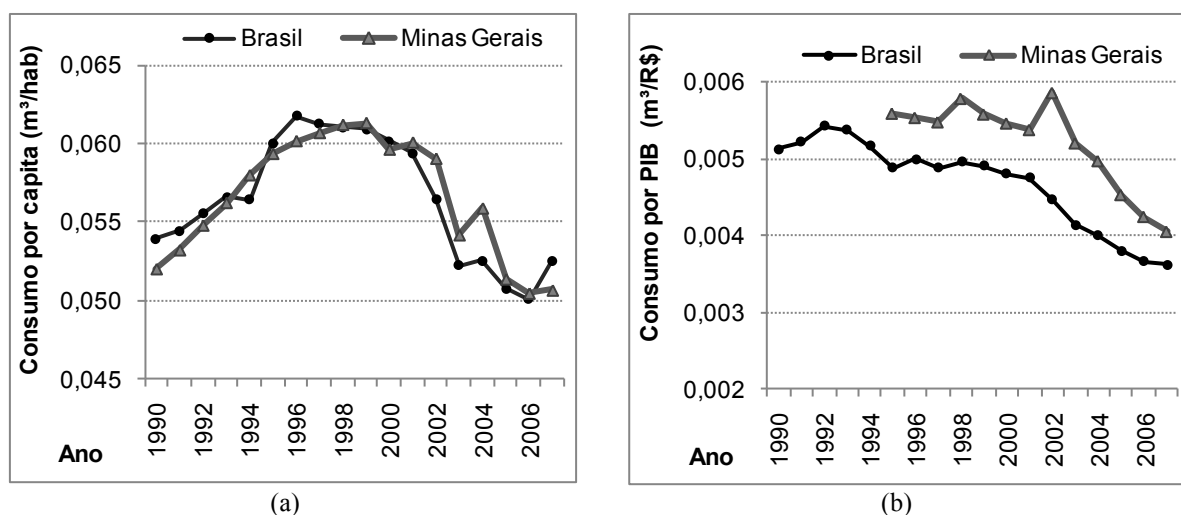


Gráfico 3.4: Evolução do consumo residencial per capita (a) e por PIB de GLP no Brasil e em Minas Gerais - Fonte: Elaboração própria a partir de dados do BEN 2009 e IBGE (2004 - 2007)

Por este gráfico é possível observar que, tanto no Brasil como em Minas Gerais, o consumo de GLP está em uma trajetória de queda. No caso do consumo per capita, observa-se que o consumo mineiro é quase idêntico ao nacional e que a sua queda ocorreu a partir de 1999. Em relação à trajetória do consumo por PIB, é possível notar que, apesar de algumas oscilações, as curvas decrescem desde 1990.

Pelos gráficos mostrados nesse item pode-se concluir que o consumo de energia elétrica no setor residencial de Belo Horizonte, durante a primeira década deste século, sofreu forte impacto da crise de abastecimento dessa energia, provavelmente causados por substituição de equipamentos e mudanças nos hábitos dos usuários do setor. Mesmo com essas mudanças de padrões, é provável que o consumo residencial volte a crescer nos próximos anos, impulsionado pelo crescimento econômico observado nos últimos anos no município. Contudo não deverá ser tão acentuado como o crescimento observado ao longo da década de 90 do século XX.

Já o consumo residencial local de GLP sofreu uma influência temporária da crise de abastecimento de energia elétrica. A tendência de queda observada nos últimos anos deverá se manter, pois está relacionada tanto à redução do tamanho médio das famílias quanto à mudança de hábitos alimentares.

Um dos principais problemas para realizar a espacialização do consumo energético é a falta de dados ligados ao consumo de energia que sejam referenciados geograficamente. Ver-se-á tal fato no próximo item, quando a unidade espacial adotada neste trabalho para desenvolvimento de modelo de consumo energético para o município é apresentada, assim como a origem dessa subdivisão espacial e a distribuição dessas unidades pelo município.

### **3.3 A escala adotada de trabalho: a Unidade Espacial Homogênea**

O cálculo do consumo de energia no setor residencial, apesar de complexo, é tarefa que pode ser realizada por diferentes metodologias e é periodicamente realizado para regiões, e até para o país, pelos dos Balanços Energéticos. Contudo, este cálculo é feito de modo agregado, não havendo distinções espaciais, nem mesmo a separação entre o consumo em áreas densamente urbanizadas e o consumo em áreas rurais.

Na escala do município de Belo Horizonte, informações na escala intra-urbana são produzidas pelo IBGE. Como exposto por Umbelino e Barbieri (2008), nessa escala é difícil encontrar dados, sendo que os disponibilizados pelo IBGE são praticamente os únicos produzidos com abrangência nacional e confiabilidade, e por esta razão são os mais utilizados na demografia brasileira.

Nos censos, os dados estão disponíveis em escalas desde o País, os Estados, as Regiões, os Municípios, as Áreas de Ponderação e finalmente, o Setor Censitário. Este é definido como a menor unidade territorial com limites físicos identificáveis em campo, com dimensão adequada à operação de pesquisas e cujo conjunto esgota a totalidade do Território Nacional, o que permite assegurar a plena cobertura do País (IBGE, 2003).

Para a coleta das informações nos censos, são usados dois modelos de questionário:

- Questionário básico: aplicado em todas as unidades domiciliares, que contém a investigação das características básicas do domicílio e dos seus moradores.
- Questionário da amostra: aplicado nas unidades domiciliares selecionadas para a amostra; além da investigação contida no questionário básico, abrange outras características do domicílio, como a posse de bens duráveis.

Os resultados do questionário básico podem ser agregados e obtidos até o nível do setor censitário. Já para os resultados do questionário da amostra, chamados de Microdados do Censo, a escala do setor não pode ser utilizada sob pena de perda de precisão de suas estimativas. Usualmente esses dados são apresentados na escala de áreas de ponderação que é um agrupamento mutuamente exclusivo de setores censitários espacialmente definidos pelo próprio IBGE.

Para a RMBH há outra subdivisão espacial baseada em agrupamento de setores censitários, cujo tamanho foi definido também de forma a garantir consistência estatística no tratamento dos microdados dos censos demográficos (MENDONÇA, 2008).

---

Essa divisão foi estabelecida pela Superintendência de Desenvolvimento da Região Metropolitana (PLAMBEL), em 1981 e posteriormente revista em 1991. Soares e outros (2006, p. 7) colocam que essa regionalização baseava-se no “princípio da centralidade, reflexo da articulação dentro de uma rede de fluxos intra-metropolitanos, que permitiu a identificação de ‘macro-unidades espaciais’, depois desagregadas em recortes hierarquizados”. A partir do reagrupamento dos setores, foram definidas unidades espaciais que agrupavam áreas homogêneas contíguas, com perfil social e urbanístico semelhante. As regiões obtidas dessa divisão e reagrupamento foram denominadas Unidades Espaciais Homogêneas – UEH.

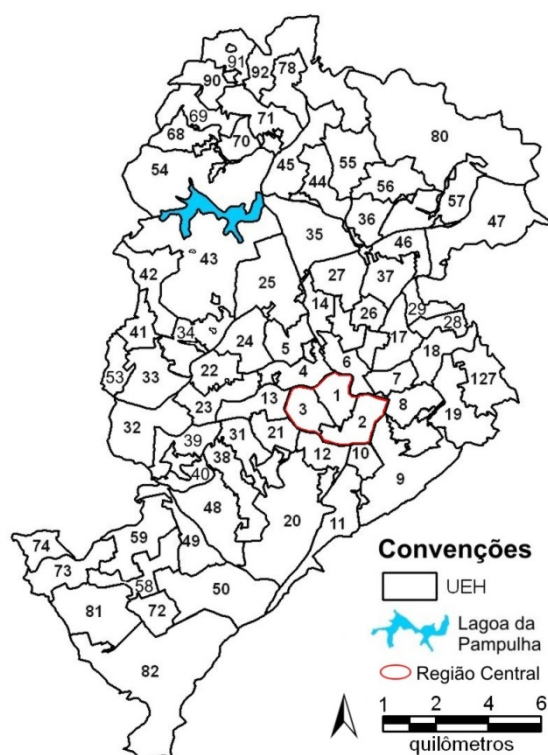
Para os censos de 1980 e 1991, foram delimitadas 121 UEH em toda a RMBH. Para o ano de 2000, a divisão da RMBH foi revista para 142 unidades, das quais 77 se encontram no município de Belo Horizonte. Essas UEH são apresentadas abaixo no Quadro 3.1.

UEH	NOME	UEH	NOME
1	Centro	41	Maria Emília
2	São Lucas/Savassi	42	Alípio de Melo/Serrano
3	Barro Preto/Lourdes	43	Ouro Preto/São Luís
4	Carlos Prates/Santo André	44	São Bernardo/Santo Inácio
5	Senhor Bom Jesus/Santo André	45	Planalto/Clóris/Itapoã
6	Floresta	46	Maria Goretti/São Paulo
7	Santa Teresa	47	Gorduras
8	Novo São Lucas/Santa Efigênia/Paraíso	48	Betânia
9	Mangabeiras/Serra	49	Bairro das Indústrias/Adalberto Pinheiro
10	Cruzeiro/Anchieta	50	Barreiro de Cima/Pilar
11	Sion/Belvedere	53	Pindorama
12	Cidade Jardim/ São Pedro	54	Leblon/Jardim Atlântico
13	Prado/Calafate	55	Floramir
14	Cachoeirinha	56	Tupi
15	Renascença	57	São Gabriel
16	Sagrada Família	58	Barreiro de Baixo/Milionários
17	Horto	59	Conjunto Teixeira Dias/Miramar
18	Pompeia/São Geraldo	68	Céu Azul
19	Flamengo/Vera Cruz	69	Lagoa/Rio Branco
20	Mansões / Santa Lúcia / São Bento	70	Santa Mônica
21	Barroca/Gutierrez/Grajaú	71	Venda Nova
22	Monsenhor Messias/Celeste Império	72	Barreiro de Cima
23	Pe Eustáquio/Coração Eucarístico/ D. Cabral	73	Tirol
24	Caiçara	74	Lindeia
25	Aparecida/São Francisco	78	Serra Verde
26	Cidade Nova	80	Ribeiro de Abreu
27	Ipiranga/Santa Cruz	81	Vale do Jatobá
28	Casa Branca/Boa Vista	82	Independência/Mineirão
29	Santa Inês/Nova Vista	90	Lagoinha/Nova América
31	Jardim América	91	Nova América/SESC
32	Alto Pinheiros/Santa Maria	92	Jardim Europa

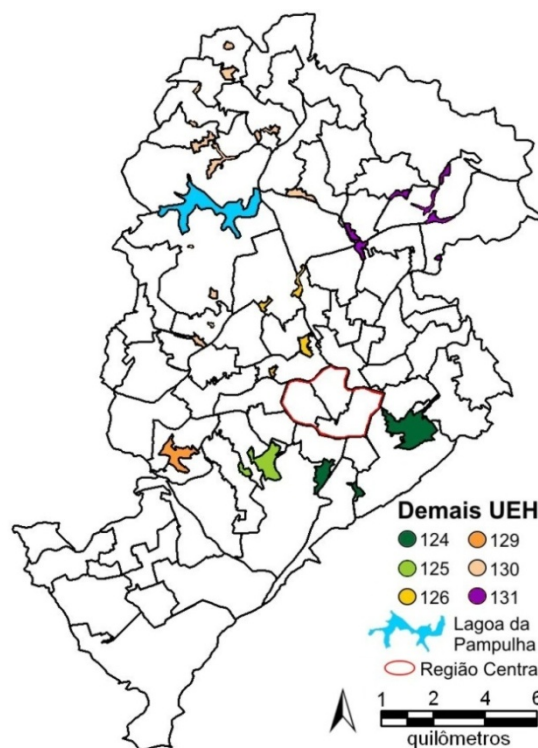
33	Califórnia	124	Favelas da Zona Sul
34	Ipanema	125	Favelas Barroca/Nova Suíça
35	Jaraguá/Aeroporto	126	Favelas do Padre Eustáquio/Cachoeirinha
36	Aarão Reis/Primeiro de Maio	127	Favelas de Santa Efigênia
37	São Marcos	129	Favelas da Cabana
38	Nova Barroca/Salgado Filho	130	Favelas Venda Nova/Norte
39	Nova Cintra/Vista Alegre	131	Favelas São Gabriel/Gorduras
40	Jardinópolis/Nova Gameleira/Maria Gertrudes		

**Quadro 3.1: Unidades Espaciais Homogêneas de Belo Horizonte**  
**Fonte: Mendonça (2008)**

A distribuição espacial das 77 UEH é apresentada nas Figuras 3.2 e 3.3. A primeira figura mostra a distribuição das unidades com maior área e a segunda, a distribuição das menores. A numeração presente nessas figuras corresponde à numeração do Quadro 3.1. Em ambas as figuras estão destacadas a Lagoa da Pampulha e a região central do município que é a área projetada por Aarão Reis.



**Figura 3.2: Localização espacial das UEH de Belo Horizonte, conforme a divisão para o Censo de 2000 – Fonte: Elaboração própria**



**Figura 3.3: Localização espacial das menores UEH de Belo Horizonte, conforme a divisão para o Censo de 2000 – Fonte: Elaboração própria**

Os dados socioeconômicos e de posse de bens dos microdados dos Censos de 1991 e 2000 são a base para o desenvolvimento do modelo de consumo de energia desse trabalho, sendo as UEH, apresentadas nas Figuras 3.2 e 3.3, as unidades espaciais adotadas nesse modelo.

O próximo item apresenta uma caracterização do perfil socioeconômico das famílias residentes em cada unidade espacial. Essa caracterização foi elaborada a partir das informações obtidas nos microdados dos Censos de 1991 e 2000, e constitui o ponto inicial para elaboração de um modelo de consumo energético e dos cenários de consumo, que serão apresentados nos próximos capítulos.

### **3.4 A evolução do perfil socioeconômico nas UEH**

O planejamento energético utiliza os dados passados como base para se criar tendências futuras, com o objetivo de se estimar como uma sociedade demandará energia. As informações adotadas nessa metodologia não estão associadas a um local, sendo apresentadas para uma determinada região como um todo.

No caso das metrópoles, essa abordagem tradicional do planejamento energético pode não ser a mais adequada, pois nas grandes áreas urbanas existem também grandes diferenças internas, tanto de tipo de ocupação quanto de perfil socioeconômico de seus moradores, causando desigualdades no consumo de energia, que comprometem suas projeções e, conseqüentemente, o abastecimento futuro. Porém, ao se aplicar métodos do planejamento energético nas metrópoles deve-se enfrentar o desafio de lidar com a falta de dados formatados para sua abordagem.

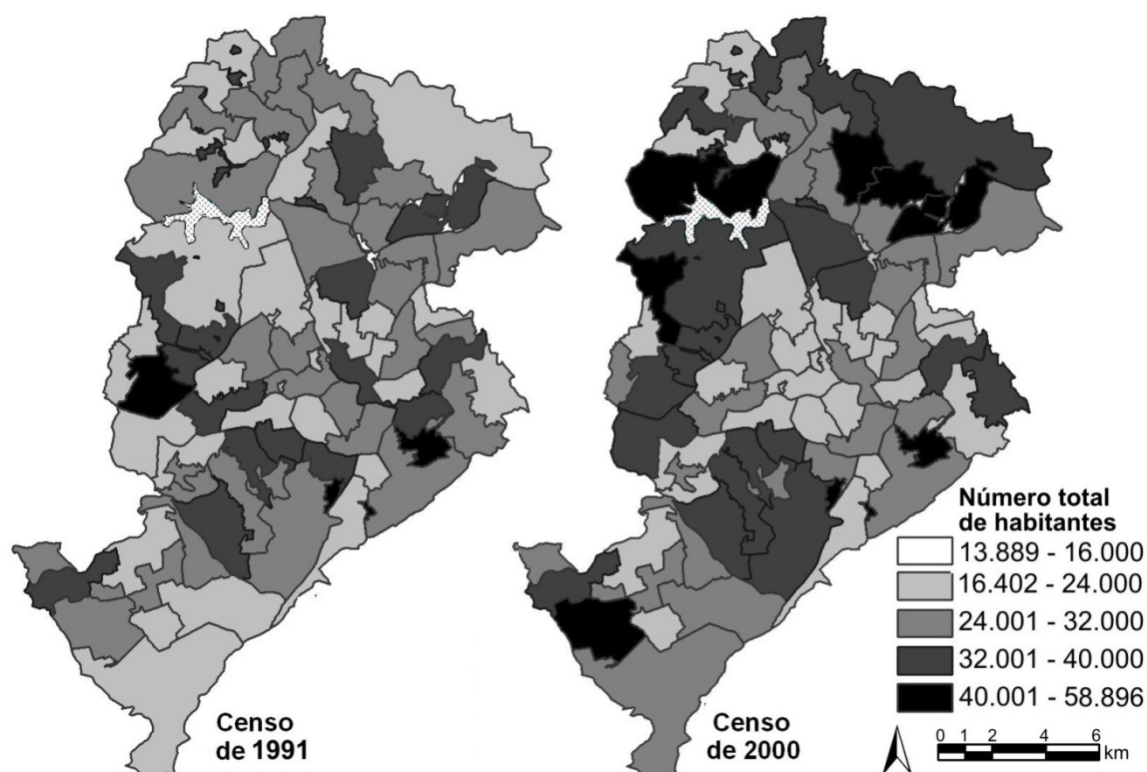
Essa análise gera uma base de dados socioeconômicos visando a subsidiar estudos de consumo de energia em escala intra-urbana. Para isso foram consideradas as variáveis: população residente, número de domicílios, tamanho médio das famílias e seu rendimento médio mensal dentro do município. Tais variáveis, que serão abordadas a seguir, foram obtidas por meio de estudo estatístico dos dados levantados pelos Censos Demográficos dos anos de 1991 e 2000.

#### **3.4.1 O número de habitantes e de domicílios**

O número total de habitantes existentes em cada UEH, nos Censos de 1991 e 2000, é mostrado na Figura 3.4, na qual se observa que o crescimento populacional está ocorrendo com maior intensidade nas regiões mais afastadas da área central, principalmente nos setores norte e oeste do município. Na região central, algumas unidades passaram por redução do número de habitantes e, a sul dessa região, também há um eixo de crescimento populacional.

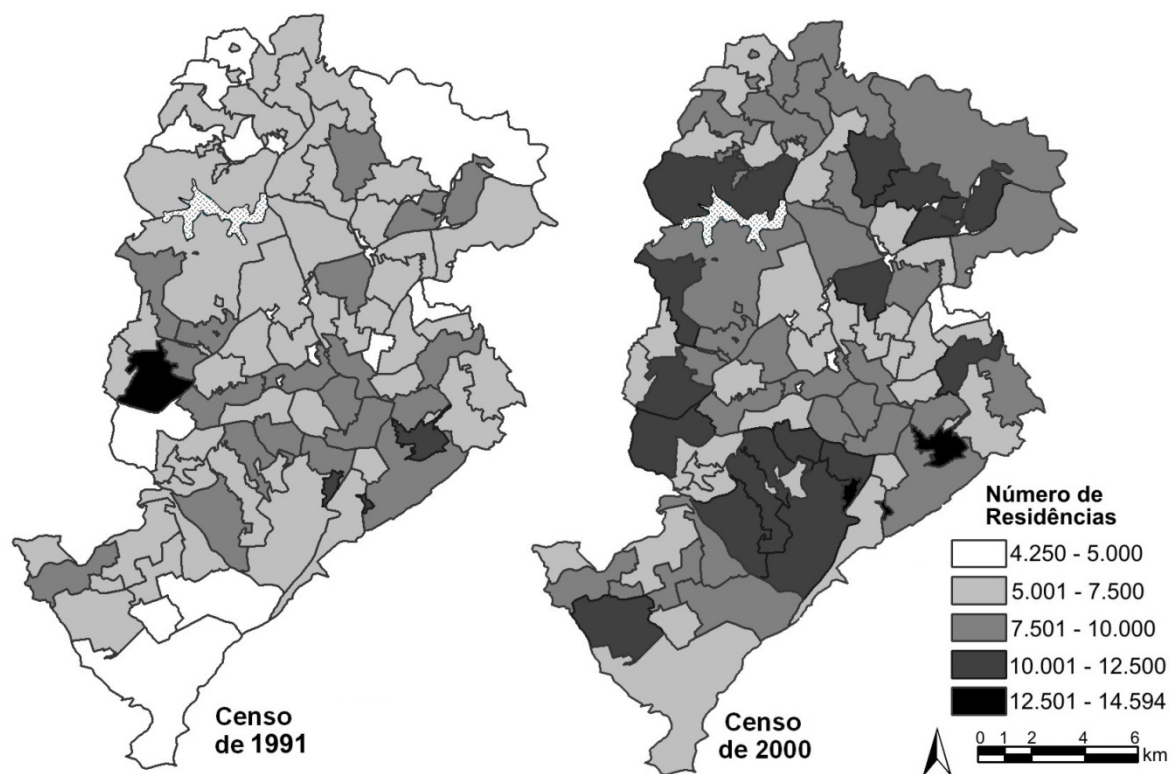
---





**Figura 3.4: População levantada por UEH, em 1991 e 2000**  
 Fonte: Elaboração própria a partir dos dados dos Censos (IBGE, 1991, 2000)

O número total de domicílios, em cada UEH, é mostrado na Figura 3.5, na qual é possível notar que o crescimento do número de domicílios tende a seguir o crescimento populacional.



**Figura 3.5: Número total de residências por UEH em 1991 e 2000**  
 Fonte: Elaboração própria a partir dos dados dos Censos (IBGE, 1991, 2000)

### 3.4.2 O número médio de moradores por domicílio

O valor do número médio de moradores por residência pode ser obtido pela divisão do número de pessoas pelo número de domicílios, em cada UEH. Esse valor é apresentado na Figura 3.6, para os Censos de 1991 e 2000. Por essa figura, é notável que houve uma redução média de 0,5 pessoa por domicílio entre os Censos. A região central de Belo Horizonte é a que possui menor número de moradores por residência. Esse valor cresce, progressivamente, em direção aos bairros periféricos.

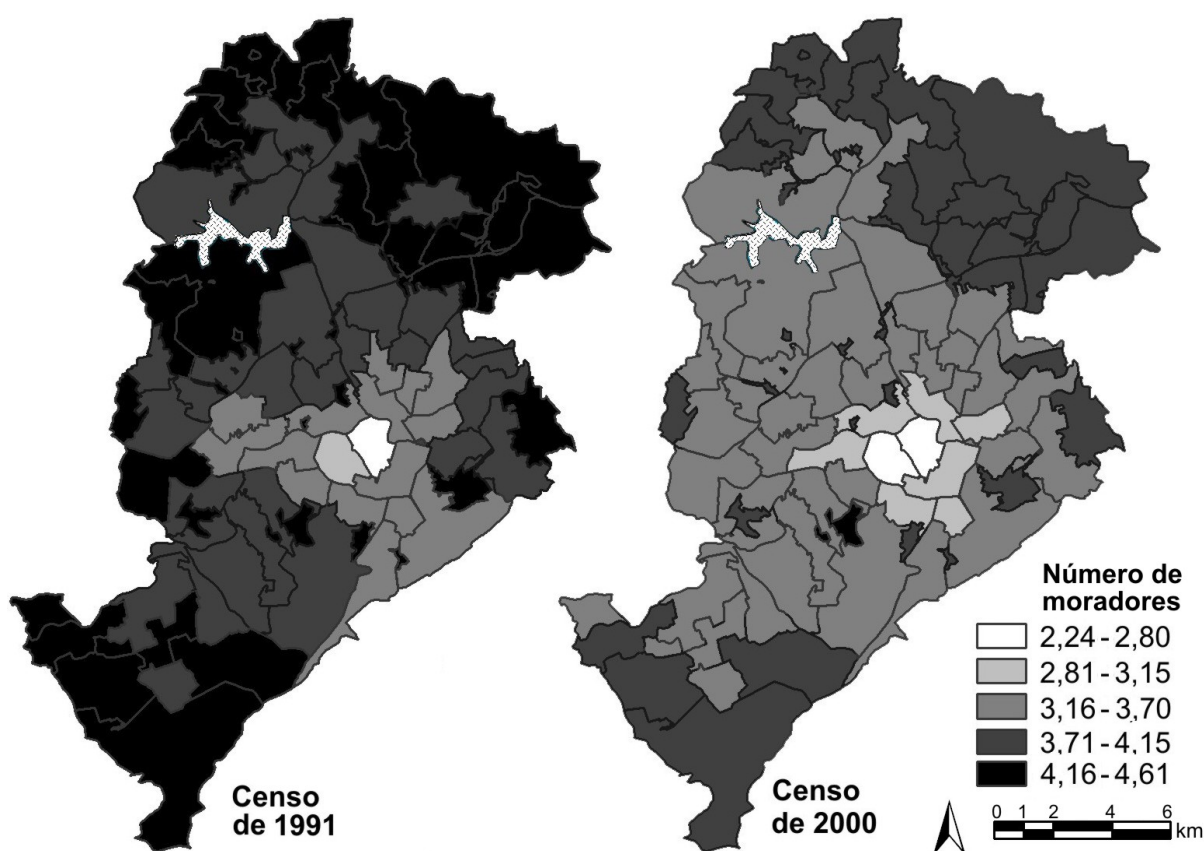
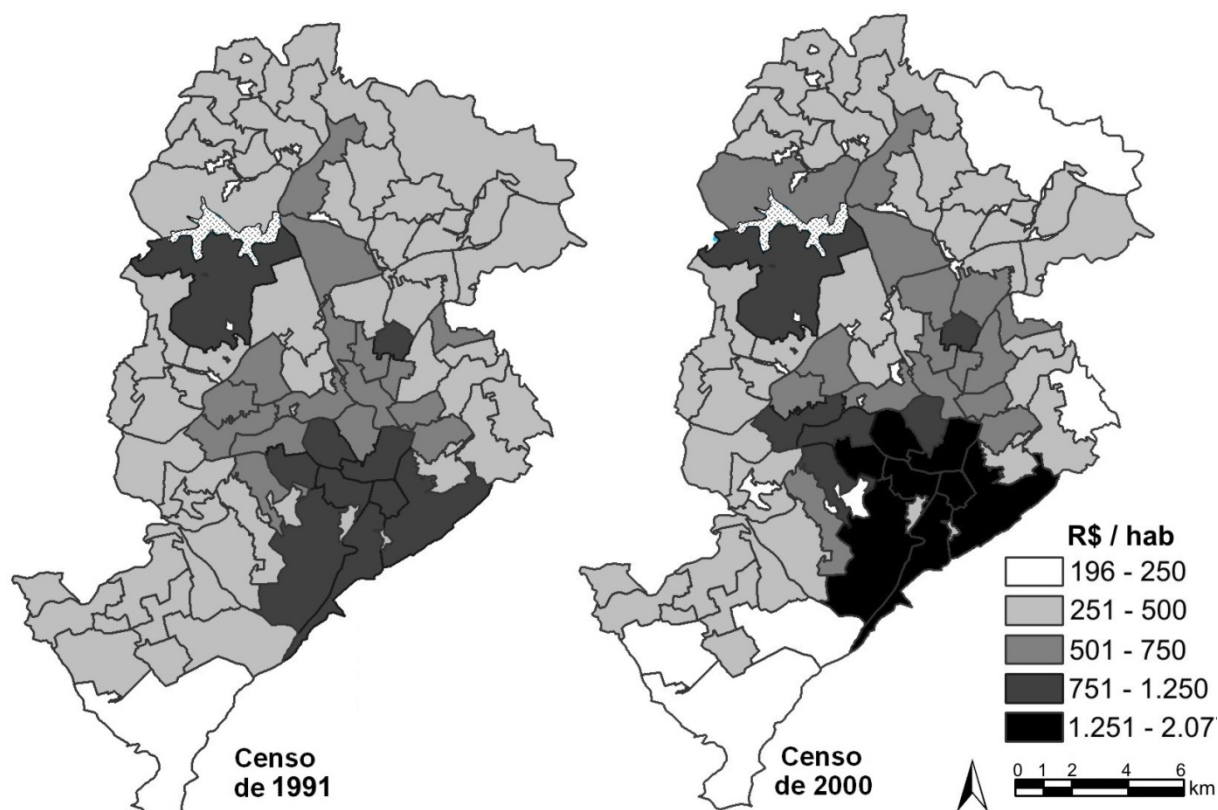


Figura 3.6: Número médio de moradores por residência em 1991, 2000  
Fonte: Elaboração própria a partir dos dados dos Censos (IBGE, 1991, 2000)

### 3.4.3 O rendimento médio familiar

Nos Microdados do Censo há o levantamento do rendimento nominal mensal obtido pelas famílias. A partir desse dado foi calculada a renda per capita mensal, nos anos de Censo,

obtida por meio da divisão da renda familiar pelo número médio de moradores. Os resultados obtidos, convertidos para Reais de 2000<sup>15</sup>, são apresentados na Figura 3.7.



**Figura 3.7: Renda per capita média por UEH, em 1991 e 2000. Valores em reais de 2000**  
Fonte: Elaboração própria a partir dos dados dos Censos (IBGE, 1991, 2000)

Por essa figura é perceptível a desigualdade na distribuição da renda das famílias em Belo Horizonte, sendo as famílias das UEH localizadas na região Centro-Sul da cidade e na UEH 43 - próxima à Lagoa da Pampulha - as que possuem maior rendimento médio per capita. Em 2000, ocorreu um aumento dessa desigualdade de modo que a diferença entre o rendimento médio das regiões mais ricas para as mais pobres passou a ser de 10 vezes.

A legislação municipal analisada a seguir, regula a intensidade de ocupação do solo, por isso, as projeções populacionais a serem desenvolvidas neste trabalho deverão respeitar os critérios determinados para cada unidade espacial.

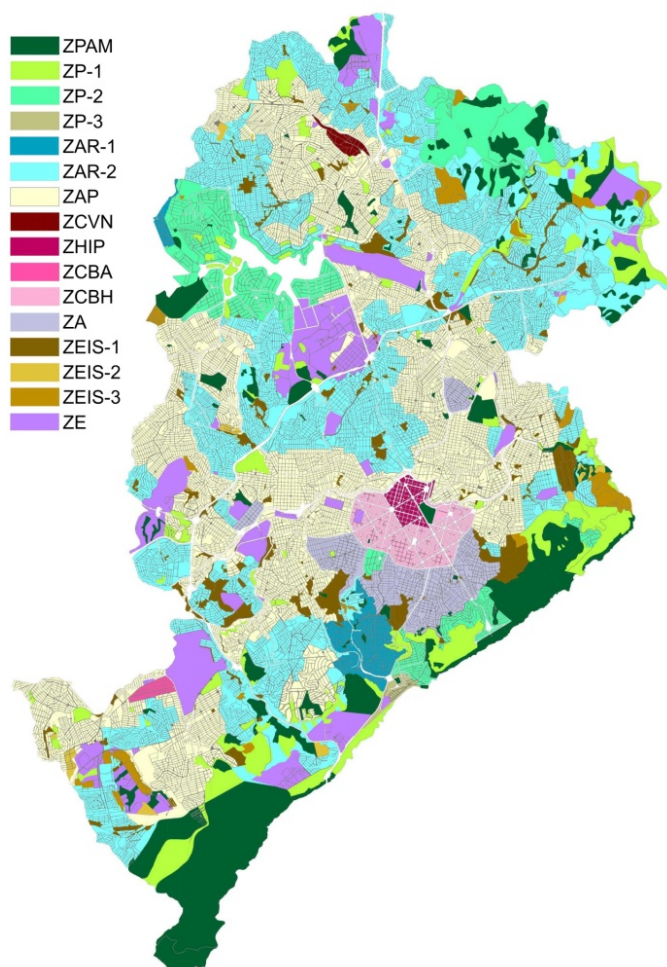
<sup>15</sup> Em 1991 a moeda do Brasil era o Cruzeiro e sua conversão em Reais é feita pela divisão do valor por 2.750.000. A atualização do valor obtido em 1991 para Reais de 2000 foi feita pela inflação anual acumulada, medida pelo IGPM da Fundação Getúlio Vargas.

### **3.5 A Lei de Uso e Ocupação do Solo - LUOS**

No Município de Belo Horizonte, as normas e condições para parcelamento, ocupação e uso do solo urbano são estabelecidas pela Lei de Uso e Ocupação do Solo (LUOS). A versão mais atual dessa lei é regulamentada pela Lei 7.166 de 27 de agosto de 1996 e pelas alterações a esta publicada na Lei 8.137 de 21 de dezembro de 2000. A LUOS propicia o zoneamento do município de Belo Horizontes, sendo essas as principais zonas geradas por essa lei:

- a) Zona de Preservação Ambiental, ZPAM;
- b) Zona de Proteção, ZP; regiões sujeitas a critérios urbanísticos especiais, que determinam a ocupação com baixa densidade;
- c) Zona de Adensamento Restrito, ZAR; regiões em que a ocupação é desestimulada em razão de ausência ou deficiência de infra-estrutura;
- d) Zona de Adensamento Preferencial, ZAP; regiões passíveis de adensamento, em decorrência de condições favoráveis de infra-estrutura e de topografia;
- e) Zona Central, ZC, regiões com maior infra-estrutura, ocupação consolidada e maior permissão de adensamento;
- f) Zona Adensada, ZA; as regiões nas quais o adensamento deve ser contido, por apresentarem alta densidade demográfica e intensa utilização da infra-estrutura urbana;
- g) Zona de Especial Interesse Social, ZEIS; as regiões nas quais há interesse público em ordenar a ocupação ou em implantar programas habitacionais de interesse social que se sujeitam a critérios especiais de ocupação e uso do solo;
- h) Zona de Grandes Equipamentos, ZE.

A localização dessas zonas no município de Belo Horizonte é apresentada na Figura 3.8.



**Figura 3.8: Mapa com o zoneamento estabelecido pela Lei de Uso e Ocupação do Solo**  
**Fonte: Elaboração própria a partir de dados cedidos pelo Departamento de Geografia da UFMG**

A LUOS estabelece dois parâmetros que devem ser atendidos para determinar o número máximo de residências que pode ser construído em um lote: o *coeficiente de aproveitamento* (CA) e a *quota de terreno por unidade habitacional* (QT). O CA é um número que, multiplicado pela área do lote, indica a quantidade máxima de metros quadrados que podem ser construídos no lote, somando-se as áreas de todos os pavimentos. A QT define o número de unidades habitacionais permitido por metro quadrado de lote, sendo sua unidade o  $m^2$ /unidade habitacional.

Considerando que um lote médio em Belo Horizonte possui  $900 m^2$  de área e que cada unidade habitacional tem em média  $100 m^2$ , foi calculado o número máximo de unidades habitacionais passíveis de construção em um lote de acordo com o permitido pela lei para cada tipo de zoneamento. Os resultados obtidos são dados na Tabela 3.1, que também mostra os valores dos parâmetros CA e QT definidos para cada zoneamento pela LUOS.

**Tabela 3.1: Número de Unidades Habitacionais (UH) permitido pela LUOS de acordo com o coeficiente de aproveitamento(CA) e aquota de terreno (QT)**

ZONA	CA	UH (CA)	QT	UH (QT)	ZONA	CA	UH (CA)	QT	UH (QT)
ZPAM	0,05	0,45			ZA	1,4	12,6	40	22,5
ZP1	0,3	2,7	2500	0,4	ZAP	1,5	13,5	40	22,5
ZP2	1	9	1000	0,9	ZHIP	2,7	24,3	8	112,5
ZP3	1,5	13,5	200	4,5	ZCBH	2,7	24,3	20	45,0
ZAR1	1	9	180	5,0	ZCBA	1,8	16,2	25	36,0
ZAR2	1	9	45	20,0	ZCVN	1,8	16,2	25	36,0

Fonte: Elaboração própria a partir de dados da LUOS (BELO HORIZONTE, 1996, 2000)

Considerando um lote médio de 900 m<sup>2</sup>, observa-se que os zoneamentos determinarão a adoção de determinadas tipologias construtivas. Nas ZP 1 e 2, só é permitida a construção de residências unifamiliares. Na ZP 3 e na ZAR 1, é possível a construção de sobrados, com o máximo de 5 unidades habitacionais por lote. Nas ZAR 2, ZA e ZAP, é permitida a construção de pequenos prédios, com cerca de 10 unidades. Por fim, nas ZC é possível construir torres com até 24 residências.

Como os zoneamentos existentes na LUOS não são coincidentes com as áreas determinadas das UEH, é apresentada, na Figura 3.9, a distribuição de cada tipologia construtiva dentro das unidades espaciais. Essa distribuição foi calculada partindo da área que cada zoneamento da LUOS ocupa nas 77 UEH de Belo Horizonte, sendo definido que nas zonas ZP1, ZP2, ZP3 e ZAR1 a tipologia predominante é de casas; nas zonas ZAR2, ZA e ZAP a tipologia predominante é de pequenos prédios e nas zonas ZHIP, ZCBH, ZCBA e ZCVN a tipologia predominante é de torres habitacionais. A mesma figura ainda mostra a participação dos zoneamentos com regras diferenciadas de ocupação: as áreas de proteção ambiental, as de grandes equipamentos e as de interesse social.

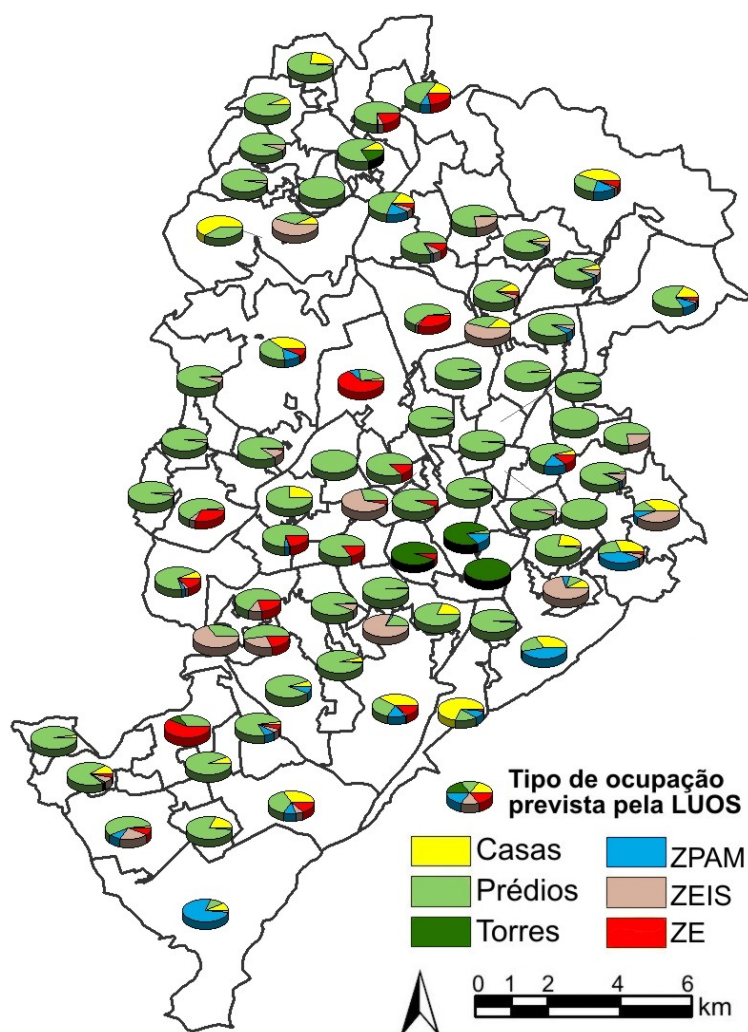


Figura 3.9: Tipo de ocupação permitida pela LUOS em cada UEH  
Fonte: Elaboração própria

Na maior parte das unidades espaciais de Belo Horizonte, a ocupação passível de construção é de pequenos prédios, de acordo com a LUOS de 2000. As torres podem ser construídas na área central, UEH 1, 2 e 3. As áreas de proteção ambiental, em azul, estão principalmente a sul e leste do município, nas suas divisas com a Serra do Curral. As zonas de grandes equipamentos estão espalhadas à oeste e à norte, onde se destacam a presença da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), na UEH 25, e o Aeroporto da Pampulha, na UEH 35.

As informações desse capítulo constituem a base que estrutura a metodologia desenvolvida neste trabalho para caracterização e projeção do consumo energético de Belo Horizonte, que é apresentado nos próximos Capítulos 4 e 5.

---

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS: PROCEDIMENTOS PARA O MAPEAMENTO DA DEMANDA DE ENERGIA POR USO FINAL

---

Este trabalho propõe o cálculo e projeção da demanda energética do setor residencial na escala intra-urbana a partir dos dados levantados nos Censos Demográficos. Para isso, a metodologia precisa integrar, para um ano específico, o perfil do consumidor residencial com o consumo de equipamentos de energia disponíveis no mercado, de modo a obter um consumo municipal que seja coerente com o efetivamente registrado pela concessionária de energia.

A primeira etapa do processo é realizar o levantamento da posse de eletrodomésticos e o perfil socioeconômico das residências em cada região do município, a partir do tratamento dos dados dos arquivos dos censos demográficos, o que é apresentado no item 4.1. Paralelamente, deve ser elaborada a caracterização do consumo médio dos equipamentos existentes no mercado a partir de pesquisas e relatórios sobre consumo dos equipamentos e hábitos de uso do usuário do setor residencial. Por se tratar de um levantamento bibliográfico, esses estudos foram discutidos no Capítulo 2, sendo mostrado no item 4.2 apenas os valores considerados típicos para cada equipamento.

A integração dos dados obtidos pelos dois estudos permite calcular o consumo de energia por equipamento e por uso final, por UEH, por meio da metodologia desenvolvida neste trabalho e apresentada no item 4.2. O consumo de energia por uso final em cada UEH, é obtido por intermédio da soma do consumo de todos os equipamentos que constituem esse uso.

Por fim, o consumo total do município é obtido pela soma do consumo de energia por energéticos de todas as UEH, procedimento necessário para garantir a calibração do modelo teórico com dados de consumo registrados pela concessionária. Os resultados obtidos e a comparação com os dados de consumo registrados são apresentados no Capítulo 5. Como síntese dos procedimentos descritos, é apresentado na Figura 4.1 um fluxograma para a obtenção de um mapa de consumo urbano para um determinado ano.

---



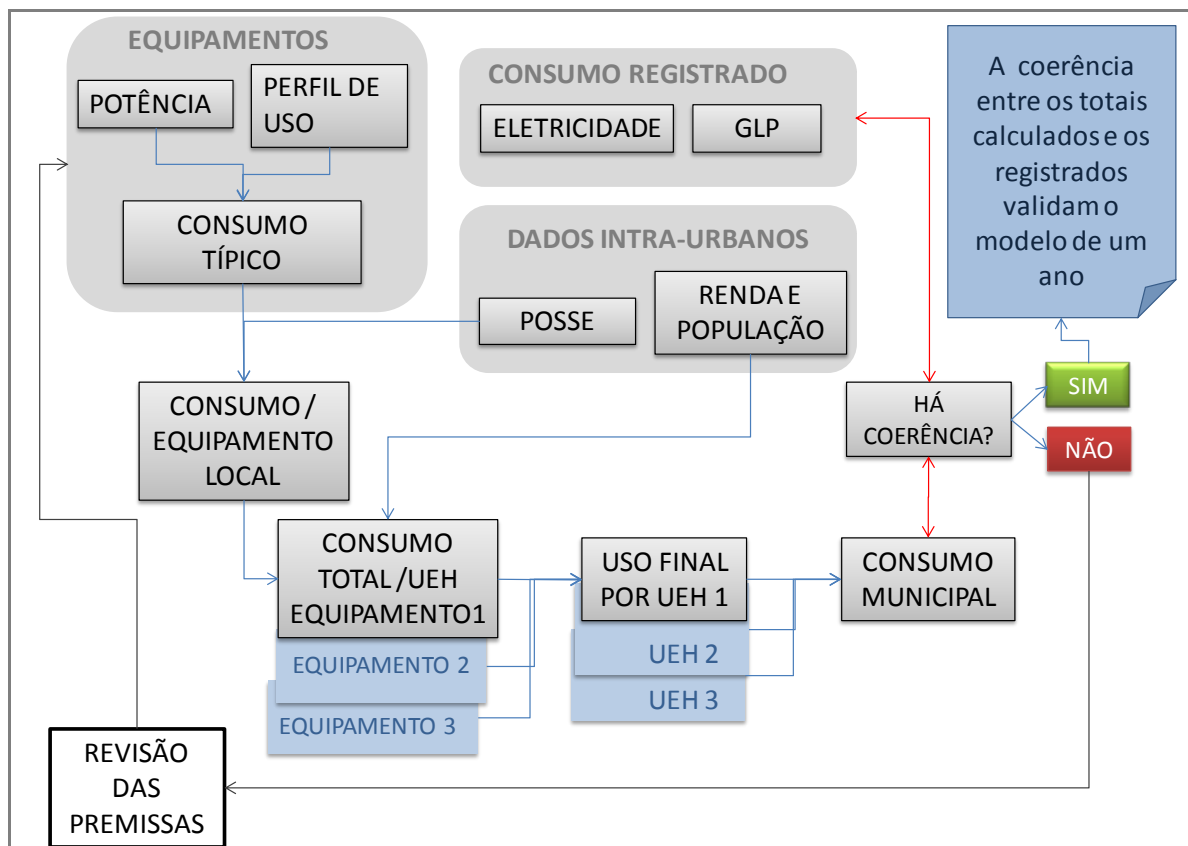


Figura 4.1: Procedimentos para a construção do mapa de consumo urbano municipal.

Fonte: Elaboração própria

## 4.1 A preparação dos dados do censo

Como comentado anteriormente, cada censo produz dois arquivos distintos: um com os resultados do questionário básico, aplicado em todas as unidades domiciliares, e outro com os resultados do questionário do levantamento amostral nas unidades domiciliares selecionadas.

Ambos os arquivos do censo representam um grande volume de informações para cada pessoa pertencente à família entrevistada. Por exemplo, o arquivo gerado a partir dos resultados do universo - todas as unidades domiciliares - possui 527 variáveis para o Censo Demográfico 2000. Já o arquivo contendo os resultados da pesquisa amostral desse censo, possui 52 variáveis relacionadas ao domicílio e 91 variáveis relacionadas às pessoas. Por conter tal volume de dados, a extração de uma informação das bases de dados do censo requer a adoção de vários procedimentos específicos que devem ser executados de modo sistemático, com o objetivo de manter a qualidade e confiabilidade nos dados finais.

Além disso, esses arquivos demandam o uso de ferramentas computacionais específicas com a capacidade de lidar e manipular grande volume de dados com agilidade. Neste trabalho, foi

utilizado o *software* SPSS Statistics, um pacote estatístico e de gerenciamento, que permite a manipulação, edição, análise e visualização de dados. Os procedimentos adotados nesse *software* para a preparação dos dados que foram utilizados são:

1. Separação dos dados referentes ao município do restante da base de dados, que compreendiam toda a Região Metropolitana;
2. Classificação dos setores censitários de acordo com a UEH a qual ela pertence nos arquivos onde essa informação não estava presente;
3. Seleção das variáveis a serem utilizadas e identificação dos códigos respectivos para análise em cada arquivo do censo; as variáveis selecionadas para desenvolvimento por censo e o tipo de pesquisa estão apresentadas abaixo no Quadro 4.1, que ainda mostra o seu código e a sua classificação na base de dados, de acordo com a documentação dos arquivos (IBGE 1996, 2002, 2003, s.d.);

Censo	Pesquisa	Código	Descrição	Classificação adotada
1991	Universo	7100	Total de Pessoas	
1991	Universo	100	Número de Domicílios	
1991	Amostra	0210	Combustível Usado para Cozinhar	0 Não tem fogão 1 Gás canalizado 2 Só gás de botijão 3 Só lenha 4 Gás de botijão e lenha 5 Carvão 6 Outro branco - Domicílios improvisados ou Domicílios coletivos
1991	Amostra	0211	Total de Cômodos	
1991	Amostra	0220	Rádio	1 Não tem 2 Tem branco - Domicílios improvisados ou Domicílios coletivos
1991	Amostra	0221	Iluminação	1 Elétrica com medidor 2 Elétrica sem medidor 3 Óleo ou querosene 4 Outra branco - Domicílios improvisados ou Domicílios coletivos
1991	Amostra	0222	Geladeira	0 Não tem 1 Uma porta 2 Mais de uma porta branco – Domicílios improvisados ou Domicílios coletivos

1991	Amostra	0223	Televisão em Preto e Branco	1 Não tem 2 Tem branco – Domicílios improvisados ou Domicílios coletivos
1991	Amostra	0224	Televisão em Cores	0 Não tem 1 Um aparelho 2 Dois aparelhos 3 Três ou mais aparelhos branco – Domicílios improvisados ou Domicílios coletivos
1991	Amostra	0225	Freezer	1 Não tem 2 Tem branco – Domicílios improvisados ou Domicílios coletivos
1991	Amostra	0226	Máquina de Lavar Roupa	1 Não tem 2 Tem branco – Domicílios improvisados ou Domicílios coletivos
1991	Amostra	0227	Aspirador de Pó	1 Não tem 2 Tem branco – Domicílios improvisados ou Domicílios coletivos
2000	Universo	V003	Domicílios particulares permanentes	
2000	Universo	V249	Pessoas residentes	
2000	Amostra	V0203	Total de cômodos	
2000	Amostra	V0213	Iluminação elétrica	1 Sim 2 Não Branco - para domicílio particular improvisado e domicílio coletivo.
2000	Amostra	V0214	Existência de rádio	1 Sim 2 Não Branco - para domicílio particular improvisado e domicílio coletivo.
2000	Amostra	V0215	Existência de geladeira ou freezer	1 Sim 2 Não Branco - para domicílio particular improvisado e domicílio coletivo.
2000	Amostra	V0216	Existência de videocassete	1 Sim 2 Não Branco - para domicílio particular improvisado e domicílio coletivo.
2000	Amostra	V0218	Existência de forno de micro-ondas	1 Sim 2 Não Branco - para domicílio

				particular improvisado e domicílio coletivo.
2000	Amostra	V0220	Existência de microcomputador	1 Sim 2 Não Branco - para domicílio particular improvisado e domicílio coletivo.
2000	Amostra	V0221	Quantidade existente de televisores	
2000	Amostra	V0223	Quantidade existente de aparelhos de ar condicionado	
2000	Amostra	V7617	Total de rendimentos do domicílio particular, em salários mínimos.	

**Quadro 4.1: Variáveis adotadas por pesquisa dos censos e sua classificação.**  
**Fonte: IBGE (1996, 2002, 2003, s.d)**

4. Substituição da classificação padrão da variável por um número compatível com o dado;
5. Tratamento estatístico de acordo com a variável e a base de dados; esse tratamento poderia ser: a) a soma de todas as variáveis para se obter o total de domicílios e pessoas por UEH; b) a média aritmética simples para avaliar a posse de eletrodomésticos; c) a verificação do percentual de alcance da variável na UEH, o que foi aplicado na avaliação do tipo de combustível utilizado.

Ao final desses procedimentos, obtêm-se os dados que formam um arquivo contendo a caracterização de cada variável por unidade espacial. Com este arquivo, é possível fazer uma associação dos dados obtidos à informação espacial por meio de um programa de GIS e obter mapas temáticos, como os mapas apresentados no Capítulo 3, que foram gerados desse modo. Os arquivos gerados para o ano de 1991 e 2000 serão utilizados como base de dados para a metodologia desenvolvida no cálculo do consumo intra-urbano de energia, que será descrita nos itens seguintes.

## 4.2 O consumo de energia por uso final

Para os equipamentos de consumo de energia do setor residencial foi adotado o agrupamento em seis tipos de usos finais: aquecimento de água, conservação de alimentos, iluminação dos ambientes, lazer, serviços gerais e conforto ambiental. Esses usos foram definidos não apenas por tipo de serviços de energia prestados, mas também pela similaridade de comportamento de aquisição do consumidor. É o caso dos usos para lazer e usos para serviços gerais. Os estudos realizados abordando os tipos de uso final para o setor residencial costumam agrupá-

los em um único uso final, mas os equipamentos de lazer têm maior elasticidade-renda, além de ser frequente a posse de mais de um eletrodoméstico desse uso em uma residência.

O cálculo do consumo de energia por uso final, para uma região, é feito pela simples multiplicação do consumo de um equipamento pelo número total de equipamentos existentes na região. Se o uso final é constituído por mais de um equipamento, essa multiplicação deve ser repetida para todos os usos de equipamentos e o resultado somado para se obter o total. Neste cálculo, devem ser considerados a classe de renda da família, que influenciará na escolha da tecnologia de uso final, e o ano para o qual é realizado o estudo, pois o consumo dos equipamentos tende a sofrer grande variação com o tempo.

Para determinação do consumo de energia em uma região de Belo Horizonte, por uso final, devem ser considerados os dados disponíveis nos censos: o número total de residências e a posse média por região, presentes nos censos. Assim, o consumo de energia final para as várias finalidades, dada pela Equação 4.1, é obtida a partir do número de residências existentes na UEH, da posse dos equipamentos e do consumo médio anual do equipamento.

$$E_{hij} = \sum_{k=1}^m (N_{ij} P_{kij} c_{klj}) \quad (4.1)$$

onde:

$E_{hij}$  = consumo de energia por uso final  $h$ , na UEH  $i$ , no ano  $j$ ;

$N_{ij}$  = número de residências na UEH  $i$ , no ano  $j$ ;

$P_{kij}$  = posse do equipamento  $k$  na UEH  $i$ , no ano  $j$ ;

$c_{klj}$  = coeficiente de consumo do equipamento  $k$ , em função da renda  $l$  da UEH, no ano  $j$ ;

$m$  = número total de equipamentos que compõe o uso final  $h$  no ano considerado.

Essa equação é aplicável para todos os equipamentos levantados nos censos. Para os equipamentos que não estão presentes no censo, podem ser utilizados os dados presentes na Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD), realizada pelo IBGE, a qual verifica a existência de alguns bens duráveis nos domicílios em função da sua classe de renda, para a RMBH.

Nos itens seguintes, são apresentados, por uso final, os procedimentos para se calcular o coeficiente de consumo de cada equipamento utilizado em Belo Horizonte, no período de tempo considerado. Nos casos em que essa equação não pode ser aplicada, é descrito no item respectivo o modelo adotado em substituição à Equação 4.1.

### 4.2.1 O coeficiente de consumo do fogão a GLP – $c_{fog}$

Em Belo Horizonte, ao longo do período considerado, o combustível com maior impacto energético é o GLP e o principal equipamento para a cocção de alimentos é o fogão. Em nenhum dos censos a posse do fogão é levantada. Até o Censo de 1991, foi feita a pesquisa do tipo de combustível utilizado para cocção, ano no qual foi constatado seu uso em 99,67% dos domicílios de Belo Horizonte. Esse energético é utilizado exclusivamente, ou seja, sem participação da lenha, em 96,97% das residências e apenas 0,12% não possuíam fogão ou fogareiro. Por isso, neste trabalho foi considerado apenas o consumo de GLP como combustível para cocção e que cada família, ou residência, possui um fogão. Na equação 4.1, isso implicará que, em uma UEH, a posse (P) de fogões é igual ao número de residências (N).

O consumo específico do fogão,  $c_{fog}$ , é influenciado por vários fatores, como renda familiar, número de moradores por domicílios, além da eficiência do próprio equipamento. Visto que há poucos dados de consumo de GLP para os inúmeros modelos de fogões disponíveis no mercado, optou-se por calcular o consumo de uma UEH como uma fração do consumo total de GLP registrado para o município, incorporando, na regionalização, a influência da renda familiar e do número de habitantes.

O consumo estadual de GLP é publicado anualmente pela Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), no Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. O consumo de Belo Horizonte pode ser considerado como uma fração do consumo total de Minas Gerais. Considerando que há proporcionalidade entre o número de domicílios que possuem fogão e o consumo de GLP numa região, o consumo municipal pode ser obtido pela relação entre este número de domicílios que possuem fogão no estado e no município, dado que é disponibilizado anualmente na PNAD.

Para as regiões dentro de Belo Horizonte, é importante adotar outro critério que reflita as diferenças locais, além do número de residências. Considerando a hipótese de que há proporcionalidade entre o consumo de combustível e o consumo de alimentos que necessitam cocção, pode-se utilizar essa variável para estimar o consumo de GLP por região. Assim, o consumo familiar de GLP pode ser obtido pela Equação 4.2

$$c_{fog,ij} = \alpha_j H_{ij} A_{jl} \quad (4.2)$$

onde:

$c_{fog,ij}$  = consumo do fogão a GLP,  $c_{fog}$ , em função da classe de rendimento da UEH  $i$ , no ano  $j$ , em kg de GLP;

$\alpha_j$  = coeficiente de proporcionalidade do ano  $j$ , em kg de GLP por kg de alimento;

$A_{jl}$  = consumo de alimentos que necessitam de cocção por domicílio, no ano  $j$ , em função da sua classe de renda  $l$ , em kg;

$H_{ij}$  = número total de habitantes na UEH  $i$ , no ano  $j$ .

O coeficiente de proporcionalidade é obtido pela divisão do consumo total de GLP no município pelo número total de residências e consumo total de alimentos, em um dado ano, como mostrado na Equação 4.3.

$$\alpha_j = \frac{\sum_{i=1}^n c_{fog,ij}}{\sum_{i=1}^n (H_{ij} A_{jl})} \quad (4.3)$$

onde:

$n$  = número total de UEH no município de Belo Horizonte no ano  $j$ .

O consumo de alimentos que necessitam cocção pode ser obtido pela Pesquisa de Orçamentos Familiares (POF), realizada e publicada pelo IBGE, que fornece as quantidades de alimentos adquiridas por ano pelas famílias para consumo no domicílio por diferentes detalhamentos geográficos e classes de rendimentos. Neste trabalho, adotou-se a pesquisa do ano de 1996 como referência do consumo do ano de 1991 e a pesquisa de 2002-2003 como referência do consumo do ano de 2001, ambas realizadas para a RMBH.

Por fim, a eletricidade também aparece como energético para cocção, sendo utilizada pelo forno de micro-ondas e pelo forno elétrico. Como o consumo de energia do micro-ondas é comparativamente pequeno, o seu consumo é calculado juntamente com os demais equipamentos elétricos do uso final de serviços gerais, no item 4.2.7.

#### 4.2.2 O consumo de energia dos eletrodomésticos

O consumo dos eletrodomésticos pode ser obtido pela multiplicação da potência nominal do equipamento pelo número de horas em que ele é utilizado no ano. Contudo, outros fatores interferem nesse cálculo. Entre residências, o consumo energético, para um mesmo serviço de energia, pode sofrer grande variação devido ao tipo de equipamento utilizado. Por exemplo, o serviço de conservação de alimentos pode ser feito por geladeira de uma porta, geladeira

combinada ou freezer. A escolha do tipo de equipamento em uma família tende a ser feita em função do rendimento médio familiar.

Há, além disso, uma evolução temporal, na qual alguns equipamentos são substituídos por outros, capazes de prestar o mesmo serviço com uma nova tecnologia. É o caso da mudança das televisões em preto e branco para modelos coloridos, e dessas para equipamentos de tela plana. Por isso, o cálculo do consumo de energia elétrica dos equipamentos deve considerar, além da potência e do tempo de uso, o rendimento médio das famílias da região selecionada e a época para qual se realiza o cálculo. Esses fatores são apresentados pela Equação 4.4, aplicável para o cálculo do consumo de energia na maior parte dos eletrodomésticos.

$$c_{kij} = p_{klj} t_{kj} \quad (4.4)$$

onde:

$c_{kij}$  = coeficiente de consumo anual do equipamento  $k$ , na UEH  $i$ , no ano  $j$ . Dado em kWh;

$p_{klj}$  = potência do equipamento  $k$ , em função da classe de renda  $l$  da UEH considerada, no ano  $j$ , em kW;

$t_{kj}$  = tempo de uso do equipamento  $k$ , no ano  $j$ , em horas por ano.

Nos itens seguintes serão apresentados, por uso final, os critérios adotados no cálculo de consumo dos equipamentos para a potência e de tempo de uso, ao longo dos anos, nas UEH de Belo Horizonte. Esses critérios foram baseados em pesquisas, levantamentos e relatórios disponíveis, sendo que as referências da potência de eletrodomésticos adotadas foram: as tabelas de consumo de energia elétrica elaboradas pelo Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO) para o Programa Brasileiro de Etiquetagem, e, em alguns casos, o Catálogo do Selo PROCEL, realizado pelo Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica, PROCEL. Como esses textos fornecem dados de consumo, esses valores foram divididos pelo tempo de uso médio adotado para se chegar ao valor da potência. O perfil de uso do equipamento adotado foi, principalmente, o descrito na Pesquisa de Posse de Equipamentos e Hábitos de Consumo (ELETROBRAS/PROCEL, 2007b).

### 4.2.3 Aquecimento de água

Neste trabalho, considera-se ser o chuveiro elétrico o principal equipamento utilizado para aquecimento de água, nos anos de 1991 e 2000, em Belo Horizonte. A participação de outros

---



sistemas, principalmente o aquecimento solar, passa a ser mais significativa após a crise de abastecimento de energia elétrica de 2001, por isso, sua inserção só será considerada na etapa de elaboração de cenários futuros de consumo, o que ocorrerá no Capítulo 5.

Nas entrevistas realizadas pelo censo não há nenhuma questão relacionada ao uso ou ao tipo de combustível utilizado para aquecimento de água. A questão do uso de aquecimento de água também não consta de outras pesquisas realizadas pelo IBGE, como o PNAD. Por isso, a equação 4.1 não pode ser aplicada a este uso final.

Como alternativa à posse, é possível adotar o número de banhos por residência, considerando que cada pessoa toma um banho por dia. Assim, para se calcular a demanda de energia para o aquecimento de água, deve-se multiplicar o número de habitantes de uma UEH pelo coeficiente de consumo do chuveiro elétrico para banho de duração média, como apresentado pela Equação 4.5.

$$E_{AA,ij} = H_{ij} c_{chu,il} \quad (4.5)$$

onde:

$E_{AA,ij}$  = energia para o aquecimento de água,  $E_{AA}$ , no ano  $i$ , da UEH  $j$ , em kWh;

$H_{ij}$  = número total de habitantes na UEH  $i$ , no ano  $j$ ;

$c_{chu,il}$  = consumo anual do chuveiro elétrico para um banho de duração média, da classe de renda  $l$  da UEH considerada, no ano  $j$ , em kWh.

Neste trabalho foi considerado que a duração média do banho é de 10 minutos, em todo o período considerado, seguindo tendência discutida no item 2.3.3. Com relação à potência nominal dos chuveiros, atualmente, os fabricantes<sup>16</sup> disponibilizam equipamentos com potência variando entre 4,4kW e 7,5 kW<sup>17</sup>. Os modelos mais simples custam entre 25 e 35 reais e têm potência nominal entre 4,4 e 5 kW e, no modo verão, entre 2,4 e 3 kW. Com relação ao consumo de energia, os modelos mais caros diferenciam-se apenas na existência de uma opção de maior aquecimento, com potência nominal entre 5,5 a 6,5kW.

A potência adotada para este equipamento pode variar de acordo com a classe de renda do domicílio considerado. O tipo de equipamento adotado no cálculo de consumo do chuveiro elétrico, por faixa de rendimento familiar e por ano, é apresentado na Tabela 4.1. Os valores

<sup>16</sup> Marcas pesquisadas: Fame, <http://www.fame.com.br>; Lorenzetti, <http://www.lorenzetti.com.br> e Corona, <http://www.corona.com.br>. Pesquisa realizada entre ago-set/2009, por meio de sites de busca de preços; foram levantados mais de 50 modelos de chuveiros.

<sup>17</sup> 7,5 kW é o limite máximo etiquetado pelo INMETRO, contudo existem no mercado equipamentos com potência superior a esse limite.

de consumos máximo e mínimo dos chuveiros medidos pelo Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO, 2009f), por faixa de potência nominal, são mostrados nessa tabela.

**Tabela 4.1: Consumo mensal dos chuveiros elétricos por classe de renda, em kWh/mês**

Faixa de potência nominal (kW)	Consumo mensal máximo por banho	Consumo mensal mínimo por banho	Faixa de rendimento	Ano considerado
3000 a 3500	14 kWh	9,68 kWh	Até 20 s.m.	1991
4500 a 5500	22 kWh	12,98 kWh	Acima de 20 s.m.	1991
3000 a 4800	18 kWh	12,07 kWh	Até 20 s.m.	2000
5000 a 6000	24 kWh	12,68 kWh	Acima de 20 s.m.	2000

**Fonte: Elaboração própria a partir de dados do INMETRO (2009f). Os consumos médios da faixa correspondem a 30 banhos com duração média de 10 minutos**

Com esses valores, é necessário definir em qual período do ano o chuveiro estará sendo usado na posição verão (consumo mínimo) e em qual período do ano estará na posição inverno (consumo máximo). Considerando que o ajuste dessa posição pelo usuário é em função da sua sensação de conforto térmico no horário do banho, no item seguinte é apresentada uma metodologia para se determinar a sensação de conforto de um indivíduo, aclimatado em Belo Horizonte, ao longo de um ano climatológico normal<sup>18</sup>.

#### **4.2.3.a Determinação do período de consumo máximo e mínimo do chuveiro elétrico em Belo Horizonte**

Considerando que a escolha da temperatura da água para o banho está associada à sensação térmica, é necessária a determinação do número de horas do ano em que o usuário sentirá desconforto térmico por calor ou por frio. Isso pode ser obtido a partir da aplicação dos dados climatológicos de um ano normal a um índice de conforto térmico.

Os índices de conforto térmico integram as variáveis do clima de um lugar às respostas de adaptação humana em condições de repouso ou no exercício de atividades variadas, de maneira a identificar condições psicrométricas de conforto e/ou desconforto higrotérmico para uma população aclimatada. Esses índices são baseados em experimentos laboratoriais extensivos e rigorosos, que buscam estabelecer relações causais entre o comportamento das variáveis ambientais, como, por exemplo, temperatura e umidade do ar, com a resposta subjetiva de sensação de conforto térmico. Frequentemente, esses modelos são validados também por estudos de campo, nos quais são medidas as condições ambientais e a resposta simultânea de sensação térmica em indivíduos envolvidos em suas tarefas habituais.

<sup>18</sup> Ano normal é, de acordo com o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), o resultado do cálculo das médias horárias e/ou diárias mensais das variáveis climatológicas registradas nas estações meteorológicas padrão WMO, durante um período de 30 anos (BRASIL, 1992).

A obtenção dos dados de horários de temperatura do ar, para todos os meses do ano, e representativas das condições climáticas locais, podem ser feitas pelo tratamento das variáveis temperaturas do ar máximas mensais e mínimas mensais, dadas nas Normais Climatológicas (BRASIL, 1992) e ajustadas à curva-padrão da Organização Mundial de Meteorologia (WMO), como mostrado por Assis (2001) e apresentado na Equação. 4.6.

$$T = T_{m\acute{a}x} - (T_{m\acute{a}x} - T_{m\acute{i}n})v \tag{4.6}$$

onde

$T$  = temperatura média mensal horária (°C);

$T_{m\acute{a}x}$  = temperatura média mensal das máximas (°C);

$T_{m\acute{i}n}$  = temperatura média mensal das mínimas (°C);

$v$  = o valor de ajuste da curva horária de temperatura, a partir da hora 0 até a hora 23: 0,75; 0,78; 0,82; 0,87; 0,89; 0,96; 1,00; 0,93; 0,76; 0,57; 0,41; 0,28; 0,15; 0,11; 0,02; 0,00; 0,04; 0,08; 0,15; 0,46; 0,56; 0,64; 0,73; 0,70.

De posse dos dados de temperatura do ar, é possível determinar os períodos de desconforto por frio, nos quais os chuveiros elétricos tendem a ser acionados na posição de consumo máximo. Conforme apresentado no Capítulo 2, esses equipamentos são usados principalmente no período noturno, assim é necessária a determinação dos limites de temperatura na qual o usuário se sinta em conforto.

Koenigsberger e outros (1977) apresentam as Tabelas de Mahoney, por meio das quais é possível se determinar a zona de conforto térmico a partir da temperatura média anual (TMA) e da umidade relativa normal mensal. A TMA é calculada pela média aritmética entre a maior temperatura máxima e a menor temperatura mínima. Para Belo Horizonte, considerando os dados normais de 1961 a 1990, essa temperatura assume o valor de 20,95 °C. Os limites de conforto estipulados nas Tabelas de Mahoney para TMA superiores a 20°C são apresentados no Quadro 4.2.

Umidade relativa (%)	Limites de conforto (°C)			
	Diurno		Noturno	
<30%	26	34	17	25
30-50	25	31	17	24
50-70	23	29	17	23

>70%	22	27	17	21
------	----	----	----	----

**Quadro 4.2: Limites de conforto térmico para TMA superior à 20 °C**  
 Fonte: KOENIGSBERGER, et al. (1977)

Já as faixas de temperatura de conforto térmico noturno, em função dos valores mensais de umidade relativa normais, podem ser determinadas conforme exposto na Tabela 4.2, que ainda apresenta classificação do estresse térmico noturno mensal para o ano normal de Belo Horizonte.

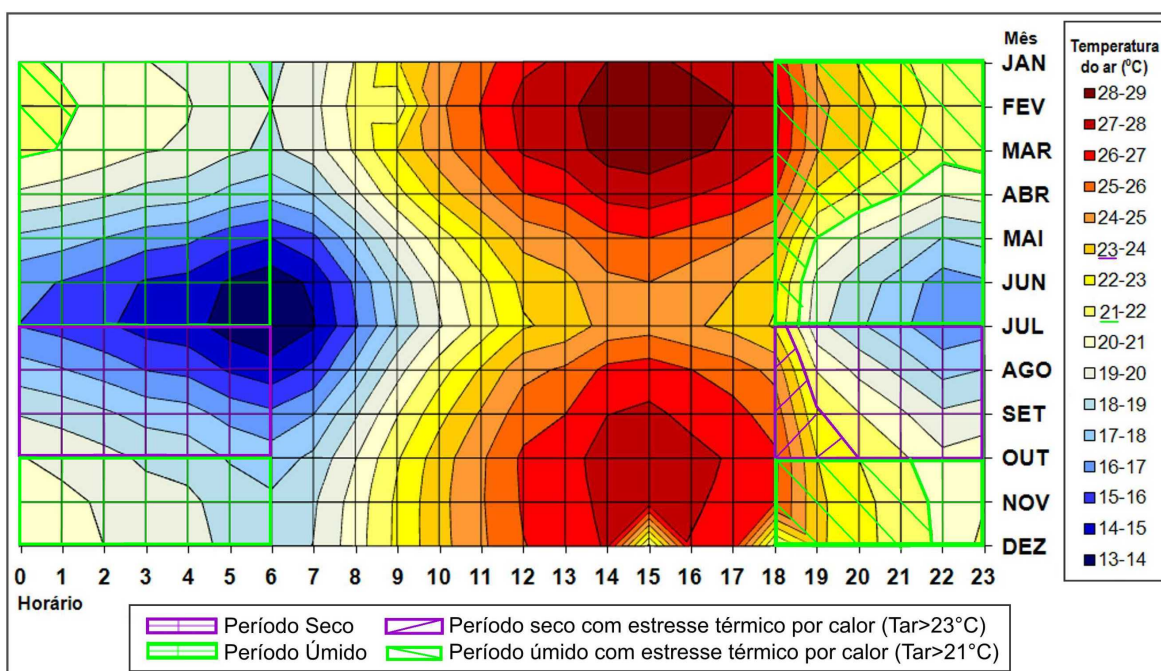
**Tabela 4.2: Faixa de conforto térmico mensais para Belo Horizonte**

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Normais de Temperatura Mínima (°C)	18,8	19	18,8	17,3	15	13,4	13,1	14,4	16,2	17,5	18,2	18,4
Normais de Umidade Relativa (%)	79	75,1	74,7	73,9	72,5	71,4	68,7	64,5	65,1	69,8	74,1	78
LIMITES DE CONFORTO (°C) MÁX	21	21	21	21	21	21	23	23	23	23	21	21
MÍN	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17
Estresse térmico noturno*	C	C	C	C	F	F	F	F	F	C	C	C

\* C: sensação de conforto térmico; F: sensação de desconforto por frio

Fonte: Elaboração própria a partir de dados das Normais Climatológicas (BRASIL, 1992)

Por essa tabela, percebe-se que Belo Horizonte possui duas faixas de conforto térmico noturno: entre 17 °C a 23 °C, no período seco (julho a outubro), e entre 17 °C a 21°C, no período úmido (demais meses). Aplicando-se essas zonas nas temperaturas horárias obtidas para um ano normal, podem-se delimitar os períodos do ano em que há a sensação de desconforto por frio. A Figura 4.2 expõe a classificação das temperaturas médias mensais de um ano normal em função da temperatura de conforto térmico noturno.



**Figura 4.2: Classificação das temperaturas médias mensais de um ano normal em função da temperatura de conforto térmico noturno.**

Fonte: Elaboração própria a partir de dados das Normais Climatológicas (BRASIL, 1992)

Por essa figura observa-se que há predomínio da sensação de desconforto térmico por calor, entre os horários de 19 h às 21 h, do mês de outubro até abril. Nesse período foi considerado que o usuário utiliza o chuveiro na posição verão. No restante do ano, o chuveiro é utilizado na posição “inverno”, ou seja, consumo máximo.

#### 4.2.4 Conservação de alimentos

Os equipamentos que constituem o uso final são a geladeira de uma porta, os aparelhos combinados, ou duplex, e o freezer. No censo de 1991, é verificada a existência da geladeira elétrica e seu tipo: uma só porta ou mais de uma porta e a existência de freezer. Já no censo de 2000, é levantada a existência de geladeira ou freezer. Neste trabalho considerou-se que a média desse valor numa UEH equivale à posse de geladeiras nesse local. A posse de freezer, no ano de 2000, pode ser obtida pela interpolação dos valores de posse desse equipamento, levantada nos anos de 1999 e 2001, na PNAD. Com esses dados, é possível aplicar a Equação 4.1 para o cálculo do consumo de energia por uso final.

O consumo médio considerado dos equipamentos é apresentado no Catálogo do Selo PROCEL (ELETROBRAS/PROCEL, 2001). Esta escolha se deu por serem os valores medidos de equipamentos disponíveis no mercado à época do estudo. Para compensar o fato de que esses valores referem-se a equipamentos novos, foram multiplicados fatores de aumento de consumo, conforme apresentado nos próprios catálogos do Selo PROCEL. Esses valores são apresentados na Tabela 4.2, a qual apresenta o consumo de referência, dado pelo mesmo catálogo, e os consumos dos anos de 2000 e 1991 com os fatores que foram acrescidos ao valor de referência.

**Tabela 4.2: Consumo mensal dos equipamentos de conservação de energia ano, em kWh/mês**

Equipamento	Volume médio (l)	Referência 2001 (PROCEL)	Consumo em 2000 (+15%)	Consumo em 1991 (+40%)
Geladeira 1 porta	300	27,38	31,48	39,36
Geladeira combinada	362	58,94	67,50	84,38
Freezer vertical	215	59,84	48,63	60,79

Fonte: Elaboração própria a partir de dados do ELETROBRAS/PROCEL (2001)

#### 4.2.5 Iluminação

Em uma residência, o consumo de energia para iluminação é dado em função do tipo de lâmpada, sua potência, do número de cada tipo de lâmpada existente na residência e do número de horas de uso. Nos censos não há levantamento sobre posse de lâmpadas, apenas da

existência de iluminação elétrica. Foi observada sua presença em 99,63% e 99,83% das residências de Belo Horizonte, em 1991 e em 2000, respectivamente.

Como não há posse de lâmpada nos censos, esse valor foi substituído pelo número médio de cômodos de uma residência da UEH considerada, para o cálculo de consumo de energia para o uso final iluminação, visto que é uma aproximação razoável considerar que cada cômodo de uma residência é iluminado por uma lâmpada. No ano de 2000, nas regiões cuja classe de renda familiar é superior a 20 salários mínimos, foi adotado como posse de lâmpadas o número de cômodos multiplicado por 1,25. Esse fator foi utilizado para compensar o maior uso de lâmpadas nessas classes, por terem cômodos maiores ou por utilizarem lâmpadas mais potentes. Os critérios de posse são apresentados abaixo na Tabela 4.3 por ano.

**Tabela 4.3: Critérios de posse de lâmpadas ( $P_{lam}$ ) adotados, por ano estudado**

Ano do Censo (j)	Classe de renda familiar (I)	Posse de lâmpada ( $P_{lam}$ )
1991	Todas	Número de cômodos da UEH
2000	até 20 s.m.	Número de cômodos da UEH
2000	superior a 20 s.m.	(Número de cômodos da UEH) x 1,25

Fonte: Elaboração própria

Até a crise de abastecimento de energia elétrica ocorrida em 2000, o principal equipamento utilizado nas residências brasileiras era a lâmpada incandescente, sendo a lâmpada de 60 W a mais comumente encontrada (AROUCA, 1982; ACHÃO, 2003). Por isso, esse modelo foi o único utilizado no cálculo do coeficiente de consumo específico nos anos de 1991 e 2000. Para o tempo de uso, foi adotado 5 horas diárias, todos os dias do ano. Considerando que nem todas as lâmpadas de uma residência são acionadas ao mesmo tempo, foi aplicado um fator de não-simultaneidade de 0,65 (ACHÃO, 2003) ao cálculo do tempo de uso das lâmpadas. Esses valores estão listados na Tabela 4.4.

**Tabela 4.4: Critérios adotados para o cálculo do coeficiente de consumo das lâmpadas, em 1991 e 2000**

Símbolo	Descrição	Valor adotado
$p_{lam}$	potência da lâmpada	0,06 kW
$t_{lam}$	tempo de uso da lâmpada fator de não-simultaneidade	5 h por dia, 365 dias por ano 0,65
$c_{lam}$	coeficiente de consumo anual da lâmpada	71,175 kWh

Fonte: Elaboração própria

#### 4.2.6 Lazer

Nos Censos de 1991 e 2000, foram levantadas a existência de rádio e a posse da televisão colorida nas residências. Além desses bens, no ano de 1991 foi investigada a existência de televisão em preto e branco e, em 2000, a existência do microcomputador e videocassete nas mesmas. Esses dados foram utilizados no cálculo do consumo de energia do uso final de

lazer, pela Equação 4.1, sendo que a posse da TV preto e branco foi desconsiderada em 2000. Como o mercado do videocassete estava consolidado em 1991, foi adotada a posse por classe de renda do ano de 2000 e para compensar o crescimento do número de equipamentos, esse valor foi dividido pela taxa de crescimento da televisão, entre os anos de 1991 e 2000.

O coeficiente de consumo específico dos equipamentos desse uso final pode ser calculado pela Equação 4.4. Os valores de potência e tempo de uso utilizados em cada ano são apresentados abaixo na Tabela 4.5, assim como o coeficiente de consumo obtido e as fontes dessas informações. No caso da TV a cores, o valor apresentado para 2000 refere-se à média dos valores de potência e consumo em *standby* de modelos disponíveis no mercado, medidos pelo INMETRO (2009d), e o valor de 1991 é o mesmo do censo posterior, multiplicado por um fator de perda de eficiência de 1,25, tomado como referência.

**Tabela 4.5: Critérios adotados para o cálculo do coeficiente de consumo dos equipamentos utilizados no uso final lazer**

Equipamento	Potência (kW)		Tempo de uso		Consumo (kWh/ano)		Fonte
	1991	2000	valor	unidade	1991	2000	
Computador	–	0,1200	2	h / dia	–	87,6	ANEEL <sup>19</sup>
Televisão a cores	0,098	0,0780	5	h / dia	178,9	142,4	INMETRO (2009e)
Standby da TV	0,002	0,0012	19	h / dia	13,9	8,3	INMETRO (2009e)
TV em preto e branco	0,060	–	5	h / dia	109,5	–	PROCEL <sup>20</sup>
Rádio	0,100	0,0800	2	h / dia	73	58,4	PROCEL
Videocassete	0,040	0,0400	5	h / sem	10,6	10,6	ANEEL
Standby do vídeo	–	0,0001	163	h / sem	–	0,9	ANEEL

Fonte: Elaboração própria

#### 4.2.7 Serviços Gerais

Nesse uso final, foram agrupados todos os equipamentos levantados nos censos que não se enquadram nos demais usos. Outro dado em comum no agrupamento é o fato de que as residências, em geral, só possuem uma unidade de cada equipamento. Desse uso, no Censo de 1991, foi pesquisada existência da máquina de lavar roupa, seja do modelo automático ou semiautomático, e do aspirador de pó; no Censo de 2000, da máquina de lavar automática e do micro-ondas. O consumo específico, a potência e o tempo de uso do aspirador e do micro-ondas são apresentados na Tabela 4.6.

**Tabela 4.6: Critérios adotados para o cálculo do coeficiente de consumo do aspirador e do micro-ondas**

Equipamento	Potência (kW)		Tempo de uso		Consumo (kWh/ano)		Fonte
	1991	2000	valor	unidade	1991	2000	
Aspirador	0,75	–	2	h / sem	–	87,6	ANEEL

<sup>19</sup> Disponível em: [http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/aneel\\_luz/default.html](http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/aneel_luz/default.html). Acessado em set/2009.

<sup>20</sup> Disponível em: <http://www.eletronbras.gov.br/elb/procel/main.asp?TeamID=%7B32B00ABC-E2F7-46E6-A325-1C929B14269F%7D>. Acessado em set/2009.

Micro-ondas	–	1	2	h / sem	–	106	ANEEL
-------------	---	---	---	---------	---	-----	-------

Fonte: Elaboração própria

Para os modelos de máquina de lavar, o consumo utilizado foi o valor médio levantado pelo INMETRO (2009c; 2009d) para um ciclo completo. Para o modelo automático, foi adotado como modelo típico o de 8 kg e para o semi-automático, o modelo de 5 kg. Em relação à frequência de uso, considerou-se que cada pessoa produz 5 kg de roupa a serem lavadas por semana. Esses critérios estão sintetizados a seguir na Tabela 4.7.

**Tabela 4.7: Critérios adotados para o cálculo do coeficiente de consumo das máquinas de lavar**

Equipamento	Modelo	Consumo total por ciclo (kWh)		Consumo por 5kg de roupa lavada (kWh)		Frequência de uso
		1991	2000	1991	2000	
Automático	8 kg	0,300	0,240	0,188	0,150	1 ciclo de 5 kg / morador por semana
Semi-automático	5 kg	0,020	0,016	0,020	0,016	

Fonte: Elaboração própria

Apesar de não aparecer nas pesquisas dos censos ou da PNAD, o ferro elétrico é um eletrodoméstico com grande utilização no setor residencial e de grande consumo de energia. Por isso, neste trabalho foi considerado que toda residência do município possui um equipamento, com potência média de 1 kW. Como o uso do ferro está relacionado à quantidade de roupa lavada, foi definido que são necessárias 1,5 horas de uso do equipamento para passar cada 5 kg de roupa lavada.

## 4.2.8 Conforto ambiental

Os equipamentos utilizados para o conforto ambiental, em Belo Horizonte, são o ventilador e o ar condicionado. A existência deste equipamento foi investigada apenas em 2000, sendo que o uso dele foi desconsiderado em 1991, porque a posse do mesmo foi baixa nesse ano.

O consumo de energia adotado do ar condicionado foi a média dos valores apurados pelo Catálogo do Selo PROCEL (ELETROBRAS/PROCEL, 2001). Como esses valores referem-se ao consumo de equipamentos novos, o consumo médio do ar condicionado, no ano de 2000 foi calculado com base no levantamento da idade dos equipamentos (ELETROBRAS/PROCEL, 2007b) e a melhoria de eficiência energética ao longo do tempo observada no Catálogo do Selo PROCEL. Esses valores são apresentados na Tabela 4.8.

**Tabela 4.8: Cálculo do consumo médio diário dos equipamentos de ar condicionado no ano de 2000**

Idade do equipamento	0-5	6-10	11-15	NS	Total
Participação do total	41,2 %	36,3 %	8,3 %	14,2 %	100 %
Consumo diário (6h/dia)	7,75	8,84	10,07	8,89	8,50 kWh

Fonte: Elaboração própria a partir de dados da ELETROBRAS/PROCEL (2007b)



O período de uso do equipamento está associado às condições climáticas e à sensação térmica do usuário. No setor residencial, o sistema de condicionamento é usualmente acionado no período noturno, quando ocorre a sensação térmica de calor, (ELETROBRAS/PROCEL, 2007b). Por isso, é necessário saber a frequência de ocorrência dessa sensação em Belo Horizonte para se determinar o período de uso. A classificação das temperaturas médias mensais, apresentadas na Figura 4.2 do item 4.2.3.a, pode também ser utilizada para determinação do período de uso do ar-condicionado.

De posse dos dados de temperatura do ar, é possível determinar os períodos de desconforto por calor, nos quais os sistemas de ar condicionado tendem a ser acionados. Conforme o perfil de uso do equipamento, descrito pela ELETROBRAS/PROCEL (2007b), o período no ano de uso do ar condicionado é estabelecido na Tabela 4.9 em função da sensação térmica local.

**Tabela 4.9: Período de uso do ar condicionado em função do clima para Belo Horizonte**

Classificação	Frequência de uso	Uso semanal adotado	Período do ano
Clima Frio	sem uso do equipamento	-	maio a ago
Clima ameno	uso médio a regular	1 dia por semana	abr, set
Clima quente	uso grande a regular	4 dias por semana	nov, dez, jan a mar

Fonte: Elaboração própria

Por fim, com base nos dados das Tabelas 4.8 e 4.9, realizou-se o cálculo do coeficiente de consumo específico do ar condicionado para Belo Horizonte, no ano de 2000. Abaixo, na Tabela 4.10, é mostrado o consumo anual obtido em função do número de dias no ano com sensação térmica de calor ou ameno e do consumo médio diário.

**Tabela 4.10: Cálculo do coeficiente de consumo específico do ar condicionado (car)**

Sensação Térmica	Período (meses)	(nº sem)	Uso (dia/sem)	Uso (h/dia)	Uso (dias/ano)	Consumo (kWh/dia)	Consumo Anual (kWh)
Frio	maio a ago	18	0	0	0	0	0,0
Ameno	abr, set, out	13	1	6	13	8,50	110,5
Quente	nov a mar	22	4	6	88	8,50	748,0
<b>TOTAL</b>							<b>858,5</b>

Fonte: Elaboração própria

Não há, nas pesquisas realizadas pelo IBGE - Censo ou PNAD -, entrevistas sobre a posse de ventiladores ou circuladores de ar. Apenas na Pesquisa de Posse de Equipamentos e Hábitos de Consumo (ELETROBRAS/PROCEL, 2007b), há o levantamento da posse desses eletrodomésticos para a Região Sudeste. Como nesse texto não há distribuição da posse por classe de renda, é proposto, na Tabela 4.11 abaixo, a diferenciação por ano de censo. Essa distribuição é feita de modo que a posse do município, ponderada por número de UEH, seja semelhante à posse do equipamento na Região Sudeste. No ano de 1991, foram consideradas

apenas as posses de ventiladores e circuladores de ar comuns, tendo em vista que o uso do ventilador de teto, no setor residencial, é mais recente. No ano de 2000, a posse de circulador de ar foi somada à posse de ventiladores de teto, pois a potência desses equipamentos é muito próxima a 100 W em todas as fontes consultadas (*site* PROCEL; *site* ANEEL; INMETRO, 2009f.).

**Tabela 4.11: Posse de ventiladores por classe de renda proposta para 1991 e 2000**

Classe de rendimento	Número de UEH		Posse de ventiladores proposta	
	1991	2000	1991	2000
Até 3 s.m.	0	0	0	0
3 a 5 s.m.	7	8	0,2	0,5
5 a 10 s.m.	42	31	0,4	0,75
Acima de 10 s.m.	27	38	0,8	1,25
Total municipal	76	77	<b>0,52</b>	<b>0,95</b>

Fonte: Elaboração própria

O período de uso dos ventiladores nas residências foi considerado o mesmo de uso de ar condicionado. Assim, o procedimento de cálculo do coeficiente de consumo específico dos ventiladores, apresentado na Tabela 4.12, também será função do consumo anual obtido de acordo com o do número de dias no ano com sensação térmica de calor ou ameno e do consumo médio diário do equipamento.

**Tabela 4.12: Cálculo do coeficiente de consumo específico do ventilador**

Sensação Térmica	Período (meses)	Período (nº sem)	Uso (dia/sem)	Uso (h/dia)	Uso (dias/ano)	Consumo (kWh)	Consumo Anual (kWh)
Frio	Maio a ago.	18	0	0	0	0	0
Ameno	Abr., set., out.	13	1	6	13	0,1	8
Quente	Nov. a mar.	22	4	6	88	0,1	53
<b>TOTAL</b>							<b>61</b>

Fonte: Elaboração própria

---

## 5 MATERIAIS E MÉTODOS: A ELABORAÇÃO DE CENÁRIOS DE CONSUMO DE ENERGIA PARA O SETOR RESIDENCIAL

---

A metodologia apresentada no capítulo anterior permite calcular o consumo de energia no setor residencial nos anos de 1990 e 2000. Contudo, para subsidiar o planejamento é necessário que as informações e os estudos sejam capazes de investigar o futuro. Neste trabalho, é adotada a técnica de elaboração de cenários para subsidiar o planejamento energético e, como ferramenta de análise energética, é utilizado o *software* Long Range Energy Alternatives Planning System – LEAP, desenvolvido pelo Stockholm Environment Institute.

O primeiro item deste capítulo mostra uma descrição da metodologia dos cenários, discutindo o que é a técnica, sua importância no planejamento energético e as etapas da elaboração de cenários energéticos. A seguir, a plataforma adotada para o cálculo do consumo nos cenários é descrita, e também a forma como os dados do setor residencial foram inseridos no ano base.

O item seguinte discute a evolução do perfil das famílias do município do ponto de vista sócio-econômico e de posse de equipamentos. O objetivo desse item é entender o processo ocorrido entre 2000 e 2007 para fundamentar as projeções de consumo até o ano de 2030.

O terceiro item tece considerações sobre os parâmetros que serão adotados nos cenários, discutindo as questões referentes à posse, ou perfil de uso e à potência dos equipamentos utilizados no setor residencial. O último item destaca as diferenças entre as hipóteses assumidas nos dois cenários elaborados de projeção de consumo para o município.

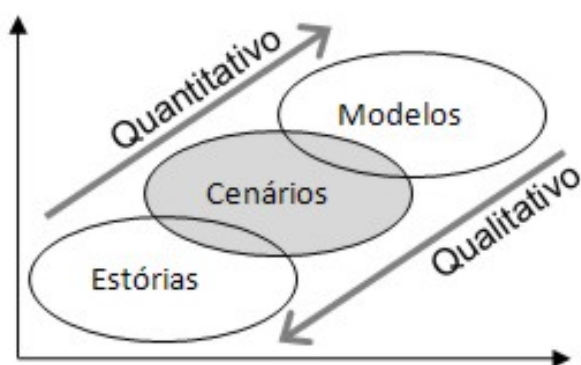
### 5.1 O processo de desenvolvimento de cenários

O termo ‘cenários’ é definido como sendo concepções descritivas de futuros possíveis. Ele foi primeiramente utilizado por Herman Kahn, em 1950, numa adaptação do significado e do método de cenários teatrais para o planejamento, onde cenários significariam caminhos alternativos levando a diferentes resultados (MILLET, 2003). Existem diferentes

---

metodologias, sendo geralmente utilizadas por grandes corporações e instituições para permitir uma melhor compreensão de possíveis ambientes de negócios futuros.

Na área do planejamento energético, esse termo refere-se a uma gama de condições esperadas do futuro e é utilizado para quantificar os impactos potenciais de mudanças políticas, tecnológicas ou comportamentais, utilizando para isso técnicas de modelagem de energia. O termo é normalmente utilizado na compreensão de situações complexas que envolvem um grande número de variáveis, inclusive variáveis humanas, de modo que o uso de modelos tradicionais não é validável. Esses casos podem ser analisados por uma abordagem que incorpora a intuição e a maneira melhor de explicitá-los é por meio de imagens e histórias. Dessa forma, os cenários podem ser vistos como um instrumento de ligação que integra a intuição e modelagem quantitativa, para melhorar a compreensão de como o sistema funciona (SHELL, 1999). Isso é ilustrado pela imagem da Figura 5.1.



**Figura 5.1: Relação entre modelos, cenários e estórias**  
Fonte: Adaptado de Shell (1999)

Projeções e cenários discutem o futuro, contudo há uma grande distinção entre elas. Enquanto os modelos de projeção visam a encontrar o caminho mais provável que o futuro irá seguir e também estimar as incertezas desse futuro, os cenários exploram uma gama de possíveis resultados decorrentes da incerteza (GHANADANA; KOOMEY, 2005). Em revisão das projeções de energia realizadas nos últimos 50 anos, Craig e outros (2002) apontam que as previsões históricas rotineiramente não representam as condições reais de consumo por sistematicamente superestimar ou subestimar as incertezas. No entanto, os autores observaram que não há evidências de que projeções mais complexas, baseadas em modelagem matemática sofisticada, são mais precisas em prever o futuro do que os modelos mais simples. Eles concluem que uma compilação de dados precisa e a criação cuidadosa de cenários são os fatores mais importantes para o sucesso da previsão e o uso adequado de modelos simples e transparentes pode ser uma ferramenta imensamente poderosa.

Neste trabalho o uso de cenários é adotado com o objetivo de explorar os impactos da evolução do consumo de energia do setor residencial de Belo Horizonte, considerando diferentes perspectivas. O ano base das projeções escolhido é 2000 e é adotado o ano de 2007 para a calibração do modelo. A partir do ano base, são elaborados dois cenários de evolução até o ano de 2030: o Cenário Minas Gerais e o Cenário Belo Horizonte.

Usualmente, o desenvolvimento de cenários é feito com o objetivo de comparar como diferentes hipóteses de crescimento econômico poderiam afetar a evolução do consumo de energia. Neste trabalho, os cenários se diferenciam por considerar, ou não, a questão da ocupação espacial em suas premissas. O objetivo dessa distinção é avaliar como a consideração da hipótese inicial desse trabalho – a ocupação espacial pode interferir no consumo de energia de um local – influencia as projeções de consumo de energia.

Em todas as projeções, é adotada uma abordagem na qual as tendências históricas de hábitos de consumo, dados espaciais socioeconômicos e de posse de eletrodomésticos, estão integrados às premissas desenvolvidas.

### **5.1.1 A plataforma adotada e o ano base**

Na modelagem de cenários de consumo de energia é necessária a escolha de uma plataforma capaz lidar com um grande número de variáveis e que tenha flexibilidade para realizar as análises conforme as demandas do problema. Existem alguns modelos de programas computacionais disponíveis no mercado que realizam a análise e avaliação de políticas energéticas utilizadas no planejamento energético. Neste trabalho adotou-se o *software* LEAP, que apresenta uma série de características que torna seu uso particularmente útil neste trabalho e isto justifica a sua adoção:

- a) pode ser usado para criar modelos de sistemas de energia diferenciados, onde se requer estrutura única de dados, por suportar uma ampla gama de metodologias de modelagem diferentes. Como neste trabalho focaliza-se o setor residencial, é possível criar um modelo pelo lado da demanda setorial;
  - b) possui total flexibilidade na inserção dos usos finais, permitindo a criação de um modelo de consumo que reflita as especificidades do setor residencial no município de Belo Horizonte;
  - c) os fatores que irão influenciar no cálculo do consumo de energia, e na sua evolução, podem ser inseridos de modo flexível, transparente e simplificado. Assim, apenas os
-

dados efetivamente necessários para a condução dos cenários precisam ser inseridos, o que agiliza e viabiliza a análise, pois num estudo local não há a quantidade de dados demandada por modelos altamente complexos;

- d) mesmo sendo um modelo de análise de médio a longo prazo, a maior parte dos cálculos é realizada em intervalos anuais, permitindo a inserção de anos específicos no qual é possível fazer a comparação de resultados do modelo com dados estatísticos;
- e) há a possibilidade de criar regiões dentro de um modelo, o que permite representar as 77 unidades espaciais do município paralelamente. Além disso, os resultados obtidos para cada uma das regiões podem estar associados a mapas.

Para ilustrar o processo de modelagem de cenários no *software* LEAP, é apresentada abaixo a Figura 5.2 com uma tela do programa, na qual estão destacados alguns recursos utilizados na elaboração de cenários de consumo energético.

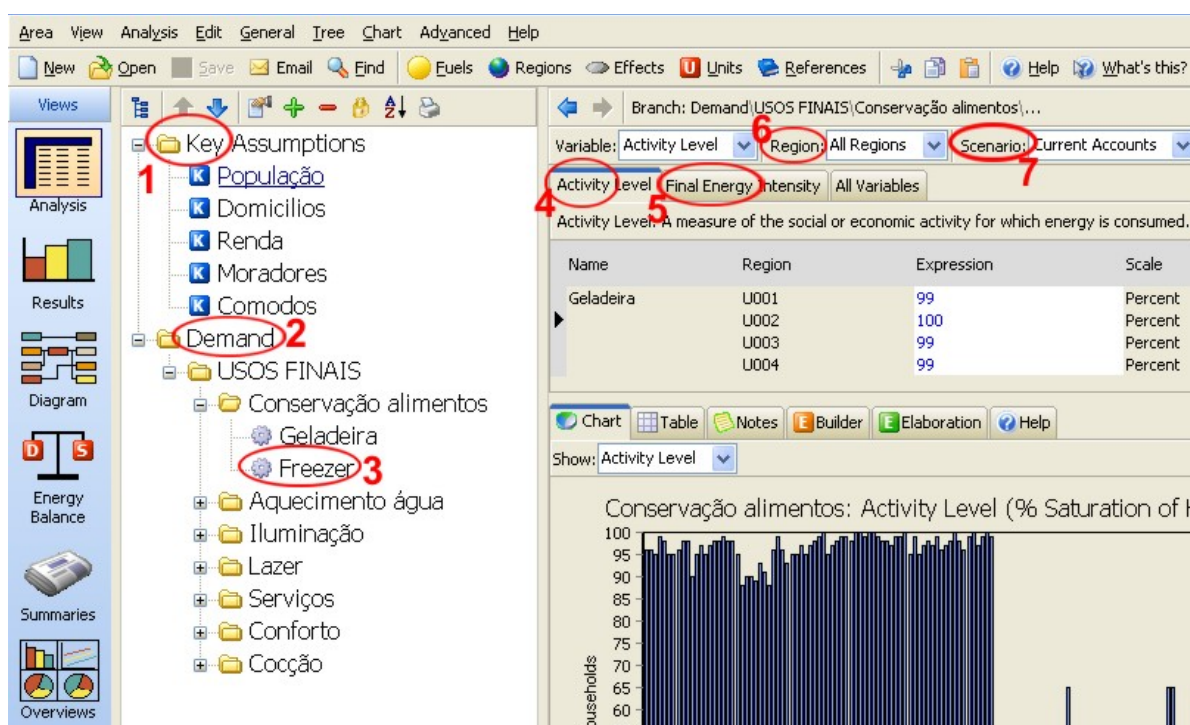


Figura 5.2: Detalhe da tela do *software* LEAP, na qual são destacados os recursos utilizados.

Fonte: Elaboração própria

A numeração destacada nessa figura refere-se aos seguintes itens do programa:

- 1) *Key Assumptions*: são os fatores chaves que determinam o consumo de energia no ano base e nas projeções. Geralmente tratam de fatores socioeconômicos que determinam a intensidade do uso da energia. Não há no *software* uma estrutura pré-definida. Neste trabalho os fatores escolhidos são: população da UEH, seu número de domicílios, o

rendimento médio familiar, o número médio de moradores por residência e o número médio de cômodos.

- 2) *Demand*: a técnica de modelagem mais simples que o *software* permite realizar é a pelo lado da demanda, sendo necessária apenas a inserção de dados na pasta “Demand”. Fica a critério do usuário definir as subpastas que constituirão o lado da demanda. Como se focaliza o setor residencial, optou-se por dividir a demanda por usos finais. Em cada uso estão agrupados os equipamentos que consomem energia.
- 3) *Technology*: “nós” que são utilizados para representar os equipamentos que consomem determinada forma de energia final, estando associados a algum tipo de combustível. Esses equipamentos foram agrupados por uso final e são apresentados no item 5.3. O cálculo de consumo de energia é dado pela multiplicação do nível de atividade (nº4) pela intensidade energética (nº5), como mostrado na Equação 5.1.

$$\text{Energia consumida} = \text{Activity Level} \times \text{Final Energy Intensity} \quad (5.1)$$

- 4) *Activity level*: normalmente, o nível de atividade é especificado como um valor absoluto (por exemplo, número de famílias) multiplicado por uma série de saturação ou de penetração (por exemplo, a participação percentual de domicílios urbanos). Neste trabalho, considerou-se a posse de equipamentos como *Activity level*.
- 5) *Final Energy Intensity*: é o consumo anual de energia final do equipamento escolhido. Os valores (ou fórmulas) adotados são os detalhados no Capítulo 4.
- 6) *Region*: o *software* permite a inserção de dados socioeconômicos e de consumo de energia por região. Os dados de cada UEH estão associados a uma região. Na Figura 5.2, apresentada na página anterior, é possível ver para o equipamento geladeira alguns valores de posse (Expression) para cada região (Region).
- 7) *Scenario*: aba da interface que permite a visualização dos dados calculados em cada ano de cada cenário criado. Na Figura 5.2 está selecionado o Ano Base (Current Accounts).

### 5.1.2 O ano base

No *software* LEAP, os dados do ano de 2000 foram inseridos como ano base, por ser o último ano em que o levantamento do censo foi realizado. Sendo assim, é o último ano em que existem dados intra-urbanos levantados. Esse ano possui especial importância porque é nele

---

que são definidos os parâmetros iniciais que irão influenciar quantitativamente as projeções em todos os cenários criados.

O consumo do setor residencial, como já foi dito, foi desagregado em sete usos finais: Conservação de Alimentos, Iluminação, Aquecimento de Água, Lazer, Conforto Ambiental, Cocção e Serviços. Os equipamentos considerados por uso final foram:

- a) conservação de alimentos: geladeira e freezer;
- b) iluminação: lâmpadas incandescente e fluorescente;
- c) aquecimento de água: o chuveiro elétrico e o sistema de aquecimento solar;
- d) lazer: televisores, videocassete, rádio e computador pessoal;
- e) conforto ambiental: ar condicionado e ventilador;
- f) cocção: fogão a GLP;
- g) serviços: demais eletrodomésticos; incluindo o ferro de passar e o micro-ondas.

Os critérios de posse e perfil de uso dos equipamentos apresentados no capítulo anterior são os mesmos adotados na modelagem do ano base, de modo que os resultados do mapeamento da demanda de energia por uso final, mostrados no Capítulo 6, constituem os valores iniciais de consumo nas projeções. Todas as projeções geradas no *software* LEAP partem do ano base.

No próximo item, serão apresentados os critérios e os parâmetros assumidos nas projeções traçadas relacionados às questões socioeconômicas dos domicílios e à posse e uso de eletrodomésticos.

## **5.2 A evolução do perfil das famílias em Belo Horizonte**

Na construção de cenários de consumo de energia há a integração de formulação de hipóteses descritivas do futuro com resultados de projeções realizadas por meio de modelos matemáticos. Neste item são discutidas as projeções elaboradas para explicar a tendência de comportamento futuro dos usuários do setor residencial de Belo Horizonte.

Como há uma lacuna entre o ano base das projeções e o momento atual, este trabalho incorpora um segundo momento: o ano de calibração, para ajustar as trajetórias das projeções com eventos e mudanças de comportamento ocorridos nesse período.

---



No ano base, 2000, os dados dos censos referem-se ao período anterior à crise de abastecimento de energia elétrica ocorrida em 2001. Nesse ano ocorreu uma mudança nos padrões de consumo do setor residencial brasileiro e também do município de Belo Horizonte, mudança essa apresentada no Capítulo 3. Como para o ano de 2007 há dados de posse de eletrodomésticos levantados pelo PNAD/IBGE e dados de consumo do setor fornecidos pela concessionária de energia, é possível realizar um ajuste das trajetórias das curvas de crescimento de cada cenário criado.

A projeção de crescimento é também delimitada pela adoção de resultados obtidos por outros estudos realizados para o município e para o estado. Para que as projeções não extrapolem ao permitido por lei, foi considerada a LUOS (BELO HORIZONTE, 1996, 2000) como parâmetro limitador do crescimento do número de domicílios. Assim, o número máximo de domicílios estimado não ultrapassa o permitido pelos zoneamentos existentes em cada UEH.

### **5.2.1 A projeção de dados socioeconômicos**

Após 2000, não houve levantamento de dados socioeconômicos para a capital mineira, apenas estimativas, projeções e pesquisas amostrais. Nesse subitem é proposta uma estrutura para gerar uma base de dados socioeconômicos de escala intra-urbana, que preencha essa lacuna. Isso é feito por meio da reorganização e mapeamento de variáveis socioeconômicas disponíveis em âmbito municipal, de modo que possam ser integradas às informações sobre uso e consumo de energia. As variáveis consideradas são população residente, número de domicílios, tamanho médio das famílias e seu rendimento médio mensal dentro do município. Essa análise é efetuada adotando a divisão de Unidades Espaciais Homogêneas, UEH.

#### **5.2.1.a A população desagregada por UEH**

Na demografia, as projeções populacionais para áreas, como, por exemplo, distritos, bairros e unidades territoriais de planejamento, normalmente são limitadas pela falta de dados, pois demandam informações históricas de nascimentos, óbitos e fluxos migratórios. Comumente, para solucionar o problema de ausência de dados, são adotados métodos de estimação demográfica, como modelos de extrapolação de dados populacionais passados, de repartição de acréscimos populacionais de uma área maior ou de emprego de um modelo estatístico de regressão baseado em séries históricas correlacionadas ao crescimento populacional (JANUZZI, 2007)

---

Considerando que a UEH não é uma subdivisão oficial do município em questão, não há disponibilidade de dados para se realizar uma projeção demográfica específica para este trabalho. Como alternativa, é possível fazer uma repartição da população total projetada para Belo Horizonte. O parâmetro adotado como projeção do crescimento populacional total é o estudo elaborado pelo CEDEPLAR (CEDEPLAR; LABES/FIOCRUZ, 2008), apresentado no Capítulo 2.

Para realizar a subdivisão espacial, existem alguns modelos matemáticos utilizados por demógrafos. A princípio, todos os modelos matemáticos utilizados devem estar sujeitos a restrição de fechamento, isto é, a soma das estimativas das áreas menores tem que ser igual ao resultado obtido para a estimativa da população total. A escolha do método mais adequado dependerá da disponibilidade de dados e das hipóteses adotadas.

Neste trabalho adotou-se o método conhecido por “AiBi”, desenvolvido pelos demógrafos Madeira e Simões (1972), para se estimar, entre dois Censos Demográficos consecutivos, a tendência de crescimento populacional de uma área menor - como um município - em relação a mesma tendência de uma área geográfica hierarquicamente superior (área maior). Essa técnica é considerada por Januzzi (2007) a mais adequada quando se supõe que a dinâmica populacional de pequenas áreas é fortemente condicionada às tendências passadas. No Brasil, a técnica é utilizada em estimativas oficiais das populações de municípios entre dois Censos, pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE<sup>21</sup>.

Madeira e Simões (1972) utilizam uma função linear para estimar os tamanhos das subpopulações a partir da população total, de tal forma que seja assegurada, ao final das estimativas das áreas menores, a reprodução da estimativa total pré-conhecida.

Neste método, considera-se que a população estimada de uma área maior, como o município, em um ano  $j$ , é  $H_j$ . Essa área encontra-se subdivida em  $n$  áreas menores, as UEH, cuja população de uma determinada área  $i$ , na época  $j$ , é  $H_{i,j}$ . A soma das populações das áreas menores deve ser igual à população total, num mesmo momento. Desse modo, tem-se a Equação 5.2.

$$H_t = \sum_{i=1}^n H_{i,j} \quad (5.2)$$

Onde:

---

<sup>21</sup> Essa metodologia também está descrita no site do IBGE: [http://www1.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/estimativa\\_pop.shtm](http://www1.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/estimativa_pop.shtm). Acessado em 20/04/2010

---

$H_t$  = Número de habitantes do município de Belo Horizonte, no ano  $j$ ;

$H_{i,j}$  = Número de habitantes da UEH  $i$ , no momento  $j$ , sendo  $i = 1, 2, 3, \dots n$ .

Por hipótese, a população da UEH  $i$  pode ser decomposta em dois termos:  $a_i H_j$ , que depende do crescimento da população total, e  $b_i$ . Assim, obtém-se a Equação 5.3.

$$H_{i,j} = a_i H_j + b_i \quad (5.3)$$

Onde:

$a_i$  = coeficiente de proporcionalidade do incremento da área da UEH  $i$  em relação ao incremento da área do município;

$b_i$  = coeficiente linear de correção.

Para a determinação destes coeficientes utiliza-se o período delimitado por dois censos demográficos. Sejam  $j_0$  e  $j_1$ , respectivamente, as datas dos dois censos. Ao substituir-se  $j_0$  e  $j_1$  na equação acima, tem-se as Equações 5.4 e 5.5.

$$H_{i,j_0} = a_i H_{j_0} + b_i \quad (5.4)$$

$$H_{i,j_1} = a_i H_{j_1} + b_i \quad (5.5)$$

Através da resolução do sistema de equações 5.4 e 5.5, é possível obter os valores de  $a_i$  e  $b_i$  de cada UEH. O valor do coeficiente  $a_i$  é dado pela variação dessa área dividida pela variação total, como colocado pela Equação 5.6.

$$a_i = \frac{H_{i,j_1} - H_{i,j_0}}{H_{j_1} - H_{j_0}} \quad (5.6)$$

E o valor do coeficiente de correção de cada área menor é dado pela Equação 5.7.

$$b_i = \frac{(H_{i,j_0} + H_{i,j_1}) - a_i(H_{j_0} + H_{j_1})}{2} \quad (5.7)$$

A metodologia AiBi é usualmente aplicada em condições onde há o crescimento populacional da área maior, mesmo quando isso não é observado em algumas áreas menores. Contudo, de acordo com a projeção do crescimento demográfico de Belo Horizonte (CEDEPLAR; LABES/FIOCRUZ, 2008), após 2015, ocorrerá redução da população total do município. Desse modo, a aplicação direta dessa metodologia em toda a série temporal acarreta em erros nas estimativas.

Esse método foi aplicado para se obter a população das UEH entre 2000 e 2030, e o resultado, por década é exposto abaixo nos Gráficos 5.1 e 5.2. Por essas figuras, nota-se que nos anos de 2020 e 2030 ocorre uma inversão na curva de número de habitantes das unidades espaciais: as que estavam em crescimento demográfico (GRAF. 5.1) passaram a ter queda no número de habitantes e o oposto ocorreu nas que estavam em processo de redução populacional (GRAF. 5.2).

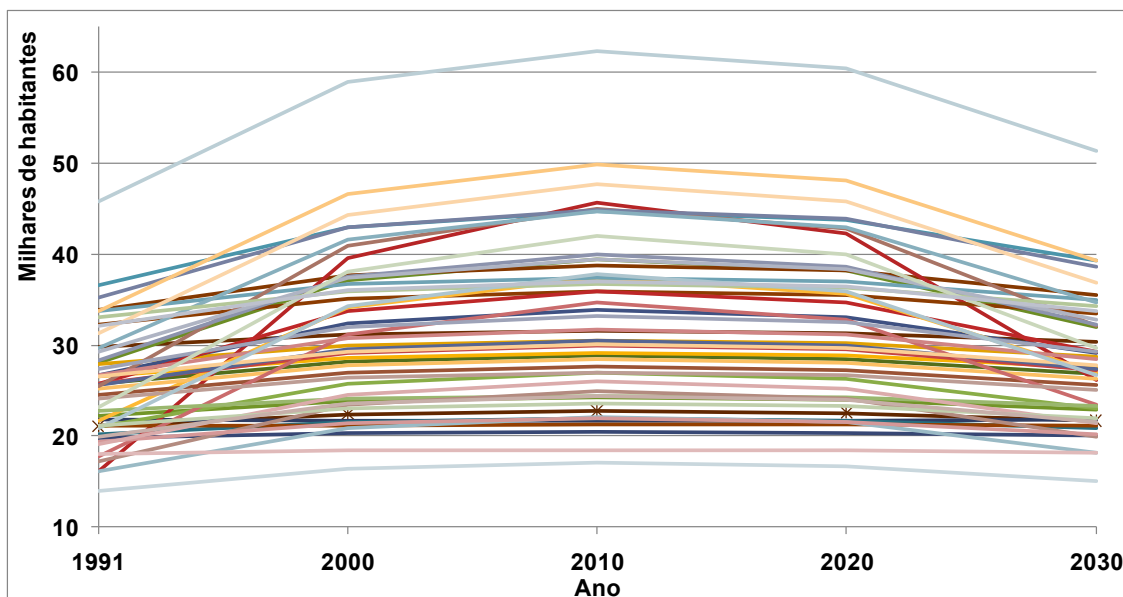


Gráfico 5.1: Evolução da população estimada das UEH com crescimento populacional entre 1991 e 2000, conforme o método AiBi  
 Fonte: Elaboração própria

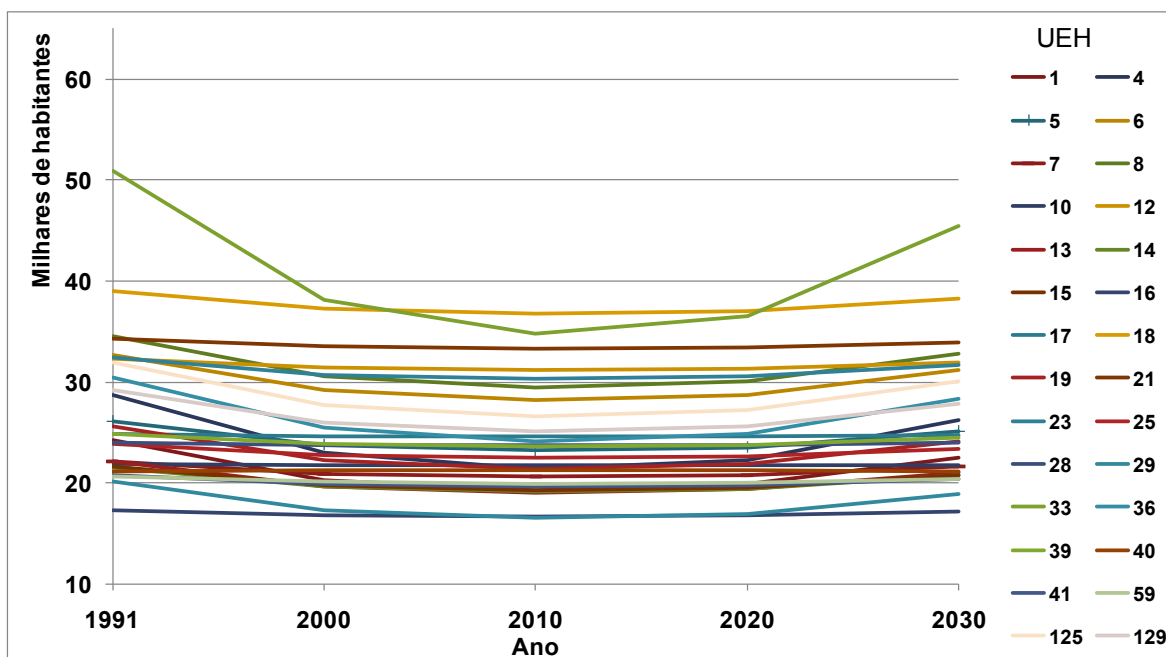


Gráfico 5.2: Evolução da população estimada das UEH com decréscimo populacional entre 1991 e 2000, conforme o método AiBi

Fonte: Elaboração própria

Para a correção do problema da evolução populacional das unidades espaciais com taxa de crescimento negativa (GRAF. 5.2), foi mantido o decréscimo populacional anual dessas UEH, observado entre 2000 e 2010, no restante do período considerado, conforme mostrado pela Equação 5.8.

$$H_{i,j_1} = H_{i,j_0} \left( \frac{H_{i,2010} - H_{i,2000}}{H_{i,2000}} \right) \left( \frac{j_1 - j_0}{10} \right) \quad (5.8)$$

Onde:

$H_{i,j_0}$  = Número de habitantes da UEH  $i$ , no ano  $j_0$ ;

$H_{i,j_1}$  = Número de habitantes da UEH  $i$ , no ano  $j_1$  após  $j_0$ ;

A população das UEH calculadas pela Equação 5.8 foi somada e subtraída do total projetado para Belo Horizonte. A população restante foi redistribuída pelas demais UEH por meio do método AiBi. O resultado obtido é apresentado abaixo no Gráfico 5.3.

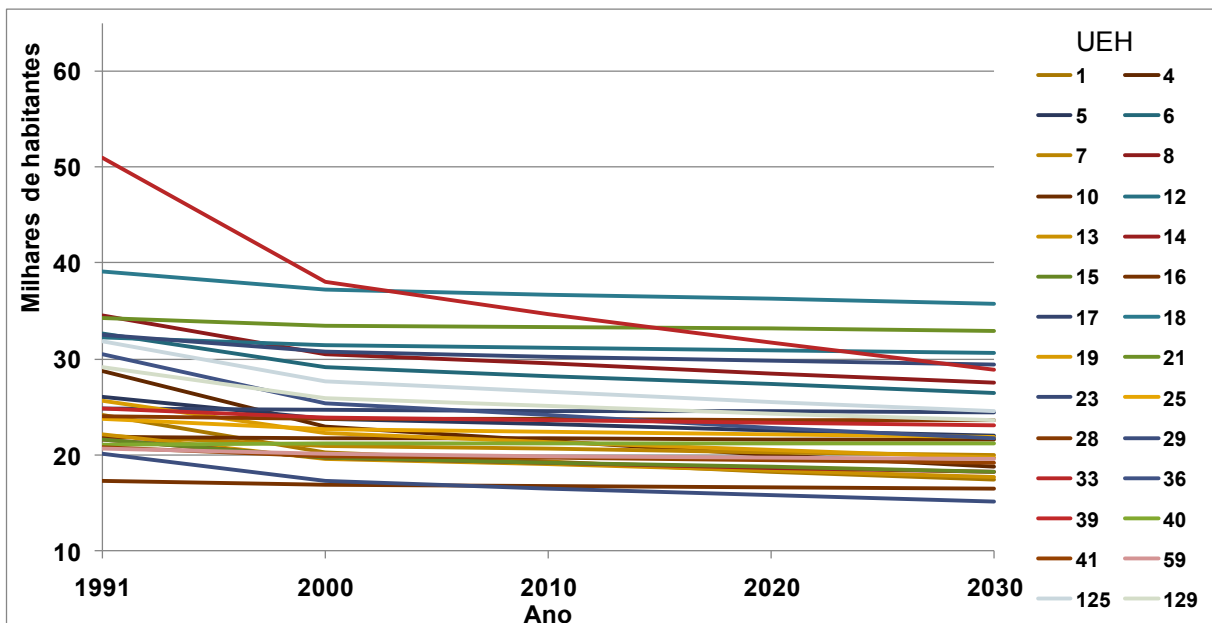


Gráfico 5.3: Evolução da população estimada das UEH com decréscimo populacional entre 1991 e 2000, conforme o método AiBi ajustado  
 Fonte: Elaboração própria

**5.2.1.b A projeção do número de moradores por residência e número total de residências**

Entre os Censos de 1991 e 2000 o valor do número de moradores por residência, em cada UEH, foi obtido pela divisão do número de pessoas pelo número de domicílios. Em Belo Horizonte, houve uma redução média de 0,5 pessoas por domicílio nesse período.

Nas estimativas, o número de moradores por domicílio considerado é a metade da taxa anual observada entre os anos de 1991 e 2000. Essa medida foi necessária porque implica em um crescimento menos acentuado do número de residências, tendência apontada pelo consumo residencial de energia elétrica do município. Além disso, a medida adotada conduzirá a um número médio de moradores por domicílio não muito baixo no final do horizonte de 2030, número este próximo ao valor de 2,71 que foi estimado para Minas Gerais no PEI 2030 (CEMIG, 2007).

Com os valores de número total de habitantes e número médio de moradores por residência, pode-se estimar o número total de domicílios em cada UEH, conforme a Equação 5.9.

$$N_{ij} = \frac{H_{ij}}{h_{ij}} \quad (5.9)$$

Onde

$N_{ij}$  = número de residências na UEH  $i$ , no ano  $j$ ;

$H_{ij}$  = número total de habitantes na UEH  $i$ , no ano  $j$ .

$h_{ij}$  = número médio de moradores por residência na UEH  $i$ , no ano  $j$ .

### 5.2.1.c A influência da Lei de Uso e Ocupação do Solo

Ao regular a taxa máxima de ocupação do solo das edificações residenciais, a LUOS pode controlar o número máximo de residências que podem surgir em uma determinada região. Conforme mostrado no Capítulo 3, item 3.5, a LUOS direciona a construção de determinadas tipologias. Considerando a distribuição tipológica, foi estimado o percentual que as edificações, existentes e calculadas em 2000, ocupam do potencial total que é permitido construir em cada unidade. O resultado é apresentado na Figura 5.3, onde se percebe que as edificações existentes na maior parte das UEH, correspondem a menos de 50% do total que se pode construir.

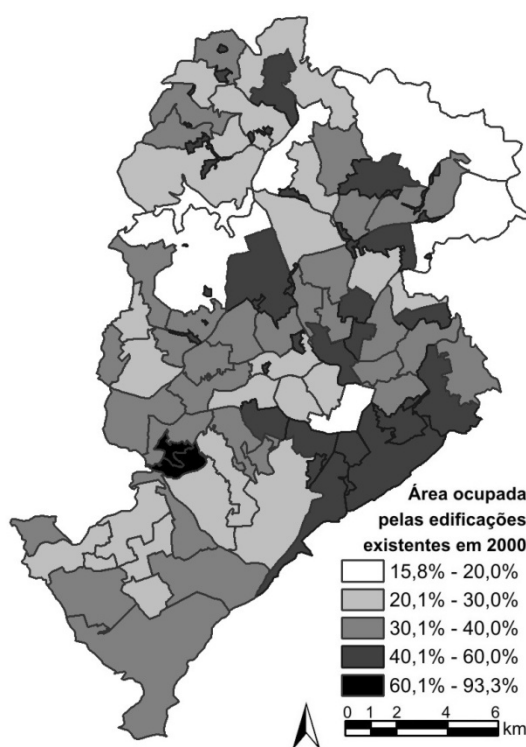


Figura 5.3: Taxa de ocupação do potencial construtivo das edificações existentes em 2000.  
Fonte: elaboração própria

#### 5.2.1.d A evolução da renda familiar

A renda familiar é um importante parâmetro no consumo de energia domiciliar, pois influencia tanto na quantidade de equipamentos existentes no domicílio quanto no tipo de equipamento utilizado.

Nas projeções e estudos de crescimento da demanda de energia, o PIB frequentemente é utilizado como indicador do consumo, pois está associado ao crescimento dos setores produtivos da economia. Além disso, como o PIB está relacionado com a economia, geralmente há uma relação direta entre seu crescimento e o aumento da demanda do setor residencial, mesmo que a renda familiar não entre no cálculo das riquezas produzidas por um país.

Contudo, o crescimento da economia pode não afetar o crescimento da renda familiar das diferentes classes da mesma forma. Como observado no Capítulo 3, entre os censos de 1991 e 2000, apesar de a economia mineira ter passado por período de relativa estagnação, ocorreu um crescimento da renda nas classes mais ricas e redução nas classes mais pobres, o que causou um aumento da desigualdade de renda em Belo Horizonte. Dessa forma, é importante encontrar algum parâmetro que indique como a evolução da renda familiar média dos domicílios de Belo Horizonte evoluiu após o ano de 2000, para se verificar como o

crescimento da economia do município influenciou a distribuição de riquezas dentro dele, permitindo a elaboração de cenários de demanda de energia.

Para a estimativa da evolução da renda familiar, até o ano de 2007, foram utilizados os dados da PNAD, realizada pelo IBGE, para a RMBH<sup>22</sup>. Anualmente, essa pesquisa levanta o valor do rendimento médio mensal domiciliar, por faixa de rendimento familiar, sendo a variação entre os anos de 1999 e 2008 mostrada abaixo no Gráfico 5.4. Essa figura apresenta ainda a evolução do PIB per capita municipal do mesmo período. Os valores de todas as curvas foram convertidos em Reais do ano 2000, pelo IGPM da FGV.

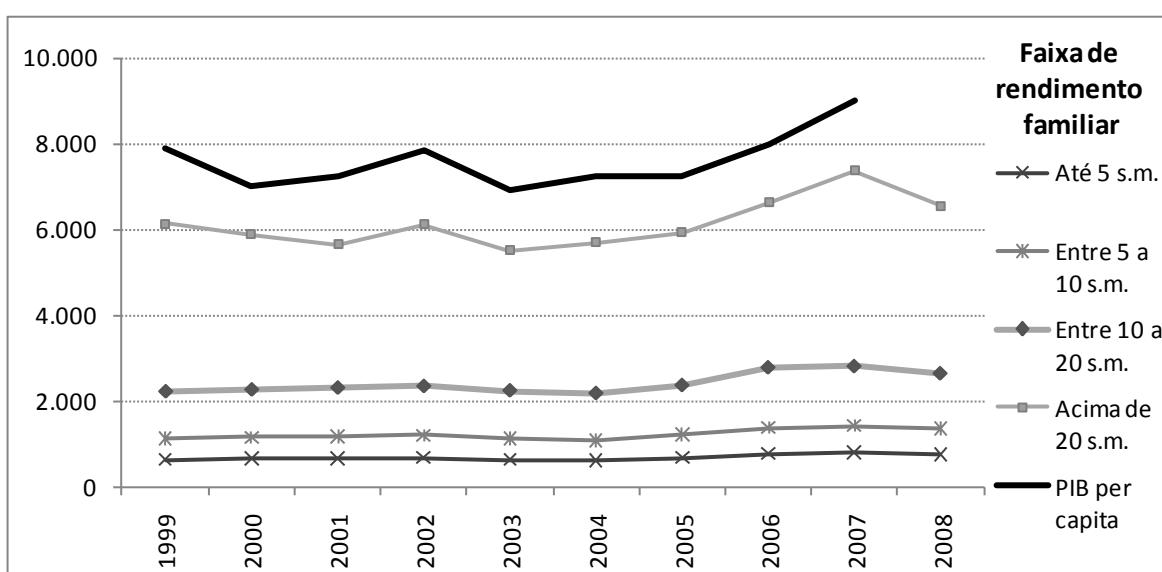


Gráfico 5.4: Evolução da renda média familiar por faixa de rendimentos  
Fonte: PNAD 2001 a 2007 (IBGE, vários anos)

Considerando o período de 1999 a 2007, pode-se perceber que há uma relação direta entre a renda das famílias que recebem mais de 20 salários mínimos e o PIB per capita. Esse resultado é bastante coerente com o fato de que essa faixa é predominantemente composta da elite dirigente, como empresários, dirigentes do setor privado e profissionais liberais, cuja renda está diretamente associada ao desempenho da economia. Para as demais faixas de rendimento, observa-se que apesar da renda familiar acompanhar a evolução da economia, a influência possui intensidade menor. Para se estimar o crescimento da renda familiar das classes, foi utilizada a taxa média de crescimento anual do período 2001 e 2007, por classe de

<sup>22</sup> Na busca de dados válidos para essa pesquisa, vários órgãos foram consultados para verificar a existência de indicadores relacionados à distribuição de renda pelas famílias do município. Os órgãos Estaduais consultados foram: Secretaria de Planejamento do Estado de Minas Gerais e Fundação João Pinheiro- FJP. Também foram consultados órgãos de pesquisa da UFMG: no Centro de Desenvolvimento e Planejamento Regional da UFMG – CEDEPLAR, e a Fundação Instituto de Pesquisas Econômicas, Administrativas e Contábeis de Minas Gerais – IPEAD. As instituições consultadas informaram que ou não possuem este tipo de dado ou que os dados mais atuais que existem, nessa escala, são os mesmos utilizados nesta pesquisa: a pesquisa amostral do Censo 2000.



renda. Esse período foi adotado para se evitar que ocorra um aumento da desigualdade de renda muito acentuado, como o ocorrido entre 1991 e 2000. Além disso, a taxa média de crescimento da economia registrada no período é semelhante à que será adotada nos cenários.

### **5.2.2 Evolução na posse de eletrodomésticos conforme a PNAD**

Como mostrado no Capítulo 3, após a crise de abastecimento de energia, ocorreu uma mudança de padrão de consumo de energia elétrica no setor residencial que gerou acentuada redução no consumo per capita e por PIB gerado. Por esse motivo, a variação da posse de eletrodomésticos entre os Censos de 1991 e 2000 é insuficiente para descrever sua evolução após 2001.

Para contornar essa limitação, foram utilizados os dados de bens duráveis da PNAD (IBGE, vários anos). Na pesquisa, anualmente, são produzidas estimativas de número total de residências e número de domicílios que possuem um bem determinado. Pela divisão desses dois valores foram gerados dados de posse de alguns eletrodomésticos para a RMBH. A série histórica assim produzida é mostrada nos Gráficos 5.5 à 5.11. Nessas figuras, a posse é dada por faixa de rendimento familiar, estando presentes as faixas a partir de 3 salários mínimos, pois esta é a menor renda familiar média das UEH encontrada em Belo Horizonte.

Para o uso final de conservação de alimentos, na PNAD aparecem dados referentes à geladeira e ao freezer. Aparentemente, a crise de abastecimento teve pouca influência na aquisição de geladeiras na RMBH. Pelo Gráfico 5.5, mostrado a seguir, observa-se que a tendência de saturação continuou após 2000 e, em 2007, todas as faixas tinham posse superior a 0,95. Já para o freezer, nota-se tendência oposta, conforme o Gráfico 5.6, logo a seguir. Até 1999, a posse crescia em todas as faixas de rendimento familiar e, a partir de 2001, houve uma clara inversão dessa tendência. Além da crise, essa mudança de comportamento foi influenciada pela estabilização da economia ocorrida na última década. Sem os efeitos da inflação elevada na renda, é mais econômico para as famílias comprar o alimento com maior frequência a estocá-lo em freezer.

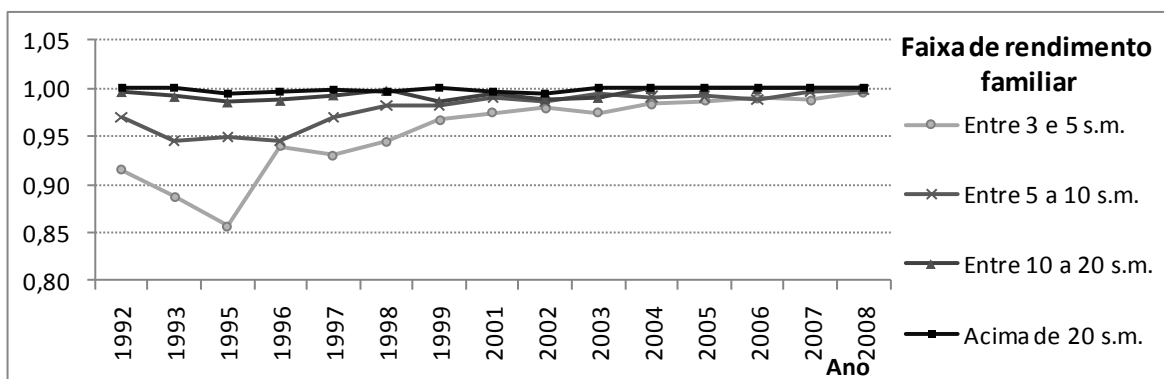


Gráfico 5.5: Evolução da posse de geladeiras na RMBH por classe de rendimento familiar  
Fonte: PNAD (IBGE, vários anos)

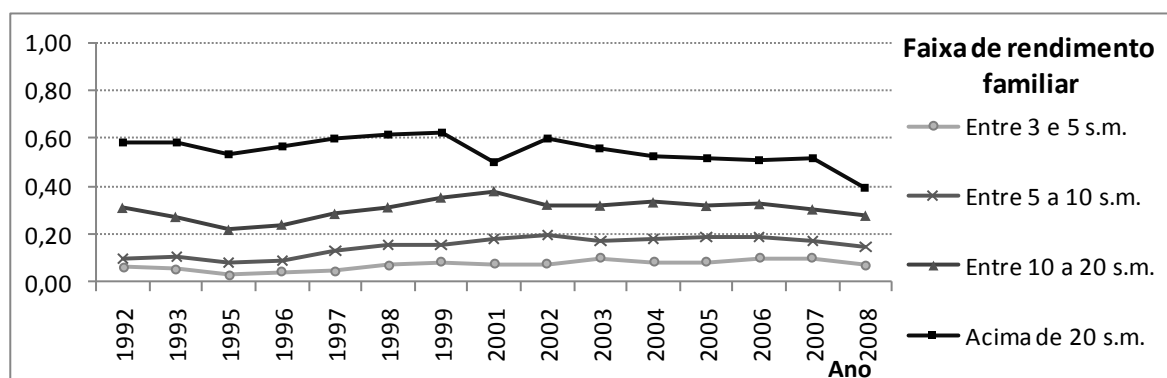


Gráfico 5.6: Evolução da posse de freezer na RMBH, por classe de rendimento familiar  
Fonte: PNAD (IBGE, vários anos)

Em relação ao uso final de serviços gerais, o único aparelho investigado nas amostras da PNAD é a máquina de lavar roupas. Como visto a seguir no Gráfico 5.7, mesmo após o ano 2001, há o crescimento da posse desse eletrodoméstico, em todas as faixas de rendimento familiar.

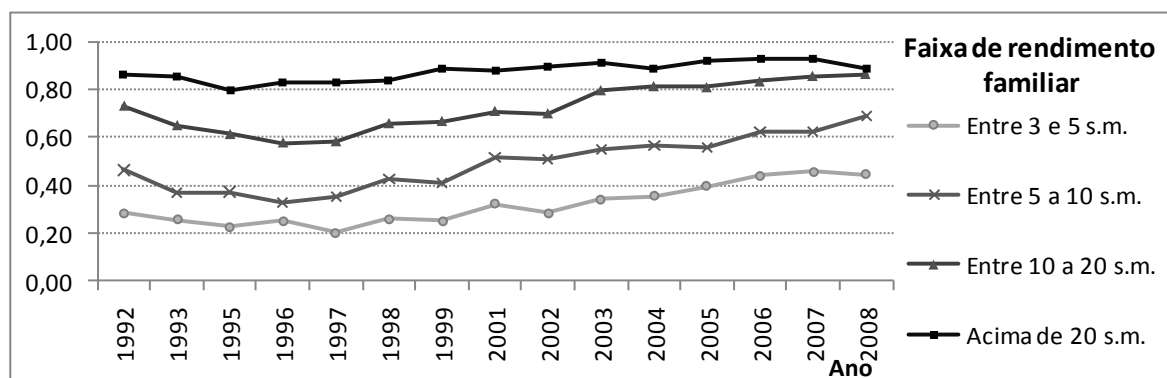
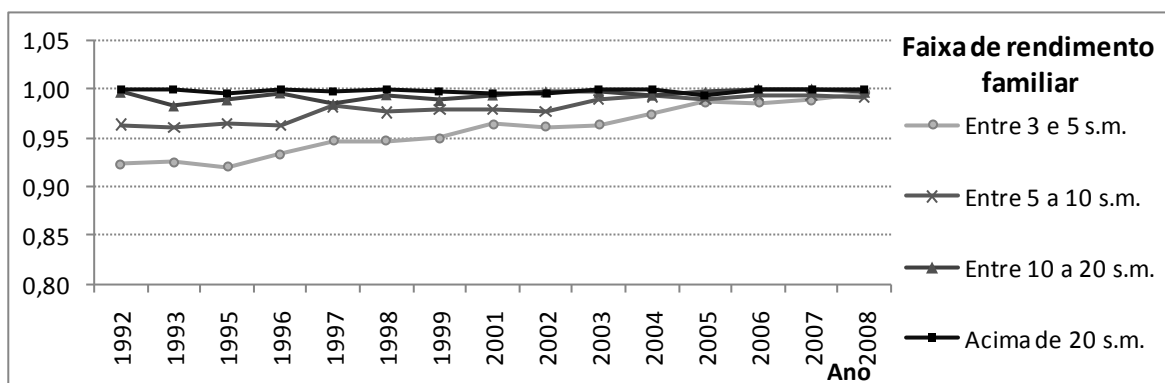


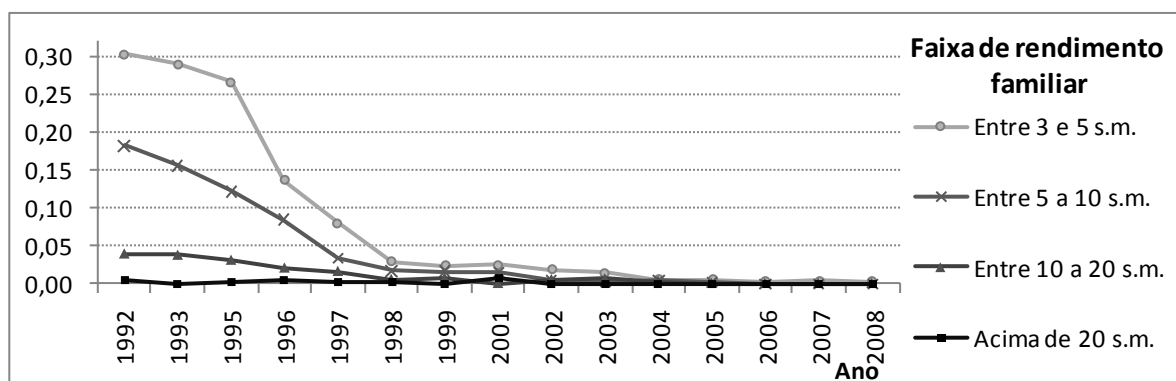
Gráfico 5.7: Evolução da posse de máquina de lavar roupas na RMBH por classe de rendimento familiar  
Fonte: PNAD (IBGE, vários anos)

Os eletrodomésticos TV a cores, TV em preto e branco, rádio e computador, do uso final de lazer, aparecem nos relatórios da PNAD. A posse da TV colorida, conforme o Gráfico 5.8, é bem elevada em todas as classes de renda apresentadas. Contudo, de acordo com o observado mais abaixo no Gráfico 5.9, praticamente não existe mais a TV em preto e branco em

nenhuma das faixas de rendimento, desde o ano de 2005. Por isso, esse equipamento não será considerado nas projeções de consumo para o município de Belo Horizonte.

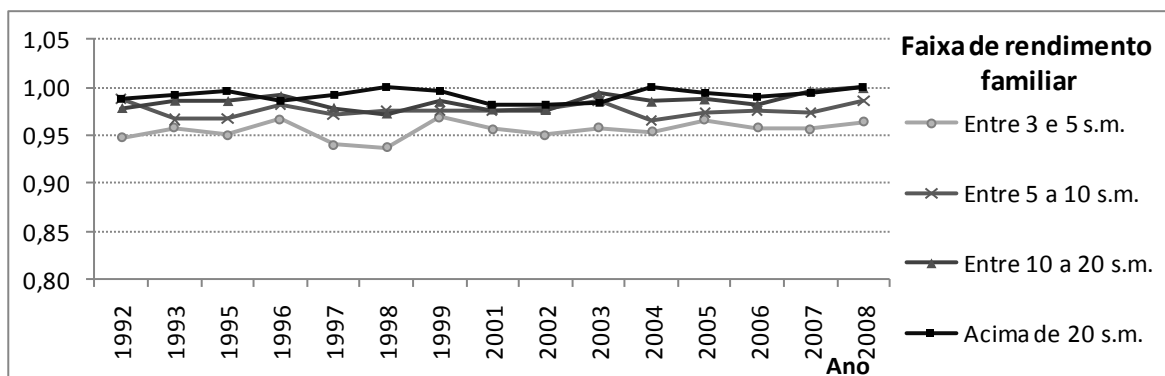


**Gráfico 5.8: Evolução da posse de TV a cores na RMBH, por classe de rendimento familiar**  
 Fonte: PNAD (IBGE, vários anos)



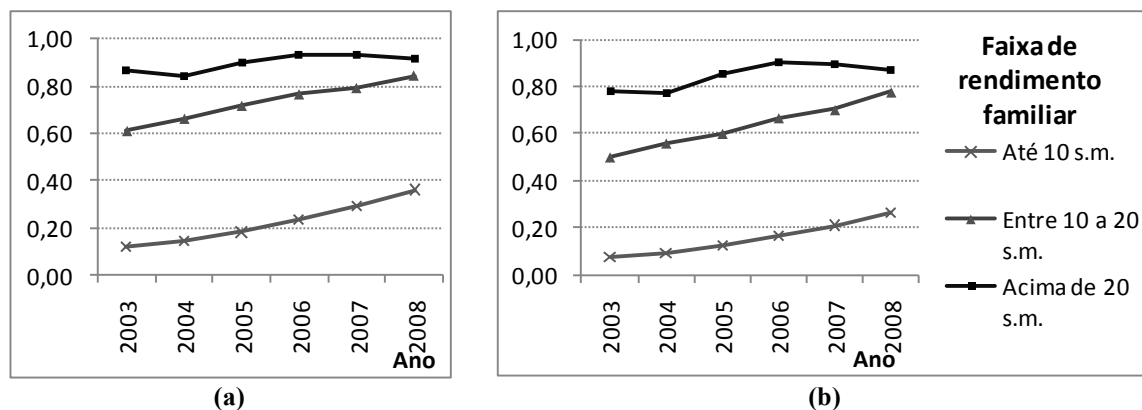
**Gráfico 5.9: Evolução da posse de TV em preto e branco na RMBH, por classe de rendimento familiar**  
 Fonte: PNAD (IBGE, vários anos)

Diferentemente de outros eletrodomésticos, a posse do rádio, mostrada no Gráfico 5.10, tem-se mantido alta, mas sem uma trajetória clara entre 1992 a 2008, nas classes consideradas. Apenas nos últimos anos desse período observa-se um crescimento nítido em todas as faixas, em oposição às flutuações ocorridas anteriormente.



**Gráfico 5.10: Evolução da posse de rádio na RMBH por classe de rendimento familiar**  
 Fonte: PNAD (IBGE, vários anos)

Por fim, a posse do computador, e do computador com acesso à Internet, é apresentada no Gráfico 5.11. Por essa figura, pode-se observar que o crescimento da posse desse eletrônico está ocorrendo com maior intensidade nas famílias com faixa de renda de até 10 salários mínimos, seguido pela faixa de renda entre 10 e 20 salários mínimos. Nas famílias de maior rendimento da RMBH, observa-se uma relativa estabilização da posse dos computadores.



**Gráfico 5.11: Evolução da posse de computador (a) e da posse de computadores com acesso à internet (b), na RMBH, por classe de rendimento familiar**  
 Fonte: PNAD (IBGE, vários anos)

Os dados da pesquisa PNAD de posse em 2007 serão utilizados para ajuste do consumo residencial desse ano. Nas projeções, o crescimento da posse será calculado pela taxa anual média de crescimento observada no período entre 2001 e 2007, conforme mostrado na Tabela 5.1. Como a geladeira já atingiu a saturação no ano de 2007 em todas as classes de renda nas projeções, será considerado que cada residência terá um equipamento.

**Tabela 5.1: Taxa anual de crescimento da posse de eletrodomésticos entre 2001 e 2007**

	Faixa de renda (em salários mínimos)			
	até 5	de 5 a 10	de 10 a 20	mais de 20
Lavadoras	5,1%	4,4%	3,0%	0,2%
Freezer	-4,4%	-2,4%	-4,2%	-2,6%
Rádio	0,1%	0,2%	0,3%	0,3%
Computador	24,7%		6,7%	1,2%

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados da PNAD (IBGE, vários anos)

A pesquisa realizada pelo PNAD investiga se há o eletrodoméstico na residência, mas não possui informação sobre número de eletrodoméstico. Por isso, o dado levantado para os televisores coloridos é insuficiente para descrever sua posse em Belo Horizonte. Assim, a taxa de crescimento anual desse equipamento utilizada nas projeções realizadas, é a taxa média determinada por PPE/COPPE/UFRJ (2008) de 3,46% ao ano.

Conforme mostrado nos gráficos deste item, a crise de abastecimento de energia elétrica afetou o comportamento do consumidor residencial na questão de posse de eletrodomésticos,

contudo, essa alteração não foi idêntica para todos os equipamentos levantados pela pesquisa. Aparentemente, a principal mudança refere-se ao freezer, que progressivamente está menos presente nas residências locais. Em contrapartida, o computador possui um elevado crescimento desde o ano de 2003, início do seu levantamento pela PNAD, principalmente nas famílias com menor faixa de rendimento.

No próximo item serão apresentados os critérios de uso e potência que serão adotados na projeção do consumo do setor residencial, juntamente com os dados de posse desse item.

### **5.3 Considerações sobre a posse, uso e potência dos equipamentos do setor residencial**

Os levantamentos da PNAD são a única base de dados regionalizados e estratificados, e com realização periódica, que podem ser aplicados nos estudos de consumo de energia localizado. Por essa razão, faz-se necessário o uso de outros estudos e pesquisas, realizados para o estado na Região Sudeste ou para o país, para se avaliar as mudanças ocorridas no setor residencial após o ano de 2000.

Neste item são apresentados, por uso final, todos os valores de variáveis e parâmetros utilizados para se calcular o consumo de energia em 2007 e para se traçar as tendências de sua evolução até o ano de 2030 do setor residencial de Belo Horizonte. Esses dados de posse e uso dos equipamentos foram obtidos do Relatório da Pesquisa de Posse de Eletrodomésticos e Hábitos de Uso, Ano Base 2005, Classe Residencial e Relatório Sudeste (ELETROBRÁS/PROCEL, 2007B), do capítulo que trata do setor residencial do relatório “Matriz Energética de Minas Gerais 2007-2030” (PPE/COPPE/UFRJ; UNIFEI, 2007) e da Pesquisa Banco Mundial: Setor Residencial (PPE/COPPE/UFRJ, 2008). Os dados de consumo e potência dos equipamentos foram obtidos das tabelas de consumo de energia elétrica, elaboradas pelo INMETRO (vários anos), para o Programa Brasileiro de Etiquetagem.

Por esses dados, foi possível elaborar um modelo de consumo de energia do setor residencial, para o ano de 2007, compatível com o consumo real registrado pela concessionária. Como esse consumo está relativamente estável desde 2001, foi considerado que as mudanças no perfil de uso da energia elétrica, causadas pela crise de abastecimento de consumo, foram

---

incorporadas ao estilo de vida do usuário desse setor e, portanto, podem ser utilizadas para se construir projeções de consumo.

As principais alterações no padrão de consumo do setor assumidas para 2007 foram: inserção do aquecimento solar em substituição de parte dos chuveiros elétricos, a substituição das lâmpadas incandescentes por lâmpadas fluorescentes, a redução da posse do freezer e do tempo de uso do ferro elétrico. As demais definições feitas para cada equipamento, por uso final, estão descritas nos subitens seguintes.

### **5.3.1 Cocção**

Admite-se que cada família possui um fogão a GLP em todos os cenários, o que já ocorre desde 2000. O consumo de alimentos por pessoa se manterá igual ao estimado para 2000, por falta de outros dados, mas haverá redução no consumo de gás do equipamento causado pelas medidas do Programa Nacional de Racionalização do Uso de Derivados de Petróleo e do Gás Natural, CONPET. Em 2030, o consumo médio será igual ao do melhor equipamento avaliado pelo INMETRO<sup>23</sup> em 25/06/2010, ou seja, haverá uma melhoria de 16,7% no desempenho dos fogões.

### **5.3.2 Aquecimento de água**

Se até o ano 2000 o aquecimento de água era feito quase exclusivamente pelo chuveiro elétrico, a partir de 2001 outras fontes começam a ter maior participação nesse uso final, devido à crise de abastecimento de energia elétrica. Neste trabalho, é realizada a estimativa da evolução do uso dos sistemas elétrico, solar e a GLP até o ano de 2030. Os parâmetros e valores adotados são apresentados nos subitens seguintes.

#### **5.3.2.a Chuveiro elétrico**

Para o chuveiro elétrico, o tempo e o número de banho permanecem os mesmos em todos os cenários, mas haverá aumento da potência média do equipamento, conforme observado desde 1991 até 2000. Os dados de consumo médio utilizados para o ano de 2030 são apresentados na Tabela 5.2.

---

<sup>23</sup> Tabela de consumo e eficiência energética de fogões elaboradas pelo INMETRO e disponível no site <http://consultafofoes.petrobras.com.br/Forms/TabelaConsumo.aspx>. Acessado em: dez/2009

---

Tabela 5.2: Consumo médio dos chuveiros elétricos, por faixa de rendimento, em 2030

Classe de rendimento familiar	Potência (Watt)	Cons./Mês Banho		Consumo anual/banho		Total
		Máx. (kWh)	Mín. (kWh)	Máx. (kWh)	Mín. (kWh)	
Até 20 s.m.	5.800	25	12,98	149,4	77,9	227,3
Acima de 20 s.m.	7.800	33	14,43	197,8	86,6	284,4

Fonte: Elaboração própria a partir de dados do INMETRO (2009g)

### 5.3.2.b Sistemas de aquecimento solar de água

Em Belo Horizonte, o uso do sistema solar para o aquecimento de água é anterior ao ano de 2000. Contudo, a participação dessa fonte só começa a ser mais significativa após a crise de abastecimento de energia elétrica ocorrida em 2001. Atualmente, o município de Belo Horizonte é reconhecido como a “capital solar” devido à grande utilização dessa tecnologia. Como mostrado na Figura 5.4, uma vista aérea de área próxima à Praça da Liberdade, esse sistema é frequentemente utilizado nas edificações residenciais, sendo usualmente incorporada desde sua construção.



Figura 5.4: Vista aérea de Belo Horizonte, em área próxima a Praça da Liberdade, onde estão destacados edifícios que utilizam o sistema solar de aquecimento de água.

Fonte: Edição própria a partir de imagem extraída do GoogleEarth

Apesar do grande uso, existem grandes barreiras para se calcular a participação do aquecedor solar na matriz energética. Como a energia consumida nesses sistemas é gratuita, não há nenhum tipo faturamento associado ao seu uso. Além disso, como esses sistemas são

relativamente recentes e pouco comuns, os estudos a respeito da sua adoção no setor residencial ainda são escassos.

Em relação a Minas Gerais, o relatório Matriz Energética de Minas Gerais 2007 - 2030 (PPE/COPPE/UFRJ; UNIFEI, 2007) afirma que a água aquecida por esses sistemas é utilizada basicamente para o banho e que uma família média, com 3,52 moradores, demanda um modelo de coletor solar padrão com duas placas coletoras de 1,60 m<sup>2</sup> cada uma. Esse relatório expõe que 2,25% das residências em Minas Gerais possuem coletores solares e cita pesquisa realizada por PPE/COPPE/UFRJ e PUC – RJ (2007).

Visto que a posse dos sistemas solares em Belo Horizonte deve ser relativamente maior que a do Estado, foi efetuada uma consulta ao Eng. Rodrigo Cunha Trindade<sup>24</sup>, para se obter uma estimativa atual junto aos fabricantes. De acordo com as informações fornecidas, cerca de 6,6% das residências de Belo Horizonte possuem esse sistema. Na distribuição espacial, assumiu-se que 15% das famílias com renda média mensal superior a 20 salários mínimos utilizam o sistema solar em substituição ao chuveiro elétrico. Na faixa de renda entre 10 e 20 salários, o valor assumido foi de 10%. Considerou-se que abaixo de 10 salários a participação é inexpressiva devido ao custo inicial de instalação do sistema solar e porque a maior parte dos programas governamentais de instalação desses sistemas, voltados para população de baixa renda, estão localizados em outros municípios da RMBH.

A quantidade adotada de energia gerada por esses sistemas nos cálculos foi 77,5 kWh por mês por metro quadrado de placa instalada. Esse é o valor médio de produção mensal de energia medido pelo INMETRO<sup>25</sup> para o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE).

### **5.3.2.c Aquecedores de água a GLP instantâneos**

Após a crise de abastecimento do ano 2001, alguns moradores optaram por instalar, em suas residências, aquecedores de água a GLP para reduzir os gastos com energia elétrica. O relatório Matriz Energética de Minas Gerais 2007 - 2030 (PPE/COPPE/UFRJ; UNIFEI, 2007), afirma que, em 2004, 1% das residências mineiras utilizava o GLP para aquecimento de água, valor este levantado em pesquisa de campo (PPE/COPPE/UFRJ; PUC - RJ, 2007). Por hipótese, foi considerado que, em Belo Horizonte, as residências que utilizam o GLP

---

<sup>24</sup> O Eng. Rodrigo Trindade é diretor da Agência de Energia e participa de um grupo formado pelas empresas tradicionais de aquecimento solar da RMBH, que juntas representam mais de 90% do mercado local.

<sup>25</sup> Tabelas de Consumo de Sistemas e Equipamentos para Aquecimento Solar de Água - Edição 15/2009. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/consumidor/tabelas.asp>. Acessado em: jun/2010.

---



correspondem a 2% das famílias que têm renda média mensal acima de 10 salários mínimos mensais, o que equivale a 1% do total de residências do município.

Nos cálculos, assumiu-se o valor médio de consumo de GLP levantado pelo INMETRO<sup>26</sup>, para os aquecedores de água a GLP, 2,23 kg por hora, o que equivale a um consumo anual 0,075 metros cúbicos de GLP, considerando que um banho dura, em média, o tempo de 10 minutos.

### **5.3.3 Conservação de Alimentos**

Em 2007, as geladeiras já estavam presentes em todas as residências das UEH de Belo Horizonte, por isso, a posse é considerada constante nos cenários, havendo para cada residência uma geladeira. Os modelos dos equipamentos permanecerão sendo de uma porta para famílias com renda até 20 salários, e duplex para famílias com renda superior. Não será considerada redução no consumo dos refrigeradores, pois a melhoria da eficiência está sendo compensada pela preferência por modelos com capacidade maior e que, por isso, consomem mais energia.

Para o freezer, a redução da posse nas projeções será a taxa anual observada entre 2001 e 2007. O consumo de energia do equipamento também tende a reduzir e à taxa de 0,75 % ao ano – correspondente à melhoria média anual de eficiência observada por meio dos Catálogos do Selo PROCEL<sup>27</sup>.

### **5.3.4 Iluminação**

Após a crise de abastecimento, considerou-se que a posse de lâmpadas permaneceu igual ao número de cômodos da residência, e o fator de não simultaneidade reduziu de 0,65 para 0,55, ou seja, as pessoas preocupavam-se mais em apagar as lâmpadas que não estivessem sendo utilizadas.

Houve também alteração no tipo de lâmpadas utilizadas. A partir de 2001 considerou-se que, nas residências com renda familiar de até 20 salários mínimos, 45% das lâmpadas utilizadas são fluorescentes, com potência média de 30 W, e 50% são incandescentes, com potência média de 60 W. Para as classes com renda acima de 20 salários mínimos, a proporção se torna

---

<sup>26</sup> Tabelas de Consumo / Eficiência Energética para a Linha de Aquecedores de Água a Gás - Tipo Instantâneo. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/consumidor/tabelas.asp>. Acessado em jun 2010.

<sup>27</sup> Disponível em: [http://www.eletronbras.gov.br/elb/procel/main.asp?TeamID={64060CE7-D790-4618-89BC-A1BD24E7DE0A}](http://www.eletronbras.gov.br/elb/procel/main.asp?TeamID={64060CE7-D790-4618-89BC-A1BD24E7DE0A}.). Acessado em jan 2010.

---

70% e 30%, para lâmpadas fluorescentes e incandescentes, respectivamente. Esses valores foram definidos com base na Pesquisa de Posse de Equipamentos e Hábitos de Uso (ELETROBRAS, 2007b).

### **5.3.5 Lazer**

Para a TV, foi considerado que a partir de 2005, as famílias com renda familiar acima de 40 salários mínimos têm um modelo com tela plana e os demais equipamentos são do modelo convencional (cinescópio). Apesar da tecnologia dos modelos com tela plana ser mais eficiente do ponto de vista energético, eles consomem, na média, mais do que um televisor comum. Isso se deve ao fato de que os modelos de tela plana possuem telas maiores que os outros.

De acordo com o levantamento do INMETRO (2009e), o consumo médio dos equipamentos com tecnologia convencional é de 80 W por hora, enquanto que os modelos com tela plana de LCD consomem 200 W. O tempo de uso considerado desse aparelho reduz-se, em 2007, para 3 horas diárias e mantém-se nesse patamar ao longo das projeções. Essa mudança é justificada pelo fato de que se as pessoas estão utilizando mais o computador pessoal em seu tempo livre, elas estão, ao mesmo tempo, deixando de utilizar o televisor. Além disso, como o número de televisores já ultrapassou a unidade nas UEH, há a possibilidade de que nem todos os equipamentos estejam ligados ao mesmo tempo. Devido à falta de dados, assumiu-se taxa de crescimento anual da TV tela plana de LCD como sendo de 1,3% ao ano, para faixas de renda acima de 10 salários mínimos, até 2015, e, após esse ano, taxa de crescimento de 0,5%. Esse valor foi usado também para traçar o crescimento das demais faixas de renda.

Para os computadores pessoais, assumiu-se a taxa de crescimento anual conforme exposto na Tabela 5.1 (p. 112), até que se atinja a unidade. A partir desse momento será usada a taxa de crescimento do televisor. O uso permanecerá de 2 horas por dia em todos os cenários.

O vídeo cassete foi progressivamente substituído pelos equipamentos de DVD. A potência dos últimos modelos de vídeo equivalia à do DVD, cerca de 40 W. Por isso, esse valor será mantido ao longo da projeção. A taxa de crescimento anual da posse assumida para esse equipamento foi de 3,46%, a mesma proposta por PPE/COPPE/UFRJ (2008) para a TV e o rádio. Para o rádio, adotou-se a taxa de crescimento anual conforme mostrado anteriormente na Tabela 5.1, sendo que seu uso reduziu-se de duas para uma hora diária, também justificada pelo crescimento do uso do computador.

---

### 5.3.6 Serviços gerais

Para o micro-ondas, utilizou-se a taxa anual de crescimento de 3,96% (PPE/COPPE/UFRJ, 2008). O uso desse equipamento, após a crise de abastecimento de energia elétrica, reduziu-se para uma hora por semana. A potência permanecerá sendo de 1.000 W.

Para as máquinas de lavar roupas, a taxa de crescimento anual é a apresentada acima também na Tabela 5.1. O procedimento de cálculo do consumo mantém-se inalterado, inclusive no que se refere à sua potência. Mesmo que haja, no espaço de tempo dos cenários, um aumento da eficiência, a potência deverá ser compensada pelo aumento no tamanho dos equipamentos.

A posse do ferro elétrico continuará sendo de um equipamento por família e seu tempo de uso considerado será de 30 minutos por ciclo de lavagem. A potência média considerada em todos cenários será de 1000 W. Apesar de existirem modelos mais potentes disponíveis no mercado, o consumo médio é equilibrado pela inserção de novos equipamentos que passam roupas e que utilizam apenas vapor, conhecidos por *steamers*.

### 5.3.7 Condicionamento ambiental

O ar condicionado é um equipamento que, potencialmente, pode ter grande impacto no consumo do setor residencial. Contudo, em Belo Horizonte, de acordo com o levantamento do último censo, a posse desse equipamento era muito baixa em 2000. Como não existem pesquisas regionalizadas sobre o crescimento da posse desse equipamento, foi adotada para este trabalho a taxa anual de 6,02% (PPE/COPPE/UFRJ, 2008).

Para verificar se esse dado, proposto para o Brasil, poderia ser utilizado em Belo Horizonte, foi realizada a projeção do crescimento da posse para o ano de 2004. O número obtido de percentual de residências com o ar condicionado corresponde ao percentual levantado para o Estado de Minas Gerais por PPE/COPPE/UFRJ e PUC-RJ (2007) de acordo com PPE/COPPE/UFRJ e UNIFEI (2007). Por essa razão, essa taxa foi utilizada para projetar todo o consumo até 2007. Com relação ao consumo de energia do equipamento, será considerada uma redução de 10% no consumo médio do equipamento por década, redução média observada nos Catálogos do Selo PROCEL, entre 2001 e 2009.

## **5.4 Os cenários de consumo de energia elétrica para Belo Horizonte**

A partir das tendências apresentadas no item anterior, é possível elaborar cenários de crescimento do consumo de energia para o município até o ano de 2030. Na definição das hipóteses dos cenários, são estabelecidas premissas que avaliam mudanças na macroeconomia, evoluções técnicas e/ou mudanças comportamentais dos usuários de energia. Usualmente, no planejamento energético, essas premissas não estão diretamente relacionadas com a forma como a população está assentada no espaço.

Como uma das premissas deste trabalho é que a forma como a energia é consumida nas grandes cidades está relacionada com a distribuição e ocupação do solo nesses locais, foram assumidas as hipóteses que podem evidenciar essa relação. Assim, foram definidos dois cenários: o Cenário Minas Gerais, MG-2030, no qual as premissas não têm relação com a ocupação do solo e o Cenário Belo Horizonte, BH-2030, onde há a influência da ocupação do solo.

Para o Cenário MG-2030, foram adotados os valores descritos no relatório Matriz Energética de Minas Gerais 2007-2030 (PPE/COPPE/UFRJ; UNIFEI, 2007) de evolução no uso dos sistemas de aquecimento de água e uso do ar condicionado. Esse trabalho foi escolhido por sua consistência e qualidade, por ser um documento de referência para o Estado de Minas Gerais e também pelo nível de detalhamento das informações disponíveis nos textos que o compõem. Já para o Cenário BH-2030, a evolução do uso do sistema de aquecimento de água e do ar condicionado estará relacionada com a forma como a ocupação do solo acontece em cada região do município. A descrição das premissas adotadas em cada cenário é feita nos próximos subitens.

### **5.4.1 O uso de sistemas de aquecimento de água**

Na Matriz Energética de Minas Gerais 2007-2030 (PPE/COPPE/UFRJ; UNIFEI, 2007) considera-se, em seu cenário de referência, que o crescimento dos coletores solares seguirá a taxa de crescimento do número de metros quadrados de coletores solares dos últimos dez anos, ou seja, 15% ao ano. Essa taxa será aplicada para descrever o crescimento do uso dos sistemas solares de aquecimento de água a partir do ano de 2007, no Cenário MG-2030.

---

Visto que a instalação desse tipo de sistema é geralmente realizada apenas em novas edificações, no Cenário Belo Horizonte assumiu-se que o crescimento do uso de sistemas de aquecimento solar será limitado pelo número de novas edificações existentes em 2030, em cada UEH. Por isso, foi definido que em 2030, 90% das novas residências com renda superior a 25 salários mínimos utilizará esse tipo de sistema, assim como em 50% das residências que apresentarem renda superior a 15 salários mínimos e inferior a 25 salários mínimos. Esses percentuais foram colocados para refletir restrições técnicas e/ou econômicas que podem limitar a instalação desses sistemas.

Em relação ao aquecimento de água com GLP, foi considerado que, no ano de 2030 e em ambos os cenários, esse combustível alcançará 5% das residências com renda superior a 15 salários mínimos. Essa hipótese foi assumida por não haver nenhuma política ou medida de incentivo ao uso de aquecedores a GLP e por não haver dados disponíveis sobre seu uso final. É importante ressaltar que a pesquisa utilizada como referência, Matriz Energética de Minas Gerais 2007-2030 (PPE/COPPE/UFRJ; UNIFEI, 2007), aponta uma grande inserção do uso do gás natural na matriz energética do estado a partir de 2008, sendo inclusive utilizado para o aquecimento de água. Contudo, atualmente, este combustível não está sendo utilizado no setor residencial de Belo Horizonte, ao contrário do que previa as projeções. Esse fato é provavelmente decorrente da nacionalização das reservas de petróleo e gás natural promovida na Bolívia, em maio de 2006, por Evo Morales. Dessa forma, a distribuição domiciliar de gás não chegou para o atendimento das residências com maior poder aquisitivo e, por isso, não foi considerado seu uso em nenhum dos cenários elaborados.

## **5.4.2 O crescimento do uso do ar condicionado**

### **5.4.2.a Cenário Minas Gerais 2030**

No relatório Matriz Energética de Minas Gerais 2007-2030 (PPE/COPPE/UFRJ; UNIFEI, 2007) estima-se que, com o crescimento da renda, a posse do ar condicionado alcançará em 2030, 13% dos domicílios mineiros. Esse relatório também considera que, devido às mudanças climáticas, o período quente aumentará de 5 para 6 meses, aumentando em cerca de 20% o tempo de consumo, até o final do cenário.

Por isso no Cenário MG-2030, a partir de 2007, será aplicada a taxa de crescimento média de 4% ao ano, o que irá determinar que em 2030, 13% das residências de Belo Horizonte tenham

---

o equipamento. Também será considerado o aumento no número de horas de uso do aquecimento de modo uniforme em todas as regiões.

#### **5.4.2.b Cenário Belo Horizonte 2030**

Em Belo Horizonte, em 2000, a posse do ar condicionado estava claramente associada à renda média familiar. Contudo, são observadas algumas tendências que podem estar relacionadas com a ocupação urbana. Por exemplo, as UEH com maior posse de ar condicionado, 2 e 3, são as que, além da renda familiar elevada, estão localizadas na região central de Belo Horizonte. Nessa região há locais com várias características que geram o fenômeno de ilha de calor urbano, como, por exemplo, a altura do cânion urbano e a densidade de ocupação do solo. Em contrapartida, duas UEH próximas, 9 e 11, possuem renda familiar mais elevada do que as anteriores, mas a posse era menor. Isso se explica pelo fato dessas UEH possuírem menor densidade populacional, menor taxa de impermeabilização do solo e mais áreas verdes.

É certo que para se afirmar que existe uma relação entre posse do equipamento e ocupação do solo, é necessária realização de uma pesquisa aprofundada, o que foge ao escopo do presente trabalho. Considerando que há uma relação direta entre densidade urbana e posse de ar condicionado, assumiu-se a hipótese que, nas UEH com densidade populacional acima de 12.000 habitantes por km<sup>2</sup>, a taxa de crescimento anual do ar-condicionado será a 6,02%, calculada para o Brasil (PPE/COPPE/UFRJ, 2008) e, nas demais unidades, será adotada a taxa de 4%.

No cálculo de número de horas de uso do ar condicionado, foi considerado o efeito do aquecimento global na sensação térmica do usuário. Para se caracterizar o clima no ano de 2030, foram utilizados os mapas desenvolvidos pelo Grupo de Pesquisa em Mudanças Climáticas (GPMC) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) (MARENGO et alii, 2007). Esses mapas mostram as projeções de cenários de climas futuros para o Brasil, com as médias sazonais e anuais de anomalias da temperatura do ar à superfície e de precipitação pluviométrica, em relação ao clima do período de 1961-1990.

Partindo dos dados referentes ao cenário de baixas emissões de gases de efeito estufa, B2, foi elaborada uma nova classificação das temperaturas médias mensais, em função da temperatura de conforto térmico noturno, para se delimitar os períodos do ano em que há a sensação de desconforto por calor. O novo gráfico produzido é mostrado na Figura 5.5.

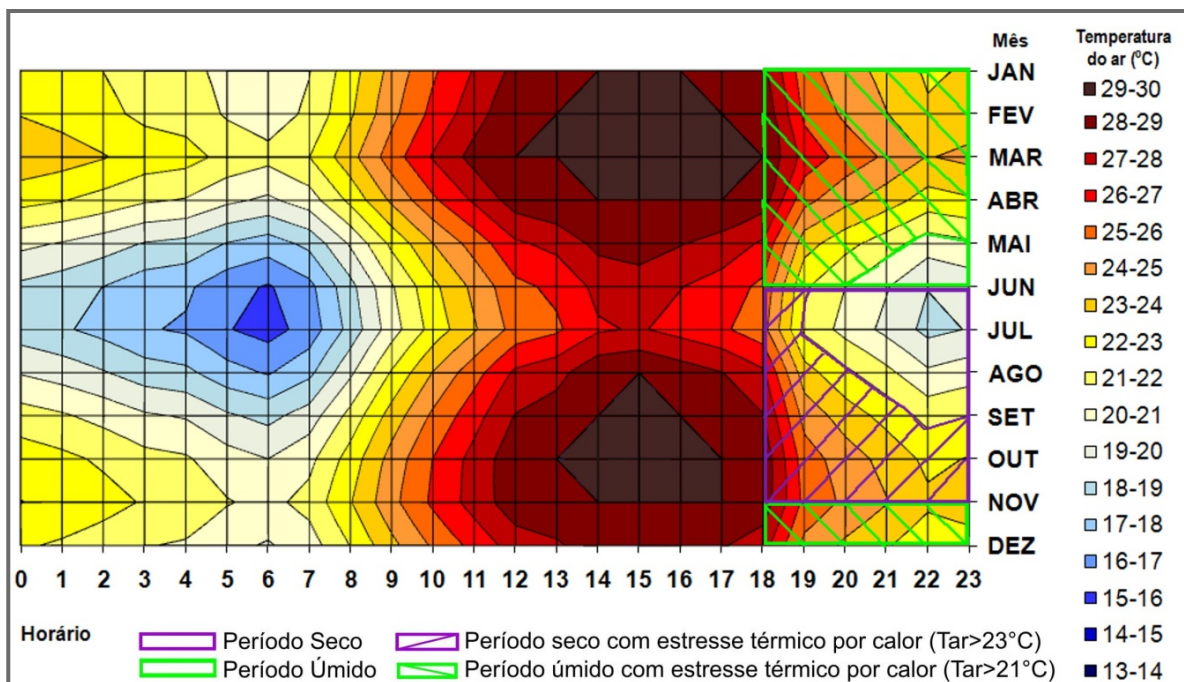


Figura 5.5: Classificação das temperaturas médias mensais, em função da temperatura de conforto térmico noturno, considerando o efeito do aquecimento global.

Fonte: Elaboração própria a partir de BRASIL (1992) e Marengo e outros (2007).

Comparando esse resultado acima com a Figura 4.2, observa-se um grande crescimento do número de horas de desconforto térmico por calor no período noturno. Por essa razão, foi necessário realizar um novo cálculo do coeficiente de consumo específico do ar condicionado para Belo Horizonte, no ano de 2030. Na Tabela 5.3, é apresentado o consumo anual obtido em função do conforto térmico e do consumo médio diário.

Tabela 5.3: Cálculo do coeficiente de consumo específico do ar condicionado em 2030 ( $c_{ar}$ )

Sensação Térmica	Período (meses)	Uso (sem)	Uso (dia/sem)	Uso (h/dia)	Uso (dias/ano)	Consumo (kWh/dia)	Consumo (kWh/ano)
Frio	não há	0	0	6	0	0	0
Ameno	maio a ago	18	0,5	6	9	7,22	65
Quente	set. a abril	35	4	6	140	7,22	1011
						<b>TOTAL</b>	<b>1076</b>

Fonte: Elaboração própria

---

## 6 RESULTADOS

---

Esse capítulo está estruturado em três tópicos, conforme a metodologia utilizada. Inicialmente, são apresentados no item 6.1 os dados socioeconômicos obtidos para os anos de 2007 e 2030, que embasam tanto o modelo de consumo de energia quanto a construção de cenários. No item seguinte, 6.2, são mostrados e discutidos os resultados de consumo de energia consolidado, para os anos 1991, 2000 e 2007, obtidos a partir da aplicação da metodologia descrita no Capítulo 4. Esse item ainda fornece os valores de energia elétrica registrada pela concessionária, permitindo a comparação do modelo teórico com o consumo real. Por fim, no item 6.3, são mostrados os resultados dos dois cenários de consumo de energia de Belo Horizonte, para o ano de 2030.

De modo geral, optou-se por apresentar esses resultados sob a forma de mapas temáticos, o que, apesar de reduzir a precisão dos valores absolutos, favorece a compreensão das dinâmicas espaciais que ocorrem ao longo do horizonte de tempo estudado neste trabalho.

### 6.1 Dados socioeconômicos

#### 6.1.1 População

A população total por UEH, nos anos de 2007 e 2030, está apresentada na Figura 6.1. Por esses mapas observam-se dois momentos do município: crescimento demográfico em 2007 com relação ao ano 2000, e decréscimo, no ano 2030. Seguindo as tendências históricas, a figura mostra que a região central de Belo Horizonte, destacada nos números 1, 2 e 3<sup>28</sup>, tende a passar por processo de redução de número de moradores. A maior parte da população do município, em ambos os anos, estará residindo nos bairros periféricos a essa região.

---

<sup>28</sup> Essas três unidades constituem a área original projetada por Aarão Reis, e são constituídas pelos bairros Centro, São Lucas/Savassi e Barro Preto/Lourdes, respectivamente.

---



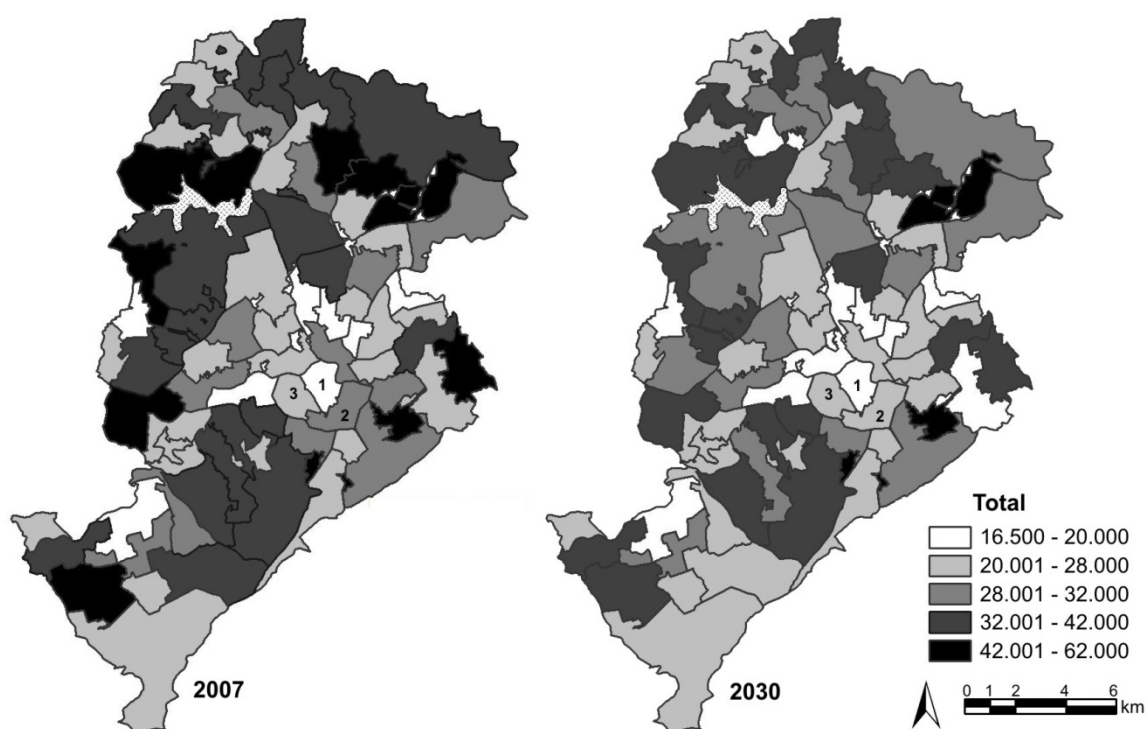


Figura 6.1: População por UEH em Belo Horizonte, em 2007 e 2030.  
Fonte: Elaboração própria

### 6.1.2 Número de moradores e número total de residências

O número médio de moradores, por família, estimado para o horizonte de tempo estudado é apresentado na Figura 6.2, na qual observa-se que o município tende a passar por acentuada redução do número de moradores. Essa tendência implicará no crescimento do número total de residências, como se pode notar pela Figura 6.3, ou seja, mesmo que a população total do município sofra redução até o ano de 2030, o número de moradias deverá crescer, o que impactará o consumo de energia, favorecendo seu aumento nos cenários de consumo.

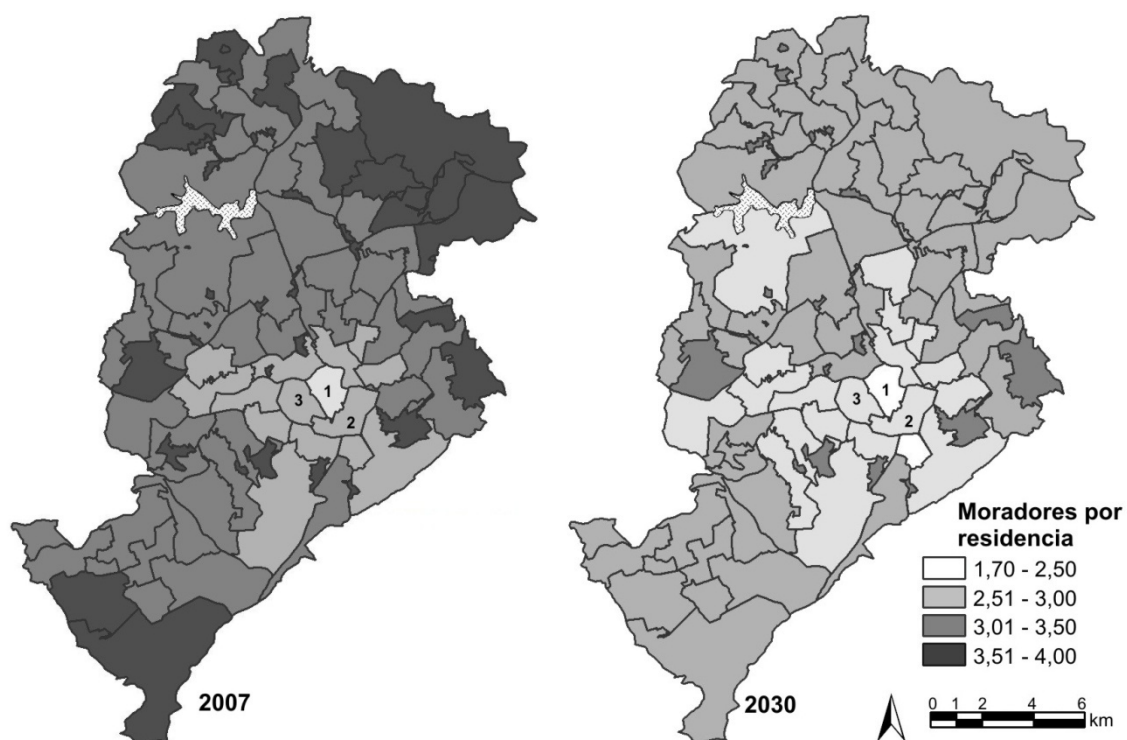


Figura 6.2: Número médio de moradores por residência, por UEH, em Belo Horizonte, em 2007 e 2030.  
 Fonte: Elaboração própria

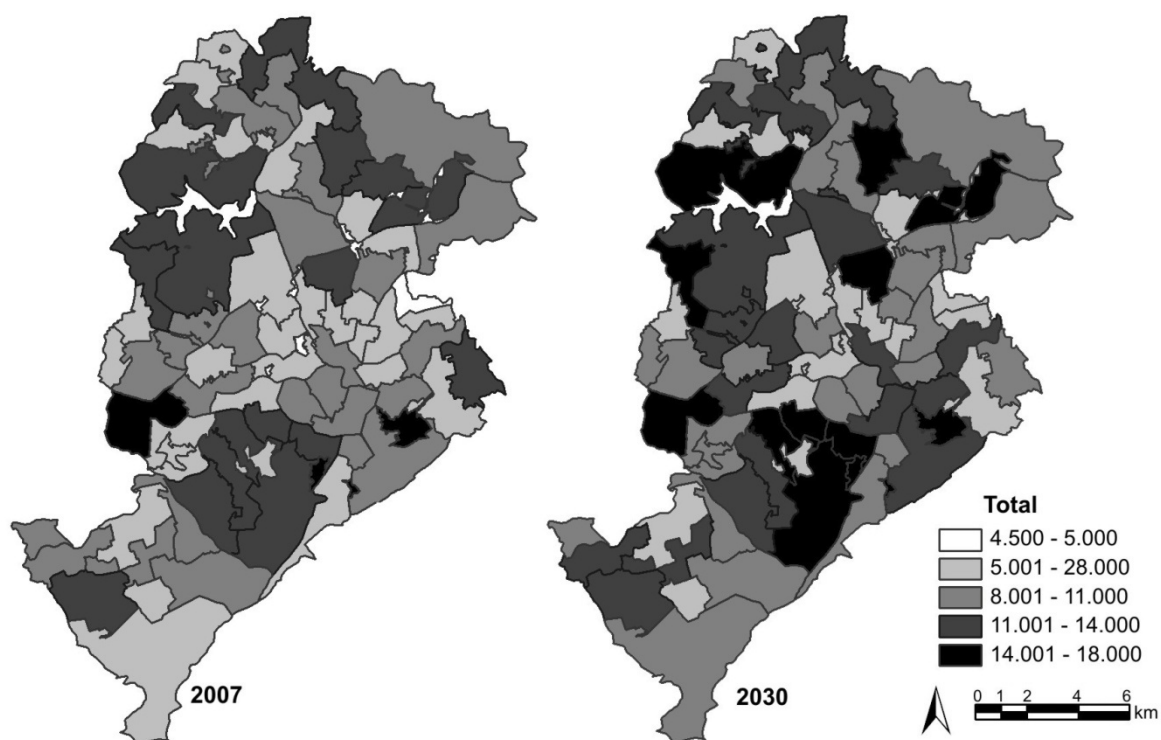
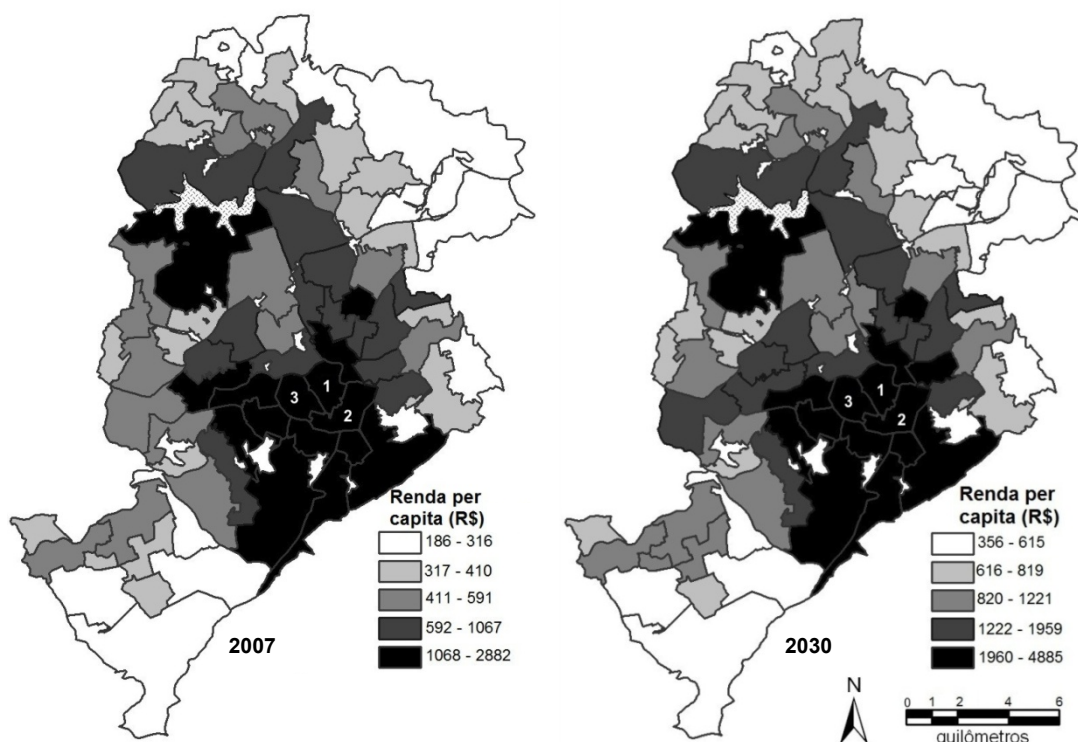


Figura 6.3: Número total de residências por UEH, em Belo Horizonte, em 2007 e 2030.  
 Fonte: Elaboração própria

### 6.1.3 Renda per capita

O crescimento estimado da renda per capita no município, por UEH, é exposto na Figura 6.4. Nessa figura, a divisão da legenda de cores não é igual nos dois anos, sendo adotada a separação por quantil. Essa forma de distribuição foi necessária, pois o intervalo de tempo é grande e a taxa adotada implica em acentuado crescimento da renda familiar no município.



**Figura 6.4: Renda per capita por UEH, em Belo Horizonte, nos anos de 2007 e 2030.**  
Fonte: Elaboração própria

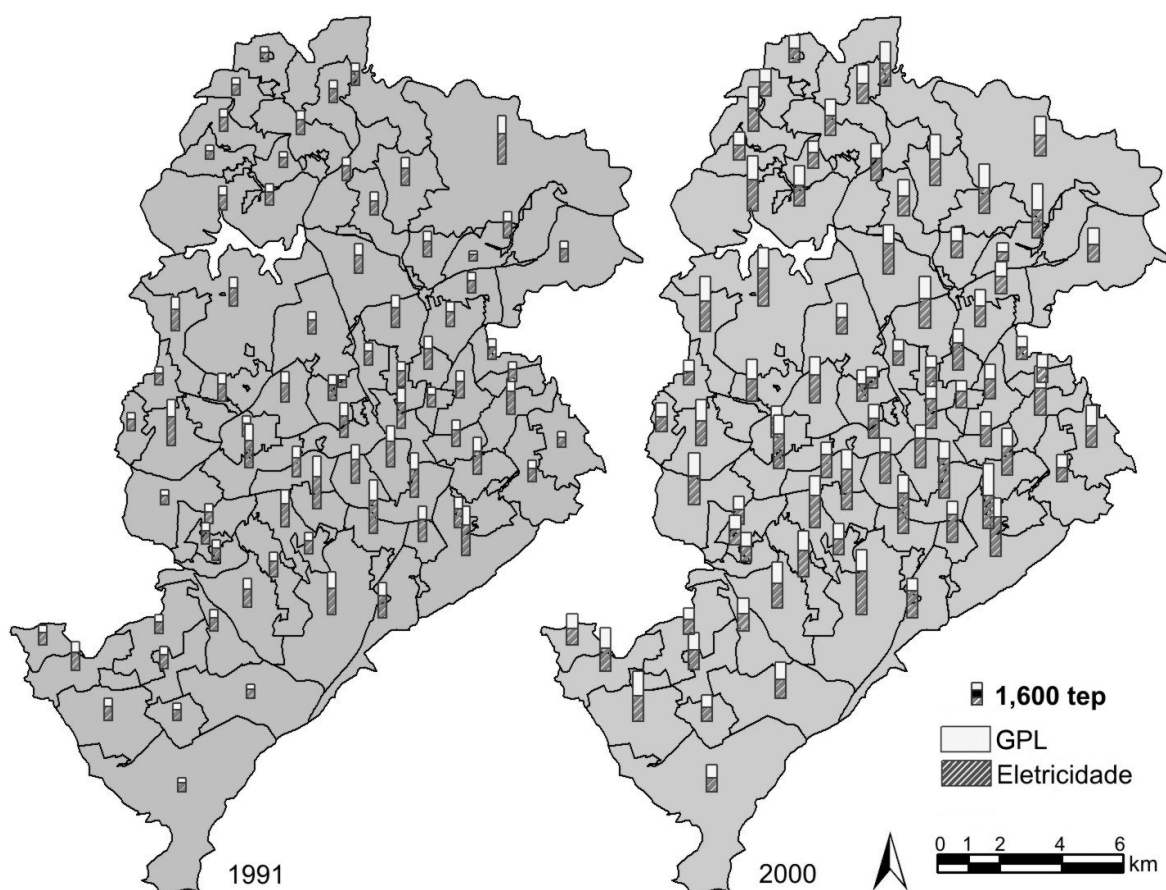
A hipótese de crescimento baseada no histórico da renda familiar apresentada na PNAD determinará que, apesar de ocorrer o crescimento da renda em todas as UEH do município, não haverá melhoria na distribuição de renda. Determinará também que, de modo geral, a diferença espacial na renda familiar deverá se manter, sendo provável que a região centro-sul do município continue a concentrar as famílias com elevado poder aquisitivo, enquanto que as áreas de interesse social e as regiões periféricas a norte e ao sul continuarão com renda familiar média muito abaixo da média municipal.

## 6.2 Consumo de energia

Neste item, são apresentados os resultados da aplicação da metodologia descrita no Capítulo 4 para estimar o consumo de energia nos anos de 1991, 2000 e 2007. Por essa metodologia, os

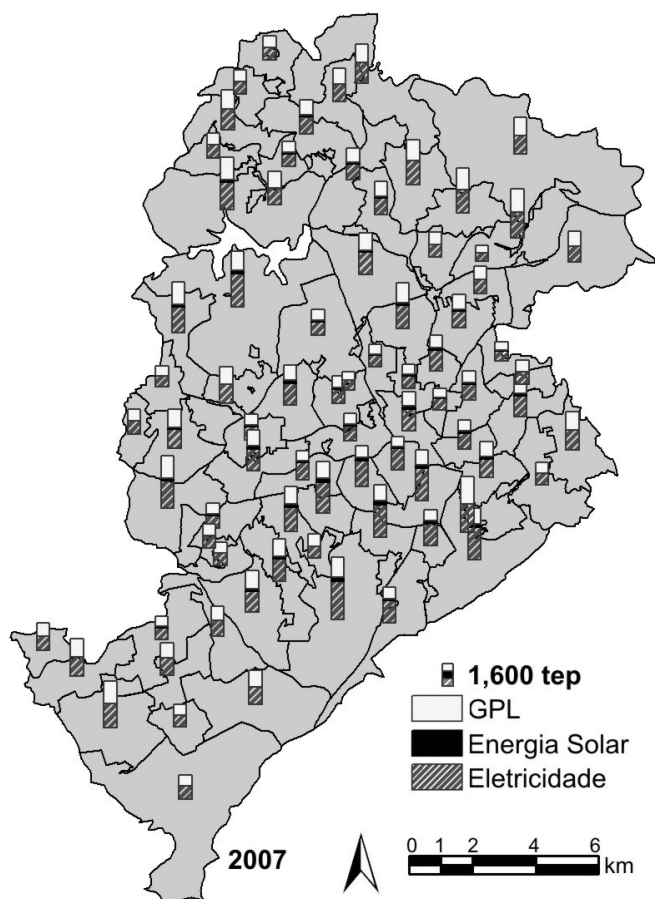
valores de energia consumida são obtidos por equipamento e por unidade espacial. No próximo subitem, é exposto o consumo total de energia elétrica municipal. Os subitens seguintes agrupam o consumo de energia das UEH por uso final.

Como síntese das informações que serão discutidas neste item, é mostrada na Figura 6.5 a evolução da participação das fontes de energia no consumo total do município, nos anos de 1991 e 2000. Por esses mapas é possível ver que, de 1991 para 2000, houve crescimento da participação da eletricidade nas UEH da região Centro-Sul com maior rendimento familiar. Nas demais unidades, em geral, ocorreu o crescimento da participação do GPL, aproximando-se da metade do total da energia consumida na UEH.



**Figura 6.5:** Evolução da participação das fontes no consumo de energia do município, em tep, em 1991 e 2000 – Fonte: Elaboração própria

Na Figura 6.6, é mostrada a participação das fontes de energia no consumo total do município, no ano de 2007. Entre 2000 e 2007, a principal alteração observada foi a inserção da energia solar, nas unidades com maior rendimento médio familiar.



A entrada da energia solar contribuiu para uma pequena redução no consumo de energia elétrica na unidade, mas de modo geral, a participação das fontes permanece semelhante ao do ano 2000: as classes de menor poder aquisitivo consumindo igualmente eletricidade e GPL e as classes mais ricas, consumindo principalmente eletricidade.

Figura 6.6: Participação das fontes no consumo de energia do município, em tep, em 2007 – Fonte: Elaboração própria

### 6.2.1 GLP para cocção

A evolução do consumo de GLP para cocção é apresentada na Figura 6.7, na qual se nota que, em 2000, há um crescimento geral do consumo de GLP, enquanto que em 2007, há uma pequena redução, ocasionada pela redução no tamanho das famílias nas classes de renda de maior rendimento mensal.

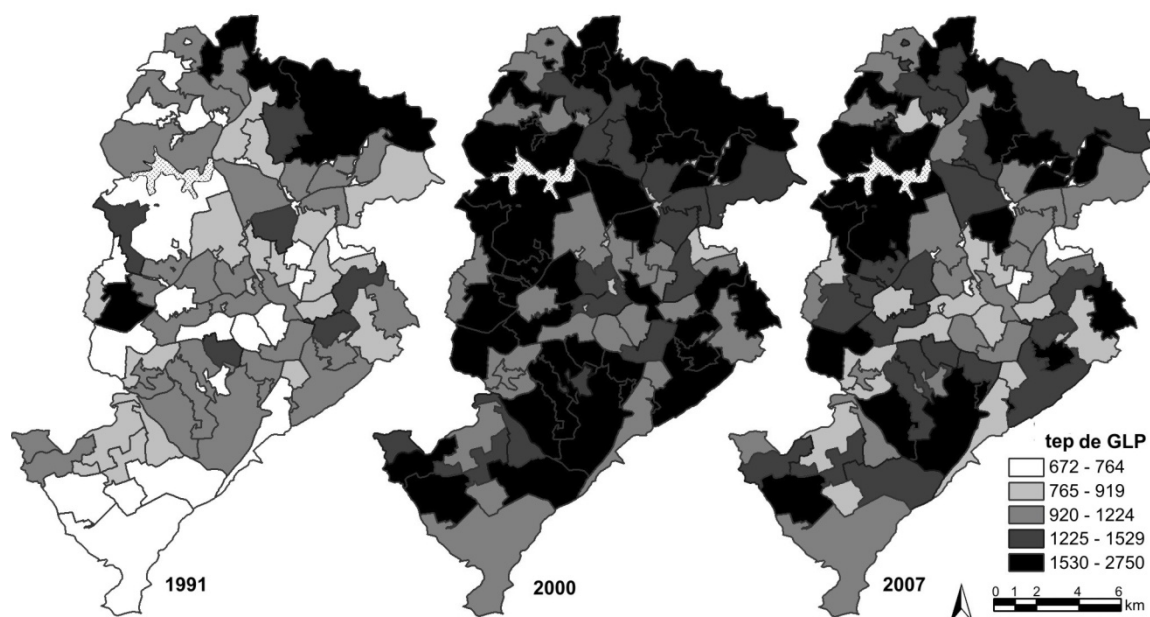


Figura 6.7: Evolução do consumo de GLP para cocção, por UEH.  
Fonte: Elaboração própria

Como o consumo das unidades espaciais foi calculado a partir do consumo total de GLP registrado pela ANP para o Estado de Minas Gerais, o consumo teórico modelado é equivalente ao consumo real, por isso, não foi efetuada tal comparação.

### 6.2.2 O consumo de energia elétrica do município

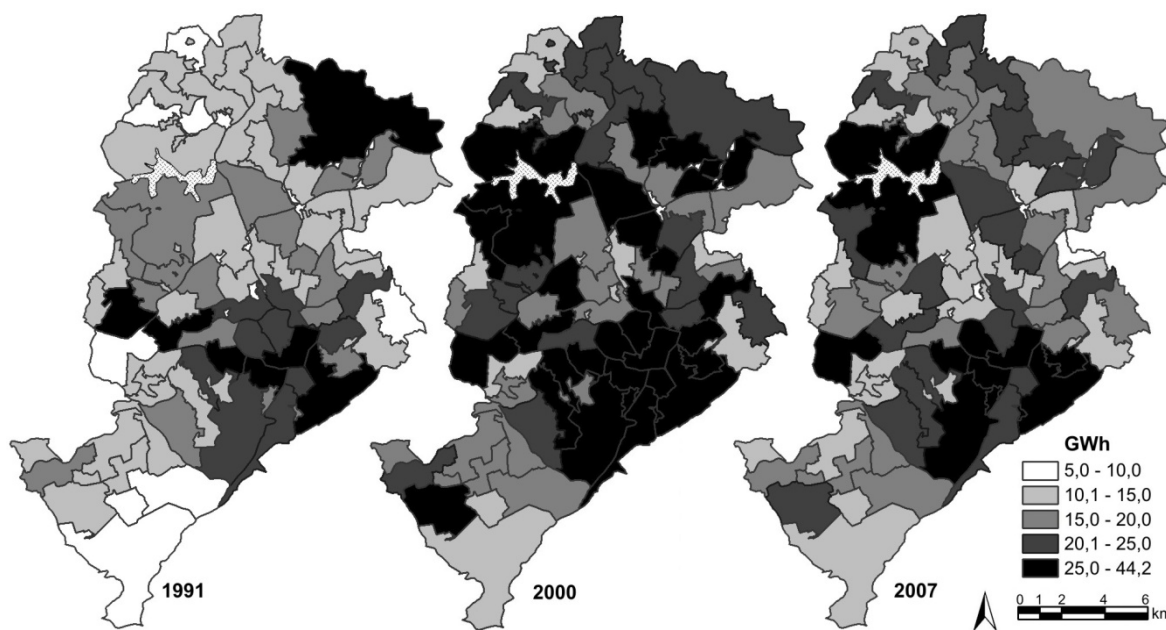
O consumo de energia elétrica municipal, nos anos de 1991, 2000 e 2007, foi obtido pela soma do consumo dos eletrodomésticos de todas as UEH do município. Esse valor, obtido pelo modelo teórico desenvolvido, pode ser comparado com o consumo real faturado pela concessionária, conforme a Tabela 6.1, na qual se pode notar a proximidade entre ambos os valores, nos três anos nos quais a metodologia foi aplicada.

Tabela 6.1: Comparação entre o consumo real faturado e o consumo calculado, para Belo Horizonte

Ano	Consumo calculado (GWh)	Consumo faturado (GWh)	Diferença
1991	1.175	1.163	1,01%
2000	1.764	1.734	1,70%
2007	1.404	1.345	4,36%

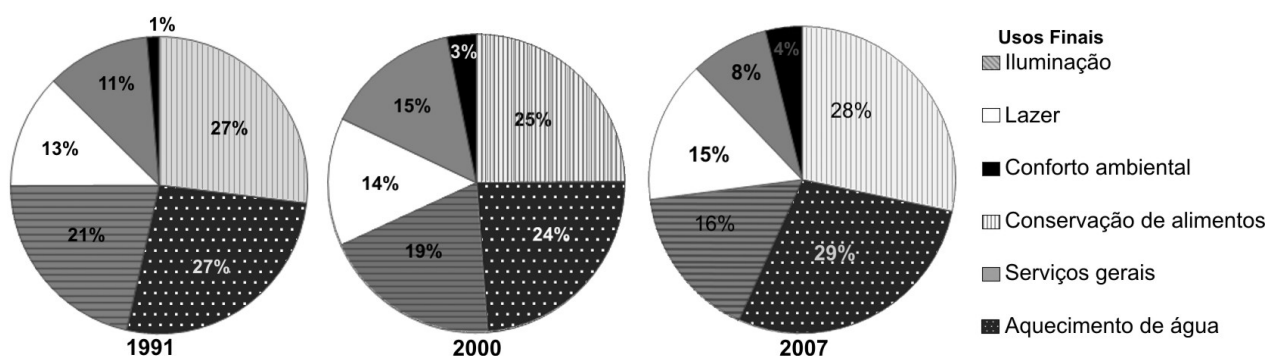
Fonte: Elaboração própria

A distribuição espacial desse consumo é mostrada na Figura 6.8, na qual se observa um acentuado crescimento de consumo em 2000 e uma redução em 2007, causada pela crise de abastecimento de energia. Essa oscilação ocorreu predominantemente nas unidades que possuem renda familiar mais elevada e maior consumo de energia elétrica.



**Figura 6.8: Evolução do consumo de energia elétrica nas UEH.**  
 Fonte: Elaboração própria

A Figura 6.9 apresenta a evolução da participação de cada uso final no consumo total do município. Nota-se que o consumo para o uso lazer e conforto ambiental está em processo de contínuo crescimento. Para os demais usos finais, é notável que a crise de abastecimento de energia de 2000 causou alterações no comportamento de consumo do setor residencial.



**Figura 6.9: Evolução da participação dos usos finais no consumo de energia elétrica do município**  
 Fonte: Elaboração própria

O consumo do uso final serviços foi o que sofreu maior alteração, com crescimento em 2000 e redução em 2007. Apesar de haver crescimento no consumo total para iluminação em 2000, sua participação proporcional reduziu-se devido ao crescimento de outros usos e em 2007 houve efetiva redução no consumo, causado pela substituição das lâmpadas. Para conservação de alimentos e aquecimento de água, houve redução na participação total no ano de 2000 devido principalmente ao crescimento dos demais usos. Em 2007, devido às medidas de redução de consumo e/ou eficiência energética adotadas pelo setor após a crise, a participação de ambos os usos volta a crescer.

A partir dos resultados obtidos, é possível realizar a comparação com outros trabalhos que abordaram o setor residencial, mostrada abaixo no Gráfico 6.1. A comparação é feita com os dados obtidos por Arouca (1983), para o setor residencial de Minas Gerais e Espírito Santo em 1975, por Achão (2003), para a RMBH em 1996, e por ELETROBRAS /PROCEL (2007b), para o setor residencial da Região Sudeste em 2005.

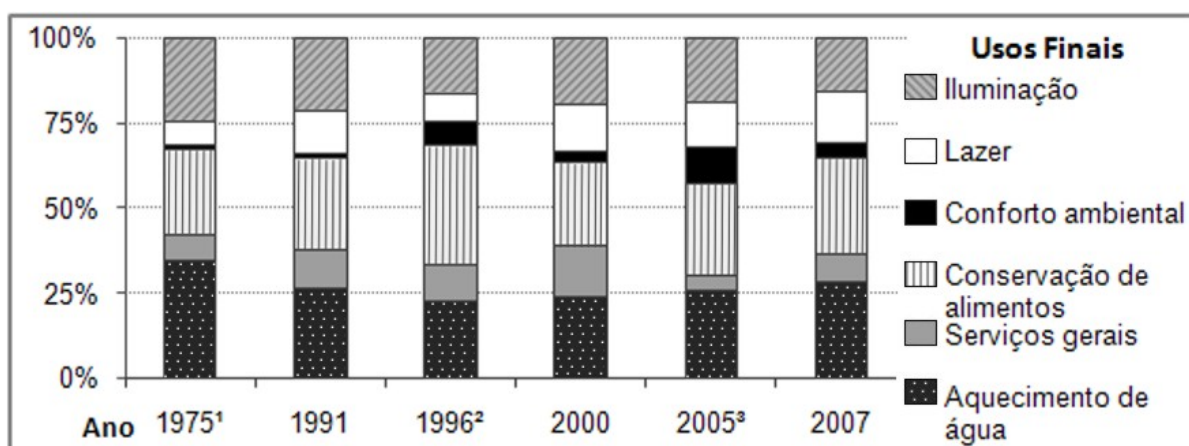


Gráfico 6.1: Comparação da evolução da participação dos usos finais no consumo de energia elétrica do setor residencial - Fonte: Elaboração própria a partir dos dados de: 1 Arouca (1983), 2 Achão (2003) e 3 ELETROBRAS /PROCEL (2007b)

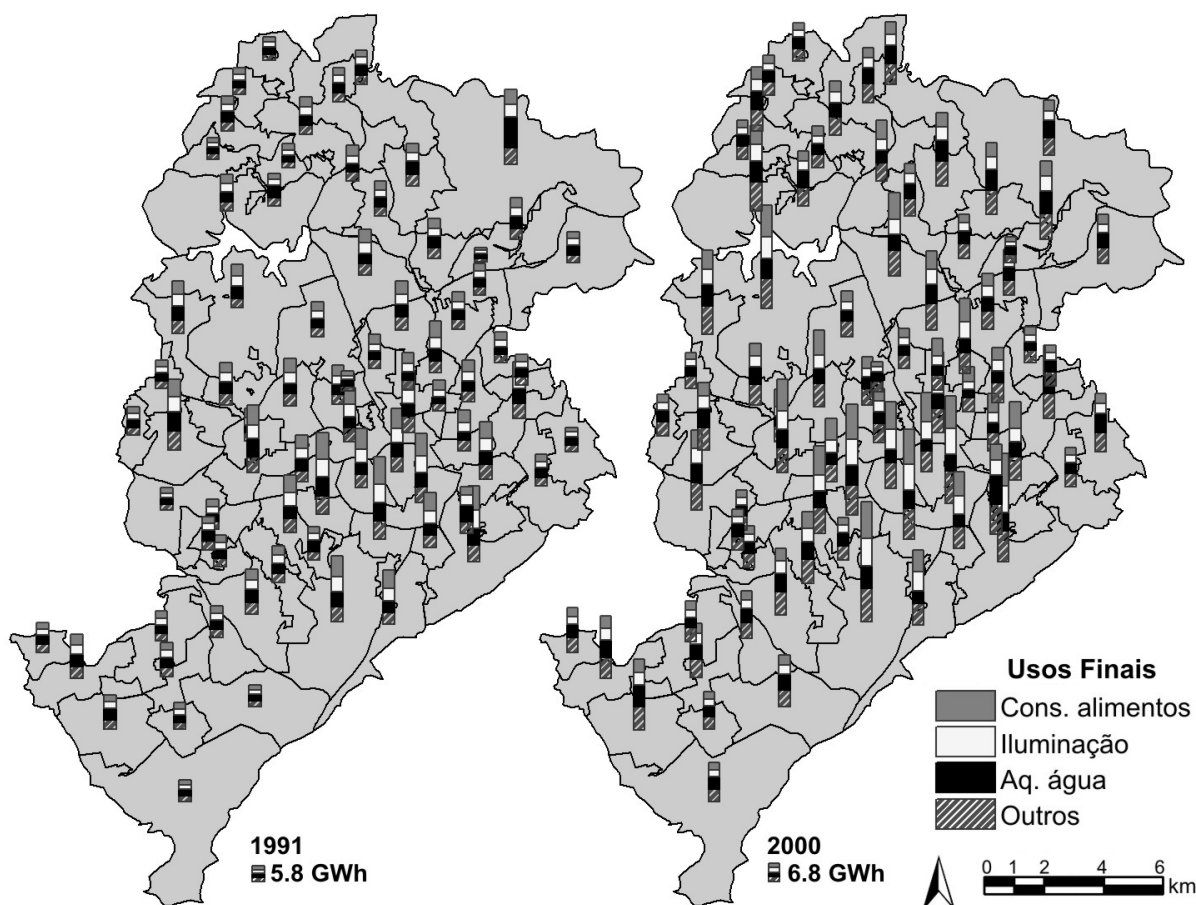
É possível perceber que a participação dos usos finais é relativamente próxima ao longo do período de tempo considerado. As diferenças se devem a fatores temporais e regionais. Por exemplo, a participação do uso final conservação de alimentos, em 1975, é maior devido à menor eficiência dos equipamentos. As diferenças da participação entre 1996 e 2000, se devem a algumas particularidades dos estudos, como maior posse de equipamentos do uso lazer em Belo Horizonte. Outro exemplo é o uso final conforto ambiental. Achão utiliza o valor de número de horas de uso do ar condicionado calculado pelo PROCEL<sup>29</sup>, obtido em pesquisa de âmbito nacional. Assim, o efeito do clima predominantemente mais ameno de Belo Horizonte não é considerado no trabalho da autora, o que contribui para um consumo relativamente maior. Por fim, as diferenças observadas entre 2005 e 2007 se devem a características regionais de uso dos equipamentos, como no caso do uso em conforto ambiental, visto que a posse do ar condicionado, no Sudeste, é superior à posse em Belo Horizonte.

Na Figura 6.10, considerando a distribuição espacial das UEH, é exposta a evolução da participação dos usos finais conservação de alimentos, aquecimento de água, iluminação e outros usos no consumo de eletricidade, nos anos de 1991 e 2000. Neste último ano, observa-

<sup>29</sup> PUC/PROCEL, 1999. Pesquisa de Posse de Eletrodomésticos e Hábitos de Consumo. Rio de Janeiro, RJ, Brasil. (apud ACHÃO; 2003)

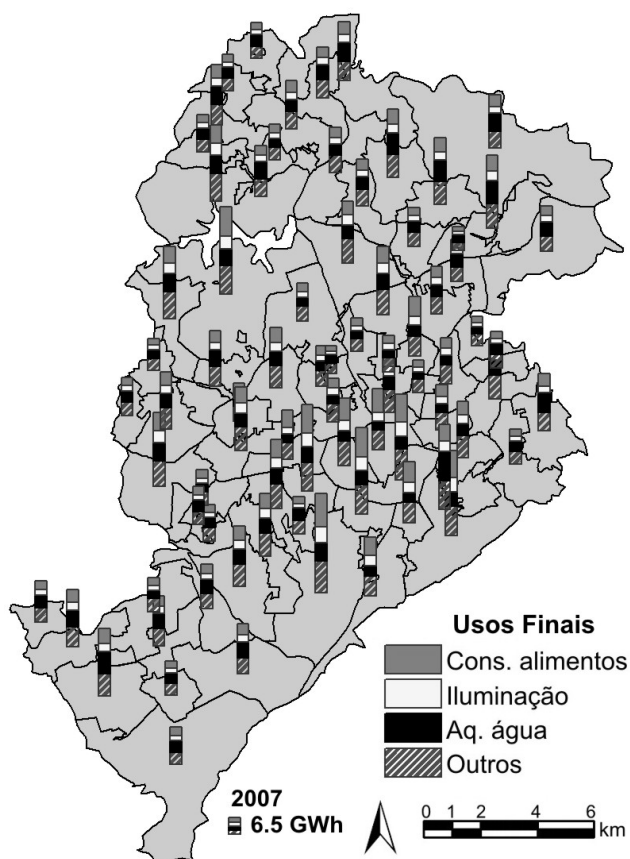


se que o consumo que teve maior crescimento nas unidades com maior rendimento familiar foi o do uso final conservação de alimentos. Nas demais classes, a participação dos quatro usos é relativamente próxima, sendo que o aquecimento de água tende a ser um pouco superior aos demais.



**Figura 6.10: Evolução da participação dos usos finais no consumo de eletricidade das UEH, nos anos de 1991 e 2000 – Fonte: Elaboração própria**

A participação dos usos finais no consumo de eletricidade das UEH, no ano de 2007, é mostrada na Figura 6.11. É importante lembrar que o mapa de 2007 refere-se ao consumo observado após a crise de abastecimento de energia elétrica. Como comentado no Capítulo 3, após 2001 houve uma grande redução do consumo de energia elétrica per capita no município, e entre 2002 e 2007 esse consumo se manteve praticamente estável, mostrando que as mudanças nos hábitos de uso de eletrodomésticos foram incorporadas pelos usuários do setor.

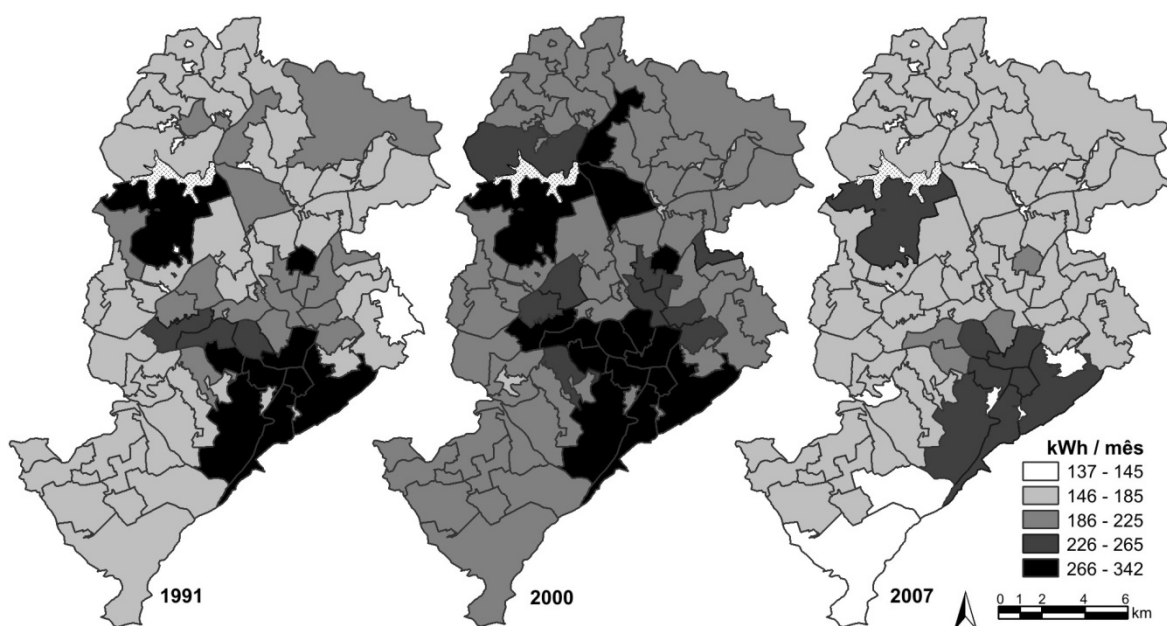


Pela Figura 6.11 é possível observar que a inserção de outras fontes de energia contribuiu para a redução do consumo de eletricidade, como o chuveiro, nas UEH com renda familiar mais elevadas. Em contrapartida, nessas unidades, ocorreu acentuado crescimento do consumo em outros usos. De modo geral, houve uma redução da participação do uso iluminação e crescimento dos outros usos no consumo total de eletricidade.

**Figura 6.11: Evolução da participação dos usos finais no consumo de eletricidade das UEH, no ano de 2007**

Fonte: Elaboração própria

Como síntese desse subitem, abaixo na Figura 6.12, é apresentada a evolução do consumo mensal de energia elétrica por residência nas UEH de Belo Horizonte. É notável nessa figura que a evolução do consumo domiciliar sofreu uma queda geral no ano de 2007, sendo essa queda mais acentuada nas unidades que possuíam maior consumo médio mensal.



**Figura 6.12: Evolução do consumo médio mensal de energia elétrica por residência.**

Fonte: Elaboração própria

### 6.2.3 Aquecimento de água para banho

A evolução do consumo de eletricidade pelo chuveiro é apresentada na Figura 6.13, onde se nota que as UEH mais populosas são também as que têm maior consumo.

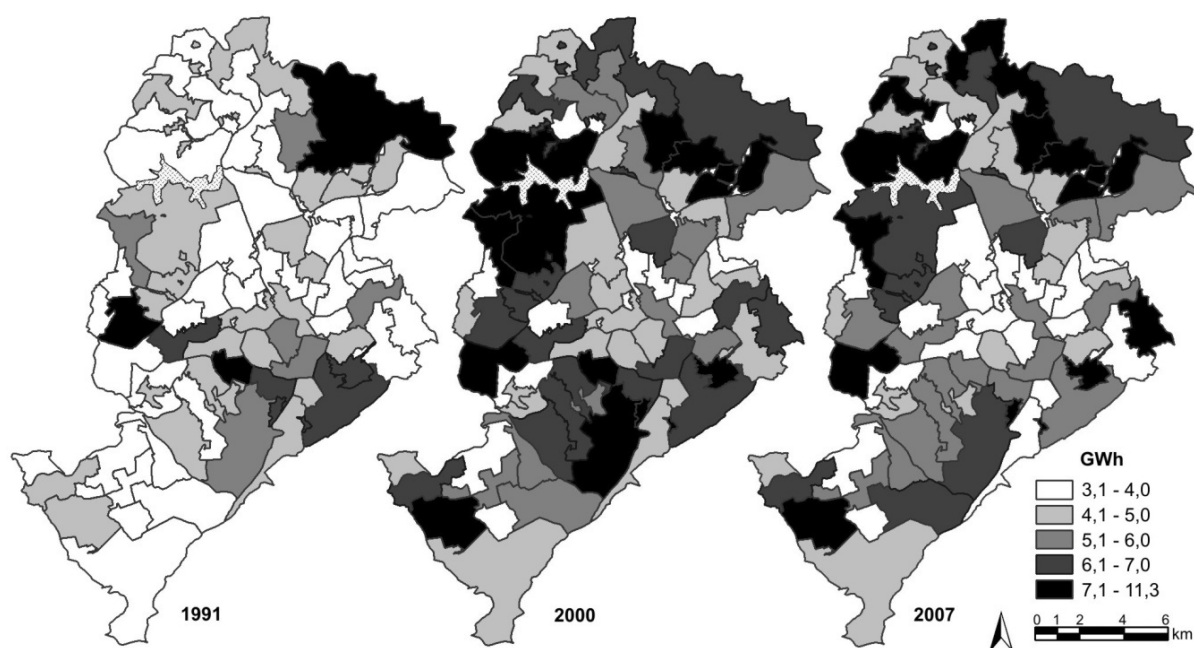


Figura 6.13: Evolução do consumo de eletricidade do chuveiro elétrico.

Fonte: Elaboração própria

Isso ocorre porque, pelo modelo proposto no Capítulo 4, o uso do chuveiro é diretamente proporcional ao número de habitantes. Essa relação só sofre mudanças no mapa de 2007, pois é o primeiro ano deste estudo no qual a energia solar e o GLP são utilizados para o aquecimento de água. O consumo desses sistemas para aquecimento de água é mostrado na Figura 6.14, para o GLP, e na Figura 6.15, para a energia solar.

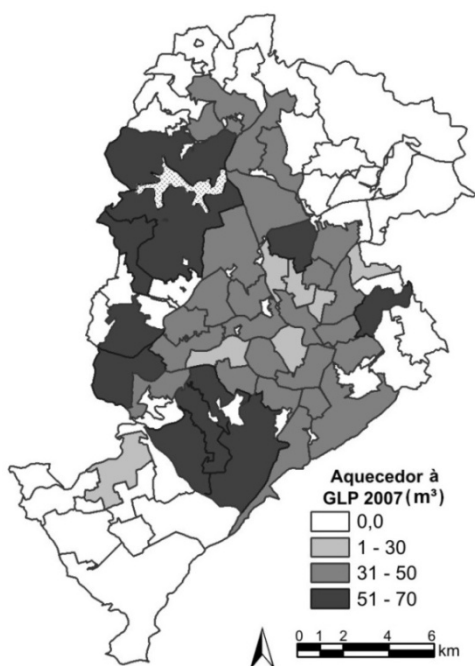


Figura 6.14: Consumo de GLP no aquecimento de água para banho em 2007.  
Fonte: Elaboração própria

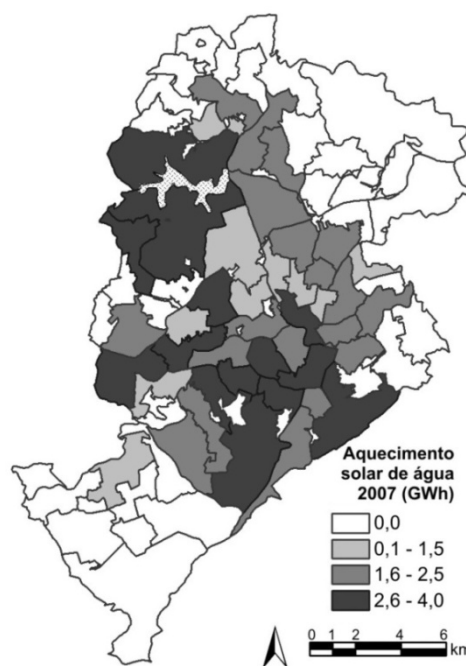
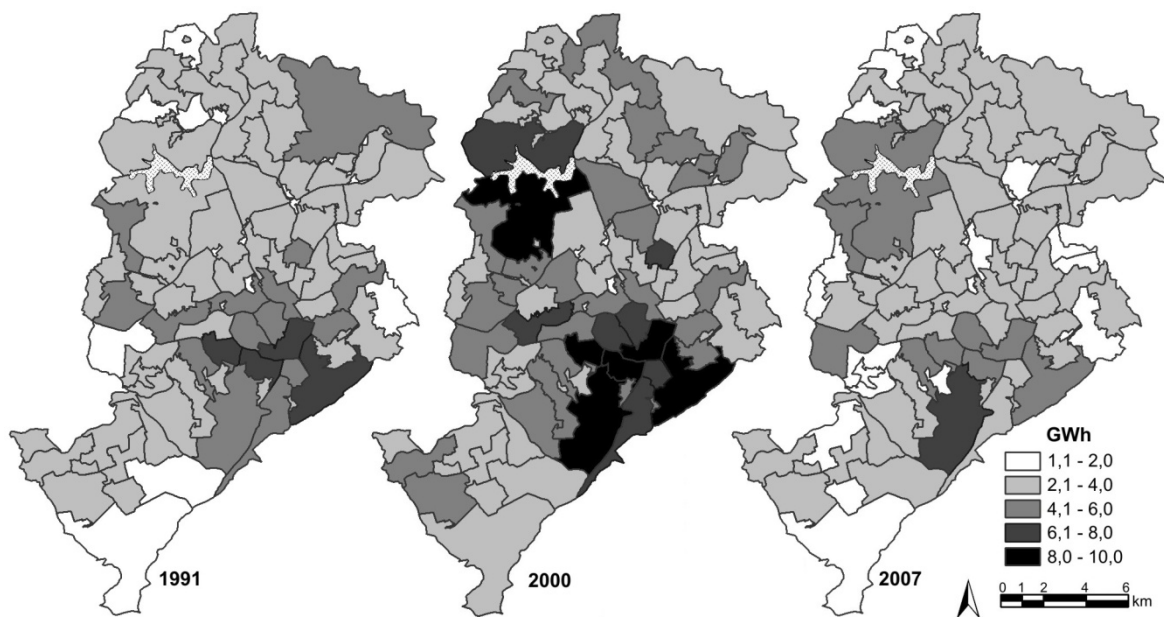


Figura 6.15: Consumo de energia solar no aquecimento de água para banho em 2007.  
Fonte: Elaboração própria

## 6.2.4 Iluminação

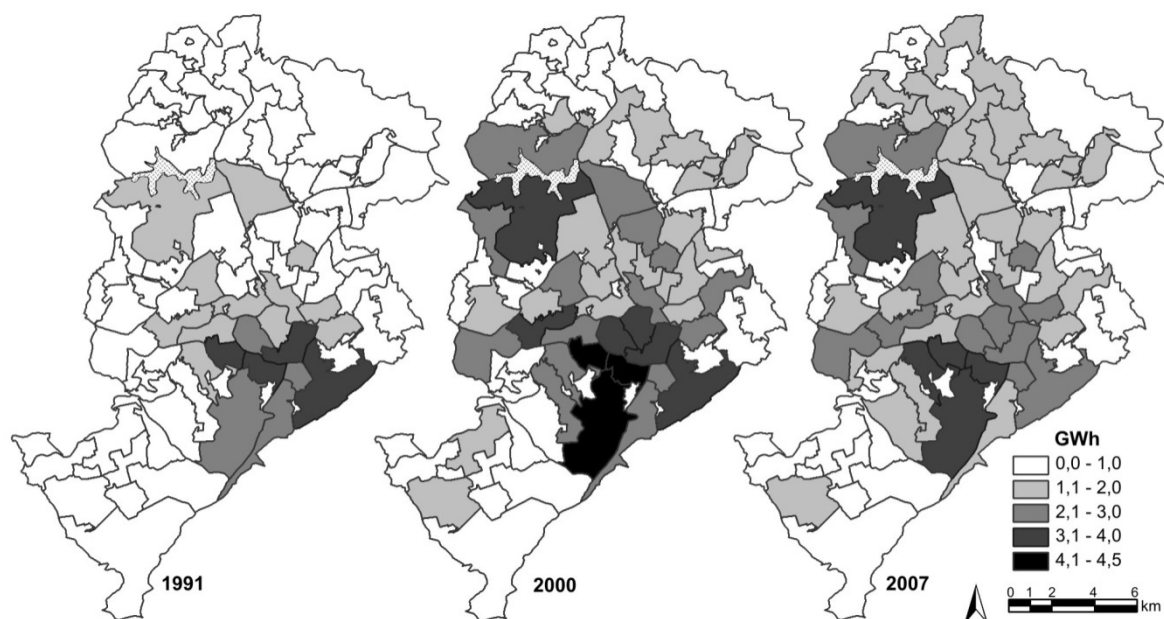
O consumo de energia para iluminação também sofreu grande alteração após a crise de abastecimento de eletricidade, conforme mostrado na Figura 6.16, na página seguinte. O consumo médio nas UEH para iluminação era 3,3 GWh em 1991, cresceu para 4,4 GWh em 2000 e reduziu para 2,7 GWh em 2007. Em 2000, ocorreu um crescimento mais intenso nas regiões com renda familiar mais elevada e, em 2007, se observa que houve uma redução generalizada, mas com maior intensidade novamente nas regiões mais ricas.



**Figura 6.16: Evolução do consumo de eletricidade para iluminação**  
 Fonte: Elaboração própria

### 6.2.5 Conservação de alimentos

De modo geral, esse uso final é o que atualmente possui maior peso no consumo das famílias com rendimento mais elevado e também tem elevado peso nas demais famílias. A Figura 6.17 mostra a evolução do consumo de eletricidade pelo freezer nas UEH.



**Figura 6.17: Evolução do consumo de eletricidade pelo freezer**  
 Fonte: Elaboração própria

Apesar de sofrer grande redução na posse em 2007, o freezer ainda tem maior presença em muitas unidades espaciais, quando comparado ao ano de 1991. A redução do consumo médio em 2007 também está relacionada com a melhoria da eficiência energética desses equipamentos.

Na Figura 6.18, é apresentada a evolução do consumo de energia da geladeira. Como em 2000 a posse desse eletrodoméstico atinge a saturação, o maior crescimento ocorre até esse ano. Em 2007, é possível notar uma redução de consumo em algumas unidades, que foi causado pela melhoria da eficiência energética obtida por meio da aquisição de equipamentos novos. Ainda há a possibilidade do retorno do crescimento do consumo, se mais famílias optarem por substituírem seus equipamentos por modelos com maior capacidade ou por modelos tipo duplex ou *frost-free*.

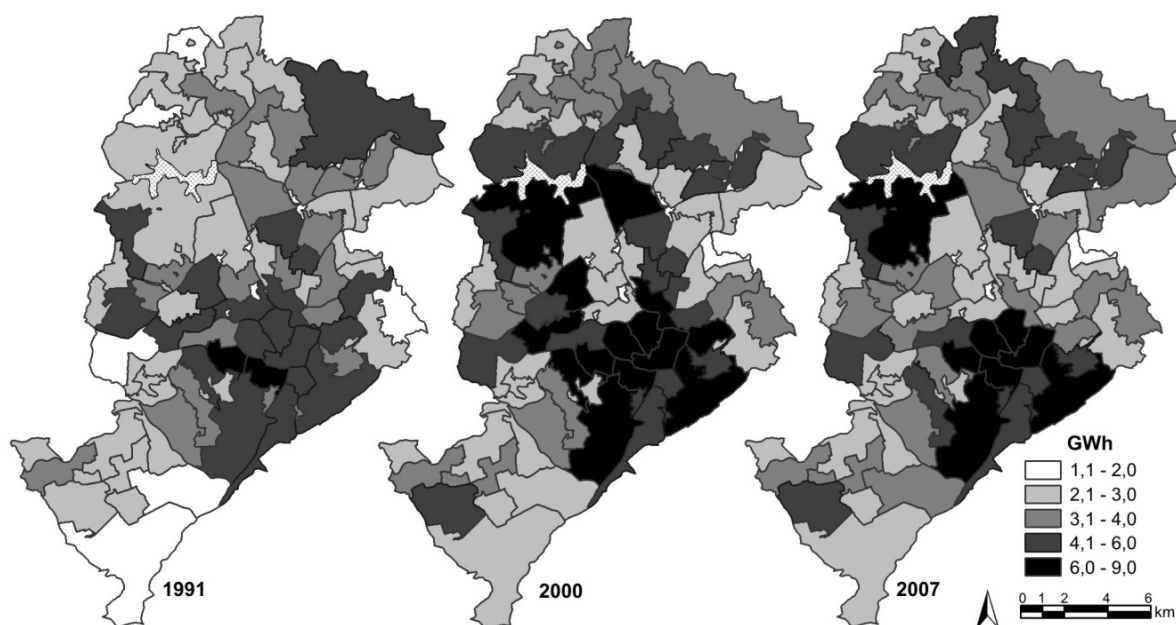


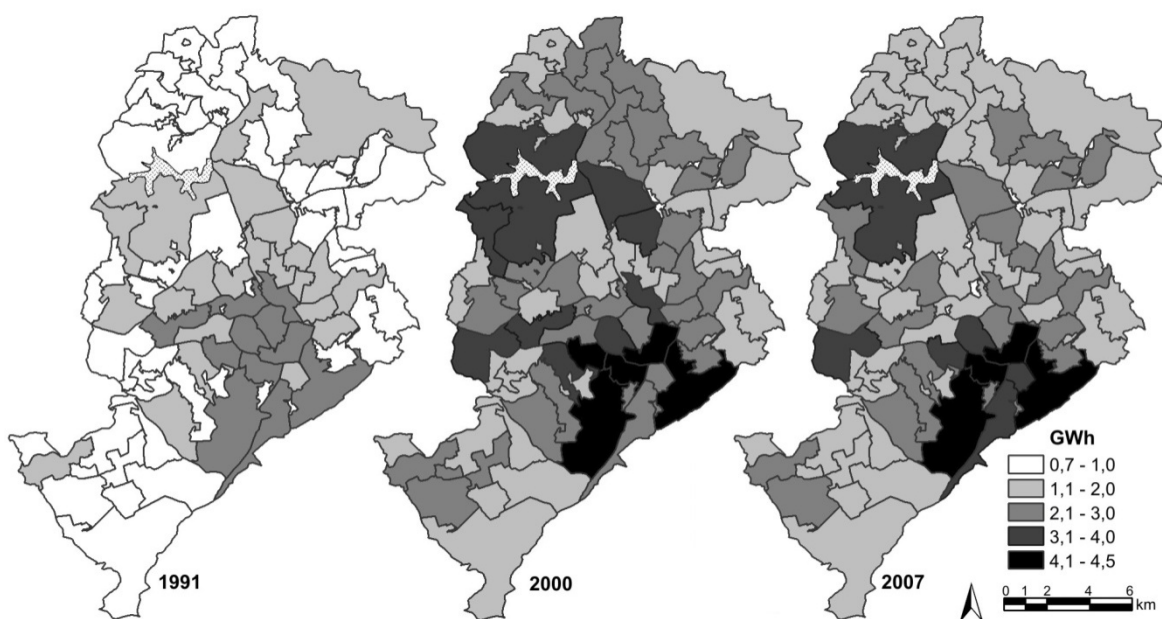
Figura 6.18: Evolução do consumo de eletricidade da geladeira.

Fonte: Elaboração própria

### 6.2.6 Lazer

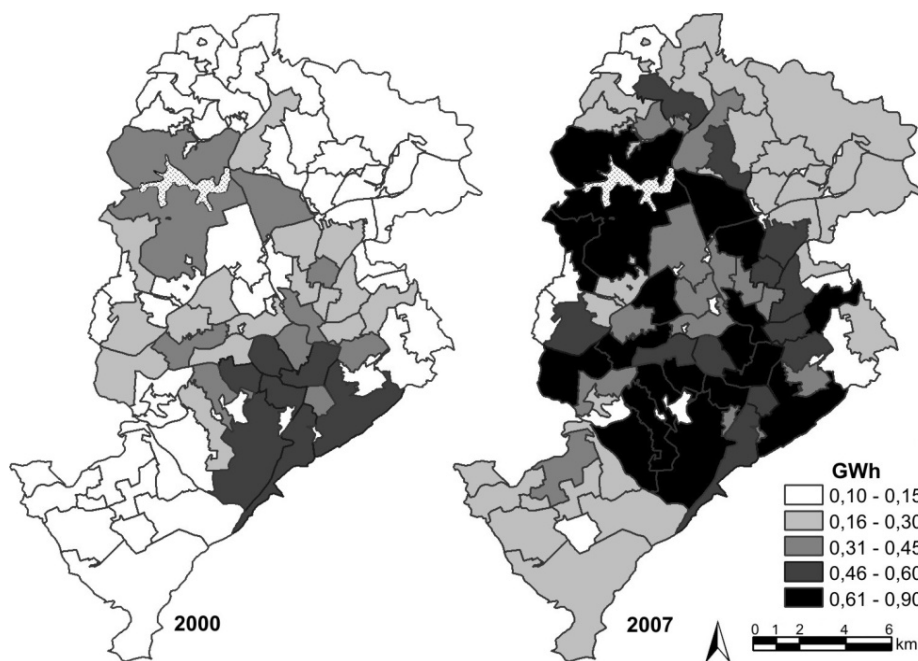
O principal equipamento no consumo de eletricidade desse setor é a TV. A Figura 6.19 mostra a evolução do seu consumo em Belo Horizonte. Percebe-se que houve um grande crescimento entre 1991 e 2000 e, em 2007, esse crescimento teve menor intensidade. Essa redução não foi causada pela crise, mas porque em 2000 a posse média já era superior a 2 equipamentos por residência. Assim, em 2007 houve crescimento mais lento, com mais substituições de modelos. Com a chegada dos modelos de tela plana, com maiores dimensões de tela, o

crescimento poderá retomar uma taxa elevada, caso as famílias da chamada classe média adquiram esses modelos. Apesar de serem mais eficientes, eles consomem mais por causa da dimensão da tela. No cálculo do consumo desse equipamento pode ser observado que, no mercado, a dimensão média dos sistemas com cinescópio é de 25 polegadas, enquanto que nos modelos de tela plana, o tamanho médio é de 40 polegadas.



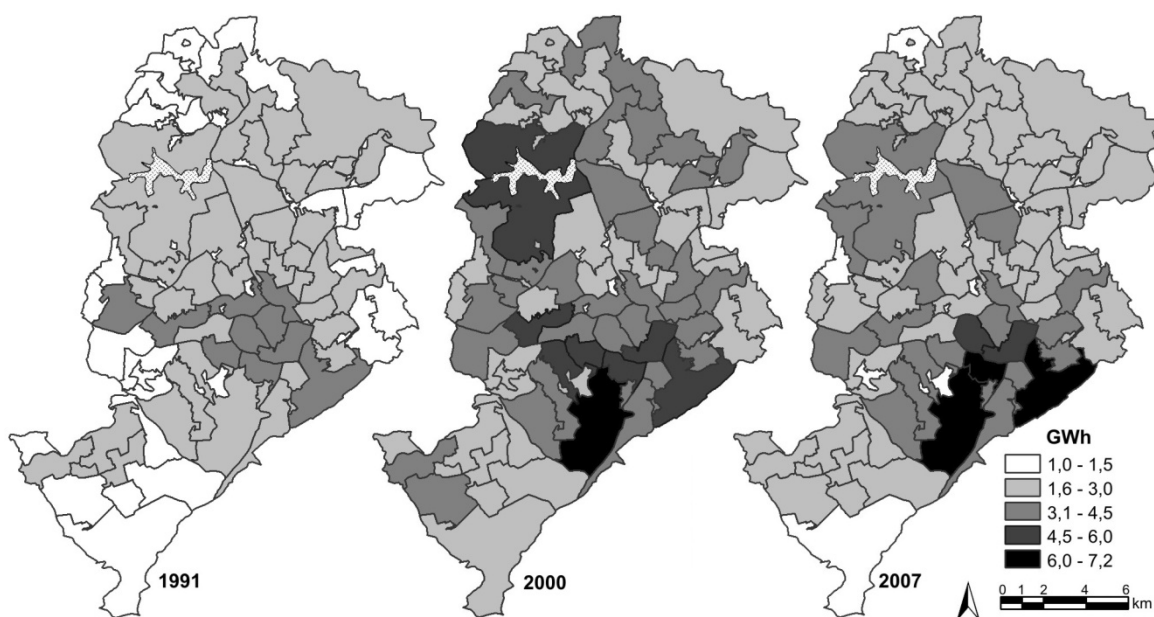
**Figura 6.19: Evolução do consumo de eletricidade da TV**  
**Fonte: Elaboração própria**

Outro equipamento que sofreu grande crescimento da posse foi o computador pessoal, conforme mostrado a seguir na Figura 6.20, onde é exposta a evolução do consumo de eletricidade do computador. Pode-se perceber que ainda há possibilidade de grande crescimento no consumo pelo computador principalmente nas famílias de classes de renda média a baixa, onde a posse ainda é bem inferior a um equipamento por residência.



**Figura 6.20: Evolução do consumo de eletricidade do computador.**  
**Fonte: Elaboração própria**

O consumo total do uso final lazer, mostrado na Figura 6.21, sofreu pouca influência da crise de abastecimento de energia em Belo Horizonte e pode passar por processo de crescimento elevado com o crescimento econômico, pois as famílias tendem a ter mais de um tipo de equipamento por residência. Além disso, tendem a substituir equipamentos de menor porte por modelos maiores, que consomem mais energia.

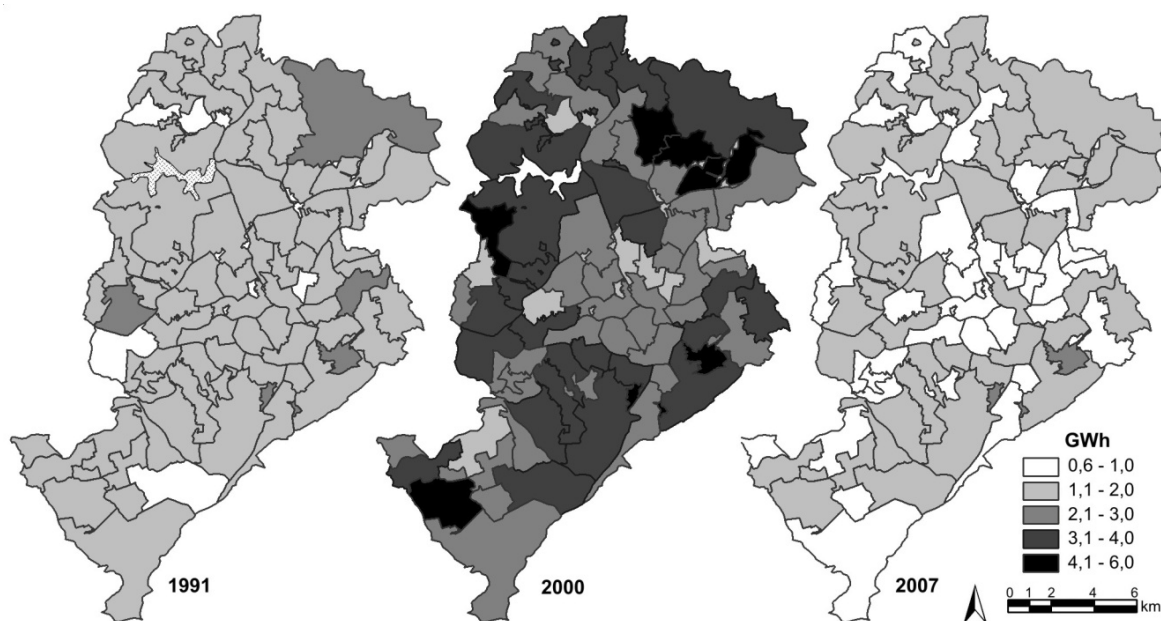


**Figura 6.21: Evolução do consumo de eletricidade do uso final lazer**  
**Fonte: Elaboração própria**



### 6.2.7 Serviços gerais

O principal equipamento no consumo de energia desse uso final é o ferro elétrico, e a Figura 6.22 mostra a evolução do consumo deste eletrodoméstico. A premissa feita no cálculo do consumo para 2007, de que as famílias utilizariam o ferro elétrico por um tempo menor durante a semana, teve grande impacto no seu consumo nas UEH de modo geral.



**Figura 6.22: Evolução do consumo de eletricidade do ferro**  
Fonte: Elaboração própria

Essa redução também exerce forte impacto sobre o consumo do uso final como um todo, como se pode ver na Figura 6.23. Além do ferro, a lavadora de roupas e o micro-ondas constituem o consumo desse uso final. Apesar da posse da lavadora estar em crescimento em Belo Horizonte, seu consumo por ciclo de lavagem é relativamente pequeno. A posse do micro-ondas está em crescimento acentuado, contudo o tempo de uso é relativamente pequeno atualmente, por isso, sua influência no consumo do setor é mínima. Dessa forma, no futuro, a evolução do consumo desse uso dependerá basicamente do comportamento das famílias: se optarem por voltar a utilizar o ferro elétrico por um tempo maior ou se adotarem o micro-ondas na cocção dos alimentos mais frequentemente, o consumo do uso serviços gerais poderá ter grande impacto no consumo do setor residencial como um todo.

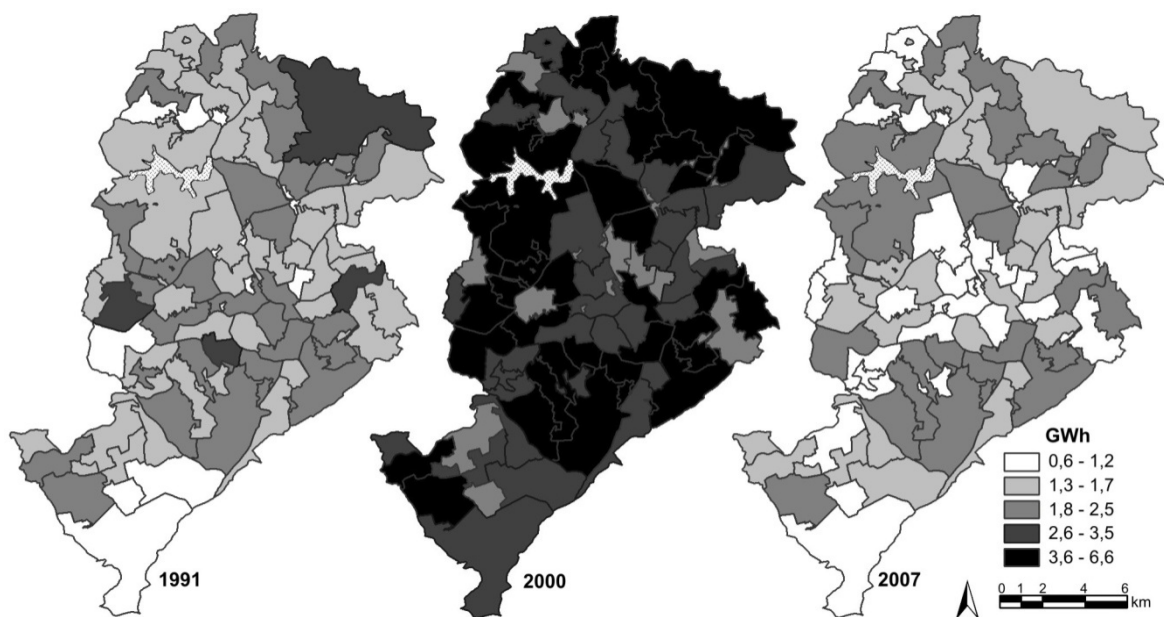


Figura 6.23: Evolução do consumo de eletricidade do uso final serviços gerais  
 Fonte: Elaboração própria

### 6.2.8 Conforto ambiental

O principal equipamento desse uso é o ar condicionado, e a evolução do seu consumo de eletricidade é apresentada na Figura 6.24.

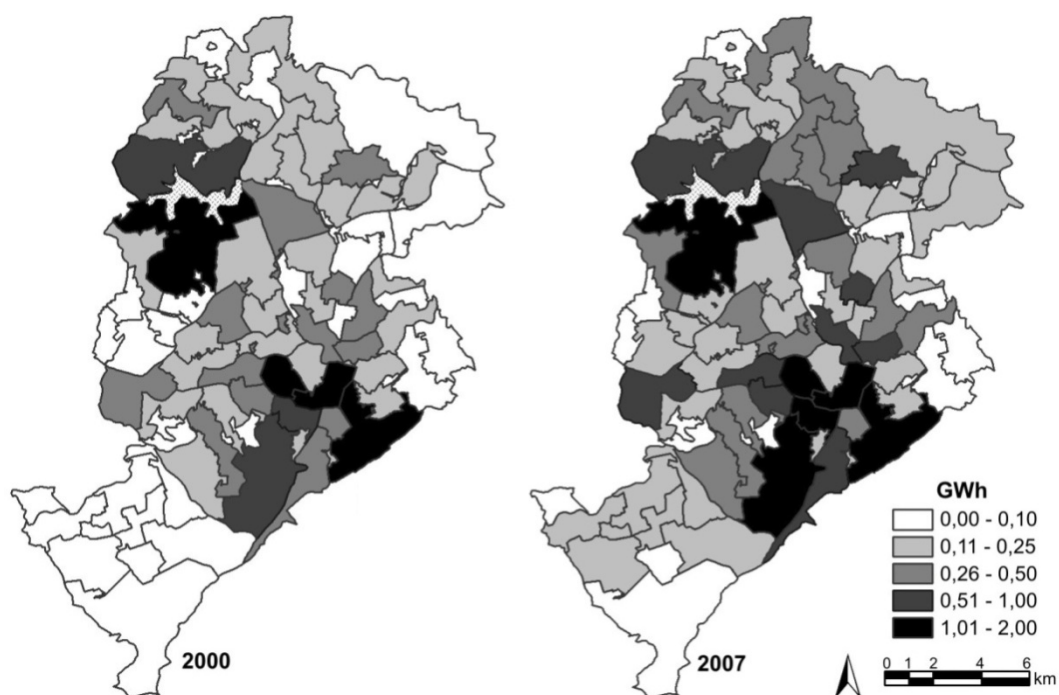


Figura 6.24: Evolução do consumo de eletricidade do ar condicionado  
 Fonte: Elaboração própria

Apesar da taxa elevada de crescimento desse equipamento, o consumo total nas UEH ainda é relativamente baixo, pois a posse do ar condicionado em Belo Horizonte levantada no Censo de 2000, já era muito baixa. Na figura seguinte, Figura 6.25, é apresentado o consumo total do uso final conforto ambiental nas UEH.

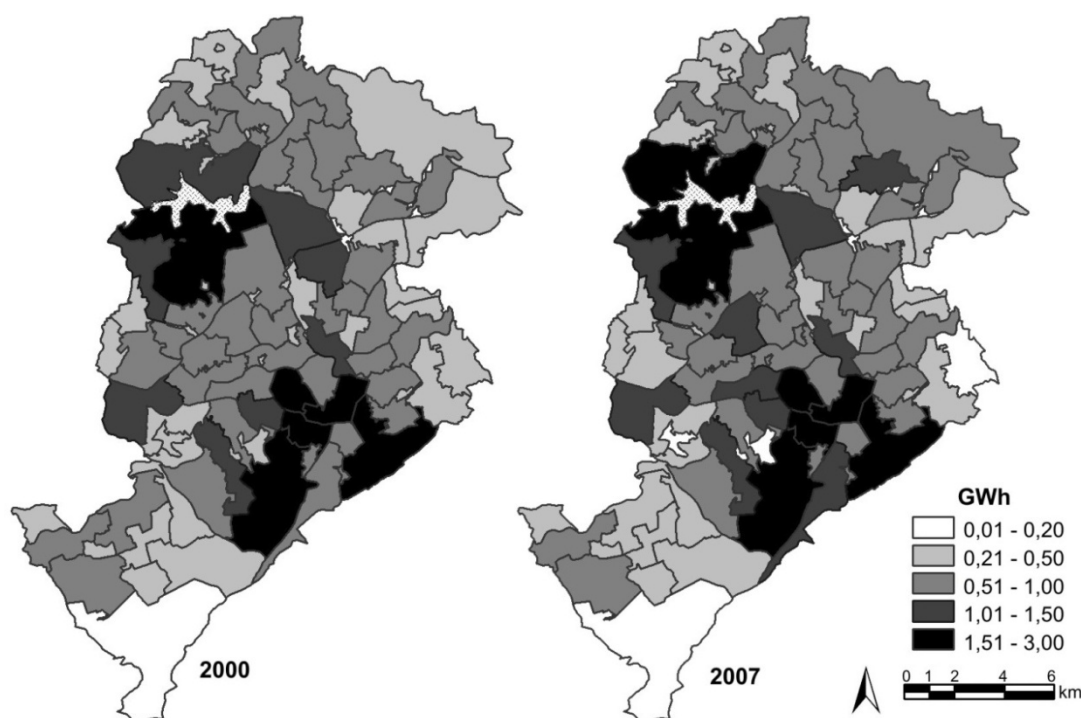


Figura 6.25: Evolução do consumo de eletricidade do uso final conforto ambiental  
Fonte: Elaboração própria

Além do ar condicionado, o ventilador é utilizado para se obter conforto ambiental. Com o crescimento da posse de ar condicionado, a influência do ventilador no consumo do uso final tende a ser minimizado. Nos próximos anos, se a taxa de crescimento do ar condicionado se mantiver alta, o impacto do uso poderá ser grande para o setor residencial.

### 6.3 Projeções de consumo de energia

Este item apresenta os resultados obtidos com o *software* LEAP para os cenários de consumo de energia. A apresentação dos mapas também está organizada por uso final, porém os dois usos finais que incorporam premissas diferenciadas para o Cenário BH-2030 e o Cenário MG-2030, aquecimento de água e conforto ambiental, estão localizados ao final desse capítulo. Como os resultados para os usos iluminação, cocção, conservação de alimentos, lazer e serviços gerais são comuns aos dois cenários, eles são mostrados e discutidos inicialmente.

### 6.3.1 Resultados comuns aos dois cenários

#### 6.3.1.a Iluminação e cocção de alimentos

Para a iluminação de ambientes, a evolução do consumo até 2030 seguirá as premissas adotadas para 2007, desse modo, o crescimento não sofrerá grandes alterações, conforme se nota na Figura 6.26. O maior crescimento de consumo acompanha os locais em que foram construídas mais edificações novas, e as UEH com maior consumo absoluto são também as que possuem maior renda média familiar, pois essas residências tendem a ser as com maior número de cômodos.

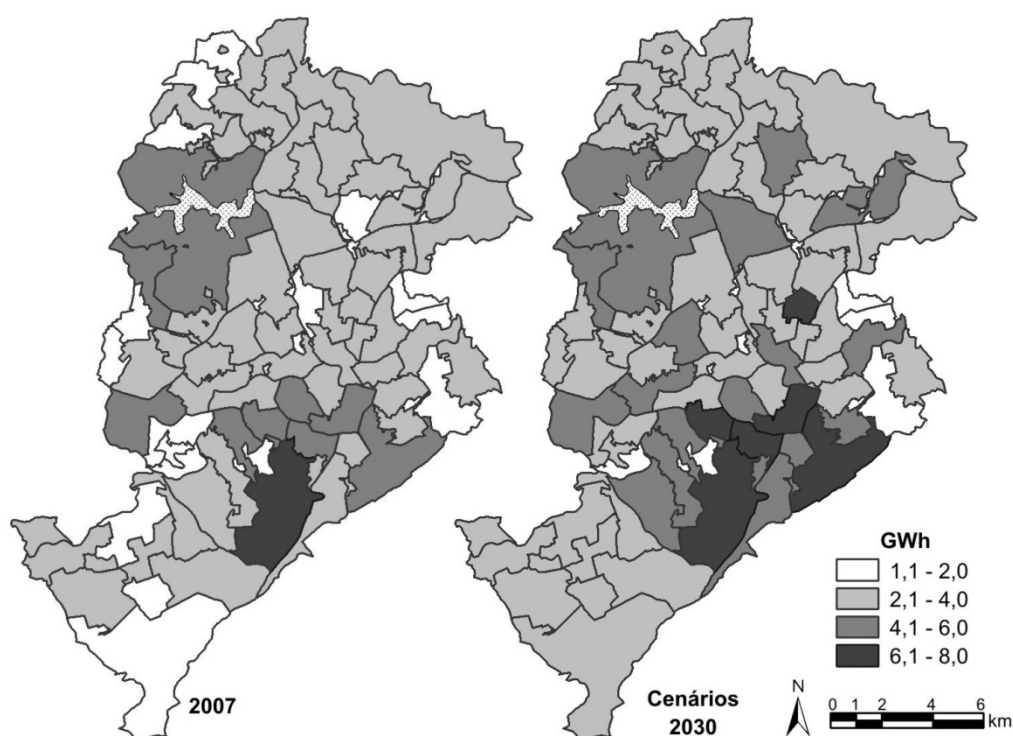


Figura 6.26: Consumo de energia elétrica para iluminação em 2030

Fonte: Elaboração própria.

O consumo de GLP para a cocção é exposto na Figura 6.27, em tep. Também para este uso final não houve grandes alterações no consumo de GLP observado em 2007. Isso porque a melhoria de desempenho do equipamento foi considerada uniforme em todas as UEH e o tamanho das famílias reduziu-se de modo aproximado nas diferentes regiões.

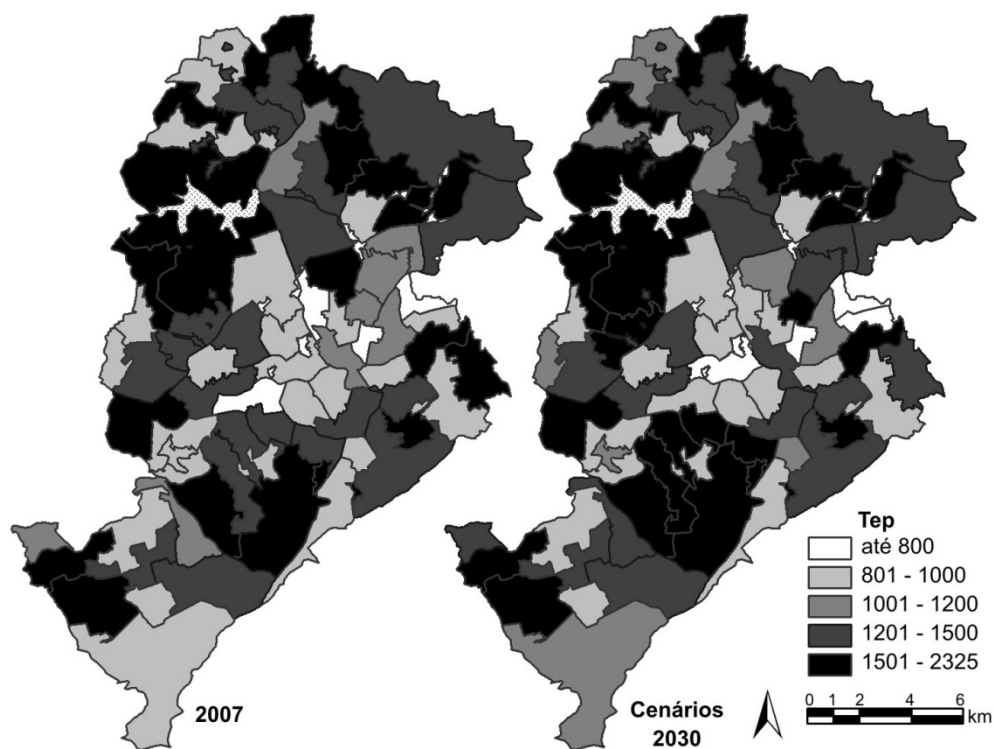


Figura 6.27: Consumo de GLP para cocção em 2030  
Fonte: Elaboração própria

### 6.3.1.b Conservação de alimentos

Para o uso final conservação de alimentos, a projeção do consumo de energia pelas geladeiras é mostrada na Figura 6.28. Como a geladeira já atingiu a saturação em 2000, o crescimento existente nessa figura está relacionado ao aumento do número de residências e à substituição dos modelos de uma porta por geladeiras duplex nas classes de renda familiar mais elevada. No caso do freezer, Figura 6.29, pode-se notar grande redução no consumo que está relacionada à redução de sua posse. Por fim, na Figura 6.30, é apresentada a evolução do consumo de energia elétrica do uso final conservação de alimentos, de 2007 a 2030.

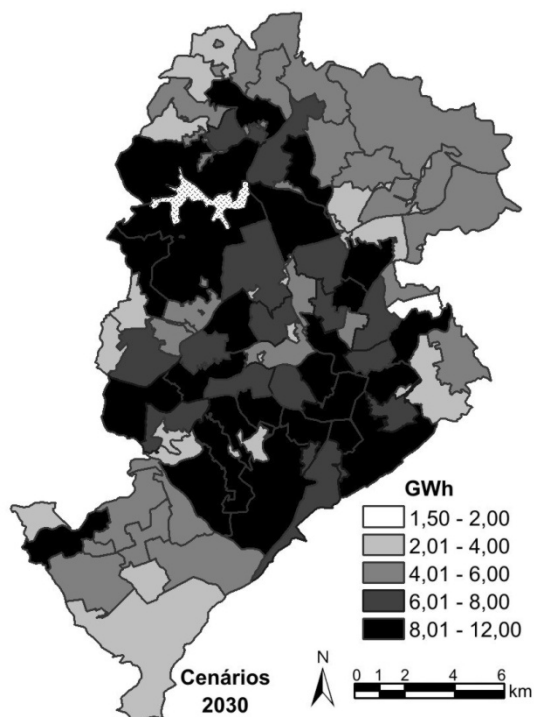


Figura 6.28: Consumo de energia elétrica da geladeira em 2030  
 Fonte: Elaboração própria

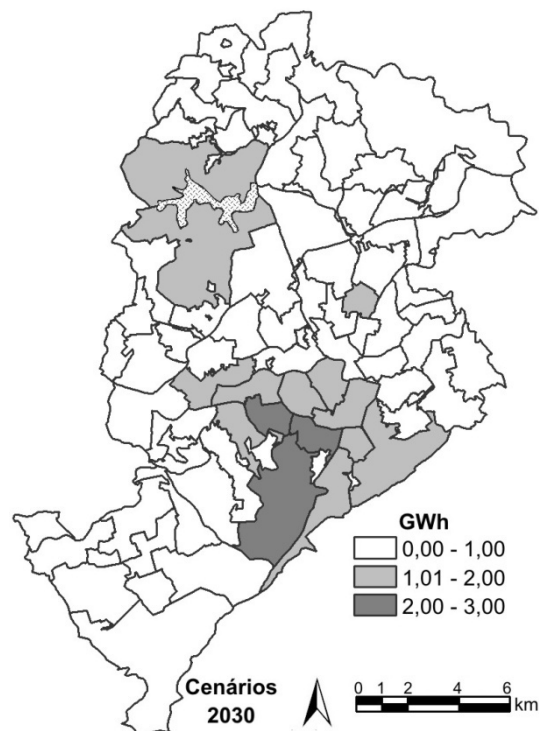


Figura 6.29: Consumo de energia elétrica do freezer em 2030  
 Fonte: Elaboração própria

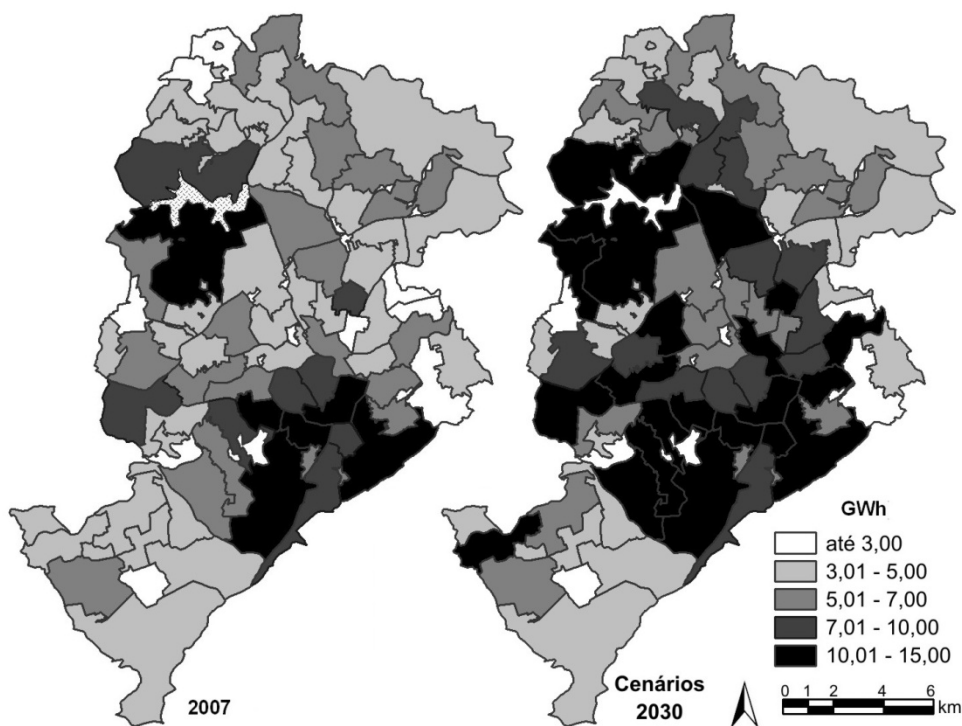


Figura 6.30: Evolução do consumo de energia elétrica para conservação de alimentos até 2030.  
 Fonte: Elaboração própria

### 6.3.1.c Lazer

A estimativa de consumo para o ano de 2030 foi feita, principalmente, pela projeção da taxa de crescimento ocorrida entre 2000 e 2007. Contudo, essa taxa não pode ser utilizada em todo

o período de projeção, por causar um crescimento excessivamente elevado, levando a resultados inconsistentes. No uso final lazer, esse crescimento acentuado ocorreu com a posse da TV e do computador pessoal.

A evolução da posse média de TV em todas as UEH de Belo Horizonte é apresentada no Gráfico 6.2. Nesse gráfico pode-se perceber que houve uma modificação na trajetória de crescimento da posse das classes com renda familiar mais baixa no ano de 2015. Essa medida foi necessária, nessa data, para garantir que essas classes não atingissem posse maior do que a das unidades com faixas de renda familiar mais elevada. Por não haver informação sobre como seria a nova taxa de crescimento após 2015, assumiu-se, para aquelas classes, um crescimento com taxa semelhante à das classes de renda mais elevada, fazendo com que, a partir de 2015, todas as unidades tenham a mesma inclinação.

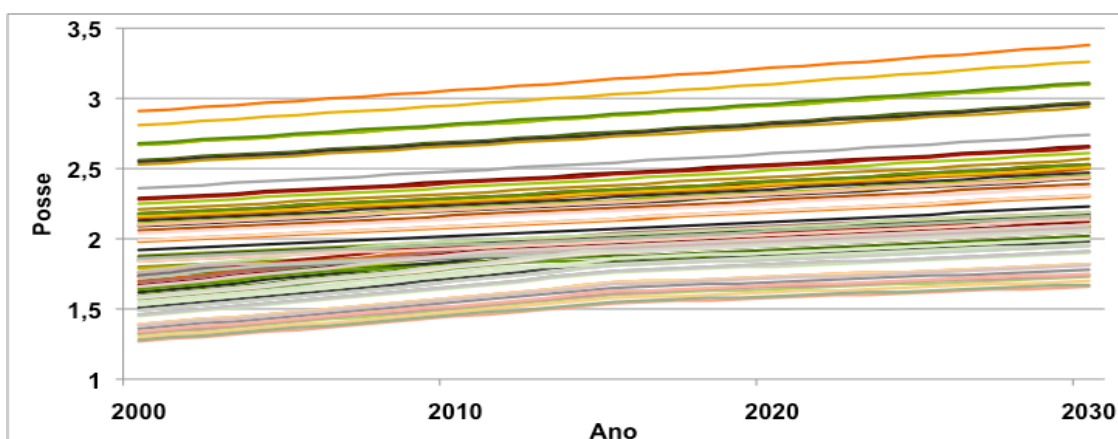
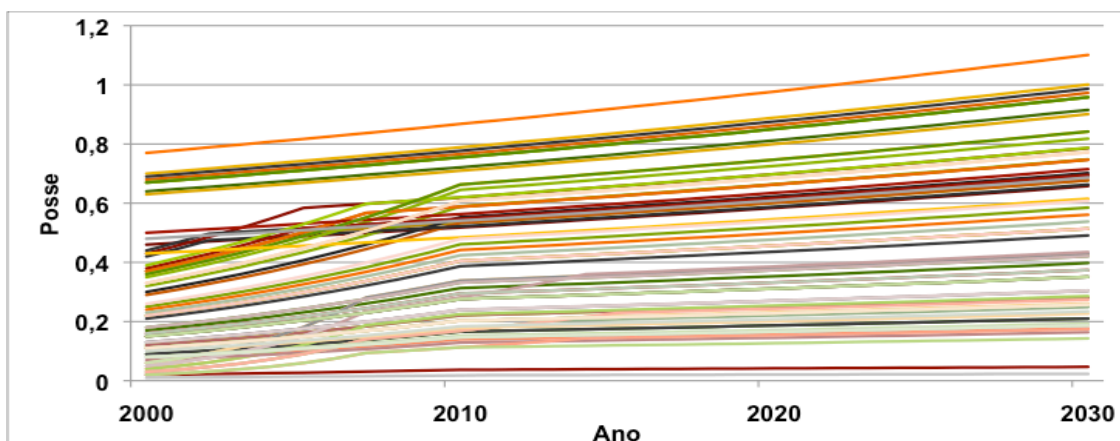


Gráfico 6.2: Evolução da posse da TV por UEH  
Fonte: Elaboração própria<sup>30</sup>.

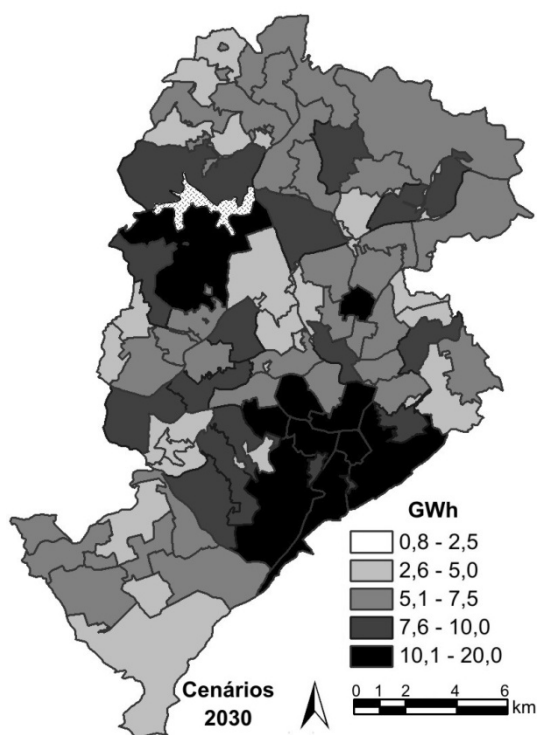
Medida semelhante foi realizada no cálculo da evolução da posse do computador, mostrada no Gráfico 6.3. Para esse equipamento, a taxa de crescimento utilizada foi a observada na PNAD, sendo aplicada por faixa de rendimento familiar. Nas UEH em que a renda familiar era menor do que 10 salários mínimos, o crescimento foi tão acentuado que a mudança de taxa foi necessária já no ano de 2010. Nas classes com menor rendimento, essa data poderia ser posterior, mas como não havia dados para realizar essa alteração, a taxa de crescimento utilizada nas UEH de maior rendimento familiar foi adotada em todas as unidades após o ano 2010.

<sup>30</sup> Nos Gráficos 6.1 a 6.4, a cada UEH está representada por uma linha com tonalidade diferente. Visto que são 77 unidades, optou-se por não apresentar a legenda, por uma questão de legibilidade. A intenção é mostrar a inclinação das curvas em geral, mais do que especificar o comportamento das UEH separadamente.

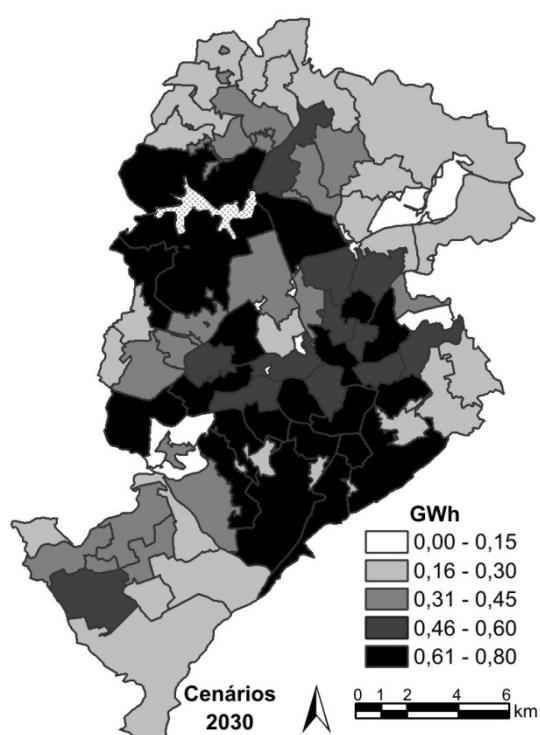


**Gráfico 6.3: Evolução da posse do computador pessoal**  
 Fonte: Elaboração própria

O resultado obtido, para o ano de 2030, pode ser visto na Figura 6.31 e na Figura 6.32, para a TV e o computador, nessa ordem.



**Figura 6.31: Consumo da TV em 2030.**  
 Fonte: Elaboração própria



**Figura 6.32: Consumo do computador em 2030.**  
 Fonte: Elaboração própria

Nesses mapas, pode-se notar que o consumo de eletricidade obtido em 2030, para computador e TV, é bastante próximo entre si, na localização espacial. Esse resultado é bastante coerente com o que se observa atualmente: o computador pessoal está sendo utilizado, nas residências, como uma forma de lazer alternativa à TV. Contudo o crescimento do consumo da TV é bem mais elevado, devido à adoção dos modelos com telas maiores e à posse elevada. A evolução do consumo total de energia elétrica, por UEH, do uso final lazer, é mostrado na Figura 6.33.



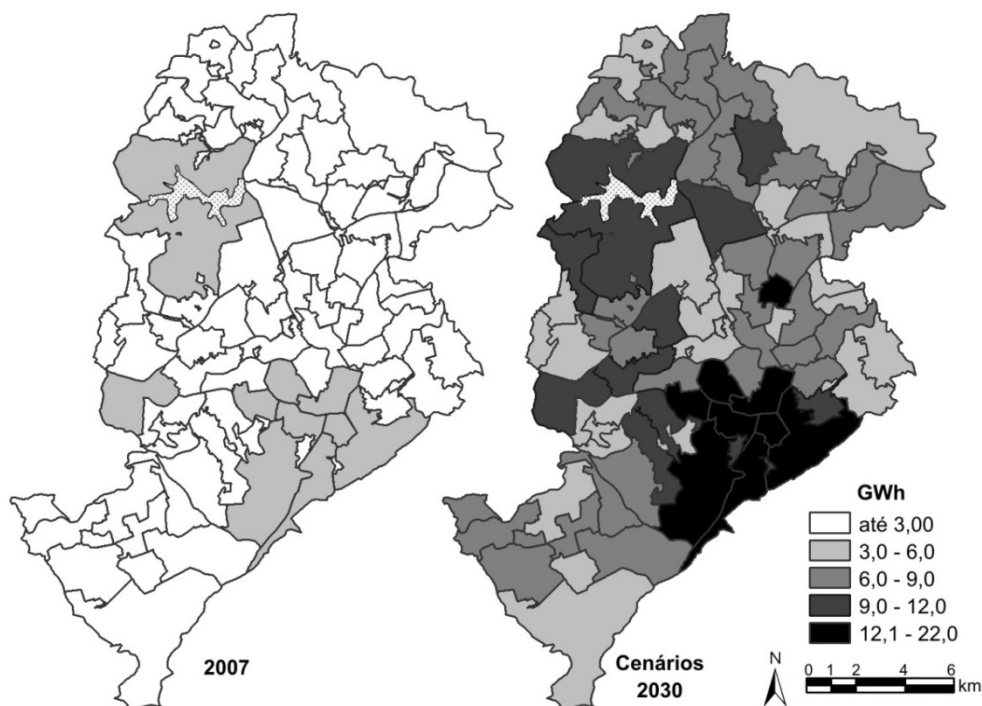


Figura 6.33: Evolução do consumo de energia elétrica do uso final lazer.  
 Fonte: Elaboração própria

#### 6.3.1.d Serviços gerais

As alterações na evolução da posse também foram necessárias para os equipamentos micro-ondas e lavadora, no uso final serviços gerais. Outro fator limitante do crescimento foi o fato de que as famílias, geralmente, não possuem mais do que uma unidade de cada equipamento. Por essa razão, em 2015, a taxa de crescimento do micro-ondas, mostrada a seguir no Gráfico 6.4, sofre redução. Da mesma forma, a taxa de crescimento da lavadora passa por redução em 2010, conforme visto a seguir no Gráfico 6.5.

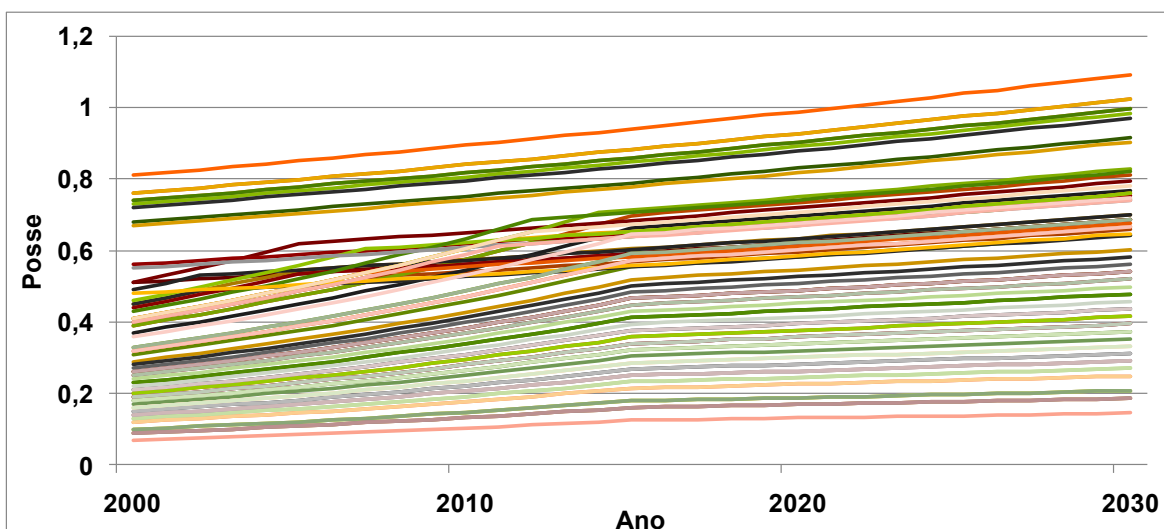
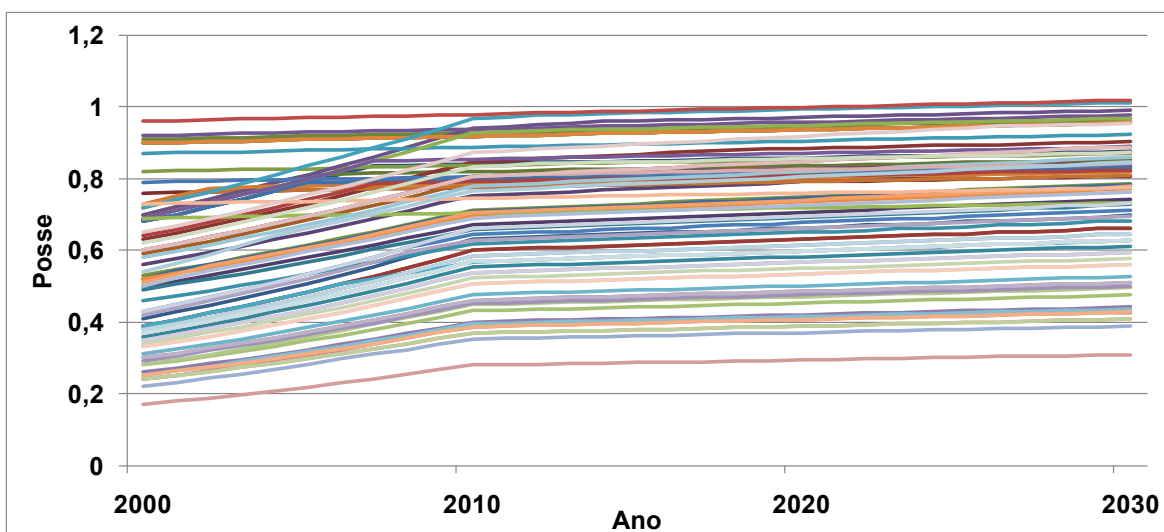
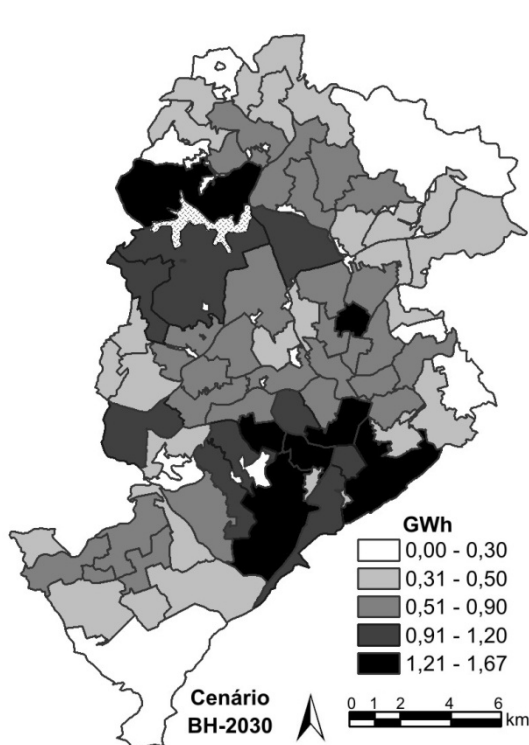


Gráfico 6.4: Evolução da posse de micro-ondas  
 Fonte: Elaboração própria

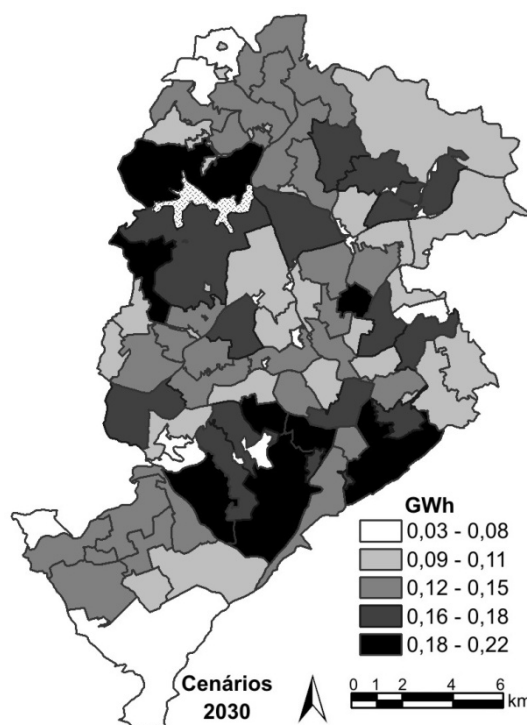


**Gráfico 6.5: Evolução da posse de lavadoras**  
 Fonte: Elaboração própria

O consumo desses equipamentos é mostrado a seguir na Figura 6.34, para o micro-ondas e na Figura 6.35, para a lavadora de roupas. Ambos os eletrodomésticos passam por grande crescimento no consumo de eletricidade, contudo, ainda têm pequena participação no consumo total.



**Figura 6.34: Consumo de eletricidade do micro-ondas em 2030**  
 Fonte: Elaboração própria



**Figura 6.35: Consumo de energia elétrica da lavadora em 2030**  
 Fonte: Elaboração própria

Ainda sobre uso final serviços, a Figura 6.36 mostra a evolução do consumo do ferro elétrico em 2030. Como esse equipamento já havia atingindo a saturação, não se observa grandes

alterações, sendo que seu crescimento acompanhou o crescimento do número de residências. Por fim, a Figura 6.37 apresenta a evolução do consumo de energia elétrica de todos os equipamentos que compõem o uso final serviços gerais.

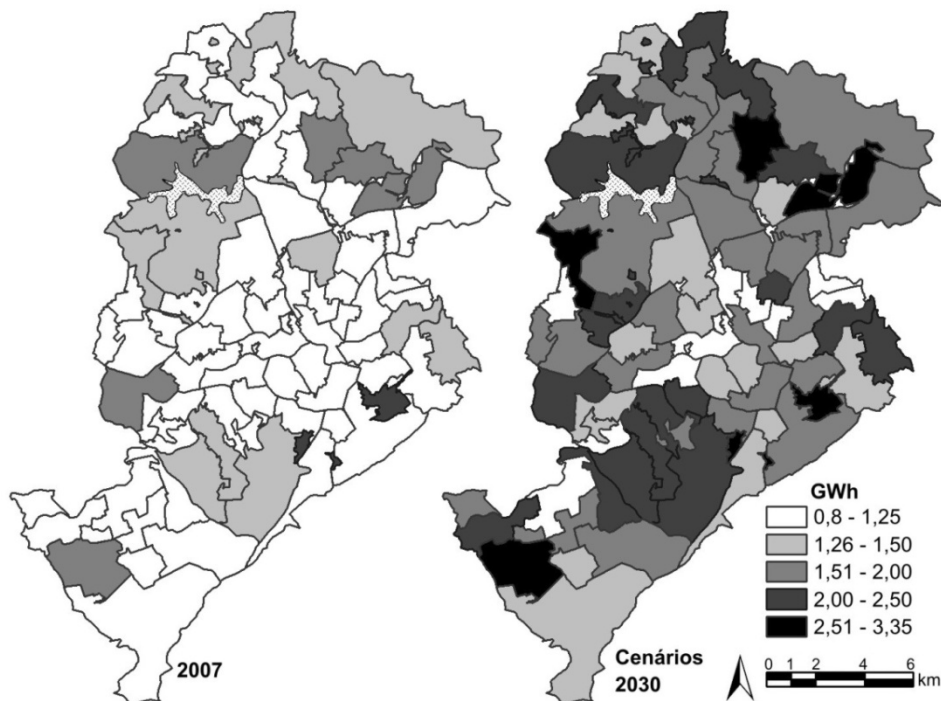


Figura 6.36: Evolução do consumo de eletricidade do ferro até 2030  
 Fonte: Elaboração própria

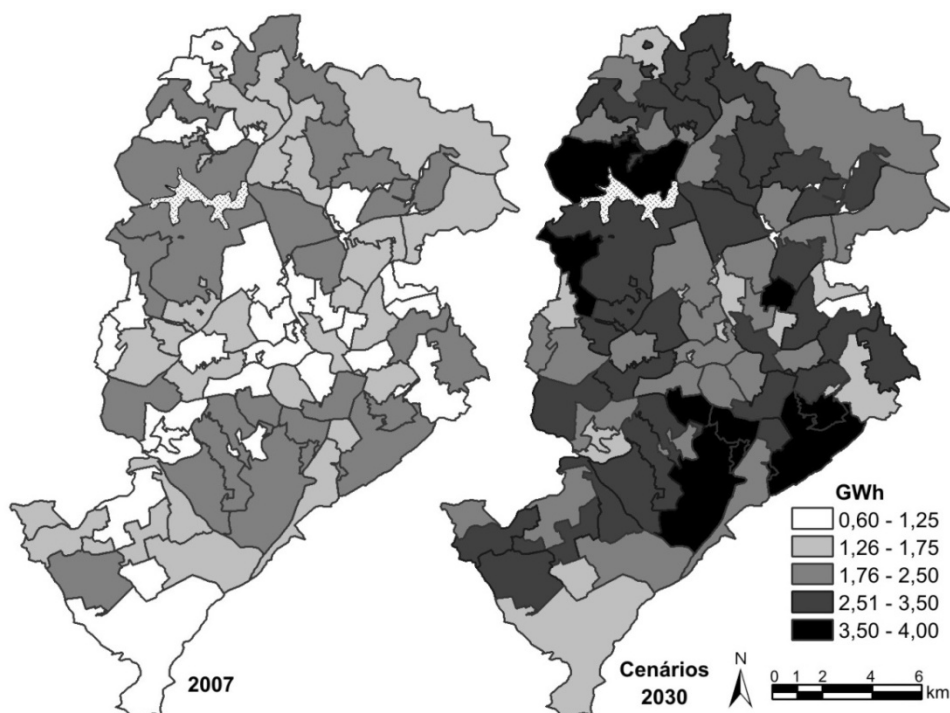


Figura 6.37: Evolução do consumo de energia elétrica do uso final serviços gerais  
 Fonte: Elaboração própria

## 6.3.2 Os cenários 2030

### 6.3.2.a Aquecimento de água

Em ambos os cenários, foi considerado o mesmo crescimento no uso dos aquecedores a GLP, atingindo 5% das residências localizadas nas UEH com renda familiar média superior a 10 salários mínimos. O resultado obtido para 2030 é dado na Figura 6.38, abaixo. Em geral, observam-se poucas alterações nesses mapas. A exceção é uma pequena redução no consumo de GLP em algumas unidades espaciais, causada pelo menor número de habitantes em 2030.

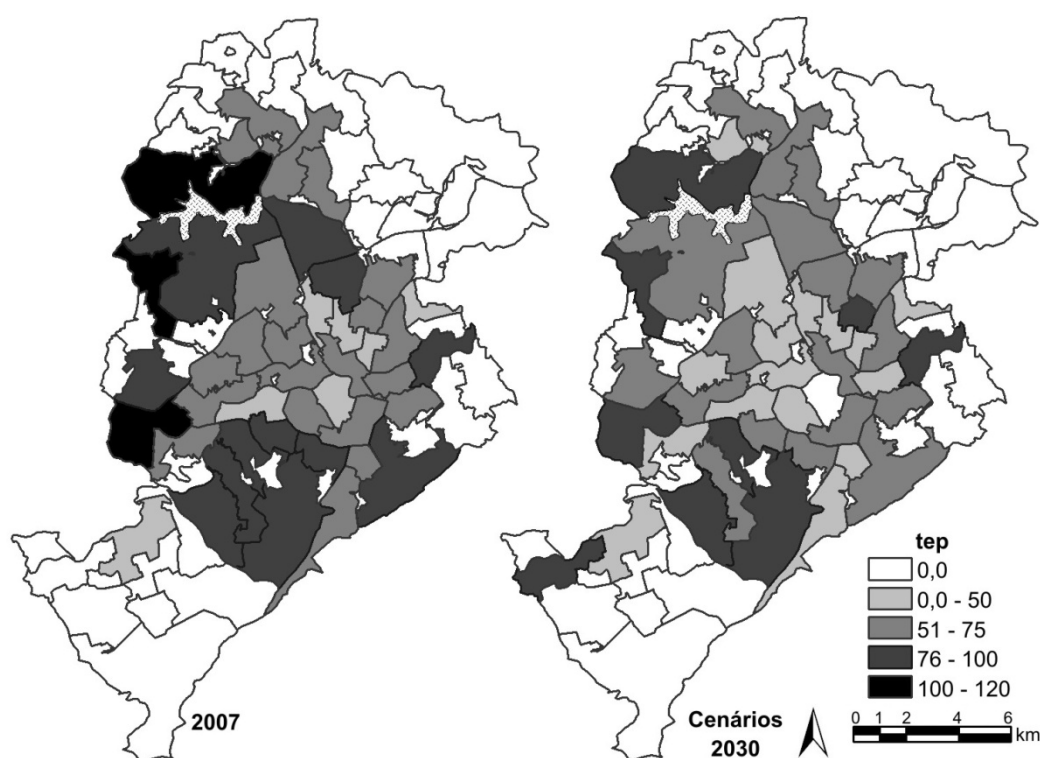


Figura 6.38: Consumo de GLP para aquecimento de água em 2030

Fonte: Elaboração própria

A diferenciação entre os cenários ocorre na utilização do chuveiro elétrico e do sistema solar de aquecimento de água. Os resultados de consumo de energia para aquecimento de água são apresentados na Figura 6.39, para o consumo equivalente<sup>31</sup> do sistema solar de aquecimento de água, e na Figura 6.40, para o consumo de eletricidade para aquecimento de água, ambas na página seguinte.

<sup>31</sup> Esse consumo refere-se à quantidade de energia elétrica economizada devido ao uso do sistema solar.

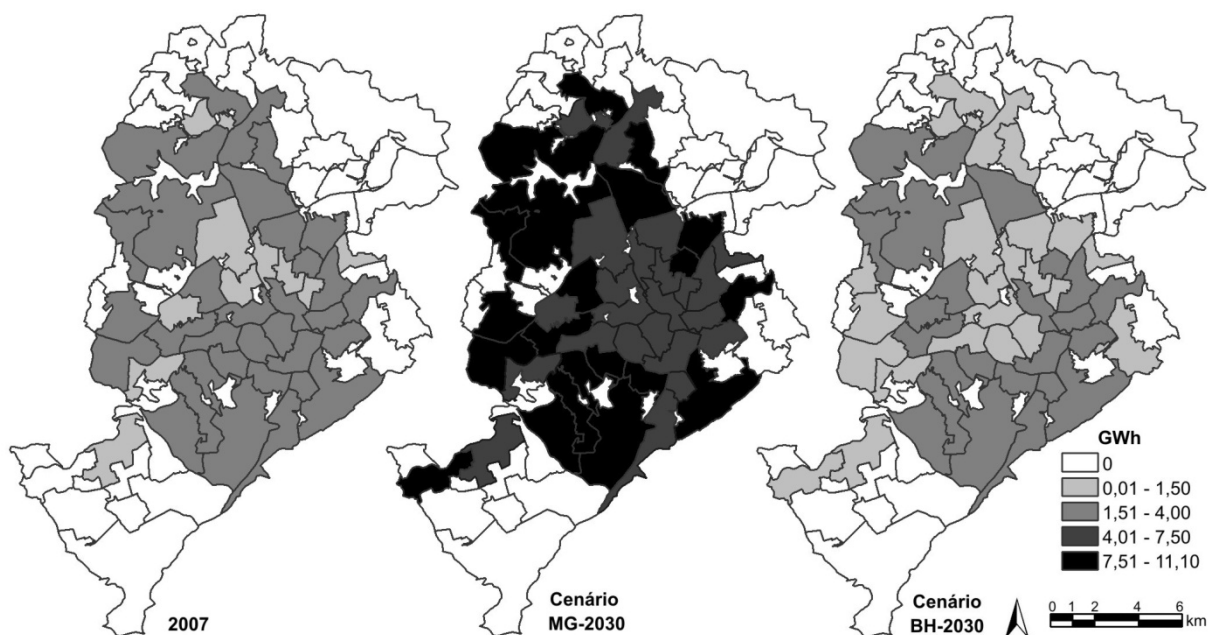


Figura 6.39: Evolução do consumo equivalente de energia do sistema solar de aquecimento de água  
 Fonte: Elaboração própria

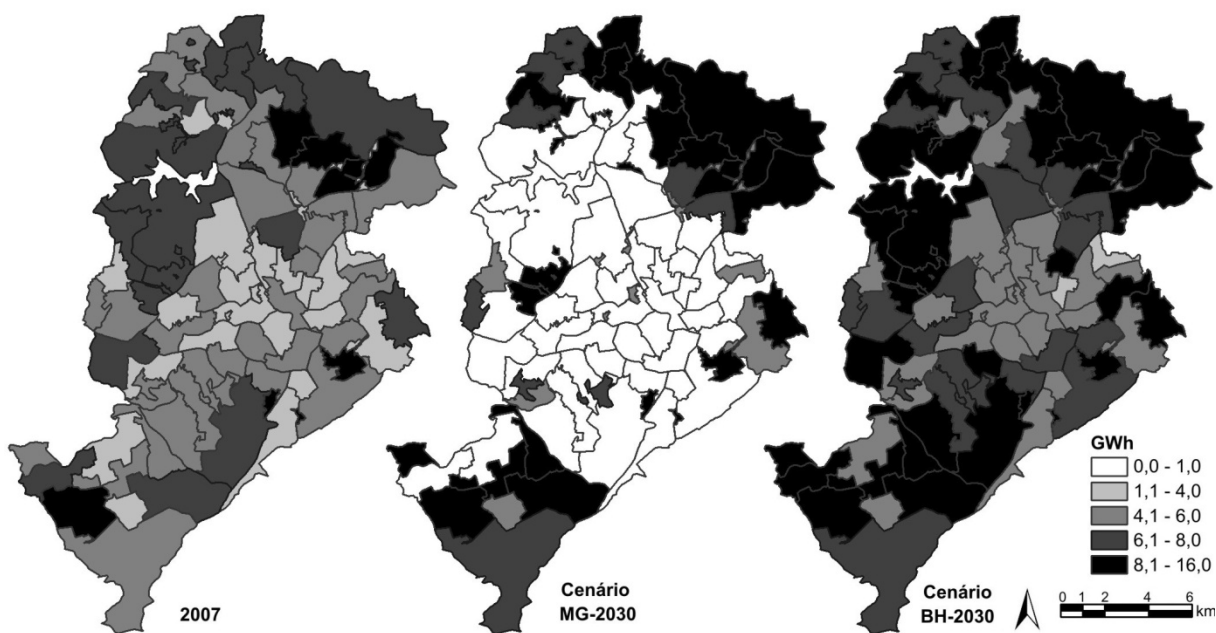


Figura 6.40: Evolução do consumo de eletricidade para o aquecimento de água  
 Fonte: Elaboração própria

No Cenário Minas Gerais, MG-2030, o uso do aquecedor solar atingirá a saturação das residências nas unidades com renda familiar média acima de 20 salários mínimos em 2020. Nas unidades com renda entre 10 e 20 salários mínimos, a saturação ocorrerá em 2025. Por isso, o uso da eletricidade, nessas unidades, será feito apenas como *back-up* do sistema solar.

No cenário Belo Horizonte, BH-2030, o crescimento do uso do sistema solar para aquecimento de água está relacionado tanto ao crescimento do número de novas residências quanto à renda média familiar da UEH. A evolução da posse do sistema solar é mostrada no Gráfico 6.6 e do chuveiro elétrico, no Gráfico 6.7. Enquanto no cenário MG-2030 a posse do sistema de aquecimento solar de água atinge a saturação, a posse máxima desse sistema, no cenário BH-2030, é de cerca 35% nas UEH de Belo Horizonte.

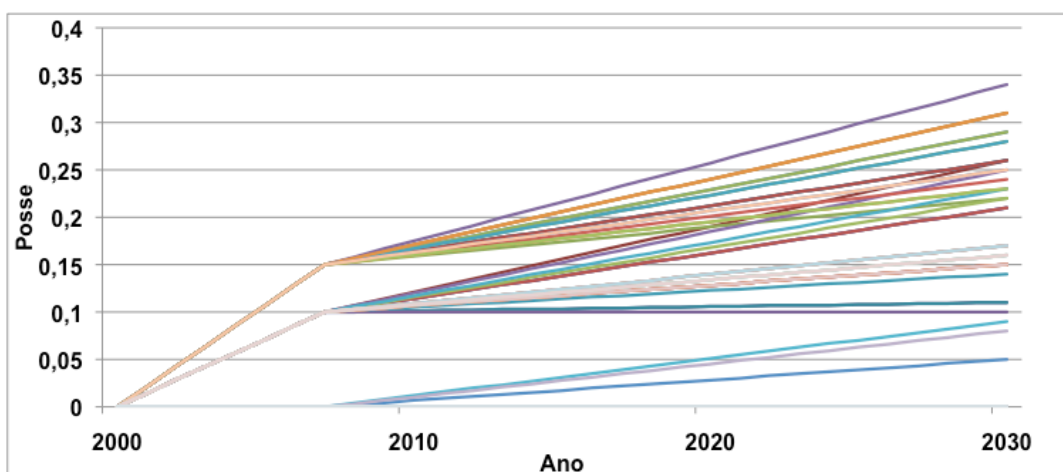


Gráfico 6.6: Evolução da posse do sistema solar de aquecimento de água, no Cenário BH-2030  
Fonte: Elaboração própria

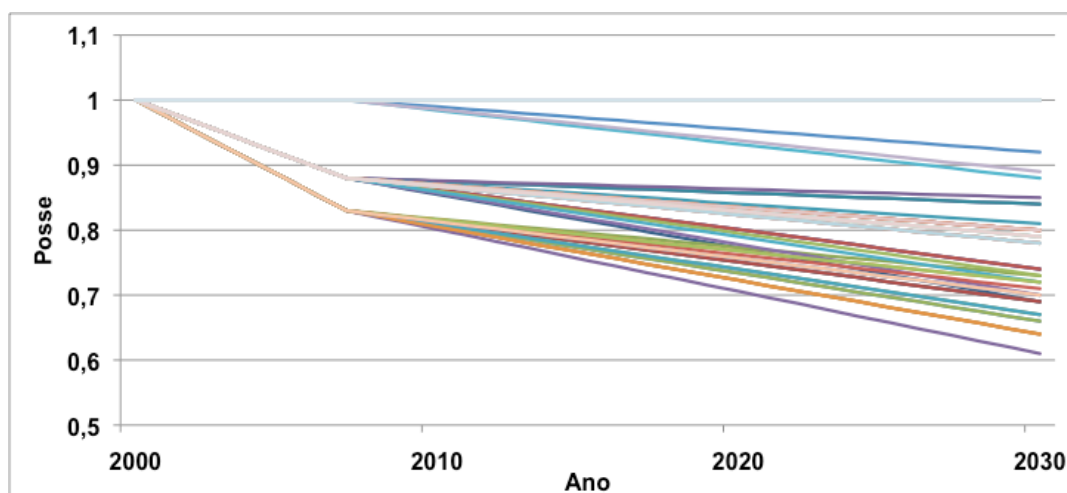


Gráfico 6.7: Evolução da posse de chuveiro elétrico no Cenário BH-2030  
Fonte: Elaboração própria

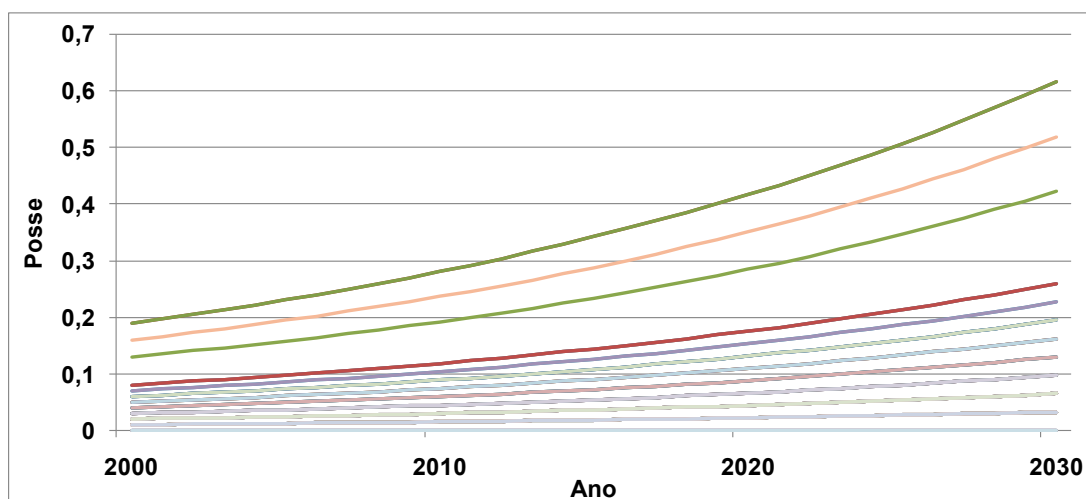
Observa-se, ainda, que a posse desses sistemas pode sofrer grande variação entre as unidades espaciais, mesmo as que têm faixa de rendimento familiar próximo, de acordo com o número de novas construções existente na UEH. Por fim, nota-se por essas figuras que a posse do chuveiro elétrico é inversamente proporcional à posse dos aquecedores solares.

Pela comparação entre as Figuras 6.39 e 6.40, é possível ver a diferenciação no consumo de energia para aquecimento de água, causado pela consideração da localização das novas

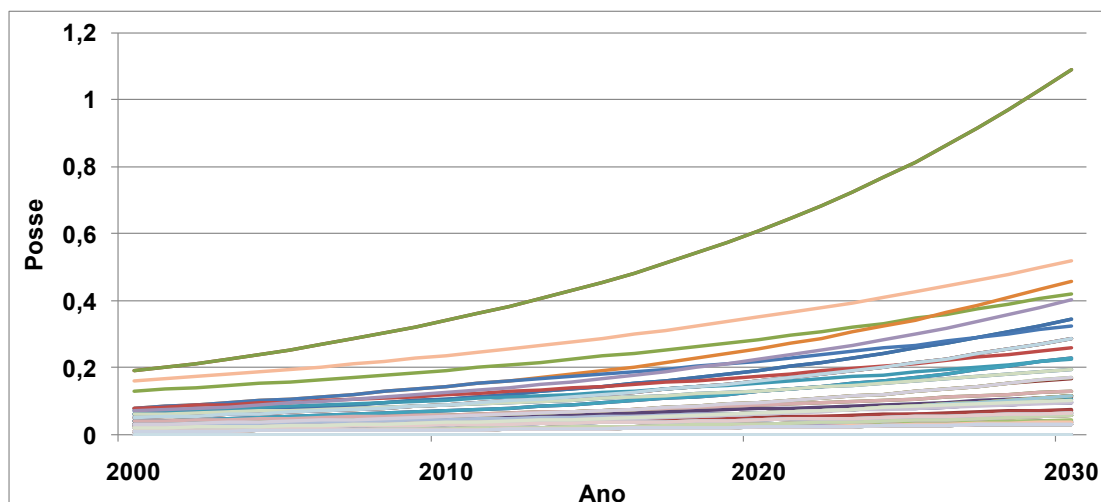
edificações na hipótese de crescimento de consumo. Essa diferenciação é perceptível tanto na distribuição espacial quanto na intensidade do consumo, e implica num consumo mais elevado de eletricidade para aquecimento de água no Cenário BH-2030 do que o calculado para o Cenário MG-2030.

**6.3.2.b Ar condicionado**

A evolução da posse de ar condicionado no Cenário MG-2030 e no Cenário BH-2030 é apresentada nos Gráficos 6.8 e 6.9, respectivamente. Por esses gráficos observa-se o crescimento mais acentuado da posse desse equipamento no Cenário BH-2030, que atinge o valor de 2,5 equipamentos por residência em algumas unidades. Na média, a posse no Cenário MG-2030 é de 0,35 equipamentos por residência e, no Cenário BH-2030, 0,55 equipamentos.



**Gráfico 6.8: Evolução da posse de ar condicionado no Cenário MG-2030**  
 Fonte: Elaboração própria



**Gráfico 6.9: Evolução da posse de ar condicionado no Cenário BH-2030**  
 Fonte: Elaboração própria

O consumo de eletricidade do ar condicionado em 2030 é mostrado, para ambos cenários, na Figura 6.41. Por essa figura é possível ver que a consideração do efeito do aquecimento urbano tem forte influência no consumo do ar condicionado e no consumo total do município. O maior consumo do Cenário BH-2030 foi causado porque as UEH que possuíam maior posse, em geral, estão localizadas em áreas mais adensadas, e por isso, sua taxa de crescimento foi a mais elevada. Além disso, a consideração do efeito de aquecimento da cidade, devido às mudanças climáticas, conduziu a um elevado número de horas de desconforto por calor, o que estimula o maior uso do ar condicionado ao longo do ano.

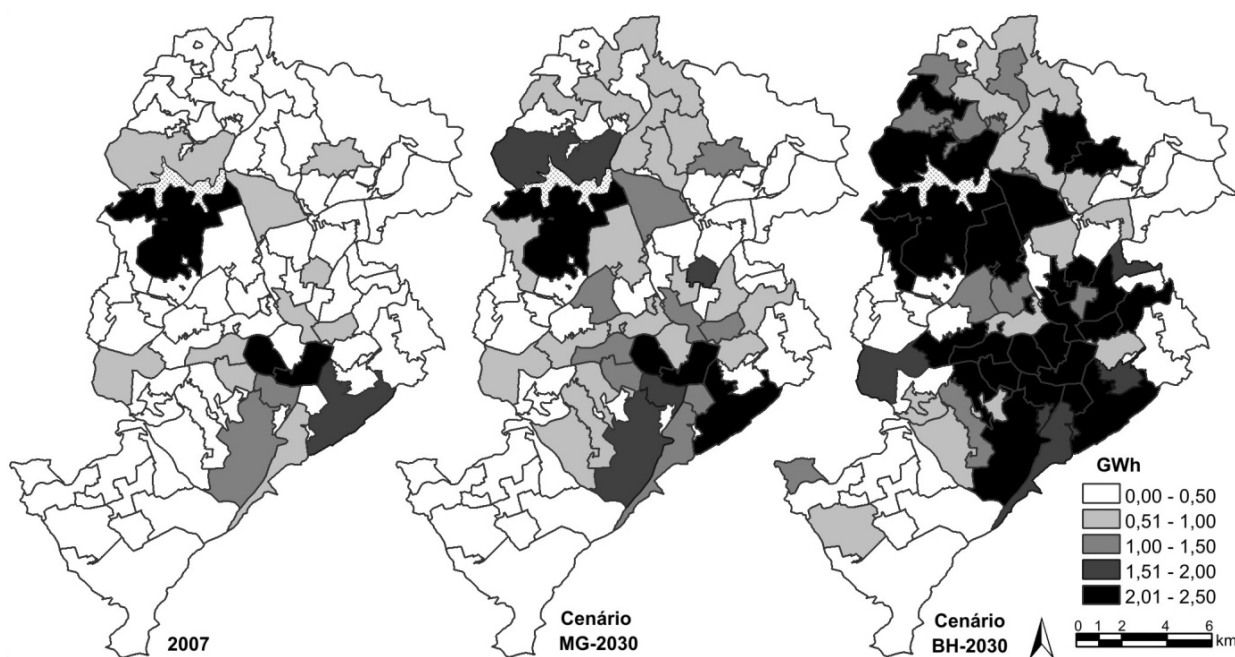


Figura 6.41: Consumo de eletricidade do ar condicionado em 2030, no Cenário Minas Gerais.  
Fonte: Elaboração própria

### 6.3.3 O consumo municipal de energia em 2030

A evolução do consumo de energia por fonte nos dois cenários é mostrada no Gráfico 6.10, para ambos os cenários. Através desses gráficos é possível constatar o maior crescimento do uso de eletricidade no Cenário BH-2030, principalmente nos anos de 2020 e 2030. No Cenário MG-2030, esse aumento foi, em parte, compensado pelo crescimento do uso da energia solar para aquecimento de água, que permitiu verificar uma tendência a certa estabilização do consumo de eletricidade em 125 tep.



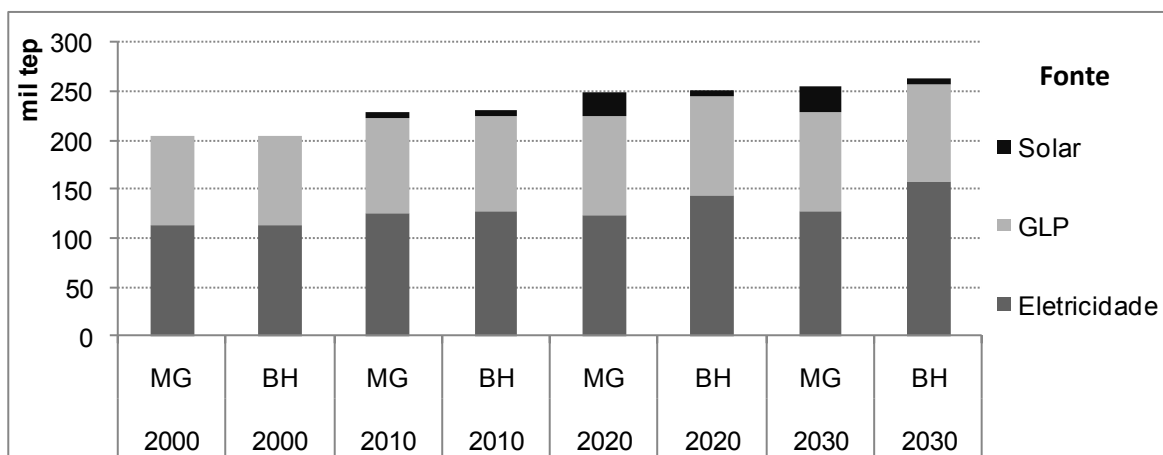


Gráfico 6.10: Evolução do consumo de energia por fonte, em ambos os cenários  
Fonte: Elaboração própria

A evolução da participação de cada fonte de energia, no consumo total do município, ao longo do período de estudo é mostrada no Gráfico 6.11, para o Cenário MG 2030, e no Gráfico 6.12, para o Cenário BH-2030.

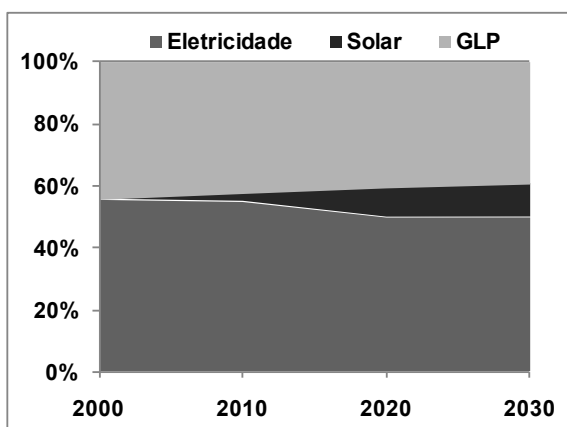


Gráfico 6.11: Participação de cada fonte de energia no consumo total, no Cenário MG-2030  
Fonte: Elaboração própria

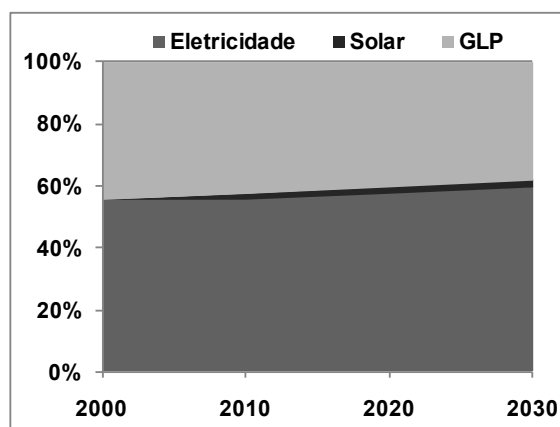


Gráfico 6.12: Participação de cada fonte de energia no consumo total, no Cenário BH-2030  
Fonte: Elaboração própria

Quando se compara esses valores aos obtidos nos Plano Nacional de Energia – PNE 2030 (BRASIL, 2007b) e do Planejamento Energético Integrado do Estado de Minas Gerais – PEI 2030 (CEMIG, 2008), discutidos no item 2.4, é possível observar comportamentos semelhantes. Nesses estudos e nos cenários elaborados, o consumo de GLP tende a sofrer uma leve queda, apesar do crescimento do número de domicílios. No caso do uso da energia solar, o Cenário BH-2030 apresenta um comportamento mais próximo ao encontrado ao PEI 2030. A taxa de crescimento do uso do aquecimento solar adotada no PNE 2030 parece ser muito elevada para o município de Belo Horizonte. Isso impactou o consumo total de energia elétrica do cenário BH-2030, fazendo com que ele se diferenciasse, nessa questão, das tendências projetadas para Minas Gerais e para o Brasil.

Com relação ao consumo per capita, a Tabela 6.2 mostra uma comparação entre indicadores de consumo final energético, do setor residencial, gerados no PNE-2030 e nos cenários elaborados para Belo Horizonte.

**Tabela 6.2: Comparação dos indicadores de consumo final energético do setor residencial**

Projeção	Consumo de energia per capita (tep/hab)				Consumo para cocção per capita (tep/hab)				Consumo de eletricidade per capita (MWH/hab)			
	2005	2010	2020	2030	2000	2010	2020	2030	2000	2010	2020	2030
PNE-2030	0,118	0,122	0,137	0,175	0,079	0,075	0,066	0,067	0,449	0,532	0,768	1,188
MG-2030	0,091	0,100	0,111	0,121	0,041	0,042	0,045	0,048	0,592	0,640	0,644	0,705
BH-2030	0,091	0,100	0,111	0,125	0,041	0,042	0,045	0,048	0,592	0,651	0,745	0,867

Fonte: Elaboração própria a partir de BRASIL (2007b, p. 381)

Nas projeções do PNE-2030, o consumo per capita de combustíveis para cocção sofre queda enquanto que o consumo de energia elétrica passa por acentuado crescimento. Isso causa um crescimento do consumo de energia total ao longo do horizonte de estudo.

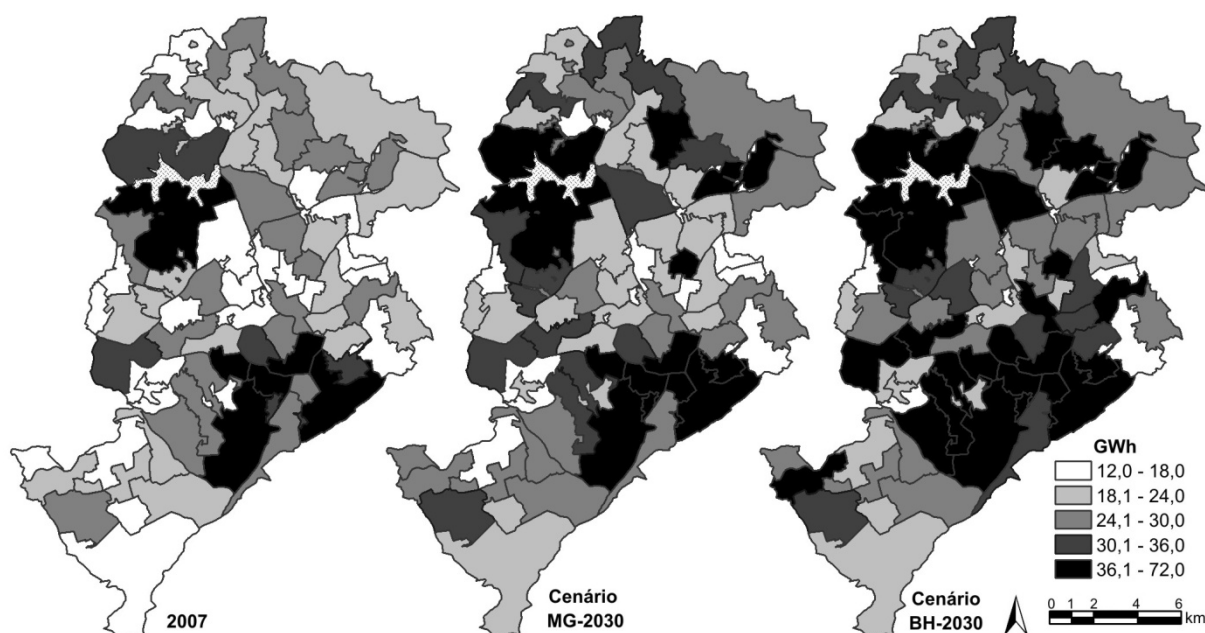
Nos cenários feitos para Belo Horizonte, o consumo per capita para cocção é proporcionalmente menor, e passa por leve crescimento. O menor consumo se deve ao uso exclusivo do GLP para cocção em Belo Horizonte. Como esse combustível é mais eficiente que a lenha, ainda muito utilizada no Brasil, o consumo per capita se torna menor. Além disso, a progressiva substituição da lenha por energéticos mais eficientes prevista no PEN-2030 leva à redução do consumo para cocção, fato que provavelmente não ocorrerá no município.

O consumo de eletricidade per capita também deve crescer em ambos os cenários elaborados para o município, sendo mais acentuada no Cenário BH-2030, mas não tão elevado quanto o crescimento previsto no PNE-2030. Isso fará com que o consumo per capita nacional, que atualmente é menor que o do município, se torne maior que o projetado nos cenários, a partir de 2020. O elevado consumo de eletricidade, no PNE-2030, se origina do crescimento da posse de eletrodomésticos, incentivado pelo crescimento econômico projetado por este estudo.

Os cenários desenvolvidos para Belo Horizonte adotam metodologia e parâmetros diferentes do PNE-2030 no cálculo do consumo de energia elétrica, mas é possível fazer algumas análises da origem dessa diferenciação. Primeiramente, o uso do sistema solar para aquecimento de água do município tem importante participação no consumo total dos dois cenários, o que não ocorrerá nas previsões para o Brasil. Em segundo lugar, os cenários locais adotam medidas para se evitar o aumento excessivo da posse de alguns eletrodomésticos, nas

classes de renda mais baixa, o que resulta em taxas de crescimento do consumo mais conservadoras.

A evolução da distribuição do consumo total de energia elétrica no município de Belo Horizonte, por UEH, é exposta na Figura 6.42. Apesar de existirem distinções nas hipóteses de evolução de consumo de apenas dois usos finais, nos cenários criados, o consumo total das unidades tem forte diferenciação. A diferença entre resultados é mais acentuada em UEHs com maior renda familiar média, pois essas unidades fazem maior uso do aquecimento solar e possuem posse mais elevada de ar condicionado, fatos considerados na elaboração dos dois cenários.



**Figura 6.42: Evolução do consumo de eletricidade por UEH, em 2030, para as duas projeções.**  
**Fonte: Elaboração própria**

Por fim, a evolução do consumo médio mensal de eletricidade de uma residência, por UEH, é indicada na Figura 6.43, para ambos os cenários. Nessa figura é notável a grande diferenciação dos consumos médios familiares. No Cenário BH-2030, nota-se que os benefícios do aumento de eficiência energética e conscientização do consumidor, ocorridos no setor residencial após a crise de abastecimento de 2001, são praticamente anulados pelo crescimento da demanda e o consumo médio atinge valores superiores ao ocorrido em 2001.

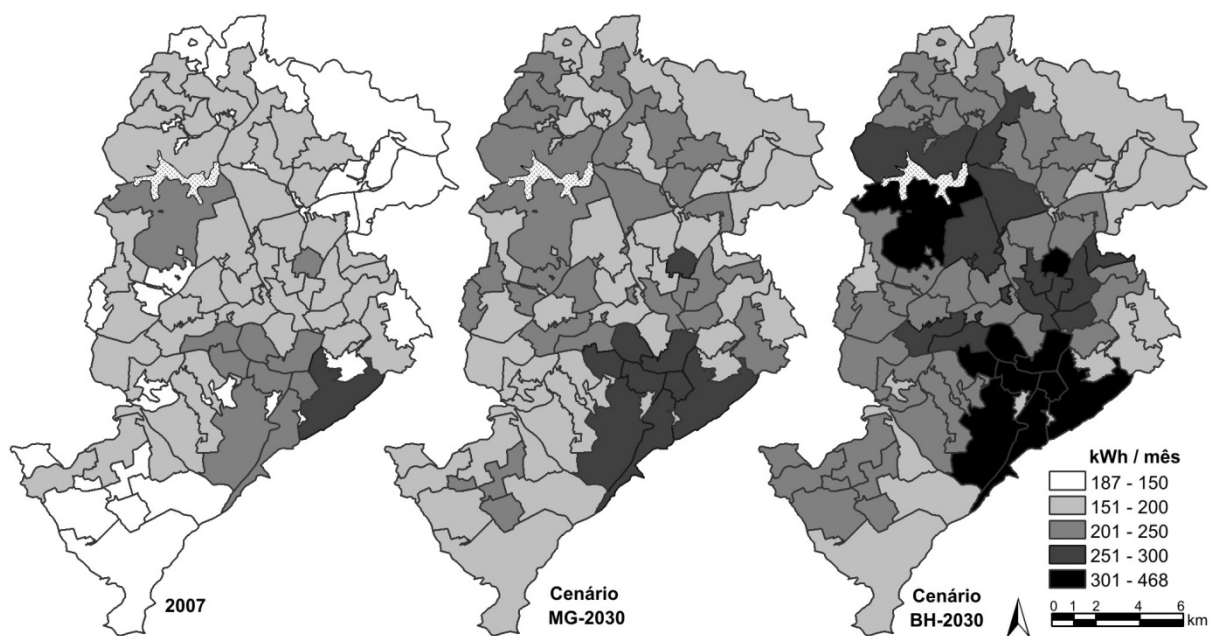


Figura 6.43: Comparação da evolução do consumo médio mensal de eletricidade por residência, por cenário – Fonte: Elaboração própria

---

## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

---

Este trabalho lidou com a análise do sistema energético, pelo lado da demanda, do setor residencial de Belo Horizonte, na escala intra-urbana. O principal objetivo foi o desenvolvimento de um modelo de cálculo consumo de energia municipal, capaz de refletir as diferenças locais existentes dentro do município. Tal objetivo foi alcançado, sendo possível mapear o consumo de energia nas diferentes regiões do município, nos anos de 1991, 2000, e obter estimativas de consumo de 2007 até o ano de 2030.

Ao se alcançar seus objetivos, o desenvolvimento do trabalho demonstrou a validade das hipóteses adotadas: a) há a relação entre o consumo de energia e a ocupação espacial; b) a consideração dessa relação pode afetar os resultados dos estudos elaborados pelo planejamento energético; c) as características socioeconômicas interferem na quantidade de energia consumida localmente; d) as tendências históricas associadas ao consumo de energia podem ser utilizadas para se estimar o consumo no futuro.

Para alcançar os resultados apresentados, foi necessário o desenvolvimento de uma metodologia que inova ao integrar diferentes abordagens ao planejamento energético tradicional: a) adoção de dados usualmente empregados nas Ciências Sociais; b) cálculo do consumo de energia integrado ao tratamento da informação espacial; c) desenvolvimento de metodologia para obtenção de dados socioeconômicos espacializados, com base em sua relação com o consumo de energia e, por fim, d) elaboração de cenários energéticos sensíveis às diferenças de ocupação existentes dentro do município.

Neste capítulo são expressas as últimas considerações sobre todas as etapas desenvolvidas neste trabalho. A organização do capítulo segue a da tese: primeiramente são elaboradas considerações sobre a base de dados utilizada; em seguida, sobre o modelo de consumo de energia gerado para os anos de 1991, 2000 e 2007 e, por fim, discute-se a elaboração de cenários de consumo para o município. Em todos os itens, as considerações avaliam o procedimento adotado, os resultados encontrados e os limites de sua aplicação e também discutem aberturas para trabalhos futuros.

---

## **7.1 A base de dados**

O uso da série dos microdados dos censos mostrou ser uma forma efetiva de obtenção de dados que embasassem a elaboração de um modelo de energia municipal regionalizado, devido ao seu nível de detalhamento e precisão. Além disso, como os dados do censo têm uma associação ao local no qual a informação foi coletada, é possível estabelecer correlações mais complexas entre posse de equipamentos e ambiente construído.

Estimativas e pesquisas amostrais periódicas foram utilizadas neste estudo para ajustar o modelo para ano entre os censos, porém, a precisão do modelo foi menor do que com o uso desses dados periódicos. Por essa razão, esses trabalhos provavelmente não são substitutos adequados aos dados dos censos na construção do modelo de consumo regionalizado.

Além dos dados dos censos, outros estudos foram importantes na obtenção de um modelo ajustado com a realidade. As tabelas de consumo de eletrodomésticos elaboradas pelo INMETRO para o Programa Brasileiro de Etiquetagem são os dados que mostraram os melhores resultados. Apesar de não ser mostrado no texto da tese, dados de outras fontes e dados de fabricantes foram testados no modelo, mas os resultados tenderam a ser discrepantes.

Neste trabalho, a maior lacuna encontrada refere-se ao perfil de posse e de uso dos usuários. Praticamente, o único trabalho atualizado e disponível é o Relatório da Pesquisa de Posse e Hábitos de Uso da Classe Residencial (ELETROBRAS/PROCEL, 2007b). Contudo, como esse estudo é organizado por regiões do Brasil, alguns dados não podem ser diretamente aplicados. É o caso do uso do ar condicionado em Minas Gerais, que ainda não possui a inserção que há no setor residencial do Rio de Janeiro ou de São Paulo. Além disso, o relatório apresenta os dados de posse de equipamentos por classe de consumo de energia elétrica, o que dificulta associação de seus dados os dos relatórios socioeconômicos do IBGE, geralmente apresentados por faixa de rendimento médio familiar.

Com a mudança nos padrões de consumo ocorrida no setor residencial após a crise de abastecimento de energia elétrica de 2001, há ainda lacuna de informações sobre o consumo de GLP no setor residencial e a posse de sistemas solares de aquecimento de água, que não são abordadas no relatório da Eletrobrás.

Recomenda-se, portanto, para efeito de compatibilização entre as bases de dados disponibilizadas pelo setor público, que haja maior frequência na realização de pesquisas

---

relacionadas à posse e/ou ao uso de equipamentos que consomem energia. Além disso, recomenda-se os resultados sejam regionalizados, ou seja, apresentados também em escala menor que a do país, como por exemplo, a de regiões metropolitanas. Isso deverá trazer grande benefício aos estudos que, como este, buscam associar os perfis de demanda e consumo de energia às características sócio-econômicas das áreas urbanas do país. Essa recomendação também se aplica à disponibilização de dados de consumo de energia municipais pelas concessionárias de energia.

## 7.2 A modelagem do consumo de energia consolidado

A metodologia desenvolvida neste trabalho para o cálculo do consumo de energia espacializado do setor residencial de Belo Horizonte demonstrou simplicidade e eficiência. A simplicidade é um fator chave para sua execução e reprodução – e, portanto, para a generalização do método –, devido ao grande número de variáveis envolvidas nos estudos dos sistemas energéticos. A eficiência do modelo é comprovada pela sua correlação tanto com os dados reais de consumo de eletricidade do município, quanto com os resultados de outras pesquisas realizadas para o setor residencial, como, por exemplo, os de Arouca (1982); Achão (2003); ELETROBRAS/PROCEL (2007b).

### 7.2.1 Tendências observadas

No tocante ao comportamento de consumo de energia dos usuários do setor residencial de Belo Horizonte, foi possível observar que eles efetivamente assumiram mudanças no comportamento de consumo de energia. Com relação à energia elétrica, as alterações podem ser consideradas consolidadas, pois o consumo do setor residencial do município segue relativamente constante desde 2002, apesar ter ocorrido crescimento populacional e aumento de número de domicílios nesse período. As principais mudanças no comportamento de consumo de eletricidade, observadas neste trabalho, podem ser sumarizadas como:

- a) Redução no uso e na posse dos *freezers*;
- b) Substituição das lâmpadas por modelos mais eficientes e redução no número de lâmpadas utilizadas ao mesmo tempo;
- c) Redução no tempo de uso do ferro elétrico;

- d) Inserção de outras fontes de energia como alternativa ao uso do chuveiro elétrico, nas famílias com renda familiar média mais elevada.

O perfil de uso do GLP pelas famílias do município também tem passado por mudanças, que se iniciaram antes da crise de abastecimento energia. O consumo per capita está reduzindo-se desde o final da década de 90 do século XX. Provavelmente a redução está relacionada não apenas ao aumento da eficiência dos fogões, mas também a mudanças de hábitos, como fazer refeições em restaurantes ou usar alimentos pré-preparados. Contudo, pela metodologia adotada neste trabalho, não é possível definir porque estão ocorrendo tais transformações.

Em contrapartida à melhoria da eficiência energética dos equipamentos e à mudança dos hábitos de uso, foram observadas, neste trabalho, tendências que podem conduzir à retomada do crescimento do consumo do setor residencial nas próximas décadas. Essas tendências foram definidas a partir da análise dos dados levantados na construção do modelo.

O primeiro exemplo refere-se a geladeira: mesmo que os modelos mais novos sejam mais eficientes, eles consomem, na média, mais energia devido a sua maior capacidade. Atualmente, no mercado, é difícil encontrar modelos com capacidade inferior à 300 litros. Além disso, há uma grande disponibilidade de modelos com duas portas e/ou modelos tipo *frost-free*, que consomem mais que equipamentos similares mais simples. O crescimento econômico esperado para as próximas décadas e a redução nos preços desses modelos poderão levar as famílias da chamada classe média a substituírem suas geladeiras por modelos com maior consumo.

Relativamente aos televisores acontece fenômeno parecido: mesmo que os modelos de tela plana consumam menos do que os modelos tradicionais (cinescópio), as dimensões dos modelos de tela plana disponíveis no mercado são muito maiores, assim a potência nominal média desses modelos é maior. Com as lâmpadas fluorescentes também já está ocorrendo o aumento da potência média dos modelos disponíveis, sendo possível encontrar facilmente o tipo fluorescente compacta com potência nominal superior a 43 W.

Além do aumento da potência nominal, outro fator que poderá impactar o consumo do setor residencial notado neste trabalho é o perfil do usuário. No uso final lazer, observou-se um grande crescimento da aquisição do computador pessoal que poderá levar a uma posse média superior a um equipamento por residência, como o que já ocorre com a televisão. No futuro, as famílias poderão usar vários desses equipamentos ao mesmo tempo. No uso final serviços gerais, o usuário poderá ter grande influência no consumo energético devido ao uso do ferro elétrico e do micro-ondas. Esses eletrodomésticos possuem elevada potência e sua

---



participação no consumo total do setor residencial atualmente é pequena devido ao menor tempo de uso. Caso as famílias optem por utilizá-los por um período maior na semana, o consumo do uso terá forte crescimento.

Essas tendências observadas não foram analisadas na etapa de elaboração de cenários porque se optou por estudar questões diretamente ligadas à hipótese desta pesquisa, de que a ocupação do espaço pode exercer influência no consumo de energia.

### **7.2.2 A análise espacial**

A distribuição espacial dos resultados de consumo de energia obtidos está diretamente relacionada à distribuição espacial dos dados socioeconômicos. De modo geral, foi possível perceber que quanto maior a renda per capita média da unidade espacial, maior o seu consumo de energia, resultado esperado visto que a relação entre consumo de energia e poder aquisitivo das famílias é um das premissas iniciais desse trabalho. Mas outras tendências podem ser vistas nos resultados apontados ao longo do trabalho.

As unidades com maior renda familiar foram as que tiveram a maior variação do consumo no total, quando se comparam os anos 1991, 2000 e 2007. Isso decorre da maior flexibilidade que sua renda familiar lhes dá, permitindo consumir mais em tempos de crescimento econômico e substituir rapidamente eletrodomésticos antigos por tecnologias mais eficientes em tempos de crise.

Nas unidades periféricas, com renda familiar média mais baixa, observou-se, de modo geral, um crescimento lento, mas contínuo. Quando analisado o consumo médio mensal de eletricidade, nota-se que a redução do consumo após a crise foi comparativamente menor. Nos próximos anos, provavelmente, o maior crescimento populacional e de número de domicílios de Belo Horizonte ocorrerá nessas unidades; assim, nessas regiões deverá estar ocorrendo um maior crescimento no consumo de energia.

## **7.3 As projeções de consumo de energia**

### **7.3.1 O método e o modelo**

Na criação dos cenários, um diferencial deste trabalho foi a elaboração de dados socioeconômicos na escala intra-urbana, e a projeção de seu crescimento. Tal

---

desenvolvimento foi necessário porque esse tipo de informação não se encontra disponível na escala abordada pelo trabalho.

Como não foram encontradas metodologias consolidadas para projeção dos dados socioeconômicos, foi desenvolvido um método integrado ao consumo de energia: num primeiro momento o consumo de energia foi auxiliar na calibração das taxas de crescimento populacionais, e posteriormente, esse dado ajustado foi usado para se projetar o consumo de energia regionalizado. Visto que há um grande número de fatores que interferem no comportamento espacial, além das tendências históricas observadas, o modelo de ocupação espacial constitui uma limitação à validade dos resultados encontrados sobre o consumo de energia em 2030. A atualização dos dados e das tendências é parte crucial de qualquer tipo de planejamento, e esse trabalho é também depende de revisões posteriores para se garantir a correlação com a realidade.

O *software* adotado, o LEAP, demonstrou ser uma ferramenta versátil na projeção para os cenários energéticos, capaz de lidar com grande número de regiões e, conseqüentemente, variáveis. As limitações encontradas no programa referem-se, principalmente, ao tratamento da informação espacial, após os resultados estarem prontos. Alguns itens básicos necessários à elaboração de mapas, como inserção e edição de legendas ou escalas não são possíveis de serem feitos com esse programa.

### 7.3.2 Os resultados obtidos

Em relação aos resultados encontrados, é importante ressaltar que em ambos os cenários as taxas de crescimento de posse de equipamentos são conservadoras, considera-se um aumento de eficiência dos equipamentos e, por fim, que a população municipal deverá sofrer redução entre 2020 e 2030, de acordo com as projeções demográficas. Por isso, o consumo final de algumas unidades espaciais poderá ser menor do que o consumo no ano base, em 2000. Contudo, em geral, o que se observa é o crescimento do consumo de energia elétrica nas unidades e no município como um todo, mesmo com a redução populacional prevista. Isso decorre, em parte, do aumento do número de domicílios. Assim, mesmo que a população total do município diminua, como o tamanho das famílias está reduzindo, o número total de domicílios será continuamente crescente em todo horizonte de tempo considerado.

As projeções desenvolvidas mostram que, além do cálculo de energia consumida por uma cidade, em um ano, é possível estudar a sua evolução de modo regionalizado. Em geral, os

---

resultados mostraram que a consideração da ocupação espacial pode ter grande impacto no consumo de energia. No Cenário MG-2030, a hipótese de elevada penetração do sistema solar no setor residencial causou uma inversão na tendência de consumo diretamente relacionada à renda: as famílias de renda entre média e alta passaram a consumir menos do que as de renda inferior, visto que estas últimas utilizariam apenas o chuveiro elétrico. No cenário Belo Horizonte, isso já não ocorre, há nele ainda a relação consumo e renda média familiar.

Concernente ao uso dos sistemas solares, ele provavelmente terá uma razoável inserção nas unidades de renda familiar mais elevada, a se manter o tipo de lançamentos imobiliários que se observa atualmente no mercado belorizontino. Mas há um grande potencial de uso desses sistemas nas regiões periféricas, visto que o crescimento populacional ocorrerá nesses locais e que a LUOS-BH prevê uma ocupação muito favorável à incorporação dessa tecnologia nas novas edificações: pequenos prédios, com menos de dez unidades habitacionais. Dessa forma, essas áreas dependem de medidas específicas do poder público para que o uso do aquecimento solar se torne efetivo (por exemplo, evitando o sombreamento indesejável de um edifício sobre o vizinho).

Os dois últimos projetos de lei<sup>32</sup> da Câmara Municipal de Belo Horizonte que tratavam da questão do uso do aquecedor solar não abrangiam as regiões periféricas do município. Isso porque esses projetos tornam obrigatório o uso desses sistemas em edificações com mais de 150 metros quadrados de área ou com mais de três banheiros, que não é o perfil de edificações construídas para a faixa de renda baixa e média do município. Por essa razão, esses projetos de lei apenas enfocam áreas que voluntariamente já utilizam o sistema solar. Pode-se concluir que é necessário que as políticas públicas sejam mais específicas para as necessidades locais.

Ainda com relação ao uso do sistema solar, esse trabalho não considerou o impacto das medidas de incentivo ao seu uso previstas no Plano Nacional de Habitação, porque esse plano é destinado a financiar novas moradias para famílias com faixa de rendimento médio inferior a 3 salários mínimos e, esse perfil familiar não reside no município de Belo Horizonte, de acordo com os dados dos censos.

No tocante ao uso do sistemas de condicionamento de ar, foi possível concluir que esse é o equipamento com maior potencial de crescimento do consumo de energia no setor residencial local. O aquecimento das cidades, causado seja por fenômenos locais ou globais, o aumento da poluição do ar e sonora nas áreas urbanas, deverão elevar a venda desses equipamentos,

---

<sup>32</sup> PL 64/2009 e 1390/2007, de autoria dos vereadores Fred Costa e Sílvia Helena, nessa ordem.

---

tendência que já vem sendo observada em outras cidades do país. Certamente, o desenvolvimento de pesquisas e estudos que permitam aprofundar as questões faz-se necessário, para identificar os impactos das mudanças climáticas e outros questões ambientais no aumento da demanda de energia para o conforto ambiental.

### **7.3.3 Novas abordagens integradas**

Toda a metodologia desenvolvida neste capítulo tem aplicações possíveis tanto na área do planejamento energético quanto na área do planejamento urbano. Alguns exemplos de estudos nesse sentido podem ser traçados.

A abordagem desenvolvida para Belo Horizonte pode ser reproduzida tanto em outros municípios, como também em outras escalas, desde que haja a disponibilidade de dados desagregados por região. Por exemplo, toda a RMBH já está incorporada na divisão espacial das UEHs, desse modo, é possível expandir o cálculo de consumo de energia regionalizado para aproximadamente 5,5 milhões de habitantes, quase a um quarto da população do Estado de Minas Gerais.

Os mapas obtidos de consumo de energia ainda não estão associados diretamente a indicadores de ocupação do solo, como por exemplo, área construída ou volume edificado. Contudo, essa associação é possível de ser feita por meio do mapeamento dessas variáveis. Assim, o planejamento urbano poderia ter indicadores específicos que permitiriam estimar qual o impacto, em termos energéticos, da proposição de novas legislações sobre o uso do solo ou de novos empreendimentos que mudem o perfil de ocupação local.

Tendo em vista o planejamento energético, partindo do mapeamento do consumo, é possível quantificar os benefícios futuros das medidas locais de alternativas energéticas e/ou de eficiência energética. Por outro lado, por meio da integração de mapas, torna-se possível avaliar o impacto de dinâmicas espaciais urbanas no consumo de energia, a exemplo da citada relação entre adensamento e aumento do uso de equipamentos, como, por exemplo, ar condicionado e lâmpadas.

Espera-se, assim, que este trabalho possa contribuir para a inserção da dimensão espacial nos estudos realizados pelo planejamento energético, possibilitando que os processos de tomada de decisões identifiquem, espacial e temporalmente, as questões do sistema energético. Espera-se também colaborar para a elaboração de análises da questão energética na escala urbana, que conduzam ao desenvolvimento de padrões de ocupação do solo e/ou tipologias de edifícios com

---

menor impacto ambiental e maior eficiência energética. Por fim, espera-se auxiliar na elaboração de políticas energéticas que possam reduzir as grandes desigualdades regionais relacionadas ao consumo de energia, e conseqüentemente, à qualidade de vida.

---

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

ACHÃO, C. C. L. *Análise da estrutura de consumo de energia pelo setor residencial brasileiro*. 2003. 122 f. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético) - Programa de Engenharia Nuclear e Planejamento Energético, COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL e BIOCOMBUSTÍVEIS. Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Rio de Janeiro, ANP, 2008. ISSN 1983-5884. Disponível em: <[www.anp.gov.br](http://www.anp.gov.br)> . Acessado em ago. 2010.

ANDRADE, F. V. *Estudo de planejamento energético do longo prazo para o município de Belo Horizonte com ênfase no aproveitamento de recursos domésticos*. 2008. 126 f. Dissertação (Mestrado em Ciências e Técnicas Nucleares) - Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte.

ARAÚJO, J. L. *Modelos de Energia para Planejamento*. 1988. 230 f. Tese (Concurso de Professor Titular) - Programa de Engenharia Nuclear e Planejamento Energético, COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro.

AROUCA, M. C. *Análise da demanda de energia no setor residencial no Brasil*. 1982. 74 f. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético) - Programa de Engenharia Nuclear e Planejamento Energético, COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro.

ASSIS, E. S. Método integrado de análise climática para arquitetura aplicado à cidade de Belo Horizonte, MG. In: VI Encontro Nacional de III Encontro Latino-Americano sobre Conforto no Ambiente Construído. *Anais...* São Pedro: ANTAC/UNICAMP, 2001. 8p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE PESQUISA. *Critério Padrão de Classificação Econômica Brasil/2008*. São Paulo, ABEP, 2007. Disponível em: <<http://www.abep.org>>. Acessado em: ago. de 2009.

BAJAY, S. V. Planejamento energético: Necessidade, objetivo e metodologia. *Revista Brasileira de Energia*. n. 1, v.1, 1989. 6 p.

BAKER, N.; STEEMERS, K. *Energy and Environment in Architecture*. London, E&FN Spon, 2000.

BAKER, N.; Steemers, K. LT Method 3.0 - a strategic energy-design tool for Southern Europe. *Energy and Buildings*. v. 23, 1996. p. 251-256.

BALOCCO, C., PAPESCHIB, S., GRAZZINI, G.; BASOSI, R. Using exergy to analyze the sustainability of an urban area. *Ecological Economics*. v. 48, 2004. p. 231-244.

---

BALOCCO, C.; GRAZZINI, G. Thermodynamic parameters for energy sustainability of urban areas. *Solar Energy*. n. 4, v. 69, 2000. p. 351-356.

BELO HORIZONTE. Lei 7166 de 27 de Agosto de 1996. Estabelece normas e condições para parcelamento, ocupação e uso do solo urbano no município[online]. Belo Horizonte, Prefeitura Municipal de Belo Horizonte, 1996. Disponível em: <<http://www.pbh.gov.br/mapas/leiuso/lei-7166.htm>>. Acessado em: fev. 2010.

BELO HORIZONTE. Lei 8137 de 21 de Dezembro de 2000. Altera as leis nº 7.165 e 7.166, ambas de 27 de agosto de 1996, e dá outras providências [online]. Belo Horizonte, Prefeitura Municipal de Belo Horizonte, 2000. Disponível em: <<http://www.pbh.gov.br/mapas/leiuso/lei-7166.htm>>. Acessado em: fev. 2010.

BENNETT, M.; NEWBOROUGH, M. Auditing energy use in cities. *Energy Policy*. v. 29, 2001. p. 125-134.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. Departamento Nacional de Meteorologia. *Normais climatológicas 1961-1990*. Brasília, DNMET, 1992.

BRASIL. Ministério da Previdência Social. Secretaria de Políticas de Previdência Social. *Projeções de longo prazo dos amparos assistenciais da lei orgânica de assistência social (loas)*. Brasília, MPS/SPS, 2008. Disponível em <<https://www.portalsf.planejamento.gov.br>>. Acessado em: jan. 2009.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. *Balanço Energético Nacional 2007: Ano base 2006. Relatório final*. Rio de Janeiro, EPE, 2007a. 192 p. Disponível em <<http://www.epe.gov.br>> ISS: 0101-6636.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. *Balanço Energético Nacional 2010: Ano base 2009. Relatório final*. Rio de Janeiro, EPE, 2010. Disponível em <<http://www.epe.gov.br>> . Acessado em: ago. 2010.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. *Plano decenal de expansão de energia: 2007/2016*. Rio de Janeiro, EPE, 2008. Disponível em <<http://www.epe.gov.br>> . Acessado em: jul. 2009.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. *Plano Nacional de Energia 2030*. Rio de Janeiro, EPE, 2007b. 408 p. ISSN: 978-85-60025-02-2. . Disponível em <<http://www.epe.gov.br>> . Acessado em: jul. 2009.

CAETANO, A. J.; RIGOTTI, J. I. R. *Dinâmica e crescimento demográfico da RMBH – 1960 / 2000*. in: ANDRADE; L. T., MENDONÇA, J. G.; FARIA; C. A. P. (Ed.). *Metrópole, território, sociedade e política: O caso da Região Metropolitana de Belo Horizonte*. Belo Horizonte, PUC Minas, 2008. p. 21-43.

CARVALHO, C. B. *Avaliação crítica do planejamento energético de longo prazo no Brasil, com ênfase no tratamento das incertezas e descentralização do processo*. 2005. 309 f. Tese (Doutorado em Planejamento de Sistemas Energéticos) - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas. Campinas.

CEDEPLAR; LABES/FIOCRUZ. *Mudanças climáticas, migrações e saúde: cenários para o Nordeste brasileiro, 2000-2050*. Belo Horizonte, CEDEPLAR/FICRUZ, 2008.

CIMA, F. M. *Utilização de indicadores energéticos no planejamento energético integrado*. 2006. 208 f. Dissertação (Mestrado em Ciências do Planejamento) - Programas de Pós-Graduação de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro.

COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS. *Planejamento Energético Integrado do Estado de Minas Gerais – 2007/2030*. Belo Horizonte, CEMIG, 2008. Apresentação realizada na Sociedade Mineira de Engenheiros em 22/04/2008.

COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS. *Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas. 22º Balanço Energético do Estado de Minas Gerais: ano base 2006, BEEM 2006*. Belo Horizonte, CEMIG, 2008. 176 p. Disponível em <<http://www.cemig.com.br>>. Acessado em: jul. 2009.

CRAIG, P. P; GADGIL, KOOMEY, A.,J. G. What can history teach us? A Retrospective Examination of Long-Term Energy Forecasts for the United States. *Annual Review of Energy and the Environment*. v. 27, nov 2006. p. 83-118.

CRUZ, K. E.; RAMOS, F. D.; MELO, A. D.; LIMA, R. C. O efeito do racionamento de energia elétrica sobre o crescimento econômico. In: III CBEE - Congresso Brasileiro de Eficiência Energética. *Anais...* Belém, ABEE, 2009.

DINCER, I.; ROSEN, M. A. *Exergy: Energy, Environment and Sustainable Development*. Oxford, Elsevier Science, sep. 2007. 472 p. ISBN: 978-0-08-044529-8.

ELETRONBRAS/PROCEL *Relatório da Pesquisa de Posse de Eletrodomésticos e Hábitos de Uso, Ano Base 2005, Classe Residencial, Relatório Sudeste*. Rio de Janeiro, PROCEL, 2007b.

ELETRONBRAS/PROCEL. *Relatório da Pesquisa de Posse de Eletrodomésticos e Hábitos de Uso - Classe Residencial, Relatório Brasil*. Rio de Janeiro, PROCEL, 2007a.

ELETRONBRAS/PROCEL. *Catálogo do Selo Procel 2001 a 2009*. Rio de Janeiro, PROCEL, vários anos. Disponível em <[www.eletronbras.com/procel](http://www.eletronbras.com/procel)> . Acessado em jan 2010.

EVANS, C.; STEFANOV, W. *Cities at night: the view from space*. [online]. In: Earth Observatory, NASA, april, 2008. Available from: <<http://earthobservatory.nasa.gov/Features/CitiesAtNight/>>. Cited: 10 Aug 2009.

FALCO, G. D.; SOUZA, R. C.; AMARAL, L. F. O perfil econômico do consumidor residencial de energia elétrica. In: III CBEE - Congresso Brasileiro de Eficiência Energética. *Anais...* Belém, ABEE, 2009.

FUNDO DE POPULAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. *Situação da População Mundial em 2007: Desencadeando o Potencial do Crescimento Urbano*. Nova Iorque, UNFPA, 2007. Disponível em: <[http://www.unfpa.org.br/relatorio2007/swp2007\\_por.pdf](http://www.unfpa.org.br/relatorio2007/swp2007_por.pdf)>. Acessado em ago. 2010.

---



GADSDEN, S.; RYLATT, M.; LOMAS, K.; et al. Predicting the urban solar fraction: a methodology for energy advisers and planners based on GIS *Energy and Buildings*. v. 35, 2003. p. 17-48.

GALLUP, J. L.; SACHS, J. D.; MELLINGER, A. D. Geography and economic development. *International Regional Science Review* v. 2, n.22, ago, 1999. p. 179–232. Available from: <<http://www.earth.columbia.edu/sitefiles/file/about/director/documents/irsr0899.pdf>>. Cited: 15 Sep. 2010.

GALVÃO, L. C.; GRIMONI, J. A.; UDAETA, M. E.; JÚNIOR, D. C. Introdução de Ferramentas SIG no Planejamento Energético. In: X CBE - Congresso Brasileiro de Energia. *Anais...* Rio de Janeiro, COPPE/UFRJ, 2004. p. 1518-1524. Disponível em: <<http://www.seeds.usp.br/pir/>>. Acessado em: jul. 2009.

GALVÃO, L. C.; REIS, L. B.; FUKUDA, F. S.; UDAETA, M. E. SAGe - Sistema para análise geoenergética como ferramenta para o planejamento integrado de recursos energéticos. In: GeoDigital'96 - Simpósio Internacional Sobre Novas Tecnologias Digitais em Geografia e Cartografia. *Anais...* São Paulo, LEMADI, 1996. p. 96-104.

GHANADANA, R.; KOOMEY, J. G. Using energy scenarios to explore alternative energy pathways in California. *Energy Policy*. v. 33, 2005. p. 1117–1142.

GIVONI, B. *Climate Considerations in Building and Urban Design*. New York, Wiley, 1998. 480 p. ISBN: 0471291773.

HAMILTON, J. The distribution of world income. In: Econbrowser, Analysis of current economic conditions and policy. Jan. 13, 2007. Available from: <[http://www.econbrowser.com/archives/2007/01/the\\_distributio.html](http://www.econbrowser.com/archives/2007/01/the_distributio.html)> Cited: 15 Sep. 2010.

HONG, Sung H.; ORESZCZYN, Tadj; RIDLEY, Ian. The impact of energy efficient refurbishment on the space heating fuel consumption in English dwellings. *Energy and Buildings*. n.38, 2006. p. 1171–1181.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Censo Demográfico 2000: Agregado por Setores Censitários dos Resultados do Universo - Documentação do Arquivo*. Rio de Janeiro, IBGE, 2003. 157 p. Disponível em <<http://www.ibge.gov.br>>. Acessado em: jul. 2009.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Censo Demográfico 2000: Documentação dos microdados da amostra*. Rio de Janeiro, IBGE, 2002. 149 p. Disponível em <<http://www.ibge.gov.br>>. Acessado em: jul. 2009.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Censo Demográfico 1991: Documentação dos microdados da amostra*. Rio de Janeiro, IBGE, 1996. 105 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Censo Demográfico 1991: Questionário Básico Cd.01 (Universo)*. Rio de Janeiro, IBGE, s.d. 20 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Censo Demográfico*. Rio de Janeiro, IBGE, 1980.

---

---

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Censo Demográfico*. Rio de Janeiro, IBGE, 1991.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Censo Demográfico*. Rio de Janeiro, IBGE, 2000.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Censo Demográfico*. Rio de Janeiro, IBGE, 2010.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Contagem da População 2007*. Rio de Janeiro, IBGE, 2007. 311 p. ISBN 978-85-240-3994-2

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Despesas da Famílias: Estudo Nacional da Despesa Familiar*. Rio de Janeiro, IBGE, 1978.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Pesquisa de Orçamentos Familiares*. Rio de Janeiro, IBGE, 1996.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Pesquisa de Orçamentos Familiares 2002-2003: Aquisição alimentar domiciliar per capita*. Rio de Janeiro, IBGE, 2004. ISBN 85-240-3772-5. Disponível em: <[www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br)>. Acessado em jan 2010.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. PNAD 2001. Síntese de indicadores. *Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios* Rio de Janeiro, IBGE, v.22, 2001. p. 1-110. ISSN 0101-6822.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. PNAD 2002. Síntese de indicadores. *Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios*. Rio de Janeiro, IBGE, v. 23, 2002. p. 1-113. ISSN 0101-6822.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. PNAD 2003. Síntese de indicadores. *Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios*. Rio de Janeiro, IBGE, v. 24, 2003. p. 1-120. ISBN 85-240-3753-9 (CD-ROM).

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. PNAD 2004. Síntese de indicadores. *Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios*. Rio de Janeiro, IBGE, v. 25, 2004. p. 1-120. ISBN 85-240-3836-5.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. PNAD 2005. Síntese de indicadores. *Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios*. Rio de Janeiro, IBGE, v. 26, 2005. p. 1-125. ISBN 85-240-3902-7.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. PNAD 2006. Síntese de indicadores. *Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios*. Rio de Janeiro, IBGE, v. 27, 2006. p. 1-125. ISBN 978-85-240-3963-8.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. PNAD 2007. Síntese de indicadores. *Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios*. Rio de Janeiro, IBGE, v. 28, 2007. p. 1-128. ISBN 978-85-240-4031-3.

---

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. PNAD 2008. Síntese de indicadores. *Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios*. Rio de Janeiro, IBGE, v. 29, 2008. p. 1-129. ISBN 978-85-240-4086-3.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Produto Interno Bruto dos Municípios 1999-2002*. Rio de Janeiro, IBGE, 2005. 188 p. ISSN: 1415-9813. Disponível em <<http://www.ibge.gov.br>>. Acessado em: jan. 2009.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Produto Interno Bruto dos Municípios 2003-2006*. Rio de Janeiro, IBGE, 2007. 234 p. ISSN: 1415-9813. Disponível em <<http://www.ibge.gov.br>>. Acessado em: jan. 2009.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Projeção da população do Brasil por sexo e idade 1980-2050 – Revisão 2008*. Rio de Janeiro, IBGE, 2004. 82 p. Disponível em <<http://www.ibge.gov.br>>. Acessado em: jan. 2009.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Sistema de Contas Nacionais 2002-2006*. Rio de Janeiro, IBGE, 2008. 93 p. Disponível em <<http://www.ibge.gov.br>>. Acessado em: jan. 2009.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Sistema IBGE de Recuperação Automática - SIDRA*. Sistema Nacional de Índices de Preços ao Consumidor - SNIPC. Disponível em <<http://www.sidra.ibge.gov.br>>. Acessado em: ago. 2009.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Sistemas de Contas Nacionais Brasil 2003*. Rio de Janeiro, IBGE, 2004. Disponível em <<http://www.ibge.gov.br>>. Acessado em: jan. 2009.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL. *Eficiência Energética: Condicionadores de Ar, Critérios 2009*. INMETRO, 2009a. 14 p. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/qualidade/eficiencia.asp>>. Acessado em: jan. 2010.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL. *Eficiência Energética: Frigobares, Refrigeradores, Combinados e Freezers*. INMETRO, 2009b. 20 p. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/qualidade/eficiencia.asp>>. Acessado em: jan. 2010.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL. *Eficiência Energética: Lavadoras de Roupa Automáticas com Abertura Frontal e Superior*. INMETRO, 2009c. Ed. 57 5 p. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/qualidade/eficiencia.asp>>. Acessado em: jan. 2010.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL. *Eficiência Energética: Lavadoras de Roupa Semi-Automáticas*. INMETRO, 2009d. Edição 73. 8 p. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/qualidade/eficiencia.asp>>. Acessado em: jan. 2010.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL. *Eficiência Energética: Modo de Espera, Televisores*. INMETRO, 2009e. Ed.

13. 12 p. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/qualidade/eficiencia.asp>>. Acessado em: jan. 2010.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL. *Eficiência Energética: Ventiladores de Teto*. INMETRO, 2009f. Ed. 13. 21 p. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/qualidade/eficiencia.asp>>. Acessado em nov. 2009.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL. *Tabela de Consumo de Energia Elétrica, Chuveiros Elétricos*. INMETRO, 2009g. Ed. 4. 5 p. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/qualidade/eficiencia.asp>>. Acessado em: jan. 2010.

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. *Expansion planning for electrical generating systems, a Guide Book*. Viena, IAEA, 1984. Technical Report Series N° 241.

JONES, P.; WILLIAMS, J.; LANNON, S. Planning for a sustainable city: an energy and environmental prediction model. *Journal of Environmental Planning and Management*. n. 6, v. 43, 2000. p. 855-872.

KOENIGSBERGER, O. H.; et al. *Viviendas y edificios en zonas calidas y tropicales*. Madrid, [s. n.], 1977. 328 p.

MARENGO, J.; AMBRIZZI, T.; ALVES, L.; NOBRE, C.; PISNITCHENKO, I. *Atlas de Cenários Climáticos Futuros para o Brasil* [Apresentação digital]. Cachoeira Paulista, Ministério do Meio Ambiente, 2007. 124 slides. Disponível em: <<http://www.grec.iag.usp.br/outros/ambrizzi/Atlas.pdf>>. Acessado em: ago. 2010.

MATOS, R.; LIMA, C. F.; BRAGA, F. G. Dispersão Demográfica nas Periferias da Região Metropolitana de Belo Horizonte. in: Encontro Nacional sobre Migrações Internas, 3º Encontro Transdisciplinar Espaço e População. *Anais...* Campinas. Campinas, 2003, ABEP.

MENDONÇA, J. G. *Estrutura socioespacial da RMBH nos anos 2000*. in: ANDRADE; L. T., MENDONÇA, J. G.; FARIA; C. A. P. (Ed.). *Metrópole, território, sociedade e política: O caso da Região Metropolitana de Belo Horizonte*. Belo Horizonte, PUC Minas, 2008. p. 45-103.

MILLETT, S. M. The future of scenarios: challenges and opportunities. *Strategy & Leadership*. n.2, v.31, 2003. p.16-24. ISSN:1087-8572.

MINAS GERAIS. Secretaria de Estado de Planejamento e Gestão. Fundação João Pinheiro. *Projeção de população para os municípios de Minas Gerais - 2009-2020*. Belo Horizonte, FJP, 2009. Disponível em <<http://www.fjp.mg.gov.br>>. Acessado em: ago. 2009.

OLIVEIRA, A. P.; SOUZA, L. C. Ilha de calor e consumo de energia elétrica. In: IX Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído. *Anais...* Ouro Preto, ANTAC/UFMG, 2007. p. 1322-1328.

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE MINAS GERAIS. Padrão *PUC Minas de normalização*: normas da ABNT para apresentação de trabalhos científicos, teses, dissertações e monografias. Belo Horizonte, PUC Minas, ago. 2010. 52 p.

---

PPE/COPPE/UFRJ; AGUIAR, A. C. J. *Pesquisa Banco Mundial: Setor Residencial*. Rio de Janeiro, UFRJ, 2008. 28 p.

PPE/COPPE/UFRJ; UNIFEI. *Matriz Energética de Minas Gerais 2007-2030* Rio de Janeiro, UFRJ/UNIFEI, 2007. 443 p. Disponível em: <<http://www.conselhos.mg.gov.br/coner/page/publicacoes/matriz-energtica-de-mg>>. Acessado em: dez. 2009.

PPE/COPPE/UFRJ; UNIFEI. *Matriz Energética de Minas Gerais 2007-2030. Capítulo 5 - Setor Residencial*. Rio de Janeiro, UFRJ/UNIFEI, 2007. 35 p. Disponível em: <<http://www.conselhos.mg.gov.br/coner/page/publicacoes/matriz-energtica-de-mg>>. Acessado em: dez. 2009.

RATTI, C.; BAKER, N.; STEEMERS, K. Energy consumption and urban texture. *Energy and Buildings*. v. 37, 2005. p. 762-776.

RATTI, C.; RICHENS, P. Lt Urban: The Energy Modelling of Urban Form. In: PLEA - International Conference on Passive and Low Energy Architecture. *Proceedings...* Cambridge, 2000. p. 2-5.

RATTI, C.; ROBINSON, D.; BAKER, N.; STEEMERS, K. Urban Texture Analysis with Image Processing Techniques. In: Computers in Building: CAAD Futures '99 Conference. *Proceedings...* Atlanta, CAAD'99, 1999. 17 p. Disponível em: <<http://senseable.mit.edu/>>. Acessado em: ago. 2008.

RODRIGUES, J. R.; MEHL, E. L. Análise sobre o consumo energético de eletrodomésticos em standby. In: III CBEE - Congresso Brasileiro de Eficiência Energética. *Anais...* Belém, ABEE, 2009. 6p.

RORIZ, M.; GHISI, E.; LAMBERTS, R. Bioclimatic Zoning of Brazil: a proposal based on the Givoni and Mahoney methods. In: PLEA - International Conference on Passive and Low Energy Architecture. *Proceedings...* Brisbane, Austrália, 1999. 6 p.

SALAT, S. Energy and Bioclimatic Efficiency of Urban Morphologies: Towards a Comparative Analysis of Asian and European Cities. In: International Conference on Sustainable Building Asia. *Proceedings...* Seoul, Korea, [s.n.], 2007. p. 161-166.

SALAT, S. Morfologia urbana, eficiência energética e mudanças climáticas. In: Seminário Internacional de Iniciativas Urbanas de Eficiência Energética. *Anais...* Brasília, Ministério das Cidades, 2009. Apresentação de slides. 80 s. Disponível em <<http://www.energiaemissoesurbanas.com.br>>. Acessado em: ago. 2009.

SCHIMD, C. A.; LIMA, M. A. A. Demanda por Energia Elétrica no Brasil. *Revista Brasileira de Energia*. Rio de Janeiro, n. 58, v. 1, jan/mar, 2004. p. 67-98.

SHELL INTERNATIONAL. *Shell Global Scenarios 1998–2020*. Shell, 1999. 32 p. Disponível em: <<http://www2.shell.com/home/media-en/downloads/51234.pdf>>. Acessado em fev. 2010.

---

SHORROCK, L. D.; DUNSTER, J. E. The physically-based model BREHOMES and its use in deriving scenarios for the energy use and carbon dioxide emissions of the UK housing stock. *Energy Policy*. v. 25, 1997. p. 1027–1037.

SOARES, J. F.; RIGOTTI, J. I.; ANDRADE, L. T. As Desigualdades Socioespaciais e o Efeito das Escolas Públicas de Belo Horizonte. In: Workshop “Neighborhood effects, educational achievements and challenges for social policies”. *Proceedings...* Rio de Janeiro, [s. n.], 2006. 6 p. Disponível em: <<http://www.observatoriodasmetrolopolos.ufrj.br>>. Acessado em: ago. 2009.

SOUZA, E. P.; CARDOSO, R. B.; NOGUEIRA, L. A. Economia de energia de condicionadores de ar tipo janela por ações de programas de eficiência. In: III CBEE - Congresso Brasileiro de Eficiência Energética. *Anais...* Belém, Associação Brasileira de Eficiência Energética, 2009. 6 p.

SOUZA, L. C.; PEDROTTI, F. S.; LEME, F. T. Influência de variáveis de implantação do edifício no consumo de energia elétrica. In: IX Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído. *Anais...* Ouro Preto, ANTAC/UFMG, 2007. p. 1759-1768.

SOUZA, L. C.; PEDROTTI, F. S.; TORRISI, F. Consumo de energia urbano: influência do perfil do usuário, da geometria urbana e da temperatura. In: VIII Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído. *Anais...* Maceió, ANTAC/UFAL, 2005. p. 1960-1969.

SOUZA, L. C.; PIZARRO, P. R. Urban Geometry And Electrical Energy Consumption In A Tropical City. In: 5th Fifth Conference on Urban Environment. *Proceedings...* Vancouver, American Meteorological Society, 2004. 8 p.

SOUZA, L. C.; ROCHA, E. F. Analisando a influência da orientação no consumo de energia em um conjunto habitacional. In: VII Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído. *Anais...* São Pedro, ANTAC/UNICAMP, 2001. 8 p.

SOUZA, L. C.; YAMAGUTI, M. L. Interferência da implantação e ocupação do lote no consumo de energia da residência. In: IX Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído. *Anais...* Ouro Preto, ANTAC/UFMG, 2007. p. 2149-2150.

UDAETA, M. E.; GRIMONI, J. A.; GALVÃO, L. C.; CICONE JUNIOR, D. Estudo e desenvolvimento de um instrumento de análise de informações energéticas geograficamente referenciadas. In: IV Congresso Brasileiro de Planejamento Energético. *Anais...* Itajubá, MG, SBPE / CERNE, 2004a. 12 p.

UDAETA, M. E.; INO, W. T.; GRIMONI, J. A.; GALVÃO, L. C. Proposição para o Interior Paulista do Planejamento Integrado de Recursos. In: Agrener GD 2004 - 5o Encontro de Energia no Meio Rural e Geração Distribuída. *Anais...* Campinas, UNICAMP, 2004b. 10 p. Disponível em <<http://www.seeds.usp.br/pir>>. Acessado em: mar. 2009.

UMBELINO, G.; BARBIERI, A. Metodologia para a compatibilização de setores censitários e perímetros urbanos entre os censos de 1991, 2000 e 2010. In: XVI Encontro Nacional de Estudos Populacionais. *Anais...* Caxambu, ABEP, 2008. 18 p. Disponível em <<http://www.abep.org.br>>. Acessado em: mar. 2009.

---

VALLE, A. d. Planejamento Energético: desafios da renovação. *Revista Brasileira de Tecnologia*. Brasília, n.6, v.15, nov/dez, 1984. p. 6.

---

---